

# Apport de la cartographie aéromagnétique à l'identification structurale du système aquifère des sources de l'oasis de Figuig (Maroc)

Mounir AMAR<sup>1\*</sup>, Ahmed MANAR<sup>2</sup> & Mustapha BOUALOUL<sup>1</sup>

1. Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de Géologie Meknès  
e-mail: mounir.amar@gmail.com; boualoul@yahoo.fr

2. Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Direction du développement minier. e-mail : a2manar@yahoo.fr

---

**Résumé.** La carte du champ magnétique résiduel du Haut Atlas oriental montre d'importantes anomalies. L'application de la réduction au pôle à cette carte et l'application de la transformation de l'angle d'inclinaison puis le calcul de la Déconvolution Euler pour la détection des failles, a permis d'améliorer les connaissances sur la structure du système aquifère des sources de l'oasis de Figuig. En effet, la plus importante partie de ce système aquifère est contenue dans les terrains de la couverture mésozoïque.

**Mots clés :** champ magnétique, Haut Atlas oriental, déconvolution Euler, source de l'oasis de Figuig, couverture mésozoïque.

**Contribution of the airborne aeromagnetic mapping to the structural identification of the aquifer system of the oasis' springs of Figuig, Morocco.**

**Abstract** The residual magnetic field map of the Eastern High Atlas shows significant anomalies. Applying the reduction to pole on this map and applying the Tilt angle transformation then the calculation of Euler Deconvolution for the detection of faults, allowed us to improve our knowledge on the structure of the aquifer system of the oasis springs of Figuig. Indeed, the most important part of this aquifer is encompassed by the land of the Mesozoic cover.

**Key words:** Residual magnetic field, Eastern High Atlas, Euler Deconvolution, oasis's springs of Figuig, Mesozoic cover.

---

## INTRODUCTION

Depuis les années 1960, le Haut Atlas oriental a fait l'objet de nombreuses prospections par diverses méthodes géophysiques : électriques, aéromagnétiques et de sismique réflexion. Celle réalisée par la Direction de Recherche et de la Planification de l'Eau (D.R.P.E. 2005) dans la plaine de Tisserfine, située à 5 km à l'Ouest de la ville de Figuig, a montré que les formations jurassiques pouvaient atteindre plus de 3000 m de puissance et que le toit des formations du Lias inférieur se trouvait à une profondeur supérieure à 1500 m, sachant que les formations du Lias renferment le réservoir le plus important du système aquifère du Haut Atlas oriental.

Dans le but d'améliorer les connaissances sur la structure géologique profonde du système aquifère du Haut Atlas oriental, nous avons procédé à la réinterprétation des données aéromagnétiques de l'ancienne campagne géophysique réalisée par la Direction des Mines, de la Géologie et de l'Energie (D.M.G.E) entre 1976 et 1978, en utilisant une diversité de procédés de traitement des données.

## CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La zone d'étude fait partie du Haut Atlas oriental, situé à l'extrémité Sud-Est du Maroc (Fig. 1). Elle inclut deux plaines séparées par des affleurements de formations du

Trias (Fig. 1) : la plaine de Tamlelt à l'Ouest et la plaine de Figuig à l'Est.

Le bassin à l'aplomb de la plaine de Tamlelt a enregistré au Paléozoïque le dépôt de puissantes séries de calcaires au Cambrien et de grès et de conglomérats, en particulier à l'Ordovicien. Les formations du Jurassique reposent en discordance majeure sur celles du Paléozoïque de la plaine de Tamlelt, et consistent en de puissantes séries de dolomies massives et de calcaires rythmés dans la plaine de Figuig.

Sur le plan structural, le Haut Atlas oriental est affecté par des accidents à jeu polyphasé (Du Dresnay 1966, El Kochri 1996, Houari 2003). Depuis le Jurassique, il a connu des phases extensives de directions d'allongement NNE-SSW et NE-SW, qui ont engendré une intense dislocation des dolomies et calcaires jurassiques. La phase compressive tertiaire qui est à l'origine de la surrection de toute la chaîne du Haut Atlas a réactivé les accidents majeurs qui ont rejoué en failles inverses, et par endroits en failles transcurrentes comme les accidents affectant la plaine de Tamlelt.

L'étude hydrogéologique de la région de Figuig a commencé par des notes d'observation réalisées au début du siècle. En 1917, Gautier a retracé l'histoire de Tzadert, la source la plus importante de Figuig, en discutant l'origine de ses eaux, considérées à l'époque comme thermales. L'origine profonde et l'artésianisme léger

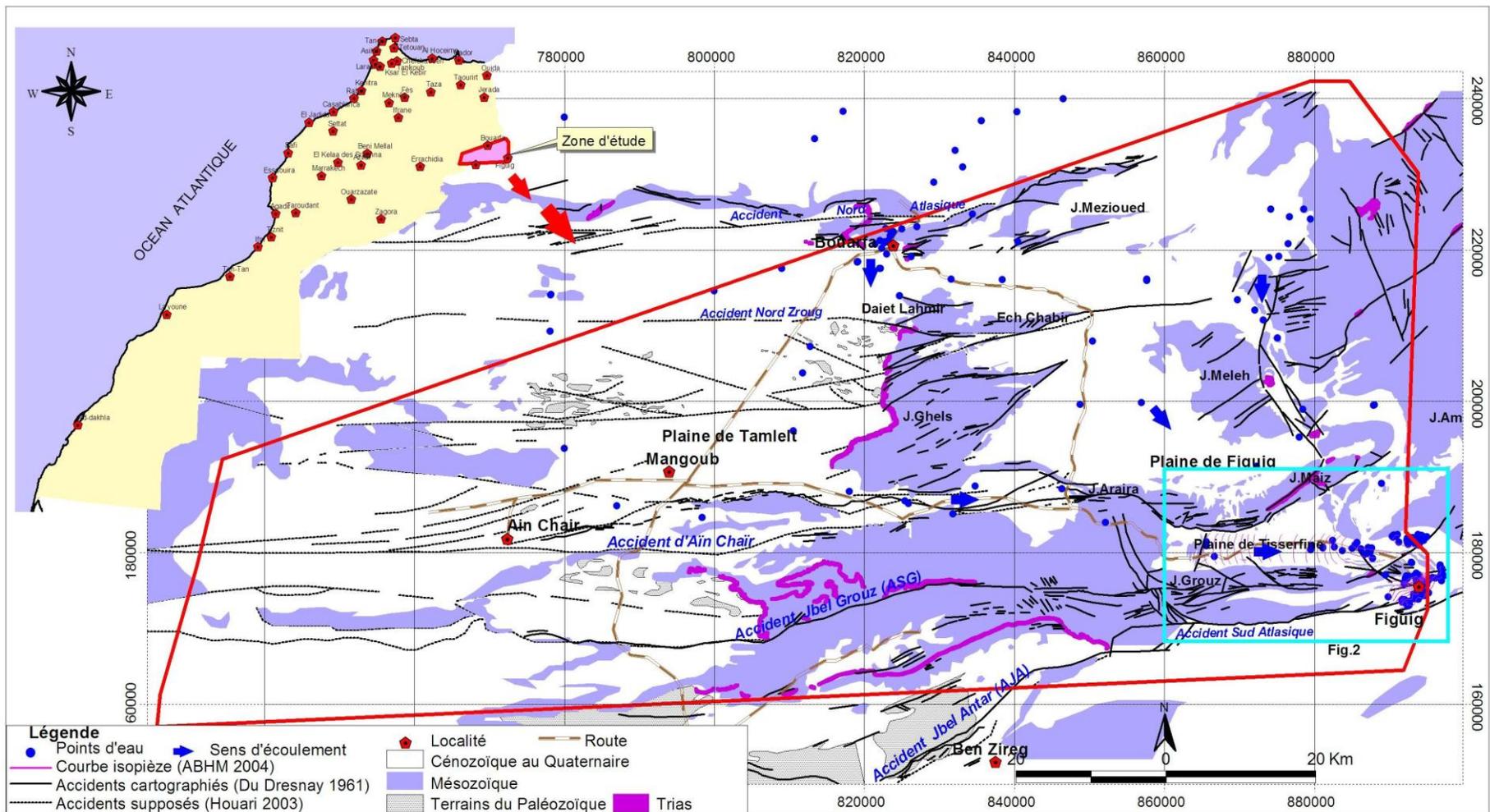


Figure 1. Situation géographique, géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.

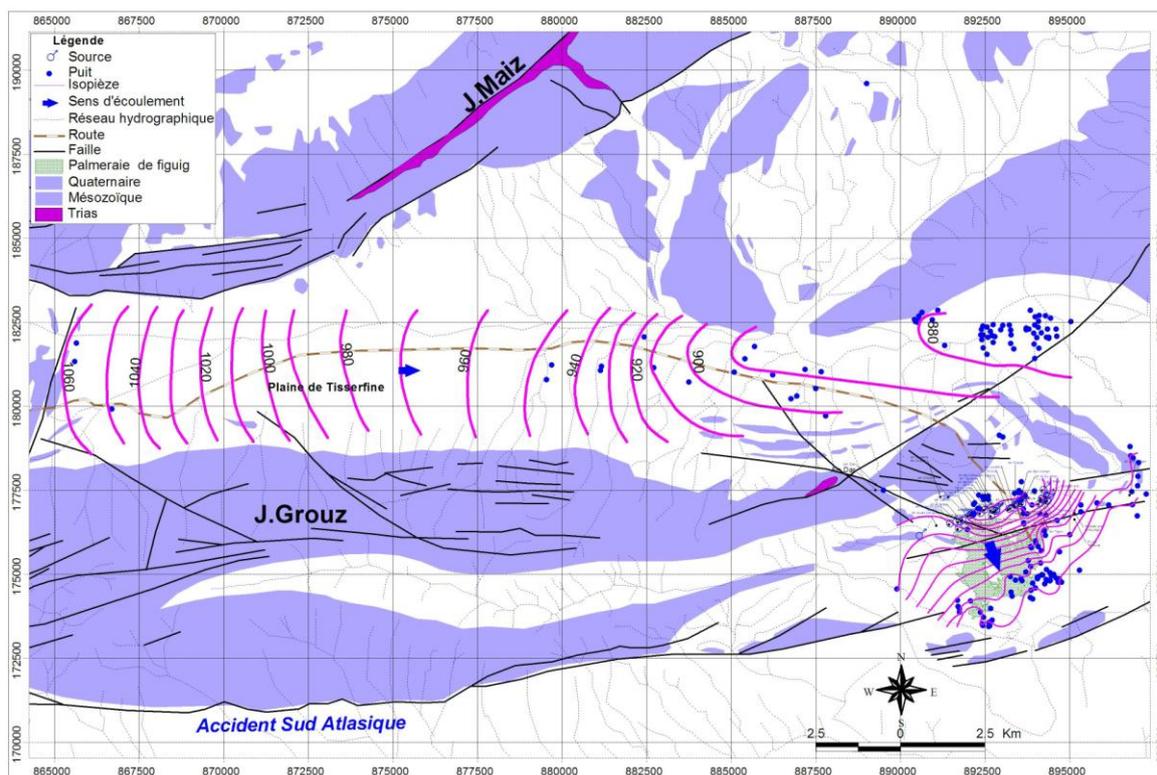


Figure 2. Carte piézométrique (ABHM 2004).

de cette source sont suggérés par la température élevée de l'eau, qui atteint 31°C. Les études plus récentes ont montré que le processus de circulation de ces eaux profondes est contrôlé par des structures tectoniques régionales (Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya ; A.B.H.M. 2004).

Si à l'échelle du Haut Atlas oriental aucune carte piézométrique n'a été établie jusqu'à présent, dans la plaine de Tisserfine et dans l'oasis de Figuig, la carte piézométrique la plus récente a été établie en décembre 2004 par l'A.B.H.M. ; elle montre, dans l'ensemble, un écoulement de l'Ouest vers l'Est et du NNW vers le SSE. La comparaison des niveaux piézométriques de quelques forages profonds à l'échelle du Haut Atlas oriental montre la dominance des sens d'écoulement N-S, NW-SE et W-E (Fig. 2).

Malgré la difficulté à pouvoir situer dans le temps le point de départ précis des sources de Figuig, on peut supposer que dans une situation originelle remontant à plusieurs siècles, l'eau sortait directement en surface par le biais d'un artésianisme naturel (Bencherifa & Popp 1992). L'abondance et la régularité du débit (180 l/s selon A.B.H.M. 2004) suggèrent une alimentation à partir d'aquifères étendus, qui constituent un système hydrogéologique dont on ignorait jusqu'à présent le mode de fonctionnement. La contribution de l'interprétation des données aéromagnétiques à l'étude de ce système hydrogéologique vise le repérage des contacts et des accidents tectoniques. Ces éléments structuraux peuvent se comporter comme un conducteur ou constituer une barrière vis-à-vis de l'hydrodynamisme souterrain.

## APPORT DE LA CARTOGRAPHIE MAGNETIQUE

Le Haut Atlas oriental est formé de roches à susceptibilité magnétique variable, **en particulier** celles qui constituent le socle paléozoïque affleurant dans la plaine de Tamlelt et la couverture mésozoïque de la plaine de Figuig. L'identification structurale du système aquifère des sources de l'oasis de Figuig **est basée sur** la réinterprétation des cartes du champ magnétique résiduel, mises à notre disposition par le Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement.

## Données aéromagnétiques

Dans le cadre d'un levé aéromagnétique du Haut Atlas, de l'Anti-Atlas et des zones environnantes du Sud du Maroc, réalisé par la D.M.G.E de 1976 à 1978, le Haut Atlas oriental a été couvert par 50 lignes de vol de direction NW-SE, espacées de 3,5 à 4 km et de 11 traverses de direction NE-SW de 10 à 15 km d'espacement (Fig. 3), à une altitude **barométrique** de vol de 2600 m. L'avion était équipé d'un magnétomètre Geometrics G.803 à précession de protons donnant une mesure du champ magnétique total. Les données disponibles sont sous forme des cartes du champ magnétique résiduel au 1/100.000.

La base de données issue de ces cartes nous a permis la réalisation de la carte du champ magnétique résiduel. Cette carte a été réduite au pôle en utilisant la transformée de Fourier (Inclinaison= 45,47 ; Déclinaison= 5,41 W). Les traitements ont été effectués à l'aide de filtres et

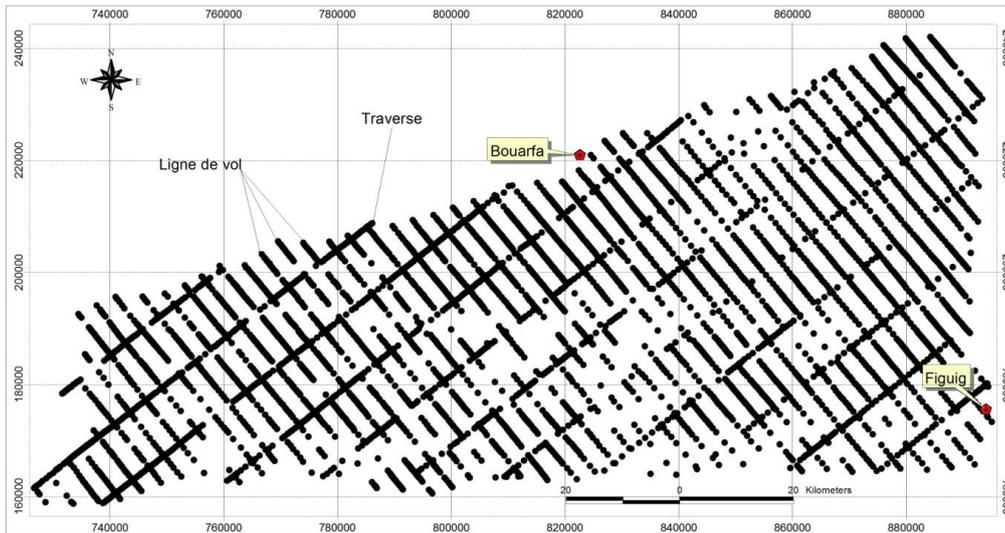


Figure 3. Carte des points d'intersection de courbes isogammes avec des lignes de vol et les traverses dans le Haut Atlas oriental.

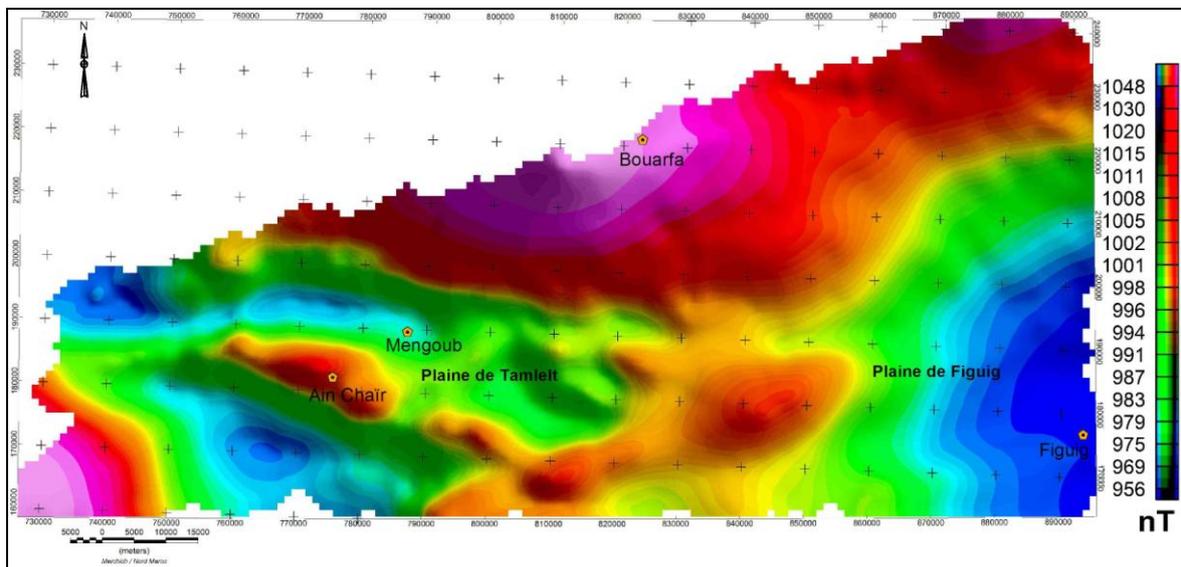


Figure 4. Carte du champ magnétique résiduel.

d'opérateurs à base mathématique par le logiciel Oasis Montaj. Ainsi, l'application de la transformation de Tilt angle nous a permis de mettre en évidence toutes les structures profondes de faible et de forte amplitude. Le calcul de la Déconvolution Euler, en appliquant l'indice structural « 1 », a permis de mettre en évidence des failles en profondeur et de suivre leur connexion avec les failles affectant la couverture conformément aux travaux de Vanié *et al.* (2005), Vanié *et al.* (2006), El Gout *et al.* (2009) et Abderbi & Khattach (2010).

#### Carte du champ magnétique résiduel et réduction au pôle

La carte du champ magnétique résiduel (Fig. 4) montre des anomalies allongées suivant la direction E-W et NE-SW. La réduction au pôle (Baranov 1957) montre au niveau

de la plaine de Tamlelt une importante anomalie allongée suivant la direction E-W puis suivant la direction NW-SE (Fig. 5). Les valeurs du champ magnétique s'échelonnent de 1030 à 1040 nT. A ce niveau, la boutonnière de Tamlelt montre en affleurement des formations du Paléozoïque. Dans la plaine de Figuig, on enregistre une diminution des valeurs du champ magnétique jusqu'à 940 nT, dominant toute la partie Est avec une persistance de la déviation sensible qui apparaît selon la direction ENE-WSW à l'aplomb de l'oasis de Figuig. La plaine de Figuig est dominée par une épaisse série de roches sédimentaires jurassiques amagnétiques.

#### Transformation de Tilt angle

La transformation de Tilt-angle (ou de l'angle incliné) calcule l'inverse de la tangente du rapport du module des

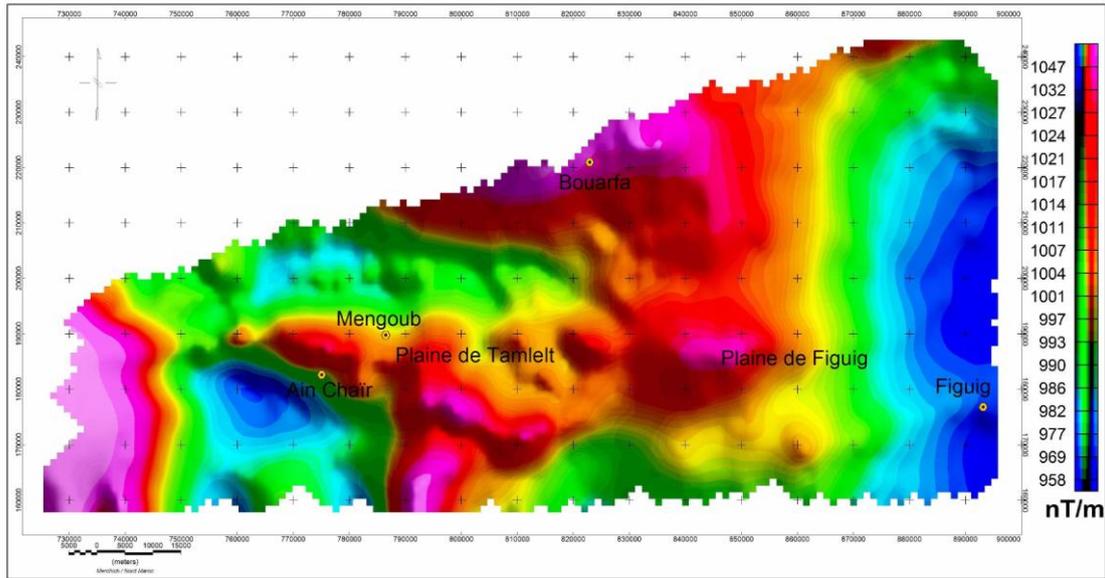


Figure 5. Carte de réduction au pôle.

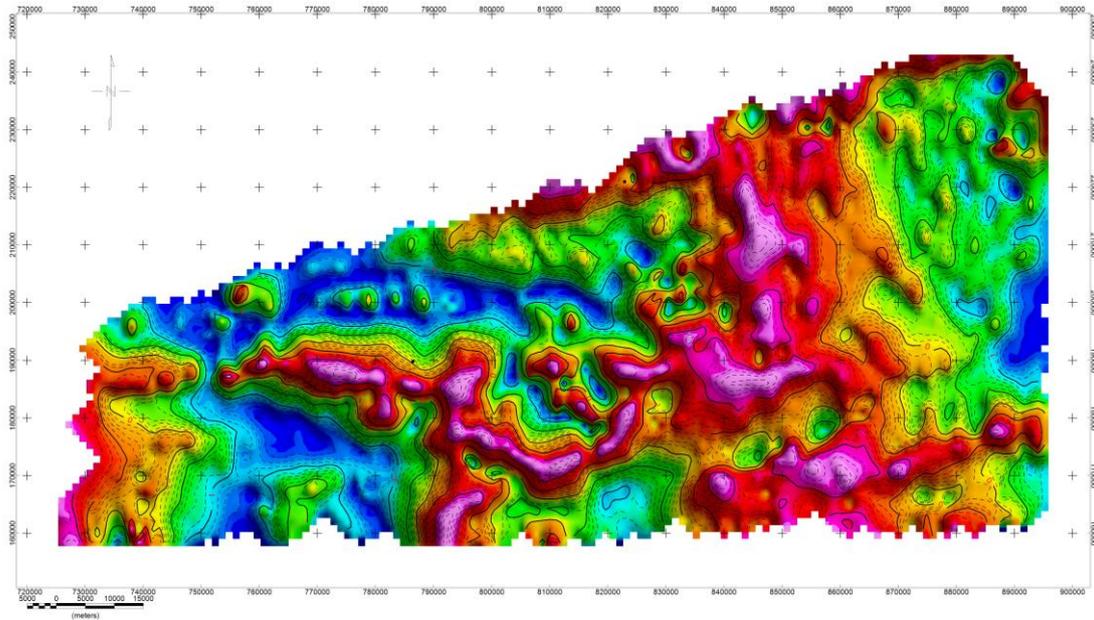


Figure 6. Carte de Tilt-angle du Haut Atlas oriental.

dérivées partielles horizontales avec la dérivée verticale du champ magnétique (Miller & Singh 1994, Verduzco *et al.* 2004, Salem *et al.* 2008). L'équation de cette transformation s'écrit :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\frac{\partial M}{\partial Z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}}$$

$M$  étant la grille du champ ou de l'anomalie magnétique.

L'avantage de la transformation est qu'en calculant un angle, toutes les formes seront représentées de manière similaire, que les anomalies soient de faible ou de forte amplitude (Bouiflane 2008). L'opérateur est appliqué à la

carte de l'anomalie magnétique réduite au pôle ; pour un contact vertical, la valeur nulle de l'angle correspond à la limite de la structure ( $h=0$ ).

La carte de la transformation de Tilt-angle (Fig. 6) montre la courbe de l'angle  $\theta$  équivalente au contact, qui limite des structures allongées E-W à NW-SE dans la plaine de Tamlelt et N-S à WSW-ENE dans la plaine de Figuig.

Dans la plaine de Tamlelt, les linéaments de la transformation de Tilt-angle limitent la plus importante anomalie E-W (Ain Chair-Mengoub) et ils tracent de manière sinueuse la limite N-S de passage à la plaine de Figuig.

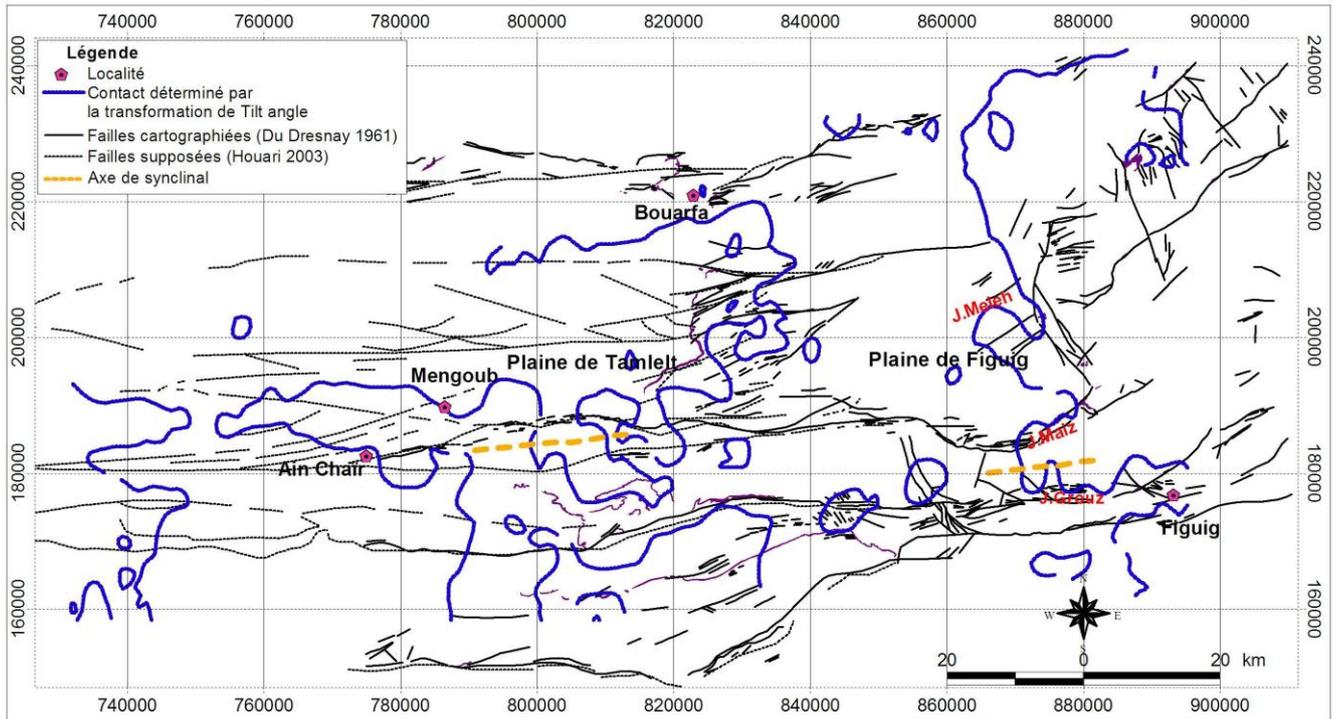


Figure 7. Superposition de linéaments de la transformation de Tilt angle de la carte des accidents géologiques du Haut Atlas oriental.

Dans la plaine de Figuig, le linéament de la transformation de Tilt-angle passe par Jbel Grouz, Jbel Maïz, Jbel Meleh puis s'aligne avec l'Accident Nord-Atlasique (Fig. 7).

### Déconvolution d'Euler

La déconvolution eulérienne est une méthode de filtrage qui permet la localisation des sources d'anomalies. Soit une source  $S$  située au point  $M$  de coordonnées  $(x_0, y_0, z_0)$ . L'intensité du champ magnétique au point d'observation  $P$  est (Reid *et al.* 1990, El Goumi 2010) :

$$T(x,y)=f[(x-x_0), (y-y_0), (z-z_0)].$$

Thompson (1982) a montré que l'équation d'homogénéité d'Euler peut s'écrire :

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

avec  $(x_0, y_0, z_0)$  : position de la source magnétique ;  $(x, y, z)$  : position de point d'observation ;  $T$  : champ total détecté à  $(x, y, z)$  ;  $B$  : valeur régionale du champ total ;  $N$  : degré d'homogénéité appelé souvent indice structural (IS) qui caractérise le type de source et le taux de variation du champ en fonction de la distance.

Le principe de la méthode est basé sur la résolution de l'équation à quatre inconnues :  $x_0, y_0, z_0$  et  $B$ .

L'application de la déconvolution Euler à la carte réduite au pôle fait appel aux trois dérivées suivant  $X, Y$  et  $Z$

(Fig. 8, A-C). Dans ces figures, les anomalies observées sur la carte de réduction au pôle s'allongent suivant les trois axes.

Les paramètres utilisés pour le calcul de la solution d'Euler sont :

- une fenêtre de 8750 m de taille;
- un indice structural spécifique pour la détection des contacts (IS=0) ;
- une erreur par rapport à  $Z$  de la solution de 15%.

Sachant que l'altitude barométrique est constante à 2600 m, les valeurs des solutions d'Euler (élévation) ont été comparées aux altitudes du Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour éliminer les solutions qui sont dans l'air (élévation > altitude du terrain).

### INTERPRETATION

Les linéaments obtenus de la transformation Tilt-angle (Fig. 7) se superposent en grande partie aux accidents de la carte géologique (Accident Nord-Atlasique, accidents affectant les anticlinaux de Jbel Grouz et de Jbel Maïz, et les synclinaux de Tisserfine et de Jbel Meleh).

Les solutions de la déconvolution d'Euler (Fig. 12) sont situées à des profondeurs entre 2 et 3200 m. Du point de vue qualitatif, les plus grandes profondeurs sont enregistrées dans la plaine de Figuig, généralement équivalentes à l'Accident Sud-Atlasique. Du point de vue quantitatif, les solutions peu profondes sont plus nombreuses dans la plaine de Tamlett.

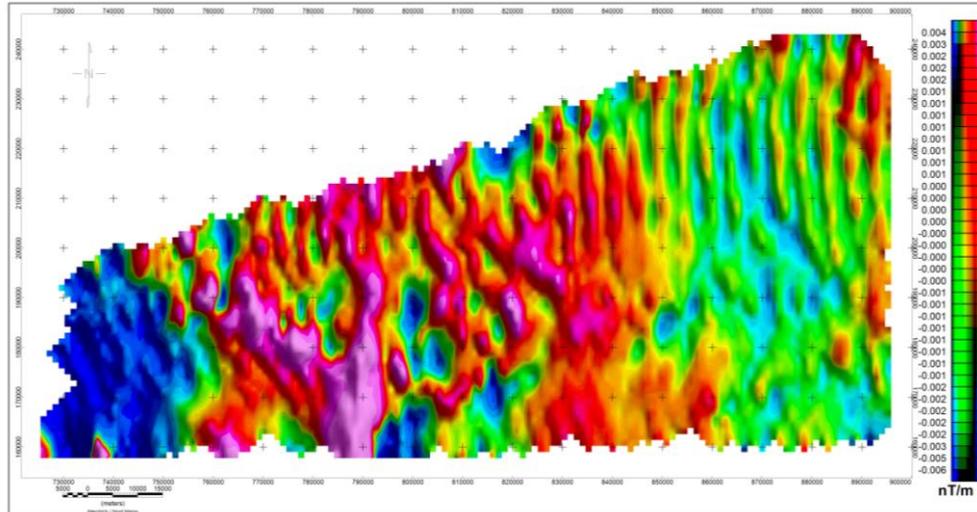


Figure 8A. Carte de la dérivée suivant X.

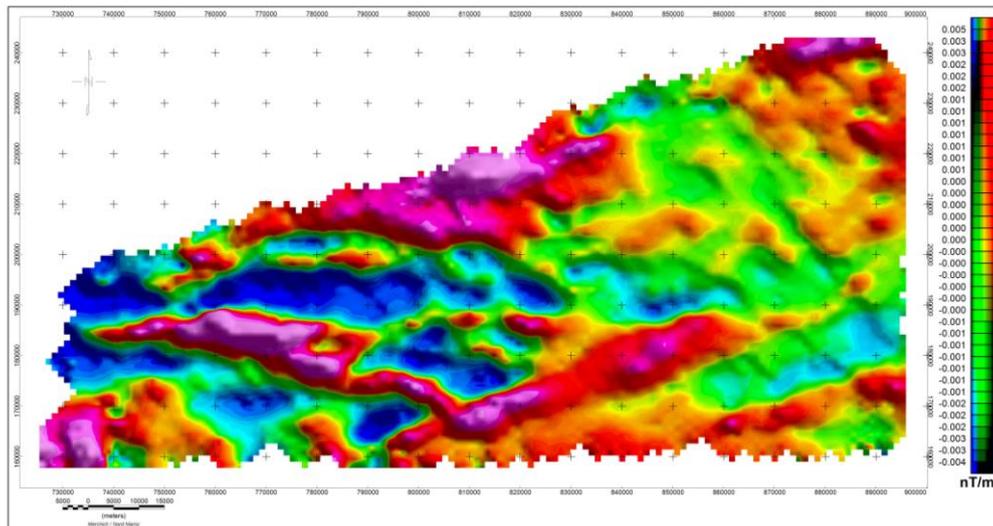


Figure 8B. Carte de la dérivée suivant Y.

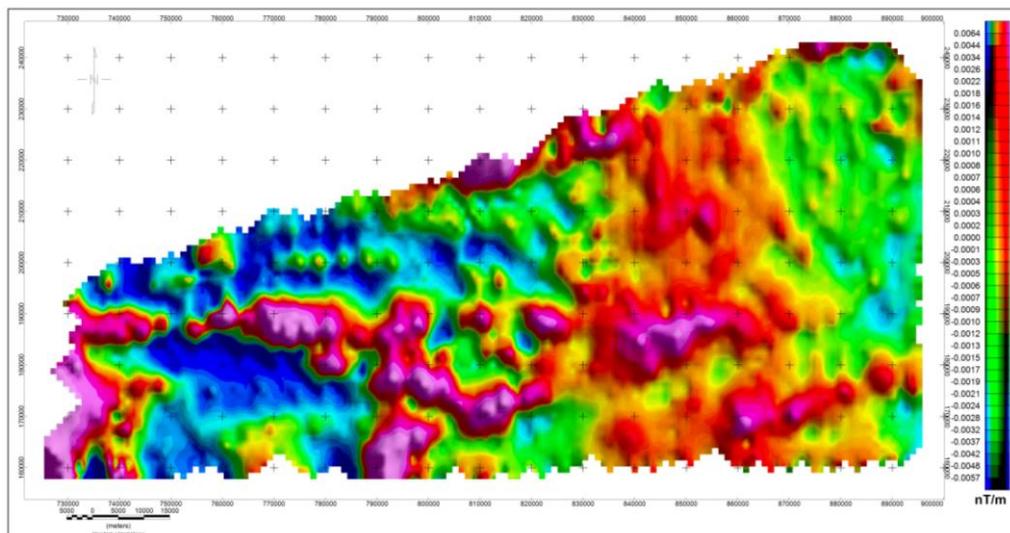


Figure 8C. Carte de la dérivée suivant Z.

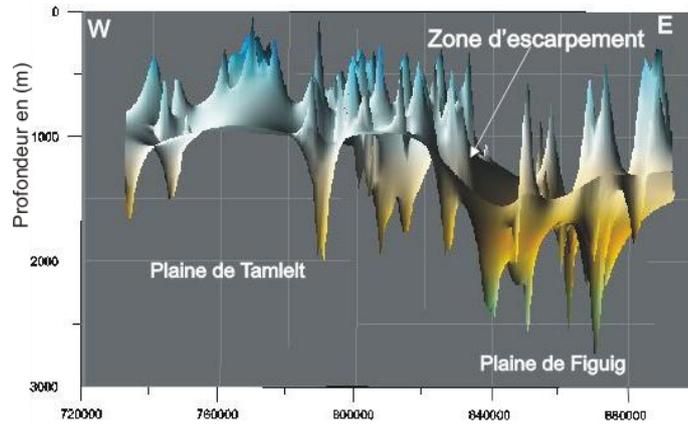
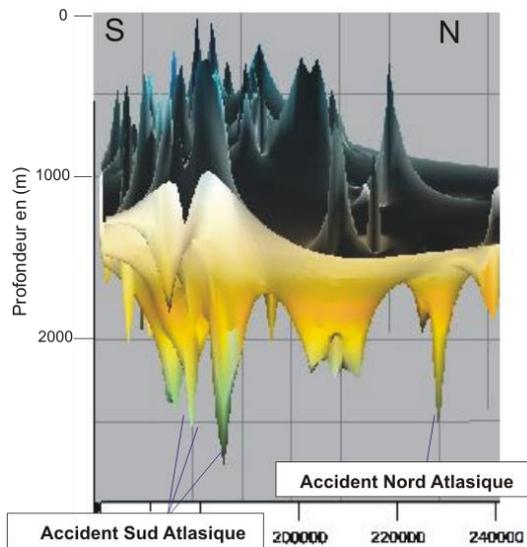


Figure 9. Présentation graphique des profondeurs de la déconvolution eulérienne Vue (E-O) Vue (N-S)

La figure 9 illustre en 3D ces profondeurs avec exagération apparente de l'échelle verticale, reliées par une enveloppe en trois dimensions qui permet de visualiser la différence et les rejets entre les solutions des deux plaines. La coupe E-W de la figure montre dans la plaine de Tamlelt des profondeurs qui oscillent autour d'une moyenne de 1000 m, alors que dans la plaine de Figuig, ces profondeurs varient de 1300 à 1500 m. De ce fait, la plaine de Figuig apparaît affaissée d'environ 500 m par rapport à la plaine de Tamlelt. La coupe N-S de la même figure montre que les solutions les plus profondes sont sur l'Accident Sud-Atlasique et sur l'Accident Nord-Atlasique.

Pour mieux visualiser ces solutions, les linéaments obtenus de la déconvolution d'Euler ont été superposés à la couverture structurale de la zone (Fig. 10). La compilation de ces linéaments et des accidents cartographiés par Du Dresnay (1961), les accidents supposés par Houari (2003) et ceux déterminés par l'analyse des images satellitaires par Mniassar (2002), conduit à un léger parallélisme.

Nous avons distingué sept sites importants (Fig. 10) :

**Site A** : au SW de Bouarfa, il s'agit d'un accident enraciné de direction ENE-WSW, remontant depuis 2500 m de profondeur jusqu'à la surface en trois paliers, et parallèle aux accidents supposés par Houari (2003).

**Site B** : situé à Mengoub, il correspond à une structure particulière orientée E-W se développant en profondeur à environ 2000 m. Il se traduit dans la couverture mésozoïque par un chevauchement vers le Sud visible à Jbel Akelal, qui affleure 10 km à l'Ouest de Mengoub. La présente structure, en compression depuis le début de l'orogénèse atlasique, rejoue actuellement en extension majeure suivant des accidents néotectoniques actifs en zone d'effondrement. Ceci engendre un faisceau d'accidents de détachement bien visible au niveau des formations du Quaternaire à 6 km au sud de Mengoub (Du Dresnay 1966).

**Site C** : situé à Ain Chaïr, il s'agit d'un accident qui s'étend de la surface jusqu'à 1420 m de profondeur. De direction ESE-WNW, il limite et met à l'affleurement le synclinal cambro-silurien de Jbel Tissoufi orienté WNW-ESE. Cet accident est indépendant de l'accident transcurrent d'Aïn Chaïr (AAC).

**Site D** : au niveau de ce site apparaît un point triple à 2600 m de profondeur, émanant de l'Accident Sud-Atlasique, à partir duquel divergent trois accidents avec des directions différentes vers le Nord, le SSW et l'ESE. Cette dernière direction, est liée au couloir de l'Accident Sud-Atlasique ; les deux autres accidents pourraient être le résultat d'une structure volcanique de l'Infracambrien mise en place en profondeur suivant une ligne s'étendant du point triple à la série volcanique de Bou Kaïs.

**Site E** : ce site traduit en surface par une faille transcurrente ENE-WSW, et deux accidents profonds de même direction. Entre les deux failles profondes s'observe un rejet de 750 m. Au niveau de ce site, un troisième accident profond se prolonge vers le NNW puis vers le NW parallèlement aux affleurements du Trias, et limitait probablement à ce niveau l'extrémité du bassin mésozoïque (Fig. 10).

**Site F** : l'accident profond NW-SE rejoint les accidents affectant la couverture de la corniche de l'oasis de Figuig (Fig. 11). Les profondeurs obtenues sont de l'ordre de 1500 m (Fig. 10). On remarque un approfondissement des solutions vers cette corniche (de 51 m à 2300 m). Ces accidents profonds affectent presque toutes les formations de la couverture mésozoïque, et favorisent le rassemblement puis l'ascension des eaux des aquifères profonds en surface.

**Site G** : l'interprétation de la carte du champ magnétique a permis de mettre en évidence une structure qui a un effet sur la géométrie de l'aquifère liasique. Le site G regroupe un système en mégafentes de tension qui commence au NW

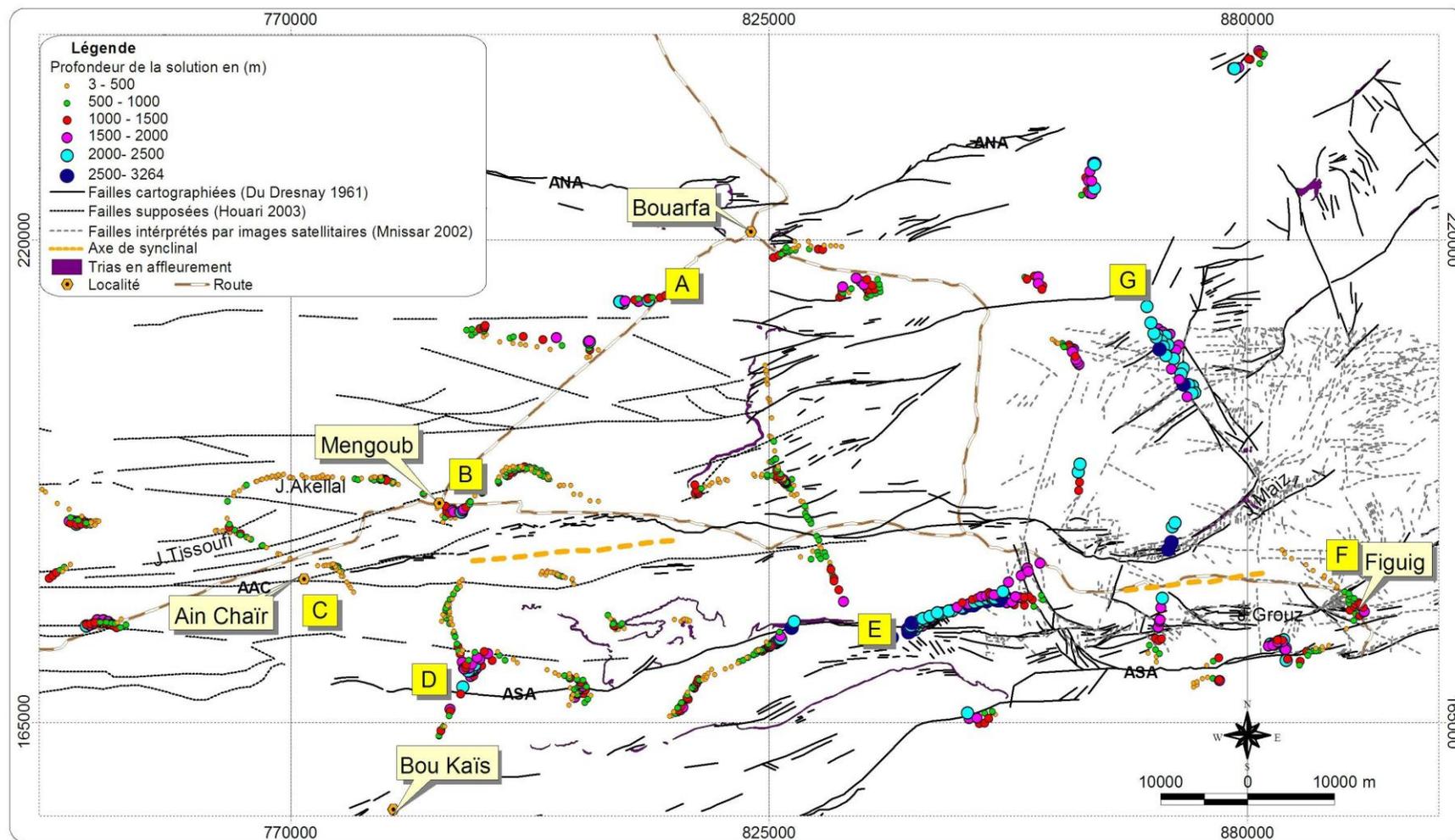


Figure 10. Superposition des solutions d'Euler et de la carte des accidents géologiques du Haut Atlas oriental

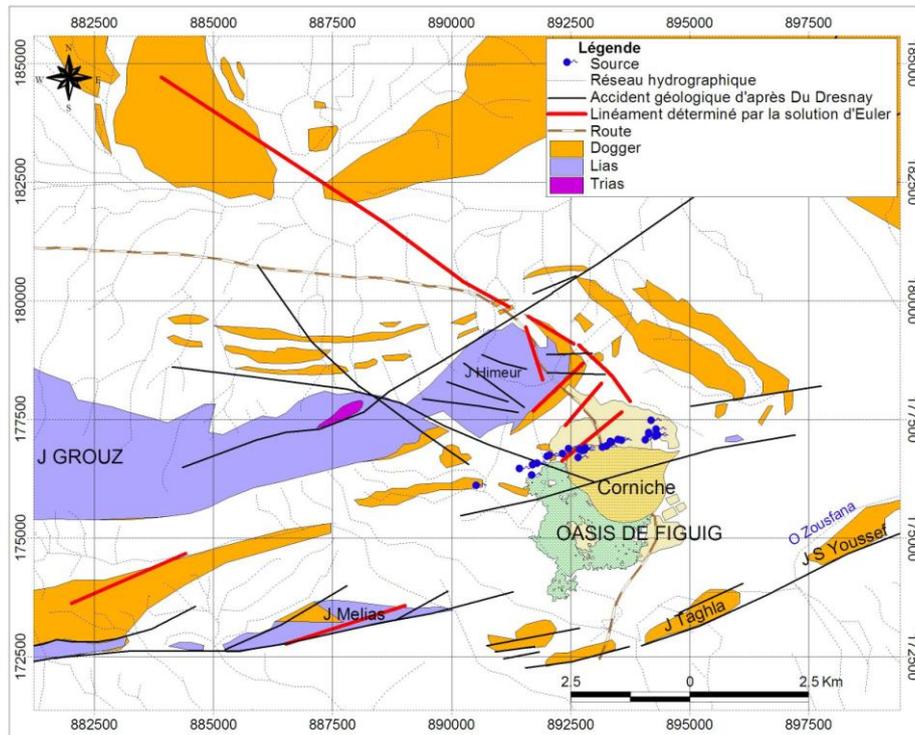


Figure 11. Compilation entre la Déconvolution d'Euler et la carte géologique de l'oasis de Figuig.

à l'Accident Nord-Atlasique. Cette structure, en forme de bassin pull-apart, a été engendrée suite au décrochement senestre matérialisé par les deux accidents majeurs, nord-atlasique et sud-atlasique, accompagnés par le changement de la direction du Haut Atlas oriental (E-W) vers l'Atlas saharien (NE-SW). Ce phénomène induirait la dislocation de la couverture jurassique dans la partie Sud (Fig. 12).

### IMPLICATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

L'interprétation structurale des cartes de l'anomalie magnétique montre que les sources de l'oasis de Figuig sont situées sur l'intersection des failles de la couverture avec les failles profondes déterminées par la transformation de Tilt-angle et la déconvolution eulérienne.

Au niveau de la corniche de l'oasis de Figuig, un accident NW-SE affectant le socle paléozoïque à une profondeur de 2300 m se prolonge vers le NW à une profondeur de 50 m. Cet accident aurait joué un rôle primordial dans la mise en surface des eaux des sources de l'oasis de Figuig. La corniche de travertins de l'oasis de Figuig et la température élevée (31°C) des eaux des sources jaillissantes à l'intérieur de cette corniche sont considérées parmi les indices qui appuient l'origine profonde de ces eaux.

La réinterprétation des données aéromagnétiques du Haut Atlas oriental a permis de mettre en évidence la géométrie du système aquifère des sources de l'oasis de Figuig. Ceci réside dans l'affaissement de son substratum,

d'environ 500 m en passant de la plaine de Tamlelt vers la plaine de Figuig, et dans la structure du bassin pull-apart qui favorise la mise en place d'un potentiel réservoir d'eau.

### CONCLUSION

La réinterprétation des données aéromagnétiques du Haut Atlas oriental a permis de mettre le point sur une nouvelle origine des sources de l'oasis de Figuig, en cartographiant les failles et en déterminant leurs profondeurs.

Ces failles, affectant le socle et se répercutant sur la couverture, influencent la structuration du système aquifère des sources de l'oasis de Figuig.

Les résultats de la présente étude montrent l'intérêt de la cartographie aéromagnétique dans la détection des anomalies structurales et son apport à la connaissance de l'hydrogéologie des systèmes aquifères.

### Remerciements

Les auteurs remercient les évaluateurs qui ont participé à l'amélioration de l'article : M. Bouiflane (Institut Scientifique), D. Khattach (Faculté des Sciences, Oujda), A. El Kochri (Faculté des Sciences, Rabat) et A.Mridekh (Faculté des Sciences et Techniques, Errachidia).

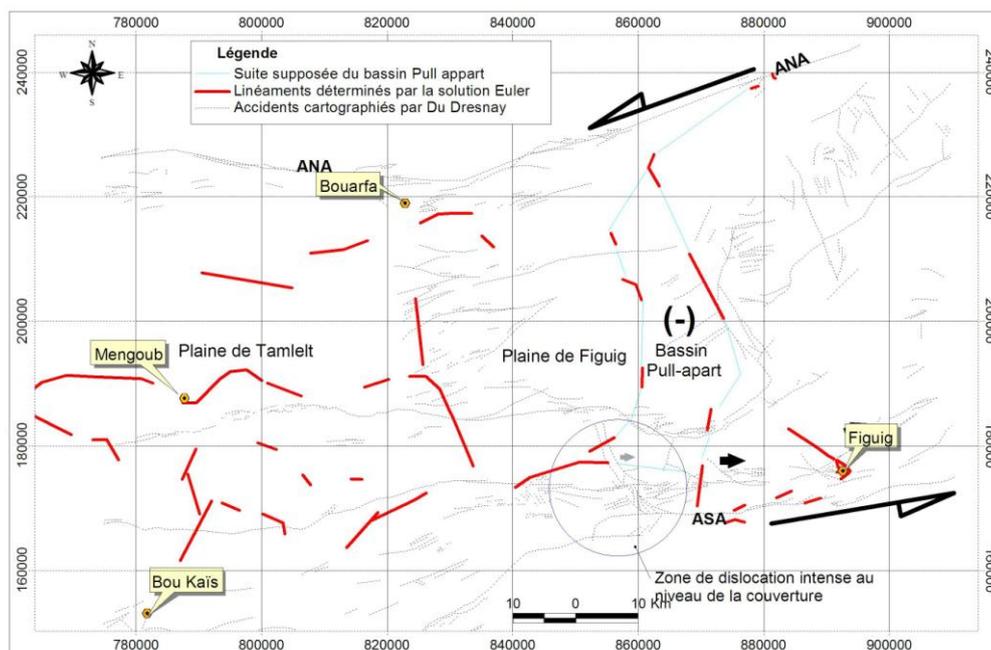


Figure 12. Modèle explicatif du bassin pull-apart (site G).

## Références

- Aberbi J. & Khattach D. 2010. Contribution de la gravimétrie à l'étude de la structure des Hauts Plateaux (Maroc oriental). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, section Sciences de la Terre, 32, 19-30.
- Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya (A.B.H.M). 2004. Inventaire des prélèvements d'eau souterraine à partir des nappes de la plaine de Figuig, et élaboration des cartes hydrogéologiques de gestion des nappes. Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya, Rapport inédit.
- Baranov V. & Naudy H. 1964. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, 29, 67-79.
- Baranov V. 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudogravimetric anomalies. *Geophysics*, 22, 359-383.
- Bencherifa A. & Popp H. 1992. Les caractères généraux de l'oasis de Figuig : le cadre écologique, le passé, et le présent. In : L'oasis de Figuig, persistance et changement Université Mohammed V. *Publications de la Faculté des Lettres et des sciences humaines*, série Essais et études n° 3, pp. 19-44.
- Bouiflane M. 2008. *Cartographie aéromagnétique et magnétique multi-échelles : étude structurale d'une région du fossé Rhénan*. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1.
- Direction des Mines, de la Géologie et de l'Energie (D.M.G.E) 1976-1978. Levé aéromagnétique du Maroc, domaine de l'Anti-Atlas et du Haut atlas occidental. Rapport inédit.
- Direction de Recherche et de la Planification de l'Eau (D.R.P.E.). 2005. Etude géophysique par sismique réflexion haute résolution dans la Province de Figuig. Rapport inédit.
- Dresnay R. Du 1963. Carte géologique du Haut Atlas oriental, feuille de Bou Arfa, Iche, Talzaza et Figuig au 1/200 000. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 158.
- Du Dresnay R. 1966. La géomorphologie du Haut Atlas oriental (Maroc). *Quaternaria*, Rome, 8, Proc. 7, cong. Inqua, U.S.A. 1965, vol. 15, pp. 155-165.
- El Goumi N. 2010. *Application des méthodes géophysiques à l'exploration minière dans la région de Marrakech (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Technique, Marrakech.
- El Gout R., Khattach D. & Houari MR. 2009. Etude gravimétrique du flanc nord des Béni Snassen (Maroc nord oriental): implications structurales et hydrogéologiques. Université Mohamed Premier, Oujda. *Bull. Ins Sci.*, Rabat, section Sciences de la Terre, 31, 61-75.
- El Kochri A. 1996. *Géométrie et mécanismes de la déformation du Haut Atlas Centro-oriental (Maroc)*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle, Université Mohammed V, Fac. Sci. Rabat.
- Gautier E.F. 1917. La source de Thaddert à Figuig. *Ann. Géographie*, 26, 144, 453-466.
- Houari M.R. 2003. *Etude de la boutonnière paléozoïque de Tamlelt (Haut Atlas oriental) : sa place dans la chaîne hercynienne du Maroc*. Thèse de Doctorat, Université Mohammed Premier, Fac. Sci. Oujda.
- Miller H.G & Singh V. 1994. Potential field tilt- a new concept for location of potential field sources. *J. Appl. Geophys.*, 32, 213-217.
- Mnissar H.S. 2002. *Apport de la télédétection et système d'information géographique à la cartographie géologique et à la prospection pétrolière dans la région du Haut Atlas oriental (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Fac. Sci. Rabat.
- 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, 80-91.
- Roset W.E., Verhoef J. & Pilkington M. 1992. Magnetic interpretation using 3D analytical signal. *Geophysics*, 57, 116-125.
- Salem A., William S., Fairhead D., Smith R. & Ravat D. 2008. Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics*, 73, 1-10.
- Thompson D. 1982. EULDPH: A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47, 1, 31-37.
- Vanié L.T.A., Khattach D. & Houari M.R. 2005. Apport des filtres des anomalies gravimétriques à l'étude des structures profondes du Maroc oriental, *Bull. Inst Sci.*, Rabat, section Science de la Terre, 27, 29-40.

Vanié L.T.A. Khattach D. Houari M.R. Chourak M. & Corchete V. 2006 Apport des filtrages des anomalies gravimétriques dans la détermination des accidents tectoniques majeurs de l'Anti-Atlas (Maroc), *Actes du 3ème Colloque Maghrébin de Géophysique Appliquée*. Oujda 11-13 mai 2006, 23-30.

Verduzco B. Fairhead J.D. Green C.M. and Mackenzie C.2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *SEG The Leading Edge*, 23, 2, 116-119.

*Manuscrit reçu le 6 septembre 2011  
Version modifiée acceptée le 12 octobre 2012*