

Interprétation des données gravimétriques et contribution à l'étude structurale du bloc Bilma (Bassin de Termit, Niger oriental)

[Interpretation of gravity data and contribution to the structural study of the Bilma Block (Termit Basin, eastern Niger)]

Abdourhmane Halidou Amadou^{1,2}, Ismaël Ibrahim Cissé², and Adjil Ousmane Gambo²

¹Laboratoire Systèmes Intelligents Géoressources et Energies Renouvelables, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Morocco

²Ministère du Pétrole, Niamey, Niger

Copyright © 2024 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: The present study aims to improve knowledge of the structure of the Bilma block based on the interpretation of gravity anomaly maps. Three filtering methods were applied: upward continuation, horizontal gradient and Euler deconvolution. The analysis of the residual anomaly map upwarded allowed us to understand the behavior of gravity anomalies at the different applied altitudes. The negative anomalies thus resist to the various continuations, unlike the positive ones anomalies. The horizontal gradient method also allowed us to identify and highlight gravity lineaments that may be associated with faults already recognized by geological and geophysical studies. Those faults are responsible for the structuration of the Bilma block and are organized into three families of directions: NW-SE, NNW-SSE and NE-SW, with a prevalence of the NW-SE direction. Finally, the estimated depths by using Euler deconvolution calculations exceed 3 km for the deepest density sources and they are less than 1 km for the shallower ones sources.

KEYWORDS: Bilma block, density, lineaments, structure.

RESUME: La présente étude a pour objectif d'améliorer la connaissance de la structure du bloc Bilma en se basant sur l'interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques. Trois méthodes de filtrage ont été appliquées: le prolongement vers le haut, le gradient horizontal et le calcul de la déconvolution d'Euler. L'analyse de la carte d'anomalie résiduelle prolongée vers le haut nous a permis de comprendre le comportement des anomalies gravimétriques aux différentes altitudes appliquées. Nous y retenons que les anomalies négatives résistent aux différents prolongements contrairement aux anomalies positives. La méthode du gradient horizontal nous a permis également d'identifier et de mettre en évidence des linéaments gravimétriques qui peuvent être associés à des failles déjà reconnues par les études géologiques et géophysiques. Ces failles sont responsables de la structuration du bloc Bilma et sont organisées en trois familles de directions NW-SE, NNW-SSE et NE-SW, avec une dominance de la direction NW-SE. Enfin, les profondeurs estimées par le calcul de la déconvolution d'Euler dépassent 3 km pour les sources de densité les plus profondes et moins de 1 km pour les sources moins profondes.

MOTS-CLEFS: bloc Bilma, densité, linéaments, structure.

1 INTRODUCTION

Situé à l'est de la République du Niger, le bloc Bilma est un sous-bassin appartenant au système de rift du Niger oriental. Il constitue un vaste synclinal allongé suivant la direction NW-SE et mesure une longueur de 350 km du nord au sud et environ 150 km de large de l'est à l'ouest. (Fig.1). Les études géologiques et géophysiques ainsi que la réalisation des forages ont permis de prouver que le bloc Bilma dispose d'un intérêt pétrolier majeur mettant en évidence des roches mères potentielles, des voies de migration, des roches réservoirs et des pièges d'hydrocarbures. Cependant, malgré la connaissance du potentiel pétrolier du bloc Bilma, nous estimons qu'une étude basée sur l'interprétation des données gravimétriques s'avère nécessaire pour mieux comprendre la structure de ce bloc. Dans le but d'atteindre nos résultats, nous avons appliqué à la carte gravimétrique de la zone d'étude les techniques suivantes: le gradient horizontal, le prolongement vers le haut et le calcul de la déconvolution d'Euler. Ces techniques seront détaillées dans la partie méthodologie.

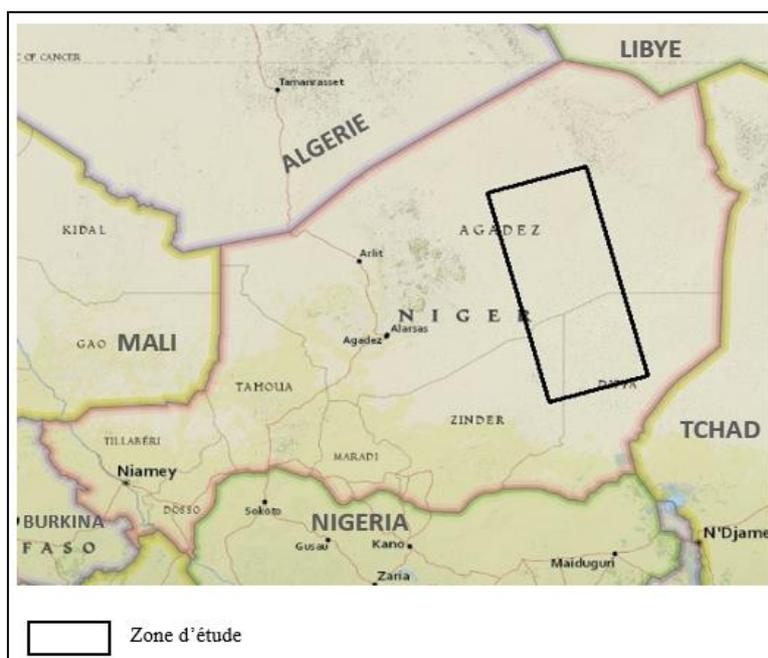


Fig. 1. Carte de localisation du bloc Bilma

2 CADRE GEOLOGIQUE

Le bloc Bilma est un vaste synclinal de terrains crétacés appuyés sur le socle précambrien. Il fait partie du Système de Rift Ouest Africain d'âge Méso-cénozoïque [1], [2]. Ce système de rift constitue un continuum géotectonique [3], [4], [5] qui s'étend sur plus de 4000 km à partir du fossé de Gao (Mali) jusqu'au bassin d'Anza (Kenya). La stratigraphie de ce bassin est bien connue depuis les travaux de Faure (Louis, 1970). Elle comprend de la base au sommet les formations suivantes (Fig.2):

- Le socle précambrien: il est composé de granite, de quartz, d'arkose et de granodiorite qui affleurent sporadiquement dans les régions d'Achegour, Fazeï, Fachi, d'Ezerza, de Tiffa et de Dibeilla [6].
- Le Crétacé inférieur: composée des grès clairs, moyens et grossiers d'Achegour, d'environ 200 m d'épaisseur avec des pendages allant de 1 à 30° [7].
- Le Turonien et le Cénomanién supérieur (formation de Donga): elle est principalement composée d'argiles et des calcaires d'une épaisseur approximative à 250 m.
- Le Campanien-Coniacien (formation de Yogou): elle est caractérisée par une alternance de grès fins et d'argiles.
- Le Crétacé terminal (formation de Madama): composée essentiellement des grès de taille moyenne et des siltites d'environ 200 m d'épaisseur.
- Le Paléocène-Eocène (formation de Sokor1): caractérisée par une alternance de grès et d'argilites.
- L'Oligocène (formation de Sokor2): constituée essentiellement d'argilites.
- Le Miocène-Quaternaire (formation récente): on y distingue de sables non consolidés avec quelques horizons d'argiles dans la partie inférieure. On y trouve également du quartz, du feldspath et du gravier.

Les études sismiques réalisées par la Compagnie Générale de Géophysique, complétées par des travaux gravimétriques réalisés en 1982 ont permis d’identifier et de définir l’allure structurale du graben de Bilma. Ce dernier est constitué de blocs basculés affectés par des failles à très fort rejet au socle et est limité à l’est par la faille majeure de Bilma. La plupart de ces failles montent dans les horizons superficiels, où elles détiennent des replis, indiquant le rejet en décrochement des accidents anciens [8].

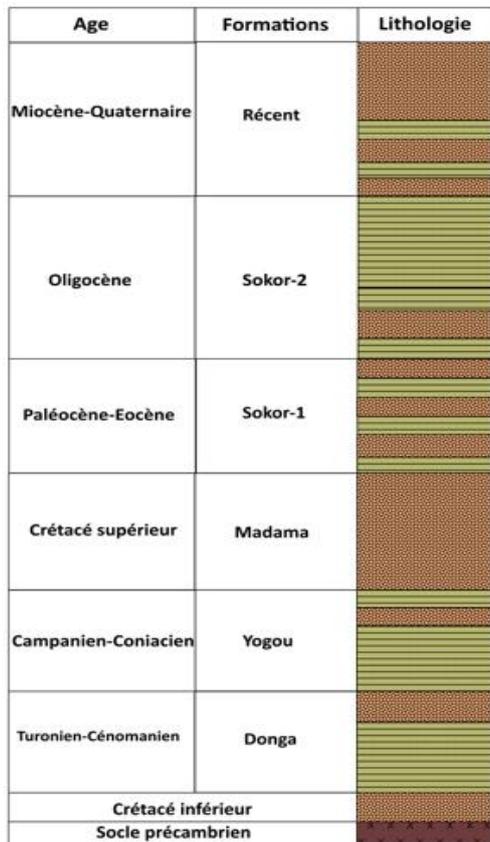


Fig. 2. Colonne lithostratigraphie de Bilma

3 MATERIELS ET METHODES

3.1 DONNEES UTILISEES

Les données gravimétriques utilisées dans le cadre de ce travail ont été acquises en 1982 par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG). Elles ont été fournies sous forme de carte numérique au 1/200.000, contenant des courbes isovaleurs. Le traitement de ces données consiste en premier lieu à une digitalisation des intersections des courbes isovaleurs afin de créer une base de données qui va nous servir par la suite pour le traitement. La carte ainsi restituée correspond à la carte d’anomalies de Bouger avec une correction de 2,67 g/cm³ (Fig.3). Elle montre des anomalies positives et des anomalies négatives de tailles et d’intensités variables allant de 0 à -32 mGal. A partir de la carte d’anomalie de Bouger, nous avons calculé la carte d’anomalie résiduelle sur laquelle les filtres du prolongement vers le haut, du gradient horizontal et le calcul de la déconvolution ont été appliqués afin d’analyser la structure interne du bloc Bilma.

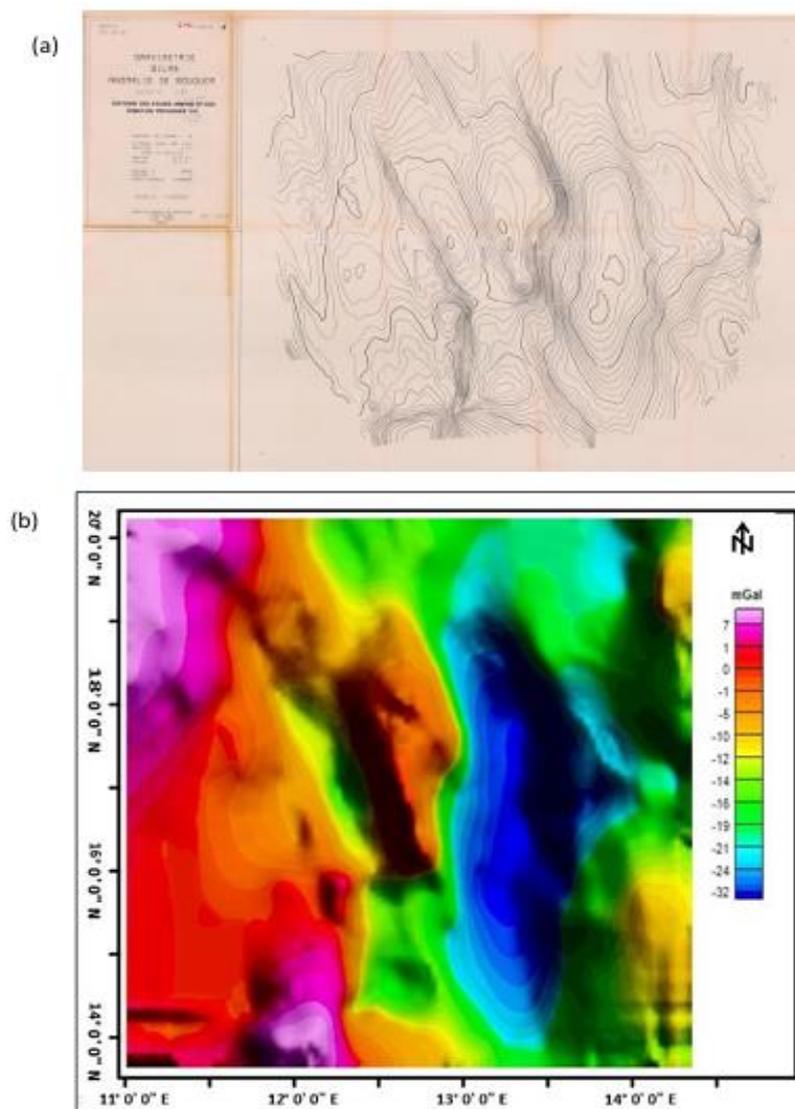


Fig. 3. (a) Carte initiale des isovaleurs des anomalies de Bouguer, (b) Carte des anomalies de Bouguer après digitalisation

3.2 METHODES

3.2.1 PROLONGEMENT VERS LE HAUT

Le prolongement vers le haut est une technique de filtrage qui consiste à calculer la forme et l'amplitude d'une anomalie sur une surface plus élevée que la surface d'observation et permet ainsi de comparer des données acquises à différentes altitudes [9]. Cette technique consiste donc à transformer le champ potentiel mesuré sur une surface en un champ qui serait mesuré sur une autre surface plus éloignée de toute source [10]. Le prolongement vers le haut permet ainsi de séparer une anomalie gravimétrique résultant de sources profondes à celle des sources moins profondes [11], [12]. Cette transformation met donc l'accent sur les sources profondes et atténue les anomalies en fonction de la longueur d'onde [13]. Afin d'étudier le comportement des anomalies gravimétriques de la zone d'étude, nous avons appliqué le prolongement vers le haut à la carte d'anomalie résiduelle aux altitudes 1000 m, 2000 m, 3000 m et 4000 m.

3.2.2 LE GRADIENT HORIZONTAL

La méthode gradient horizontal est considérée comme la technique la plus facile pour localiser les contacts géologiques car elle est basée sur le calcul des deux premières dérivées (x, y) du champ de gravité.

L'identification des maxima à partir de la grille des données a été introduite pour la première fois par Blakely et Simpson (1986) en utilisant la méthode décrite par [12] (Cordell et Grauch, 1982). Cette méthode suppose que les limites de densité peuvent être approximées comme des limites uniques, presque verticales [13] (Grauch et Cordell, 1987). Elle tend à avoir des maxima situés sur les bords du corps causal [13], [14]. Selon [15], les maxima de la méthode du gradient horizontal sont directement liés à la longueur du bord structural et à son contraste de densité. Le gradient horizontal est exprimé par la formule suivante:

$$GH = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \tag{1}$$

Où

g est la valeur du champ gravimétrique et $\partial x, \partial y$, les dérivées premières du champ gravimétrique g en x et y .

3.2.3 LE CALCUL DE LA DECONVOLUTION D'EULER

À l'origine, la déconvolution d'Euler a été développée en géophysique d'exploration pour estimer rapidement la localisation et la profondeur des sources magnétiques ou gravimétriques [16]. Cette méthode permet ainsi d'estimer la profondeur du corps de la source en utilisant trois gradients orthogonaux de n'importe quelle quantité potentielle [17]. Le choix a priori de l'indice structural (IS) a fait l'objet de nombreuses discussions dans la littérature car il est quelque peu arbitraire et les solutions obtenues dépendaient fortement de ce choix [17]. Ce choix est très important car un indice trop faible donne des profondeurs trop faibles et un indice trop élevé donne des estimations trop profondes [18]. Selon la méthodologie décrite par [19] et [18], l'équation d'homogénéité d'Euler exprimée par la formule suivante:

$$(x - x_0) \frac{\partial g}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial g}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial g}{\partial z} = \eta(\beta - g) \tag{2}$$

Où

x_0, y_0 sont les coordonnées horizontales du centroïde de la source et z_0 est la profondeur des sources mono ou dipolaires.

Les composantes du gradient $\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}$ and $\frac{\partial g}{\partial z}$, et sont les dérivées de premier ordre des anomalies de la gravité observées. La constante β est la valeur régionale du champ de gravité. La valeur η indique le IS de la gravité qui dépend de la géométrie de la source.

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 ANALYSE ET INTERPRETATION DES ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES

La carte des anomalies résiduelles (Fig.4) obtenue après soustraction des anomalies régionales, fait ressortir les principales anomalies gravimétriques qui reflètent la structure interne de la zone d'étude avec des valeurs comprises entre 14 mGal et -20 mGal. On distingue ainsi des zones d'anomalies positives et négatives (Tableau 1) dont leur allure reflète en général celle des structures géologiques superficielle et peu profondes. Elles reflètent également les variations latérales de la densité dans le sous-sol dues à des structures géologiques de dimension variable. Les anomalies négatives seraient dues à des épaissements locaux de la série sédimentaire engendrés par des dépressions du toit du socle précambrien. Ces anomalies négatives sont entourées par des anomalies positives correspondant à des zones de soulèvement du socle. Ainsi, les anomalies positives observées à l'est correspondent au socle de Djado. Les soles de Dibella et de Termit ouest apparaissent respectivement au sud et à l'ouest du bloc Bilma.

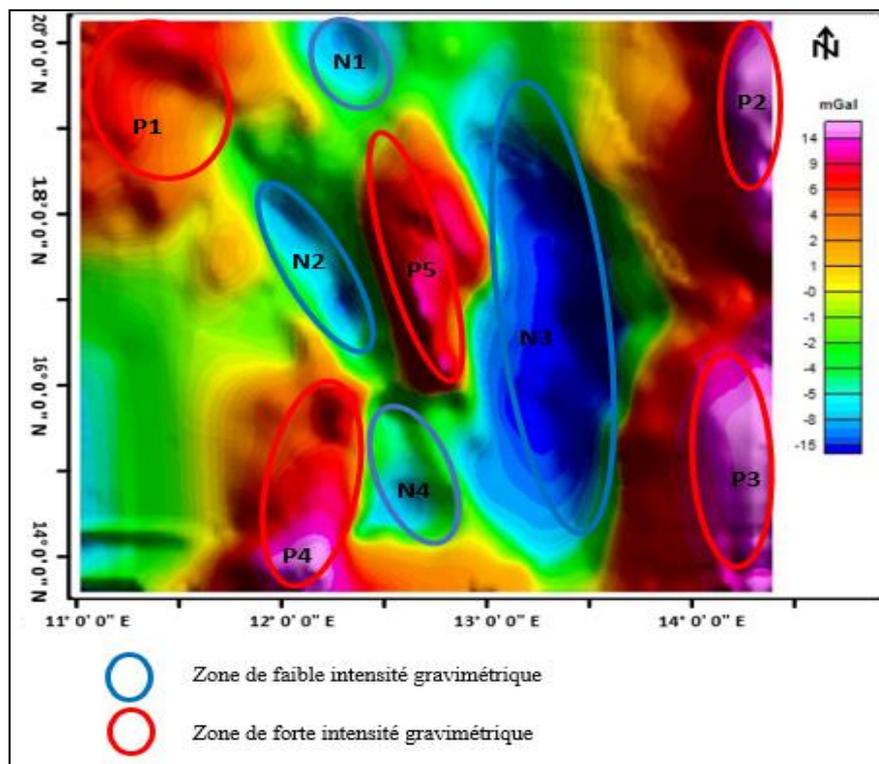


Fig. 4. Carte d'anomalie résiduelle

Tableau 1. Les principales anomalies gravimétriques du bloc Bilma

Anomalie	Direction	Longueur (km)
N1	NW-SE	48
N2	NW-SE	105
N3	N-S	250
N4	NW-SE	88
P1	NW-SE	86
P2	N-S	104
P3	N-S	127
P4	N-S	101
P5	NNW-SSE	118

Afin d'interpréter au mieux la signature gravimétrique de la couverture sédimentaire, nous avons tracé un profil AB orienté NW-SE sur la carte d'anomalie résiduelle (Fig.5). On y observe une courbe d'anomalie accidentée mettant en évidence plusieurs hauts et dépressions gravimétriques. On remarque la présence d'une inflexion de la courbe au NW où la valeur de l'anomalie décroît de 8 à -5 mGal sur la distance comprise entre 45 et 150 Km mettant en évidence un contraste de densité se rapprochant nettement de la signature gravimétrique d'une faille. A partir de 250 km, au centre du bloc, nous remarquons la présence d'un haut gravimétrique qui atteint 10 mGal. Nous observons ensuite une forte dépression gravimétrique avec une valeur qui atteint -18 mGal. Une telle dépression est une signature gravimétrique caractéristique d'un fossé. En effet, cette très longue anomalie négative peut très bien correspondre à un graben qui s'étendrait sur une distance considérable en coupant tout le Niger oriental.

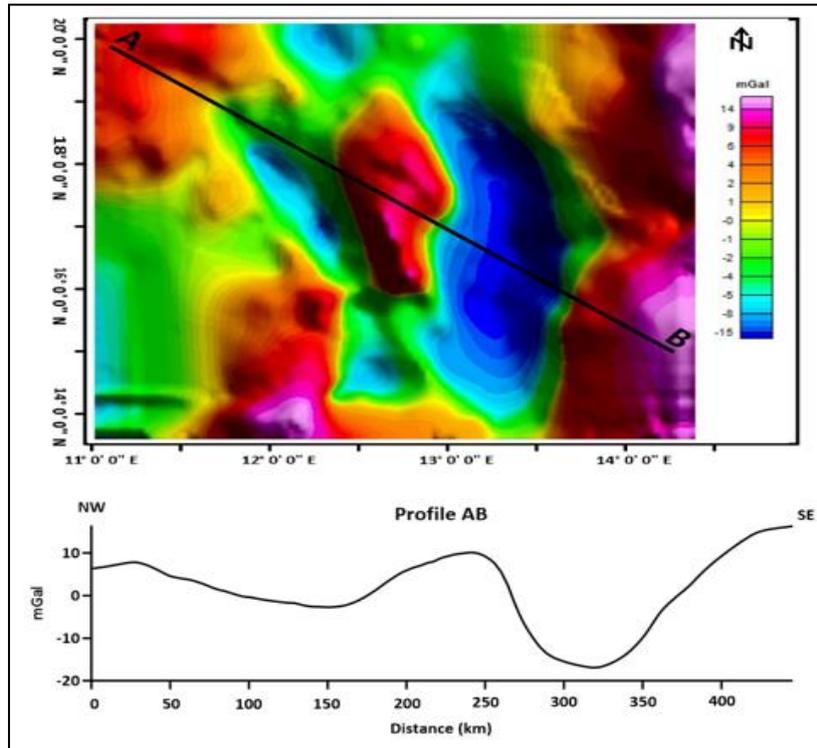


Fig. 5. rofil gravimétrique de la carte d'anomalie résiduelle

4.2 ANALYSE DES CARTES PROLONGEES VERS LE HAUT

Afin de mettre en évidence les sources gravimétriques profondes, un filtre dit prolongement vers le haut a été appliqué à la carte d'anomalie résiduelle. On part du principe que plus on prolonge les données gravimétriques vers le haut, plus on met en évidence des structures profondes. La procédure consiste donc à appliquer une série d'altitudes aux données gravimétriques pour observer le comportement des anomalies gravimétriques. Nous avons ainsi prolongé vers le haut la carte d'anomalie résiduelle aux altitudes 1000 m, 2000 m, 3000 m et 4000 m (Fig.6). On observe que plus on augmente l'altitude plus les anomalies négatives persistent. Cette résistance des anomalies négatives aux différentes altitudes de prolongement explique leur origine profonde. Par contre, les anomalies positives ont tendance à s'atténuer.

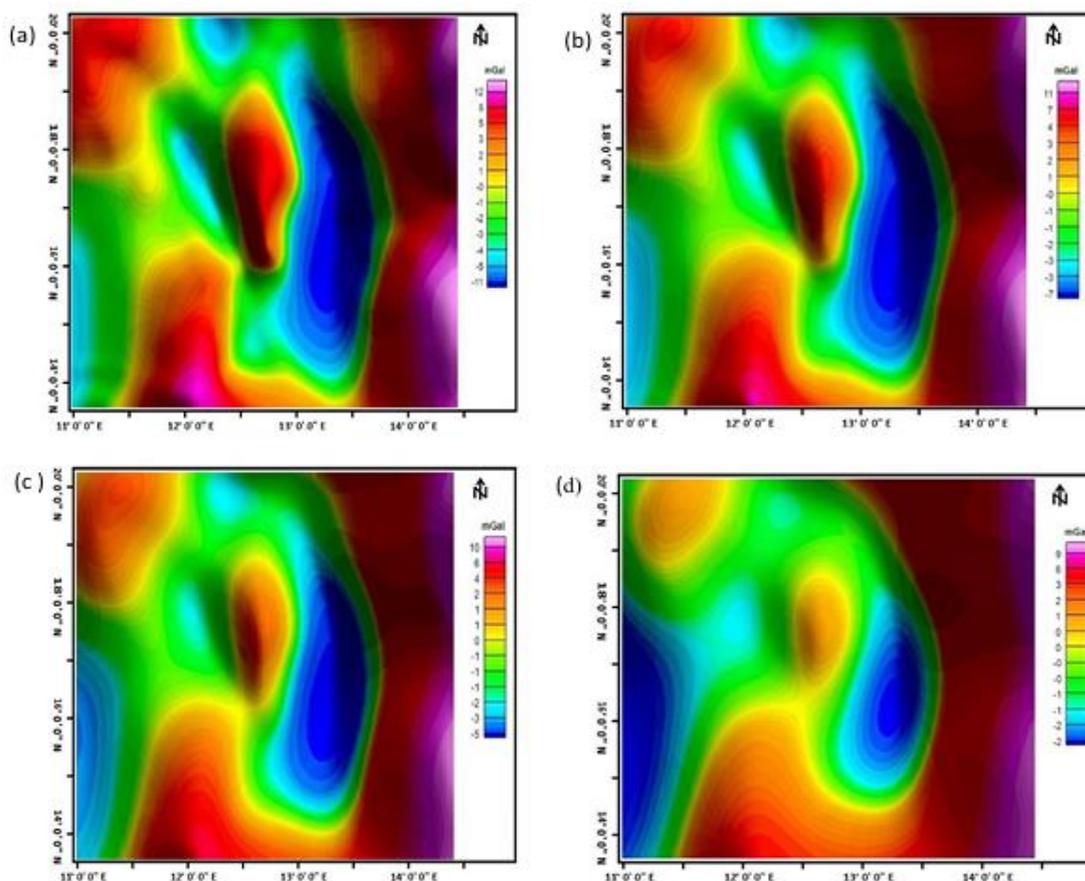


Fig. 6. Carte d'anomalie résiduelle prolongée vers le haut (a) 1000 m, (b) 2000 m, (c) 3000 m, (d) 4000 m

4.3 ANALYSE DES LINEAMENTS GRAVIMETRIQUES

L'application de la technique du gradient horizontal à la carte gravimétrique résiduelle nous a permis d'identifier et de mettre en évidence plusieurs linéaments gravimétriques. La figure 7 montre les différents linéaments gravimétriques. On y observe les directions suivantes: NW-SE, NNW-SSE, N-S, NNE-SSW et NE-SW. Nous remarquons que les linéaments orientés NW-SE sont prédominants par rapport aux autres linéaments. Cette orientation cadre parfaitement avec la direction structurale majeure de la zone d'étude.

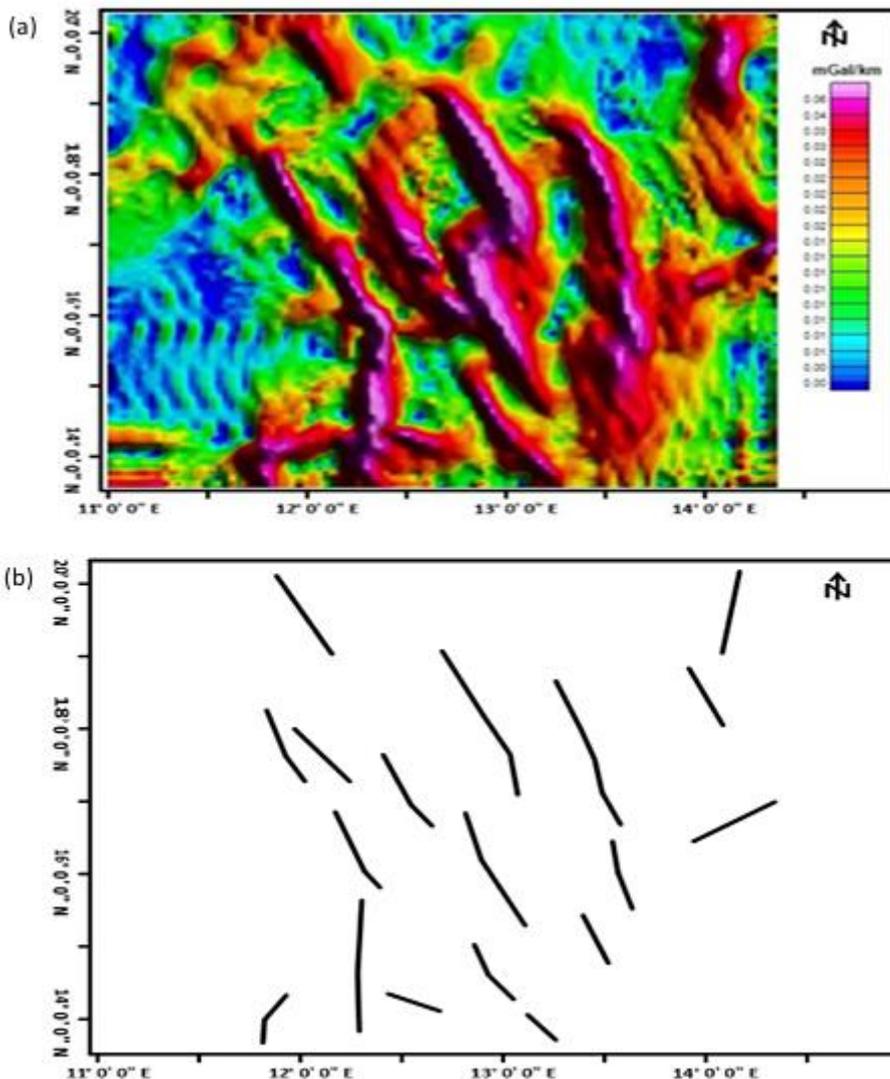


Fig. 7. (a) Carte du gradient horizontal, (b) la carte des linéaments gravimétriques

4.4 ESTIMATION DE LA PROFONDEUR DES SOURCES DE DENSITE

Pour déterminer les profondeurs des sources de densité, plusieurs étapes de filtrage ont été appliquées à la carte d’anomalie résiduelle. La première étape a consisté à déterminer les dérivées horizontales le long des axes x, y et z de ladite carte (Fig.8). Ensuite, la déconvolution d’Euler a été calculée pour déterminer la localisation et les profondeurs des sources de densité. Cependant, pour obtenir une meilleure estimation des profondeurs, les paramètres suivants ont été choisis: indice structural (IS) = 1, taille de la fenêtre = 10 et tolérance d’erreur = 5%. La carte de profondeurs obtenue (Fig.9) montre que les sources de densité ont des profondeurs variables. La profondeur des sources moins profondes est inférieure à 1 km. Elles sont localisées et représentées par les points rouge et jaune dans les parties est, sud-est et ouest de la zone d’étude. Ces zones correspondent aux zones où le socle est moins profond. En revanche, les sources les plus profondes, représentées par les points bleu et vert, occupent le reste de la zone d’étude avec des profondeurs qui dépassent 3 km. Ces zones sont caractérisées par un fort remplissage sédimentaire car elles constituent des zones de dépression. En plus, nous remarquons que les failles sont plus développées dans les zones où le socle est profond dans les zones où il est moins profond.

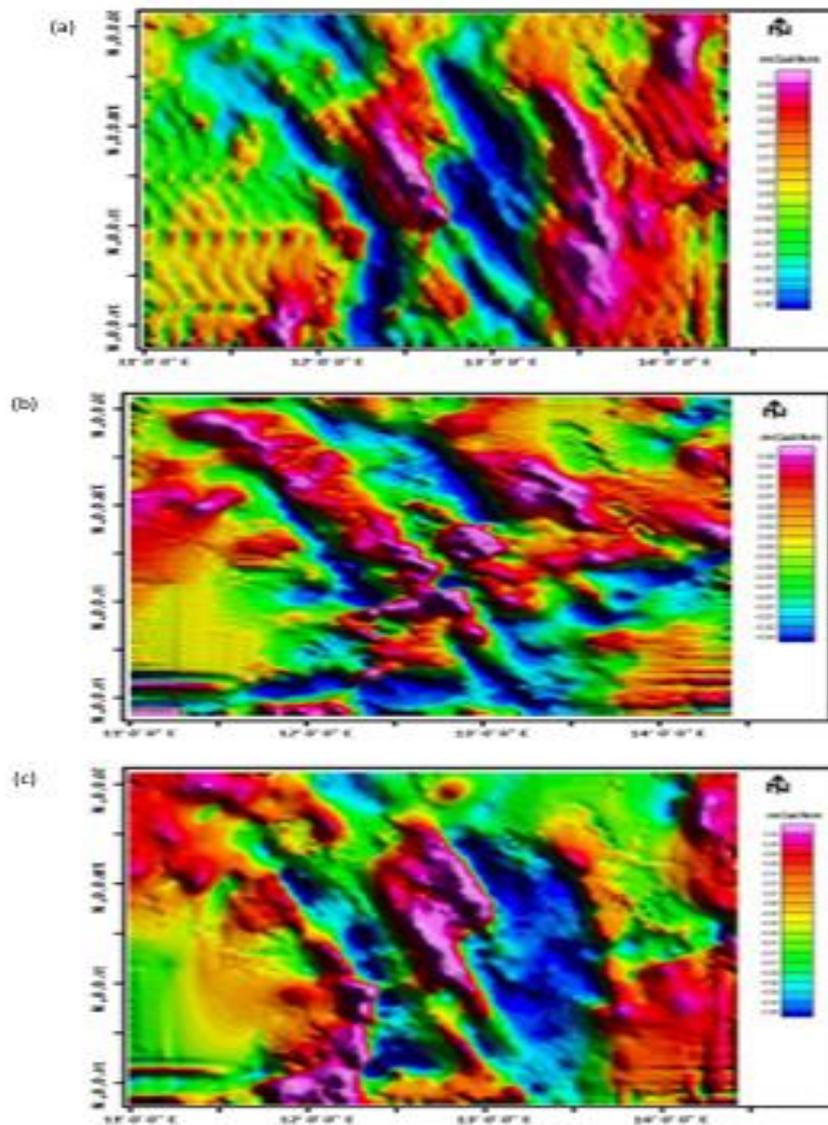


Fig. 8. Carte des dérivées x (a), y (b), z (c)

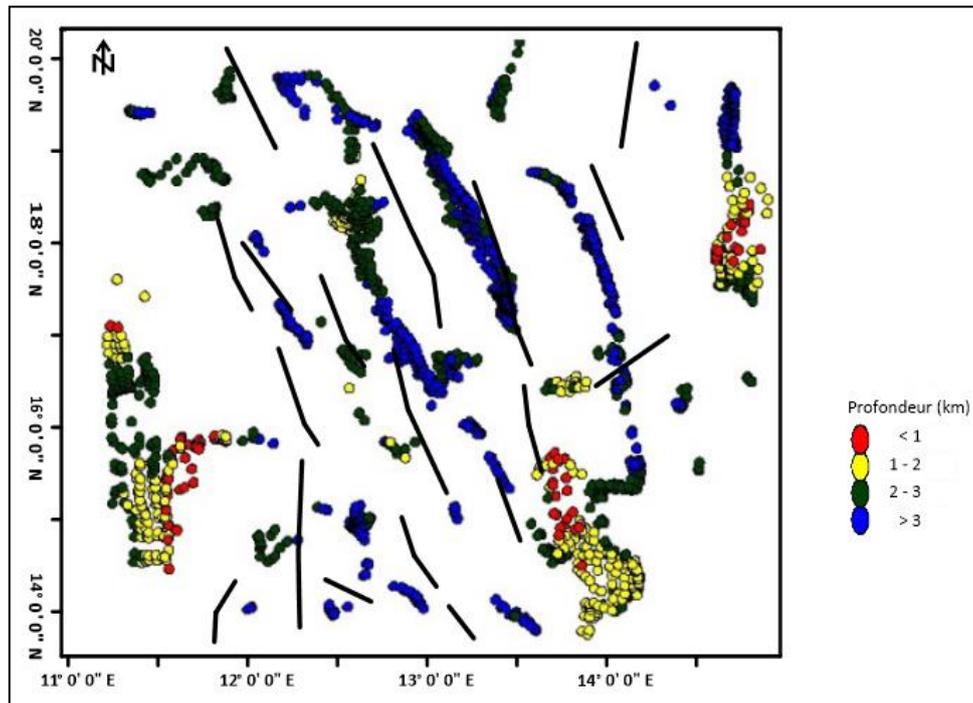


Fig. 9. Carte d'estimation des profondeurs des sources de densité superposé à la carte des linéaments gravimétriques

5 CONCLUSION

Le présent travail montre l'intérêt de la réinterprétation des anciennes données géophysiques en utilisant de nouvelles techniques d'analyses. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude contribuent à une meilleure connaissance de la structure du bloc Bilma. En effet, l'analyse de la carte gravimétrique de ce bloc par l'application de la méthode du gradient horizontal a permis de mettre en exergue des linéaments gravimétriques; il s'agit essentiellement de nouvelles failles mises en évidence. Le système de failles responsable de la structuration du bloc Bilma s'avère ainsi organisé selon trois principales familles de directions NW-SE, NNW-SSE et NE-SW. Le calcul de la déconvolution d'Euler nous a permis de localiser et d'estimer la profondeur des sources de densité. Ainsi, on remarque que la profondeur des sources les plus profondes dépasse les 3 km et celle des sources moins profondes est inférieure à 1 km. Ces résultats montrent que la méthode d'analyse utilisée constitue un excellent outil de reconnaissance des zones où les méthodes d'investigation directes sont limitées.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Ministère du Pétrole du Niger d'avoir mis à notre disposition les données utilisées dans le cadre de ce travail.

REFERENCES

- [1] Genik, G.J. (1992). Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic (C.A.R). *Tectonophysics*, 213 (1-2), 169–185.
- [2] Genik, G.J. (1993). Petroleum Geology of Cretaceous-Tertiary Rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic. *AAPG Bulletin*, 77 (8), 1405-1434.
- [3] Fairhead, J.D. (1988). Mesozoic plate tectonic reconstructions of the Central South Atlantic: the role of the West and Central African Rift System. *Tectonophysics*, 155 (1-4), 181–191.
- [4] Fairhead, J.D. & Green, M. (1989). Controls on rifting in Africa and the regional tectonic model for the Nigeria and East Niger rift basins. *Journal of African Earth Sciences*, 8 (2-4), 231-249.
- [5] Binks, R.M. & Fairhead, J.D. (1992). A plate tectonic setting for Mesozoic rifts of West and Central Africa. *Tectonophysics*, 213 (1-2), 141-151.
- [6] Louis, P. (1970). Contribution géophysique à la connaissance géologique du bassin du Lac-Tchad, Ed ORSTOM, Paris, pp 350.

- [7] Faure, H. (1966). Reconnaissance géologies des formations sédimentaires Post-Paléozoïques du Niger oriental, Mémoires BRGM, Paris, 47, pp 620.
- [8] BEICIP. (1991). Evaluation Pétrolière du Niger, Paris, pp145.
- [9] Dubois, J., Michel, D., Cogné, J.P. & Antoine, M. (2011). Géophysique Cours et exercices corrigés (5^e édition). Dunod, pp 350.
- [10] Blakely, R.J. & Simpson, R.W. (1986). Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51 (7), 1494-1498.
- [11] Jacobsen, B.H. (1987). A case for upward continuation as a standard separation filter for potential-field maps. *Geophysics*, 52 (8), 1138-1148.
- [12] Zeng, H., Xu, D. & Tan, H. (2007). A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China. *Geophysics*, 72 (4), A47-Z71.
- [13] Driss, E.A., Younès, G. & Christian, H. (2001). Contribution du géomagnétisme à l'étude géologique de la région d'Aguelmous (Est du massif hercynien central marocain). *PANGEA*, 35 (36), 59-66.
- [14] Cordell, L. & Grauch, V.J.S. (1982). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. *U.S. Geological Survey*, 181-197.
- [15] Grauch, V.J.S. & Cordell, L. (1987). Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data. *Geophysics*, 52 (1), 118-121.
- [16] Fairhead, J.D., Cooper, G.R.J. & Sander, S. (2017). Advances in Airborne Gravity and Magnetics. *Airborne Geophysics*, 113-127.
- [17] Grauch, V.J.S. & Hudson, M.R. (2007). Guides to understanding the aeromagnetic expression of faults in sedimentary basins: Lessons learned from the central Rio Grande rift, New Mexico. *Geosphere*, 3 (6), 596-623.
- [18] Kristofer, D., Yaoguo, L. & Nabighian, M.N. (2005). Automatic detection of UXO magnetic anomalies using extended Euler deconvolution. *SEG-Houston Annual Meeting*, 1133-1136.
- [19] Beiki, M. (2010). Analytic signals of gravity gradient tensor and their application to estimate source location. *Geophysics*, 75 (6), I59-I74.
- [20] Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. & Somerton, I.W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55 (1), 80-91.
- [21] Thompson, D.T. (1982) A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47 (1), 31-37.