

**ETUDE STRUCTURALE PAR L'APPROCHE
MULTIEHELLE DES DONNEES
AEROMAGNETIQUES DE LA ZONE DE
YOKADOUMA(EST-CAMEROUN)**

Présenté par : **YOUBI MOYOPO alix**

Matricule : **14Y546**

Sous la direction de

Pr. NDOUGSA MBARGA

Professeur, Université de Yaoundé I

Année Académique : **2018/2019**

Table des matières

DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
RÉSUMÉ	vi
ABSTRACT	vii
ABRÉVIATIONS	viii
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES TABLEAUX	xi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTERATURE	2
1.1 Introduction	2
1.2 Situation géographique de la zone d'étude (Laplaine, 1971)	2
1.3 Les formations géologiques (Laplaine, 1971)	3
1.3.1 Les formations plissées	4
1.3.1.1 le complexe de base	4
1.3.1.2 La série peu métamorphique d'Ayos et Mbalmayo-Bengbis	4
1.3.1.3 Série schistoquartzitique	5
1.3.1.4 Série du Dja inférieure	5
1.3.1.5 Le complexe schisto doléritique	7
1.3.1.6 Le complexe tillitique	7
1.3.2 Les formations de couverture	8
1.3.2.1 Série des grès horizontaux	8
1.3.2.2 Série argilo-sableuse	8
1.3.3 Formation superficielles	9
1.3.3.1 Les alluvions récentes	9

1.3.3.2	Les alluvions	9
1.3.3.3	Les latérites	9
1.4	Aperçu tectonique de la zone d'étude	9
1.5	Travaux géologiques et géophysiques antérieures	10
1.6	Problématique	10
1.7	Conclusion	10
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES		12
2.1	Introduction	12
2.2	Théorie sur le magnétisme (Chouteau, 1999)	12
2.2.1	Généralité sur le système d'unité	12
2.2.2	La force magnétique	12
2.2.3	Champ magnétique	13
2.2.4	Moment dipolaire magnétique	13
2.2.5	Intensité de magnétisation	13
2.2.6	Susceptibilité magnétique	13
2.2.7	Induction magnétique	14
2.3	Le magnétisme de la terre	14
2.3.1	le champ magnétique terrestre	14
2.3.2	Origine du champ magnétique principal	15
2.3.3	Un champ variable dans le temps	16
2.4	Propriétés magnétiques	16
2.4.1	Classe des matériaux en fonction de leur susceptibilité magnétique	16
2.4.1.1	Matériaux diamagnétiques	16
2.4.1.2	Matériaux paramagnétiques	16
2.4.1.3	Matériaux ferroamagnétiques	16
2.4.2	L'aimantation rémanente des roches	17
2.5	Le levé magnétique	17
2.5.1	Instruments de mesure : les magnétomètres	17
2.5.2	Réalisation d'un levé magnétique	18
2.5.3	Correction apporté au levé magnétique	18
2.6	Outils de traitement des données magnétiques	19
2.6.1	L'opérateur prolongement	19
2.6.1.1	Le prolongement vers le haut	20
2.6.1.2	Le prolongement vers le bas	20
2.6.2	Les méthodes analytiques	21
2.6.2.1	La méthode des gradients horizontaux	21
2.6.2.2	La méthode de déconvolution d'Euler	21

2.7	Origine des données	22
2.8	Base de l'interprétation des données	22
2.8.1	L'interprétation qualitative	22
2.8.2	L'interprétation qualitative	22
2.9	Conclusion	23
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS		24
3.1	Introduction	24
3.2	Carte d'anomalie magnétique de la TMI	24
3.3	Description des cartes magnétiques transformées	26
3.3.1	Carte d'anomalies du champ total réduit à l'quateur	26
3.3.2	Cartes du prolongement vers le haut	27
3.3.3	Cartes d'anomalies résiduelles	29
3.4	Cartes du gradient horizontale	31
3.5	Carte des linéaments magnétiques	33
3.6	Déconvolution d'Euler du champ d'anomalies résiduelles	33
3.7	La modélisation magnétique	35
3.7.1	Description des profils choisis pour la modélisation 2.5D	35
3.7.2	Interprétation et discussion des modèles	36
3.7.2.1	Interprétation du modèle du profil P1	36
3.7.2.2	Interprétation du modèle du profil P2	37
3.7.2.3	Discussion sur les modèles	39
3.8	Validité des résultats	39
3.9	Conclusion	40
CHAPITRE 4 : IMPLICATION PEDAGOGIQUE ET DIDACTIQUE		41
4.1	Introduction	41
4.2	Implication Pédagogique et fiche pédagogique	41
4.2.1	Implication Pédagogique	41
4.2.2	Fiche Pédagogique	42
4.3	Implication didactique	44
4.4	Conclusion	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		46
ANNEXES		48

DEDICACE

*À Dieu tout puissant
À mes parents.*

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été possible grâce à la contribution de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de mon directeur de mémoire le Professeur NDOUGSA MBARGA THEOPHILE pour sa gentillesse, ses multiples enseignements et conseils dont j'ai pu bénéficier non seulement dans le cadre de ce mémoire mais aussi durant toute la formation à l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les enseignants de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé que j'ai eu la chance de croiser pendant ces années de formation. Malgré leurs multiples occupations, ils ont accepté de nous former, de nous encadrer et de nous guider. Chacun a été pour moi, d'une manière ou d'une autre, une lampe éclairant ma route, une force m'encourageant à avancer. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je n'oublie pas les aînés du laboratoire qui ont toujours été là pour nous diriger, nous montrer la route à suivre. Leur disponibilité et leur motivation tout au long de ce travail n'ont jamais faibli malgré leurs propres tâches et devoirs à accomplir.

Je voudrai remercier d'une particulière tous mes amis de la promotion pour les moments de joies et de peines aussi, que nous avons traversés ensemble. Ils nous ont façonnés, modelés et fortifiés.

Enfin, ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans la présence de mes chers parents, de toute ma famille. Chaque rencontre, chaque évènement, chaque expérience réussie ou non, mes convictions, ma foi, tous ces éléments qui gravitent autour de moi ont fait de moi la personne que je suis aujourd'hui. À vous tous et à chacun, je ne vous remercierai jamais assez...

De tous ceux qui ont pu contribuer à l'aboutissement de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'utiliser les données géophysiques dans l'étude de la zone de Yokadouma (Est Cameroun) située entre les latitudes 3° et $3^{\circ}15'$ Nord et les longitudes $15^{\circ}15'$ et $15^{\circ}45'$ Est. Pour ce faire, les cartes de contours isomagnétiques obtenues à la suite d'un levé magnétique effectué en 1970 dans le cadre de la coopération entre le Canada et la République fédérale du Cameroun ont été soumises à de multiples traitements. Dans un premier temps, la numérisation grâce au logiciel *MAP INFO* a permis d'obtenir des données numériques. Par la suite, le logiciel *OASIS MONTAJ* a permis de mettre en évidence la carte d'anomalies magnétiques de cette zone. Le traitement apporté à cette carte, l'analyse des résultats obtenus ainsi que la modélisation ont permis de mettre en évidence des informations pertinentes sur la géologie de la zone d'étude. Notamment, la carte d'anomalie magnétique qui présente les différentes anomalies du champ magnétique rencontrées dans la zone d'étude met en évidence un champ d'anomalie magnétique négatif. L'analyse de cette carte permet de suspecter dans le socle de la zone la présence des formations géologiques telles que des failles, des intrusions à des profondeurs variables. La modélisation des données le long de deux profils choisis sur la carte résiduelle nous a permis d'observer l'extension des structures géologiques responsables des anomalies observées. Ainsi, nous avons identifié des intrusions de diverses roches dans le socle.

Mots clés : anomalie, socle, profil, faille, intrusion.

ABSTRACT

The purpose of this work is to use geophysical data in the study of Yokadouma area (East Cameroon) located between latitudes 3° and $3^{\circ}15'$ North and longitudes $15^{\circ}15'$ and $15^{\circ}45'$ East. For this purpose, the isomagnetic contour maps obtained as a result of an aeromagnetic survey was carried out in 1970 as part of the cooperation between Canada and Federal Republic of Cameroon, which was subjected to multiple treatments in a first time , the use of software MAPINFO enabled the acquisition of digital data .by using the software OASISMAP enabled allows to highlight the map of magnetic anomalies in this area.the treatment given to this map and the analysis of the results obtained have highlighted relevant information on the geology of the study area. In particular, the magnetic anomaly map, which presents the various anomalies of the magnetic field encountered in the study area, reveals a negative magnetic anomaly field. The analysis of this map makes it possible to suspect in the basement of the zone the presence of geological formations such as faults, intrusions at varying depths. The modeling of the data along two selected profiles on the residual map enabled us to observe the extension of the geological structures responsible for the anomalies observed. So we have identified intrusions of various rocks in the basement.

Keywords : anomaly, basement, profile , fault , intrusion.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

<i>m</i>	: Mètre
<i>E</i>	: Est
<i>N</i>	: Nord
<i>NW</i>	: Nord - Ouest
<i>S</i>	: Sud
<i>SE</i>	: Sud - Est
<i>SW</i>	: Sud - Ouest
<i>W</i>	: Ouest
<i>SI</i>	: système internationale
<i>cgs</i>	: Centimètre Gramme Seconde
<i>nT</i>	: nanotesla
<i>NE</i>	: Nord - Est
<i>Ma</i>	: Millions d'années
<i>WSW</i>	: Ouest-Sud-Ouest
<i>UTM</i>	: Universal Transverse Mercator
<i>WGS</i>	: World Géodesic System
<i>NO</i>	: Total Magnetic Field
<i>NO</i>	: Nord- Ouest
<i>O</i>	: Ouest
<i>2.5D</i>	: 2,5 dimensions
<i>ANO</i>	: Anomalies du champs magnetique terrestre
<i>IGRF</i>	: International Géomagnétique Reference Field
<i>AA</i>	: Activités apprenants
<i>AE</i>	: Activités enseignants
<i>Km</i>	: Kilomètre

Liste des figures

Figure 1.1 : Localisation de la zone d'étude (Vicat et Bilong, 1998).....	3
Figure 1.2 : Carte géologique de la zone d'étude :extraite de la carte géologique du cameroun	3
Figure 2.1 : caractérisation du champ magnétique terrestre(Simon Fleury,2012)....	15
Figure 2.2 : Schéma de principe d'un Fluxgate (Chouteau,1999).....	18
Figure 2.3 : Exemple d'avion utilisé pour la réalisation d'un levé magnétique	19
Figure 3.1 : Carte des anomalies du champ magnétique total de la région d'étude...	25
Figure 3.2 : Carte d'anomalies du champ total réduit à l'Equateur.....	27
Figure 3.3 : Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 500m	28
Figure 3.4 : Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 1000m	28
Figure 3.5 : Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 1500m	29
Figure 3.6 : Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à à 2000m ..	29
Figure 3.7 : Cartes d'anomalies residuelles du champ total réduit à l'Equateur prolongée à 2000m.....	31
Figure 3.8 : Carte du gradient horizontal de la residuelle prolongé à 2000m	32
Figure 3.9 : Cartes maximas du gradient horizontal	32

Figure 3.10 : Carte des linéaments	33
Figure 3.11 : Cartes des solutions d'Euler	35
Figure 3.12 : Profil 1 et profil 2.....	36
Figure 3.13 : Model du profil 1	37
Figure 3.14 : Model du profil 2	38
Figure 4.1 : annexe1.....	48
Figure 4.2 : annexe2.....	49

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Quelques matériaux et minéraux diamagnétiques (Borradaile, 1994) ..	16
Tableau 2.2 : Quelques matériaux et minéraux ferromagnétiques (Dunlop et al, 1997)	17
Tableau 4.1 : Fiche pédagogique de préparation de la leçon	43

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La géophysique appliquée ou la prospection géophysique est une discipline qui a pour but d'appliquer les méthodes physiques à l'étude de la partie superficielle de la croûte terrestre. Elle utilise des techniques d'investigation du sous-sol reposant sur la mesure des différentes propriétés physiques de celle-ci. L'analyse des résultats du traitement des données révèle comment varient certaines propriétés physiques des matériaux et des structures présentes dans le sous-sol de notre zone d'étude. La géophysique appliquée s'appuie sur diverses méthodes. Ces méthodes utilisent les variations des paramètres caractéristiques des roches et des structures géologiques (champ magnétique, densité, etc.) pour étudier les structures géologiques du sol. On peut ainsi citer les méthodes magnétique, gravimétrique, sismique, électrique, magnétotellurique... Dans le cadre de ce travail la méthode aéromagnétique sera utilisée car elle présente plusieurs avantages :

- Elle permet l'atténuation ou l'élimination des effets parasites superficiels ;
- Elle est d'une grande sensibilité ;
- Elle permet la couverture d'une grande surface en peu de temps ;
- Elle permet un gain de temps et nécessite un budget moyen.

La zone qui fait l'objet de cette étude s'étend dans le Sud Est Cameroun entre le 3^0 et $3^015'$ de longitude Est et entre le $15^015'$ et $15^045'$ de latitude Nord et les données utilisées proviennent du levé aéroporté réalisé au-dessus du sud-est Cameroun par la compagnie canadienne SURVAIR en 1970 pour le compte de l'agence canadienne du développement international. Le but de ce travail est de :

- La vérification des structures tectonique de la zone d'étude ;
- Modéliser les couches stratigraphiques du sous-sol pouvant servir à en déduire les indices de potentialités en ressources minérales, en eau et pour la prévention des catastrophes.

Pour atteindre nos objectifs, la présentation du mémoire s'articulera en quatre chapitres :

- Le premier chapitre porte sur la présentation générale de la zone d'étude, suivie de la revue des connaissances actuelles sur la géologie de la zone d'étude ;
- Le deuxième chapitre présente brièvement les principes de la méthode aéromagnétique ;
- Le troisième chapitre est consacré au traitement des données et à l'interprétation des résultats obtenus ;
- Le quatrième chapitre permettra de ressortir l'implication pédagogique et didactique du travail effectué au niveau du système éducatif.

Chapitre 1

REVUE DE LITTERATURE

1.1 Introduction

La géophysique est la science qui a pour objet l'étude des propriétés physiques du sol et du sous-sol. Pour tous travaux géophysiques, il est crucial de maîtriser profondément la géologie de la zone à étudier dans le but de confronter à chaque fois les résultats obtenus à ce que l'on observe sur le terrain. Dans cette optique, il sera question dans ce chapitre de présenter de façon résumée une synthèse géologique de la région soumise à notre étude réalisée par Laplaine en 1971.

1.2 Situation géographique de la zone d'étude (Laplaine, 1971)

La zone d'étude est située dans la région de l'Est Cameroun, département de la Boumba et Ngoko dont le chef-lieu est Yokadouma et plus précisément dans l'arrondissement de Moloundou. Elle est limitée par les latitudes Nord 3° et $3^{\circ}15'$ et par les longitudes Est $15^{\circ}15'$ et $15^{\circ}45'$.

Son climat est de type équatorial avec des pluies pendant une grande période de l'année ; on distingue :

- Une saison sèche de fin novembre à mi-février ;
- Une saison de pluie de mars à fin novembre ;
- Une petite saison sèche de juin à juillet ;
- Une saison de pluie de mi-février à juillet.

La végétation est constituée d'une vaste forêt dense équatoriale et des marécages. On rencontre de nombreuses variétés d'acajou, d'hévéa sauvage, de bois commerciaux et bien d'autres. La faune est riche et variée. On peut y rencontrer des espèces tels que les gorilles, les chimpanzés, des cercopithèques, des éléphants, des phacochères, des potamochères, des buffles, des panthères, des hyènes et bien d'autres. Son réseau hydrographique est très dense et les marécages sont nombreux. L'ensemble du secteur étudié est arrosé par la Sangha (affluent du Congo) et surtout par son affluent la Ngoko et par des nombreux cours d'eau et rivières.

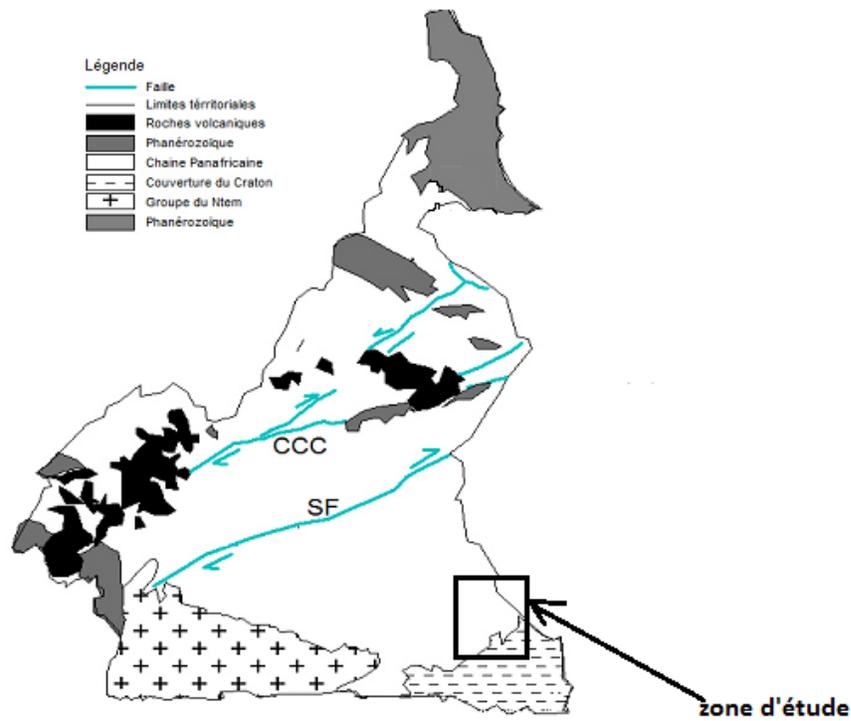


Figure 1.1 – Localisation de la zone d'étude (Vicat et Bilong, 1998)

1.3 Les formations géologiques (Laplaine, 1971)

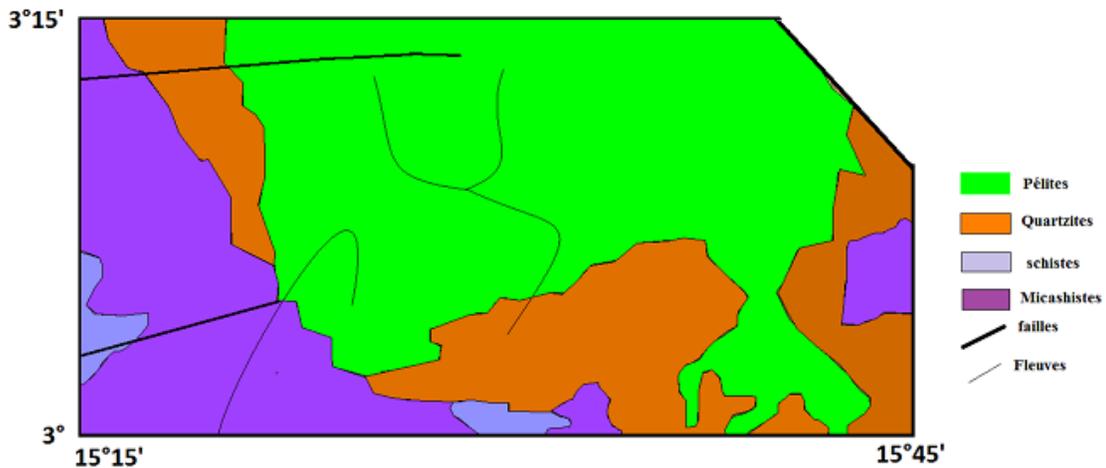


Figure 1.2 – Carte géologique de la zone d'étude :extraite de la carte géologique du cameroun (Elangwe H.N., 1979)modifié

On distingue principalement trois (3) grandes formations géologiques qui sont :

- Les formations plissées ;
- Les formations de couvertures ;
- Les formations superficielle.

1.3.1 Les formations plissées

On peut citer

- Le complexe de base ;
- La série peu métamorphique d'Ayos et Mbalmayo-Bengbis ;
- Série schistoquartzitique ;
- La série du Dja inférieure ;
- Le complexe schisto doléritique ;
- Le complexe tillitique.

1.3.1.1 le complexe de base

Ce complexe de base est rencontré uniquement dans la partie Nord de la zone d'étude et est constitué de :

- Granite migmatique ancien : c'est un massif de granite syntectonique présent dans la zone du Haut Lom, de la Kadei et vers les villages de Diso et Ngoundé. Ce granite est hétérogène, migmatique légèrement orienté. Une analyse microscopique montre qu'il est également constitué de feldspaths et de muscovite. Sa roche est claire à structure granoblastique renfermant du quartz en abondance du microcline du plagioclase de la biotite et des cristaux de hornblendes ;
- Les embrechites : on les retrouve en bordure Sud du granite migmatitique de Ngoundi et dans la région de Matjouté. Ce sont principalement les embrechites à deux micas, à biotites et amphibole. Plus au nord de la région de Matjouté, les migmatites rencontrées présentent une structure granoblastique caractérisée par des quartz frais, du microcline, du quartz, des plagioclases, de la muscovite, de la biotite. Au Sud-Ouest de Yokadouma, cette roche est enrichie en amphibole.

1.3.1.2 La série peu métamorphique d'Ayos et Mbalmayo-Bengbis

A l'Ouest de la zone d'étude, la série de Mbalmayo-Bengbis a été reconnue de Mbalmayo à Yokadouma suivant la direction Ouest-Est. Les formations de la série de Mbalmayo-Bengbis sont :

- Les micaschistes grenatifères à deux micas que l'on les retrouve à l'est du confluent Bangué-Kilandé. Cette roche a une structure granoblastique ;
- Les schistes vert associés aux micaschistes qu'on rencontre dans la région de Badekok-Natjoué des séricitoschistes et les chloritochistes ; ces schistes sont de couleur sombre (gris noir à verdâtre). Ils sont de quartz à calcite, de muscovite et de chlorite ;

- Les quartzites associés aux micaschistes grenatifères rencontrés dans la région de Menziong près du village de Ngola. Ils se présentent sous formes de dalle à litage. C’est une roche leuconate d’aspect saccharoïde et présentant une structure granoblastique ;
- Les amphibioloschistes qui sont des micaschistes grenatifères ayant eu un passé riche en amphiboles. On les rencontre au sud du village Badekok ;
- Les amphibolites de la zone des micaschistes grenatifères qu’on retrouve ces roches à l’Est de Mompwé et près du village de Ngola en faible proportion ;
- Les gneiss de la zone des micaschistes rencontrés à l’est du Kilandi. Ces roches sont constituées de plagioclases altérés à macles tordues.

1.3.1.3 Série schistoquartzitique

Cette série se localise au Sud Est de la zone d’étude. Elle est composée de roches tendres et de roches résistantes. Les roches résistantes ont une morphologie distincte (relief formé des rides et de plateaux orientés (NE-SW)). Les roches tendres sont caractérisées par les modelés d’érosion formant la partie inférieure et la masse la plus importante de cet ensemble. Par ailleurs, cet ensemble est également appelé axe Loblké et on peut y distinguer deux (2) séries à savoir :

☞ La série schistoquartzitique ss

☞ le grès de Koka

La série schistoquartzitique ss comprend plusieurs faciès :

- Les pélites indurées micacées, riches en imprégnation d’oxyde de fer ;
- Les quartzo-phyllades micacées représentées par des fines alternances de pélites et de quartzites ;
- Les pélites sombres à aspect d’ardoises traversées de nombreux filonets de quartz d’exsudation ;
- Les quartzites massifs micacés suivant les inter-lits caractérisés par la présence de pyrite cristallisée et par des stratifications obliques soulignées par des oxydes de fer ;
- Un horizon de brèche à éléments quartzitiques anguleux emballés dans une pâte finement gréseuse et micacée.

Le grès de Koka est le résultat de l’enrichissement en niveaux de quartzite de plus en plus épais et progressif de la série schistoquartzitique ss.

1.3.1.4 Série du Dja inférieure

Cette série est la plus représentée sur la zone d’étude. On distingue dans cette série des pélites, des quartzites et le complexe schistodoleritiques.

Les pélites

En photographie aérienne, on remarque qu’elles sont caractérisées par une allure de recouvrement, son réseau hydrographique, son cortège alluvial et l’absence de direction privilégiée. Une bande schisteuse dans la vallée de Sao se prolonge en direction du Sud-Ouest entre les parallèles 3° et $3^{\circ}30'$. Ce sont des

schistes argileux très altérés. Les schistes extraits du bassin de Lokomo sont des schistes peu métamorphiques, de couleur grisâtre et finement grenue. Des pélites lie de vin et vertes avec des horizons carbonatés sont également rencontrées dans certaines zones.

Les quartzites

En photographie aérienne, les quartzites sont bien marqués et constituent une formation bien affleurante caractérisée par une morphologie de roche résistante formant des barres ou plateaux selon l'environnement géologique ; par son orientation et par le fait qu'elle seule définit l'orientation générale. Les roches fréquemment rencontrées au sol sont des grès quartz et des quartzites.

- Les grès quartzites sont constitués de roches claires saccharoïdes et gréseuses. Au microscope, on observe des variations de teinte (teinte allant de beige-rose au gris –bleu) et des variations de textures (texture grenue, homogène légèrement orienté). Dans le bassin de la Ngoko, ils ont un aspect vacuolaire et bréchiforme conséquence des transformations superficielles. Par ailleurs, les grès de couleur gris-blanc ou rouge à l'examen microscopique présentent une structure grenue hétérogranulaire en fonction de la proportion des oxydes de fer présent. Les quartz présents sont arrondis, juxtaposés et regroupés par de la silice. On y observe également des restes de feldspaths altérés et de micas blancs issus de l'altération des feldspaths de la limonite des éléments de zircon et de la tourmaline détritique ;
- Les quartzites diffèrent des grès par la présence d'un ciment siliceux plus abondant. Une analyse microscopique permet d'observer la présence des cristaux de quartz plus gros et cristallisés, des cristaux déchiquetés et altérés de feldspath envahis de chlorite, du zircon détritique. Toutes ces roches sont bréchiques, sombres présentant une texture massive rubanée le long de la Ngoko. Au microscope, on observe des petits cristaux anguleux baignant à l'intérieur d'une pâte amorphe riche en oxyde de fer. L'on observe également une formation grès de Douma qui elle repose sur le grès de Koka ou sur la série schistoquartzitique. Cette formation (grès de koka) est constituée premièrement de roche sédimentaire détritique formée au moins à 50% de débris de roches de dimension supérieure à 2mm liés par un ciment appelé conglomérat et deuxièmement de quartzites mauves subarrondis et emballés dans des grès fins et argileux à quartz anguleux. Ce conglomérat arrive près du grès de Douma. Cet aspect structural est rencontré à l'Ouest à proximité du village de Yenga et permet d'envisager la présence des roches schisto-quartzitiques à faible profondeur dans cette région. Le grès de Douma quant à lui est constitué d'un ensemble détritique homogène stratifié banc par banc de quartz subanguleux ou arrondi plus ou moins important en fonction d'une recristallisation secondaire. La roche est envahie par de l'illite pouvant être associé à de la kaolinite et de couleur brune-jaune plus ou moins foncé à cause de l'argile et en fonction de la teneur en oxyde de fer.

1.3.1.5 Le complexe schisto doléritique

Le complexe doléritique est caractérisé par son modelé d'érosion et son réseau hydrographique. La photographie aérienne ne pouvant décrire clairement la constitution du complexe, une analyse pétrographique permet d'énumérer les constituants suivants : les dolérites, les gabbros, les andésites et les jaspes.

Les dolérites

Elles sont très présentes dans la région où se trouve les sources de la Lokomo et sont confluent la Boumba-Bagué entre les parallèles $2^{\circ}40'$ et $3^{\circ}30'$. Elles sont de couleur sombres compactes avec une texture finement grenue. Au microscope, on observe plusieurs structures doléritiques avec des traces de catalase affectant d'énormes cristaux d'augite et des baguettes de plagioclase présentant par endroit des baguettes entrecroisées près duquel on trouve des hornblendes et des gros cristaux d'augite. On note également la présence d'amas de trainés ferrugineuses, d'épidote et des produits micacés. Les dolérites sont également retrouvés à l'Est de la Lokomo au Nord du parallèle 3° entre les villages Lokomo et Lidjimbo près du confluent Lokomo Boumba.

Les gabbros

On rencontre à Glaucophane des gabbros doléritiques renfermant entre autre quelques feldspaths altérés du pyroxène de la chlorite, de la pennine et de la saussurite. Ils sont présents autour de l'actuel village de Ngola et dans les bassins de la Lokomo. C'est une roche grise claire et compacte, constituée de fins microlites d'andésine envahis par de la sericite, de la zoisite de l'épidote caractérisant une structure fluidale.

Les jaspes

Les jaspes sont toujours trouvés au contact de la dolérites soit inclus dans un sill ou soit accolé à celui-ci. Ils ont une structure vacuolaire avec des zones pas très solidifiées et bréchiques. Dans cette roche, ce sont les grès ou pélites qui font l'objet de salification. Les pélites sont enrichis en carbonate au-delà de la zone silicifiée, ce qui conduit à la mise en place d'un horizon calcaire.

1.3.1.6 Le complexe tillitique

C'est une formation géologique caractérisé essentiellement par son relief escarpé et découpé, caractérisé également par son absence de direction privilégiée. On rencontre sur la rive gauche de la Boumba un peu au Nord du parallèle $2^{\circ}10'$ une roche de couleur grise ayant un aspect conglomérique rattaché aux tillites. Dans cette roche, se trouve des petits grains de quartz anguleux arrondis et d'autres éléments anguleux arrondis tels que :

- Des cristaux de microcline ;
- Des nodules de séricitoschistes ;
- Des quartzites ;
- Des cristaux de mica, calcite et des oxydes de fer.

Par ailleurs, sur le contrefort occidental de l'axe tectonique de Lobéké, l'on rencontre une formation glaciaire encore appelé formation de Boulou. Cette formation est caractérisée par des pélites bréchiques prenant une teinte rouge à certains lieux. Cette formation à une hauteur de l'ordre de 100m répartie comme suit :

- Des alternances de carbonates noirs indurés en dalles de 20cm à 30cm d'épaisseur et de mini strates gréseuses grises parcourues de nombreux filonets de calcite laiteuse ;
- Des pélites micacées, verdâtres gréseuses, satinées, associés à de minces couches centimétriques de grès micacés (10m à 15m) ;
- Un horizon calcaireux bréchiques constitué par des débris de pélites micacés enrobés dans un ciment calcaireux faiblement gréseux et de couleur vert pale. La taille des débris de pélites varie de 1 à 2cm et leurs surfaces sont ondulées et gaufrées (70m à 80m).

1.3.2 Les formations de couverture

1.3.2.1 Série des grès horizontaux

On y observe grâce à la photographie aérienne une formation tabulaire caractérisé par les éléments suivant :

- Son apparente horizontalité ;
- Sa forme (plateau) ;
- Sa morphologie (roche résistante) ;
- Son réseau hydrographique.

Cette formation est observée dans la rivière Libonmbolo et porte le nom grès de libonmbolo. De bas en haut, il est constitué de :

- Un conglomérat de 40m d'épaisseur formé de jaspes rubanés vacuolaires, bréchiques, scoriacés accolés les uns aux autres et de taille variant du dm^3 à plusieurs m^3 ;
- Un sable argileux blancs collant malléable débutant par un horizon conglomérique à galets oblongs de quartzite, de micaschistes ou de quartz laiteux ;
- De l'argile jaune plastique avec de minces horizons de jaspe de 30m d'épaisseur ;
- De grès hétérogranulaire argileux à grains anguleux de couleur vert dans lesquels s'intercalent des lentilles conglomériques d'épaisseur de l'ordre du mètre pouvant être ferralisées ;
- De l'argile latéritique vacuolaire indurée (20 à 30m). Ces grés horizontaux sont très développés à l'Ouest du lac Lobéké et s'étendent jusqu'à la région de Batéka.

1.3.2.2 Série argilo-sableuse

Ce sont des dépôts récents de type colluvial caractérisés par son réseau hydrographique et son allure de recouvrement rencontré au Sud-Est de la zone entre la Ngoko et la Sangha.

1.3.3 Formation superficielles

1.3.3.1 Les alluvions récentes

On les localise dans les rivières, les zones marécageuses et inondées. Ces alluvions sont présents dans la moitié sud de la zone d'étude et sont constitués d'argile jaune et gris noir en dessous duquel se trouve un sable fin contenant des éléments quartzeux anguleux. On observe également du sable et des graviers (consolidés par des trainés ferrugineuses) pouvant atteindre une hauteur de 8m à 10m en bordure de la Ngoko et de la Sangha.

1.3.3.2 Les alluvions

Ces alluvions proviennent de l'altération des grès quartzites dans les sols sablonneux légèrement argileux. Cependant, entre les méridiens 15°40' et 16°, on rencontre des placages argileux marneux sub-recents plus ou moins indurés. Cet argile est le résultat de l'altération des formations sous-jacentes et peuvent renfermés des trainés rouges d'oxyde de fer qui lorsqu'elles dérivent des schistes deviennent verdâtres.

1.3.3.3 Les latérites

Près de la piste de Yokadouma-Nola, on rencontre deux dalles latéritiques. En zone de forêt franche au sud de la zone d'étude, on rencontre de l'argile latéritique rougeâtre et imperméable, des plateaux latéritiques entre les villages de Brazzaville et Bateka.

1.4 Aperçu tectonique de la zone d'étude

Le socle archéen de la zone n'a subi au cours des ères géologiques que le seul épisode thermotectonique panafricain (500 à 600Ma) qui l'a « rajeuni » par la mise en place d'intrusions granitiques(batholites) et réajustement des quelques discontinuités structurales majeures. Il a été épargné de tous les phénomènes tectoniques récents liés au volcanisme néogène et aux réajustements isostatiques de sorte qu'il se caractérise par une très grande stabilité (Cyone et al.,2010). Sous l'épais manteau éluvial meuble, le socle rocheux archéen ne présente que quelques directions structurales majeures qui ont surtout été repérées sur un affleurement à facies gneissique et de séricitoschistes de la série de Lom. Quelques traits morphologiques qui mettent en évidence l'uniformité régionale de la foliation dont la direction est NE-SW avec un pendage vers le Nord-Ouest (Soba, 1989 ; Cyone et al.,2010 ;Gasel et al.,1954).Les linéaments régionaux soulignent deux directions structurales majeures qui résultent de la phase tectonique et réajustement du socle, au Panafricain. Sur ces directions, qui sont NW-SE et NE-SW, se sont alignés certains tronçons des cours d'eau principaux (Lom, Djerem, Pangar) et de leurs principaux affluents. Dans certains secteurs, ces alignements structuraux anciens ont induit un réseau d'effondrement

en panneaux. Ceux-ci sont identifiables à l'analyse photogéologie dans la série métamorphique en amont du Lom (Cyone et al.,2010)

1.5 Travaux géologiques et géophysiques antérieures

Plusieurs études géologiques ont été faites à l'Est-Cameroun concernant la chaîne panafricaine d'Afrique centrale parmi lesquelles (Cornachia et al.,1983 ; Ngako et al.,1991 ; Koch et al.,1988), dans le cadre du protocole d'accord " pour la recherche des minéralisations aurifères dans la province de l'Est", ont permis de mieux préciser la lithologie de la série de Lom et le cadre géodynamique du secteur. Mais ces études demeurant superficielles nécessitent des travaux géophysiques (Regnault,1986 ; Soba ,1989 ; Ngako, 1999). C'est ainsi qu'ont vu le jour plusieurs publications parmi lesquelles :

En aeromagnetisme, Paterson et al., (1976) qui montrent que les anomalies magnétiques sont peu marquées dans les formations métamorphiques, contrairement au socle plus ancien du complexe calco-magnésien. Kankeu et al., (2010) montrent que les linéations magnétiques de la zone de cisaillement de Bétaré-Oya sont subhorizontales ou plongent faiblement vers le SW-WSW.

En magnétotellurique, Meying, (2011) révèle un réseau de failles de direction E-W qui s'étend de Akanolinga jusqu'à Abong-Mbang et qui serait la zone de transition entre le craton du Congo et le panafricain. Cette transition d'après d'autres travaux antérieures passe par Edéa à l'intersection de l'accident NE-SW de la Sanaga et de la faille NNE-SSE de Kribi.

1.6 Problématique

Une analyse structurale géophysique est la caractérisation et l'identification de la structure superficielle et profonde d'un espace géologique. La géomorphologie structurale d'un espace géologique peut être constituée de failles, de plis, de linéaments. Le problème est donc comment à partir des variations du champ magnétique terrestre(anomalies du champ magnétique terrestre) vérifier les structures tectoniques, estimer les profondeurs de quelques structures majeures intéressantes,estimer les profondeurs de quelques structures majeures intéressantes et modéliser les couches stratigraphiques du sous-sol de la zone d'étude pour en déduire les indices de potentialités en ressources minières en eau et pour la prévention des catastrophes ? Une collecte de données aéromagnétiques et l'usage de méthode d'analyse multi-échelles en particulier nous permettra ici de résoudre le problème de forte densité forestière que l'on rencontre dans la zone d'étude.

1.7 Conclusion

En somme, il est question pour nous dans ce chapitre, de situer la zone d'étude et de résumer les aspects importants de sa géologie. Cependant, force nous a été de constater que la zone d'étude est le siège

d'une formation géologique riche et diversifiée constituée de nombreuse séries présentant des facies tout autant nombreux que variés ; par ailleurs il est important de noter que cette zone à été au fil des ères géologiques le siège de nombreux phénomènes tectoniques.

Chapitre 2

MATERIELS ET METHODES

2.1 Introduction

La méthode magnétique est sans doute la première des méthodes géophysiques. Les plus anciennes observations et mise en évidence d'aimantations remontent au philosophe grecque Thales, six siècles avant Jésus Christ (Nabighian et al., 2005). Le mot « magnétisme » vient du grec « magnes », qui a son origine en Thessalie dans l'ancienne cité grecque de « Magnésie », où l'on extrayait un minerai aux propriétés naturellement magnétiques, appelé pierre d'aimant. C'est cette pierre citée par Lucrèce qui aujourd'hui est connue sur le nom d'oxyde de fer (Fe_3O_4), appelée « magnétite ». Jusqu'au début du XIXe siècle, la seule source pratique de magnétisme était cette pierre noire de magnétite. Dans ce chapitre, il sera donc question pour nous de présenter successivement et de façon brève les principes théoriques de la prospection magnétique, quelques operateurs et méthodes d'analyse des cartes aeromagnétiques.

2.2 Théorie sur le magnétisme (Chouteau, 1999)

2.2.1 Généralité sur le système d'unité

En magnétisme, suivant l'orientation du problème il existe deux système de coordonnées.

- Le système SI qui considère que le champ magnétique est d'origine électrique : la notion de dipôle crée par un courant circulaire est l'élément de base
- Le système cas dans la théorie classique se base sur la notion de pole magnétique pour obtenir une relation pour la force proportionnelle à l'inverse du carrée de la distance.

2.2.2 La force magnétique

Les charges magnétiques n'existent pas dans la réalité contrairement aux charges électriques et aux masses. Cependant, Coulomb suppose donc que l'existence du magnétisme est liée à la présence

des pôles magnétiques. Le pôle est lourd comme une masse et actif comme une charge (masse chargée). Dans la nature, il n'existe pas de masse magnétique en tant que substance indépendante et les différentes propriétés magnétiques sont dues aux mouvements des particules chargées dans les atomes de la matière. Dans un milieu de perméabilité magnétique $\ll \mu \gg$, la force magnétique $\ll F \gg$ qui agit entre deux pôles P_1 et P_2 distant de $\ll r \gg$ est donnée par :

$$F = \frac{P_1 P_2}{r^2 \mu} \quad (2.1)$$

où

- F = Force (en newton)
- $P_1 ; P_2$ = masses magnétiques ou pôles,
- r = distance entre deux pôles,
- μ = perméabilité du milieu autour des pôles

2.2.3 Champ magnétique

Un pôle magnétique P_1 en un point de l'espace est soumise à l'attraction venant d'un autre pôle magnétique P_2 situé à une distance r de ce point. L'intensité du champ magnétique H est alors définie comme la force exercée sur un pôle unitaire :

$$H = \frac{F}{P_1} = \frac{P_2}{r^2 \mu} \quad (2.2)$$

2.2.4 Moment dipolaire magnétique

Il n'existe pas de pôle magnétique libre ; seul le dipôle (association de deux pôles l'un positif et l'un négatif) possède une signification physique. Le moment magnétique m du dipôle est le vecteur orienté du pôle négatif $-P$ vers le pôle positif $+P$ et d'intensité :

$$m = plr \quad (2.3)$$

2.2.5 Intensité de magnétisation

La magnétisation est le moment magnétique par unité de volume :

$$M = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

2.2.6 Susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique k est le rapport entre la magnétisation M et l'intensité du champ magnétique H :

$$K = \frac{M}{H} \quad (2.5)$$

La susceptibilité magnétique caractérise la faculté d'un matériau à s'aimanter sous l'action d'une excitation magnétique. La susceptibilité dans le système cgs diffère de la susceptibilité en unités SI, tel que :

$$K(SI) = 4\pi K(cgs) \quad (2.6)$$

2.2.7 Induction magnétique

C'est le phénomène observé lorsqu'un corps magnétique est placé dans un champ magnétique externe H . Sous l'action de H les pôles magnétiques de ce corps magnétique s'alignent créant ainsi un champ H' . L'induction magnétique B sera donc le champ total prenant en compte l'effet de l'aimantation. Dans le vide en unité SI,

$$B = \mu_0(H + H'); H' = M \quad (2.7)$$

$$B = \mu(H + KH') \quad (2.8)$$

$$B = \mu_0 H(1 + K) \quad (2.9)$$

- μ_0 = perméabilité de l'air
- B = en tesla
- H' et H = en A/m

En unité cgs,

$$B = (1 + 4\pi K)H \quad (2.10)$$

- B en gauss
- H en Oersted

En géophysique, on mesure des variations de B qui sont de l'ordre de 10^{-4} fois l'amplitude du champ terrestre, qui est environ 50 micro Tesla. On utilise alors le nanotesla comme unité de mesure.

2.3 Le magnétisme de la terre

2.3.1 le champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre correspond au champ magnétique qui pourrait être produit par un dipôle magnétique présent au centre de la terre, formant un axe de 11° par rapport à l'axe de rotation de la planète. En chaque point du globe, le vecteur champ magnétique est caractérisé par (Simon Fleury, 2012) :

- B : intensité du champ total ;
- H : projection du vecteur champ magnétique dans le plan $\{x, y\}$ = composante horizontale de B ;
- D : Déclinaison magnétique ; c'est l'angle entre le nord géographique et le nord magnétique ;

– I : Inclinaison magnétique ; c 'est l'angle entre le nord magnétique et le vecteur champ magnétique.

Le plan vertical passant par F et H est appelé méridien magnétique. Les composantes cartésiennes (X, Y, Z) , projections de B sur chacun des axes de ce repère cartésien, qui sont reliées aux éléments (F, D, I) par les relations classiques :

$$\begin{cases} X = F.\cos(D).\cos(I) \\ Y = F.\sin(D).\cos(I) \\ Z = F.\sin(I) \end{cases} \quad (2.11)$$

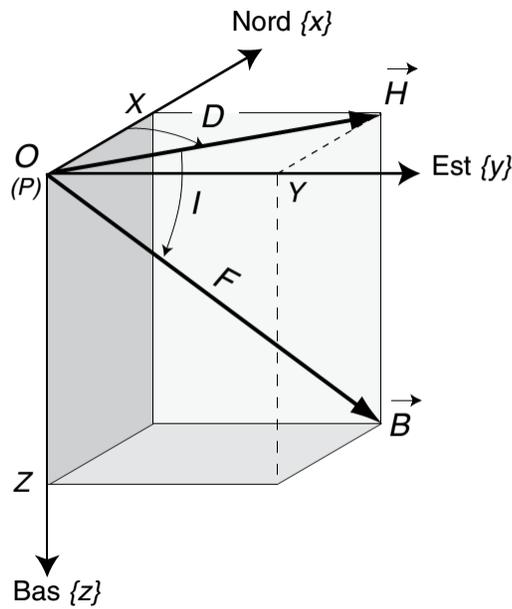


Figure 2.1 – caractérisation du champ magnétique terrestre(Simon Fleury,2012)

2.3.2 Origine du champ magnétique principal

Les analyses mathématiques du champ observé à la surface du globe montrent qu'au moins 99% par internes et 1% par des sources externes. Pour expliquer les mécanismes des sources internes, plusieurs théories ont été avancées.

- La théorie de Blackett en 1947 ;
- La théorie de Cagniard en 1961 ;
- La théorie de la terre uniformément magnétisée ;
- La théorie actuelle celle de la dynamo qui suggère que le champ magnétique terrestre est créé et entretenu par un processus d'induction des courant électriques intenses qui circuleraient dans le noyau extérieure (partie liquide du noyau situé entre 2800km et 5000km de profondeur) possédant une forte conductibilité électrique(Le Mouel,1969).

2.3.3 Un champ variable dans le temps

De longues série d'observation démontrent que le champ magnétique terrestre est loin d'être constant .On distingue deux types de variation.(Chouteau, 1999)

- Les variations de longues périodes qui trouvent leur origine dans le noyau et sont appelées variations séculaires. Elles sont dues à la variation dans l'espace et dans le temps de l'inclinaison et de la déclinaison influencées par les changements de courant de convection dans le noyau et par la rotation de la terre ;
- Les variations de courtes périodes ou variations transitoires causées essentiellement par les courants électriques circulant dans l'ionosphère et la magnétosphère.

2.4 Propriétés magnétiques

2.4.1 Classe des matériaux en fonction de leur susceptibilité magnétique

Le magnétisme des matériaux dépend des moments magnétiques des atomes ou ions. Selon la susceptibilité magnétique, on distingue trois classes de matériaux. (Chouteau, 1999)

2.4.1.1 Matériaux diamagnétiques

La susceptibilité des matériaux diamagnétique est faible et inférieure à zéro . les matériaux diamagnétiques offrent une grande résistance au passage du champ magnétique ; Les lignes de champ ne pénètrent pas ce type de matériaux .(Feumoe, 2014)

Tableau 2.1 – Quelques matériaux et minéraux diamagnétiques (Borradaile, 1994)

P'eau	l'or	Mercure	Bismuth	Calcite	Quartz	Feldspaths
$-9,05.10^{-6}$	-166.10^{-6}	-166.10^{-6}	-166.10^{-6}	$-13,8.10^{-6}$	$-14,5.10^{-6}$	$-12,4.10^{-6}$

2.4.1.2 Matériaux paramagnétiques

La susceptibilité magnétique des matériaux paramagnétique est faible et supérieure à zéro(de l'ordre de 10^{-5} à $10^{-3} SI$).Il peuvent contenir du fer et du manganèse mais en très petite quantité .Tous les matériaux qui ne sont pas diamagnétiques sont paramagnétiques. La plupart des métaux sont paramagnétique.

2.4.1.3 Matériaux ferroamagnétiques

La susceptibilité magnétique des matériaux ferromagnétique est élevée et positive ;il sont riches en fer et en manganèse sous forme d'oxydes, d'hydroxyde et de sulfures.

Tableau 2.2 – Quelques matériaux et minéraux ferromagnétiques (Dunlop et al, 1997)

magnétite	Pyrrhotite	Hematite	Ilménite	Magnésite
Fe_3O_4	FeS	Fe_2O_3	$Fe_2 + TiO_3$	Fe_2O_3

2.4.2 L'aimantation rémanente des roches

Les roches sédimentaires et ignées possèdent un champ magnétique permanent (rémanent) à des degrés divers. La direction de champ rémanent peut être complètement différente de la direction du champ local lors de la formation de la roche. (Groune, 2009) L'aimantation rémanente d'une roche est une aimantation permanente acquise par la roche appelée aimantation rémanente naturelle. Dans plusieurs cas, l'aimantation des roches dépend principalement de l'existence d'un champ magnétique ambiant en présence de minéraux ferromagnétiques dans la roche (Bournas, 2001). Cette aimantation a les propriétés suivantes :

- Sa direction est celle qu'avait le champ qui l'a créé ;
- La valeur de l'aimantation est proportionnelle à l'intensité du champ ;
- A la température ordinaire, elle n'évolue pas et résiste à des champs quelconques.

2.5 Le levé magnétique

2.5.1 Instruments de mesure : les magnétomètres

Les premiers instruments utilisés en magnétométrie étaient des compas marins modifiés. Ces instruments donnaient les valeurs des composantes I et D respectivement l'inclinaison et la déclinaison du champ magnétique. D'autres instruments ont été développés permettant la mesure des composantes H et Z respectivement les composantes horizontale et verticale du champ magnétique 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 est le même et se résume en la comparaison de la force mesurée à une autre force connue. Les magnétomètres les plus utilisés actuellement sont (Bournas, 2001) :

- Magnétomètre à précession nucléaire ;
- Magnétomètre à pompage optique ;
- Magnétomètre à saturation magnétique ou Fluxgate :

Le magnétomètre fluxgate fut développé durant la seconde guerre mondiale afin de détecter les sous-marins. C'est le premier magnétomètre utilisé dans les levés aéroportés, il est considéré comme le plus souple actuellement utilisé, de lecture rapide. Il est constitué de deux bobines identiques connectées en série mais d'enroulement inverse. Les deux bobines se retrouvent à l'intérieure d'une troisième bobine.

Lorsqu'on envoie un courant dans les deux bobines, le champ engendré par chacune d'elle sera de même intensité et de sens opposé : le champ total est donc nul et il n'y a pas de courant induit dans la troisième bobine. En présence d'un champ extérieure, le champ d'une bobine sera augmenté et celui de l'autre diminué. Si le courant injecté dans le primaire est suffisant pour amener les deux noyaux à saturation, un des deux noyaux va saturer plus vite que l'autre. Le voltage induit dans la troisième bobine est la somme due aux deux noyaux. Puisque l'induction est proportionnelle à la variation du champ magnétique, elle sera alors nulle lorsque les noyaux sont saturés.

En présence d'un champ extérieure les deux noyaux ne saturer pas en même temps, le voltage induit dans la troisième bobine sera une série de pics. L'amplitude de ces pics est proportionnelle au champ externe parallèle aux noyaux.

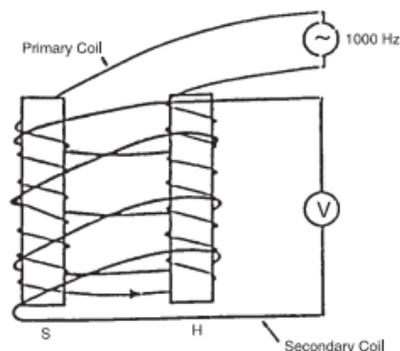


Figure 2.2 – Schéma de principe d'un Fluxgate (Chouteau,1999)

2.5.2 Réalisation d'un levé magnétique

Les levés magnétiques consistent à mesurer le champ magnétique terrestre afin de détecter les variations locales dues au magnétisme et au ferromagnétisme des structures géologiques locales. Ces levés sont principalement utilisés pour la cartographie géologique, pour l'exploration minière et pétrolière, pour la visualisation des structures géologiques de la croûte faisant partie du sous-sol particulièrement la géométrie spéciale du roc et la présence des failles. Le levé aéroporté est réalisé grâce à un magnétomètre embarqué dans la queue et ou les ailes d'un avion. L'avion effectuera des mesures suivant un plan de vol précis et suivant une altitude précise.

2.5.3 Correction apporté au levé magnétique

Plusieurs aléas peuvent tacher les données obtenues lors d'un levé magnétique. Il est donc nécessaire d'apporter quelques corrections.

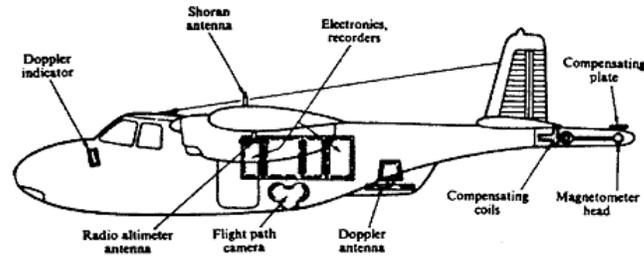


Figure 2.3 – Exemple d’avion utilisé pour la réalisation d’un levé magnétique (Chouteau,1999)

- La correction de dérive instrumentale : elle tient compte des erreurs apportées par l’instrument de mesure ;
- La correction d’altitude : elle tient compte de la différence d’altitude lors des vols ; Cette différence peut être due au relief (montagne, bassin, etc.) ;
- La correction de terrain : elle tient compte de la topographie de la zone survolée.

2.6 Outils de traitement des données magnétiques

L’interprétation des cartes magnétiques passe par l’usage de nombreuses méthodes et opérations ; on peut citer entre autres les méthodes analytiques, les méthodes graphiques, l’opérateur de réduction des pôles, l’opérateur de prolongement, l’opérateur de dérivation, l’opérateur de pseudo-gravimétrie (Feu-moe,2014). Dans le cadre de notre travail nous présenterons de façon brève quelques méthodes analytiques (méthodes de déconvolution d’Euler, méthodes des gradients horizontaux) et l’opérateur prolongement.

2.6.1 L’opérateur prolongement

L’opérateur prolongement est un filtre qui consiste à déplacer artificiellement le plan d’observation et à calculer le champ que l’on observerait en ces nouveaux points à partir des données recueillies sur le terrain. Le prolongement peut se faire vers le haut ou vers le bas. La transformation d’une anomalie d’une altitude $z=0$ à une altitude $z=h$ 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 (Blakely, 1995).

2.6.1.1 Le prolongement vers le haut

Le prolongement vers le haut consiste à une atténuation de l'amplitude et un lissage qui est une transformation qui fait passer l'anomalie de l'altitude $z=0$ à une hauteur z positive. IL correspond à un filtre passe-bas qui permet d'atténuer les anomalies de courte longueur d'onde correspondant aux structures superficielles.

En se basant sur les identités de green, le champ potentiel d'anomalie U peut être calculer en tout point de l'espace et vérifie l'expression suivante :

$$U(x, y, z - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{[(x - x')^2 + (y - y')^2 + \Delta z^2]} dx' dy'; \Delta z \succ 0 \quad (2.12)$$

Cette formule du prolongement vers le haut permet de calculer le champ en tout point situé au-dessus d'une surface horizontale. Le passage du domaine temporel au domaine fréquentiel grâce à la transformée de Fourier et au produit de convolution nous permet de simplifier cette expression du prolongement vers le haut. Dans le domaine fréquentiel l'expression du prolongement vers le haut est données par :

$$TF(U) = e^{-|k|\Delta z} \quad (2.13)$$

La courbe du prolongement vers le haut est une fonction exponentielle décroissante. D'après l'allure de la courbe, le prolongement vers le haut permet l'atténuation des grandes fréquences correspondant aux courtes longueurs d'ondes associées aux structures superficielles. 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). Dans le cadre de ce travail nous utiliserons le prolongement vers le haut.

2.6.1.2 Le prolongement vers le bas

Le prolongement vers le bas consiste à une atténuation de l'amplitude et un lissage qui est une transformation qui fait passer une anomalie de l'altitude $z=0$ à une profondeur z négative. IL correspond à un filtre passe-haut qui permet d'atténuer les anomalies de grande longueur d'onde correspondant aux structure superficielles. Cette technique est de plus en plus moins utilisée car elle est très instable en présence de bruit. Son application est très limitée pour l'estimation des profondeurs des structures sources d'anomalies. Dans le cas du prolongement vers le bas, le plan de prolongement est en dessous du plan de mesure réels. De la même façon que pour le prolongement vers le haut, l'opérateur prolongement vers le bas est :

$$TF(U) = e^{(+|k|\Delta z)}; \Delta z > 0 \quad (2.14)$$

La courbe du prolongement vers le bas est une fonction exponentielle croissante, par conséquent le prolongement vers le bas permet l'amplification des grandes fréquences correspondant aux courtes longueurs d'ondes associés aux structure superficielles. Cette amplification est d'autant plus importante que la distance de prolongement est grande.

2.6.2 Les méthodes analytiques

Les méthodes analytiques contrairement aux méthodes graphiques offrent plus de fiabilités de stabilités et la possibilité d'interpréter plusieurs paramètres à la fois conduisant à une meilleure approche du modèle géologique. Selon la procédure d'interprétation, on distingue 2 types de raisonnement : le problème direct et le problème inverse.(Feumoe,2014)

Le problème direct

Le problème direct a une solution unique, pour ce faire, on définit un modèle géologique en choisissant des paramètres physiques avec lesquels on va estimer l'effet de ce modèle en surface du sol. On compare le résultat obtenu avec le signal de terrain. S'il y a une différence, il devient obligatoire de changer la valeur de ces paramètres pour obtenir un autre effet en surface, par itérations successives, nous minimisons la différence entre les anomalies calculées et celles mesurées jusqu'à ce que cette différence soit négligeable.(Groune, 2009)

Le problème inverse

Contrairement au problème direct, le problème inverse admet une infinité de solutions. Dans le cas du problème inverse, l'on prend comme base de départ l'effet mesuré sur le terrain et à partir de là, grâce à des méthodes appropriées on essaye de nous rapprocher le mieux possible du modèle réel, plusieurs méthodes utilisant le principe du problème inverse ont été développées pour la localisation des sources perturbatrices dans magnétisme(Feumoe, 2014).Pour ce qui concerne ce travail, nous étudierons deux de ces méthodes analytiques utilisées pour l'interprétation des données aéromagnétiques à savoir : la méthode de déconvolution d'Euler et la méthode des gradients horizontaux.

2.6.2.1 La méthode des gradients horizontaux

La méthode du gradient horizontal est l'approche la plus simple pour localiser les contacts géologiques des corps dans le sol. L'avantage de cette méthode est qu'elle n'est pas sensible aux bruits provenant des données lors du levé aéromagnétique car elle dépend uniquement du calcul des dérivées premières du champ magnétique dans le plan horizontal (Phillips, 1998). Si M représente le champ magnétique en un lieu de la terre, alors l'amplitude de son gradient horizontal est donnée par la formule suivante :

$$AGH(x, y, z) = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (2.15)$$

2.6.2.2 La méthode de déconvolution d'Euler

La méthode de la déconvolution d'Euler s'applique aux données magnétiques et gravimétriques, permet la localisation et la détermination des paramètres de forme des sources magnétiques et gravimétriques (indice structurale), elle est basée sur un procédé mathématique représenté par l'équation d'homogénéité d'Euler (Thompson, 1982). La déconvolution d'Euler est basée sur l'équation d'homogénéité d'Euler introduite dans la littérature au XVIIIème siècle. Thompson a montré que la relation

d'homogénéité d'Euler peut être écrite sous la forme :

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (2.16)$$

où, (x_o, y_o, z_o) est la position de la source magnétique dont le champ total T est observé au point (x, y, z) . B est la valeur régionale de T. N est le degré d'homogénéité, il peut être interprété comme un indice structural, sa valeur est fonction de la variation du champ avec la distance, ainsi :

N = 3 pour des sources sphériques (point dipôle magnétique) ;

N = 2 pour des sources linéaires verticales (dykes ou pipes) ;

N = 1 pour des corps minces (dykes verticaux sills) ;

N = 0 pour les contacts et les failles.

2.7 Origine des données

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont aéromagnétiques et proviennent des différentes campagnes de levés magnétiques aéroportés réalisées au Cameroun par différents organismes entre 1970 et 1976. Celles de notre zone d'étude ont été prises en 1970 dans le cadre des programmes de coopération entre le Canada et la République Fédérale du Cameroun sous les auspices de l'Agence Canadienne de Développement International (ACDI). L'aspect technique du travail a été supervisé conjointement par la Commission Géologique du Canada et la Direction des Ressources Naturelles du Cameroun. La couverture aéromagnétique s'est effectuée à une altitude de vol de 235 m suivant les profils de direction N135 et espacés de 750 m. Après avoir apporté aux données les corrections décrites précédemment, ces données seront ensuite numérisées grâce au logiciel MapInfo Professional 7.5 dans le système de coordonnées WGS 84 / UTM Zone 33 Nord et traitées grâce au logiciel OASIS MONTAJ.

2.8 Base de l'interprétation des données

L'interprétation peut être qualitative ou quantitative

2.8.1 L'interprétation qualitative

L'interprétation qualitative consiste à trouver des liens entre le contexte géologique et les caractères généraux des anomalies régionales et résiduelles.

2.8.2 L'interprétation quantitative

L'interprétation quantitative consiste à faire des estimations chiffrées des paramètres et des diverses propriétés magnétiques des corps perturbateurs et les dimensions des sources d'anomalies. Cela

peut se faire sous forme de modélisation des sources qui pourraient en théorie reproduire les anomalies enregistrées. Les paramètres du modèle sont ensuite ajustés afin d'obtenir un meilleur accord entre anomalies observé et calculé.

2.9 Conclusion

La méthode aéromagnétique est l'une des approches les plus aisées pour l'identification des structures et la prospection minière. Les sources causatrices n'étant pas directement superposable aux anomalies observées, l'on fait recours à diverses méthodes d'interprétation et d'analyse. Dans ce chapitre il était donc question de présenter de façon brève la théorie du magnétisme, les éléments fondamentaux de la méthode d'analyse des données magnétiques, les techniques d'analyse et les procédés mathématiques qui faciliteront l'interprétation des données magnétiques.

Chapitre 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Introduction

L'interprétation des champs d'anomalies du champ magnétique est un processus par lequel nous déterminons les causes ou les sources des anomalies individualisées. Le but de cette interprétation est de donner une signification géologique des anomalies en vue de connaître les structures crustales du secteur de l'étude.

3.2 Carte d'anomalie magnétique de la TMI

Les anomalies du champ magnétique total ont été obtenues comme suit :

$$ANO = IGRF - TMI$$

Avec :

ANO= anomalies du champ magnétique total

IGRF= champ magnétique terrestre de référence (mesuré le 01/01/1970)

TMI= champ magnétique mesuré lors du levé magnétique

La carte des anomalies du champ magnétique total a été obtenue grâce au logiciel OASIS MONTAJ. La figure ci-dessous représente la carte d'anomalie magnétique du levé aéromagnétique effectué dans la zone de Yokadouma.

La corrélation entre cette carte et la carte géologique de notre zone d'étude Yokadouma est très faible. Les effets superficiels restent fortement masqués par les anomalies des structures profondes. Cependant, on observe :

A l'ouest de la carte on observe 3 types d'anomalies hétérogènes négatives s'étendant sur de vaste surface. Leurs amplitudes ne sont pas très élevées et varient entre $-761.9nT$ et $-558.7nT$; leur direction approximative est E-W. D'après la carte géologique, ces anomalies seraient dues à la présence des roches tels que les micaschistes, les schistes et les pélites. Néanmoins, ces anomalies auraient également pu être

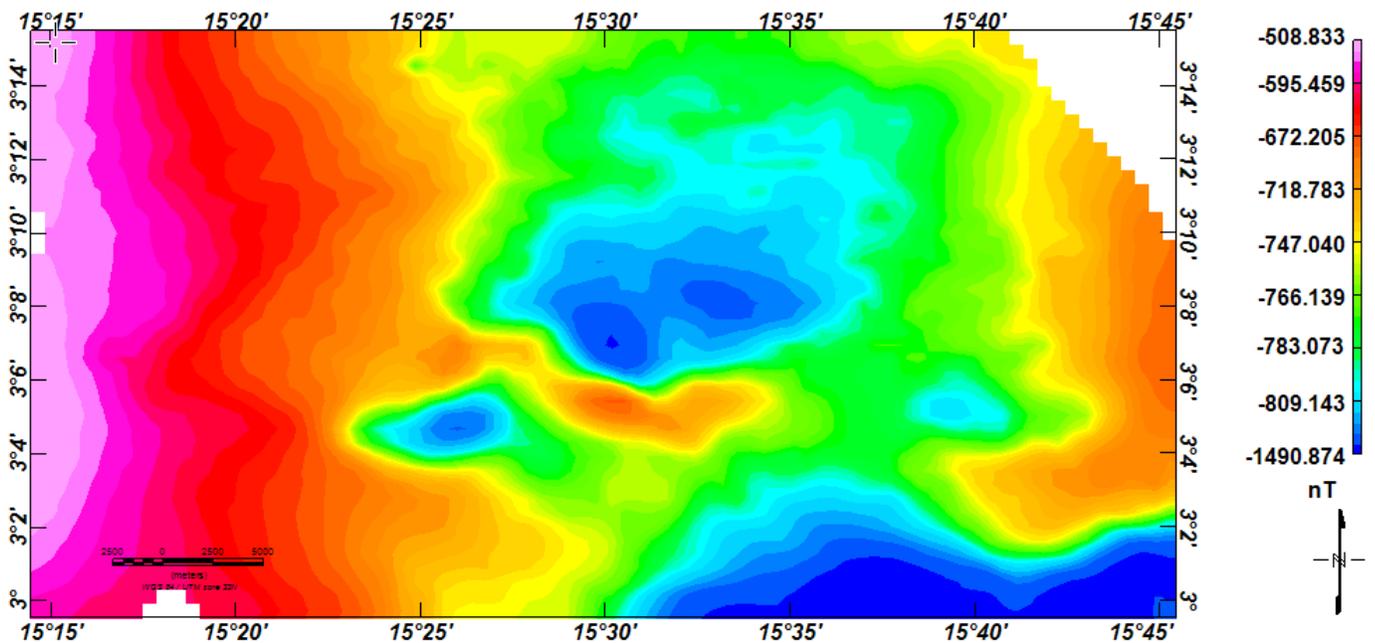
créées par l'accumulation des minéraux dans les failles qui s'y trouvent lors des évènements d'activité intense.

Au centre de la carte, on observe également 3 types d'anomalies caractérisés par une absence de direction privilégié et dont l'amplitude est comprise entre un minimum de $-944,9nT$ et un maximum de $-751,86nT$.

Le Nord-Est de la carte est dominé également par anomalies quasiment du mêmes ordre de grandeur que celles que l'on rencontre dans la partie Ouest de la carte ; cette information est bien conforme aux observations faites sur la carte géologique (on y rencontre les mêmes types de roches). Cependant, le grand contraste de susceptibilité rencontré entre ces deux zones et la partie centrale de la carte laisse supposer à la présence dans cette zone d'un bassin sédimentaire ou d'un fossé d'effondrement. Cependant, la géologie de la zone renseigne sur le fait que les roches rencontrées dans cette partie de la carte sont différentes de celles rencontrées dans les parties Est et Ouest de la carte.

Au sud Est de la carte, l'on observe les plus faibles anomalies avec des valeurs comprises entre $-1490nT$ et $-789nT$.

Globalement, cette carte renseigne déjà sur quelques informations bien que la plupart demeure masquées par des anomalies. Pour en savoir d'avantage il est nécessaire d'apporter à cette dernière certaines transformations d'ordre mathématiques.



3.3 Description des cartes magnétiques transformées

3.3.1 Carte d'anomalies du champ total réduit à l'équateur

Après avoir calculer les valeurs de la déclinaison et de l'inclinaison respectivement $I = -18,46^{\circ}$ et $D = -5,32^{\circ}$ et en utilisant la carte d'anomalies du champ total on génère grâce au logiciel OASIS MONTAJ la carte d'anomalie du champ magnétique total réduit à l'Equateur.

Cette opération a pour but de transformer une anomalie causée par un corps soumis à une aimantation ayant une inclinaison non nul en une autre anomalie qui serait associée au même corps si l'inclinaison était nulle ; c'est-à-dire la carte d'anomalies du champ total réduit à l'Equateur ramene les anomalies à l'aplomb des sources géologiques causative.

En observant cette carte, on constate que quelques changements se sont effectués par rapport à celle de la *TMI*. Cela concorde parfaitement avec le fait que certaines anomalies magnétiques observées sur la *TMI* étaient déjà superposables aux sources causatives à savoir les roches enfouies sur les couvertures. Les changements observés sont :

A l'Est de la zone d'étude ou le vaste réseau d'anomalies d'amplitude comprise entre $-751nT$ et $-718nT$ à laisser place à un autre vaste réseau d'anomalie d'intensité bien plus faible. Cela laisse supposer que cette partie de la zone serait constituée essentiellement de roche ayant un faible contraste de susceptibilité magnétique.

Au Centre de la carte on remarque que les anomalies de faibles amplitudes de forme circulaire et semi circulaire ont pratiquement disparues pour laisser place à des anomalies d'amplitude plus grande.

A l'Ouest , les contours d'anomalies les plus grandes de la carte de *TMI* qui s'étendaient du Nord-Ouest au Sud-Ouest ont subi un resserrement vers le haut.

En définitive, la réduction à l'équateur permet de ramener les anomalies à l'aplomb des sources géologiques causative. En comparant cette carte à celle de carte d'anomalie de la *TMI*, le constat majeur à tirer de cette carte est que les différentes sources causatrices d'anomalies dans notre zone d'étude possèdent une faible inclinaison.

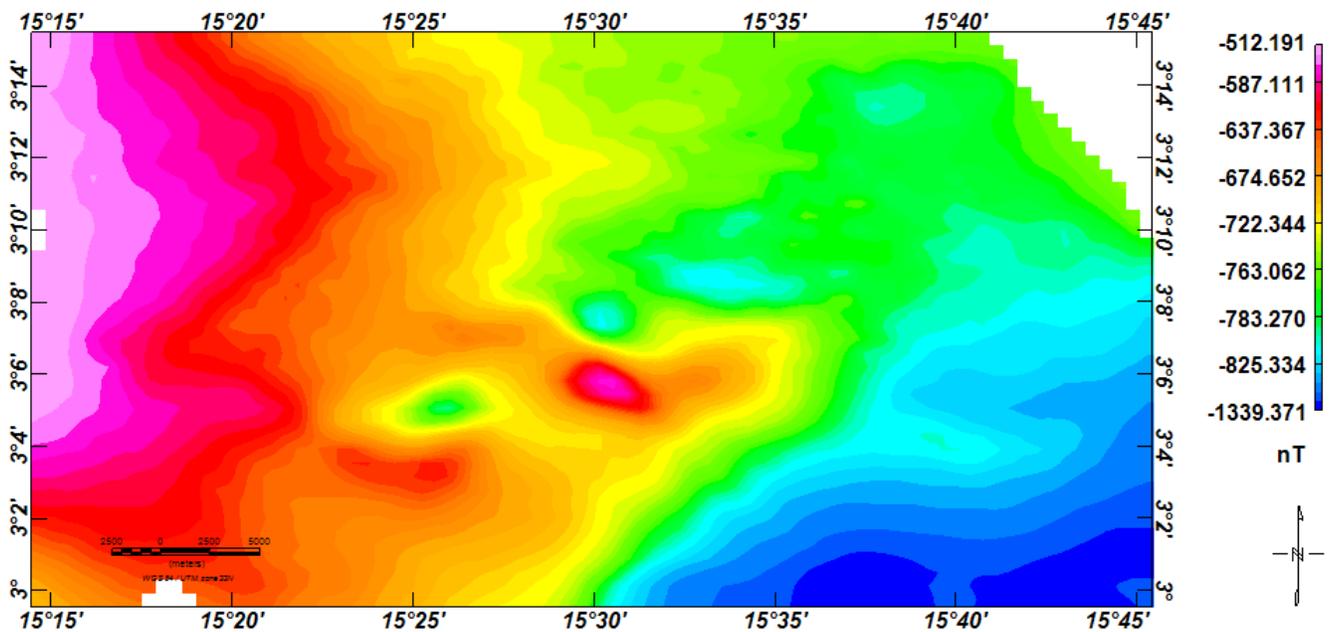


Figure 3.2 – Carte d’anomalies du champ total réduit à l’Equateur

3.3.2 Cartes du prolongement vers le haut

L’opération du filtrage de prolongement vers le haut est une opération de lissage, elle permet d’amplifier les anomalies de grande longueur d’onde (faible fréquence) correspondant aux structures profondes du socle.

La carte de prolongée vers le haut à $500m$: elle est encore semblable à celle du champ total réduit à l’Equateur. On retrouve toujours les anomalies décrites précédemment mais avec un léger lissage des courbes et une légère baisse d’amplitude.

La carte de prolongée vers le haut à $1000m$: l’intensité des anomalies a subie une légère baisse. Les anomalies les plus élevées situées dans partie Ouest de cette carte semble se déplacer vers l’Est de la carte où l’intensité des anomalies est plus faible. La carte de prolongement vers le haut à $1500m$: elle montre la disparition progressive des anomalies de forme circulaire et hétérogène situées au centre de la carte du champ total réduit à l’Equateur prolongée à $500m$.

La carte de prolongement vers le haut à $2000m$: plus on augmente l’altitude de prolongement plus l’amplitude des anomalies diminue. Le signal est lissé et les effets des grandes structures profondes sont privilégiés par rapport aux petites structures qu’on rencontrent en surface.

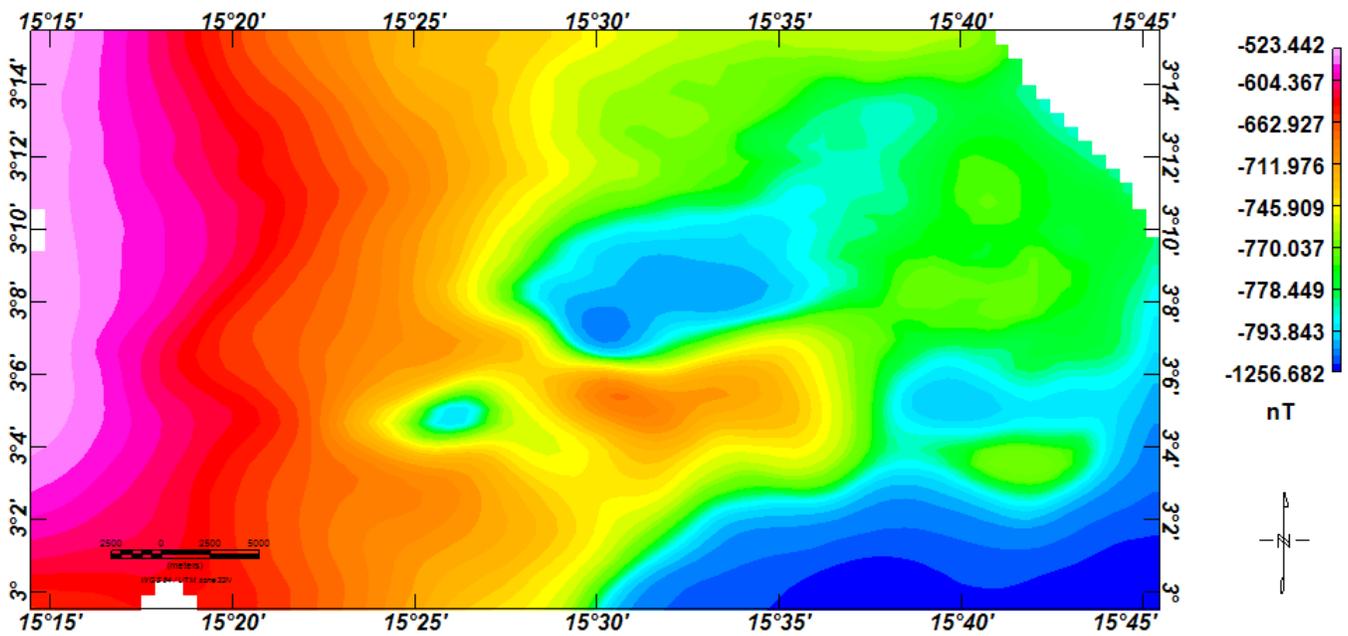


Figure 3.3 – Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 500m

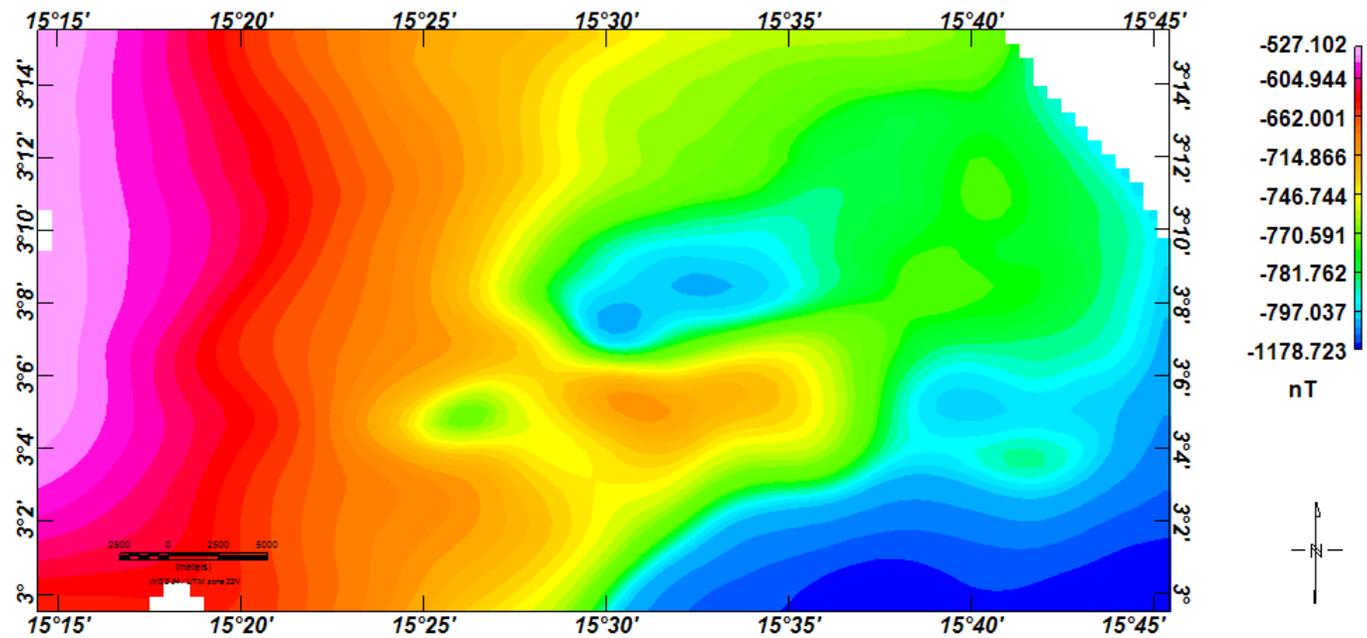


Figure 3.4 – Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 1000m

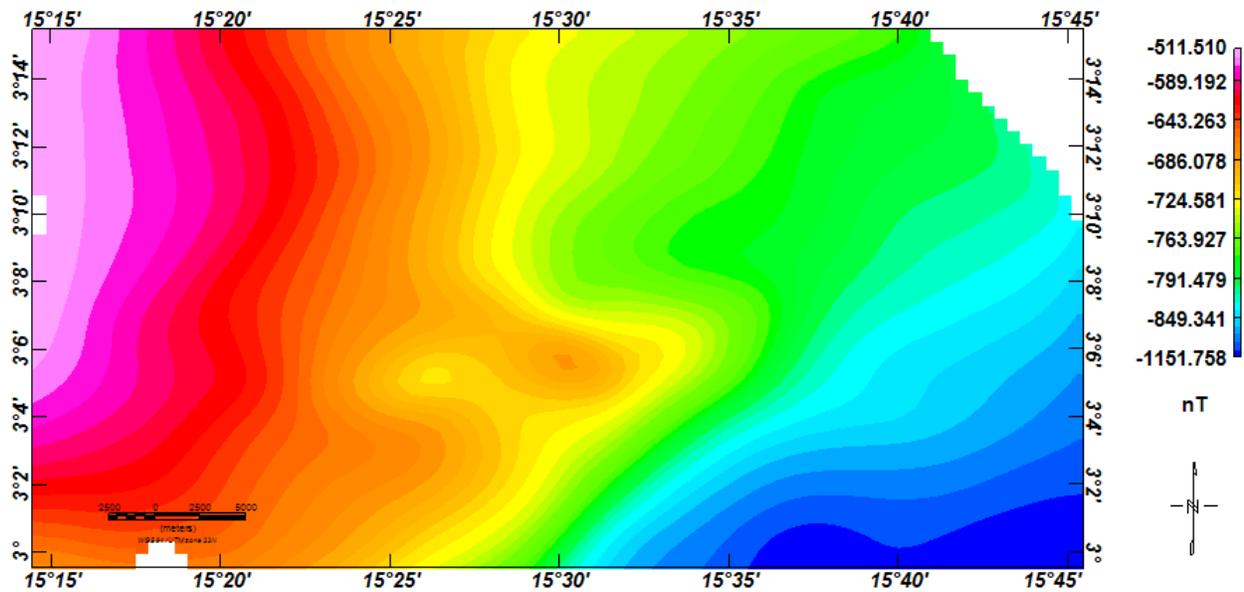


Figure 3.5 – Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 1500m

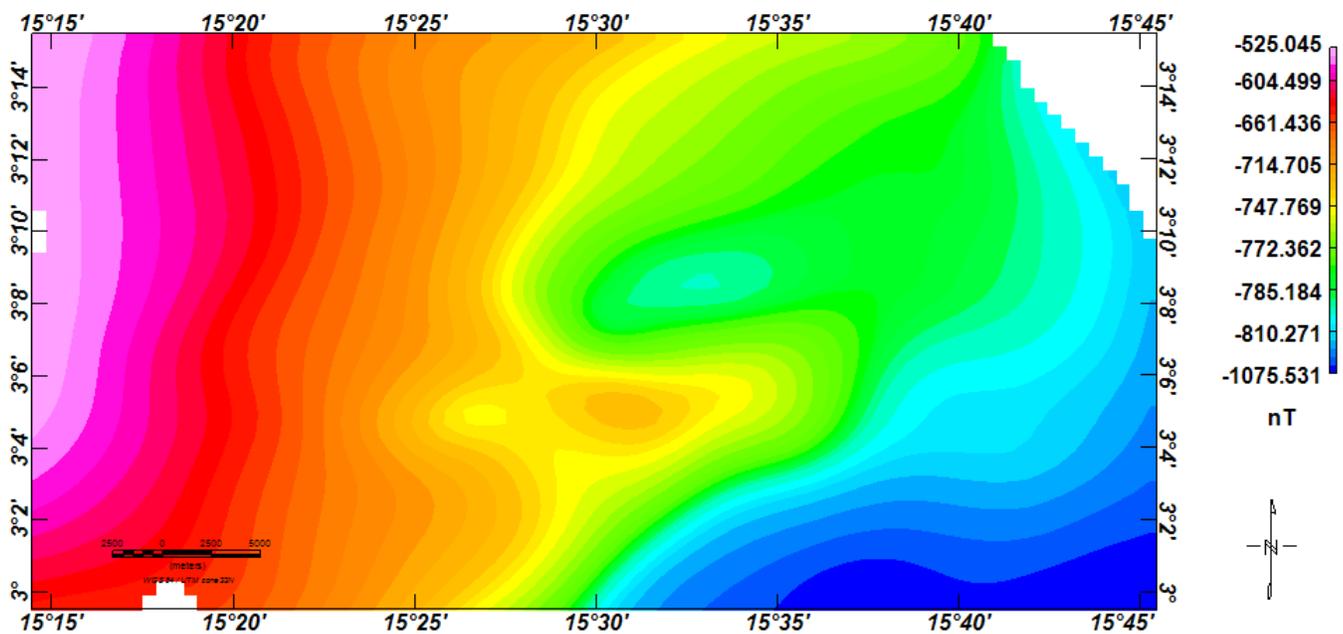


Figure 3.6 – Carte du champ réduit à l'Equateur prolongée vers le haut à 2000m

3.3.3 Cartes d'anomalies résiduelles

L'anomalie résiduelle est calculée en faisant la différence entre l'anomalie magnétique du champ total réduit à l'Equateur et l'anomalie du champ total réduit à l'Equateur et prolongée à 2000m vers le haut. Les anomalies résiduelles ainsi obtenues représentent l'effet des masses perturbatrices superficielles.

Sur la carte résiduelle, l'intensité des anomalies a considérablement augmentée jusqu'à atteindre

une amplitude de $61, 2nT$ contrairement aux anomalies du champ total qui avait des intensités très faibles et uniquement négative, cette différence énorme montre que sur la carte du champ total l'effet des structures superficielles était fortement perturbé par celle des structures profondes.

Sur cette carte, les anomalies de très faibles amplitudes présentent sur la carte du champ total réduit à l'Equateur à l'Est de la zone ont totalement disparues pour laisser place à des anomalies de très grandes amplitudes.

Le sud-Est de la carte est caractérisé par des anomalies magnétiques négatives donc la valeur max est de $-13nT$. L'orientation des roches est identique à ce que l'on a sur la carte d'anomalies de la TMI. Cette orientation des anomalies permet ainsi d'identifier les directions des structures qui s'y trouvent et de les localiser facilement. On trouve également dans cette zone un pic d'anomalie de forte amplitude et faible longueur d'onde encerclé par des anomalies négatives de faibles amplitudes ; cette information laisse supposer à cet endroit la présence d'intrusion de roche de forte susceptibilité magnétique. La région située au Sud-Est de la carte légèrement au dessus de celle précédemment décrite est caractérisée par des fortes anomalies positives (anomalies les plus intenses de toute la carte) s'étendant sur de longue distance. Cette première observation permet de supposer à cet endroit la présence d'une intrusion de dikes. De plus, cette anomalie est limitée au nord suivant l'axe de son orientation principale par des anomalies magnétiques négatives ; cela nous pousse à supposer à ces endroits des contacts mais aussi des failles car l'on y observe également un déplacement de l'axe d'allongement des anomalies suscitées. L'absence des informations précédentes sur la carte géologique nous amène à supposer que ces structures n'affleurent pas en surface.

A l'Ouest de cette carte résiduelle, l'on observe des anomalies orientées suivant la direction $SW - NO$ qui s'étendent sur une grande surface. Ces anomalies caractérisent une faille bien connue d'après la carte géologique de la zone ; cette faille est constituée de schistes de toutes sortes, de pélites de quartz et s'étend à travers près de la moitié de la partie Nord-Ouest de la zone d'étude.

Au Sud-Ouest de la carte résiduelle, une seconde faille décrite sur la carte géologique et absente sur la carte d'anomalie magnétique se dessine. Elle s'étend suivant la direction $SW - NE$ et en se basant sur la géologie de la zone, on peut dire cette faille regorge des dépôts de micaschistes de toute sorte et des schistes de la série de Mbalmayo-Bengbis et de la série de Lom.

Au Centre de la carte, on observe également un vaste réseau d'anomalies de forme circulaire et semi-circulaire d'amplitude différente et orienté suivant une même direction. Si l'on associe cela au resserrement des contours d'anomalies dans cette zone, l'on peut imaginer à cet endroit la présence de contact géologique, des intrusions et par conséquent la présence des failles s'étendant sur une distance considérable. Ces failles pourraient être associées à la série métamorphique de Mbalmayo-Bengbis et seraient constituées de roche sédimentaires et métamorphiques. La présence des failles et des intrusions dans cette zone induit la présence des contacts géologiques. Sur cette carte, on observe également une ligne d'iso-anomalie qui parcourt toute la zone d'étude. Cette ligne n'a pas de direction privilégiée et semble divisée la carte résiduelle en trois (3) principales zones caractérisées chacune par des valeurs d'anomalies magnétiques voisines.

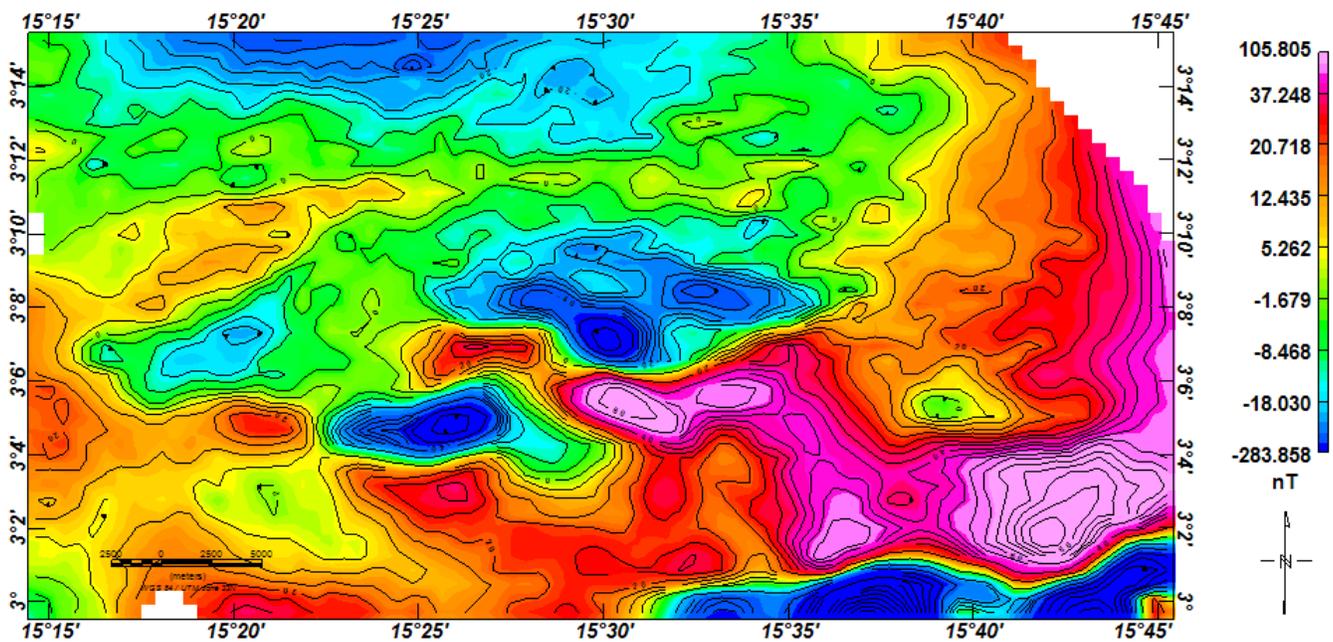


Figure 3.7 – Cartes d’anomalies résiduelles du champ total réduit à l’Equateur prolongée à 2000m

3.4 Cartes du gradient horizontale

Le gradient horizontal de l’anomalie magnétique constitue une approche simple pour la localisation des structures linéaires tels que les contacts lithologiques et les failles à partir des données de champ potentiel. Il délimite les anomalies sur la base de la variation horizontale de l’amplitude. La détermination des limites et des contacts est alors possible en analysant le contraste de susceptibilité dans les différentes régions de la zone d’étude. La figure (3.8) représente la carte du gradient horizontal total de l’anomalie de champ magnétique résiduel. Cette carte montre des anomalies associées aux contacts géologiques continus qui sont plus rectilignes que celles observées sur la carte d’anomalies du champ magnétique total. La carte du gradient horizontal montre les directions majeures *NE – SW* et *E – W* qui caractérisent la carte du champ total avec des amplitudes du gradient qui atteignent les 0, 157nT/m au Sud-Est de la carte. Ces anomalies correspondent à des zones de contacts caractérisés par un très grand contraste de susceptibilité magnétique. Cette dernière serait associée aux failles situées en profondeur. Sur cette carte, on distingue deux grandes catégories de contacts :

- Les contacts ayant un aspect rectiligne qui mettent en évidence les signatures des failles dans les couvertures ;
- Les contacts ayant un aspect circulaire qui mettent en évidence les limites des corps intrusifs (dykes) dans le complexe de base.

Les résultats du gradient horizontal de l’anomalie du champ total résiduel confirment et précisent le tracé des structures suspectées par les études géologiques antérieures. De plus, elle résume les principales limites entre des zones présentant un contraste important de susceptibilité.

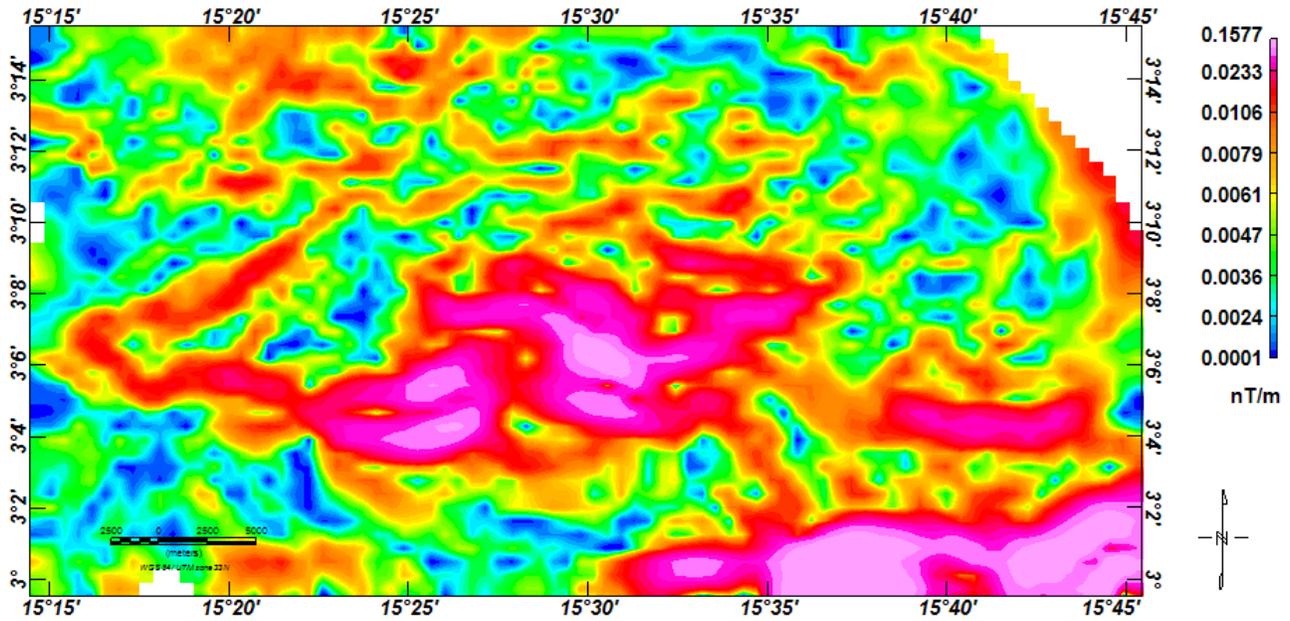


Figure 3.8 – Carte du gradient horizontal de la résiduelle prolongé à 2000m

Plusieurs de ces limites correspondent à des accidents tectoniques inconnus de la région pour mettre en évidence les contacts géologiques associés aux failles ou fractures suspectées sur la carte du gradient horizontal, nous avons représenté les maxima du gradient (figure 3.9) grâce au module GRID PEACK incorporé dans le logiciel OASIS MONTAJ.

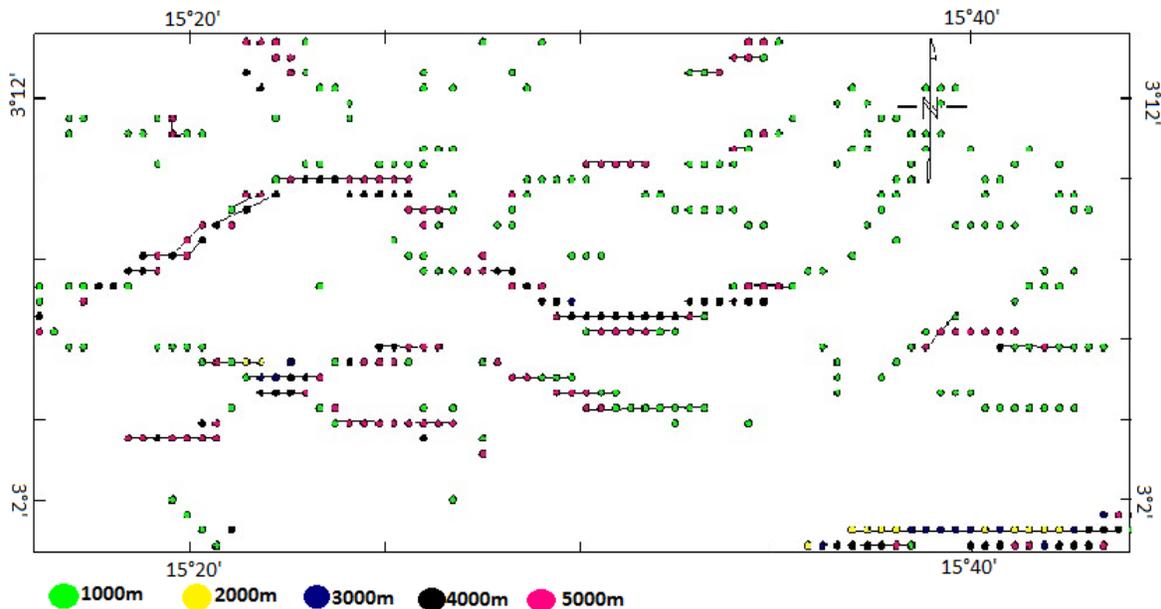


Figure 3.9 – Cartes maximas du gradient horizontal

La carte des maximas est marquée par l'irrégularité de la répartition des maximas associés aux failles dans le socle. La configuration des maxima présente deux directions structurale principale.

La carte est marquée principalement par une configuration des maxima de direction $E - W$ qui suggère la présence d'une déformation structurale à l'échelle régionale du socle. La différence de couleurs est due au fait que les déformations ne se situent pas à la même profondeur. Toutefois, la majorité des maxima du gradient horizontal se trouve à des profondeurs voisines de $1000m$.

En résumé, les cartes ci-dessus résument les principales limites entre des zones présentant un contraste important de susceptibilité. Plusieurs de ces limites correspondent à des accidents géologiques non cartographiés dans la région.

3.5 Carte des linéaments magnétiques

La figure ci-après représente la synthèse des linéaments de notre zone d'étude. Les linéaments sont obtenus par simple traçage sur la carte des maxima du gradient horizontale. Sur cette carte de linéament, on remarque que les linéaments s'orientent suivant deux (2) directions à savoir SW-NE et W-E.

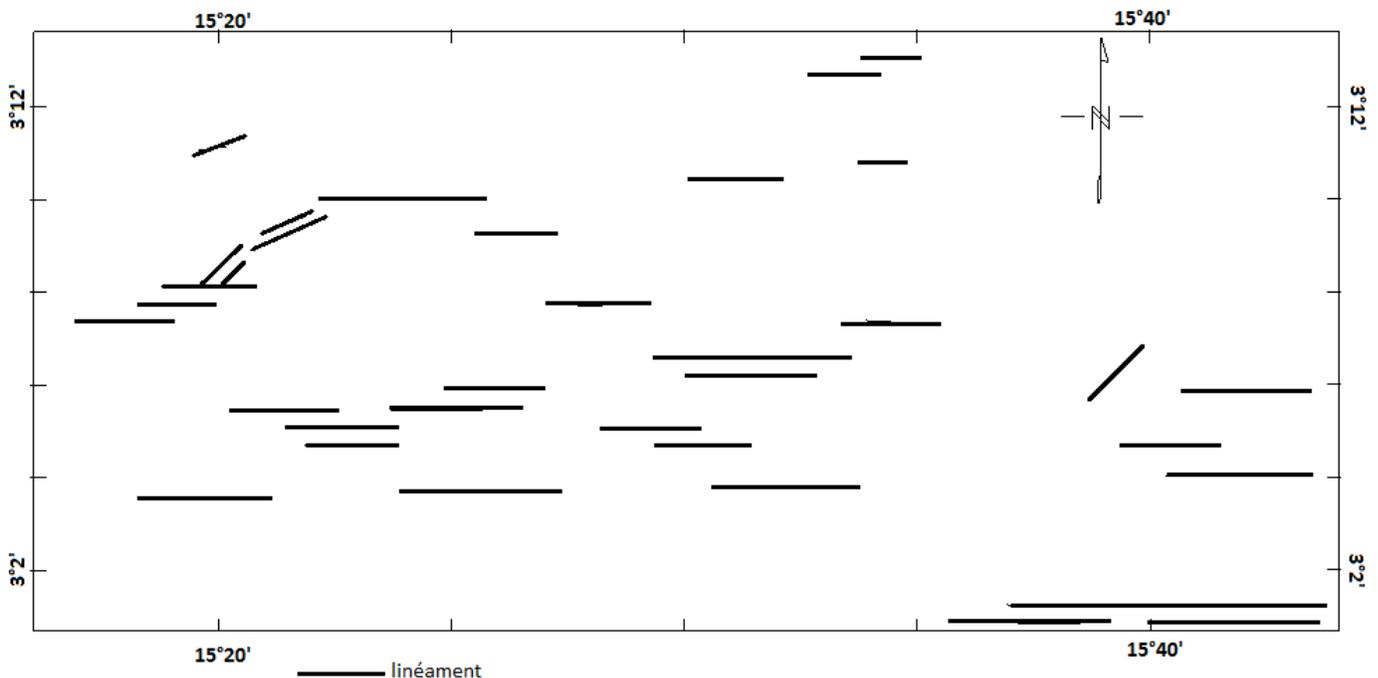


Figure 3.10 – Carte des linéaments

3.6 Déconvolution d'Euler du champ d'anomalies résiduelles

La déconvolution d'Euler a été réalisée à l'aide d'un programme de calcul incorporé dans OASIS MONTAJ. C'est une méthode très efficace qui permet de localiser les contacts géologiques dans le plan horizontal ainsi que leurs profondeurs (Feumoe,2014). Pour nous intéresser uniquement aux structures

profondes de notre région nous avons appliqué la déconvolution d'Euler directement sur la carte réduite à l'équateur prolongée à 2000m. La deconvolution d'Euler utilise les paramètres d'Euler qui sont :

- L'indice structural : Thompson (1982) et Reid et al, (1990) ont proposé de choisir, au préalable, l'indice structural optimal correspondant à un regroupement des solutions en examinant les solutions obtenues pour différentes valeurs de l'indice structural. L'indice structural « N » dépend de la géométrie de la source et caractérise le taux de variation de l'intensité de l'anomalie avec la distance. Dans le cas des données magnétiques, (Thompson ,1982) et Reid et al, (1990) ont montré que N prend des valeurs allant (de 0 à 3) suivant les structures considérées. Reid et al, (1990) ont conclu que de faibles indices structuraux allant de (0 à 1) fournissent les meilleures estimations des profondeurs ;
- Dimension de la fenêtre : Un autre paramètre rentre en jeu pour la détermination des solutions adéquates, c'est le choix de la dimension de la fenêtre. (Marson et Klingele ;1993) ont remarqué que le choix approprié de la taille de la fenêtre dépend de la longueur d'onde de l'anomalie examinée et du pas de la grille ;
- La tolérance :la tolérance « z » représente l'erreur sur la profondeur, c'est-à-dire le taux d'acceptation des solutions. Les tests effectués sur la tolérance montrent qu'un niveau d'erreur d'estimation sur la profondeur comprise entre 5 et 15% .

L'analyse des résultats de la déconvolution d'Euler appliqué à la carte réduite à l'équateur prolongée à 2000m a permis de choisir les paramètres qui donnent la meilleure localisation des profondeurs des sources :

- Indice de structure $N=1$;
- Le pas de fenêtre $w=10 \text{ Km} \times 20 \text{ Km}$;
- La tolérance $t= 15\%$.

Les solutions de ce cas sont représentées à la figure (3.11).

Cette carte permet d'évaluer les profondeurs des structures géologiques intrusives de base. Les solutions d'Euler ont des profondeurs variant de 530 m à 1735m. Nous distinguons quelques traits profonds et les limites de certains corps intrusifs. Sur cette carte, nous observons deux (2) grandes direction structurales qui sont W-E et SW-NE.

L'ampleur du nombre de structure sur la carte met en évidence la faible activité tectonique de la région.

La variation des profondeurs sur cette carte prouve que les anomalies du champ magnétique mesuré en surface proviennent également des structures géologiques profondes. L'accident le plus profond a une direction principale E-W avec une profondeur comprise entre 1000 m et 1735 m et se situe au sud Est de la zone d'étude. Sa forme nous permet de supposer une intrusion de dikes ou de sills.

Au centre de la carte la forme légèrement circulaire des contacts nous renseigne sur la présence d'intrusion orienté E-W de profondeur très variable. Les deux contacts de direction SO-NW (l'un situé à l'ouest et l'autre aux centre de carte) de profondeur allant jusqu'à 1634 m observés sur cette carte nous

renseigne sur l'orientation des failles qu'y pourraient s'y trouver.

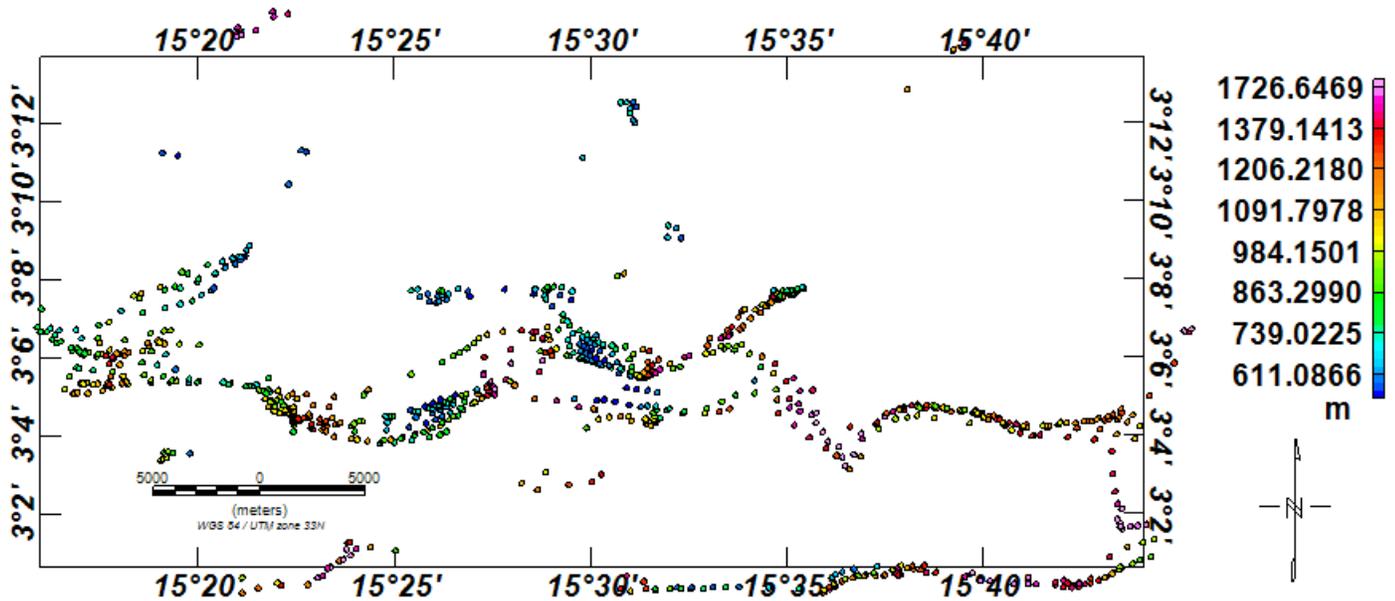


Figure 3.11 – Cartes des solutions d'Euler

3.7 La modélisation magnétique

En tenant compte des profondeurs de la déconvolution d'Euler, les modèles $2.5D$ ont été calculés avec le programme GM-SYS incorporé dans le logiciel OASIS MONTAJ. Dans un premier temps, on a recherché à partir d'un polygone de taille verticale, la susceptibilité qui permettait d'atteindre l'amplitude maximale du profil observé. Ensuite, la forme du corps a été modifiée de façon interactive, en maintenant une base horizontale, et en modifiant le sommet du corps, jusqu'à ce que l'anomalie calculée ajuste au mieux l'anomalie observée.

Pour obtenir d'avantage d'information 2 modèles ont été construits le long de deux profils P1 et P2 afin d'obtenir une représentation qualitative, quantitative, une esquisse de distribution des colonnes lito-stratigraphiques, les couches qui la compose et leur susceptibilité magnétique.

3.7.1 Description des profils choisis pour la modélisation 2.5D

La modélisation du sous-sol sera faite sur le profil P2 de direction SW-NE qui traverse un lobe identifié sur la carte résiduelle et le profil P1 de direction SE-NO passe près une faille connue dans la région. Les profils choisis débordent largement les zones cibles où les structures d'intérêt sont suspectées, ceci afin de tenir compte de l'influence des masses souterraines proches ou éloignées.

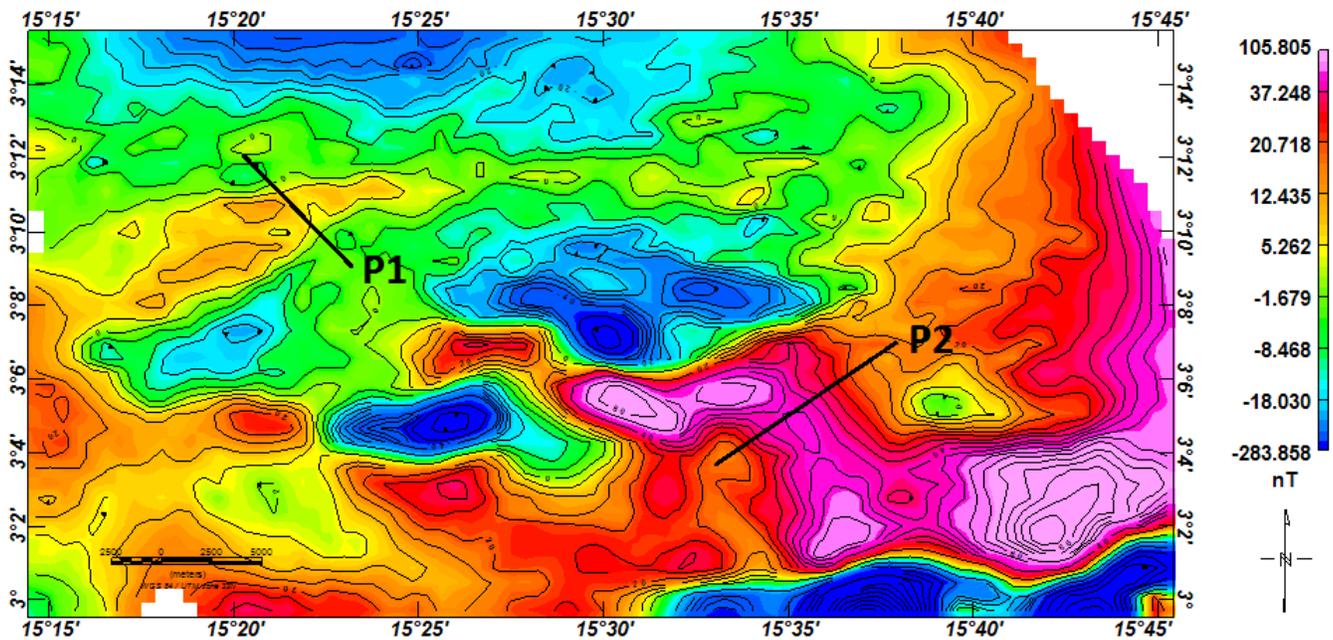


Figure 3.12 – Profil 1 et profil 2

3.7.2 Interprétation et discussion des modèles

Trois paramètres sont nécessaires pour la modélisation : le contraste de susceptibilité magnétique, la profondeur (ou les limites d'extension verticale) et la forme des sources. Les modèles réalisés sont ainsi considérés comme plus ou moins fiables selon que les contraintes sur ces paramètres sont plus ou moins précises. Dans le cas de notre étude, les contrastes de susceptibilités magnétiques n'ont pas pu être estimés quantitativement, car nous n'avons pas effectué de forage afin de les mesurer véritablement.

3.7.2.1 Interprétation du modèle du profil P1

Le profil P1 est situé au Sud-Ouest de la carte résiduelle et est orienté SW-NE. Ce profil traverse une zone d'anomalie positive et de grande amplitude. Le modèle correspondant au profil P1 nous permet d'observer dans le sous-sol la présence de plusieurs intrusions se distinguant par leur forme leur profondeur et leur volume variée.

En observant ce modèle d'Ouest en Est, l'on remarque une première intrusion de forme assez régulière reposant directement au-dessus du socle. Cette roche se serait probablement formé à la suite d'un métamorphisme de son encaissant au cours de la première ère géologique. Après cette dernière, l'on remarque que la prochaine intrusion à provoquer au cours du temps un affaissement du socle ; cette intrusion est probablement due à la présence d'un bassin sédimentaire qui se serait formé suite des phénomènes d'érosion qui ont altérés le socle. Les autres intrusions observées seraient le résultat soit d'un dépôt de sédiment soit d'un métamorphisme qui aurait évolué pendant plusieurs ères géologiques. Les effets de différentes intrusions sont observés sur la courbe du profil où elles sont caractériser la

présence de minima et de maxima.

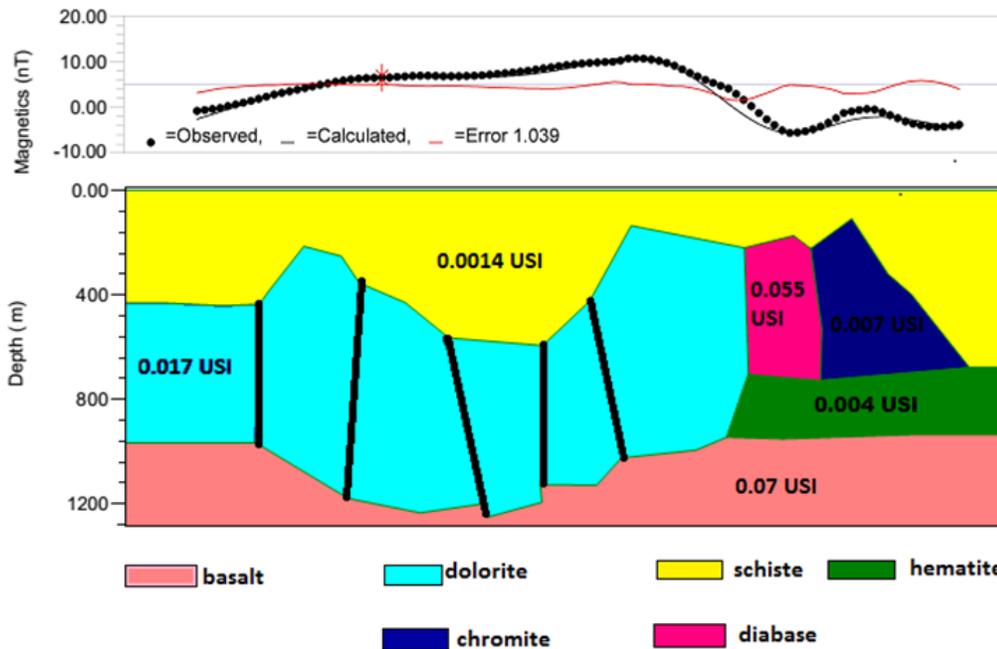


Figure 3.13 – Model du profil 1

3.7.2.2 Interprétation du modèle du profil P2

Le profil gravimétrique P2 est orienté SW-NE et situé au Sud-Ouest de la carte résiduelle. Ce profil traverse une zone d'anomalie positive d'amplitude comprise entre 37 n T et 106 n T .La courbe d'anomalie du profil P2 à la forme d'une cloche. Les maximums d'anomalies sont encadrés par deux minimums d'anomalies situées aux extrémités de la courbe. Ces minimums ont une amplitude à peu près égale à 20 n T et 17 n T en partant de l'origine. Ces variations sont dues à un faible soulèvement du socle provoqué par une intrusion de roches magmatiques tels que le granite, les quartzites etc . Cette dernière est à l'origine du soulèvement de la courbe d'anomalie du profil. Les anomalies légères qui se trouve aux extrémités de cette courbe sont dues à la présence des petits affaissements de terrain qu'on observe dans le socle.

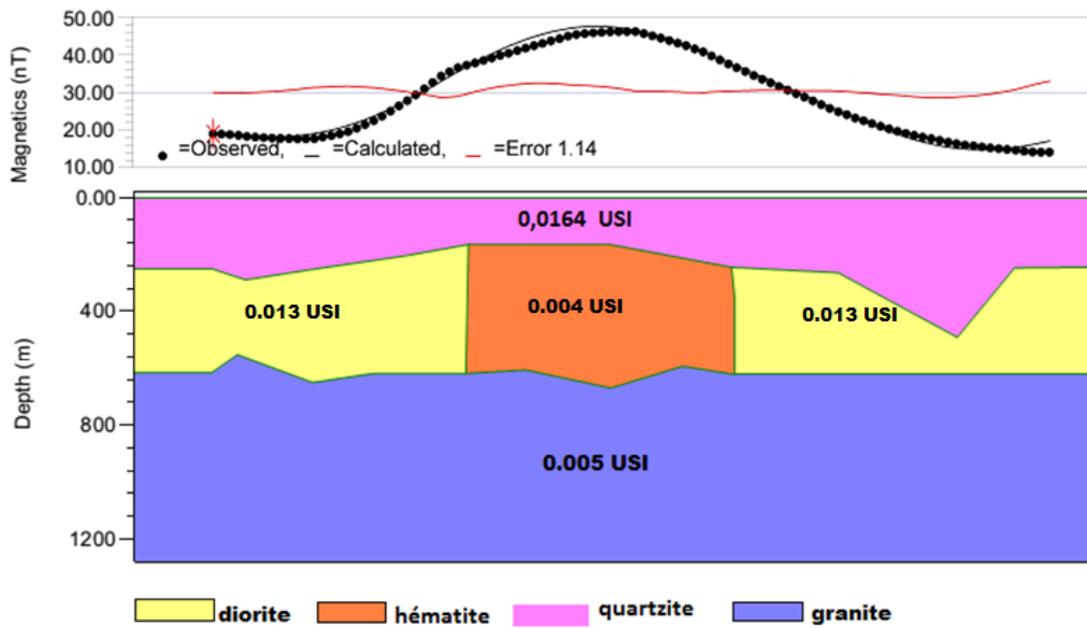


Figure 3.14 – Model du profil 2

3.7.2.3 Discussion sur les modèles

Mis à part l'estimation des profondeurs et la forme, le paramètre de susceptibilité n'est pas contraint. On peut alors supposer une infinité de possibilités et les modèles produits sont loin d'être uniques. Leur intérêt est de démontrer, que les sources sont profondes, qu'elles sont fortement magnétiques. Bien que nos modèles restent très schématique et ne soient pas l'unique explication des anomalies, ils peuvent guider les géologues dans leur recherche de zones de minéralisation en surface.

3.8 Validité des résultats

Rappelons tout d'abord que les résultats obtenus dans notre investigation dépendent de la méthodologie et des techniques de traitements de données utilisées. Ainsi la fiabilité des conclusions dépend de la précision avec laquelle les résultats ont été obtenus. Il faut noter que les formations susceptibles d'être magnétiques ne peuvent se trouver à des profondeurs supérieures à celle du point de Curie ou les effets magnétiques disparaissent. Cette profondeur qui dépend du gradient géothermique peut être estimée en utilisant le flux thermique à la surface si on connaît aussi la composition et la conductivité des roches traversées par le flux. Ces différentes données étant inconnues dans cette région, il est difficile de préciser la profondeur de ce point de Curie. En admettant un flux thermique de 40 mW/m² prédit par Chapman et Pollack 1975 pour l'Afrique Centrale, et une température de Curie de 300°C (cas de roches hautement métamorphisées et granitisées présentes dans la région), on peut dépasser, suivant le gradient géothermique, des profondeurs de Curie de 25 km. Cette hypothèse semble raisonnable pour des terrains très anciens où le gradient géothermique doit être relativement faible.

En effet, la carte magnétique montre très peu de corrélation avec la géologie de surface. L'interprétation qualitative de la carte magnétique du champ total suggère que, les structures à l'origine des anomalies observées sont situées en profondeur dans la croûte, et constituant des corps intrusifs de forte magnétisation. Suite à l'interprétation des différentes cartes, nous avons retenu que les structures géologiques responsables de ce type d'anomalies sont des intrusions et des failles. La carte des solutions d'Euler a permis de mettre en évidence les zones de contacts qui sont en accord avec l'hypothèse selon laquelle le contact entre la série métamorphique de Mbalmayo-Mbengbis et la série schisto quartzitique aurait provoqué des failles ou des zones de fractures NE-SW dans les couvertures (J.Gazel et G.Gerard, 1954 ; Cyone et Bellier, 2010)

Du point de vue tectonique, nos résultats montrent deux grands ensembles de linéaments différents. Le premier ensemble est caractérisé par des linéaments NW-SE et le second ensemble au nord est caractérisé par des linéaments orientés E-W. Sur le terrain ces deux ensembles correspondent bien à deux domaines géologiques d'âge et d'évolution différents à savoir la série schistoquartzitique à l'ouest et la série de Mbalmayo-Bengbis au centre.

Les différentes susceptibilités magnétiques obtenues par la modélisation des profils P1 et P2 restent dans les plages de susceptibilité des roches fournies par la littérature. Toutefois, la meilleure

détermination est celle qui serait obtenue par mesure de densité sur des échantillons prélevés dans des carrières ou par forage.

Les modèles 2.5-D sont acceptables car ils montrent les corps de forte aimantation en profondeur malgré le fait que les structures géologiques sont généralement en 3-D.

3.9 Conclusion

En somme, il est important de rappeler que ce chapitre avait pour objectif de mettre en évidence les contacts, les structures géologiques superficielles responsables des anomalies du champ magnétique rencontré dans la zone de Yokadouma. Après observation et analyse faite, nous remarquons que cette zone regorge un ensemble de structure géologique notamment des intrusions, des failles situées à des profondeurs variables. Cependant, il est important de noter que le socle de la zone de Yokadouma n'a pas connu jusqu'ici d'accident géologique majeure. Par ailleurs, les méthodes utilisé ici peuvent également être utilisé dans le cadre d'une prospection pétrolière.

Chapitre 4

IMPLICATION PEDAGOGIQUE ET DIDACTIQUE

4.1 Introduction

Ce travail est effectué dans le but de l'obtention du D.I.P.E.S.II, d'où l'importance de mettre en exergue l'aspect pédagogique et didactique de celui-ci. Il sera donc question dans ce chapitre :

- De présenter l'apport et l'intérêt dans le système éducatif camerounais des différents travaux menés et outils utilisés tout au long de ce travail ;
- De déterminer les différents maillons de la chaîne éducative concerné par ce travail et présenter la façon par laquelle les enseignements pourront être plus perceptibles et plus accessibles.

4.2 Implication Pédagogique et fiche pédagogique

4.2.1 Implication Pédagogique

La pédagogie est l'ensemble des pratiques d'enseignement requise pour transmettre des compétences c'est-à-dire un savoir, un savoir-faire ou un savoir-être. Ce travail conduit à plusieurs axes pédagogiques . Comme apport sur le plan pédagogique, la rédaction de ce mémoire permet au futur enseignant de se familiariser avec le monde de la recherche qui se veut être un élément essentiel non seulement pour la culture scientifique de l'enseignant car la pédagogie exige de l'enseignant la maîtrise de son sujet mais aussi dans le cadre de la préparation des cours et assimilé. Toutes fois, le présent travail permet déjà au futur enseignant de :

- Mieux appréhender et mieux enseigner le nouveau programme de science, physique et technologie dans les classes de 6^{ème} et 5^{ème} grâce aux connaissances géologiques ;
- Mieux appréhender et mieux enseigner la notion de champ gravitationnel aux élèves de la classe terminale scientifique.

4.2.2 Fiche Pédagogique

A titre d'illustration, dans le cadre de l'enseignement de la physique en classe de terminale sur le chapitre **FORCES ET CHAMPS**, nous avons batir la fiche pédagogique de la leçon **le champ magnétique**

Tableau 4.1 – Fiche pédagogique de préparation de la leçon

	Objectifs	Contenus	AE	AA	Evaluations	Matériels	Durée
.Introduction	Verifier les pre-requis et motiver les apprenants	-prerequis -Amener le sujet	-Poser les questions	-Repondre aux questions	Questions orales	-Livre -Craie -Règle	5min
Développement	-Definir la force magnétique -Représenter les lignes de champ et le vecteur champ magnétique en un point -Exprimer et donner les caractéristiques de la force de Laplace -Verifier les acquis	1-Les forces magnétiques 2-Le champ magnétique 3-Action d'un champ magnétique sur un courant ou une charge -Exercice d'application	-Poser les questions -Expliquer -Dicter le cours - Conduire l'exercice d'application	-Ecouter et prendre des notes -Ecouter -Resoudre l'exercice	-Exercice :Le conducteur MN parcouru par un courant d'intensité I est placé dans un champ magnétique \vec{B} uniforme.Il est soumis à la force la Laplace \vec{F} .Sur les schémas (annexe 1) ,représenter au point O, le vecteur qui manque -Correction (annexe 2)	- livre de l'eleve - Règle -craie	40min
Conclusion	-Synthèse du cours -Devoir à faire à la maison -Transition avec la prochaine leçon	-Verifier l'atteinte des objectifs -Consilider les acquis	- Poser les questions -Donner la page des exercices	-Repondre aux questions -Noter la page des exercices	exercices du chapitres	-Livre au programme -Craie -Régistres	10min

4.3 Implication didactique

La didactique est la science qui a pour objet l'optimisation des apprentissages dans une situation d'enseignement ou de formation.

Sur le plan didactique, ce travail possède une implication dans la mesure où :

- L'approche utilisée permet de montrer l'étroite interconnexion entre les mathématiques, l'informatique et les géosciences en générale et la géophysique en particulier ;
- Prépare l'enseignant à utiliser les résultats de la recherche en éducation ou à participer à son développement, tout au long de sa carrière.

4.4 Conclusion

Il était question dans ce chapitre de présenter l'implication pédagogique et didactique du travail ayant conduit à la rédaction du présent mémoire. Après analyse faite, il en ressort que ce travail pourrait offrir au futur enseignant sur le plan de la discipline et de la pédagogie plusieurs éléments lui permettant de mener à bien sa délicate mission.

CONCLUSION GENERALE

Parvenue au terme de notre étude donc les objectifs étaient de d'utiliser les anomalies du champ magnétique pour déterminer les signatures structurales de la zone de Yokadouma, il convient de faire un bilan sur la démarche et les résultats obtenus dans cette étude. Afin d'avoir une image claire de notre sous-sol, après avoir générer notre carte d'anomalies magnétiques du champ total, nous avons procéder aux opération de filtrages. Les cartes filtrées ont permis de situer les anomalies à l'aplomb des sources géologiques causatives (réduction à l'équateur) et de mettre ainsi en évidences quelques structures géologiques. Ensuite, grâce au gradient horizontal et à la carte des maxima du gradient horizontale nous avons pu mettre localiser quelques contacts géologiques situés dans notre zone d'étude. Enfin, la déconvolution d'Euler nous a permis d'estimer les profondeurs des différentes structures responsables des anomalies magnétiques. Ainsi, nos objectifs ont été atteint dans la mesure où nous avons pu identifier et localiser certaines formations géologiques situées en profondeur dans la zone de Yokadouma. Toutes fois, les connaissances scientifiques se mettant en place de façon progressive, nous ne pouvons prétendre avoir cerné toute l'information de sous-sol de notre zone pour la simple raison que la méthode magnétique comme toute méthode géophysique ne suffit pas à elle seule pour mener une prospection de reconnaissance. Elle doit souvent être couplé à une méthode pour avoir le maximum d'informations sur les structures géologiques. Nous proposons pour une étude comparative la méthode gravimétrique qui permet de localiser les structures géologiques au-delà de la température de Curie. La méthode radiométrique pour une éventuelle recherche des indices miniers au niveau des zones de discontinuités mises en évidence dans cette étude. Enfin, la prospection magnétique au sol pour un pas réduit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Borradaile, G. Wenner, T., 1994.** Magnetic anisotropy of some phyllosilicates, *Technophysics*, 235, 223-248.
- Blakely, R.J. and R.W. Simpson, 1986.** Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies : *Geophysics*, 51(7), 1494–1498.
- Bournas N., 2001.** Interprétation des Données Aérogéophysiques Acquisées au-dessus du Hoggar Oriental, Thèse Doctorat d'état, USTHB, 250p.
- Cornacchia, M et Dars, P, 1983 .** Un trait structural majeure du continent Africain : les linéaments centrafricain du Cameroun au Golf d'Aden. *Bull. Soc. France*, XXV.1. p 447-504.
- Chouteau M., 1999.** Géophysique appliquée, tome I, Magnétisme, Ecole Polytechnique de Montréal.
- Dunlop et al, 1997** Rock magnetism : fondamentals and frontiers, Cambridge University Press, New York.
- Elangwe H. N. , 1979.** Carte géologique du Cameroun au 1/1000000 avec notice explicative. Bulletin de la direction des mines et de Géologie de Yaoundé, Cameroun, p.2.
- Feumoe S., N., 2014.** Apport des filtrages et inversions 2D1/2 des anomalies aéromagnétiques dans la détermination des accidents tectoniques majeures au Sud-Est Cameroun. Thèse de doctorat/PhD en sciences, Université de Yaoundé I, Fac sciences, 145p.
- Gasel J., Gerard G., 1954.** Carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500000, p.27.
- Groune, 2009.** Analyse magnéto-spectrométrique des données aérogéophysiques du grand fossé pharisien, Université M'Hamed Bougara Boumeres.
- Jacques Dubois, Michel D., Cogné, J.P. , 2011.** Géophysique, cours et exercices corrigés.
- Kankeu B., Nzenti J. P., Greiling R. O., Ganno S., Ngnotué T., Bassahak J., Hell J.V., 2010.** Application de la technique de l'anisotropie de la susceptibilité magnétique (ASM) à l'identification des structures géologiques : le cisaillement panafricain de Betaré-oya dans le district aurifère de l'Est Cameroun . *Annales de la Faculté des sciences*. p 1-2
- Koch, M. Y., Edimo, A., Kouokam, E., Njoh, R., 1998.** Protocole d'accord "Pour la recherche des minéralisations d'or dans la province aurifère de l'Est (Cameroun)" Rapport B.R.G.M.88CMR.028p.
- Laplaine, L. , 1971.** Note explicative sur la feuille Nola (partie Cameroun) de la carte de reconnaissance au 1/500 000. Dir. Mines et géol. Cameroun, Yaoundé, 42p.
- Le Mouél J.L. , 1970.** Le levé aéromagnétique de la France. Calcul des composantes du champ à

partir des mesures de l'intensité. Ann. Geophys., 26, 299-258.

Meying, A., Ndougssa M., T., Manguelle D., E., 2009. Evidence of fractures from the image of the subsurface of the Akonolinga-Ayos area (Cameroun) by combining the Classical and the Bostick approaches in the interpretation of audio-magnetotelluric data. J. Géology and Mining Researc, 1(8) : 159-171.

Nabighian et al, 2005 The historical developement of the magnetic method in exploration ;Geophysics, vol.70 N6,33-61.

Ngako V., Morceau C. , Affaton P., Diot H., 2008. Restraining bends in high temperature shear zones : The Central Cameroun Shear Zone, Central Africa Eaerth Sciences, 52, pp. 9-20.

Paterson, Grant, Watson Ltd, 1976. Etude aéromagnétiques sur certaines régions de la république Unie du Cameroun. Rapport d'interprétation. A.C.D.I. Toronto, 192 p.

Phillips, J.D., 1998, Processing and Interpretation of Aeromagnetic Data for the Santa Cruz Basin- Patahonia Mountains Area, South-Central Arizona : U.S. Geological Survey Open-File Report 02-98.

Regnault, J.M. , 1986. Synthèse Géologique du Cameroun. 119 p.

Soba, D.1989.Laa serie de Lom : étude géologique et géochronologique d'un bassin volcano-sédimentaire de la chaine panafricaine à l'Est du Cameroun.Thèse de doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, 198p.

Simon, F., 2012. Méthode magnétique appliquée à l'exploration multiéchelle du Bassin de Francheville, Thèse de doctorat de l'université de Strasbourg, 330 p. Blakely R.J. Simpson R.W. 1986. Approximating edges of source bodies from

Thompson D.T.,1982. EULDPH : A new technique for making computer-assisted depth estimates from Magnetic data. Geophysics, 47, 31-37

Vicat, J.P. 1998. Esquisse géologique du Cameroun. Géosciences au Cameroun, GEOCAM 1/1998, p. 3-11

ANNEXES

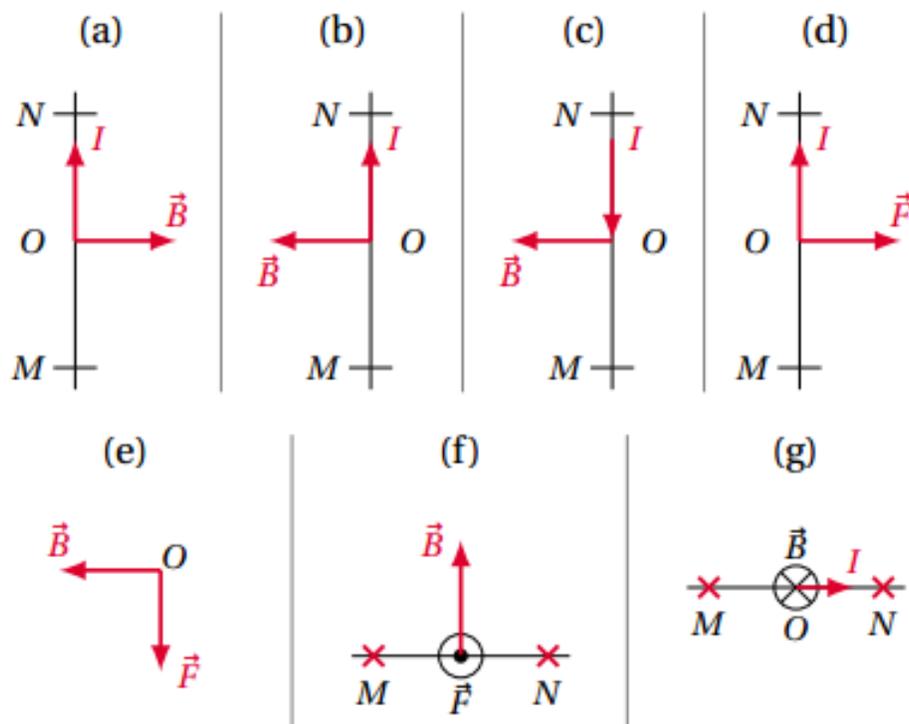


Figure 4.1 – annexe1

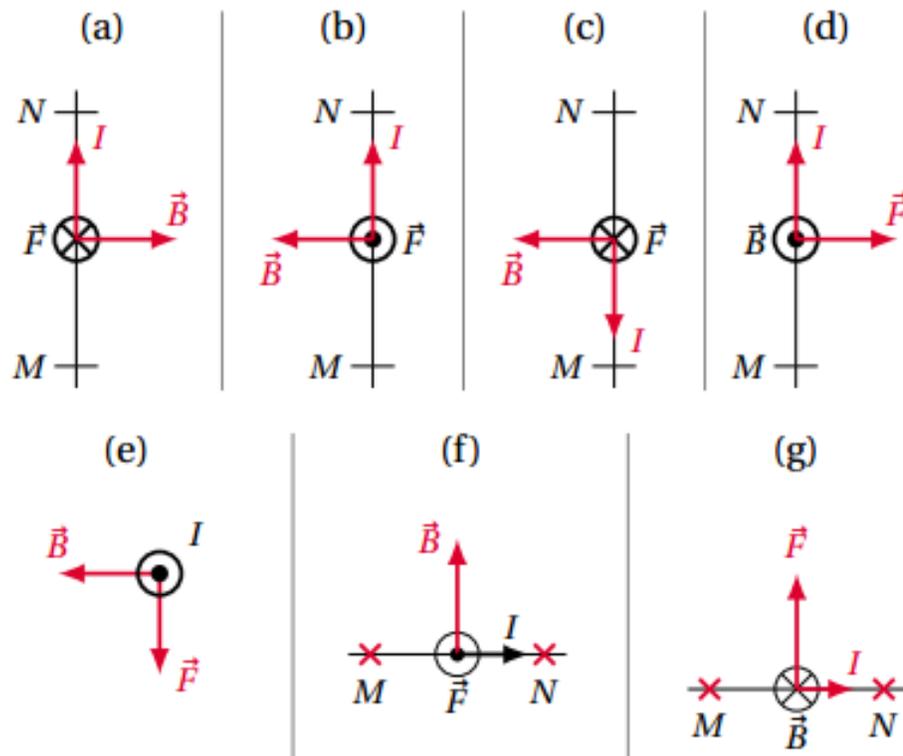


Figure 4.2 – annexe2

CURRICULUM VITAE :

I. État Civil

Noms : **YOUBI MOYOPO**
prénom : **Alix**
Date et lieu de naissance : **13 / 05 / 1996 à DOUALA**
Arrondissement, Département et Région : **NKOUNG-KHI-OUEST**
Situation de famille : **CÉLIBATAIRE**

II. Qualifications

2019 : MASTER 2 option Energie et Environnement en cours à l'université de Yaoundé.
2018 : MASTER 1 option Energie et Environnement à l'université de Yaoundé 1.
2017 : LICENCE en physique à l'université de Yaoundé 1.
2017 : DIPES I en physique à l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé.
2014 : BACCALAURÉAT "C" au Lycée de Ngoussou Ngoulmekong .
2013 : PROBATOIRE "C" au Lycée de Ngoussou Ngoulmekong .
2011 : BEPC au Lycée de Ngoussou Ngoulmekong .
2006 : CEP à l'Ecole Publique annexe groupe II de Bafia .