

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA**  
**FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES**  
**ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Géologie des Bassins Sédimentaires**

***THEME***

**Application des méthodes analytiques aux données du  
champ potentiel du Terrane d'Issalane  
(L'extrémité orientale du Hoggar central)**

Présenté par

**M. Kouidri Adim**

Soutenu publiquement le 19/06/2019

Devant le jury

<b>Président</b>	M.HADDANE A. Nour	M.A.A Univ Ouargla
<b>Promoteur</b>	M. BOUTRIKA Rabah	M.C.B Univ Ouargla
<b>Co-Promoteur</b>	M.HARROCHI Lakhdar	M.C.B Univ Ouargla
<b>Examineur</b>	M.BELKSEIR M. Salah	M.C.A Univ Ouargla

**Année Universitaire :2018/2019**

## المخلص

تقع منطقة الدراسة (Terrane Issalene في الجزائر) على بعد 2000 كيلومتر من الجزائر العاصمة و 300 كيلومتر ، جنوب شرق مدينة تمنراست. في أقصى شرق منطقة هوغار الوسطى. الهدف من الدراسة هو:  
- دراسة جيولوجية للهوغار ومنطقة الدراسة ؛

- عند إجراء اختبار رسم الخرائط ، فإن ورقة Asseo التي تعد جزءًا من منطقة دراسة تيران إيسالين (الجزء الجنوبي من تيران إيسالين) ومن العيوب في المقام الأول ، يكون الخطأ الرئيسي  $7^{\circ} 30'$  وهو يظهر بوضوح في الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة ، وهي ممتدة في ورقتي إيسالين وفي تفلكيبة (الجزء الشمالي من تيران إيسالين) من خلال تطبيق الأساليب التحليلية على بيانات الحقل المحتمل للخرائط المغناطيسية الجوية وتفسيراتها.

**الكلمات المفتاحية:** إيسالين تيرين ، هوغار الوسطى ، رسم الخرائط ، ورقة أسيو ، أوراق إيسالين وفي تاكيلكبا ، طرق تحليلية ، خرائط هوائية مغناطيسية.

## RESUMÉ

La région d'étude (Terrane d'Issalene en Algérie) est située a 2000km d'Alger et à 300km, à vol d'oiseau à l'Est de la ville de Tamanrasset. Dans l'extrémité la plus orientale du Hoggar central. L'objectif d'étude sont :

- Etude géologique du Hoggar et de la région d'étude ;
- En va essai de cartographie la feuille d'Asseo qui fait partier de Terrane d'Issalen zone d'étude (La partie sud de Terrane d'Issalene) et de ressortirent les failles au premier lieu la principale faille  $7^{\circ} 30'$  qui est bien visible dans la carte géologique de la région d'étude, est qui est prolonger dans les deux autres feuilles d'Issalène et In Takelkeba (La partie nord de Terrane d'Issalene) en appliquant les méthodes analytiques aux données du champ potentiel des cartes aero-magnétiques et leurs interprétations.

**Mots clés :** Terrane d'Issalene, Hoggar central, cartographie, la feuille d'Asseo, les failles, feuilles d'Issalène et In Takelkeba, les méthodes analytiques, cartes aero-magnétiques.

## ABSTRACT

The study area (Terrane Issalene in Algeria) is located 2000km from Algiers and 300km, as the crow flies east of the town of Tamanrasset. In the most eastern end of Central Hoggar. The study objective are :

- Geological study of the Hoggar and the study area;
- In going mapping test the Asseo sheet which is part of Terrane of Issalen study area (The southern part of Issalene Terrane) and out of the flaws in the first place the main fault  $7^{\circ} 30'$  which is clearly visible in the geological map of the study area, is that is prolonged in the other two leaves of Issalene and In Takelkeba (the northern part of Terrane of Issalene) by applying the analytical methods to the data of the potential field of the maps aero-magnetic and their interpretations.

**Key words:** Issalene terrane, central Hoggar, cartography, Asseo leaf, faults, Issalene leaves and In Takelkeba, analytical methods, aero-magnetic maps.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon très cher père*

*A ma très chère mère*

*A mes frères et soeurs*

*A mes amis.*

*Je dédie avec toute affection ce modeste travail à mes Prof*

*' M. BOUTRIKA Rabah' & 'M.HARROCHI Lakhdar' qui m'a toujours mené le sentiment de la fierté et n'a jamais hésité de  
me supporter moralement.*

*A toute ma famille ' koudri'*

Kouidri adim

# ***REMERCIEMENS***

Je voudrais remercier, en premier lieu ALLAH, de m'avoir donné la puissance et la force pour achever mon travail.

Qu'il me soit permis avant toute chose d'exprimer ma reconnaissance envers toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont soutenu dans mes efforts et ont contribué ainsi à la réalisation de ce mémoire.

Je remerciais chaleureusement mes parents, qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profonde gratitude

Le respect toute mes infinies gratitude va à mon promoteur M. BOUTRIKA Rabah et mon Co-promoteur M. HARROUCHI Lakhdar pour ses conseils précieux et tous les enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Ouargla.

## *Liste des figures*

- Fig. 1 :** Carte de situation géographique de la région d'étude 2
- Fig. I.1 :** Esquisse géologique du Hoggar (Bertrand et Lassere, 1976) 4
- Fig. I.2.** Carte des terranes du Bouclier targui (d'après Black *et al*, 1994 et Liégeois *et al.*, 2003) 6
- Fig. I.3:** Modèles géodynamiques faisant le lien entre le magmatisme du Hoggar et la réactivation des zones de cisaillements majeurs, dans cette zone. **(a):** d'après Liégeois et al. (2005), la fragmentation du carton LATEA après la collision panafricaine (cisaillements transpressifs) a induit une remontée de l'asthénosphère, suite à une délamination, qui a provoqué la fusion de la croûte inférieure, d'où la formation des granitoïdes d'origine crustale (620-580Ma; Liégeois *et al.*, 2003). **(b):** d'après Azzouni-Sekkal *et al.* (2003), un autre événement similaire s'est produit à la fin de l'orogénèse panafricaine (535- 520Ma), dans un contexte transtensif, a aboutit à la formation de plutons calco-alcalins, d'origine mixte entre la croûte et le manteau. **(c):** Liégeois et al. (2005), le volcanisme intra-plaque, récent, enregistré dans le Hoggar serait lui aussi rattaché à une réactivation des zones de cisaillements, en relation avec la convergence Afrique-Europe. 8
- Fig. I.4 :** Granites panafricains tardifs du Bouclier Touareg (Cheilletz *et al*, 1992). 11
- Fig. I.5 :** Répartition des granites « Taourirt » de part et d'autre de l'accident du 4°50' (Azzouni *et al* 2003 ; Nedjari, 2006). 13
- Fig. III. 1:** Carte régionale des la région d'étude 17
- Fig. IV.1 :** Composantes du champ magnétique terrestre (D'près Telford et al, 1998). 19
- Fig. IV.2 :** **a-** Localisation horizontale du modèle synthétique composé par un dyke vertical (A) et un prisme rectangulaire (B); **b-** Réponse magnétique du mode TMI (Total Magnetic Intensity); **c-** Un bruit pseudo-aléatoire avec une déviation standard de l'ordre de 0.4 nT de la figure a. **d-** TMI rajouté par un bruit pseudo-aléatoire a une déviation standard de l'ordre de 0.4 nT **e.** Un bruit gaussien ayant une déviation standard de 6.0 nT d'écart-type. **f-**TMI rajouté par un bruit gaussien a une déviation standard de 6.0 nT d'ecart-type. 25

<b>Fig. IV.3:</b> Solutions d'Euler dans le cas d'un contact avec différentes valeurs de l'indice structural. a- $N = 0.00$ . b- $N = 0.25$ . c- $N = 0.50$ . d- $N = 0.75$ .	26
<b>Fig. IV.4:</b> Solutions d'Euler dans le cas d'un dyke avec différentes valeurs de l'indice structural. a- $N = 1.00$ . b- $N = 1.25$ . c- $N = 1.50$ . d- $N = 1.75$ .	27
<b>Fig. V.1:</b> Installation du levé de mesure.	30
<b>Fig. V.2 :</b> Paramètres du levé Aéro-géophysique couvrant le territoire national.	32
<b>Fig. V.3 :</b> Carte du champ magnétique total brut de la feuille Asseo.	35
<b>Fig. V.4 :</b> Carte du champ magnétique normal (polynôme)	36
<b>Fig. V.5:</b> Carte du champ d'anomalies magnétique.	37
<b>Fig. V.6 :</b> Carte du champ d'anomalies magnétiques réduites au pôle	38
<b>Fig. V.7 :</b> Carte du de la dérivée selon la direction X.	39
<b>Fig. V.8 :</b> Carte due de la dérivée selon la direction Y.	40
<b>Fig. V.9:</b> Carte du de la dérivée selon la direction Z.	40
<b>Fig. V.10 :</b> Cartes des prolongements vers le haut à 1.5 ,6 et 16 Km.	42
<b>Fig. V.11:</b> Méthode Traitement	43
<b>Fig. V.12: a-</b> Carte géologique de la feuille d'Asseo, <b>b-</b> Solution Euler	44

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau IV.1</b> Valeurs de l'indice structural (N) selon la géométrie de la source (Reid et al., 1990).	21
<b>Tableau IV.2</b> Paramètres physiques du model synthétique (Harrouchi et al., 2016).	23
<b>Tableau IV.3</b> Tentatives d'estimations de profondeurs dans le cas d'un dyke et prisme, respectivement.	24
<b>Tableau IV.4</b> Paramètres physiques du modèle gravimétrique théorique.	24
<b>Tableau IV.5</b> Tentatives d'estimations de profondeurs du modèle gravimétrique théorique.	24

# SOMMAIRE

Dédicace

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

**INTRODUCTION GENERALE 1**

**SITUATION GEOGRAPHIQUE 2**

## **CHAPITRE \*I\***

### **CADRE STRUCTURAL ET GEODYNAMIQUE DU HOGGAR**

**I. CADRE STRUCTURAL ET GEODYNAMIQUE DU HOGGAR 3**

**I.1. CADRE STRUCTURAL 3**

I.1.1. Le bouclier touareg 3

I.1.2. Le Hoggar 3

I.1.2.1. Le concept classique 3

I.1.2.1.1. Le Hoggar occidental 4

I.1.2.1.2. Le Hoggar central polycyclique 4

I.1.2.1.3. Le Hoggar oriental 5

I.1.2.2. Le concept récent (structuration en terranes) 5

**I.2. CADRE GEODYNAMIQUE 7**

**I.3. LE MAGMATISME PANAFRICAIN TARDIF 9**

I.3.1. Les Taourirts des terranes d'Iskel et In Teidini 9

I.3.2. Les Taourirts de la LATEA 11

## **CHAPITRE \* II \***

### **GEOLOGIE REGIONALE**

**II. GEOLOGIE REGIONALE**

II.1 Le Terrane d'Assode-Issalane 14

II.2 Les terrains métamorphiques 14

**CHAPITRE \* III \***  
**GEOLOGIE LOCALE**

<b>III. GEOLOGIE LOCALE</b>	<b>14</b>
III.1 Stratigraphie	14
III.1.1 Paléo-protérozoïque	14
III.1.2 Mésopro-protérozoïque	14
a- Assise inférieure de la série de l'Aleksode (PR <sub>1</sub> al <sub>1</sub> )	15
b- Assise moyenne de la série de l'Aleksode (PR <sub>1</sub> al <sub>2</sub> )	15
c- Assise supérieure de la série de l'Aleksode (PR <sub>1</sub> al <sub>3</sub> )	15
III.1.3 Néopro-protérozoïque	15
a- Assise moyenne et supérieure réunies de la série volcanogène (PR vl)	15
b- Série volcanogène non différenciée (PR vl)	16
c- Le Cambro-ordovicien (E-O)	16
d- Dépôts quaternaires (Q)	16

**CHAPITRE \*IV\***

**TRAITEMENT ET DESCRIPTIONS DES DONNEES AEROGEOPHYISIQUE**

<b>IV. TRAITEMENT ET DESCRIPTIONS DES DONNEES AEROGEOPHYISIQUE.</b>	<b>18</b>
<b>IV.1. Introduction</b>	<b>18</b>
<b>IV.2. Aperçu théorique sur la prospection magnétique</b>	<b>18</b>
IV.2.1 Champ géomagnétique	18
a. Un champ interne	18
b. Un champ externe	48
IV.2.2 Magnétisme de la terre	18
a. Les éléments du champ géomagnétique	18
<b>IV.3 Représentation analytique du champ géomagnétique</b>	<b>19</b>
<b>IV.4 Champ magnétique de référence (IGRF)</b>	<b>20</b>
<b>IV.5 Variations du champ géomagnétique</b>	<b>20</b>
<b>IV.6 Application de la méthode analytique de La Déconvolution d'EULER</b>	<b>21</b>
<b>IV.7 Application aux modèle Théorique</b>	<b>22</b>

## CHAPITRE \*V\*

### DESCRIPTIONS ET INTERPRÉTATIONS DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES

<b>V. DESCRIPTIONS ET INTERPRÉTATIONS DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES</b>	<b>29</b>
<b>V.1 Les instruments de mesure</b>	<b>29</b>
<b>V.2 Les levés aérogéophysiques</b>	<b>29</b>
<b>V.3 Description du levé aéromagnétique</b>	<b>30</b>
<b>V.4. Description du levé aérogéophysique</b>	<b>31</b>
V.4.1 Paramètres du levé	31
V.4.2 Appareillage	31
<b>V.5. Présentation digitale des données</b>	<b>32</b>
<b>V.6. Prétraitement des données aérogéophysiques</b>	<b>33</b>
V.6.1. Présentation de la base de données	34
V.6.2. Etablissement des cartes des données brutes	35
a. Etablissement de la carte du champ magnétique total brut	35
<b>V.7. Traitement</b>	<b>35</b>
V.7.1 Traitement des données aéromagnétiques	35
V.7.1.1. Calcul du champ d'anomalies magnétiques	35
V.7.1.2. Filtrage numérique des données aéromagnétiques	37
V.7.1.3. Les dérivées	39
a. La dérivée horizontale - X	39
b. La dérivée horizontale - Y	39
c. La dérivée verticale - Z	40
V.7.1.4. Les prolongements	41
a. Le prolongement vers le Haut	41
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>46</b>

# **INTRODUCTION GENERALE**

### INTRODUCTION GENERALE

Ce mémoire concerne, une contribution a l'étude géologique et géophysique du Terrane d'Issalane (L'extrémité orientale du Hoggar central) exemple la feuille d'Asseo.

Les données géophysiques aéroportées (aéromagnétiques), nous permettent d'établir une cartographie détaillée de cette région d'étude.

Le but de notre étude est d'établir une interprétation magnétique simultanée avec l'application de la méthode analytique de la Deconvolution d'Euler.

Le présent manuscrit est structuré en cinq chapitres homogènes et complémentaires.

Les premiers chapitres (chapitres I, II et III) porte sur le contexte géologique de la région d'étude.

Nous présenterons dans le premier chapitre, le cadre structurale.

Dans le chapitre II, la géologie régionale.

Dans le chapitre III, la géologie locale de notre zone d'étude

Les chapitres IV et V concerne le contexte géophysique.

Dans le chapitre IV, nous y présenterons la description de données aéromagnétiques de la feuille Asseo de Terrane Issalane.

Dans le chapitre V, nous utiliserons la méthode analytique de la deconvolution d'Euler du point de vue principe et robustesse, pour localiser les principales structures tectoniques qui forment cette région. La synthèse des résultats qui suivent l'inversion des données, va nous permettre d'élaborer un schéma structural géodynamique de notre zone d'étude.

Enfin, Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

## **SITUATION GEOGRAPHIQUE**

SITUATION GEOGRAPHIQUE

La région d'étude (Terrane d'Issalene en Algérie) est située à 2000km d'Alger et à 300km, à vol d'oiseau à l'Est de la ville de Tamanrasset. Dans l'extrémité la plus orientale du Hoggar central. Ses coordonnées géographiques sont de 22° - 24° latitude Nord et de 7° - 8° longitude Est (Fig. 1).

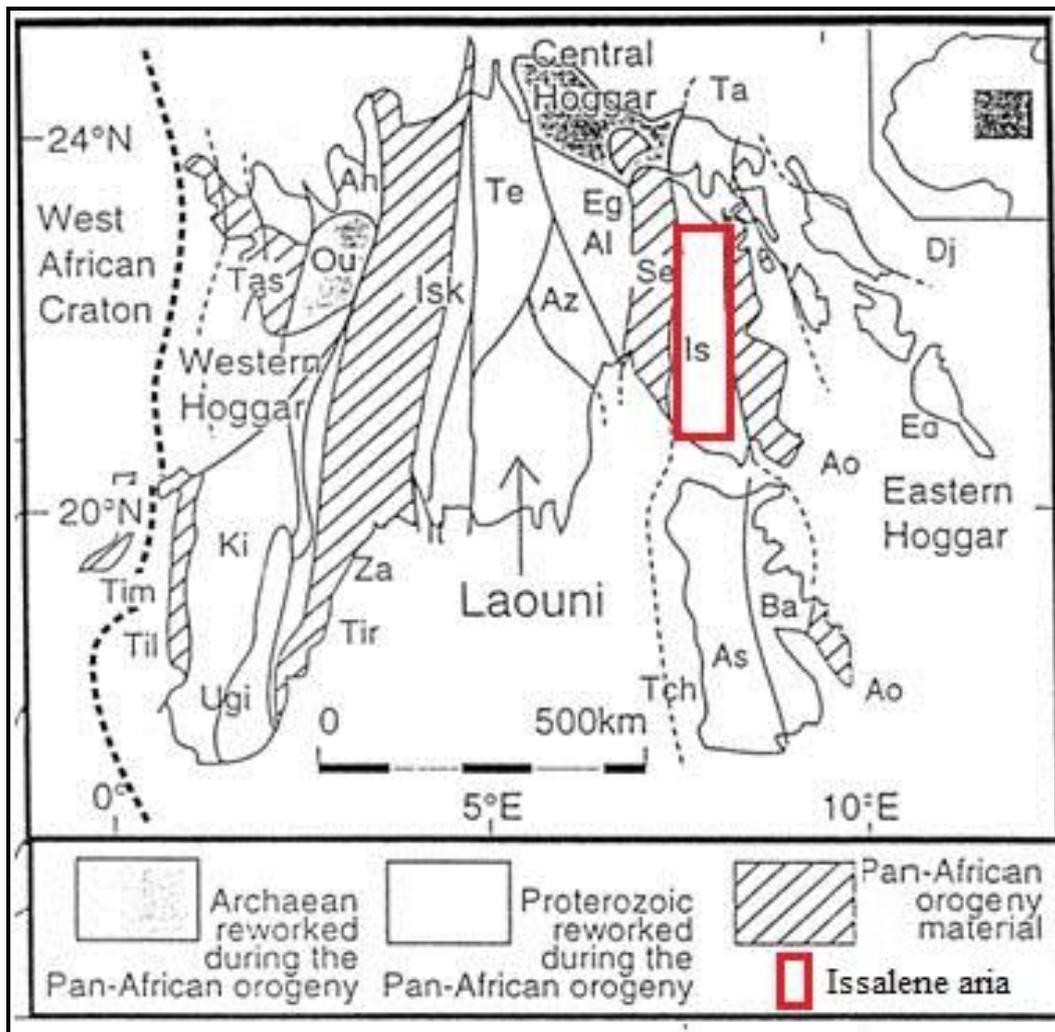


Fig. 1 : Carte de situation géographique de la région d'étude

# **CHAPITRE \*I\***

## **CADRE STRUCTURAL ET GEODYNAMIQUE DU HOGGAR**

## I. CADRE STRUCTURAL ET GEODYNAMIQUE DU HOGGAR

### I.1. CADRE STRUCTURAL

#### I.1.1. Le bouclier touareg

Le bouclier touareg appartient au domaine Panafricain. Il a subi une évolution orogénique complexe au cours du Protérozoïque supérieur, à savoir une subduction suivie d'une collision entre le Craton Ouest Africain et une zone mobile orientale (Black *et al.*, 1979).

Le bouclier Touareg est constitué, dans son ensemble, de trois massifs :

- ✓ le Hoggar, situé en Algérie.
- ✓ le Massif des Iforas au Mali.
- ✓ le Massif de l'Air au Niger.

Ce bouclier comprend des terrains d'âges archéens, éburnéens et panafricains. Sa structure est caractérisée par de grands cisaillements nord-sud d'échelle continentale (Bertrand et Caby, 1978) qui lui confèrent un aspect morcelé.

Les seuls points communs à l'ensemble du bouclier sont :

- ✓ le système de grands décrochements jalonnés par des mylonites;
- ✓ les granites post-tectoniques;

#### I.1.2. Le Hoggar

La structure et le cadre géodynamique du massif du Hoggar s'articulent autour de deux concepts ; (Lazhar. 2012; Boutrika. 2006, 2019) : le premier est classique, portant sur la subdivision du Hoggar en domaines géologiques et le deuxième est moderne, portant sur la structuration en terranes. (Lelubre, 1952; Bertrand et Lassere, 1976; Black *et al.*, 1994).

##### I.1.2.1. Le concept classique

Le Hoggar est situé en Algérie (~500000km<sup>2</sup>) à 2000 km au sud d'Alger, on distingue deux grands domaines séparés par une discordance stratigraphique (Lelubre, 1952), qui est caractérisée par de grands cisaillements subméridiens d'échelle continentale. La subdivision structurale repose sur la présence de vastes compartiments allongés Nord-sud délimités par de grands décrochements. Les deux accidents majeurs 4°50' et 8°30', le subdivisent en trois grands domaines qui sont d'ouest à l'est (Bertrand et Lassere, 1976) (Figure I.1): le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar oriental.

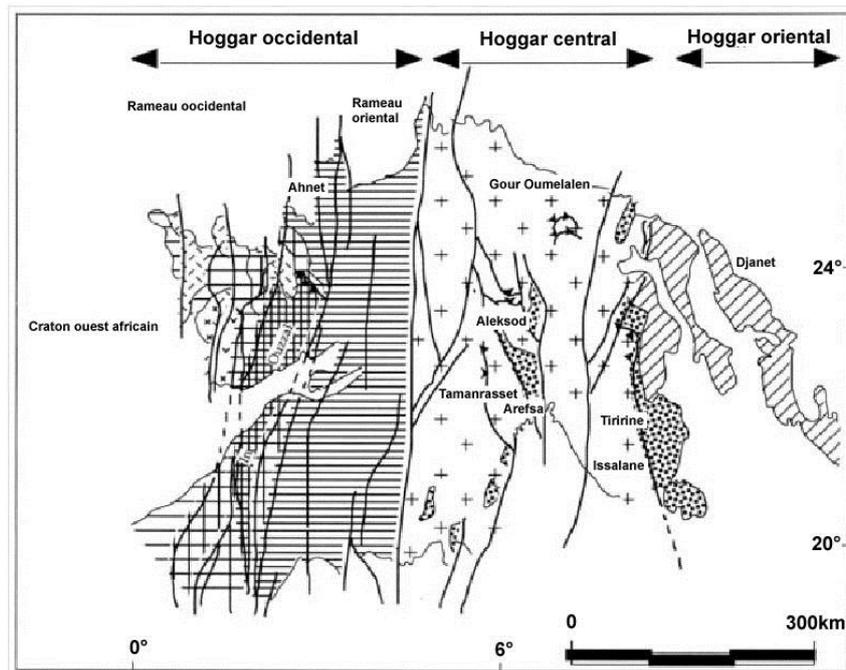
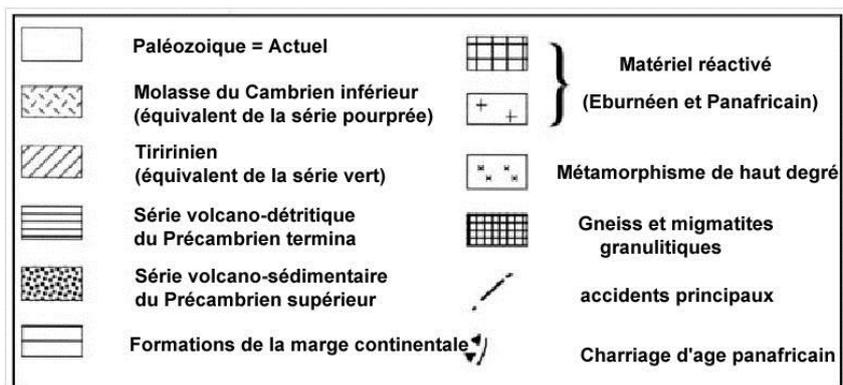


Fig. I.1 : Esquisse géologique du Hoggar (Bertrand et Lassere, 1976).



#### I.1.2.1.1. Le Hoggar occidental

Ce domaine qui représente la chaîne pharusienne affleurant sur 800km de long. Il se trouve séparé par l'unité granulitique de l'In-Ouzzal en deux rameaux, le rameau occidental et le rameau oriental. Ces rameaux datés du Protérozoïque supérieur sont composés de deux séries volcano-sédimentaires, la série à stromatolites à la base et la série verte au sommet, séparées par une discordance stratigraphique dite discordance infra-pharusienne (Lelubre, 1952 ; Caby, 1970 ; Haddoum, 1992).

#### I.1.2.1.2. Le Hoggar central polycyclique

Il occupe la partie centrale du Hoggar et se limite à l'ouest et à l'est, respectivement, par les deux failles majeures 4°50' et 8°30' (Fig. I.2). Son évolution structurale est fondamentalement différente de celle de la chaîne pharusienne du Hoggar occidental (Bertrand et Caby, 1978). Ce

domaine est composé essentiellement de formations du Protérozoïque moyen et inférieur avec quelques affleurements du Protérozoïque supérieur.

Le Hoggar central a été jusqu'à récemment subdivisé en quatre sous domaines séparés par des accidents méridiens régionaux. Ces sous-domaines sont d'Ouest en Est : le Tefedest-Atakor; l'Aleksod; l'Oumelalen-Temassint; l'Issalane. Un cinquième sous domaine s'ajoute au Hoggar central; celui représenté par une partie de la région Sud-ouest d'Iskel.

### **I.1.2.1.3. Le Hoggar oriental**

Il est situé entre le décro-chevauchement de la 8°30' (accident de l'Honag) et la limite Est du Hoggar (Fig. I.2). Dans ce domaine stable à 730 Ma (Bertrand *et al.*, 1978), on distingue deux unités structurellement différentes :

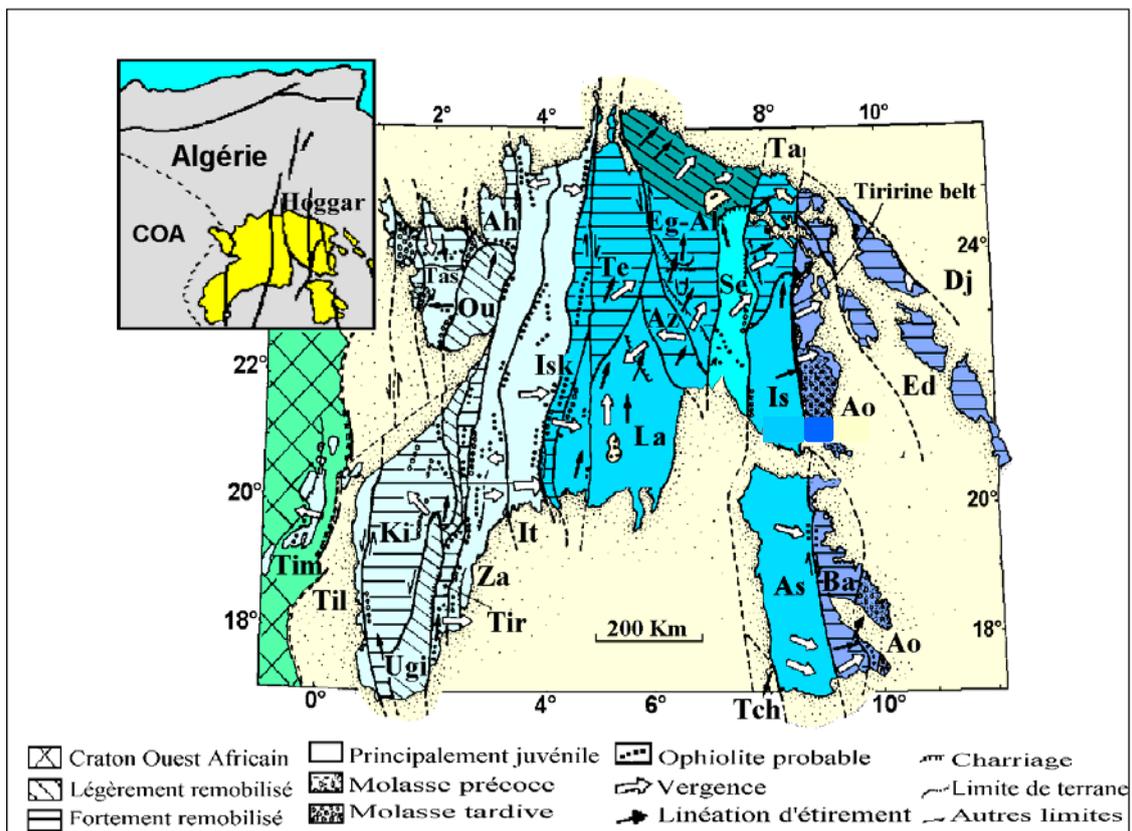
- ✓ le socle de Tafassasset-Djanet qui affleure à l'Est de la chaîne tiririnienne ;
- ✓ le domaine de Tiririne : ce domaine s'étale entre l'accident 8° 30' et le domaine de Djanet-Tafassasset.

### **I.1.2.2. Le concept récent (structuration en terranes)**

Les résultats des travaux récents, menés dans le massif de l'Aïr (Black *et al.*, 1994 ; Liégeois *et al.*, 1994 ; Liégeois *et al.*, 2000) montrent que le bouclier Touareg est structuré en terranes résultat de plusieurs collisions entre divers microcontinents et l'accrétion d'arcs insulaires (Fig. I.3) pris en «sandwich» entre le Craton Ouest Africain et le Craton Est Saharien au cours de l'orogénèse panafricaine (850-550Ma).

Ainsi les corrélations entre les terranes sont possibles grâce à la géochronologie, aux études lithologiques, aux reconstitutions géodynamiques. Ces terranes présentent des caractéristiques lithologiques (métamorphisme et magmatisme) et structurales différentes. Ils ont été assemblés au cours de deux phases principales (Liégeois *et al.*, 1994) postérieurement à deux collisions majeures :

- (i) la première entre le Craton Est Africain qui se comporte en marge passive et la partie orientale du bouclier touareg à environ 700Ma ;
- (ii) la deuxième, une collision oblique, entre le Craton Ouest Africain à l'Ouest et le craton Est africain (Lazhar. 2012) entre 630 - 525Ma.



**Fig. I.2.** Carte des terranes du Bouclier targui (d'après Black *et al.*, 1994 et Liégeois *et al.*, 2003)

**Dj:** Djanet; **Ed:** Edembo; **Ao:** Aouzegueur; **Ba:** Barghot; **As-Is:** Assodé-Issalane; **Tch:** Tchilit; **Ta:** Tazat; **Se:** Serouénout; **Eg-Al:** Egéré-Aleksod; **Az:** Azrou-n-Fad; **Te:** Tefedest; **La:** Laouni; **Isk:** Iskel; **It:** In Teidini; **Za:** Tin-Zaouatine; **Tir:** Tirek; **Ah:** Ahnet; **Ou:** In Ouzzal; **Ugi:** Unité granulitique des Iforas; **Tas:** Tassendjanet; **Ki:** Kidal; **Til:** Tilemsi; **Tim:** Timétrine

Le Hoggar est composé de 23 terranes (terranes archéens (3200-2500Ma), paléo-protérozoïques (2000Ma) et de terranes panafricains juvéniles (750-550Ma), remaniés en grande partie et bien préservés (Ouzegane *et al.*, 2003).

Dans le cadre du modèle de Black *et al.* (1994), le Hoggar central est constitué de l'amalgamation de cinq terranes : Laouni, Azou-n-fad, Tefedest, Egéré-Aleksod, Sérouenout, Tazat et Assodé-Issalane (Black *et al.* 1994). La remarquable unité de structure et de composition des formations orthodérivées et paradérivées à l'Eburnéen des quatre premiers terranes, et l'interprétation de la déformation régionale ont conduit Liégeois *et al.* (2003) à interpréter l'ensemble comme un vieux microcontinent, appelé "LATEA" (acronyme de Laouni, Azrou-n-Fad, Tefedeset, Egéré-Aleksod) (Fig. I.3). En fait, durant la période post-

collisionnelle de l'orogénèse panafricaine (600 et 570Ma), ce microcontinent fut en partie déstabilisé jusqu'à correspondre à un méta-craton (Liégeois *et. al.* 2003).

Dans le cas de la **LATEA**, la collision n'a pas engendré d'épaississement crustal majeur, et les effets du métamorphisme de haut grade sont limités. Le socle archéen à paléo-protérozoïque est assez bien préservé dans cette région du Hoggar (Liégeois *et. al.* 2003). Le manteau lithosphérique épais a également permis la préservation d'ensembles océaniques néo-protérozoïques charrié précocement sur le socle de **LATEA** mais il a aussi subi d'importantes failles linéaires le long des méga-shear zones, permettant l'intrusion de batholites et de plutons principalement granitiques.

## **I.2. CADRE GEODYNAMIQUE**

Le bouclier Touareg, dans la chaîne panafricaine, peut être interprété comme le résultat d'un cycle complet de Wilson d'âge Néo-protérozoïque, initié autour de 800Ma et parachevé vers 600Ma par la formation d'une orogénie de collision et la suture entre la zone mobile targui et le Craton Ouest-Africain (Bayer *et al.*, 1978; Bertrand et Caby, 1978; Caby *et al.*, 1981; Bouillier, 1991; Caby, 2000; Caby, 2003).

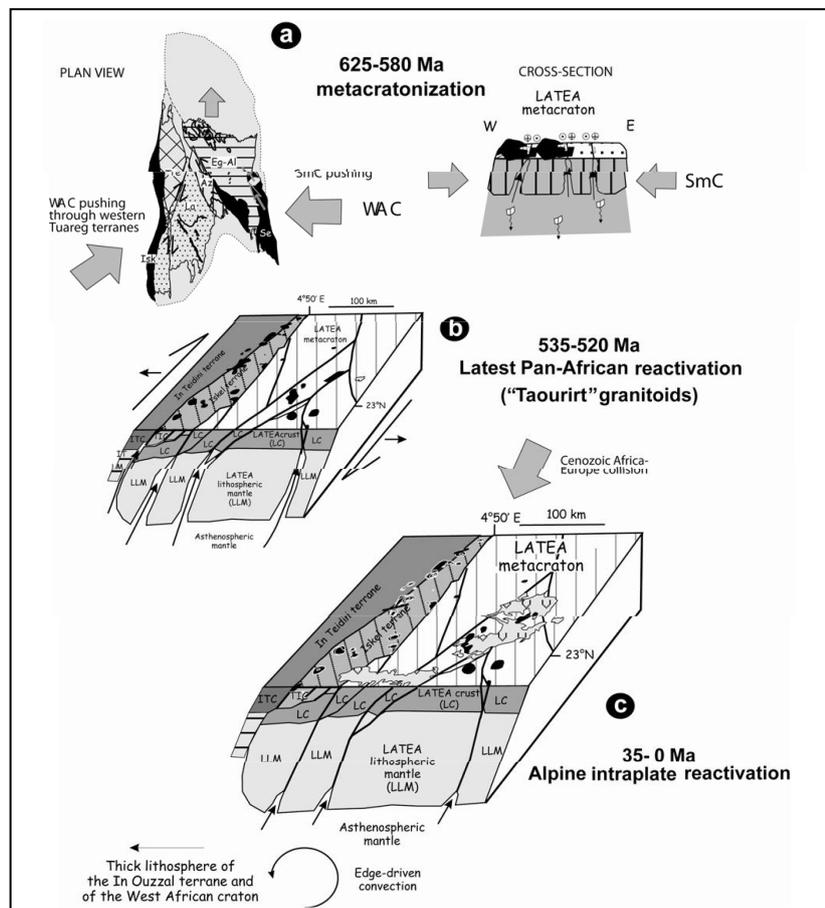
Trois épisodes majeurs classiquement liés à ce cycle, ont été identifiés (Caby, 2000) :

- ☞ rifting intracontinental caractérisé par la divergence des plaques et l'ouverture océanique le long de la bordure du Craton Ouest-Africain (COA). Il est marqué au Néo-protérozoïque (840-700Ma) par l'édification à l'Ouest du 4°50', de systèmes d'arcs associant séries volcano-sédimentaires et volcanisme calco-alcalin.
- ☞ convergence de plaques, dominée par la subduction vers l'Est du domaine océanique Néo-protérozoïque qui séparait le COA du bouclier Targui. Elle génère un volcanisme de type arc insulaire ou cordillère et le dépôt pénécontemporain dans les zones bordières très subsidences, de sédiments immatures à greywakes volcaniques dominants (série verte).
- ☞ accréation essentiellement en sialique de blocs continentaux par collision oblique ou frontale, suivie de la collision oblique dextre avec le COA, vers 630-620Ma.

Le bouclier Touareg s'est élaboré durant deux périodes majeurs de collision :

- ☞ une période précoce, entre 750 et 665Ma environ, caractérisée par des plissements et l'empilement de nappes de charriage. Plus marquée dans l'Est par la collision entre le Hoggar oriental-Aïr et le Craton Est-Saharien, elle donne lieu à une importante délamination lithosphérique.
- ☞ une période tardive essentiellement post-collisionnelle, liée à la collision oblique plus modérée du bouclier avec le Craton Ouest-Africain. Elle se traduit par une compression et

un raccourcissement E-W correspondant à un système d'accidents décrochants conjugués dextre (NNE-SSO) et senestre (NNO-SSE) très souvent mylonitiques (Liégeois *et al.*, 2003) (Fig. I.3).



**Fig. I.3:** Modèles géodynamiques faisant le lien entre le magmatisme du Hoggar et la réactivation des zones de cisaillements majeurs, dans cette zone. (a): d'après Liégeois *et al.* (2005), la fragmentation du carton LATEA après la collision panafricaine (cisaillements transpressifs) a induit une remontée de l'asthénosphère, suite à une délamination, qui a provoqué la fusion de la croûte inférieure, d'où la formation des granitoïdes d'origine crustale (620-580Ma; Liégeois *et al.*, 2003). (b) : d'après Azzouni-Sekkal *et al.* (2003), un autre événement similaire s'est produit à la fin de l'orogénèse panafricaine (535- 520Ma), dans un contexte transtensif, a aboutit à la formation de plutons calco-alkalins, d'origine mixte entre la croûte et le manteau. (c) : Liégeois *et al.* (2005), le volcanisme intra-plaque, récent, enregistré dans le Hoggar serait lui aussi rattaché à une réactivation des zones de cisaillements, en relation avec la convergence Afrique-Europe.

### I.3. LE MAGMATISME PANAFRICAIN TARDIF

Succédant à une collision majeure soulignée par un métamorphisme de haute pression et par d'importants charriages, mais peu favorable à l'ascension de magmas, la période post-collisionnelle se révèle plus efficace, en mobilisant des sources variées (Alexandrov et Mirochniko, 1972.).

Elle génère un plutonisme abondant de nature multiforme, prenant fin avec la mise en place des granites évolués «Taourirts», à affinité alcaline et en plutons élevés (Boissonnas, 1974 ; Azzouni-Sekkal, 1989).

Ces suites «post-orogéniques» ou P.O (Bonin et al, 1998), dites aussi «panafricain tardif» PAT (Chelleitz *et al*, 1992) (Fig. I.4), sont souvent alignées le long des failles décrochantes créées durant la collision et sont plus ou moins contemporaines de la pénéplanation et du développement de bassins molassiques intracontinentaux contrôlés par failles. Elles correspondent aux derniers épisodes d'évolution d'une chaîne de collision vers celle d'un craton stable, progressant, lorsque tous les terranes sont soudés et que la région entière acquiert le même pôle de rotation, vers un magmatisme alcalin intra-plaque typiquement anorogénique, en «ring-complexes» ou complexes annulaires (Liégeois, 1998 ; Liégeois *et al*, 1998), à l'instar des complexes à anorthosites de l'Air (Brown *et al*, 1989 ; Moreau *et al*, 1991) ou des «Younger granites» mésozoïques du Nigeria (Bowden, 1985, Bowden *et al*, 1987).

Les granites «Taourirts» sont distribués au Hoggar sur toute son étendue. Ils se concentrent particulièrement dans la zone centrale située de part et d'autre de l'accident du 4°50, délimitant une large province couvrant trois terranes (terrane d'Iskel et d'In Teidini à l'Ouest et terrane de Laouni, à l'Est).

Ils constituent néanmoins un ensemble très hétérogène, aux caractéristiques pétrographiques et géochimiques variées, et sont généralement séparés en deux grandes familles, différentes par leur morphologie, leur mode d'évolution et leur métallogénie.

#### I.3.1. Les Taourirts des terranes d'Iskel et In Teidini

Dans les terranes d'Iskel et In Teidini (ancien Rameau central de Boissonnas, 1973), les granites sont encaissés dans des formations volcaniques et volcano-clastiques épi-métamorphiques d'arc insulaire, d'âge Néo-protérozoïque («Pharusien »).

Ils forment des complexes allongés, emboîtés et agencés par l'accolement de plusieurs unités à structure concentrique (Tesnou, Isseddiene, Imehellaten) ou s'érigent en massifs isolés à

contour sub-circulaire (El Bema). Leur évolution est de type complexe annulaire, liée à une différenciation par cristallisation fractionnée.

Trois groupes, GI, GIIa, b et GIII ont été définis sur la base de leur minéralogie et leur géochimie (Azzouni-Sekkal et Boissonnas, 1993; Bonin *et al.*, 1998). Ils comprennent deux suites synchrones mais distinctes :

- ✓ Une suite calco-alkaline, évoluant des monzo-granites à biotite et hornblende (GI) à des monzo-granites et syéno-granites et syéno-granites métalumineux subsolvus à biotite (GIIa) puis à un granite peralumineux plus différencié, à albite et micas lithinifères (zinnwaldite-protolithionite) dénommé «alaskite» (GIIb). Ce dernier est caractérisé par une teneur élevée en silice, un enrichissement en Rb, Nb et Y, un spectre de Terres Rares «en ailes de mouette» marqué par une anomalie négative en Eu très prononcée et la présence d'un «effet tétrad ». Il représenterait ainsi les liquides résiduels de fin de différenciation.
- ✓ Une suite alcaline associant des syénites et granites hypersolvus, métalumineux à peralcalins, composés principalement de feldspaths potassiques mésoperthitiques. Les teneurs en Terres Rares sont élevées, donnant des spectres fractionnés sans «effet tétrade» et une anomalie négative marquée en Eu.

Ces deux suites contemporaines sont interprétées comme la transition entre un magmatisme calco-alkalin tardi-orogénique caractérisé par un mélange de composants juvéniles (manteau ou croûte jeune) et cristaux (croûte continentale inférieure), et un magmatisme alcalin de source lithosphérique (lithosphère inférieure-asthénosphère), impliquant une contribution mantellique principalement au travers d'une délamination lithosphérique et une remontée asthénosphérique.

Selon Bonin (Bonin *et al.*, 1998), les deux suites dériveraient d'une même source, le manteau primitif, remplaçant peu à peu la lithosphère, suite à sa délamination.

La contamination et l'assimilation crustale des magmas résultants s'effectuent au cours de leur ascension et leur différenciation, à la faveur de fluides aqueux plus ou moins enrichis en fluor, circulant en circuit convectif autour des chambres magmatiques. Le terrane d'Iskel qui chevauche la LATEA n'a donc pas son propre manteau lithosphérique. C'est un arc insulaire d'accrétion précoce (850Ma), il forme la limite ouest des terranes du Hoggar central (Liégeois *et al.*, 2000).

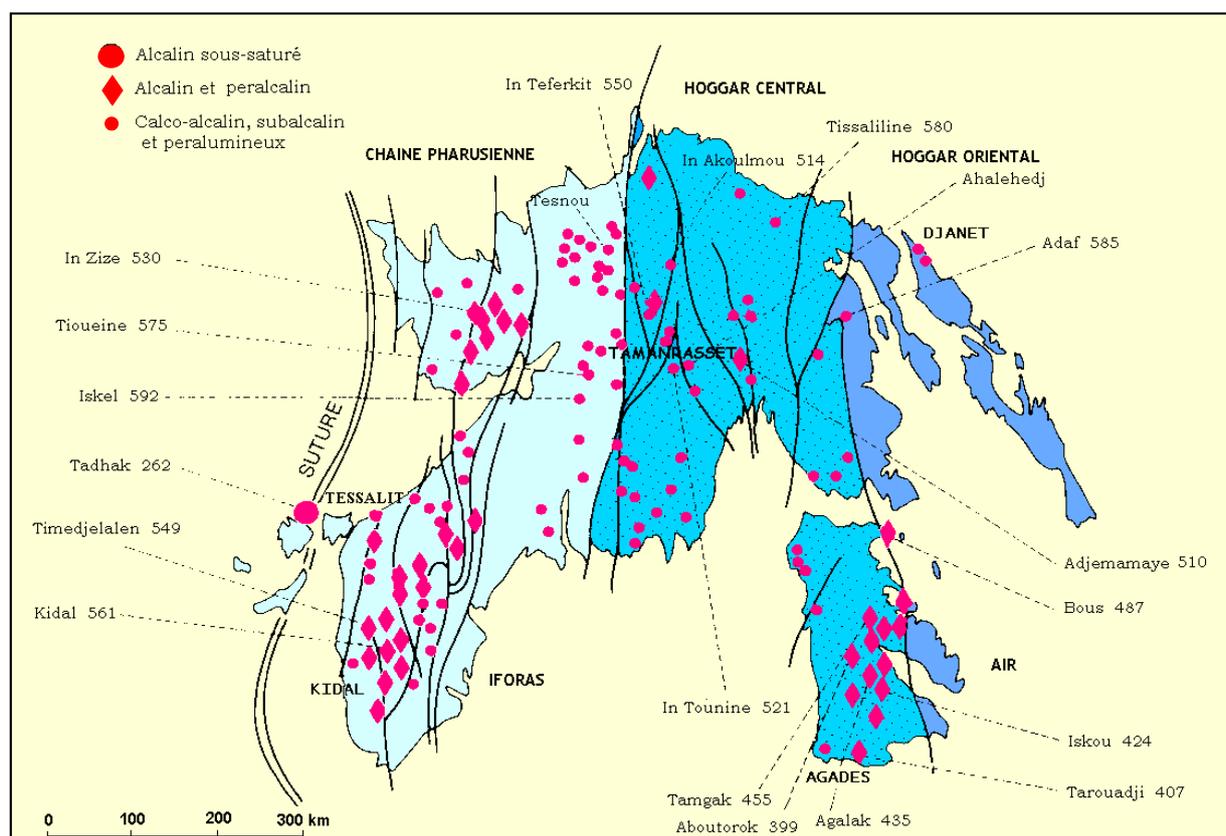


Fig. I.4 : Granites panafricains tardifs du Bouclier Touareg (Cheilletz *et al.*, 1992).

Les âges sont indiqués par les chiffres en Ma et obtenus par isochrone Rb-Sr sur roches totales à l'exception de Z (U-Pb sur zircon), Min (isochrone Rb-Sr sur minéraux) et Ar ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  sur micas). Les données sont de Allègre et Caby, 1972 ; Bertrand *et al.*, 1978; Boissonnas *et al.*, [1969, 1970], Brown *et al.*, 1989; Karche et Vachette, 1978; Latouche et Vidal, 1974; Liégeois *et al.*, 1983; Liégeois and Black, 1987; Vialette et Vitel, 1981; Cheilletz *et al.*, 1992; Paquette *et al.*, 1998 (Fig. I.5).

### I.3.2. Les Taourirts de la LATEA

Dans le Hoggar central, les granites panafricains tardifs (PAT) se présentent sous la forme de plutons bien circonscrits généralement elliptiques, dômes ou petites coupoles isolées, dont la mise en place est contrôlée principalement par des structures extensives localisées.

Le faciès dominant est représenté par un granite rose à grain moyen à biotite ou à deux micas. Cependant, beaucoup sont des plutons composites peralumineux formés, à l'exemple d'In Tounine, d'une succession d'injections granitiques variées : granite rose à grain moyen à grossier porphyroïde à biotite ou à deux micas et granite gris à grain fin à cordiérite.

Les dernières intrusions se distinguent par des contours francs et des contacts souvent soulignés par des corps pegmatitiques et stocksheiders. Elles sont constituées par des granites leucocrates à grain fin, à albite, topaze et micas (zinnwaldite, lépidolite) (Azzouni *et al* 2003). Leur évolution silico-sodique est liée à un magma particulièrement hyperalumineux, enrichi en F, Li, Rb et Sn, tardif par rapport aux plutons composites PAT (Fig. I.5) (Azzouni *et al* 2003).

Ces granites, à affinité sub-volcanique plus marquée et de mise en place à faible profondeur, représentent un type spécifique, très évolué, auquel est génétiquement associée la minéralisation filonienne d'étain et de tungstène (Azzouni *et al* 2003).

S'il n'atteste pas d'une origine purement crustale, le rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial ( $\approx 723$ ), obtenu dans l'In Tounine (Moulaoum, 1987) (Nedjari, 2006), (Kesraoui et Nedjari, 2002), suggère la présence d'une forte composante de cette nature. La différenciation des granites tardifs peut mener à la mise en place de granites à métaux rares à l'exemple de Rechla (Kesraoui 2005).

La relation entre l'or et les métaux rares est en outre soulignée par Mariniac *et al*, 2016.

En dépit de différences locales notables, les travaux les plus récents (Azzouni-Sekkal *et al*, 2003), fondés sur l'étude comparée des spectres des éléments en traces et de Terres Rares et les données isotopiques (Sm-Nd), démontrent une origine commune pour l'ensemble des granites de la province des «Taourirts». Les résultats indiquent une source identique d'origine profonde (asthénosphère et croûte inférieure) et une forte interaction des magmas les plus différenciés avec la croûte supérieure. Seule la nature contrastée du protholithe impliqué dans la fusion expliquerait ainsi les différences observées : arc océanique pour les uns, croûte ancienne pour les autres.

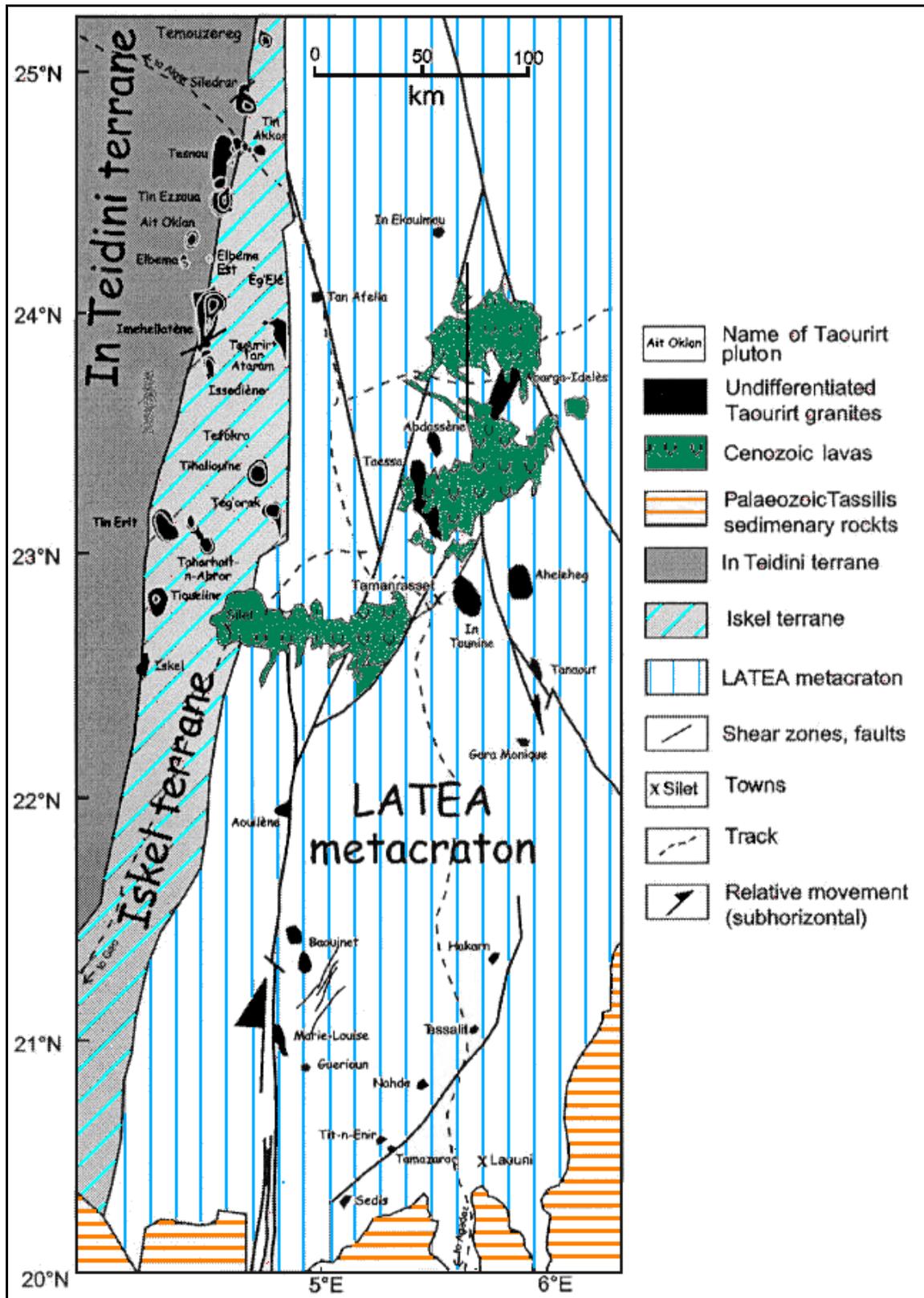


Fig. I.5 : Répartition des granites « Taourirt » de part et d'autre de l'accident du 4°50 (Azzouni *et al* 2003 ; Nedjari, 2006).

**CHAPITRE \* II \***

**GEOLOGIE REGIONALE**

## II. GEOLOGIE REGIONALE

### II.1 Le Terrane d'Assodé-Issalane

Le terrane d'Assodé-Issalane constitue l'extrémité la plus orientale du Hoggar central. Il est limité à l'Est par l'accident du 8°30-Raghane, zone de suture avec le Craton Est-saharien.

D'âge éburnéen probable (~2,0Ga), il se compose d'un socle gneissique et migmatitique très déformé et d'un puissant complexe métasédimentaire métamorphisé dans le faciès *amphibolites*, recoupés par de nombreux granitoïdes panafricains intrusifs, de composition, morphologie, type et âge variés.

Ses relations avec la LATEA restent encore à définir. Son rattachement à celle-ci est envisageable sur la base d'une corrélation d'unités superposées de gneiss très déformés et quartzites à fuchsite, identiques à celles "*d'Oumelalen*" décrites dans la Tefedest (Liégeois *et al*, 2003 ; Peucat *et al*, 2003).

### II.2 Les terrains métamorphiques

Dans sa partie Nord (Issalane, Hoggar), le terrane *d'Assodé-Issalane* se compose comme partout ailleurs dans le Hoggar central, d'un complexe de gneiss migmatitiques rubanés et veinés, attribué à la "*série de l'Arechchoum*" par analogie avec la région voisine de l'Aleksod (Bertrand, 1974 ; Bertrand *et al*, 1978) et opposé à une série méta-sédimentaire associant des quartzites à fuchsite, gneiss à silicates calciques et marbres à des leptynites alcalines, gneiss à biotite et micaschistes assemblés en plusieurs séquences répétitives.

Dans son prolongement sud (Assodé, Aïr), quatre groupes de formations, aux relations incertaines, ont été définis (Liégeois *et al*, 1994) :

- Azanguérène (*Azan*) : gneiss migmatitiques gris, amphibolites et rares roches à silicates calciques qui constituent le socle ancien très déformé.
- Tafourfouzète (*Taf*) : gneiss leucocrates feldspathiques, quartzites, marbres, amphibolites et rares métapélites.
- Cherchouf : orthogneiss alcalins, gneiss à biotite, amphibolites et quartzites.
- Edoukel : micaschistes à intercalations de roches à silicates calciques, quartzites, amphibolites et marbres.

**CHAPITRE \* III \***

**GEOLOGIE LOCALE**

### III. GEOLOGIE LOCALE

#### III.1 Stratigraphie

##### III.1.1 Paléo-protérozoïque

Il est représenté dans la région par la série de l'Arechchoum formé au cours du cycle orogénique éburnéen. Cette série de l'Arechchoum est surmontée en discordance structurale par la série de l'Aleksode (Fig. III. 1).

##### III.1.2 Méso-protérozoïque

Il est représenté par la série d'Aleksode formée entre 2000 et 1000Ma. Les roches sont représentées par les différents gneiss, les schistes cristallins, les quartzites, les amphibolites et les marbres.

La série de L'Aleksode est représentée par trois assises.

**a- Assise inférieure de la série de l'Aleksode (PR<sub>1</sub> al<sub>1</sub>):** Elle se trouve au Nord de la feuille d'Issalane (Golovine, 1974), les roches attribuées à l'assise inférieure, sont fortement migmatisées. Plus au Nord, dans la feuille In Takelkeba, l'aspect de la coupe ne change pas – les schistes cristallins à deux micas sont prédominants.

**b- Assise moyenne de la série de l'Aleksode (PR<sub>1</sub> al<sub>2</sub>):** L'assise moyenne se compose d'alternance de gneiss, quartzites, amphibolites, marbres, saccaroïdes, magnésiens et de différents schistes cristallins (à deux micas, amphibole, biotite-amphibole et d'autres).

**c- Assise supérieure de la série de l'Aleksode (PR<sub>1</sub> al<sub>3</sub>):** Les roches de l'assise sont représentées par les quartzites micacés, les grés micacés quartzoïdes, de méta-effusifs acides et carbonates.

**III.1.3 Néo-protérozoïque:** Au néo-protérozoïque sont attribuées les roches volcano-sédimentaires. Dans la région d'In-Takelkeba cette série est formée par des faciès tufo-terrigno-carbonates suivis plus au sud (feuille d'Issalane) par des faciès carbonato-volcanogènes (Itskov, 1985). La série volcanogène est représentée par :

**a- Assise moyenne et supérieure réunies de la série volcanogène (PR vl):** A l'Est de la faille 7°30' dans les limites des feuilles In Takelkeba et Issalane se suit en direction subméridienne sur une étendue de 150km et 15km de large plusieurs pointements de la série

volcanogène. Dans le Nord ces pointements représentés par des faciès tufo-carbonato-terrigenes sont caractérisés par une coupe essentiellement schisteuse.

**b- Série volcanogène non différenciée (PR vl):** Sur la partie Nord-est d'In Takelkeba en direction Nord-Nord-ouest sur une étendue de 1100km et 15 à 20km de large se suivent en continuité les roches de la série volcanogène représentées par des faciès carbonato-terrigenes.

**c- Le Cambro-ordovicien (E-O):** Les formations horizontales du Cambro-ordovicien reposent en discordance structurale nette, soulignée par les bases et les par la croute d'altération de différents dépôts du Précambrien. Litho-logiquement ce sont des grés (10 à 75%), des gravelites (30 à 40 %), des conglomérat (1%).

**d- Dépôts quaternaires (Q)**

Les formations récentes et quaternaires sont représentées par des dépôts déluvio-alluvionnaires des oueds (Tadant et Takalous). Par endroits. On voit les formations éluvienne qui recouvrent les plateaux.

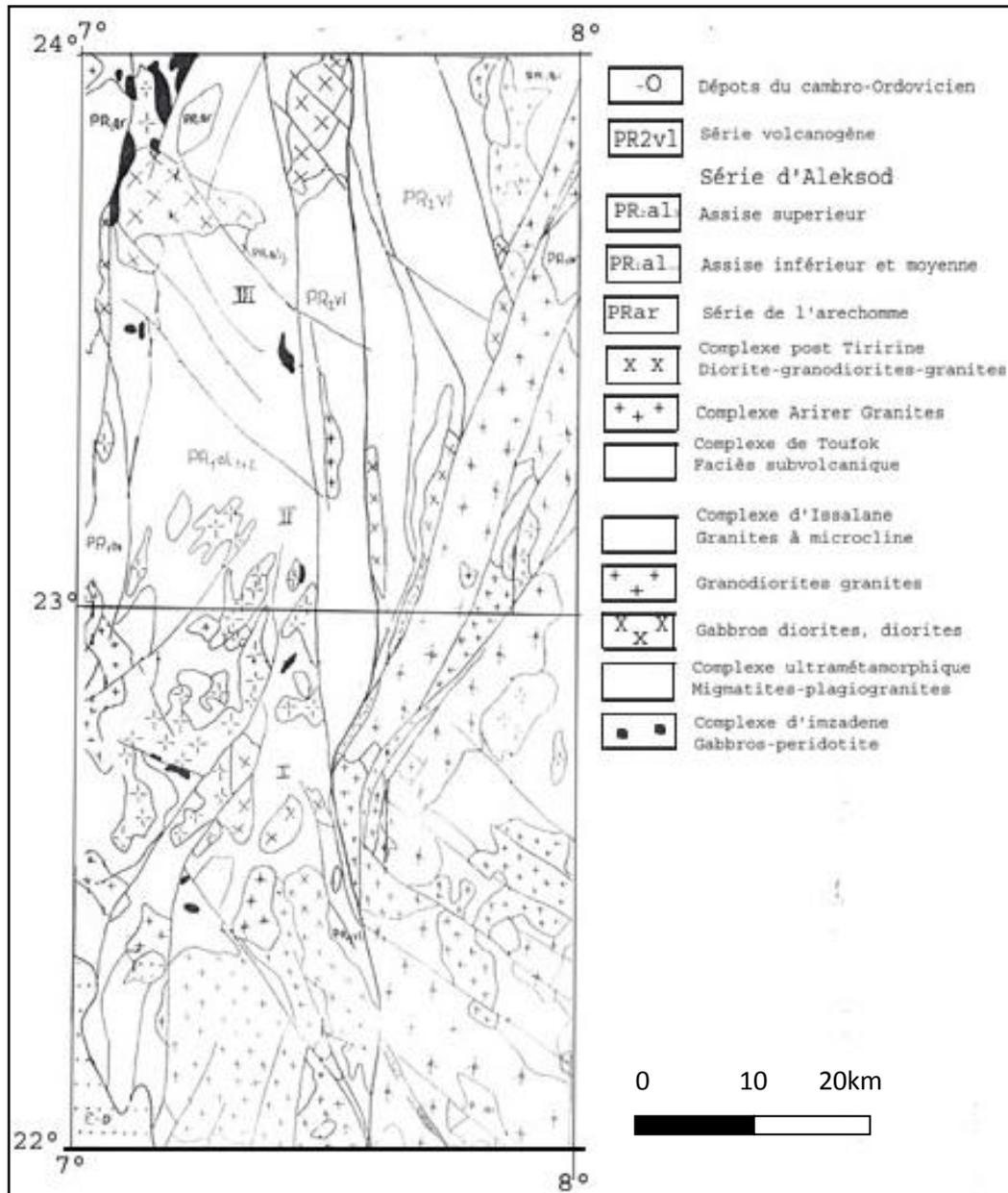


Fig. III. 1: Carte régionale des la région d'étude

## **CHAPITRE \*IV\***

# **TRAITEMENT ET DESCRIPTIONS DES DONNEES AEROGEOPHYSIQUE**

### **IV.1. Introduction**

### **IV.2. Aperçu théorique sur la prospection magnétique**

#### **IV.2.1 Champ géomagnétique**

Le champ magnétique terrestre CMT ou champ géomagnétique, a fait l'objet de plusieurs études depuis quelques siècles, c'est un phénomène variable dans l'espace et dans le temps, caractérisé par sa direction et son intensité en chaque point de la surface du globe terrestre.

Le champ géomagnétique, est la somme de deux parties interne et externe.

**a. Un champ interne :** Dont les sources sont intérieures à la terre. Ce dernier est la somme de deux termes :

- Un champ principal (régulier) ayant pour siège la surface du noyau externe. Ce champ représente en moyenne, 99 % du champ observé à la surface du globe.
- Un champ crustal d'anomalies locales. Ce champ est engendré par les roches aimantées situées au-dessus de la surface isotherme dite de Curie.

**b. Un champ externe :** D'intensité beaucoup plus faible, plus rapidement variable dans le temps dont les sources sont pour partie externe.

#### **IV.2.2 Magnétisme de la terre**

##### **a. Les éléments du champ géomagnétique**

En chaque point de la surface de la terre, le champ géomagnétique « B » est représenté par son intensité « F » comme grandeur vectorielle, ce vecteur change son orientation d'un point à l'autre. La complexité de l'orientation du vecteur du champ total nécessite sa décomposition dans un système à 3D (Telford et al, 1998). Dans un système orthogonal, les éléments du champ principal sont illustrés par la Figure IV.1.

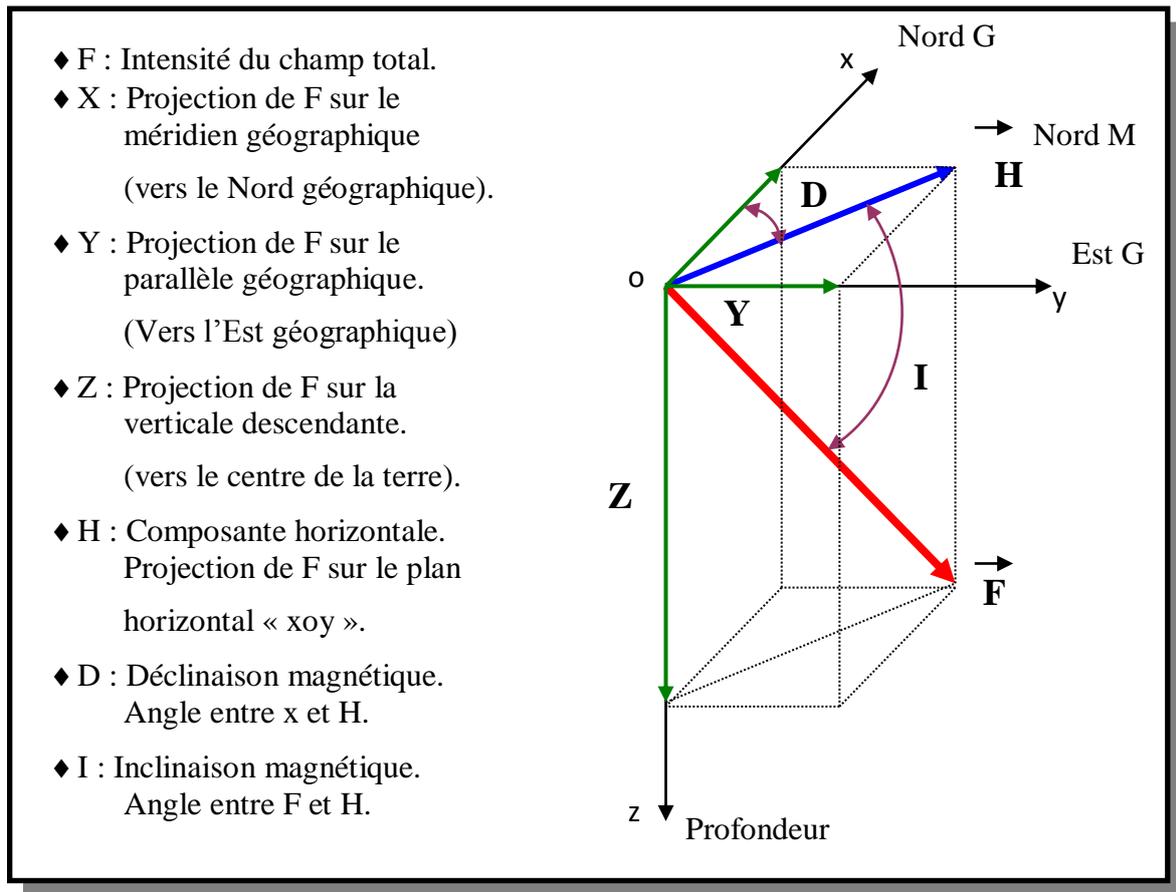


Fig. IV.1 : Composantes du champ magnétique terrestre (Telford et al, 1998).

Ces éléments sont reliés par les relations suivantes :

$$\begin{aligned}
 F^2 &= H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \\
 H &= F \cos I & Z &= F \sin I \\
 X &= H \cos D & Y &= H \sin D \\
 \operatorname{tg} D &= Y/X & \operatorname{tg} I &= Z/H
 \end{aligned}
 \tag{IV.1}$$

### IV.3 Représentation analytique du champ géomagnétique :

Pour décrire le champ magnétique principal, une première modélisation mathématique synthétique du champ, basée sur les observations, a été élaborée par Gauss (1838) qui a utilisé le développement en harmoniques sphériques (Harrouchi 2005).

Dans un milieu dépourvu de sources, on montre que le champ dérive d'un potentiel scalaire :

$$\vec{B} = -\operatorname{grad}U \tag{IV.2}$$

et que ce potentiel vérifie l'équation de Laplace

$$\nabla^2 U = \Delta U = 0 \tag{IV.3}$$

et par conséquent le potentiel est harmonique.

Dans le système des coordonnées sphériques, le potentiel s'exprime sous la forme :

$$U(r, \theta, \varphi, t) = \underbrace{a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{r}{a}\right)^n [q_n^m(t) \cos m\varphi + s_n^m(t) \sin m\varphi] P_n^m(\cos \theta)}_{\text{sources externes}} + \underbrace{a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} [g_n^m(t) \cos m\varphi + h_n^m(t) \sin m\varphi] P_n^m(\cos \theta)}_{\text{sources internes}} \quad (\text{IV.4})$$

Où :

(r,θ,φ) sont les coordonnées sphériques.

t : le temps.

a : le rayon moyen de la terre (a = 6371.2 Km).

n, m représentent respectivement le degré et l'ordre du développement.

$g_n^m, h_n^m$  : les coefficients de Gauss internes.

$q_n^m, s_n^m$  : les coefficients de Gauss externes.

L'expression du polynôme de Legendre est donnée par :

$$P_n^m(\cos \theta) = \frac{(-1)^m}{2^n \cdot n!} (1 - \cos^2 \theta)^{\frac{m}{2}} \frac{d^{n+m}}{d^{n+m}(\cos \theta)} (\cos^2 \theta - 1)^n \quad (\text{IV.5})$$

#### IV.4 Champ magnétique de référence (IGRF)

Le champ magnétique de référence mondial (*International Geomagnetic Reference Field*) est une représentation mathématique du champ géomagnétique adoptée selon un protocole d'accord international sous l'égide de l'association internationale de géomagnétisme et d'aéronomie (IAGA), branche de l'union internationale de géodésie et de géophysique (IUGG). Ces modèles de référence mondiaux sont calculés tous les cinq ans, à partir de l'expression (IV.4) au dixième degré pour le champ (coefficients internes de Gauss :  $g_n^m, h_n^m$ ) et au huitième degré pour les variations temporelles (dérivées premières par rapport au temps de  $g_n^m, h_n^m$ ) et correspondant à des époques données (Barraclough, 1987).

#### IV.5 Variations du champ géomagnétique

Durant la réalisation d'un levé magnétique dans un endroit donné, on remarque que les mesures, prises dans le même point, varient en fonction du temps. On distingue deux types de variation (Chouteau, 1999) :

Les variations de courtes périodes (annuelles ou moindres), sont causées essentiellement par des courants électriques circulant dans l'ionosphère et la magnétosphère.

Les variations de longues périodes trouvent leur origine dans le noyau et sont appelées variations séculaires.

#### IV.6 Application de la méthode analytique de La Déconvolution d'EULER

La déconvolution d'Euler (ED), appliquée aux données de champs de potentiel, permet de déterminer les paramètres des sources locales. Elle est basée sur un procédé mathématique représenté par l'équation d'homogénéité d'Euler (Thompson, 1982). Si on considère une source magnétique ou gravimétrique, située au point de coordonnées  $(x_0, y_0, z_0)$ , l'intensité du champ de potentiel  $f$  en un point  $(x, y, z)$  quelconque, peut s'écrire sous la forme :

$$f(x, y, z) = C / r^N \quad (IV.6)$$

Où  $C$  est une constante,  $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}$  et  $N$  est l'indice structural, cette indice correspondant au type des données du champ potentiel (Tableau 4.1). Il est égal à 3 pour le magnétisme (le champ magnétique décroît en fonction de  $1/r^3$  pour un point-pôle) et 2 pour la gravimétrie (le champ gravimétrique décroît en fonction de  $1/r^2$  pour un point-pôle ou une sphère).

**Tableau IV. 1** Valeurs de l'indice structural (N) selon la géométrie de la source  
(Reid et al., 1990)

Source géométrique	Nombre de dimensions infinies	N (magnétisme)	N (gravimétrie)
Sphère	0	3	2
Cylindre vertical	1 (axe z)	2	1
Cylindre horizontal	2 (axe x/y)	2	1
Dyke	2 (axes z et x/y)	1	0
Sill	2 (axes x et y)	1	0
Sill	3 (axes x, y et z)	0	-
Contact			

D'après Reid et al. (1990) l'équation d'homogénéité d'Euler de l'expression (IV.6) est donnée sous la forme suivante :

$$(x - x_0) \frac{\partial f}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial f}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial f}{\partial z} = N(B - f) \quad (IV.7)$$

Où,  $B$  représente une constante locale qui caractérise le champ régional et  $\partial f / \partial x$ ,  $\partial f / \partial y$  et  $\partial f / \partial z$  sont les dérivées du champ de potentiel  $f$  selon les directions  $Ox$ ,  $Oy$  et  $Oz$  respectivement. Le principe de la déconvolution d'Euler repose sur la résolution de l'équation précédente (IV.7) qui comporte quatre inconnues ( $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  et  $B$ ). Pour résoudre un système d'équations à quatre inconnues, il faudra donc, au moins, quatre points de mesures. On considère une fenêtre carrée ( $W \times W = n$ ) sur les grilles des gradients du champ de potentiel, cette fenêtre donne un système de  $n$  équations linéaires. Donc on peut mettre l'équation (IV.7) sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} & \frac{\partial f}{\partial y_1} & \frac{\partial f}{\partial z_1} & N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} & \frac{\partial f}{\partial y_n} & \frac{\partial f}{\partial z_n} & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \frac{\partial f}{\partial x_1} + y_1 \frac{\partial f}{\partial y_1} + z_1 \frac{\partial f}{\partial z_1} + Nf_1 \\ \vdots \\ x_n \frac{\partial f}{\partial x_n} + y_n \frac{\partial f}{\partial y_n} + z_n \frac{\partial f}{\partial z_n} + Nf_n \end{bmatrix} \quad (IV.8)$$

La matrice (4.8) est de la forme :

$$Am = d \quad (IV.9)$$

On peut obtenir les solutions  $m$  du système d'équation (4.9) au sens des moindres carrées, en utilisant la matrice transposée  $A^T$  de  $A$  :

$$A^T Am = A^T d \quad (IV.10)$$

### IV.7. Application aux modèle Theorique

Nous appliquerons la technique précédente (ED) aux modèles synthétiques exactes et bruités dans le but d'avoir le bon choix des paramètres qui offrent une meilleure interprétation, avant leur application à un cas réel.

Nous avons appliqué la méthode précédente (ED) à un modèle théorique composé de deux sources à géométrie simple (Fig. IV.2a): la première source est un dyke vertical (A), ayant une profondeur de 3.5 km et une très grande épaisseur. Elle est caractérisée par une susceptibilité magnétique et aimantation de 0.015 uSI et 3 A/m respectivement. Cette source simule les dykes et les systèmes de failles.

La seconde source est représentée par un prisme rectangulaire (B), ayant une profondeur de 4.5km 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 1A/m.

Cette source simule les contacts géologiques et les blocs tectoniques qui sont souvent rencontrés dans notre zone d'étude. Nous avons calculé la réponse magnétique TMI (Total Magnetic Intensity) de notre modèle théorique (Fig. IV.2b), en utilisant les valeurs de la déclinaison, de l'inclinaison et du champ magnétique total de  $-10^\circ$ ,  $30^\circ$  et  $37000\text{nT}$  respectivement. Afin d'étudier la stabilité des méthodes au bruit de courtes longueurs d'onde, nous avons perturbé les données de départ, par un bruit gaussien ayant un écart-type de d'ordre de  $0.4\text{ nT}$  et  $6.0\text{nT}$  respectivement (Fig.4.2b et c) (Harrouchi et al., 2016).

Nous avons appliqué la déconvolution d'Euler avec les paramètres suivants: les valeurs de l'indice structural (0.00, 0.25, 0.50 et 0.75) pour le prisme rectangulaire (A) et (1.00, 1.25, 1.50 et 1.75) pour le dyke vertical (B). Puisque les valeurs entières de l'indice structural (0 et 1) correspondent à des formes géométriques idéales qui, n'existent pas dans la nature (Barbosa, 1999 ; Harrouchi et al., 2016).

Le calcul a été effectué en choisissant une fenêtre de dimensions  $W=11\times 11$ . Les solutions correspondantes aux paramètres d'Euler sont représentées sur (la figure 4.2) et (la figure 4.3), respectivement. Les résultats d'estimations de profondeurs par la méthode de la déconvolution d'Euler (ED) sont résumés sur le tableau 4.2; pour le prisme nous avons obtenu la profondeur moyenne de l'ordre de  $4.47\text{ km}$  (Fig. 4.2b) et la profondeur du dyke, de l'ordre de  $3.47\text{ km}$  (Fig.4.3b), avec l'indice structural  $N=0.25$  et  $N=1.25$  pour le prisme et le dyke, respectivement (Harrouchi et al., 2016). L'examen du résultat de solution fournit des estimations de profondeurs proches de leur valeur théorique proposée et produit un regroupement des solutions, meilleur.

**Tableau IV.2** Paramètres physiques du model synthétique (Harrouchi et al., 2016)

Paramètres physiques	Dyke (A)	Prisme (B)
Profondeur	3.5 km	4.5 km
Susceptibilité magnétique	0.015 uSI	0.010 uSI
Aimantatio	3.0 A/m	1 A/m
Champ magnétique total	37000 nT	37000 nT
Déclinaison	$-10^\circ$	$-10^\circ$
Inclinaison	$30^\circ$	$30^\circ$

**Tableau IV.3** Tentatives d'estimations de profondeurs dans le cas d'un Dyke et Prisme, respectivement

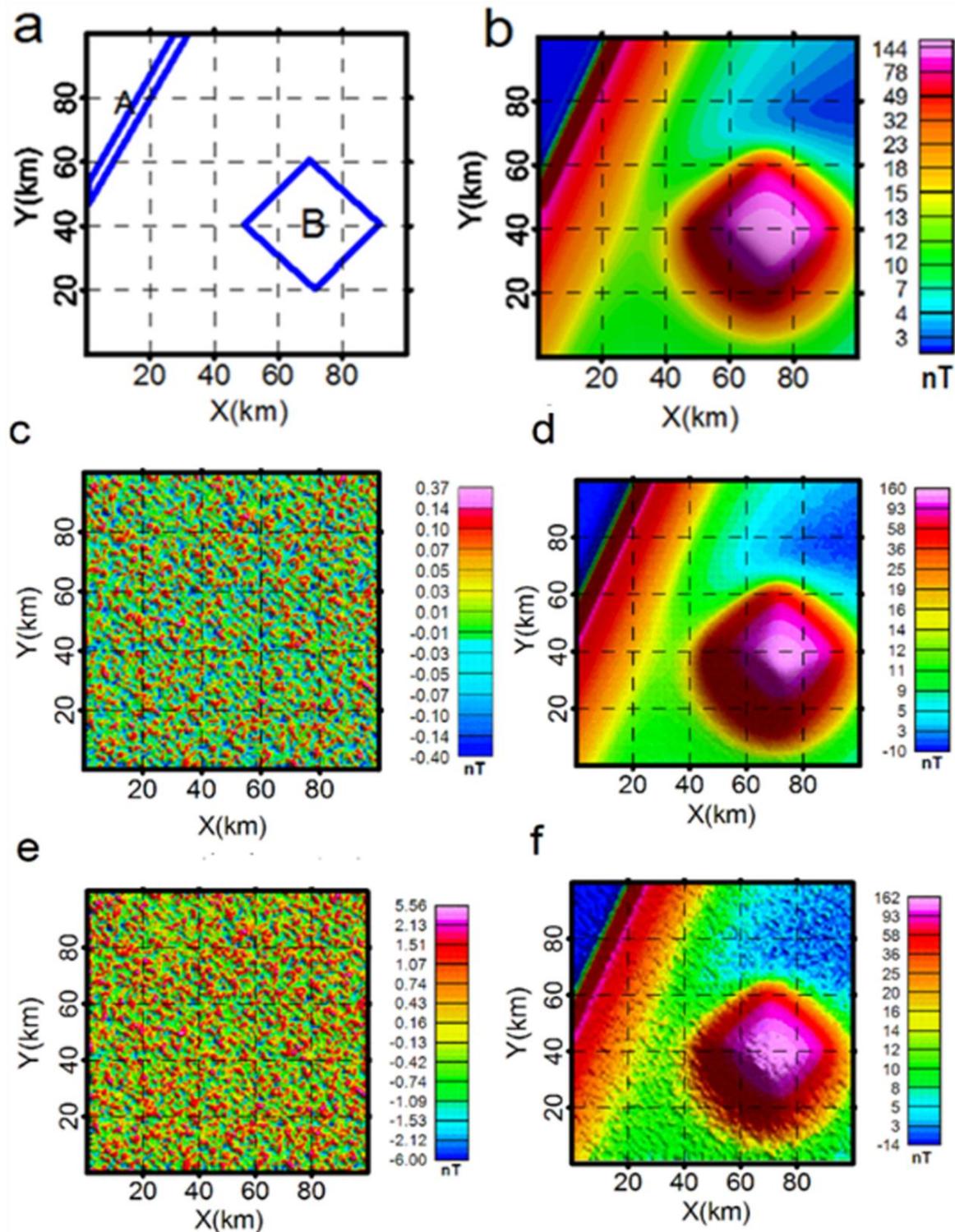
Indice structural (N)	Profondeurs (km) (dans le cas d'un Dyke)	Profondeurs (km) (dans le cas d'un Prisme)
0.00	1.99	3.18
0.25	2.54	4.47
0.50	3.00	4.83
0.75	3.16	5.59
1.00	3.27	6.36
1.25	3.47	7.05
1.50	4.50	7.15
1.75	5.51	8.39

**Tableau IV.4** Paramètres physiques du modèle gravimétrique théorique

Profondeur du toit	2.5 km
Contraste de la densité	0.2 g/cm <sup>3</sup>
Epaisseur	4 km

**Tableau IV. 5** Tentatives d'estimations de profondeurs du modèle gravimétrique théorique

Indice structural (N) (km)	Estimations de profondeurs
2.75	
0.25	3.18
0.50	3.85
0.75	4.33



**Fig. IV.2.** a. Localisation horizontale du modèle synthétique composé par un dyke vertical (A) et un prisme rectangulaire (B); b. Réponse magnétique du mode TMI (Total Magnetic Intensity); c. Un bruit pseudo-aléatoire avec une déviation standard de l'ordre de 0.4 nT de la figure a. d. TMI rajouté par un bruit pseudo-aléatoire a une déviation standard de l'ordre de 0.4 nT. e. Un bruit gaussien ayant une déviation standard de 6.0 nT d'écart-type. f-TMI rajouté par un bruit gaussien a une déviation standard de 6.0 nT d'écart-type.

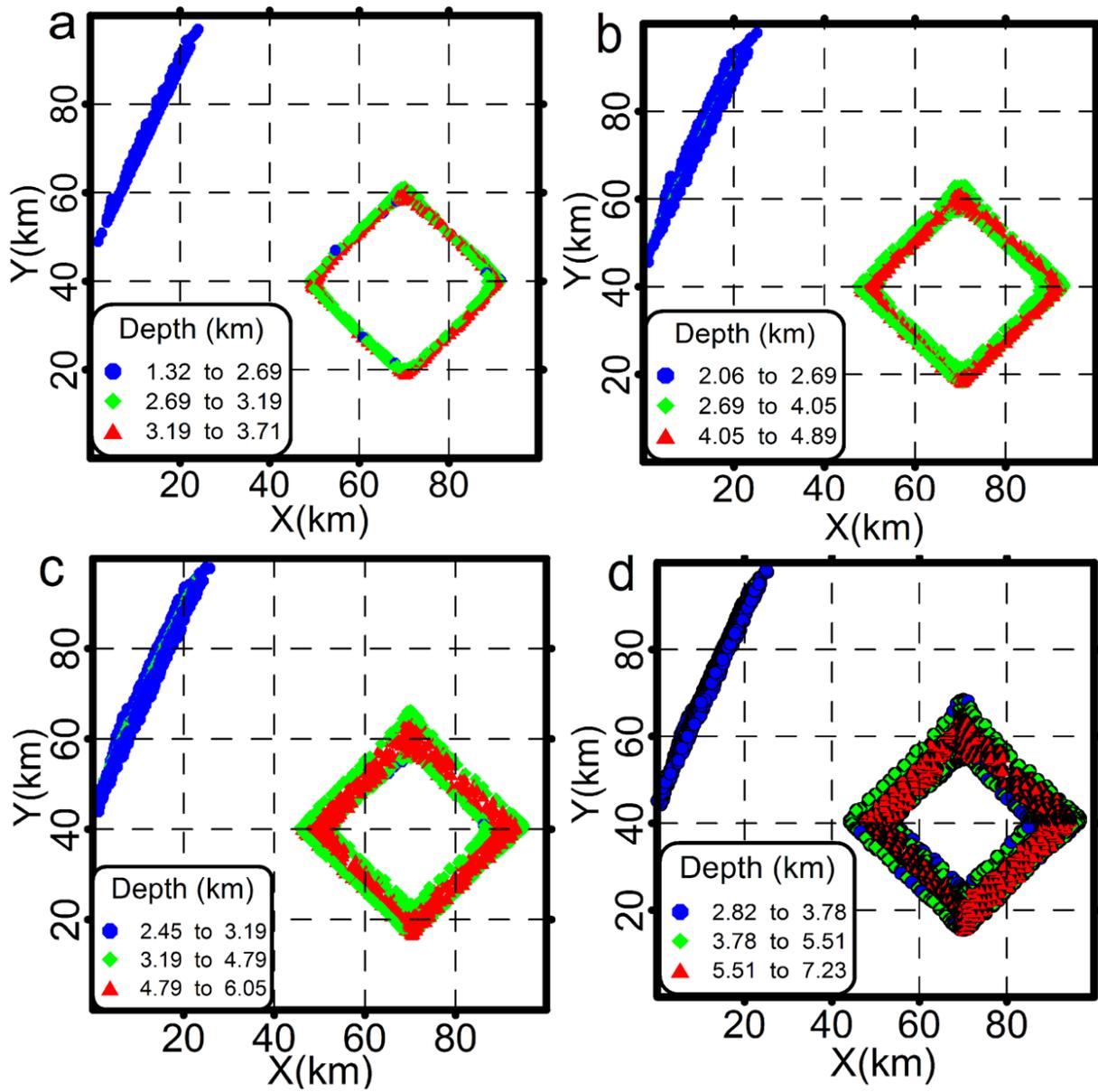


Fig. IV.3. Solutions d'Euler dans le cas d'un contact avec différentes valeurs de l'indice structural. a-  $N = 0.00$ . b-  $N = 0.25$ . c-  $N = 0.50$ . d-  $N = 0.75$ .

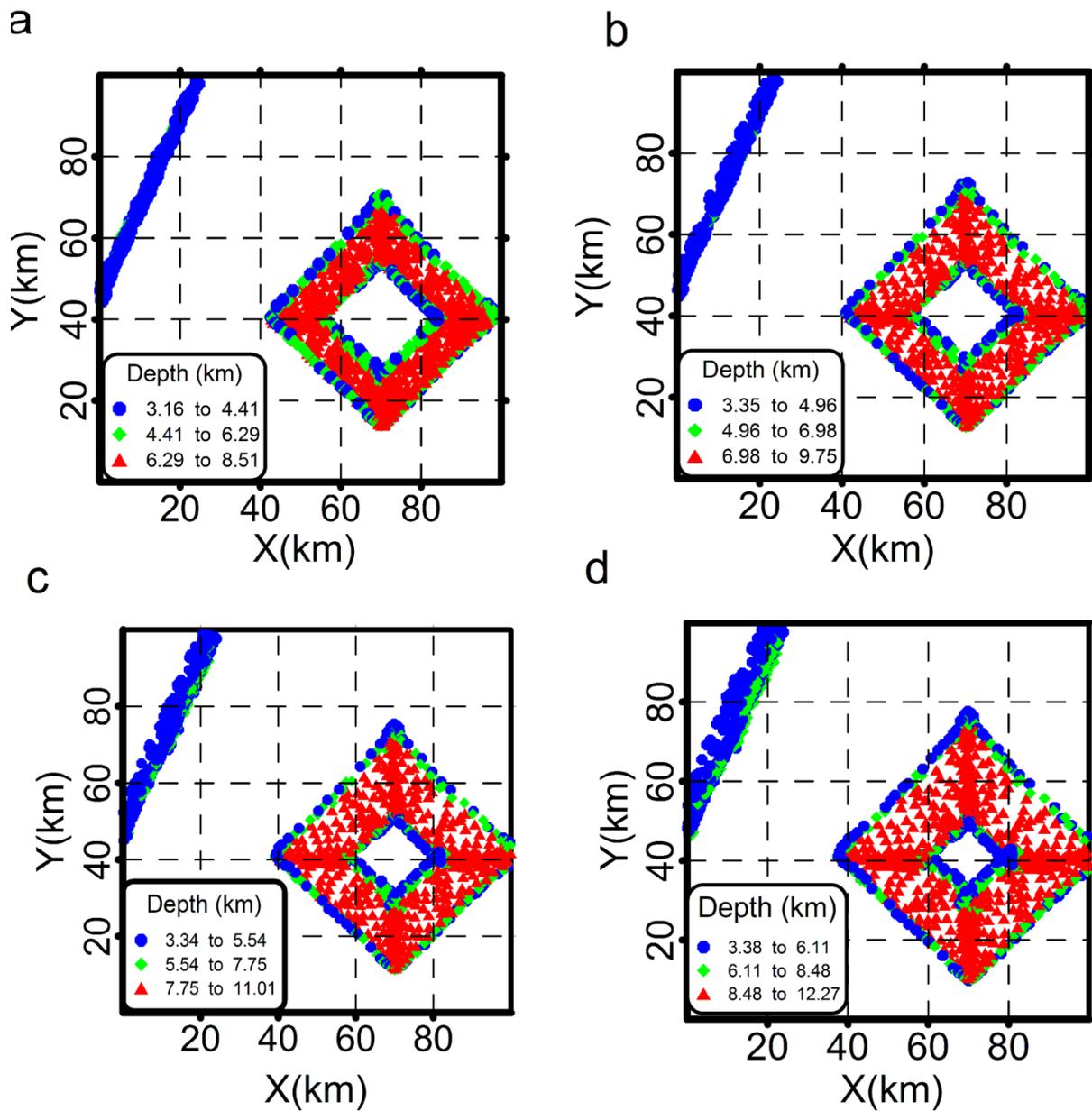


Fig. IV 4.4 Solutions d'Euler dans le cas d'un dyke avec différentes valeurs de l'indice structural. a-  $N = 1.00$ . b-  $N = 1.25$ . c-  $N = 1.50$ . d-  $N = 1.75$ .

**CHAPITRE \* V \***

**DESCRIPTIONS ET  
INTERPRÉTATIONS DES DONNÉES  
GÉOPHYSIQUES**

### V. DESCRIPTIONS ET INTERPRÉTATIONS DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES

#### V.1 Les instruments de mesure

Les premiers instruments utilisés en magnétométrie étaient des compas marines modifiés, ces instruments donnaient les valeurs des composantes I et D. d'autres instruments ont été développés permettant la mesure des composantes H et Z ainsi que la composante du champ total F tel que les variomètres magnétiques.

L'appareillage de magnétométrie a connu une vraie évolution grâce aux nouvelles technologies, on distingue plusieurs types de magnétomètres, dont le principe de ces appareils se résume en la comparaison de la force mesurée à une autre force connue. On distingue trois types de magnétomètres :

- a. Magnétomètre Flux-gate (*Précision = 1 nT*)
- b. Magnétomètre à précession nucléaire RMN (*Précision = 0.1-1 nT*)
- c. Magnétomètre à pompage optique (*Précision = 0.01 nT*)

#### V.2 Les levés Aérogéophysiques

Plusieurs méthodes de prospection géophysique peuvent être effectuées à partir d'un avion, dont la magnétométrie et la spectrométrie sont les deux techniques les plus utilisées.

Un levé aérogéophysique, peut être pédestre, autoporté ou aéroporté. Selon la dimension du corps recherché, ce levé est mis en œuvre à une échelle donnée. On distingue trois grandes échelles :

- ◆ Echelle régionale (1 : 1 000 000)
- ◆ Echelle semi-détaillée (1 : 50.000 à 1 : 500 000).
- ◆ Echelle détaillée (1 : 25 000 à 1 : 2 000). En dessous de cette dernière c'est la micro-magnétométrie.

Selon les échelles données, on installe le réseau d'observation dont les profils doivent être perpendiculaires aux structures régionales, Fig. (V.1).

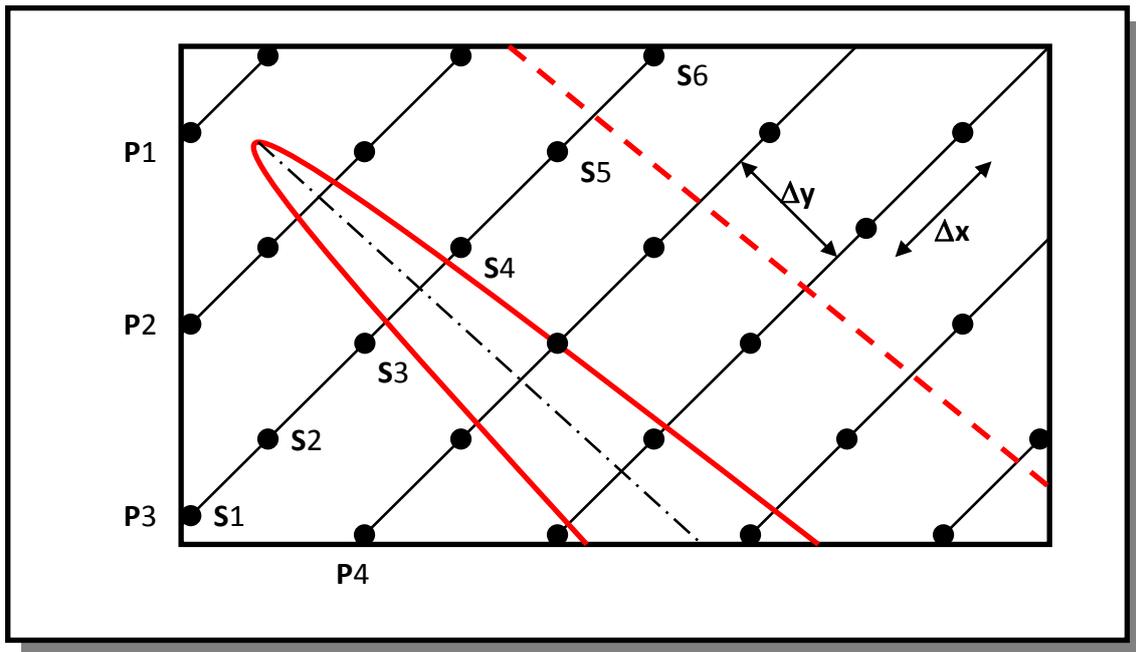


Fig. V.1 : Installation du levé de mesure.

Chaque profil (P) est constitué de plusieurs stations de mesure (S). On distingue deux types de maillage :

- ◆ Maillage régulier : souvent utilisé dans la prospection magnétique.

Si  $\Delta X = \Delta Y$  : maillage carré.

Si  $\Delta X < \Delta Y$  : maillage rectangulaire.

- ◆ Maillage irrégulier : généralement dans les zones accidentées.

Dans la pratique, en plus du réseau des points de mesure, nous devons installer un autre réseau des points de bases qui est généralement irrégulier. Un point de base est un point de référence qui sert à contrôler les variations journalières du champ pour procéder aux corrections des mesures.

### V.3 Description du levé aéromagnétique

Nous disposons de données brutes (magnétométriques et spectrométriques) acquises au dessus de notre zone d'étude sous forme de fichiers numériques, ces données font partie du levé aérogéophysique couvrant tout le territoire national. Dans ce chapitre nous présentons une

description du levé aéroporté ainsi que les différentes étapes du prétraitement de l'information aéromagnétique.

Pour qu'un levé aérogéophysique soit exploitable et ait un intérêt géologique, il est impératif d'effectuer des corrections aux mesures de toutes les altérations qui peuvent affecter ces mesures. En effet, le traitement des données brutes permet la réalisation des cartes interprétatives ce qui facilite la tâche d'interprétation.

### **V.4. Description du levé Aérogéophysique**

#### **V.4.1 Paramètres du levé**

Le levé Aérogéophysique, au-dessus de la région du Hoggar, a été réalisé avec les paramètres suivants, Fig. (V.2) :

- Système de navigation : DOPPLER type ADRA-12.
- Altitude moyenne de vol : 150 m.
- Direction des profils : Perpendiculaire aux structures géologiques.
- Pas entre les profils : 2 Km.
- Distance entre les points d'observation : 46.2 m.

#### **V.4.2 Appareillage**

- Deux types d'avions (DOUGLAS DC-3 et AERO COMMANDER)
- Spectromètre à quatre (04) canaux (TC, K, U, Th).
- Capteur NaI(Tl) d'un volume de 600 pouces<sup>3</sup> pour le DOUGLAS DC-3 et de 800 pouces<sup>3</sup> pour l'AEROCOMMANDER.
- Deux types de magnétomètres :
  - Magnétomètre à pompage optique au Césium (modèle VARIAN) d'une résolution de 0.02 nT (nano tesla).
  - Magnétomètre FLUX-GATE d'une résolution de 0.05 nT.

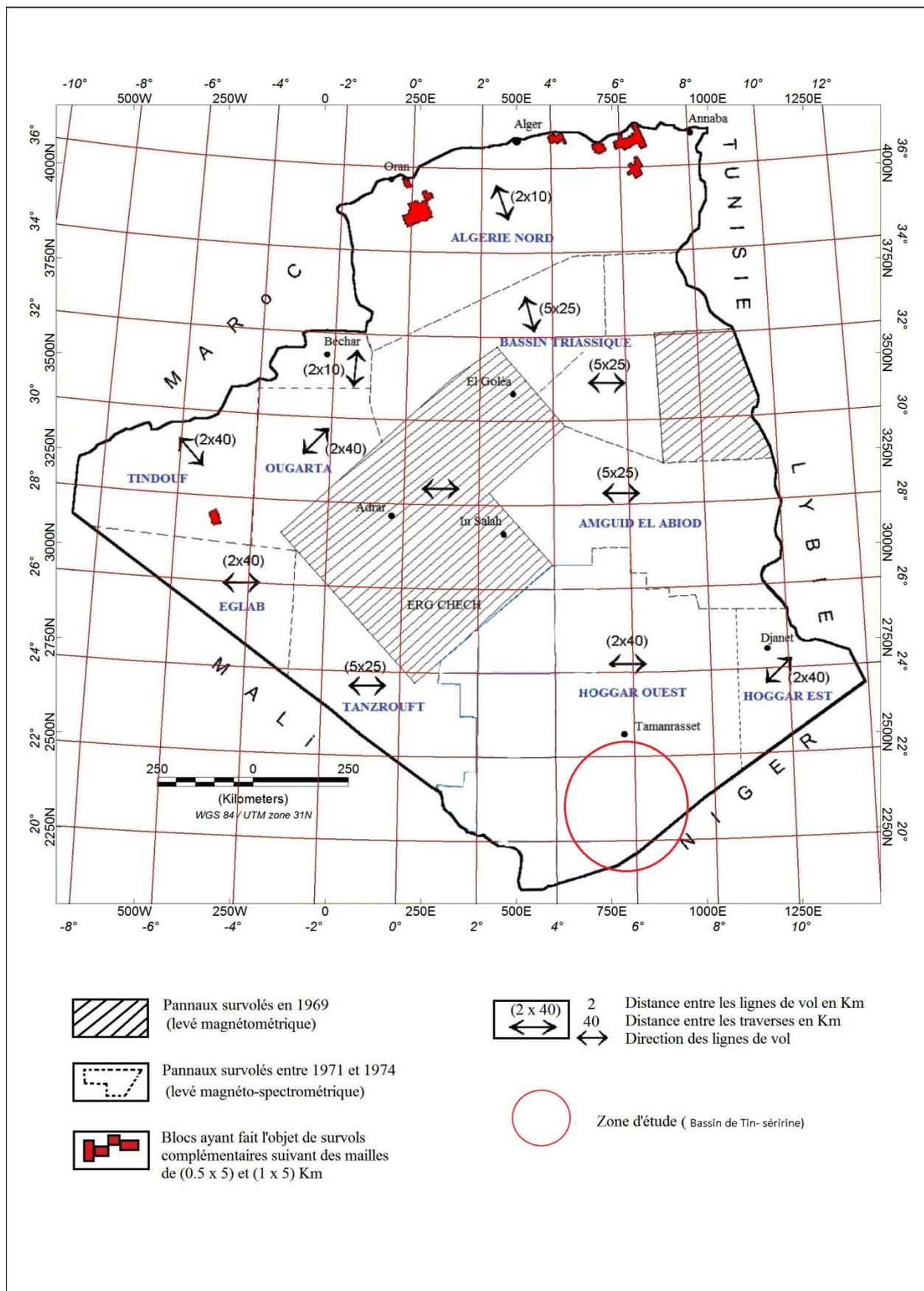


Fig. V.2 : Paramètres du levé Aéro géophysique couvrant le territoire national.

- Altimètre radar d'une précision de 30 pieds de type HONYWELL MINEAPOLIS.
- Caméra à film continu de 35 mm, possédant un système de numérotage.
- Boussole magnétique de type SPERRY CL 2, d'une résolution de 1°.
- Système d'acquisition des données type LANCER.
- Deux types d'enregistreurs graphiques : à 2 et à 6 canaux pour l'affichage graphique des profils magnétiques et spectrométriques.

### V.5. Présentation digitale des données

Les données brutes sont sous forme de fichiers numériques (extension.dat) extraits à partir des bandes magnétiques. Le nom des fichiers de données (extension .DAT) est composé comme suit:

- Deux caractères pour le nom de la région (voir plus bas), suivis de deux chiffres qui indiquent le numéro de la zone UTM, suivis d'un chiffre pour le numéro de segment. (Exemple : HW311 = région Hoggar Occidental, zone UTM 31, segment 1).

Chaque ligne de vol commence par :

- Une ligne de 77 tirets
- Les informations relatives à la ligne de vol : son numéro, son azimuth et le nombre de points de données qu'elle contient.
- Une deuxième ligne de 77 tirets.
- Viennent ensuite les enregistrements de données proprement dites, dont Chaque enregistrement comprend neuf champs :
  - ◆ Coordonnée UTM X en Km (kilomètres).
  - ◆ Coordonnée UTM Y en Km (kilomètres).
  - ◆ Champ magnétique total en nT (nano – tesla).
  - ◆ Compte radiométrique total en cps (coups par seconde).
  - ◆ Compte du canal du thorium en cps (coups par seconde).
  - ◆ Compte du canal de l'uranium en cps (coups par seconde).
  - ◆ Compte du canal du potassium en cps (coups par seconde).
  - ◆ Altitude radar en m (mètres).
  - ◆ Fiduciel (code ponctuel d'enregistrement).

### **V.6. Prétraitement des données Aérogéophysiques**

Les fichiers des données numériques présentent certaines insuffisances, ce qui impose des modifications afin de les adapter au traitement numérique par la suite. L'examen et le prétraitement des données brutes a été réalisé au niveau de la Division de Recherche et Etudes de Qualification (DREQ) du Centre de Recherche Nucléaire de Draria. Les principales opérations introduites aux fichiers originaux sont les suivantes :

- a. Suppression des entêtes alphanumériques, et ce, pour l'adaptation des fichiers aux traitements numériques.
- b. Récupération des informations perdues, dont, Le remplissage des vides a été réalisé en effectuant une interpolation linéaire pour les données magnétique et le co-krigeage pour celles spectrométriques.
- c. Détermination des coordonnées géographiques (Longitude, Latitude) correspondantes afin de faciliter la sélection de la zone désirée.
- d. Rassemblement des données de la même zone UTM
- e. Suppression des valeurs aberrantes si elles existent.
- f. Sélection des données de la zone d'étude à partir du fichier global corrigé, et ce, en utilisant un programme informatique permet le balayage et la sélection des données qui appartiennent à la même zone.

#### **V.6.1. Présentation de la base de données**

Le programme de sélection des données est basé sur l'examen du fichier global prétraité. Il permet d'extraire tous les points appartenant à notre zone d'étude et ce, en utilisant les deux nouvelles colonnes des coordonnées géographiques.

Ce programme a permet d'extraire une base de données magnéto-spectrométrique acquises au-dessus de la feuille Asseo (Terrane d'Issalene) contenant plus de 6000 points de mesure répartis sur plus de 50 lignes de vol de direction Est-Ouest.

### V.6.2. Etablissement des cartes des données brutes

#### a. Etablissement de la carte du champ magnétique total brut :

La figure (V.3) représente la carte du champ magnétique total brut, établie à partir de (6000) points de mesure. Les anomalies magnétiques les plus importantes sont situées au niveau du terrane d'Issalane à l'Est, il en est de même le long de l'accident régional 7°30' de la partie centrale de la feuille d'Asseo.

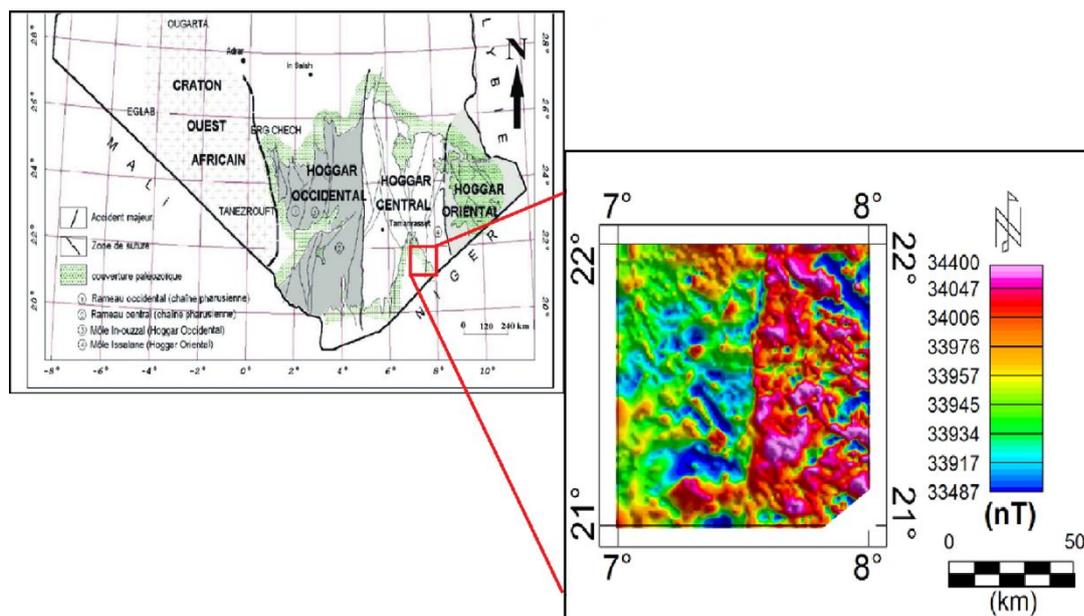


Fig. V.3 : Carte du champ magnétique total brut de la feuille d'Asseo.

### V.7 Traitement

Dans ce présent travail, nous devons introduire les traitements nécessaires aux données prises sur terrain. Une bonne interprétation nécessite la connaissance de plusieurs détails qui n'apparaissent qu'en appliquant ces traitements aux données brutes. Ces opérations ont pour but de mieux positionner les anomalies magnétiques, de séparer leurs sources ainsi que la suppression des bruits qui affectent les mesures.

#### V.7.1. Traitement des données Aéromagnétiques

##### V.7.1.1. Calcul du champ d'anomalies magnétiques

Le champ des anomalies magnétiques (résiduel) est la différence entre le champ total et celui Normal. Dans cette étude, nous avons opté pour cette technique basée sur un calcul

polynomial. D'après (Le Mouél, 1969), dans le cas d'un domaine limité, une approximation de l'intensité du champ normal peut prendre la forme suivante (Harrouchi 2017) :

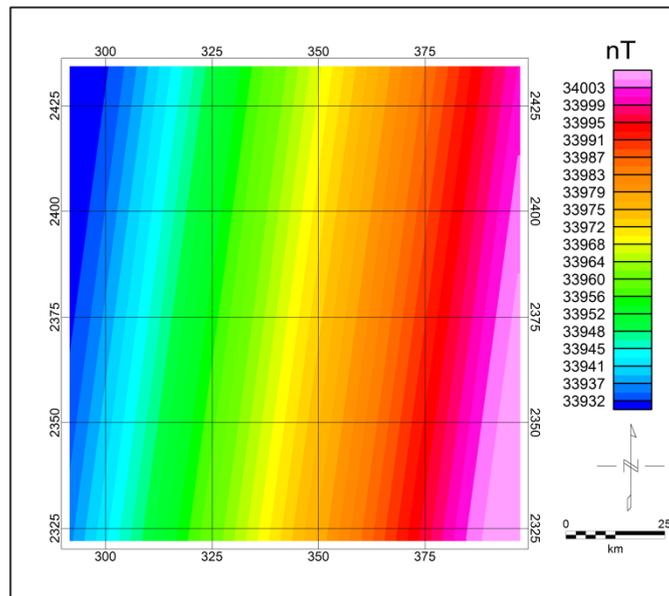
$$T_{nor} = \sum_{ij} a_{ij} X^i . Y^j \tag{V.1}$$

Où les  $(a_{ij})$  correspondent aux coefficients du polynôme algébrique que nous devons déterminer. Qu'on peut écrire aussi, dans le cas discret sous la forme :

$$\sum_{ij} T_{anom}^{ij} = 0 \tag{V.2}$$

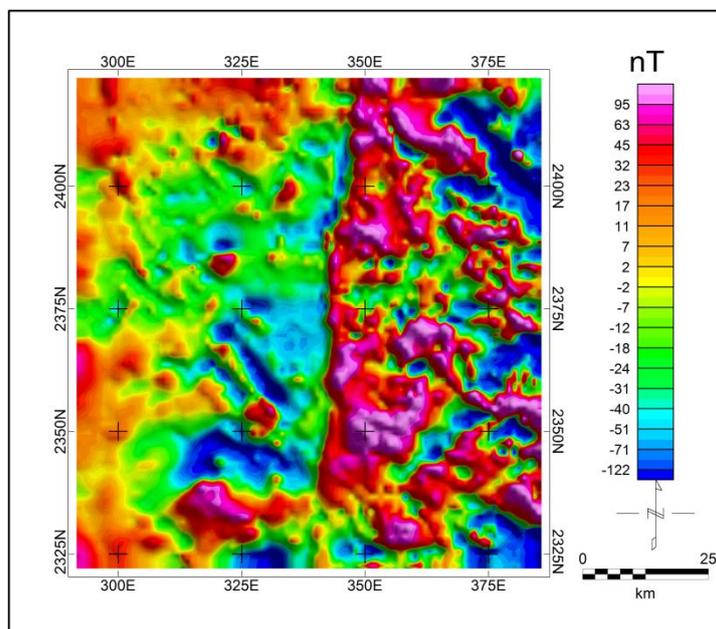
Ceci revient à dire que les anomalies du champ magnétique ont une espérance mathématique nulle et nous permettra donc d'utiliser la méthode des moindres carrés pour la détermination des coefficients  $a_{ij}$ . Le choix du degré du polynôme de calcul dépend des dimensions de la zone d'étude, afin d'estimer un niveau de référence adéquat, nous avons calculé un pseudo champ régional correspondant au polynôme du premier degré, l'expression (V.3) du polynôme prend la forme :

$$T_{norm} = a + b X + c Y. \tag{V.3}$$



**Fig. V.4 : Carte du champ magnétique normal (polynôme)**

- **Fig. V.4 :** Champ normal de la feuille de Asseo, calculé à partir du polynôme du premier degré. L'examen de la carte du champ montre une croissance dans la direction (SW-NE).



**Fig. V.5:** Carte du champ d'anomalies magnétique.

- (Fig. V.5) représente la carte du champ des anomalies magnétiques de la feuille d'Asseo, ces anomalies résiduelles sont obtenues en faisant la soustraction de la composante normale de celle du champ total brut.

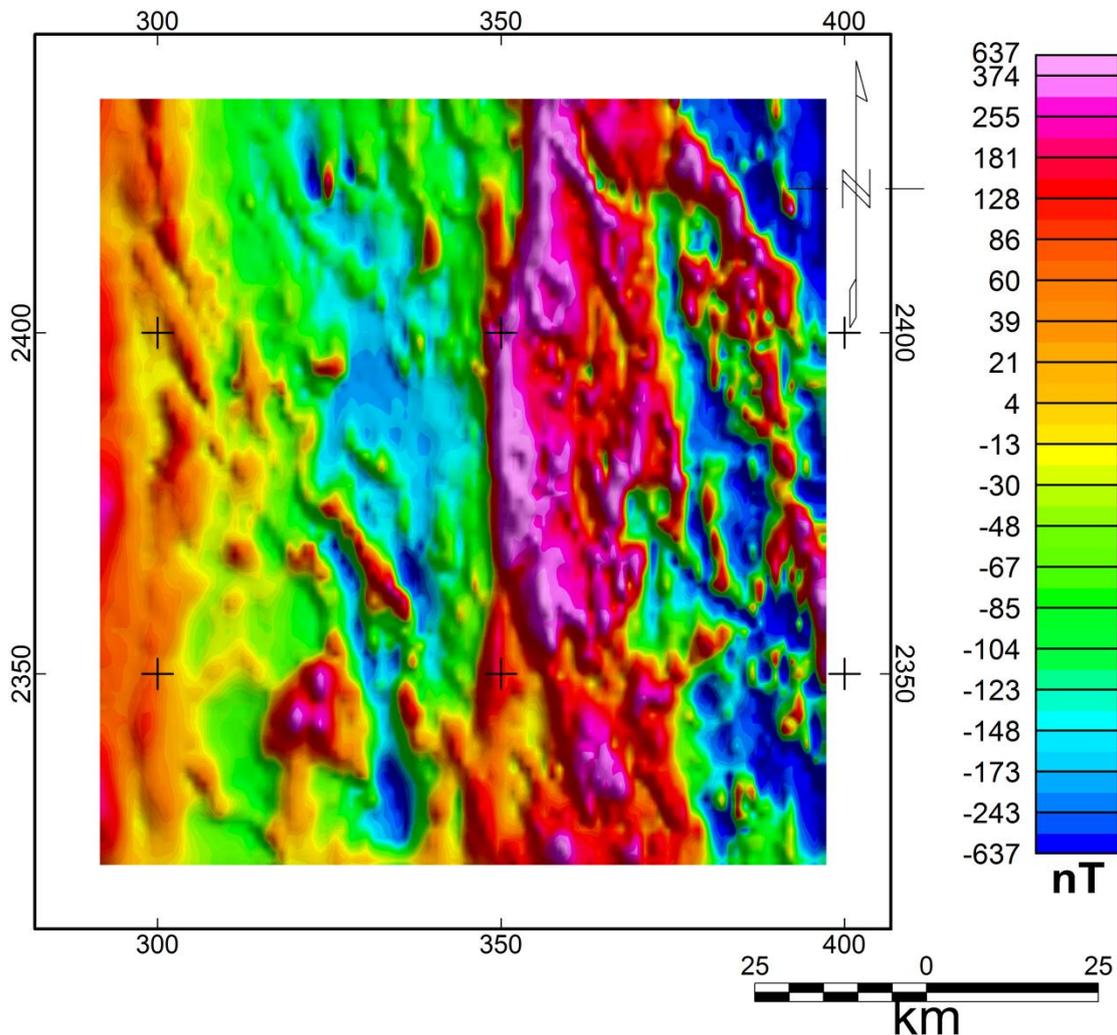
La carte du champ anomal montre une distribution très variable des anomalies magnétiques, ceci est dû essentiellement à la complexité géologique de la zone d'étude.

Les anomalies magnétiques les plus importantes sont situées le long de l'accident tectonique notamment la faille régionale 7°30 au centre de la région

### V.7.1.2 : Filtrage numérique des données Aéromagnétiques

La réduction au pôle est une opération qui consiste à transformer en un lieu donné, toutes les anomalies observées en celles réduites au pôle, autrement dit, ces nouvelles anomalies seraient celles observées si le champ est vertical dans la zone d'étude, cela simplifie l'interprétation de données de champ magnétique (Harrouchi et al., 2016). La transformée de Fourier de la formule de la réduction au pôle représente un cas particulier de l'aimantation induite (Gunn, 1975). Il est nécessaire de calculer la réduction au pôle afin de ramener les

anomalies à l'aplomb des structures géologiques qui les engendrent, car toute analyse d'anomalies est quelque peu influencée par l'inclinaison du champ magnétique de celle de la direction d'aimantation des sources (Harrouchi, 2017). Or, la réduction au pôle magnétique transforme la carte magnétique en une carte qui serait obtenue au pôle magnétique.



**Fig. V.6 :** Carte du champ d'anomalies magnétiques réduites au pôle

Pour le calcul de l'opérateur de la réduction au pôle, nous avons pris pour inclinaison et déclinaison magnétique respectivement ( $I_m = 26.4^\circ$ ,  $D_m = -3.5^\circ$ ), ces valeurs correspondent au centre de la carte pour l'année 1972, à une altitude de vol de 150m et en supposant qu'elles ne varient pas d'une position à l'autre.

La figure (V.6) représente la carte des anomalies magnétiques de la feuille d'Asseo réduites au pôle. On remarque que les anomalies positives sont légèrement décalées vers le nord et que les anomalies dipolaires sont transformées en anomalies de pôle unique. La carte réduite au

pôle permet la mise en évidence des différentes structures notamment les failles et les contacts lithologiques.

### V.7.1.3. Les dérivées

Les filtres de dérivations amplifient l'effet des sources superficielles en atténuant l'effet des celles profondes, focalisent les anomalies et permettent de cerner davantage les limites géométriques du corps.

#### a. La dérivée horizontale-X

Ce filtre permet la mise en évidence des contacts lithologiques et structuraux et des accidents tectoniques dans la direction perpendiculaire par rapport à l'axe X.

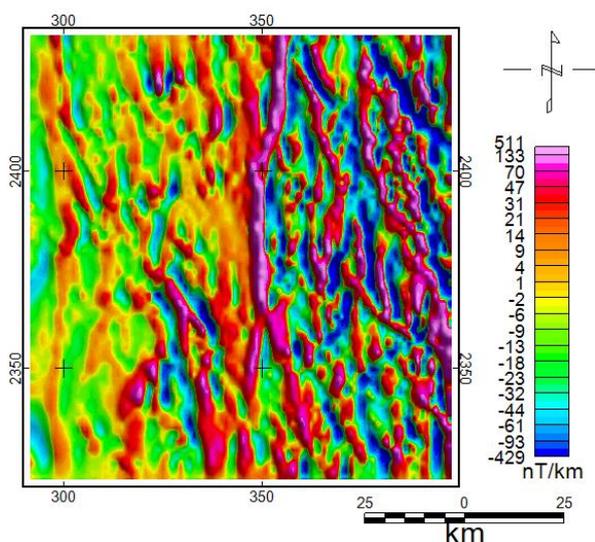


Fig. V.7 : Carte du de la dérivée selon la direction X.

La figure (V.7) présente une nette différenciation dans l'intensité des anomalies magnétiques caractérisant les différents domaines lithologiques et structuraux, notamment le long des accidents tectoniques.

#### b. La dérivée horizontale-Y :

Contrairement à la dérivée X, le gradient horizontal selon Y permet la mise en évidence des contacts et des failles orientées E-W.

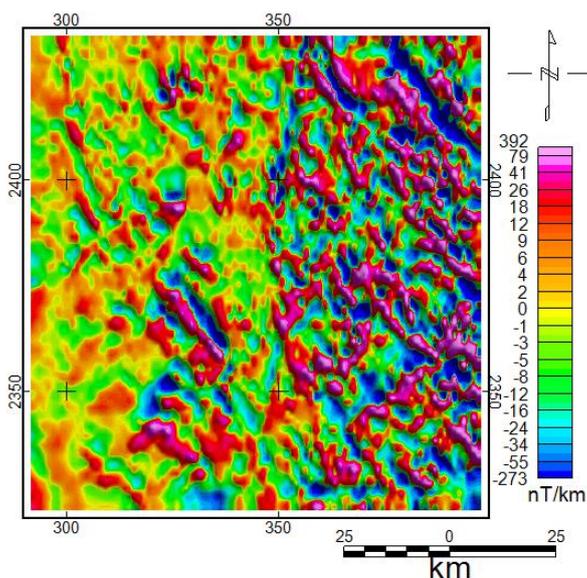


Fig. V.8 : Carte due de la dérivée selon la direction Y.

Dans notre cas, la carte de la dérivée Y n'offre pas beaucoup d'informations géologiques du fait que la majorité des formations lithologiques et des accidents tectoniques sont, généralement, orientées selon les méridiens à l'exception de la zone centrale où une faille orientée SW-NE est mise en évidence.

### c. La dérivée verticale - Z

La dérivée verticale est utilisée pour amplifier les anomalies de courtes longueurs d'ondes et focaliser l'effet des sources superficielles.

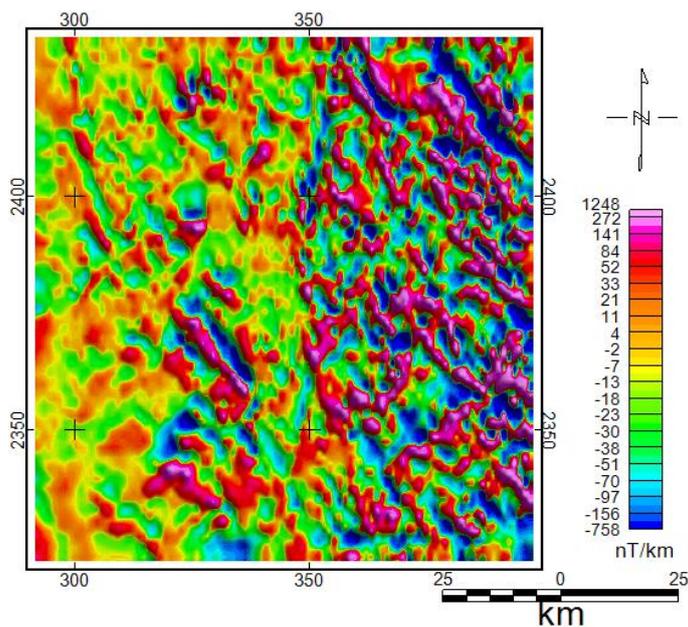


Fig. V.9: Carte du de la dérivée selon la direction Z.

On remarque une condensation des anomalies de courtes longueurs d'ondes dans la partie centrale de la feuille de Timgaouine, ces anomalies sont probablement liées à des sources superficielles qui s'arrangent dans des cortèges alignés N-S et NE-SW. Les anomalies magnétiques liées aux accidents tectoniques et aux contacts lithologiques et structuraux sont bien mises en évidence.

### V.7.1.4. Les prolongements

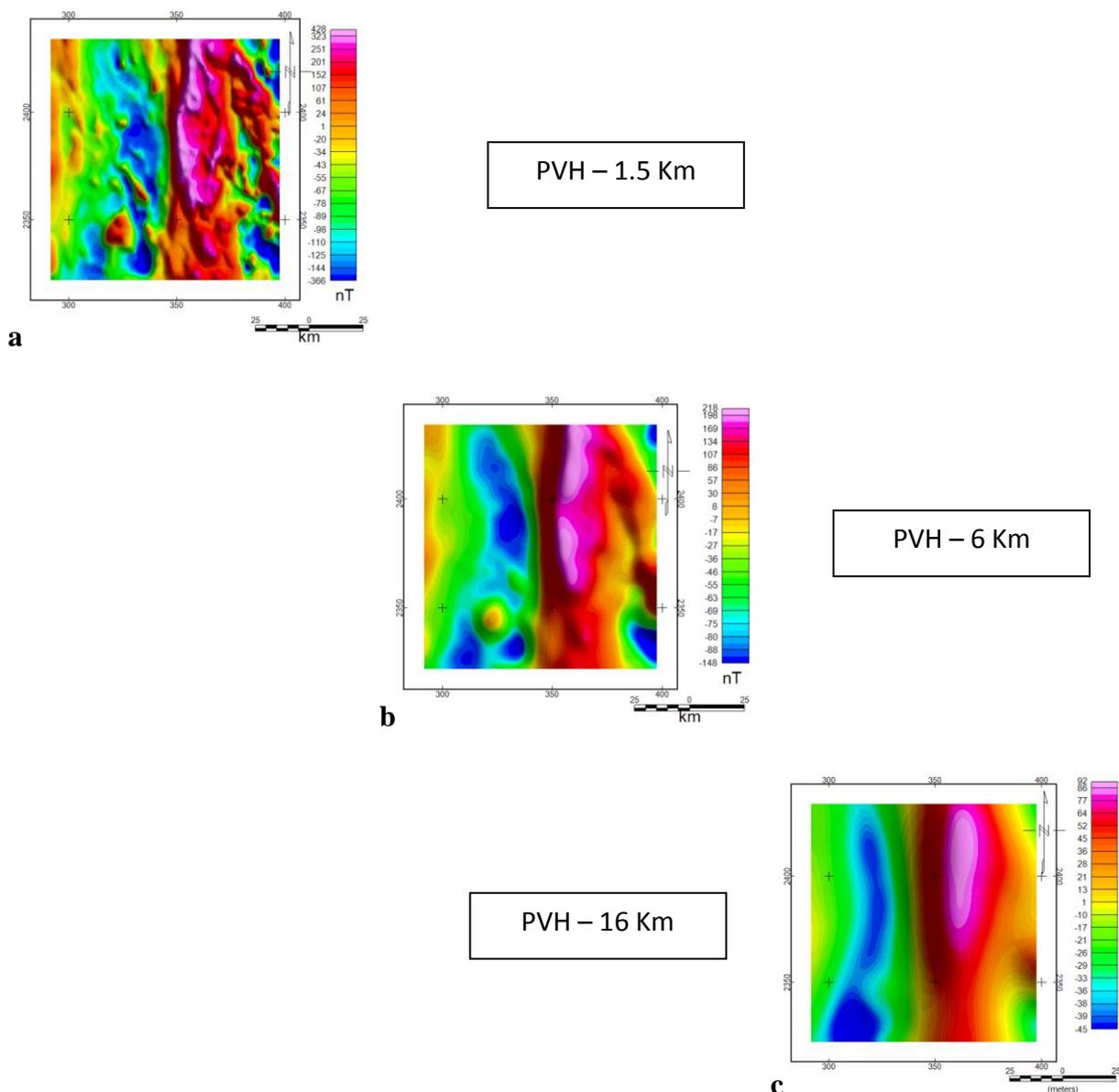
Une anomalie magnétique est représentée par un profil ou une surface, où figurent les valeurs du champ que l'on peut rapporter à un plan de référence ( $h_0$ ). La différence d'altitude de ces deux plans est :  $(a = h - h_0)$ .

La transformation de l'anomalie d'altitude  $h_0$  à l'altitude  $h$  est une opération de lissage. Pour trouver l'opérateur de prolongement, on utilise le cadre le plus général relatif à la géométrie du corps, qui découle de la troisième identité de Green (Blackely, 1995).

Le développement théorique des formules de prolongement dans le domaine fréquentiel montre que le graphe du prolongement vers le haut **PVH** est une courbe exponentielle décroissante et celui du prolongement vers le bas **PVB** est une courbe exponentielle croissante, (Sailhac, 1999).

#### a. Le prolongement vers le Haut

Le prolongement vers le haut permet l'atténuation des courtes longueurs d'ondes. Cette atténuation est d'autant plus importante que la distance de prolongement est grande. Le filtre de prolongement vers le haut est un filtre réel (pas de changement de phase).



**Fig. V.10 :** Cartes des prolongements vers le haut à 1.5, 6 et 16Km. **a-** prolongements vers le haut à 1.5km, **b-** prolongements vers le haut à 6km, **c-** prolongements vers le haut à 16km.

**a. à 1.5 Km :** On retrouve toujours les anomalies décrites précédemment mais avec un léger lissage des courbes et une légère baisse d’amplitude.

**b. à 6 Km :** A cette altitude, pratiquement, il ne reste que les ensembles d’anomalies caractérisés par des grandes longueurs d’ondes liés aux sources profondes.

**c. à 16 Km :** A cette altitude, les grands ensembles liés aux sources profondes sont bien séparés et nettement différenciés par ses amplitudes.

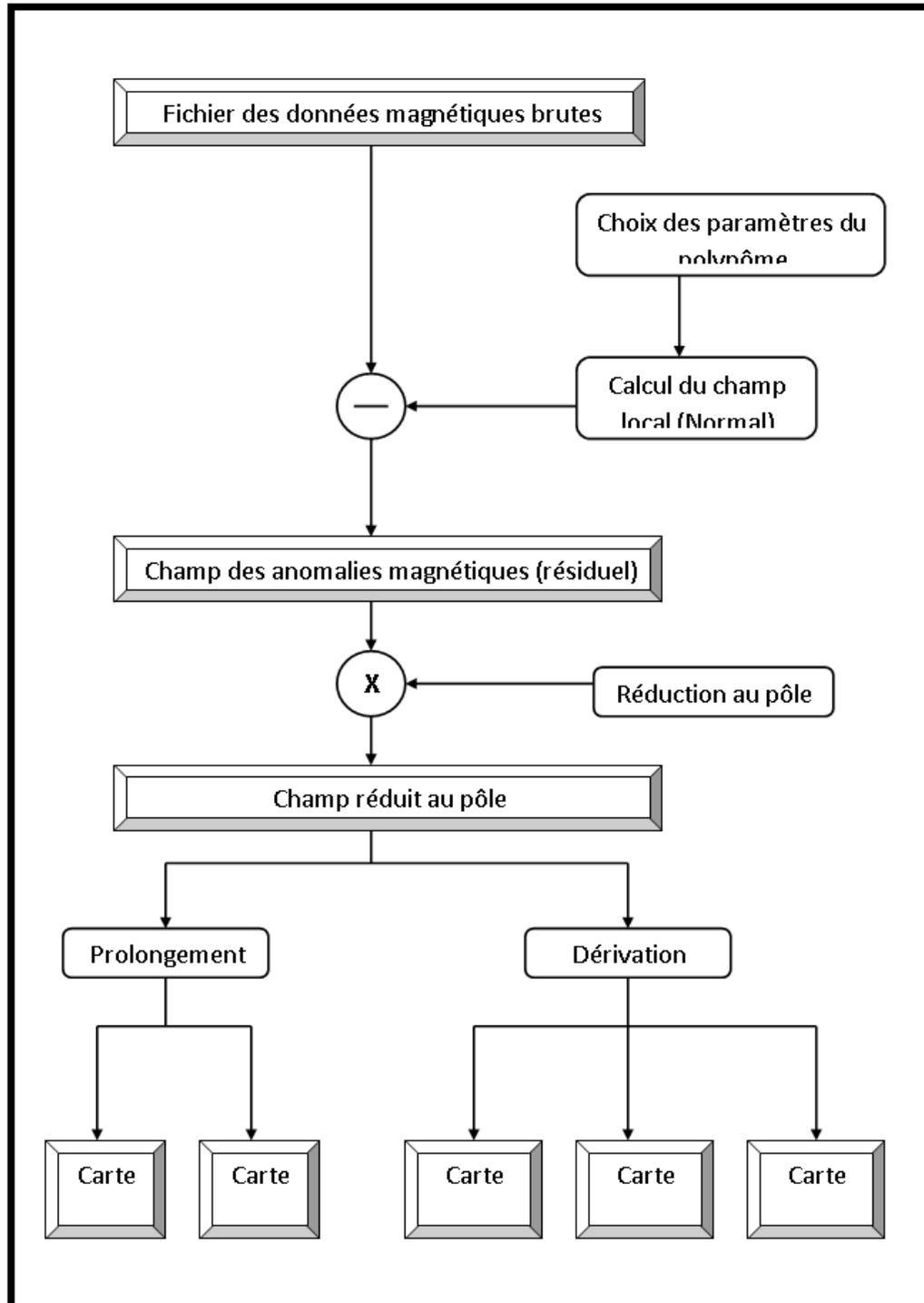


Fig. V.11: Méthode Traitement

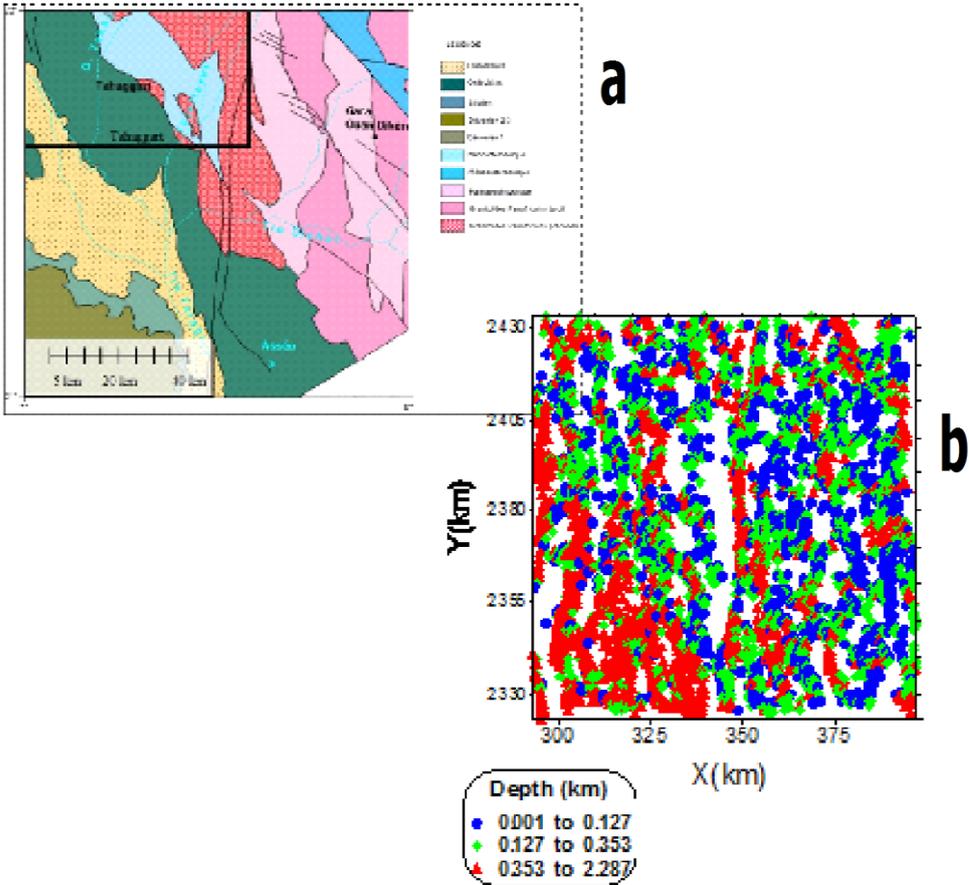


Fig.V.12 : a- Carte géologique de la feuille ASSEO.  
b- solution euler

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

**CONCLUSION GENERALE**

La structure et le cadre géodynamique du massif du Hoggar s'articulent autour de deux concepts : le premier est **classique**, portant sur la subdivision du Hoggar en domaines géologiques (le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar) et le deuxième est **moderne**, portant sur la structuration en terranes (Le bouclier Touareg divisé en 23 Terranes) (terrane archéens (3200-2500Ma), paléo-protérozoïques (2000Ma) et de terranes panafricains juvéniles (750-550 Ma), remaniés en grande partie et bien préservés. Dans le cadre du modèle de Black et al. (1994).

Les données aéro-magnétiques qui ont été mises à notre disposition sont sous forme de cartes iso-lignes du champ magnétique total. Ces cartes font partie des résultats d'un levé aéro-géophysique couvrant tout le territoire Algérien et ont été effectuées selon des lignes d'orientation perpendiculaires aux structures géologiques régionales, par la compagnie américaine Aéro-service.

La figure (V.3) représente la carte du champ magnétique total brut, établie à partir de (6000) points de mesure. Les anomalies magnétiques les plus importantes sont situées au niveau du terrane d'Issalane à l'Est, il en est de même le long de l'accident régional 7°30' de la partie centrale de la feuille d'Asseo.

La carte du champ anomal montre une distribution très variable des anomalies magnétiques, ceci est dû essentiellement à la complexité géologique de la zone d'étude.

Les anomalies magnétiques les plus importantes sont situées le long de l'accident tectonique notamment la faille régionale 7°30' au centre de la région.

La figure (V.6) représente la carte des anomalies magnétiques de la feuille d'Asseo réduites au pôle. On remarque que les anomalies positives sont légèrement déplacées vers le nord et que les anomalies dipolaires sont transformées en anomalies de pôle unique. La carte réduite au pôle permet la mise en évidence des différentes structures notamment les failles et les contacts lithologiques.

## **BIBLIOGRAPHIQUE**

## BIBLIOGRAPHIES

- Alexandrov, V., Mirochniko, L., 1972.** Rapport sur les résultats des recherches géologiques menées sur le gisement d'In Abeggui et dans sa région. *SONAREM. Rapport inédit.*
- Allègre, C.J., Caby, R., 1972.** Chronologie absolue du précambrien de l'Ahaggar occidental. *C.R.A.S. Paris. T 275. p. 2095-2098.*
- Azzouni-Sekkal, A., 1989.** Pétrologie et géochimie des granites de type " Taourirt ": un exemple de province magmatique de transition entre les régimes orogéniques et anorogéniques, au Pan-Africain (Hoggar, Algérie). *Thèse Doctorat es-Sciences, USTHB, Alger, 667 p; Mémoire Service Géologique Algérie. 7 (1995), 288 p.*
- Azzouni-Sekkal, A., Boissonnas, J., 1993.** Une province magmatique de transition du calco-alcalin \_a l'alcalin: les granitoïdes panafricains \_a structure annulaire de la chaîne pharusienne du Hoggar (Alg\_erie). *Bulletin Soci\_et\_e G\_eologique France 164, 597–608.*
- Azzouni-Sekkal, A., Liégeois, J.P., Bechiri-Benmerzoug, F., Belaïdi-Zinet, S., Bonin, B., 2003.** The "Taourirt" magmatic province, a marker of the closing stage of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: review of available data and Sr-Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences 37, 331-350.*
- Bayer, R., Lesquer, A., 1978.** Les anomalies gravimétriques de la bordure orientale du craton ouest africain. Géométrie d'une suture panafricaine. *Bulletin Société Géologique. France 6, 863-876.*
- Bertrand, J.M.L et Lasserre. M.; 1976.** Pan-Africa and pre-Pan-African history of the Hoggar (Algerian Sahara) in the light of new geochronological data from the Aleksod area. *Precamb. Res., 3, P. 343-362.*
- Bertrand, J.M.L., Caby, R., 1978.** Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield. *Geologische Rundschau 67, 2, 357-388.*
- Bertrand, J.M.L., Caby, R., Ducrot, J., Lancelot, J., Moussine-Pouchkine, A., Saadallah, A., 1978.** The late Pan-African intercontinental linear fold belt of the eastern Hoggar Central Sahara, Algeria): geology, structural development, U/Pb geochronology, and tectonic implications for the Hoggar shield. *Precambrian Research 7, 349-376. House of the Czechoslovak Acad. of Sci., 66 p.*
- Black, R., Caby, R., Moussine-Pouchkine, A., Boyer, R., Bertrand, J. M., Bouiller, A. M., Fabre, J., Lesquer, A. (1979).** Evidence for late Precambrian plate tectonics in West Africa. *Nature 278 (5701): 223-227*

- Black, R., Latouche, L., Liégeois, J.P., Caby, R. and Bertrand, J.M.L., 1994.** Pan- African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology* 22, 641-644.
- Blakely, R.J., 1995.** Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge University Press, 441p.
- Boullier, A.M., 1991.** The Pan-African Trans-Saharan belt in the Hoggar shield (Algeria, Mali, Niger): A review. In: Dallmeyer, R.D., Lécorché, J.P., (Eds.), *The West African orogens and Circum-Atlantic correlatives*, Springer-Verlag, Berlin, 85-105.
- Boissonnas, J., Borsi, S., Ferrara G., Fabre, J., Fabriès, J., Gravelle, M., 1969.** On the early Cambrian age of two late orogenic granites from West-Central Ahaggar (Algerian Sahara). *Can. J. Earth Sci.*, 6, 25-37.
- Boissonnas, J., Leutwein, F., Sonet, J., 1970.** Age du granite hyperalcalin de la Gara Adjemamaye (Ahaggar du SE, Sahara algérien). *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 251-252.
- Boissonnas, J., 1973.** Les granites à structures concentriques et quelques autres granites tardifs de la chaîne panafricaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). *Thèse Doctorat es-Sciences, Paris VI; Centre de Recherches sur les zones arides, Série Géologie 16, 662 p.*
- Boissonnas, J., 1974.** Les granites à structures concentriques et quelques autres granites tardifs de la chaîne panafricaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). *Thèse Doctorat es-Sciences, Paris VI ; Centre de Recherches sur les zones arides, Série Géologie 16, 662 p.*
- Bonin, B., Azzouni-Sekkal, A., Bussy, F. and Ferrag, S. 1998.** Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic settings. *Lithos* 45, 45-70.
- Boutrika, R., 2006.** Contribution à l'étude des minéralisations aurifères liées aux aplites et microgranites de la région d'In Abeggui et aux rhyolites d'Afra Héouhine (Hoggar Central). *Thèse de Magister. FSTGAT. USTHB, Bab Ezzouar, Alger.* 159p.
- Boutrika, R., 2019.** Gîtologie des filons aurifères liés aux gabbros et des veinules liées aux microgranites-aplites de la région d'In-Abeggui, terrane de Laouni (Hoggar). *Thèse de Doctorat. FSTGAT. USTHB, Bab Ezzouar, Alger.* 156p.
- Bowden, P., 1985.** The geochemistry and mineralization of alkaline ring complexes in Africa: A review. *Journal of African Earth Sciences* 3, 61-76.
- Bowden, P., Black, R.F., Ike, E.C., Kinnaird, J.A.; Batchelor, R.A., 1987.** Niger-Nigerian alkaline ring complexes: a classic example of African Phanerozoic anorogenic mid-plate

- magmatisme. In: Fitton, J.G., Upton, B.G.J., (Eds), Alkaline Igneous Rocks. *Black Scientific Publication of Geological Society; Special Publication 30*. pp. 357-379.
- Brown, W.L., Moreau, C., Demaiffe, D., 1989.** An anorthosite suite in a ringcomplex: crystallization and emplacement of an anorogenic type from Abontorok, Aïr, Niger. *J. Petrol.*, 30, 1501-1540.
- Caby, R., 1970.** La chaîne pharusienne dans le NW de l'Ahaggar (Sahara central) Algérie, sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. *Thèse d'état Univ. Sc. Montpellier*.
- Caby, R., Bertrand, J.M.L., Black, R., 1981.** Oceanic closure and continental collision in the Hoggar-Iforas Pan-African segment. In: A. Kröner, (Ed.), Precambrian Plate Tectonics. *Elsevier*, pp. 407-434.
- Caby, R., 2000.** Revue des séries sédimentaires protérozoïques et chronologie de l'évolution géodynamique du bouclier targui. *1<sup>er</sup> Séminaire National de Stratigraphie. Service Géologique Algérie, ORGM. Boumerdès. Recueil des résumés*, pp. 12-13.
- Caby, R., 2003.** Terrane assembly and geodynamic evolution of central-western Hoggar: a synthesis. *Journal of Earth Sciences* 37, 133-159.
- Cheilletz, A., Bertrand, J.M., Charoy, B., Moulahoum, O., Bouabssa, L., Farrar, E., Zimmermann, J.L., Dautel, D., Archibald, D.A., Boulter, A.M., 1992.** Géochimie et géochronologie Rb-Sr, K-Ar et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  des complexes granitiques panafricains de la région de Tamanrasset (Algérie) : relations avec les minéralisations Sn - W associées et l'évolution tectonique du Hoggar central. *Bulletin Société Géologique France* 163, 6, 733-750.
- Haddoum, H., 1992.** Etude structurale des terrains archéens du môle d'In Ouzzal (Hoggar Occidental, Algérie). *Thèse Doctorat es Sciences, USTHB, Alger*. 214 p.
- Harrouchi, L . 2005.** Cartographie aéromagnétique et gravimétrique du Môle d'In ouzzal. (Hoggar Occidental) Magister, USTHB. Alger
- Harrouchi, L., Hamoudi, M., Bendaoud, A., Beguiret, L. 2016.** Application 3D Euler deconvolution and improved tilt angle to the aeromagnetic data, of In Ouzzal terrane, western Hoggar, Algeria. *Arab. Jour. of Geosc.* 508. DOI 10.1007/s12517-016-2536-1
- Harrouchi, L . 2017.** Développement de méthodes analytiques et numériques de traitements et d'interprétations de données de champ de potentiel. application a l'étude de l'In Ouzzal et des zones adjacentes. Thèse de Doctorat, USTHB. Alger
- Golovine, V., 1974.** Rapport sur les résultats des travaux des recherches systématiques et levé géologiques au 1/200 000 exécutés en 1974-75 par l'équipe de la feuille In Takelkeba.

- ORGM, rapport inédit.
- Gunn, P.J. 1975.** Linear transformations of gravity and magnetic fields, *Geoph. Pros.* 23:300-312.
- Itskov, A. 1985.** Notice explicative de la carte géologique et de la carte des gîtes minéraux du Hoggar oriental au 1/500 000 (rapport du groupe "synthèse" sur les travaux de 1983-1985).
- Karche, J.P., Vachette, M., 1978.** Age et migration de l'activité magmatique dans les complexes paléozoïques du Niger. Conséquences. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 20, 941-953.
- Kesraouin, M., Nedjari, S. 2002.** Contrasting evolution of low-P rare metal granites from two different terranes in the Hoggar area. *Journal of African Earth Sciences* 34.
- Kesraoui, M ; 2005.** Nature et évolutions comparées de granites à métaux rares dans le Hoggar Central (Algérie) à travers la pétrographie, la cristallogénie des micas et des minéraux à Ta, Nb, Sn, W et la géochimie. *Thèse de doctorat de l'Université Houari Boumediene USTHB, Alger.*
- Latouche, L., Vidal, Ph., 1974.** Géochronologie du Précambrien de la région des Gours Oumelalen (NE de l'Ahaggar, Algérie). Un exemple de mobilisation du strontium radiogénique; *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XVI, 195-203.
- Lazhar Guergour. 2012.** Apport de la télédétection à l'étude géologique et structurale des bassins sédimentaires sahariens : cas du bassin de Tin Séririne (Tassili Oua'N Ahaggar/Hoggar/Algérie).
- Lelubre, M., 1952.** Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara Central). *Bulletin Service Carte Géologique Algérie, 2ème série, 22, 2 tomes.*
- Liégeois, J.P., Bertrand, H., Black, R., Caby, R., Fabre, J., 1983.** Permian alkaline under saturated and carbonatite province, and rifting along the West African Craton. *Nature*, 305, 42-43.
- Liégeois, J.P., Black, R., 1987.** Alkaline magmatism subsequent to collision in the Pan-African belt of the Adrar des Iforas. In Fitton, J.G., Upton, B.G.J., (Eds), *Alkaline Igneous Rocks. Geological Society of London, Special publication*, 30, 381-401.
- Liégeois, J.P., Black, R., Navez, J., Latouche, L., 1994.** Early and late Pan-African orogenies in the Air assembly of terranes (Tuareg shield, Niger). *Precambrian Research* 67, 59-88.
- Liégeois, J.P., Navez, J., Hertogen, J., Black, R., 1998.** Contrasting origin of postcollisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and per alkaline granitoids. *The use of sliding normalization. Lithos* 45, 1-28.

- Liégeois, J.P., Latouche, L., Navez, J., Black, R., 2000.** Pan-African collision, collapse and escape tectonics in the Tuareg Shield: relations with the East Saharan Ghost Craton and the West African Craton. In: Wallbrecher, E., Loizenbauer, J., Fritz, H., Unzog, W., Mogessie, A., (Eds.), Special abstract issue, 18th Colloquium of African Geology, Graz. *Journal of African Earth Sciences*, 30/4A, Elsevier, pp. 53-54.
- Liégeois, J.P., Latouche, L., Boughrara, M., Navez, J., Guiraud, M., 2003.** The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg Shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *Journal of Earth Sciences* 37,161-190.
- Liégeois, J.P., 2005.** The Pan-African evolution of the Tuareg Shield, with reference to the neoproterozoic granitoids and the Cenozoic volcanism. Séminaire de géologie et de métallogénie des massifs du Hoggar et des Eglabs, Tamanrasset 1-3 Mars, résumés p. 87.
- Moreau, C., Rocci, G., Brown, W., Demaiffe, D., Perez, J.B., 1991.** Paleozoic magmatism in the Aïr massif-Niger. In: Kampuzi, A.B., Lubala, T. (Eds), Magmatism in Extensional Structural Setting. The Phanerozoic African Plate. *Springer-Verlag*. Pp. 328-352.
- Moulahoum, O., 1988.** Dualité du magmatisme d'âge Pan-Africain: Aspects structuraux et pétrologiques des granites subalcalins et aluminés de la région de Tamanrasset \_Hoggar Central, Algérie.. PhD Thesis, Univ. Nancy I, 145 pp.
- Nedjari, S., 2006.** Pétrographie, géochimie et minéralogie du massif d'Ebelekane (Hoggar Central, Algérie). Minéralisation associées à tantale, niobium et étain. Cristallochimie des micas et des niobotantalites. Thèse de magister en géologie. USTHB. Alger
- Ouzegane, K., Liégeois, J.P., Kienast, J.R., 2003.** The Precambrian of Hoggar. Tuareg shield: history and perspective. A preface. *Journal of African Earth Sciences* 37, 127-131.
- Paquette, J.L., Caby, R., Djouadi, M.T., Bouchez, J.L., 1998.** U-Pb dating of the end of the Pan-African orogeny in the Tuareg shield : the post-collisional syn-shear Tiouéine pluton (Western Hoggar, Algeria). *Lithos* 45, 245-254.
- Thompson, D.T., 1982.** EUDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, 47:31-37.
- Viallette, Y., Vitel, G., 1981.** Geochronological data on the Amsinassène- Tefedest block (Central Hoggar) and evidence for its polycyclic evolution. *Precambrian Res.*, 9, 241-254.