

## APPLICATION DE LA DECONVOLUTION D'EULER (DE) ET TILT ANGLE (TA) AUX DONNEES AEROMAGNETIQUES DU TERRANE DE L'IN OUZZAL (HOGGAR OCCIDENTAL), ALGERIE.

Lakhdar Harrouchi<sup>1</sup> et Mohamed Hamoudi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Géologie du Sahara, FSNSTU/UKMO, BP.511, Ouargla, Algerie

<sup>2</sup>FSTGAT/USTHB, BP. 32, Bab Ezzouar, El Alia, Alger, Algerie

### RESUME :

La zone d'étude est située dans le Hoggar occidental, elle représente un terrane formé essentiellement de roches métamorphiques d'âge archéen. Constitue une exception dans le Hoggar du fait qu'il ne fut ni déformé, ni métamorphisé au panafricain en demeurant un bloc rigide et à un niveau structural peu profond depuis 2 Ga. D'un point de vue géophysique, cette zone d'étude reste assez mal connue. Les bordures de l'In Ouzzal avec les branches des structures panafricaines qui l'entourent, sont délimitées par deux accidents subverticaux, probablement lithosphériques. Les solutions d'Euler et la transformation de Tilt angle projetées sur la carte géologique indiquent qu'il existe un système de failles localisé au centre de notre zone d'étude (le long du parallèle 22°), ce système est orienté dans la direction NE-SW, avec une profondeur assez plus profonde. Ce système qui représente par un axe de couloir de failles importantes, sépare le terrane d'In Ouzzal en deux parties: la partie nord et sud ouzzalienne cette séparation nous conduit que la partie nord ouzzalienne se déplace probablement vers le NE et que la partie sud qui est la prolongement de l'Adrar des Iforas cette dernière interprétation confirme qu'à l'est du terrane d'In Ouzzal, le décrochement est dextre, tandis qu'à l'ouest, il s'agit plutôt d'un décrochement senestre

**MOTS CLEFS-** Déconvolution d'Euler, tilt angle, aéromagnétique, terrane d'In Ouzzal.

### I-INTRODUCTION

Les données aéromagnétiques du terrane de l'In Ouzzal (Ou), nous permettent d'établir une interprétation détaillée de cette région clef de la chaîne panafricaine. Dans ce présent travail, appliquer la déconvolution d'Euler (DE) et la transformation de Tilt angle à un modèle théorique dans le but d'avoir le bon choix des paramètres qui offrent une meilleure interprétation, avant leur application à un cas réel. La méthode analytique

(DE) est basée sur un procédé mathématique représenté par l'équation d'homogénéité d'Euler [9]. Les solutions de la déconvolution d'Euler dans le sens des moindres carrées en utilisant la résolution du problème inverse [7].

### II-METHODOLOGIE

#### 1. déconvolution d'euler (dE)

La méthode de la déconvolution d'Euler, appliquée aux données du champ de potentiel, permet de localiser les paramètres des sources locales, elle est basée sur un procédé mathématique représenté par l'équation d'homogénéité d'Euler [9].

Si on considère une source magnétique, située au point de coordonnées locales  $(x_0, y_0, z_0)$ , l'intensité du champ d'anomalies magnétiques  $T$  au point  $(x, y, z)$ , peut s'écrire:

$$T(x, y, z) = \frac{K}{\sqrt{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^N}} \quad (1)$$

Avec  $K$  est un paramètre indépendant de  $(x, y, z)$  et  $N$ ; indice structural, dans le cas des données magnétiques, [9] et [10] ont montré que  $N$  prend des valeurs de 0, 1, 2 et 3 ( $N=0$  pour un contact,  $N=1$  pour un dyke,  $N=2$  pour un cylindre horizontal ou vertical et  $N=3$  pour une sphère). D'après Reid [10]; l'équation d'homogénéité d'Euler de l'expression (1) est donnée sous la forme :

$$(x-x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y-y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z-z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B-T) \quad (2)$$

Où,  $B$  représente une constante locale qui caractérise le champ régional et  $(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}$  et  $\frac{\partial T}{\partial z})$

sont les dérivées de l'intensité du champ magnétique  $T$  selon les directions  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement. Le principe de la déconvolution d'Euler repose sur la résolution de l'équation précédente (2) qui comporte quatre inconnues ( $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  et  $B$ ). Pour résoudre un système d'équations à quatre inconnues, il faudra, au moins, quatre points de mesures. On considère une fenêtre carrée ( $w \times w = n$ ) sur les grilles des gradients et du champ. Cette

fenêtre donne un système de  $n$  équations linéaires. Donc on peut mettre l'équation (2) sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x_1} & \frac{\partial T}{\partial y_1} & \frac{\partial T}{\partial z_1} & N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial T}{\partial x_n} & \frac{\partial T}{\partial y_n} & \frac{\partial T}{\partial z_n} & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} + y_1 \frac{\partial T}{\partial y_1} + z_1 \frac{\partial T}{\partial z_1} + NT_1 \\ \vdots \\ x_n \frac{\partial T}{\partial x_n} + y_n \frac{\partial T}{\partial y_n} + z_n \frac{\partial T}{\partial z_n} + NT_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Nous pouvons représenter la matrice (3) par :

$$Am = d \quad (4)$$

On peut obtenir les solutions  $m$  du système d'équation (4) dans le sens des moindres carrés, en utilisant la matrice transposée  $A^T$  de  $A$  :

$$A^T A m = A^T d \quad (5)$$

Le procédé consiste donc à établir la matrice inverse  $(G^T G)^{-1}$  de  $G^T G$  (Menke, 1989) :

$$m = (G^T G)^{-1} G^T d \quad (6)$$

## 2. transformation de tilt angle (ta)

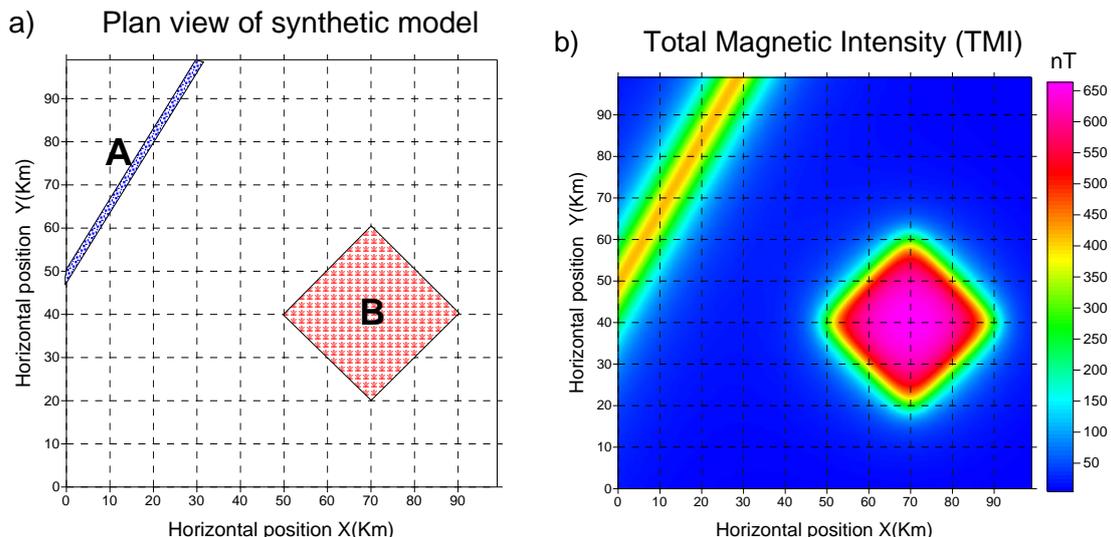
La transformation de Tilt angle (angle incliné) calcule l'inverse de la tangente du rapport du module des dérivées horizontales  $(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y})$  avec la

dérivée verticale  $(\frac{\partial T}{\partial z})$  de l'intensité du champ magnétique  $T$  selon les directions  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement [8] et [13], cette transformation s'écrit :

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}} \right] \quad (7)$$

## III- MODELE THEORIQUE

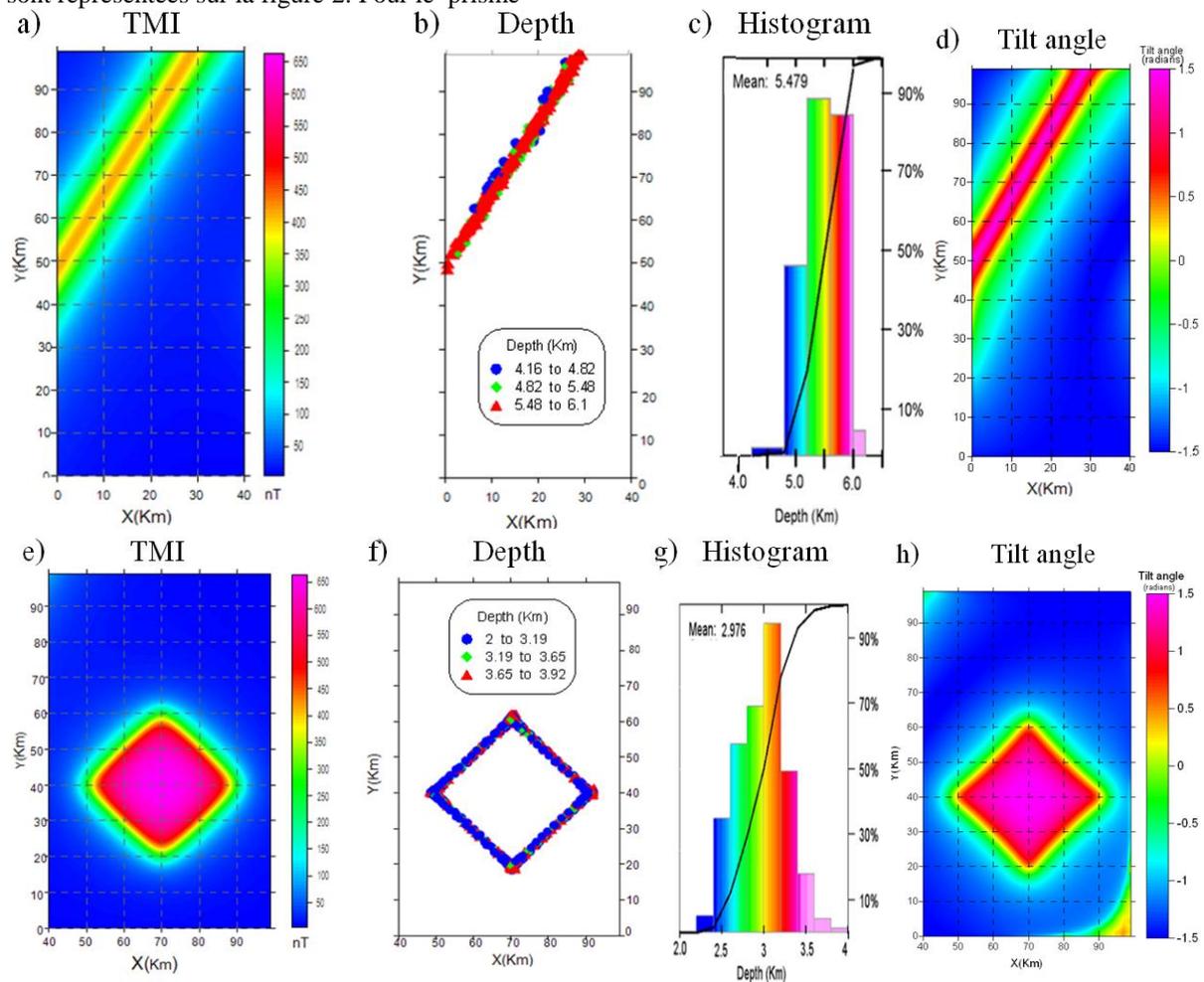
Les deux méthodes précédentes (*DE et TA*) ont été appliquées à un modèle théorique composé de deux sources à géométrie simple (Fig. 1. a): la première source est représentée par un prisme rectangulaire (A), ayant une profondeur de 3km et une extension en profondeur assez grande pour être considérée comme infinie, sa susceptibilité magnétique a été prise égale à 0.010uSI, la valeur de l'aimantation est de l'ordre de 1A/m. Cette source simule les contacts géologiques et les blocs tectoniques qui sont souvent rencontrés dans notre zone d'étude. La seconde source est représentée par un dyke vertical (B), ayant une profondeur de 5.5km et une très grande épaisseur. Elle admet une susceptibilité magnétique et aimantation de l'ordre de 0.015uSI et 3A/m respectivement. Cette source simule; les dykes, les accidents les systèmes de failles, . . . etc. Nous avons calculé la réponse magnétique TMI (Total Magnetic Intensity) de notre modèle théorique (Fig.1.b), en utilisant; la valeur de la déclinaison, de l'inclinaison et du champ magnétique total de l'ordre de 0°, 90° et 37000nT respectivement.



**Fig. 1** Model Théorique, (a) Localisation horizontale du modèle synthétique composé par un prisme rectangulaire (A) et un dyke vertical (B), (b) Réponse magnétique TMI (*Total Magnetic Intensity*),

Dans le présent travail, nous avons appliqué la déconvolution d'Euler avec les paramètres de calcul suivants: les deux valeurs de l'indice structural (0.25 et 1.25) pour le prisme rectangulaire (A) et le dyke vertical (B) respectivement, puisque les valeurs entières de l'indice structural (0 et 1) correspondent à des formes géométriques idéales qui, n'existent pas dans la nature [2]. Le calcul a été effectué en choisissant une fenêtre de dimensions  $W=11 \times 11$  et en fixant la tolérance à  $T=0.75$ . Les solutions correspondantes aux paramètres d'Euler sont représentées sur la figure 2. Pour le prisme

nous avons obtenu une profondeur moyenne de l'ordre de 2.976Km avec un standard de déviation (Sd) de l'ordre de 0.3089Km. Et une profondeur de l'ordre de 5.479Km, avec un standard de déviation (Sd) de l'ordre de 0.2925 Km pour le dyke., L'examen du résultat de solution fournit des estimations de profondeurs proches de leur valeur théorique proposée et produit un regroupement des solutions, meilleur.



**Fig.2** Application de la déconvolution d'Euler au modèle synthétique, (a) Réponse magnétique TMI (TotalMagneticIntensity) du dyke vertical, (b) Solution en dyke avec les paramètres d'Euler;  $N=1.25$ ,  $T=0.75$  et  $W=11 \times 11$ , (c) Histogramme des valeurs des solutions en dyke (Min= 4.149km, Max=6.189km, Moy=5.479 km, Sd=0.3089), (d) Tilt angle de la fig.a, (e) Réponse magnétique TMI (TotalMagneticIntensity) du prisme rectangulaire, (f) Solution en contact avec les paramètres d'Euler;  $N=0.25$ ,  $T=0.75$  et  $W=11 \times 11$ , (g) Histogramme des valeurs de solutions en contact (Min= 2.144km, Max=3.969km, Moy=2.976 km, Sd=0.2925). (h) Tilt angle de la fig.a,

#### IV-DONNEES REELLES

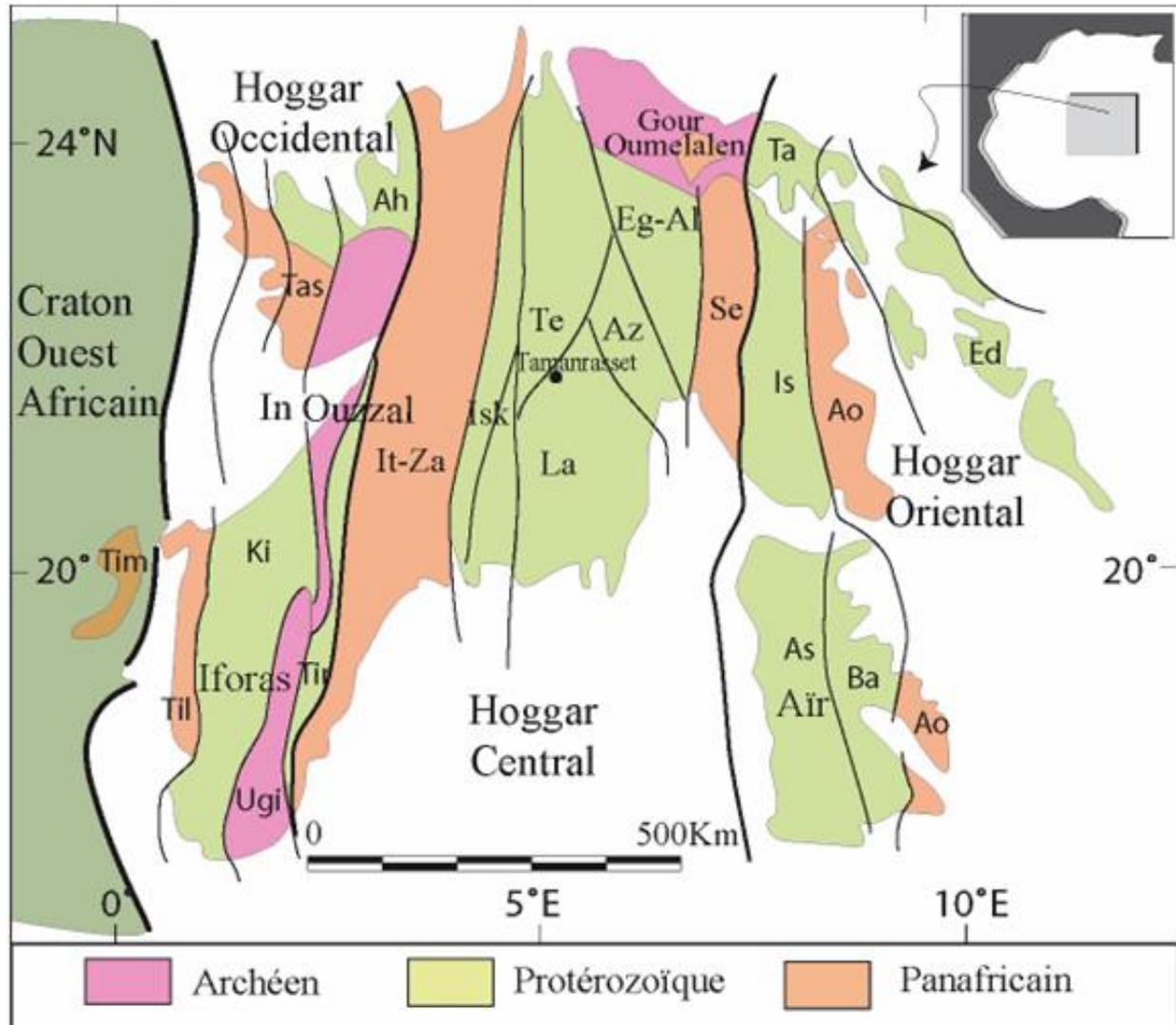
##### 1. contexte géologique

Le terrane granulitique de l'In Ouzzal (Ou) se situe au centre du Hoggar occidental. Il correspond à l'un des vingt-trois (23) terranes définis par [3] dans le bouclier touareg (Fig. 3). Il est caractérisé par des

terrains métamorphiques au panafricain. C'est un compartiment de 450Km de long en forme de coin, orienté Nord-Sud (Fig.4.a), large dans sa partie septentrionale d'environ 80 Km [5]. Il est pris entre les formations des rameaux pharusiens du Hoggar occidental et s'effiloche vers le Sud, relayé par l'Adrar des Iforas. Son équivalent méridional forme également un autre coin à point dirigé vers le Nord

et décalée vers l'Ouest par rapport à la pointe Sud du terrane d'In Ouzzal (Ou). La tectonique du terrane d'In Ouzzal (Ou), il a conclu que les structures les plus évidentes dans le Terrane (Ou), sont les plissements [5]. Le métamorphisme granulitique de haut grade estimé à 1000°C [12]. Les séries archéennes de notre zone d'étude sont constituées de deux formations : des charnockites :

ortho gneiss, de couleur jaune orangé à quartz gris violacé sont caractérisées par une fine foliation marquée par des minéraux ferromagnésiens, des métasédiments : sont composés des marbres quartzites à magnétite remarquable par une grande variété de granulites aluminos-magnésiennes avec ou sans saphirine[9].



**Fig. 3** Carte de situation du Hoggar et de sa subdivision en différents terranes d'après Black et al.,(1994) : Timétrine (Tim); Tilemsi (Til); Kidal (Ki); Tassendjanet (Tas); Iforas (Ugi); In Ouzzal (Ou); Ahnet (Ah); Tirek (Tir); In Teideni-Tin Zaoutene (It-Za); Iskel (Isk); Assodé (As); Issalane(Is); Tchilit (Tch); Tazat (Ta); Sérouenout (Se); Egéré-Aleksod (Eg-Al); Azrou-n-Fad (Az);Tefedest (Te);Laouni (La); Barghot (Ba);Aouzegueur (Ao); Edembo (Ed) Djanet (Dj)

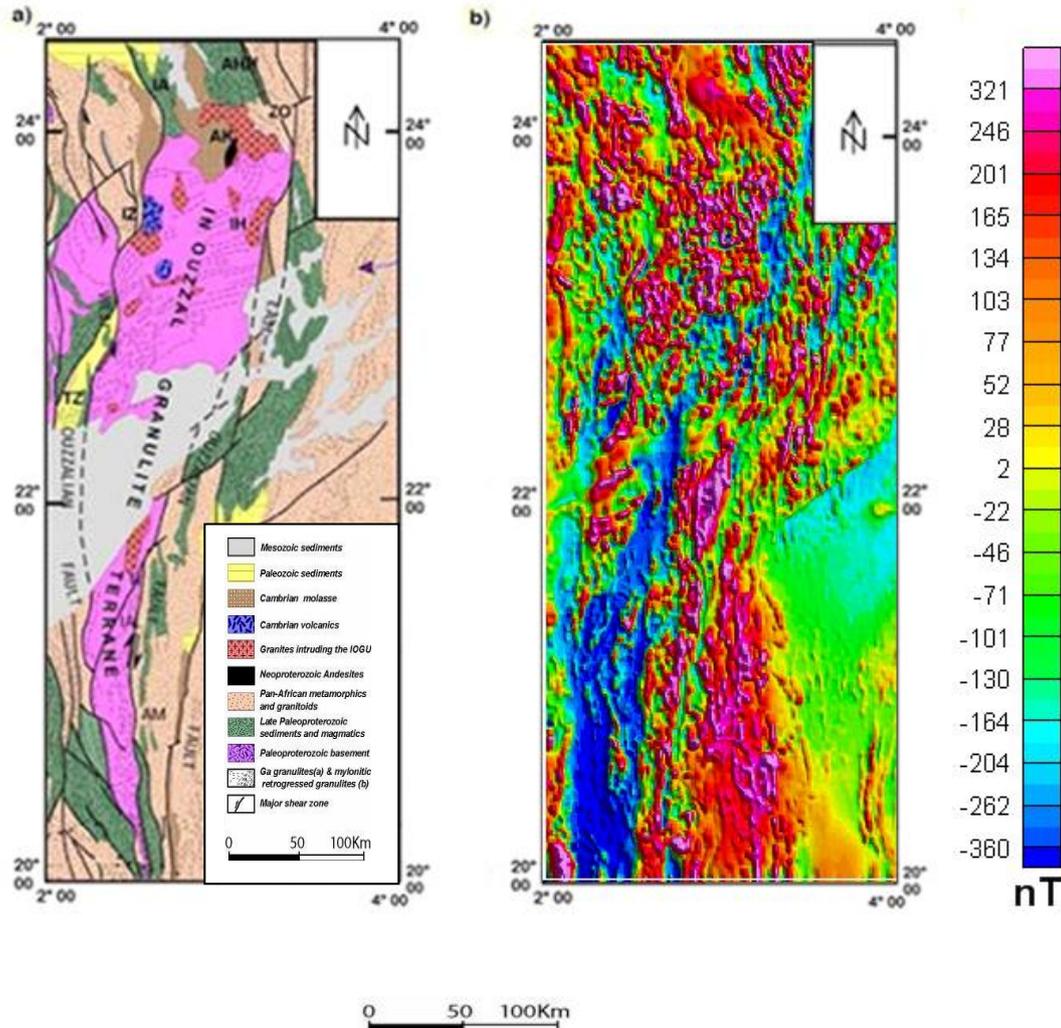
#### DONNEES AEROMAGNETIQUES

La figure 4.b, représente le champ d'anomalies magnétiques réduites au pôle de l'In Ouzzal et des terranes limitrophes, font partie des résultats d'un levé aérogéophysique couvrant tout le territoire algérien et ont été effectuées selon des lignes d'orientation perpendiculaire aux structure géologique régionales, entre les années 1969-74 par la société Aéroservice corporation, ce levé a pour

but de donner des informations sur la géologie régionale du Pays et les possibilités de prospection minière et pétrolière. Les caractéristiques du levé aéromagnétiques de la région d'étude sont: La direction des lignes de vol est Est-Ouest. L'espacement de ces lignes est 2Km. Les lignes de raccords exécutées perpendiculairement aux lignes de vols, sont espacées de 40Km. L'espacement ente les points de mesures est de 46.2m. L'altitude de prospection est de 150m par rapport au sol [1].

Afin d'estimer un niveau de référence le plus correcte possible pour les anomalies du champ magnétique, nous avons calculé une surface polynomiale de faible degré. Cette surface a été ensuite soustraite aux données Aéroservice original et ce pour calculer les anomalies magnétiques

résiduelles. A partir cette dernière carte, nous avons calculé la carte du champ d'anomalies magnétiques réduite au pôle (Fig.4.b). La réduction au pôle a été réalisée avec les éléments du champ géomagnétique à l'époque 1975 est correspondant au point central de la région d'étude.

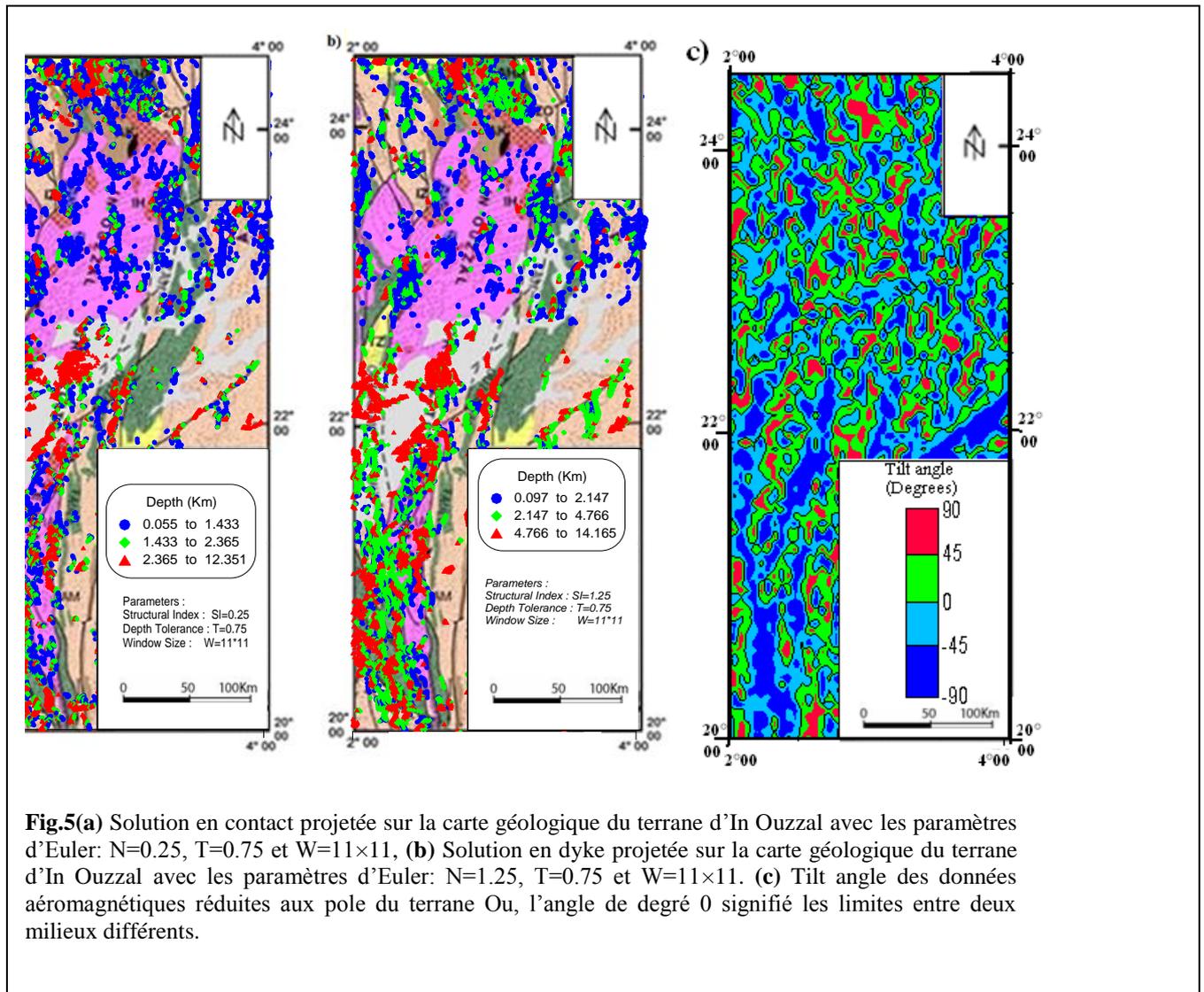


**Fig.4** Corrélation entre la carte géologique et les données aéromagnétiques du terrane d'In Ouzal. (a) Carte géologique (Caby., 1996). (b) Carte du champ d'anomalie réduite au pôle

### RESULTATS OBTENUS

Les deux méthodes précédentes (DE et TA) sont sensibles au bruit, car elles sont basées sur les dérivées de l'anomalie magnétique qui, malheureusement, amplifie les bruits de courtes longueurs d'ondes. Dans le cas présent, nous avons appliqué le filtre de prolongement vers le haut à

0.5Km aux données des anomalies magnétiques réduites aux pôles (Fig.4.b) et ce pour supprimer les bruits de courtes longueurs d'ondes qui affectent les anomalies.



**Fig.5(a)** Solution en contact projetée sur la carte géologique du terrane d’In Ouzzal avec les paramètres d’Euler:  $N=0.25$ ,  $T=0.75$  et  $W=11 \times 11$ , **(b)** Solution en dyke projetée sur la carte géologique du terrane d’In Ouzzal avec les paramètres d’Euler:  $N=1.25$ ,  $T=0.75$  et  $W=11 \times 11$ . **(c)** Tilt angle des données aéromagnétiques réduites aux pôle du terrane Ou, l’angle de degré 0 signifié les limites entre deux milieux différents.

La figure 5 représente les solutions d’Euler, projetées sur la carte géologique du terrane d’In Ouzzal, elle montre une parfaite concordance des positions des solutions d’Euler avec les anomalies des courtes et grandes longueurs d’ondes liées aux différents accidents tectoniques et formations lithologiques. Dans cette étude nous avons calculé deux types de solutions (contact et dyke), en utilisant les paramètres d’Euler de calcul (Fig5.a) et Fig5.b)

**Solution en contact (Fig.5.a):** le contact lithologique entre le terrane d’In Ouzzal et le fossé pharusien coïncide avec les solutions de moyennes profondeurs (2–4Km). La limite occidentale de l’In Ouzzal (Ou) avec le terrane de Tassendjanet (Tas) a des solutions de grandes profondeurs (plus de 6Km); probablement est une zone de subduction. Des solutions localisées au Nord-Est de l’In Ouzzal sont limitée par le terrane de l’Ahnet (Ah), elles caractérisées par une structure très profonde qui correspond à des granites panafricains.

Des solutions sont regroupées au niveau du contact entre le socle cristallin et la couverture sédimentaire, et aussi au niveau des formations volcaniques à l’ouest de la région centrale de l’In Ouzzal, dues probablement aux sources magnétiques profondes. Le centre de la partie Nord a été caractérisé par l’absence presque, des solutions d’Euler, due à l’absence d’importantes anomalies magnétiques dans cette zone.

**Solution en dyke (Fig.5.b):** on remarque une forte ressemblance entre les ensembles de solutions et les différents linéaments selon les directions NS et NE-SW.

A l’Est, la limite du terrane (Ou) est bien mise en évidence par le regroupement des solutions de faible et moyenne profondeur de direction NS dans la partie nord, et NE- SW dans sa partie sud du terrane d’In Ouzzal. Des formes de petits segment, liées aux contacts tectoniques sont localisée dans les zones NW et SW caractérisées généralement par des faibles profondeurs.

A l’Ouest de la région centrale (le long du

parallèle 22°), un ensemble des olutions moyennes profondes, sous forme d'arc caractérise le contact entre le fossé pharusien et le terrane d'In Ouzzal.

Au centre du terrane d'In Ouzzal (le long du parallèle 22°); nous remarquons qu'il existe un système de failles orienté dans la direction NE-SW, avec une profondeur assez plus profond (plus de 10km). L'interprétation de ce système probablement à l'existence d'une zone de distension (fitting) supposée, le long de laquelle a été mis en place le complexe volcanique composé de formations basaltiques tertiaires.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'application de la méthode analytique de la déconvolution d'Euler et de tilt angle aux données aéromagnétique du terrane d'In Ouzzal nous conduite des résultats très intéressants pour cartographie géologiques. aux résultats suivants : Dans la partie centrale d'in Ouzzal existence un système de failles orientées dans la direction NE-SW assez plus profond aux dessous de la couverture paléozoïque. Ce système sépare le terrane d'In Ouzzal en deux parties : cette dernière interprétation confirme qu'à l'est du terrane d'In Ouzzal, le décrochement est dextre, tandis qu'à l'ouest, il s'agit plutôt d'un décrochement senestre. d'après la méthode de TA, les bordures de l'In Ouzzal avec les branches des structures panafricaines qui l'entourent, sont délimitées par deux accidents subverticaux, probablement lithosphériques. Elles sont très claire dans la partie sud qu'à la partie nord.

## REFERENCE

- [1] *Aeroservice, 1975, Aero-magneto-spectrometric survey of Algeria, Final report, 3 volumes, Houston, Philadelphia*
- [2] *Barbosa, V.C.F., B. C. Joao and W.E. Medeiros, 1999. Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler déconvolution: Geophysics, 64: 48-60. Blackely, R. J., 1995, Potential theory in gravity and magnetic applications, Ambridge University Press, 441p.*
- [3] *Black, R., Latouche, L., Liégeois, J. P., Caby, R., and Bertrand, J.M., 1994, Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara), Geology, 22: 641-644.*
- [4] *Caby, R., Bertrand, J. M. L., and Black, R., 1981, Pan-African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, central Sahara. in Kroner A (ed) Precambrian Plate Tectonics, Elsevier, Amst. 407-434.*
- [5] *Haddoum, H., 1992, Etude structurale des terrains archéens du Môle In-Ouzzal (Hoggar occidental, Algérie), Thèse d'état (USTHB, Alger), 214 p.*
- [6] *Geosoft LTD, 1993, Magmap, 2-D frequency domain processing. GEO/FX, Toronto, 32p.*
- [7] *Menke, W, 1989, Geophysical data analysis: Discrete inverse theory: Academic Press Inc.*
- [8] *Miller, H. G., and V. Singh, 1994, Potential field tilt —A new concept for location of potential field sources: Journal of Applied Geophysics, 32, 213–217*
- [9] *Thompson, D. T. 1982, EULDEPTH: A new technique for making computer-assisted depth from magnetic data: Geophysics, 47, 3 1-37.*
- [10] *Reid, A. B., Allsop, J.M. Granser, H., Millett, A. J., and Somerton, I. W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution: Geophysics, 55, 80-90.*
- [11] *Ouzegane, K., 1987, Les granulites Al-Mg et les carbonatites de la série de l'In Ouzzal, NO du Hoggar, Algérie. Thèse d'Etat. Université de Paris VI, 265p.*
- [12] *Ouzegane, K., Boumaza, S., 1996, An example of ultra-hightemperature metamorphism : orthopyroxene-sillimnite, -garnet, sapphirine-quartz and spinel-quartz parageneses in Al-Mg granulites from In Hahaou, In Ouzzal, Hoggar, Journal of Metamorphic Geology, 14: 693-708*
- [13] *Verduzco, B., J.D. Fairhead, C. M. Green, and C. MacKenzie, 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping: The Leading Edge, 23, 116–119*