

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE
DEPARTMENT OF PHYSICS

**RÉINTERPRÉTATION PAR APPROCHE
MULTI-ÉCHELLE ET DE DÉCONVOLUTION D'EULER DES
DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES DE MAMFÉ**

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du diplôme de Professeur de l'Enseignement Secondaire Deuxième grade
(DIPES II)

Par :

KENMOE NOUMBI Michel Stéphane
Licencié en science physiques

Sous la direction
NDOUGSA MBARGA Théophile
Maître de Conférences

Année Académique
2015-2016





AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire de Yaoundé I. Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : biblio.centrale.uyi@gmail.com

WARNING

This document is the fruit of an intense hard work defended and accepted before a jury and made available to the entire University of Yaounde I community. All intellectual property rights are reserved to the author. This implies proper citation and referencing when using this document.

On the other hand, any unlawful act, plagiarism, unauthorized duplication will lead to Penal pursuits.

Contact: biblio.centrale.uyi@gmail.com

Dédicace

À Mes Parents

NOUMBI Jean Pierre

et TEKEM Denise épouse NOUMBI

Remerciements

Ce travail n'aurait été possible sans un ensemble d'aides et de conseils précieux. C'est pourquoi je tiens à exprimer ici toute ma gratitude à ceux qui ont contribué au bon déroulement de ce mémoire. Mes remerciements vont :

- Aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail de mémoire ;
- Au **Professeur NDOUGSA MBARGA Théophile**, mon Directeur de mémoire qui s'est montré à l'écoute et a suivi mon travail tout au long de la réalisation de ce mémoire ;
- À tous les enseignants du département de Physique pour les enseignements de qualité qu'ils ont su nous donner durant ces deux années .Il s'agit principalement du **Professeur ATANGANA Jackque**, du **Professeur MUKAM FOTSING Albert** , du **Docteur ONANA ESSAMA** ;
- Aux aînés de Géophysique de l'ENS de l'Université de Yaoundé I ;
- À mes frères, **DZALI NOUMBI Kevin** et **BOUCHE NOUMBI Emmanuel** et à mes soeurs, **YOGANG NOUMBI Myriam**, **DJOMMO NOUMBI Francelline**, **BEUDOM NOUMBI Keshia**, **METCHIDIE NOUMBI Memoire** et à ma nièce **TCHIMTCHOUA Emilie** ;
- À tous mes camarades de l'Ecole Normale Supérieure de yaounde I qui ont contribué, d'une façon directe ou indirecte, à l'avancement de mon mémoire Je leur exprime ma profonde sympathie ;
- Aux familles **NOUTHEY** et **NZEUTCHIO**, pour leurs soutiens matériels et morales afin que ce travail prenne forme.

Que ceux dont les noms ne sont pas ici ne se sentent pas oubliés.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Table des matières	v
Résumé	vi
Abstract	vii
Liste de sigles et abréviations	viii
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xi
Introduction Générale	1
1 PRÉSENTATION DU SITE, MÉTHODES D'ACQUISITION ET DONNÉES GÉOPHYSIQUES	3
1.1 Présentation géographique, géologique et Tectonique	3
1.1.1 Géographie de Mamfé	3
1.1.2 Géologie et tectonique de Mamfe	6
1.2 Méthodes géophysiques	9
1.2.1 La méthode de prospection électrique	9
1.2.2 La méthode de prospection électromagnétique	9
1.2.3 La méthode de prospection magnétique	9
1.2.4 La méthode de prospection sismique	10
1.2.5 La méthode de prospection gravimétrique	10
1.2.6 Autres méthodes de prospections	10

1.3	Données géophysiques	11
1.3.1	Identification et isolation des données gravimétriques	11
1.3.2	Identification des données gravimétriques	12
1.3.3	Isolation des données gravimétriques	13
1.3.4	Les types d'anomalie de Bouguer	13
2	MÉTHODOLOGIE D'INTERPRÉTATION DE DONNÉES	17
2.1	Origine des données	17
2.1.1	Carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et <i>al.</i> , 1991	17
2.1.2	La carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et <i>al.</i> , 1996	17
2.2	Analyse des données des cartes de Bouguer	18
2.3	Méthodes d'analyse multi-échelle et déconvolution d'Euler	18
2.3.1	Intérêt des méthodes	18
2.3.2	Méthode Gradient vertical	19
2.3.3	Méthode Gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut	20
2.3.4	Méthode de deconvolution d'Euler	21
2.4	Interprétation	23
2.4.1	Interprétation qualitative	23
2.4.2	Interprétation quantitative	24
2.5	Description du logiciel	25
2.5.1	Introduction	25
2.5.2	Comparaison entre le logiciel Oasis et les autres Logiciels de modélisation	26
2.5.3	Hypothèses d'interprétations	26
3	RESULTATS ET DISCUSSION	30
3.1	Analyse des cartes d'anomalies de Bouguer	30
3.1.1	Analyse de la carte de Bouguer de Fairhead et <i>al.</i> , 1991	30
3.1.2	Analyse de carte de Bouguer de Legeley-Padovani et <i>al.</i> , 1996	32
3.2	Analyse multi-échelle de la carte d'anomalies de Bouguer de Mamfé	33
3.2.1	Analyse du gradient vertical de la carte d'anomalie de Bouguer de la zone de Mamfé	33
3.2.2	Gradient Horizontal de la carte d'anomalie de Bouguer	37
3.2.3	Analyse multi-échelle des maximas des gradients horizontaux et cartographie des linéaments	40
3.2.4	Détermination des linéaments	41

3.3	Application de la déconvolution d'Euler aux Cartes d'anomalie de Bouguer	43
3.3.1	Localisation des contacts superficielles	44
3.3.2	Localisation des structures profondes	52
3.3.3	Discussions	56
3.4	Implication didactique et pédagogique des interprétations des données gravimétriques	58
3.4.1	Implication pédagogique des interprétations des données gravimétriques . . .	58
3.4.2	Intérêt didactique de l'analyse multi-échelle et de déconvolution d'Euler . . .	58
	Conclusion générale	60
	Bibliographie	62
	ANNEXE	65

Résumé

Les données gravimétriques sont les plus souvent analysées et interprétées en géophysique pour l'étude des structures géologiques du sous-sol d'une région, ou dans la prospection à l'exploitation minière et gazière. Par exemple, elles peuvent aider à l'identification des zones de contacts et des réseaux de failles, qui sont d'un intérêt pour l'exploitation minière ou pour les études géologiques. Par conséquent, des études géophysiques ont été conduites dans la région du Sud-Ouest Cameroun, et particulièrement dans la zone de Mamfé, pour une réinterprétation des données gravimétriques qui ont été obtenues par Fairhead et *al.*, (1991) et Legeley-Padovani et *al.*, (1996). Ces données gravimétriques sont issues de la variation des mesures de pesanteur à différents points de la zone. Cette variation représenté sous forme de carte gravimétrique met en évidence des anomalies négatives et des anomalies positives séparées ainsi que des zones à fort gradient. Les hauts gravimétriques sont associés au socle et à ses hétérogénéités, alors que les bas gravimétriques sont la signature de bassins sédimentaires et de granites dans le socle. Pour cartographier les contacts géologiques, les failles et leurs caractéristiques spatiales, trois méthodes d'interprétation ont été utilisées : gradient vertical, gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut et déconvolution d'Euler. L'application de ces traitements a permis de cartographier un grand nombre de linéaments gravimétriques matérialisant les discontinuités de densité. Les directions obtenues sont N-S, WNW-ESE, NW-SE, NE-SW et NNW-SSE, avec une dominance des directions NW-SE. Les solutions d'Euler indiquent des profondeurs pouvant atteindre 3,2 km pour les structures superficielles et 5 km pour les structures profondes. La carte des linéaments établie permet d'améliorer la connaissance de la structure profonde de la zone de Mamfé et constitue un guide pour la prospection des ressources du sous-sol (eau et hydrocarbures). Les résultats établis de cette étude fournissent des nouveaux éléments qui permettent l'amélioration de la connaissance sur les structures du secteur d'étude.

Mots clés : *Bassin sédimentaire ; Anomalie de Bouguer ; Gradient vertical ; Gradient horizontal ; Déconvolution d'Euler*

Abstract

The gravities data are most often analyzed and interpreted in geophysics to study of structures basement of an area, or in the prospection to the exploitation mining and gas. For example, They can help to identification of the zones of contacts and networks of faults, that is of an interest for mining or for the geological investigations. By consequent, of the studies geophysics were led in there area of South-west Cameroon, and particularly in the zone of Mamfe, with an aim of making an interpretation of the data gravimetric obtained by Fairhead and *al.*, (1991) and Legeley-Padovani and *al.*, (1996). These gravities data are resulting from the variation of measurements of pesentor from different points of area. this variation show the gravimetric map presents (positive/negative) anomalies separated by strong gradient zones. We used various filtering techniques to delineate the major geological structures such as faults and basins : vertical and horizontal derivatives, upward continuation, and Euler deconvolution. Interpretation makes it possible to associate the negative anomalies with deep basins, domes or granites. The positive anomalies are associated to basement uplift or outcrop. The statistical analysis of the anomalies allows identifying the major structural trends of the region. The vertical gradient allowed us to amplify short waves and to reduce interferences between anomalies. Superimposition of the interpreted major faults to the geological map, indicate that NS, WNW-ESE, NW-SE, NE-SW and NNW-SSE system are well developed and represented by several faults with regional importance, with a clear predominance of the last trend. Euler deconvolution was used to determine source depths and their location. The values of sources depth can reach 3.2 km for the superficial contacts and 5 km for deep contacts. Established results of this study provide new elements which allow improvement of knowledge on the structure of the sector of study.

Keywords : *Sedimentary Basin; Bouguer Anomaly; Vertical Gradient; Horizontal Gradient; Euler Deconvolution* .

Liste de sigles et abréviations

N : Nord.

S : Sud.

E : Est.

W : Ouest.

NW : Nord Ouest,

NE : Nord Est.

SW : Sud Ouest.

SE : Sud Est.

NE-SW : Direction orienté du Nord-Est vers Sud-Ouest.

NNW-SSE, WNW-ESE : Directions orientés du Nord-Ouest vers Sud-Est selon la rosace des vents.

NNE-SSW, ENE-WSW : Directions orientés du Nord-Est vers Sud-Ouest selon la rosace des vents.

N-S : Direction Nord vers le Sud.

E-W : Direction Est vers l'Ouest.

NW-SE : Direction Nord-Ouest vers le Sud-Est.

km^2 : Kilomètre carré.

km : Kilomètre

$mGal$: Milligalle

g/cm^3 : Gramme par centimètre au cube

Table des figures

1.1	<i>Localisation de l'association des crevasses dans la cuvette de la Bénoué. Le Bassin de Mamfe et la zone d'étude sont indiqués (après Fairhead et al., 1991, Ndougsa et al., 2007).</i>	4
1.2	<i>Carte géologique détaillé de la zone d'étude (Extrait de Fitton 1980, Ngando et al., 2004, et Ndougsa et al., 2007).</i>	5
1.3	<i>Colonne stratigraphique généralisée du bassin de Mamfe montrant des unités d'âges, la lithologie, et des roches probables de la source : Le Fur et Esemé et al., 1964, Nguimbous 2012.</i>	7
1.4	<i>Carte d'anomalie de Bouguer du bassin de Mamfe. L'endroit du secteur d'étude est indiqué par le rectangle (modifier de Fairhead et al., 1991). Les points représentent des endroits où des mesures de pesanteur ont été conduites. Les lignes épaisses représentent les endroits du profiles de la pesanteur analysés par Fairhead et al., 1991. Ek = Ekok; Eyu=Eyumojok; Ke=Kesham; Ma=Mamfe; Mu=Mukonyong; Et=Etuku; Bac=Bachuo Akagbe; Bak=Bakebe.(Ndougsa 2007)</i>	15
1.5	<i>Extrait de la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et al., 1996 de la région de Mamfé représentant le secteur d'étude (Ndougsa et al., 2004).</i>	16
2.1	<i>Méthode du gradient horizontal (a) et analyse des pendages (b).(Vanie et al., 2005)</i> .	21
2.2	<i>Etapas d'interprétation et de détermination de la profondeur des sources d'anomalie.</i>	24
2.3	<i>représentation des solutions d'Euler (Reid et al., 1990).</i>	28
3.1	<i>Extrait de la carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et al., 1991</i>	31
3.2	<i>Extrait de la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et al., 1996.</i>	33
3.3	<i>Carte de dérivé vertical de l'anomalie de Bouguer de la zone de Mamfé</i>	35
3.4	<i>Carte de dérivé vertical de l'anomalie de Bouguer de la zone du bassin de Mamfé</i> . .	37
3.5	<i>Carte du dérivé horizontal des anomalies de Bouguer de la zone de Mamfé</i>	39
3.6	<i>:Carte du dérivé horizontal des anomalies de Bouguer</i>	40
3.7	<i>Maxima du gradient Horizontal prolongé à 3, 6, 9 et 12 km</i>	41

3.8	<i>Cartographie des linéaments à gauche et à droite.</i>	42
3.9	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 0. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m² et Tolerance : z = 15 %</i>	45
3.10	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 0. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %. Tolerance : dxy = 20 %</i>	46
3.11	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 0. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %.</i>	48
3.12	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 0. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %. Tolerance : dxy = 20 %</i>	49
3.13	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 1. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %.</i>	51
3.14	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 1. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %.</i>	52
3.15	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 1. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %.</i>	54
3.16	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 0. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %.</i>	55
3.17	<i>Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : IS = 0. Dimension de la fenêtre : w = 20 × 20 m². Tolerance : dz = 15 %.</i>	56

Liste des tableaux

1.1	Types d'Anomalies de Bouguer.	14
2.1	Le tableau des indices structuraux pour des modèles simples (Reid et al., 1990).	27
2.2	Le tableau des modèles simples avec les indices structuraux et le nombre de dimension (Thompson 1982, Reid et al., 1990).	27
3.1	Orientation vu de la carte des linéaments droite de la zone d'étude	43
3.2	Orientation vu de la carte des linéaments gauche de la zone d'étude	43
3.3	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et <i>al.</i> , 1991.	66
3.4	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et <i>al.</i> , 1991	67
3.5	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et <i>al.</i> , 1991	68
3.6	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et <i>al.</i> , 1991	69
3.7	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Legeley- Padovani et <i>al.</i> , 1996.	70
3.8	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Legeley- Padovani et <i>al.</i> , 1996.	71
3.9	Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Legeley- Padovani et <i>al.</i> , 1996.	72

Introduction Générale

Les investigations géologiques de par le passé, ont été effectuées dans le monde, pour la recherche des pierres précieuses et du métal or. Au 18 siècle, Les découvertes scientifiques et techniques ont engendré des investigations géologiques dans la recherche minière et des nouvelles ressources pour des besoins en énergies. De nos jours, ceux-ci font place à la géophysique pour améliorer les connaissances de base dans le domaine des géosciences et à approfondir les études sur des objets géologiques ayant potentiellement un intérêt économique (bassins sédimentaires, zones de fractures ...) et sur les phénomènes naturels ou anthropiques qui affectent le sol et le sous-sol. Le sous-sol Camerounais connaît ainsi une prospection de la part des chercheurs et des sociétés tel que la Société Nationale des Hydrocarbures (SNH) du Cameroun, dont les missions principales sont la cartographie de la structure interne du sol, la recherche pétrolière et gazière dans les bassins côtiers (Littoral camerounais) et dans les bassins intracratoniques septentrionaux, tel que celui de Mamfe dans le Sud-ouest.

La région de Mamfe est une zone d'étude pour de nombreux géologues et géophysiciens, dont le but est la caractérisation de son sous-sol, ou d'un intérêt économique. Au fil des années, plusieurs études ont été menées dans cette zone, à savoir : L'identification des formes géologiques présentes dans les couches sédimentaires, qui présentent une structure anticlinale et synclinale dissymétrique à axes respectivement orientés NW- SE et E-W (Dumort 1965, Eben 1984, Hell et *al.*, 2000, Ejong 2001). L'établissement de la carte géologique de la feuille Douala-Ouest (Dumort 1968). Il a été établi que la pile sédimentaire qui repose sur un socle granito-gneissique est constituée du bas vers le haut des grès grossiers brechiques et conglomératiques, des argilites et des grès microglomératiques mélangés aux conglomérats polygéniques. L'application de la méthode gravimétrique a permis la description de la structure des couches supérieures du bassin (Fairhead et *al.*, 1991), et de conclure que l'épaisseur des sédiments à la frontière Cameroun- Nigéria avoisine les 3000 m. En 2004, Ndougsa Mbarga à l'aide de la méthode gravimétrique, a mis en évidence la présence de nombreuses failles dans le bassin ; il a en outre évalué la largeur du bassin à environ 40 Km. En 2005, Nouayou à l'aide des méthodes Audio et Héliomagnétotelluriques, a mené une étude géophysique dans le bassin de Mamfe. Il en ressort que le bassin sédimentaire de Mamfe a un pouvoir économique assez important en ce sens qu'il contient des structures propices à une exploitation d'hydrocarbures telles que les fossés géologiques, les failles et les dômes. Il sera donc question pour nous, par une approche multi-échelle

et de déconvolution appliquées aux données gravimétriques, de confirmer les résultats précédentes et d'apporter dans le cadre de ce mémoire de nouvelles informations plus poussées de la zone de Mamfé.

Les données gravimétriques recueillies, présentées sous forme de carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991 et Legeley-Padovani et *al.*, 1996 et analysées, semblent correspondre à ces observations géologiques dans le bassin sédimentaire de Mamfé et des zones avoisinantes. Une étude qualitative par analyse multi-échelle appliquée à ces deux principales cartes d'anomalies, devrait apporter des informations supplémentaires sur les structures superficielles et profondes présents, pour une bonne connaissance structurale de la zone. Une étude quantitative par la méthode de déconvolution d'Euler apportera les informations sur le lieu et la profondeur des sources d'anomalies avec l'aide du logiciel Oasis Montaj. Ici, l'investigation a pour objectif principal l'interprétation des données gravimétriques obtenues de la zone d'étude et la comparaison avec les résultats issus des observations géologiques des structures qui affectent le substratum.

Dans ce mémoire il sera question au chapitre 1, d'une synthèse de données géologiques de la zone de Mamfé qui nous a permis de faire l'hypothèse de la présence de certaines discontinuités et ensuite, nous ferons une présentation des méthodes d'acquisition des données géophysiques. Au chapitre 2, pour l'étude de ces discontinuités à partir des données gravimétriques, nous avons appliqué l'approche par analyse multi-échelle basée sur le gradient vertical, le gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut, et la déconvolution d'Euler. Ces méthodes se sont avérées efficaces dans des études similaires (Khattach et *al.*, 2004, 2006, Vanié et *al.*, 2005, 2006, Chennouf et *al.*, 2007, El Gout et *al.*, 2010). Au chapitre 3, il sera question de faire les états et discussions, l'implication pédagogique et l'intérêt didactique et enfin de donner une conclusion et des perspectives.

PRÉSENTATION DU SITE, MÉTHODES D'ACQUISITION ET DONNÉES GÉOPHYSIQUES

1.1 Présentation géographique, géologique et Tectonique

1.1.1 Géographie de Mamfé

Mamfé est chef-lieu du département de Manyu, situé dans la région du Sud-Ouest Cameroun. C'est une zone à faible altitude localisée entre 5°30' et 6°00' de latitude Nord et entre 8°45' et 10°00' de longitude Est (figure 1.1). Le réseau hydrographique est caractérisé par la présence des rivières, principalement représenté par la Manyu ou Cross River, la Mounaya River Sud et leurs affluents qui traversent la région. On note aussi, la présence du lac Ejagham au voisinage d'Eyumojok (Ndougsa 2004). Ces cours d'eau et leurs affluents arrosent les réserves forestières de Ejagham et de Korup (Dumort 1965, Ndougsa 2004).

Sa végétation est une forêt dense de type équatorial humide, qui repose sur un relief constitué d'une plaine, entouré par des hautes montagnes telles le mont Cameroun, le mont Manengouba, le mont Bamboutos. La présence de ces hautes montagnes est aussi à l'origine de la pluviométrie abondante de la région, altérant fortement le sol et favorisant un certain type de relief (bassin sédimentaire) qui est d'un intérêt dans notre zone d'étude.

La zone d'étude est une étendue de terre de 130 km d'Ouest en Est et elle s'étend du Sud vers le Nord sur 113 km, soit une superficie de 14690 km^2 . Sa localisation satellitaire est comprise entre les méridiens 8°50' et 10° de longitude Est, et les parallèles 5°14' et 6°15' de latitude Nord. La composition minéralogique de son sol le divise en deux domaines. Un domaine en forme de V dans la direction WE, qui s'étend environ sur 80 km de long dans la direction NNW-SSE, et a une largeur allant de 20 à 40 km dans la direction SN. son altitude varie de 100 à 300 m estimatif. Et l'autre domaine, qui est non sédimentaire occupe le reste de la région et possède une superficie de 11490 km^2 . Ce dernier

borde le bassin sédimentaire au Nord, au Sud et à l'Est et présente des caractéristiques géologiques différentes du bassin sédimentaire.

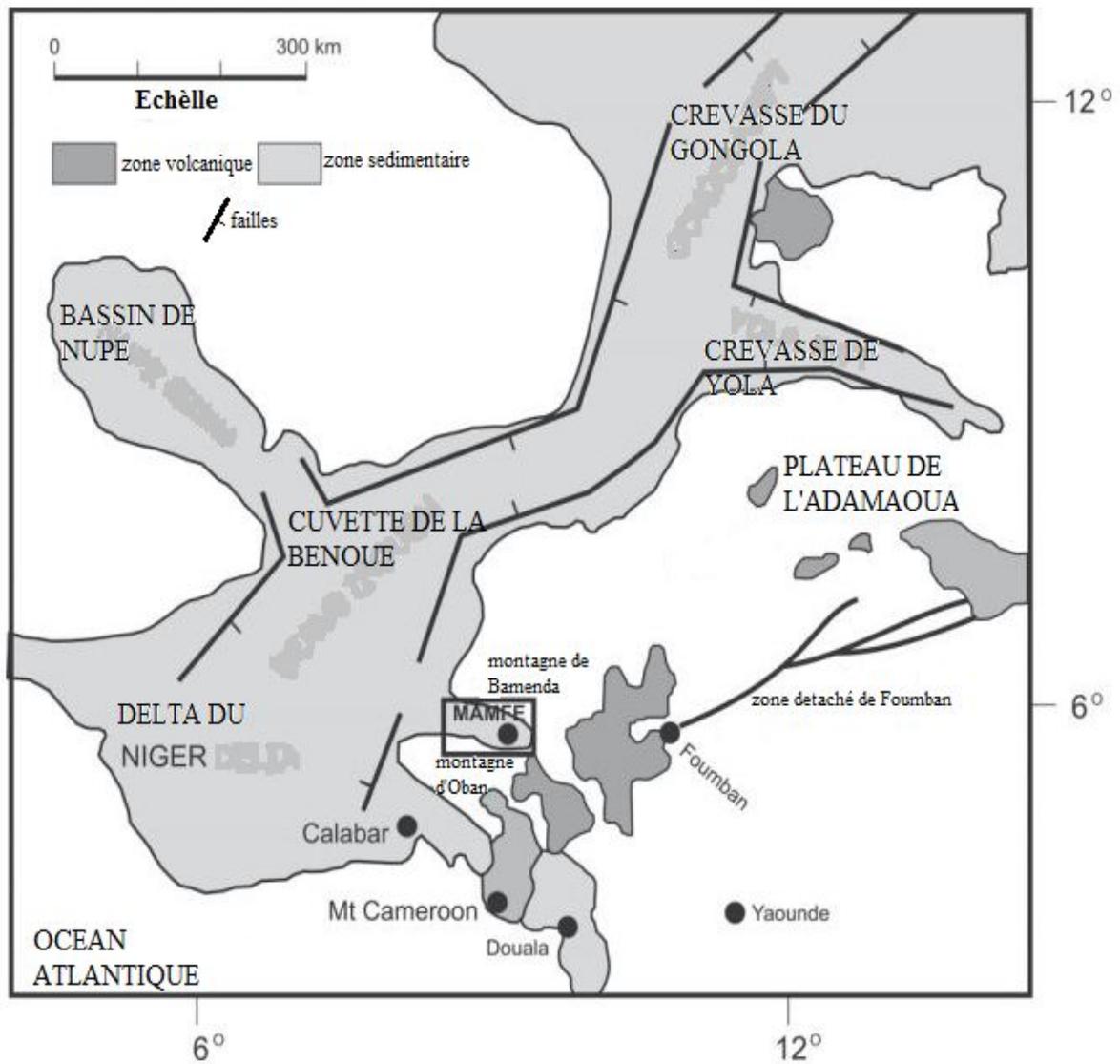


FIGURE 1.1 – Localisation de l'association des crevasses dans la cuvette de la Bénoué. Le Bassin de Mamfe et la zone d'étude sont indiqués (après Fairhead et al., 1991, Ndougsa et al., 2007).

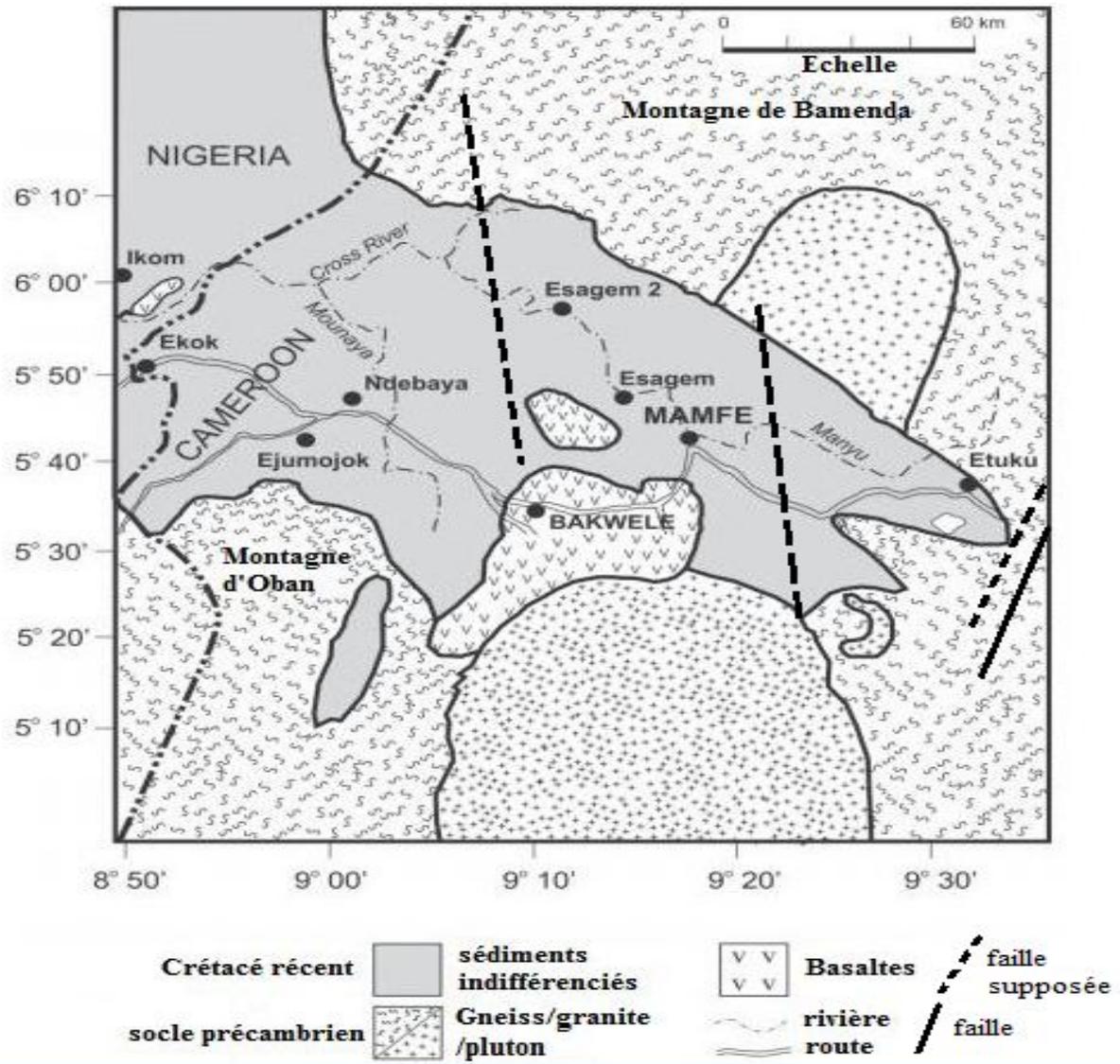


FIGURE 1.2 – Carte géologique détaillée de la zone d'étude (Extrait de Fitton 1980, Ngando et al., 2004, et Ndougsa et al., 2007).

1.1.2 Géologie et tectonique de Mamfe

Le domaine sédimentaire

Le bassin de Mamfe a été formé de la cassure du Gondwana suivis d'une séparation des plaques continentales Sud-Américaine et Africaine. C'est un bassin de type intracratonique. Le bassin sédimentaire de Mamfe est la petite crevasse que compte la cuvette de la Bénoué, et se prolonge légèrement vers l'Ouest dans la partie inférieure de la cuvette. Le bassin de Mamfé est limité au Nord-Ouest, au Nord, au Nord-Est et à l'Est par les montagnes de Bamenda, au Sud et au Sud-Ouest par les montagnes d'Oban, d'une altitude de 500 m (figure 1.1). Sa partie située au Cameroun, est une fosse remplie de sédiments en forme de langue pointant vers l'Est, et mesurant 80 km de long sur une vingtaine de kilomètre de large (Ndougsa 2004).

La géologie de la zone (figure 1.2) contient les failles, les plis et les anticlinales orientés parallèlement à l'axe de la cuvette. Plusieurs dispositions de faille et de plis sont représentés à l'Est de l'extrémité du bassin de Mamfé. La lithologie du bassin se compose d'une couche épaisse de sédiment qui empêche l'identification et le tracer de certaines discontinuités principales des failles profondes (Nguimbous 2012). Dans la partie inférieure de la cuvette de la Benoué (au Sud-Ouest du Bassin de Mamfé), l'épaisseur sédimentaire est estimée à plus de 2000 m (Olade 1975, Fairhead et *al.*, 1991). A l'Est, le bassin est étroit et disparaît en dessous des roches tertiaires et des roches récentes du massif volcanique camerounais. La pile sédimentaire repose sur un socle granito-gneissique du précambrien. L'ordre du fond jusqu'au-dessus présente une succession de granites, des schistes, des grès de base (grès grossiers brechiques et conglomératiques), des argilites (boues et argiles silteuses) et les grès micro conglomératiques mélangés aux conglomérats polygéniques (Dumort 1965, Eben 1984, Hell et *al.*, 2000, Ejong 2001, Ndougsa 2004). La généralisation de la stratigraphie du bassin sédimentaire est donnée dans le tableau suivant :

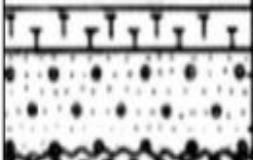
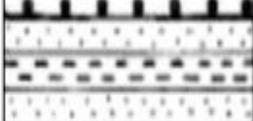
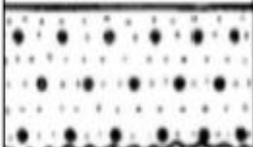
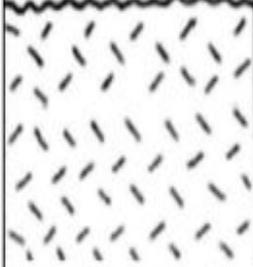
Couches lithologiques	Description	Age
	Basaltes, syénites, et trachytes	tertiaires
	Grès, arkoses et conglomérats	Cenomanian
	Schistes oolithiques avec des venules de lignite et de schistes bitumeux	Albien
	Conglomérats recouverts par les grès arkosiques exposés en literie transversale	
	schistes siliceux et calcaires intercalés avec des grès arkosiques	
	Grès conglomératiques avec les ciments arkosiques contenus dans le sous-sol en fragments réduits de 15 cm de diamètre	
	Sous-sol composé des schistes et des gneiss de granits	Précambrien

FIGURE 1.3 – Colonne stratigraphique généralisée du bassin de Mamfe montrant des unités d'âges, la lithologie, et des roches probables de la source : Le Fur et Esemé et al., 1964, Nguimbous 2012.

La tectonique du bassin de Mamfe comprend 3 phases principales : la phase d'extension, la phase de sédimentation et la phase de compression.

Les phases d'extension et de sédimentation se caractérisent par quelques failles et glissement syn-sédimentaire, des fentes de dessiccation, des stratifications obliques ou entre croisées (figure 1.2). La phase de compression qui correspond à la structuration du bassin en anticlinal et synclinal, et à la formation tardive des structures cassantes (Ndougsa 2004). Ces structures cassantes sont caractérisées par des fracturations et des failles (Dumort 1984, Hell et al., 2000, Ejong 2001, Ndougsa 2004).

Le domaine non sédimentaire

C'est le domaine situé autour du bassin, aux bordures Nord, Est et Sud. Il est constitué d'un ensemble de roches métamorphiques formées durant un épisode orogénique unique à la fin du précambrien, et sur lesquelles on observe quelques intrusions de roches volcaniques (Ndougsa 2004).

Les bordures Nord et Est sont constituées en majorité du socle (figure 1.1 et 1.2), d'un ensemble granitique et des discontinuités gneissiques. Nous observons également des languettes de leptinites orientées N-S (Ndougsa 2004).

La bordure Sud est constituée en majorité du socle, mais aussi des granites affleurants sur lesquels reposent d'Ouest en Est les gneiss embrechites à biotite, à deux micas et disthène ; des intrusions basaltiques à Bakwelle et Eyang Nchang (figure 1.2) et des intrusions des formations sédimentaires semblables à celles du bassin (figure 1.2) dans les régions de Bakut et Abat (Dumort 1984, Hell et *al.*, 2000, Ndougsa 2004).

La tectonique est observable par un couloir mylonitique au Sud-Est, et des fractures supposées, dont deux ont une direction globale N-S, et sont sécantes à une troisième de direction SSE-NNW entre $9^{\circ}30'$ et 10° E (figure. 1.1 et 1.2). Cet ensemble de faits structuraux semble signaler des grands mouvements tectoniques en profondeur (Dumort 1984, Hell et *al.*, 2000, Ndougsa 2004). Au Nord, deux lignes structurales parallèles et aussi parallèles à la bordure du bassin sont observables (figure 1.2). À l'Est, nous observons plusieurs failles de direction sécantes, dont la présence est signalée par des indices à la surface des alentours d'Etuku (figures 1.1 et 1.2). Ces accidents qui semblent être des contacts intra granitiques, marqueraient probablement la bordure orientale du bassin (Ndougsa 2004).

Conclusion

L'étude géographique nous a permis de caractériser les éléments (position, hydrographie, végétation et relief) qui font de Mamfe un bassin, les observations géologiques basées sur la composition stratigraphiques et les mouvements tectoniques démontrent la complexité du sous-sol de la région de Mamfe. Ces données fondamentales de base fournissent ainsi des informations intéressantes pour une investigation en profondeur. Cette investigation relève du domaine de la géophysique qui fournit une géométrie précise des structures profondes et superficielles du bassin et ses bordures.

1.2 Méthodes géophysiques

L'utilisation des méthodes non destructives en géophysique pour la connaissance profonde des sols et sous-sols est avantageuse par rapport aux méthodes classiques (tranchée, forage, ...). Elle tient compte du paramètre physico-chimique à étudier qui doit être différente d'une roche à l'autre enfin de permettre une bonne représentation géométrique de la répartition des couches lithosphériques. Nous limiterons ici à l'évocation du principe de ces méthodes.

1.2.1 La méthode de prospection électrique

Elle est beaucoup plus utilisée en hydrogéologie. La méthode électrique a pour principe l'utilisation de quatre électrodes avec lesquelles on établit un contact galvanique avec le sol. Deux électrodes permettent l'injection d'un courant continue dans le sol et les deux autres permettent la mesure d'une différence de potentiel qui s'établit en fonction des hétérogénéités du terrain. La résistivité (paramètre physicochimique de la roche) apparente est proportionnelle au rapport de cette différence de potentiel à l'intensité du courant injecté et dépend de la géométrie du dispositif employé. Cette méthode exploite les propriétés physiques de corps conducteur et inducteur.

1.2.2 La méthode de prospection électromagnétique

Ces méthodes (dont la méthode dit de " Slingam " du nom de son inventeur) permettent de mesurer la conductivité électrique apparente (inverse de la résistivité apparente) du sol. Dans ce cas la circulation électrique du courant dans le sol n'est plus obtenue à travers des électrodes mais en faisant varier le flux du champ magnétique crée par un dipôle magnétique constitué d'une petite bobine parcourue par un courant. Cette méthode est particulièrement sensible à la présence de lignes électriques et d'objets métalliques, ce qui rend son utilisation problématique en milieu urbain. De même que la méthode électrique, elle exploite les propriétés physiques de corps conducteur et inducteur.

1.2.3 La méthode de prospection magnétique

La méthode magnétique mesure la susceptibilité et le magnétisme rémanent (paramètre physicochimique) des roches du sol et du sous-sol, et l'effet de leur répartition sur le champ magnétique

terrestre en différents points de la zone d'étude. Les mesures magnétiques sont également très courantes en prospection archéologique. Elles permettent de mettre en évidence et avec une précision aujourd'hui bien inférieure à 1 nT, des anomalies du champ magnétique terrestre qui ont pour origine des contrastes d'aimantation dans le sol. L'instrument utilisé est le magnétomètre, qui permet de mesurer le contraste magnétique entre les roches.

1.2.4 La méthode de prospection sismique

La méthode sismique consiste à émettre des ondes acoustiques dans le sol au moyen de sources vibrantes (ou de matériaux, d'explosifs, ...) et à étudier les ondes réfléchies (sismique réflexion) ou réfractées (sismique réfraction) par l'interface du milieu (surface séparent deux corps où les vitesses des ondes sismiques sont différentes). Cette méthode est très lourde à mettre en oeuvre : l'installation des capteurs impose en effet de créer avec le sol une liaison mécanique, qui présente la même difficulté que l'utilisation d'électrodes.

1.2.5 La méthode de prospection gravimétrique

Cette méthode étudie l'effet de la répartition des roches du sous-sol sur le champ de pesanteur en différent point de la zone d'étude. Elle permet de mettre en évidence les anomalies du champ de pesanteur terrestre, qui ont pour origine les contrastes des densités des matériaux constituant le sous-sol. Elle est particulièrement très efficace pour la détection du vides comme les hypogées, les caves, les carrières. Néanmoins, la précision requise par ce type de mesure, son coût, ainsi que le nombre de mesure nécessaire pour échantillonner de façon satisfaisante les anomalies de sub-surface deviennent rapidement un obstacle à sa mise en oeuvre.

1.2.6 Autres méthodes de prospections

Il existe d'autres méthodes d'acquisition des données telles que la méthode radar (envoi une onde électromagnétique haute fréquence dans le sol et étude de ses réflexions sur différentes interfaces situés en profondeur) et la méthode électrostatique (mesure de la résistivité apparente). La méthode tellurique, la méthode magnétotellurique, la méthode radioactive.

1.3 Données géophysiques

Les données en géophysique résultent du contraste d'un paramètre physique des matériaux entre les roches et la répartition de ceux-ci dans les couches stratigraphiques. Les méthodes géophysiques appliqués sont fonction des données d'anomalies mesurées dans une région qui varient selon les propriétés physiques des matériaux, telles qui suit :

La méthode sismique exploite les propriétés mécaniques, en mesurant la vitesse des ondes qui varie selon l'élasticité de la roche dans le sous-sol. Exemples :

$$\text{Ondes de compression (ondes P) : } V = \sqrt{\frac{k}{\rho^2}}$$

$$\text{Ondes de cisaillement (ondes S) : } V = \sqrt{\frac{k + 1.33\mu}{\rho}}$$

tel que ρ : la densité, μ : la rigidité, κ : la compressibilité.

La méthode électrique calcule la résistivité des roches à partir des potentiels créés après le passage d'un courant électrique dans le sous-sol. De même que les sondages telluriques, électromagnétiques exploitent aussi la propriété physique conductrice et inductive des roches. La formule physique exploité est la Loi d'ohm : $U = RI$ avec $R = \frac{\rho L}{A}$ d'où $R = \frac{\rho LI}{A}$, ou ρ est la résistivité.

La méthode magnétique exploite les propriétés magnétiques qui sont fonction de la susceptibilité magnétique et de l'aimantation des roches du sous-sol.

La méthode gravimétrique mesure généralement les variations de la pesanteur g entre les différents points du sous-sol.

Parmi ces méthodes nous distinguons les méthodes de reconnaissances, les méthodes semi-détaillées et les méthodes de détail, ainsi le choix de la meilleur méthode face à un problème donné n'est pas toujours aisé à faire. Lors des études de reconnaissances le choix repose sur la gravimétrie, le magnétisme ou la magnétotellurique. Par contre dans des études détaillées et semi détaillées des méthodes qui s'appliquent mieux sur des stratifications sub-horizontales sont : la sismique réflexion et le sondage électrique, celles qui permettent d'étudier des structures redressées ce sont la sismique réfraction, tellurique. Les données géophysique, exploité dans notre étude de la région de Mamfé est fourni par la méthode gravimétrique, du fait de l'enclavement de la région, du cout pas élevé et de la disponibilité des données gravimétriques.

1.3.1 Identification et isolation des données gravimétriques

Elle se fait à l'aide d'un gravimètre qui donne les mesures de pesanteur dans une région, et les compares aux mesures théoriques fait sur l'ellipsoïde de référence. Afin d'obtenir les variations

du champ gravitationnel dues à des causes géologiques, il est nécessaire de corriger nos lectures de toutes les autres causes extérieures pouvant les influencer (Dérive de l'appareil, marée, ellipticité de la terre...). Nous procéderons ainsi, à une présentation d'une identification des causes extérieures et une isolation des anomalies des structure géologique.

1.3.2 Identification des données gravimétriques

Les mesures de pesanteur sont obtenues à l'aide d'un gravimètre dont le principe repose sur l'équilibre d'une masse soumit à une force élastique déterminée. Ces mesures relatives sont basées sur la comparaison des valeurs mesurées à des lieux différents permettent l'acquisition des données. La donnée gravimétrique est donc la variation de l'attraction à un point donné d'une station de mesure son unité est le mGal ($10^{-5}m.s^{-2}$). Elle est influencée par des causes extérieures qui donneront lieu à des corrections sur la mesure à savoir :

-correction de dérive qui est dû en parti au gravimètre en parti à la marée lunaire, elle permet d'éliminer les influences apportées par les marées et la fatigue de l'instrument.

-correction de latitude qui tient compte des variations de g avec la latitude, dues à la rotation de la terre et à son aplatissement. $\Delta_L = 0.081 \sin(2\phi) \text{ mGal}/100m$

-correction d'altitude qui est dû à la hauteur sur laquelle les mesure sont prises, car celle-ci dans une même station peut varié avec hauteur pour un même point et non pas à des hétérogénéités du sous-sol. $\Delta_h = 0.3086h \text{ mGal}/m$

-correction du plateau tient compte de la masse comprise entre le référentiel et la station de mesure. $\Delta_B = -0.04191\rho_B h \text{ mGal}/m$

-correction de terrain

Les données gravimétriques sont issues de la mesure du champ de pesanteur, elles sont sensibles aux contrastes de densités dans le sous-sol. Les variations du champ de pesanteur d'une région à une autre sont liées aux variations de densité des roches souterraines. Les effets engendrés par les hétérogénéités localisées dans la croute terrestre et le manteau supérieur, se traduisent par des anomalies de pesanteurs qui correspondent à des traits structuraux que l'on se propose de mettre en évidence et d'en donner une signification en termes de faciès géologiques ou d'accident tectonique.

1.3.3 Isolation des données gravimétriques

Les valeurs de la pesanteur relevées sont affectées par d'autres paramètres liés à la forme générale de la terre et la forme de la surface topographique. Il est alors nécessaire d'isoler les anomalies d'origine géologique par élimination des effets des paramètres précédemment cités, car les anomalies sont mis en évidence par rapport à l'ellipsoïde de référence. On procède ainsi à la correction relative du lieu et à la densité des terrains superficiels. L'ensemble des corrections effectuées, nous obtenons l'anomalie de Bouguer A_B .

$$A_B = g_m - (g_o - 0.3086h + 0.0419\rho h - \rho T) \quad (1.1)$$

ou on notera g_m la valeur mesurée en un point de latitude ϕ . et on supposera que cette mesure est corrigée des effets temporels liés à l'instrument (dérive) et à l'attraction luni-solaire (marée gravimétrique). De même on notera g_o la valeur théorique sur le géoïde à la même latitude.

Cependant d'autre correction sur la mesure est nécessaire telle que, la correction isostatique dépendant des variations de densité au niveau des interfaces de profondeur et les comportements mécaniques des différentes couches de l'écorce terrestre. Dès que les mesures sont rendues comparables grâce aux corrections ci-dessus, la correction des données ainsi obtenue est archivée sous forme de carte pouvant servir à une interprétation quantitative et qualitative. Cette carte est la carte d'anomalies de Bouguer (figure 1.4 et 1.5).

1.3.4 Les types d'anomalie de Bouguer

Les types d'anomalie de Bouguer en Géologie La carte d'anomalie de Bouguer traduit aussi bien les contrastes de densité sur les terrains sédimentaires d'extension limitée que la détermination des discontinuités sur le socle constitué de roches cristallines ou cristallophylliennes couvrant de vastes étendues (Ndoussa 2004). Ces anomalies sont regroupées en deux grandes classes dans le tableau ci-dessus.

Lorsque la carte de Bouguer ne permet pas de constater les anomalies gravimétriques ci-dessus, ceux-ci sont mis en évidence par les cartes d'anomalies résiduelles et d'anomalies régionales, dans le cadre de notre étude, elles seront mis en évidence par le gradient vertical et le gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut ou par tout autre traitement de la carte d'anomalie de Bouguer (filtre passe bas, filtre passe haut), ainsi les anomalies locales sont généralement mieux mises en évidence dans une carte d'anomalies résiduelles et les anomalies profondes qui sont décrites par les cartes

Anomalies	Origine	Causes	Extension
Locale	Superficielle	-Interface sédiment/socle -Faible profondeur du socle	Limité
Régionale	Profonde	Discontinuité ou interface du socle	Etendu

TABLE 1.1 – Types d'Anomalies de Bouguer.

d'anomalies régionales. Une anomalie localisé a pour origine que les masses superficielles ce pendant les masses superficielles peuvent aussi bien que les masses profondes engendrés les anomalies étendues, mais ceux-ci doivent être étalés. Les cartes d'anomalies résiduelle et régionale son obtenues par transformation de la carte d'anomalies de Bouguer.

Conclusion

Ces méthodes de prospection géophysiques s'efforcent, par des mesures paramétriques précises de surface, d'étudier, dans une portion de l'écorce la répartition dans le sous-sol d'un caractère physique donné, ce caractère variant d'une couche ou série stratigraphique à l'autre, et d'en extraire des données qui serviront à modélisé, caractérisé et déterminé la densité des sources des anomalie à l'aide des méthodes d'interprétation directes, indirecte et inverses.

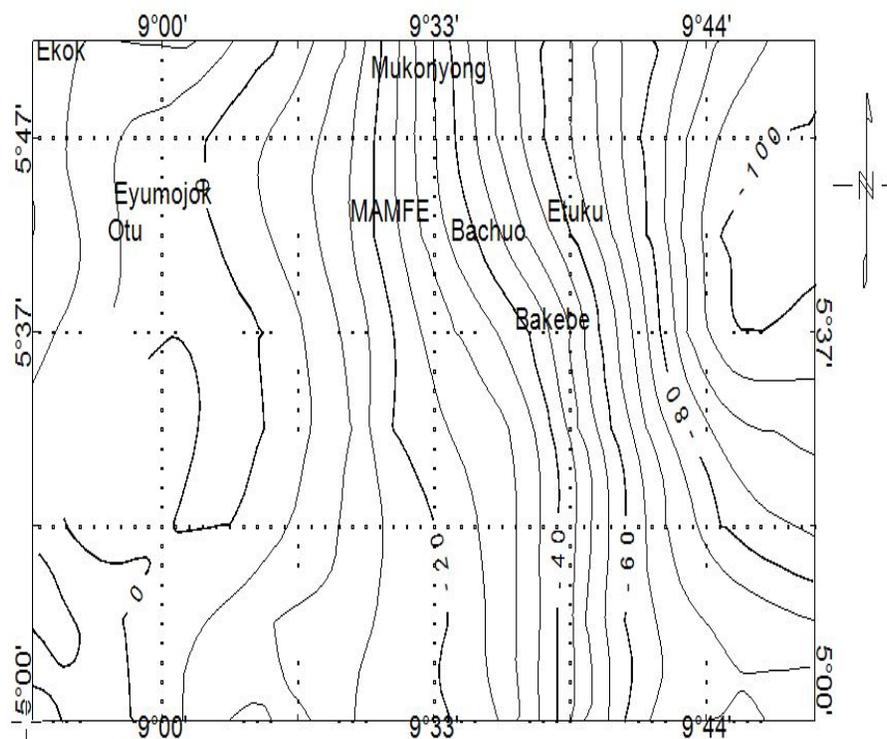


FIGURE 1.5 – Extrait de la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et al., 1996 de la région de Mamfé représentant le secteur d'étude (Ndougsa et al., 2004).

MÉTHODOLOGIE

D'INTERPRÉTATION DE DONNÉES

2.1 Origine des données

Le choix de ces deux cartes, s'est fait sur la détermination des structures tectoniques profondes et superficielles longitudinale et transversales dans le bassin et sur les bords de ses limites, mises en évidence par les observations géologiques .les processus d'obtention de ces cartes sont les suivants .

2.1.1 Carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991

La carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991, de la région de Mamfé (figure 1.4) a été établie à partir des levées de 1984 à 1986 pour un total de 520 points de mesurés sur les territoires camerounais et nigérian. Les mesures ont été effectuées avec un pas allant de 1 à 3km, puis de 5 à 8 km. Les gravimètres utilisés sont le Scintrex CG n°318 et le Lacoste-Romberg G 817. L'incertitude sur les mesures est de l'ordre de 0.3 mGal pour l'anomalie de Bouguer, 3m pour l'altitude de la station et 100 m pour le positionnement des stations. La densité de de l'écorce-terrestre considéré est de $2.67g/cm^3$.

2.1.2 La carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996

La carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996 (figure 1.5), a été constituée par les mesures effectuées de 1960 à 1967 par ORSTOM, 1968 par l'université de Princetown, 1980

par la société ELF, 1982 par l'université de Leed, et de 1984 à 1988 conjointement par l'IRGM et l'université de Leeds. Les mesures ont été effectuées le long des routes et des pistes et en voiture. Les distances entre les stations varient de 3 à 4 km, puis de 4 à 10 km. Le positionnement et l'altitude des stations ont été déterminés par la méthode GPS (Global Positionning Système). Les gravimètres utilisés sont le Lacoste-Romberg modèles G N0 471 et 823 ; les Wordens n° 69, 135, 313, 1153 ; un canadien Scintrex N° 305 G et des North Américan N0 124 et 165. Les mesures ont été rattachées au réseau de base Martin du Cameroun. La précision des mesures est de rattachées au réseau de base Martin du Cameroun. La précision des mesures est de l'ordre de $+0.2$ mGal. La densité moyenne des terrains superficiels est égale à $2.67g/cm^3$. La précision de l'anomalie de Bouguer est d'environ 3 à 4 mGals pour les stations situées loin des Baromètres et ou des repères de nivellement.

2.2 Analyse des données des cartes de Bouguer

L'analyse des cartes de Bouguer dans les zones d'étude consistera à l'identification des grands traits d'anomalies observées et à établir la corrélation entre ces anomalies et la connaissance géologie et tectonique de la région.

2.3 Méthodes d'analyse multi-échelle et déconvolution d'Euler

2.3.1 Intérêt des méthodes

La réalisation des cartes de Bouguer superpose les effets de contraste de densité, de discontinuité profonds et peu profonds, étendus et locaux. Or, l'amplitude de l'effet gravimétrique d'une structure en une station donnée s'estompe rapidement avec la distance qui sépare la structure de la station, conformément à la loi d'attraction gravitationnelle de Newton. Il arrive donc très souvent qu'une structure profonde intéressante soit masquée par l'effet d'une structure superficielle moins intéres-

sante, ou que les caractéristiques de la signature de l'anomalie gravimétrique d'une structure locale ou peu profonde, à interpréter, soit bruité par la signature de l'anomalie gravimétrique régionale plus étendus. La méthode multi-échelle du gradient verticale et horizontale est utilisé pour rehaussé les informations qui caractérise la signature des sources d'anomalie de couches géologiques superficielles, celle du prolongement vers le haut permet de supprimer les bruits dû aux courtes longueurs d'ondes et les effets des couches superficielles, et celle de déconvolution d'Euler est utile pour la localisation et l'estimation de la profondeur des sources.

L'investigation des structures superficielle et profondes du bassin sédimentaire de Mamfé et ses zones avoisinantes, se fera par l'utilisation de trois méthodes de traitement dans le but de déterminer les structures tectoniques du socle dans le bassin sédimentaire, les failles, leur pendage, leur longueur et leur profondeur au voisinage du bassin (Cordel et *al.*, 1985, Blakely *al.*, 1986, Archibald et *al.*, 1999, Everaerts et Mansy 2001, Khattach et *al.*, 2004 et 2006) : gradient vertical, gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut, et déconvolution d'Euler.

2.3.2 Méthode Gradient vertical

Le gradient vertical permet, en l'absence d'hétérogénéités intra-sédimentaires, de reconnaître les parties supérieure et inférieure du socle. L'intérêt des conversions des cartes du champ gravimétrique en gradient vertical (ou première dérivée verticale) a été reconnu depuis longtemps (Evjen 1936); des méthodes de calcul ont été proposées et illustrées par Aynard (1953), Baranov (1957), Le Mouël (1970), Gérard et Griveau (1972) et Galdeano (1980). Afin de mettre en évidence les lithologies peu profondes, il est nécessaire de calculer une nouvelle transformation de la carte d'anomalie. Cette transformation doit atténuer, voire supprimer, la composante régionale qui déforme et parfois masque les relations entre la géologie d'un socle peu profond et la forme des anomalies. Elle est obtenue grâce au calcul du gradient vertical (dg/dz). La théorie des potentiels montre que l'on peut exprimer le gradient vertical à l'aide d'une intégrale (intégrale de surface) :

$$\left(-\frac{dg}{dz}\right) = \frac{[g(0) - g(r)] dr}{r^2} \quad (2.1)$$

Ou $g(r)$: la valeur moyenne de g sur le cercle de rayon r correspondant à l'intégrale :

$$g(r) = \frac{1}{2}g(r, \alpha) d\alpha \quad (2.2)$$

Cette transformation joue un rôle d'amplificateur pour les hautes fréquences, c'est-à-dire pour les anomalies de petite extension, au moins dans une des directions. Comme pour les autres filtres

qui améliorent les composants de haute amplitude du spectre, vous devez souvent appliquer aussi les filtres passe-bas pour éliminer le bruit sur haute amplitude. Elle est donc indiquée pour mettre en évidence les zones où le socle se trouve plus près de la surface ou plus en profondeur et les accidents ténus du socle, de petite dimension latérale, qui se poursuivent éventuellement sur de grandes distances.

2.3.3 Méthode Gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut

Le gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut permet la localisation des failles et la détermination de leur pendage (Archibald et Bochetti 1999, Khattach et *al.*, 2004 et 2006, Vanié et *al.*, 2005 et 2006). Les contacts linéaires correspondent à des failles alors que les contacts de forme circulaire sont les limites de diapirs ou de corps intrusifs. Blakely et Simpson (1986) ont proposé une méthode pour déterminer de manière automatique les maxima du gradient horizontal, déterminés à partir d'une grille de valeurs présentées dans une fenêtre 3×3 . L'application de cette méthode à une carte gravimétrique montre que les maxima locaux des gradients horizontaux forment des rides étroites au-dessus des changements abrupts de densité. Les positions des points d'inflexion sont aussi facilement déterminées par la localisation du point culminant dans l'amplitude du module du gradient horizontal (Figure. 2.1a).

$$G_h = \left[\left(\frac{dg}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dg}{dy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

Pour déterminer le sens du pendage des différents contacts, la carte de Bouguer est prolongée vers le haut à différentes altitudes. A chaque niveau, les maxima du gradient horizontal sont localisés. En principe, les niveaux de prolongement les plus élevés correspondent aux contacts les plus profonds et vice-versa. Si les structures sont verticales, tous les maxima se superposent. En revanche, le déplacement des maxima avec le prolongement vers le haut indique le sens du pendage (Figure. 2.1b).

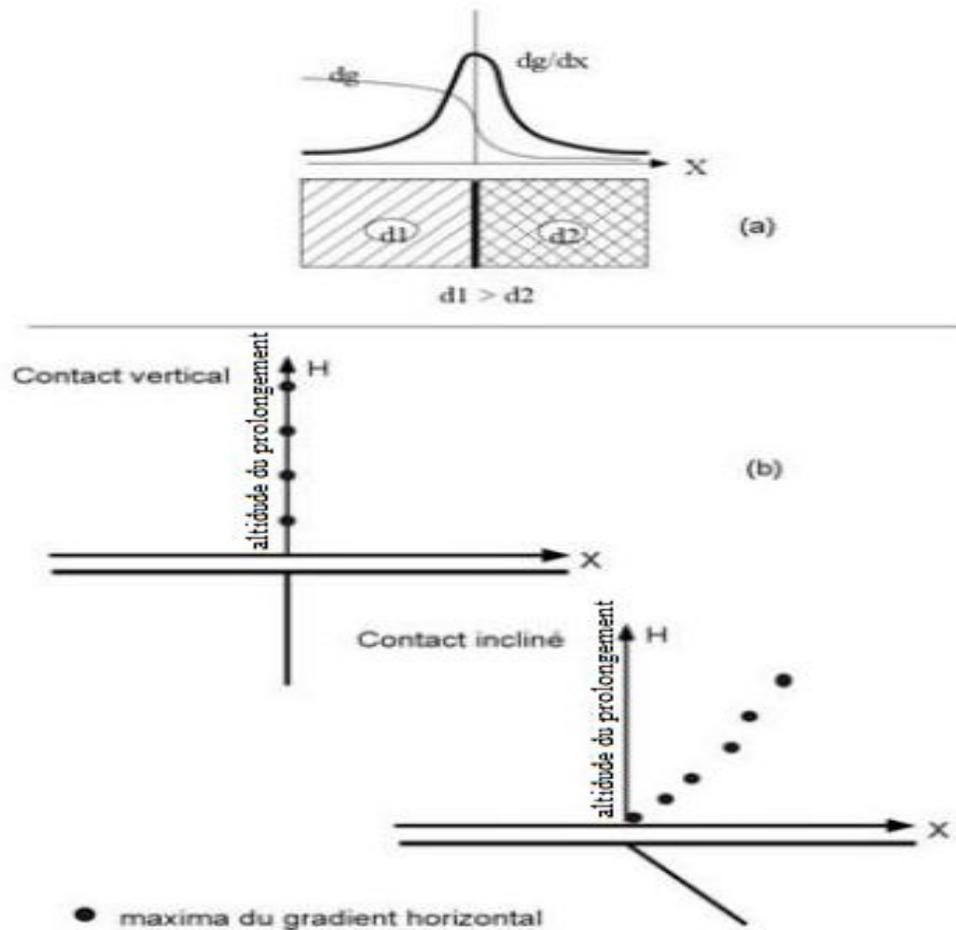


FIGURE 2.1 – Méthode du gradient horizontal (a) et analyse des pentages (b). (Vanie et al., 2005)

2.3.4 Méthode de deconvolution d'Euler

Introduction

La déconvolution d'Euler permet en plus de la localisation dans le plan horizontal des contacts, l'estimation de leur profondeur (Keating 1998, Asfirane Haddadji et Galdeano 2000). Thompson (1982) puis Reid (1990) signalent que le choix de l'indice structural semble très important ; pour un certain nombre de structures, ils ont établi un indice structural (N) qui peut prendre des valeurs

allant de 0 à 3 et correspondant à des nombres entiers pour certaines structures simples. Ainsi, ils estiment qu'un indice $N=1$ est le mieux adapté pour les filons minces, les dykes et les failles à faible rejet vertical, et un indice $N = 0$ pour les failles à grand rejet, et un indice de $N = 0,5$ pour les cas intermédiaires.

Le succès de l'application de ces traitements a été démontré par de nombreuses études (Archibald et Bochetti 1999, Everaerts et Mansy 2001, Vanié et *al.*, 2005, Chennouf et *al.*, 2007, El Gout et *al.*, 2010).

Théorie de la deconvolution d'Euler

Toute fonction en trois dimensions $f(x,y,z)$ est dite homogène de degré n si la fonction obéit à l'expression.

$$f(tx, ty, tz) = t^n f(x, y, z) \quad (2.4)$$

De cela, on peut montrer que l'équation suivante (connu sous le nom de l'équation d'Euler) est également satisfait :

$$x \frac{df}{dx} + y \frac{df}{dy} + z \frac{df}{dz} = n f \quad (2.5)$$

Compte tenu des données potentielles sur le terrain, l'équation d'Euler peut être réécrite comme suite :

$$(x - x_0) \frac{dT}{dx} + (y - y_0) \frac{dT}{dy} + (z - z_0) \frac{dT}{dz} = N(T - B) \quad (2.6)$$

Ou (x_0, y_0, z_0) est la position d'une source magnétique dont le champ total de T est mesuré à (x, y, z) . Le champ total a une valeur régionale de B. On notera que N dans cette expression est équivalent à n dans l'équation d'Euler.

Il est facile de montrer que les modèles magnétiques et gravimétriques simples sont conformes à l'équation d'Euler (Thompson 1982). Le degré d'homogénéité, de N, peut être interprété comme l'indice structurel (IS), qui est une mesure de la vitesse de variation de la distance d'un champ de potentiel.

Reid et *al.*, (1990) ont montré qu'un contact magnétique donnera un indice de 0,5 à condition qu'un décalage A est introduite pour intégrer les facteurs d'amplitude, et de pendage d'anomalie :

$$A = (x - x_0) \frac{dT}{dx} + (y - y_0) \frac{dT}{dy} + (z - z_0) \frac{dT}{dz} \quad (2.7)$$

Étant donné un ensemble de données de terrain totales observées, nous pouvons déterminer un emplacement optimal de la source (x_o, y_o, z_o) en résolvant les équations d'Euler pour un indice N donné par l'inversion moindres carrés des données. Le processus d'inversion donnera également une incertitude (type standard) pour chacun des paramètres ajustés, et ceci peut être utilisé comme critère pour accepter ou rejeter une solution. Ce processus d'inversion est souvent appelé Euler Déconvolution.

Ces méthodes d'investigations seront appliquées aux données gravimétriques, à l'aide du logiciel Oasis Montaj qui intègre l'algorithme de ces différentes méthodes sous forme d'outil dans son système pour une facilitation d'interprétation.

2.4 Interprétation

L'interprétation est la détermination d'une structure géologique à partir de l'anomalie observée, elle est faite dans cette étude à l'aide du logiciel Oasis. Elle s'effectuera sur deux volets : l'interprétation qualitative et l'interprétation quantitative.

2.4.1 Interprétation qualitative

L'interprétation qualitative consiste à identifier la signature d'une source d'anomalie et à faire le lien avec la connaissance géologique de la zone à savoir la localisation des noyaux denses ou légers, l'identification des lignes iso-normales liées à certaines structures particulières.

Cette interprétation se fera à l'aide du logiciel Oasis, par transformation de la carte de Bouguer pour obtenir des cartes du dérivé vertical et horizontal couplé au prolongement vers le haut, dans le but de faire ressortir les signatures des anomalies des structures superficielles et profondes. Une identification de l'anomalie avec les effets géologiques et tectonique de la zone sera effectuée.

2.4.2 Interprétation quantitative

L'interprétation quantitative permettra de préciser les éléments géométriques (localisation, forme et profondeur) des structures géologiques, des sources des anomalies observées. Pour ce fait, nous procéderons par une méthode indirecte de traitement, d'analyse, de visualisation et d'interprétation : le système Euler 3D. L'objectif de la procédure Euler 3D est la production d'une carte qui donne la localisation et la profondeur géologique des sources d'anomalies du champ gravimétrique observable dans une grille à 2D (2 dimensions). La séquence de traitement Euler 3D est donnée par étape et consignée dans l'organigramme suivant.

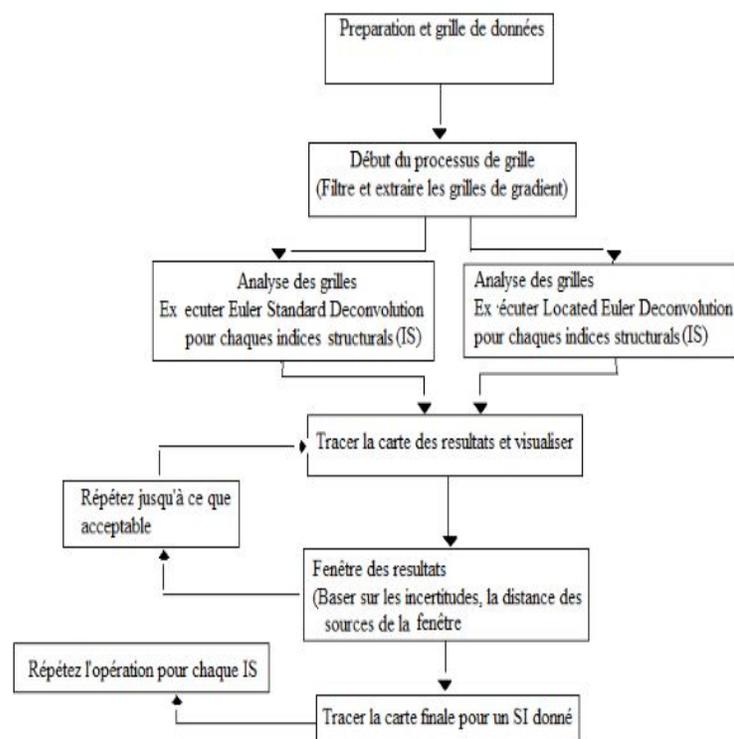


FIGURE 2.2 – *Étapes d'interprétation et de détermination de la profondeur des sources d'anomalie.*

2.5 Description du logiciel

2.5.1 Introduction

Le logiciel Oasis montaj grav/mag (Geosoft inc, 2010) est un logiciel d'interprétation, de modélisation, de localisation gravimétrique et magnétométrique qui permet le traitement des anomalies observées gravimétriques et magnétiques. Il comprend plusieurs outils intégrés dans son système qui lui permet d'effectuer plusieurs tâches :

- ★L'application des différents filtres (de lissage, de transformation, affutage),
- ★La localisation des points de contacts géologique ou les maximas des données des champs par analyse du gradient locale.
- ★ Le calcul automatique de la profondeur des sources d'une grille d'un ensemble de données gravimétrique et magnétique.

Les profondeurs sont ainsi disposées sur une grille de résultats, que la machine affichera sous forme de carte. Les paramètres principaux qu'il utilise sont : Indice structurel (IS), la tolérance maximale de la profondeur, la taille de la fenêtre, La distance maximale acceptable, Hauteur de vol ou d'élévation Enquête.

- L'indice structurel (IS) est un facteur exponentiel correspondant à la vitesse à laquelle le champ diminue avec la distance, pour une source d'une géométrie donnée. La valeur du paramètre IS dépend du type de corps, de source que nous recherchons, et le type de données de champ potentiel que nous utiliserons (magnétique ou gravité).

- La tolérance maximale de profondeur détermine quelles solutions sont acceptées (accepter des solutions avec les erreurs estimées plus petites que la tolérance spécifiée). Le défaut est de 15 % celle choisie dans notre étude.

- La taille de la fenêtre détermine la zone (dans les cellules de la grille) utilisée pour calculer les solutions d'Euler. 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 distance maximale acceptable est un paramètre qui spécifie la distance maximale de décalage du centre de la fenêtre de recherche à l'emplacement de la solution source. Le résultat de la déconvolution est plus précis lorsque la source est centrée dans la fenêtre de recherche, ainsi donc des solutions de source située loin du centre de la fenêtre de recherche peuvent être rejetées. En général, les solutions situées à l'extérieur des limites de la fenêtre de recherche peuvent être rejetées comme

erronée.

- Les deux derniers paramètres (la hauteur de vol et l'élévation d'Enquête) déterminent la manière dans lequel les résultats sont affichés. Les unités dans lesquelles les valeurs solutions z (profondeurs) sont données, sont tirées des grilles. Pour les levés aéroportés de couverture, les entres de la hauteur de vol, la boîte de dialogue retournera les de valeurs z comme des profondeurs au-dessous de la surface du sol. Pour les levés aéroportés barométriques, les entres d'élévation de l'enquête, la boîte de dialogue donnera des valeurs z comme des élévations (c'est-à-dire à une hauteur au-dessus du niveau de la mer).

2.5.2 Comparaison entre le logiciel Oasis et les autres Logiciels de modélisation

Le système Euler 3D Déconvolution du logiciel est basé sur l'homogénéité de la relation d'Euler, qui ne suppose pas de modèle géologique particulier pour son interprétation. Par conséquent, Euler Déconvolution peut être appliqué dans une grande variété de modèles géologiques que les techniques de modèle classiques qui dépendes d'une analyse géologique initiale. Comparativement à la modélisation $2D1/2$, le système Euler 3D est capable de rapidement analysé une large quantité de donnée spatial, et il n'admet pas un model géologique particulier contrairement à $2D1/2$ qui calcule l'anomalie théorique à partir d'un modèle géologique de forme simple. Ainsi dans Euler 3D, la déconvolution peut être appliqué et interprété même quand la géologie ne peut être pas représentée par un modèle particulier, tel que les prismes ou les dykes.

2.5.3 Hypothèses d'interprétations

La localisation et la détermination de la profondeur des sources d'anomalie de Bouguer a été fait par le logiciel Oasis, en tenant compte des hypothèses à savoir :

- La profondeur limite du bassin peu varié entre 700 m et 3000 m pour différents sites de ce bassin.

• La reconnaissance des formes structurales responsables des anomalies gravimétriques (horst, graben, faille, dôme, galerie) issue des observations géologiques, et identifier à certains modèles simples, nous aidera dans le choix de l'indice structural ou degré d'homogénéité. Le degré d'homogénéité n (n dans l'équation d'Euler) peut être interprétée comme un indice structural, et caractérise le taux de variation de l'intensité de la source avec la distance.

Le tableau suivant résume les indices structuraux pour les modèles simples dans un champ de gravité :

Indice Structural (IS)	Champ de pesanteur
0.0	Sill/digue/horst/gradin
0.5	Bande
1.0	Cylindre vertical/galerie
2.0	Sphère

TABLE 2.1 – Le tableau des indices structuraux pour des modèles simples (Reid et al., 1990).

Une autre façon simple de déterminer un indice structural approprié est de déterminer le nombre de dimensions infinies ou assez grandes d'un modèle, pour être considérées comme infinies de la source. L'IS d'un modèle est ce nombre qui est soustrait au maximum IS d'un champ donné, ainsi cet IS maximale est de 2 pour les données gravimétriques (le champ gravimétrique d'une source ponctuelle ou d'une sphère de gravité diminue à mesure que $1/r^2$) :

Modèle géologique simple	Nombre de dimension infini	Indice structural gravimétrique
Sphère	0	2
Cylindre vertical	1(z)	1
Cylindre horizontal	1(x-y)	1
Dyke	2(z et x-y)	0
Sill	2(x et y)	0
Contact	3(x, y et z)	Rien

TABLE 2.2 – Le tableau des modèles simples avec les indices structuraux et le nombre de dimension (Thompson 1982, Reid et al., 1990).

Nous signalons qu'un indice 0 indique que le champ est constant quelle que soit la distance de la source du modèle. Dans le cas d'un contact par gravité, le champ serait infini. Ces situations sont physiquement impossibles pour des données réelles, et un indice zéro représente une limite physique, qui ne peut être abordé comme les soi-disant "dimensions infinies" de l'augmentation réelle de la source. Dans la pratique, un indice de 0,5 peut souvent être utilisé pour obtenir des résultats raisonnables quand un indice de 0, serait autrement indiqué.

Cependant, cela pose un problème quand on veut obtenir des résultats à partir d'un modèle de contact avec des données de gravité. Une solution est de travailler avec le dérivé premier vertical du champ de gravité à la place du champ de gravité d'origine. Ceci augmente la vitesse de chute d'arrêt par une puissance (d'un IS) et rend l'IS de gravité équivalent à l'IS magnétique pour le même modèle de source. Les quatre grilles de composants sont fournies au système d'Euler 3D, qui serait alors $\frac{dg}{dz}$, $\frac{d^2g}{dz^2}$, $\frac{d^2g}{dzdx}$ et $\frac{d^2g}{dzdy}$. Ceux-ci peuvent être calculer en suivant la même procédure décrite dans le manuel de l'utilisateur, sauf que la grille de départ sera la première dérivée verticale au lieu de la grille de champ d'origine. Calculer la dérivée première de la grille en passant par le processus en utilisant les données d'origine, puis calculer le dérivé vertical et les dérivés horizontaux de cette grille.

L'IS correcte pour une fonction donnée est celle qui donne le regroupement le plus serré des solutions. De là, vous pouvez penser que l'IS est comme un paramètre de contrôle de mise au point, dans lequel le bon IS produit la meilleure mise au point des résultats. Ceci est illustré dans le schéma suivant (champ magnétique) :

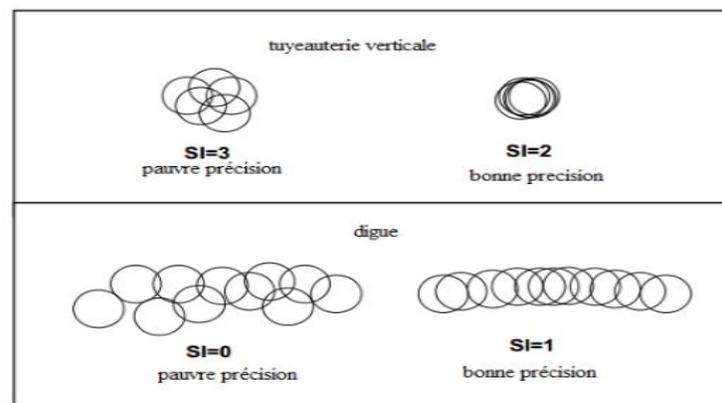


FIGURE 2.3 – représentation des solutions d'Euler (Reid et al., 1990).

Les solutions de droite représentent le bon IS pour un corps en forme de tube magnétique (haut) et une digue (en bas). On peut montrer que, d'un indice qui est trop faible donne des profondeurs sont trop peu profonde; un qui est trop élevée donne des estimations qui sont trop profondes. Mais

même si l'index est correct, il est clair que les estimations de profondeur sont plus précises pour les hauts indices de sources que pour les bas. (Reid et al., 1990).

Conclusion

En somme l'investigation géophysique en gravimétrie se fait tout d'abord par filtrage de la carte d'anomalie, donc le but est d'exposer les signatures des structures géologiques superficielles ou profondes selon le type de filtre (filtre de lissage, filtre d'affûtage et filtre de transformation) appliqué. Ensuite suivra une analyse qualitative de la carte obtenue. L'analyse quantitative est faite dans notre étude, à l'aide du logiciel oasis pour la détermination des profondeurs et la localisation des sources d'anomalies à partir des modèles simple associés à un IS. L'IS caractérise donc des modèles simples des structures géologiques dans l'équation d'Euler. L'application de l'analyse multi-échelle et de déconvolution d'Euler sur nos cartes de Bouguer sera faite à la suite.

RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Dans ce chapitre, il sera question de faire une analyse qualitative des cartes des anomalies de Bouguer obtenues à partir des données numérisées de Ndougsa en 2004. Nous appliquerons des traitements sur ces cartes d'anomalies de Bouguer à l'aide des méthodes de gradient vertical et Horizontal et suivis d'une interprétation. L'application de la méthode de déconvolution d'Euler nous permettra de faire une analyse qualitative et quantitative. Une comparaison avec les observations géologiques aura pour but de finaliser notre travail.

3.1 Analyse des cartes d'anomalies de Bouguer

Les cartes d'anomalies de Bouguer ayant servi pour l'obtention des données gravimétriques utilisées dans la présente étude sont celles de Fairhead et *al.*, (1991), et de Legeley-Padovani et *al.*, (1996).

3.1.1 Analyse de la carte de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991

Dans cette zone d'étude, l'anomalie de Bouguer se caractérise par un gradient général de direction E-W (figure 3.1). Les valeurs positives de la partie occidentale du secteur d'étude diminuent vers l'est. Les iso-lignes présentent approximativement une direction N-S. Elles sont plus claires dans la moitié orientale. Une série de courtes ondulations tordent ce modèle. Ces courtes ondulations sont davantage marquées à la partie occidentale. Les ondulations qui tordent le gradient général d'E-W sont en fait dues aux effets des structures profondes et superficielles (Ndougsa et *al.*, 2007). En effet, l'analyse des ondulations présentes dans la carte d'anomalie de Bouguer nous permet de déduire l'existence de la ceinture de trois anomalies approximatives E-W. En conséquence, nous avons une faible anomalie

très remarquable lié au bassin de Mamfé dans sa partie Ouest (comportant Eyumojok, Ekok, Otu). Vers l'est de Kesham les ondulations sont moins marquées, mais nous pouvons également déduire la présence d'une autre anomalie négative couvrant la partie Est du bassin (comportant Mamfe, Bachuo, Mukonyong, Bakebe et Etuku). Cette approximative ceinture E-W d'anomalie négative est limité au Nord aussi bien qu'au Sud du coté occidentale de la zone par de forte pesanteur. Ces fortes pesanteurs sont associées aux montagnes de Bamenda et d'Oban (c.-à-d., au sous-sol cristallin). L'anomalie négative est associée au remplissage sédimentaire du bassin de Mamfé, et le gradient E-W de gravité faisant diminuer les valeurs des anomalies de pesanteur de 0 à -100 mGals semble être dû à une chaine volcanique ou à un évènement tectonique majeur (Ndougsa 2004). Notre analyse nous a laissés confirmer l'existence d'un gradient régionale de pesanteur E-W, et de la pesanteur basse lié au remplissage de bassin. Cependant, nous croyons que les anomalies positives d'amplitude 20 mGals, sur 150 kilomètres rapportée par Fairhead et *al.*, (1991) soientt en fait des anomalies associées aux terrains cristallins limitant le bassin au nord et au sud respectivement.

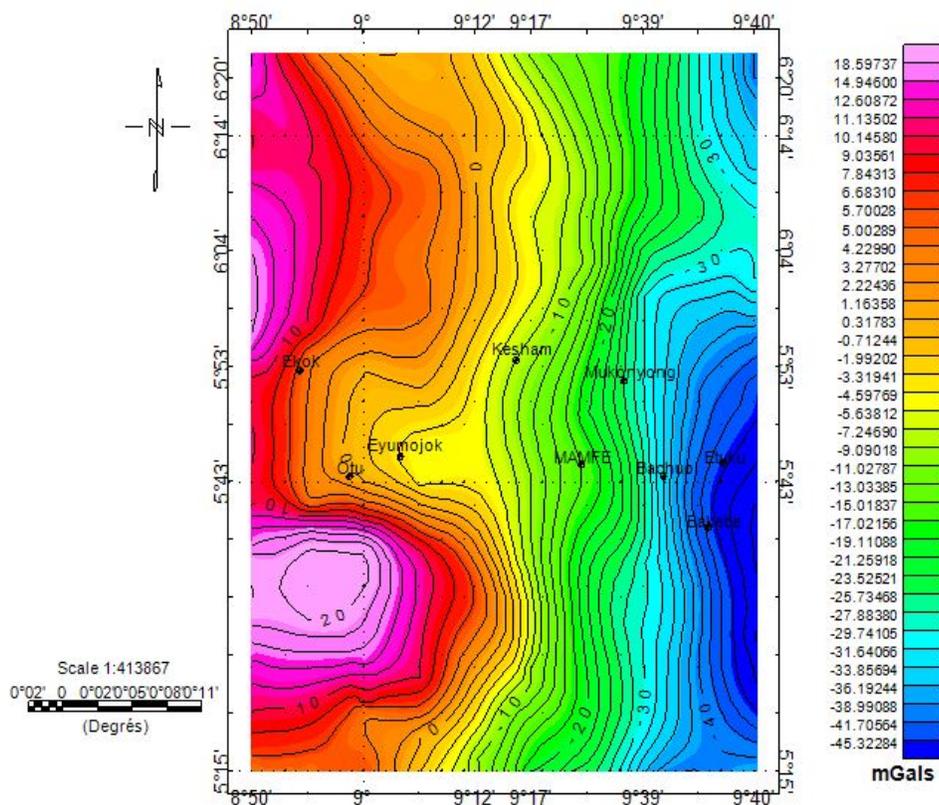


FIGURE 3.1 – Extrait de la carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991

3.1.2 Analyse de carte de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996

Sur cette carte, nous est présenté le bassin de Mamfé, ses limites Australe et Orientale. Cette zone d'étude de l'anomalie de Bouguer se caractérise aussi par un gradient général de pesanteur E-W (figure 3.2). Les valeurs positives de la partie occidentale du secteur d'étude diminuent vers l'est. Les iso-lignes présentent approximativement une direction N-S. l'observation de cette direction semble plus claire au centre de la zone d'étude ou une série de courtes ondulations tordent ce modèle et Ces courtes ondulations sont davantage marquées dans la partie occidentale. La partie orientale est couverte d'iso-gals courbés de formes hyperboliques. Les ondulations qui tordent le gradient général d'E-W sont en fait dues aux effets des structures profondes et superficielles. En effet, une analyse des ondulations présentes dans cette carte d'anomalie de Bouguer nous permet de déduire l'existence de la ceinture de trois anomalies de gradient E-W avec un changement de direction ENE-WSW dans la partie Orientale. En conséquence, nous avons une anomalie gravimétrique négative très remarquable lié au bassin de Mamfe dans sa partie centrale (comportant Kesham, Mamfe, Bachuo, Mukonyong, Bakebe et Etuku). Vers l'Est de la zone, nous avons une faible pesanteur très prononcé et à l'Ouest (Ekok, Otu, Eyumojok), les anomalies sont de haut gravimétrique variant de 0 à 10 mGal. Ces hautes gravimétriques sont associés aux montagnes de Bamenda au Nord-Ouest (c.-à-d., au sous-sol cristallin). Ndougsa, (2004) a identifié ce paquet d'iso anomalies comme semblant traduire soit un affaissement ou un soulèvement des masse profondes de l'écorce terrestre, soit une fracture suivie

d'une distorsion, d'une compression ou d'un effondrement d'un compartiment, l'autre restant fixe.

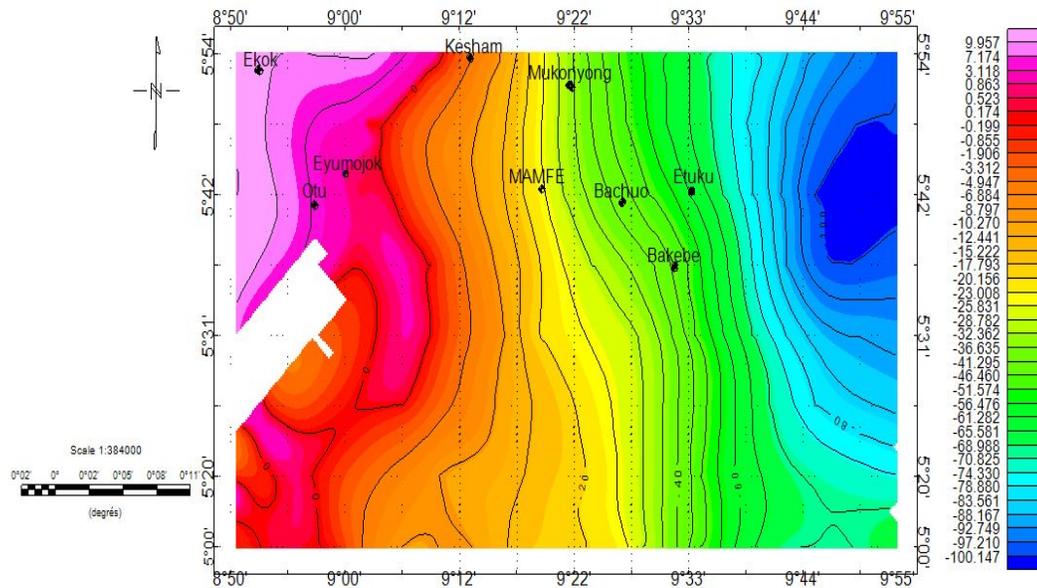


FIGURE 3.2 – Extrait de la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et al., 1996.

3.2 Analyse multi-échelle de la carte d'anomalies de Bouguer de Mamfé

3.2.1 Analyse du gradient vertical de la carte d'anomalie de Bouguer de la zone de Mamfé

Analyse du gradient vertical de la carte de Bouguer de Fairhead et al., 1991

La carte du gradient vertical d'anomalies obtenue du traitement de la carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et al., 1991 (figure 3.3), nous montre une alternance de ceintures d'anomalies négatives et positives du Sud vers le Nord. Au Nord, nous observons une ceinture orientée d'Ouest vers l'Est, donc la signature gravimétrique est caractéristique de deux sous anomalies positives. L'anomalie située à

la partie Ouest de cette ceinture septentrionale est de nature composé, orienté en moyenne NW-SE, avec une amplitude de $+0.00033$ mGal/km. Elle s'associe à la faille en affleurement (Ndougsa et *al.*, 2007) et la seconde anomalie plus forte est associée au sommet d'un anticlinal ou à la présence des roches cristallines qui composent la montagne de Bamenda. La deuxième anomalie d'amplitude $+0.00125$ mGal/km, est orientée NW-SE et semble être due aux affleurements ou aux intrusions de roches volcaniques. Le gradient décroissant N-S, sépare la ceinture d'anomalies centrale de la ceinture d'anomalies septentrionale, il se compose d'iso lignes ondulants d'Est vers l'Ouest. Il est caractéristique de la discontinuité existante entre la ceinture nord à forte gradient et la ceinture centrale constitué de faible gradient. Dans la ceinture centrale, la partie Ouest a une amplitude minimale de -0.00086 mGal/km, elle englobe les villages Ekok, Ottu, Eyumojok, on observe une large anomalie négative, orienté N-S à Ekok et deux autres anomalies moins large que la précédente d'orientation N-S au voisinage de Otu et E-W à Eyumojok. cette large anomalie est due à l'épaisse couche de sédiments que contient la zone (figure 1.1 et 1.2). À l'Est de Eyumojok, nous avons une légère zone d'étranglement suivie d'une petite zone à faible gradient englobant Kesham et Mamfé. L'amplitude minimale de celle-ci est -0.00021 mGal/km. Plus à l'Est, contenant les villages Bachuo, Bakebe et Etuku, nous avons une zone d'anomalie négative, orientée NW-SE. Cette anomalie négative est composé de trois sous anomalies. A l'Est de Mukonyong, un léger étranglement divise l'anomalie et celle-ci se prolonge vers le Nord, et s'associe à un ensemble granitique affleurant à Batibo et au Nord de Mukonyong (Hell et *al.* 2000). Les autres bas gravimétriques sont dues au remplissage sédimentaire (grès, argile, dolomites).

La ceinture australe est composée d'anomalie positive et négative. Au Sud-Ouest, dans la moitié de cette ceinture, nous avons un large fort gradient, orientée en moyenne d'E-W et d'amplitude $+0.00126$ mGal/km. Cette anomalie est encadrées au Nord, au Sud et par prolongement à l'Est des isogales fermés. De l'Est au centre de l'anomalie, nous avons un fort gradient, orienté d'Ouest au Sud-Est, et qui semble avoir pour origine le socle granito-gneissique ou une intrusion de roches Magmatiques dans la structure de haute altitude (la montagne d'OBAM) ou aux intrusions par la présence de failles (Ngando et *al.*, 2004, Ndougsa 2004). Plus au Sud, nous observons une formation structurelle de faible densité, d'amplitude -0.00081 mGal dans les terrains métamorphique de la montagne d'Oban. Ce fait est contradictoire, et peut être expliqués par le manque de considération des mesures d'anomalies hors des limites de la zone étudié (voir figure 1.2), partiellement on peut également l'associe aux problèmes affectant la carte géologique (figure 3.1). Des mesures de pesanteur seront conduites dans cette partie afin de résoudre cette contradiction par le dérivé vertical de la carte de Legeley-Padovani et *al.*, 1996.

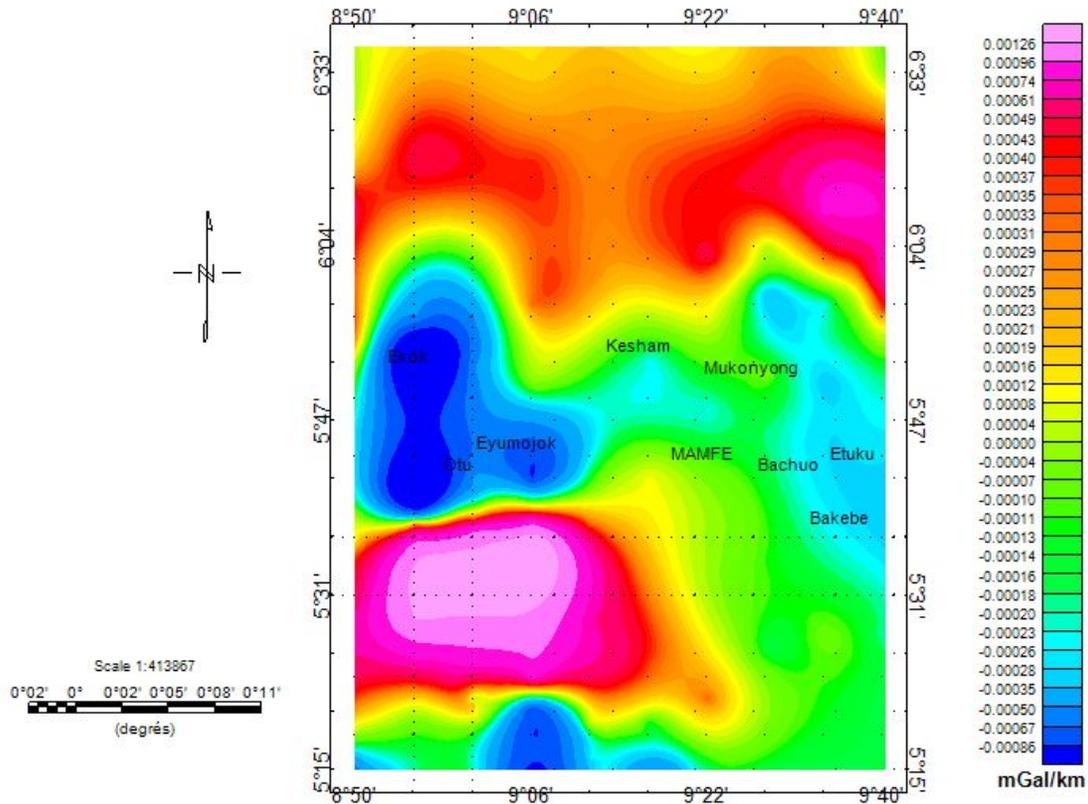


FIGURE 3.3 – Carte de dérivé vertical de l'anomalie de Bouguer de la zone de Mamfé

Analyse de la carte du gradient vertical obtenu de la carte de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996

Sur la figure 3.4, qui représente la dérivé vertical de la carte d'anomalie de Bouguer, nous remarquons cinq ensembles d'anomalies.

Le premier domaine, situé au Nord-Ouest de la carte englobe les villages Ekok, Eyumojok, Otu. Elle est toujours constitué d'un ensemble de trois faibles gradients d'amplitude minimale comprise entre $-0,00250$ mGal et $0,0022$ mGal. La plus large contenant Ekok et les moins larges englobant Eyumojok et Otu. Ils ont pour origine le remplissage de couche sédimentaire dans le bassin. Car cette zone de la partie Ouest du bassin est caractérisée par une épaisseur du bassin de 2000 m (Olade 1975).

Le deuxième domaine est un collier orienté N-SSW, caractérisé par une anomalie positive d'amplitude maximale $+0.002$ mGal. Ce collier est formé de trois structure d'un maximum gravimétrique

(+), qui est la signature gravimétrique d'un anticlinale dans cette zone. Elle se distingue de la structure d'anomalie minimale (-) d'un faible gradient de gravité, qui étrangle le collier à l'Ouest de Mamfé, semble être due au chevauchement des couches anciennes sur les couches plus récentes. L'anomalie située plus au Sud-Ouest de cette structure est associée aux affleurements des roches métamorphiques de montagne bordant le Bassin de Mamfé, ou aux intrusions volcaniques de la ligne volcanique du Cameroun. Cette déduction des faits est soutenue par la présence des affleurements de sous-sol et des roches basaltiques à certains secteurs comme au sud-est d'Eyumojok (Ngando et *al.* 2004, Ndougsa 2004).

Le troisième domaine est caractérisé par une anomalie négative -0.00252 mGal, orienté aussi du Nord vers le Sud-Ouest et se situant dans la zone du bassin sédimentaire. La forme des isogales de cette anomalie est caractéristique de la signature de structures synclinales ou des grabens obliques (Dumort 1965, Hell et *al.* 2000).

Le quatrième domaine, est une zone d'anomalie positive, d'amplitude $+0.0016$ mGal. Elle a une orientation N-S et elle semble avoir pour origine une intrusion de roches volcaniques dans le bassin sédimentaire, ou une remontée du socle. Cette déduction est soutenue par la présence d'intenses mouvements tectoniques. (Ndougsa 2004)

Le cinquième domaine est une zone d'anomalie négative, localisée sur la partie Nord-Est, Est et Sud-Est de la carte. Elle est composée de deux anomalies. Une anomalie large d'amplitude minimale -0.0005 mGal/km, orientée E-W et une plus petite de même amplitude et de direction NE-SW. L'anomalie large semble être due à la formation de faible densité de structures (roches sédimentaires) ou au crétacé de base (figure 1 et 2). Celle plus petite est due à des intrusions des formations sédimentaires semblables à celles du bassin dans les régions de Bakout et Abat (Dumort 1965, Hell et *al.* 2000). Ces différents domaines sont séparés par un gradient de direction Sud-Ouest vers le Nord-Est et qui caractérise les effets de discontinuités entre les différentes structures.

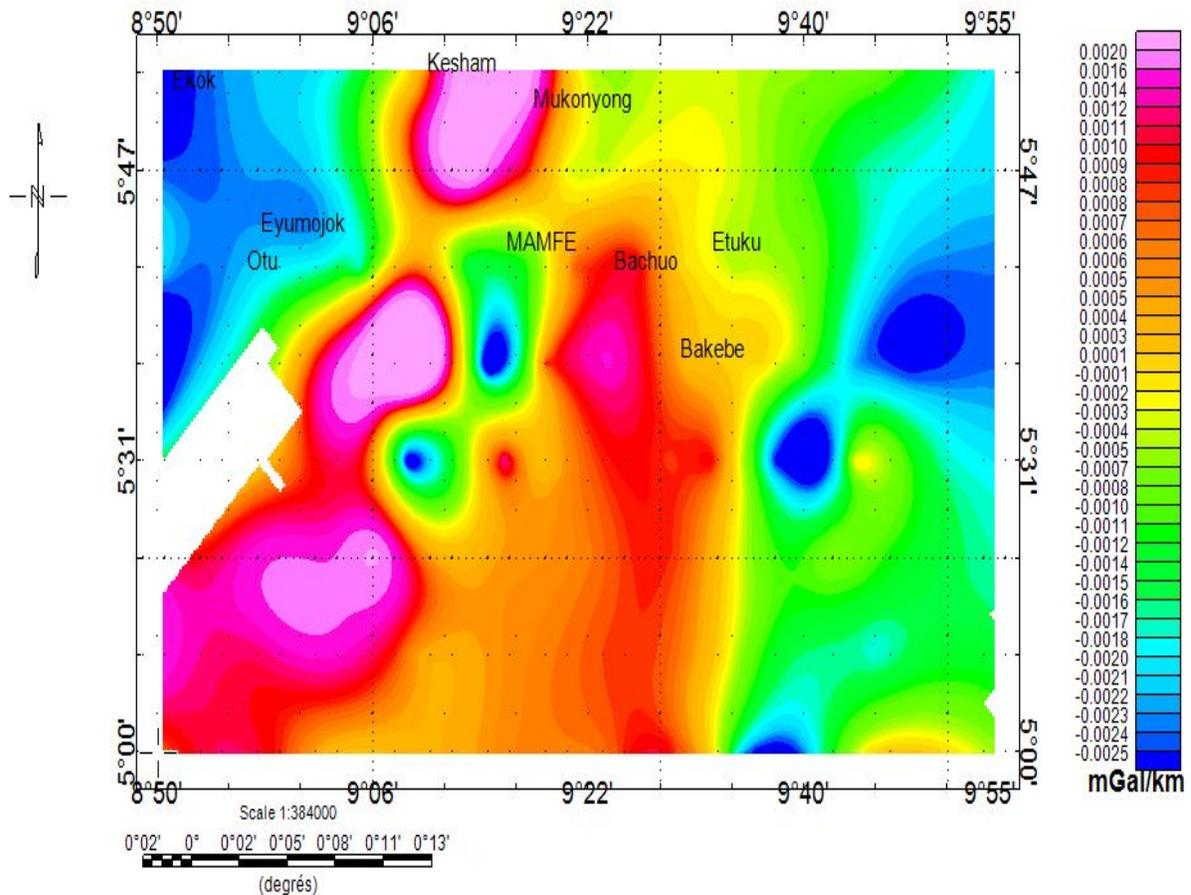


FIGURE 3.4 – Carte de dérivé vertical de l'anomalie de Bouguer de la zone du bassin de Mamfé

3.2.2 Gradient Horizontal de la carte d'anomalie de Bouguer

Le dérivé horizontal de la carte d'anomalie de Bouguer, nous permet d'avoir un aperçu des zones de cassures du socle et le prolongement latéral de leur faciès sur la zone d'étude. Cette carte expose les signatures gravimétriques des anomalies de courtes longueurs d'ondes dont plusieurs sont encore inconnues dans la région

Analyse du gradient horizontal obtenu de la carte d'anomalie Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991

Afin de mieux cerner les structures géologiques relativement peu profondes dans la zone de Mamfé, nous avons procédé à un calcul du dérivé horizontal dans la direction x et y de la grille des valeurs de l'anomalie de Bouguer (carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991) (figure 3.5). L'examen des gradients obtenus, nous montre une répartition inéquitable des forts gradient et de faibles gradient. On a ainsi en majorité les zones à faibles gradient, avec des formes allongés dans la direction NW-SE et de forme circulaire. Les zones à fort gradients minoritairement représentés, de forme diverse, mais principalement orienté dans la direction NW-SE. Cette carte fait ressortir des zones de contacts superficielles connues et inconnues dans la région à savoir :

Entre Ekok, Eyoumojok et Kesham, est localisé une zone de gradient élevé, qui à une amplitude de 0.00045 mGal/km et est orienté du NW-SE. Elle marque la signature d'une zone de contact ou d'une structure élevée.

La zone majeure de faible gradient englobant Mamfé, Mukonyong, Bachuo et Bakebe, est séparé sur plusieurs kilomètre de l'autre zone majeur de faible gradient localisé au Sud de Otu par un mineur fort gradient, qui correspond à un accident tectonique d'origine superficielle et orienté NW-SE, ou à une intrusion de roches volcanique de l'axe volcanique camerounais (Ndougsa et *al.*, 2007). Au Sud-Ouest et au Sud, se localise une zone majeure de fort gradient caractérisant la signature d'une zone de contact. De même qu'au Nord-Est de Mukonyong.

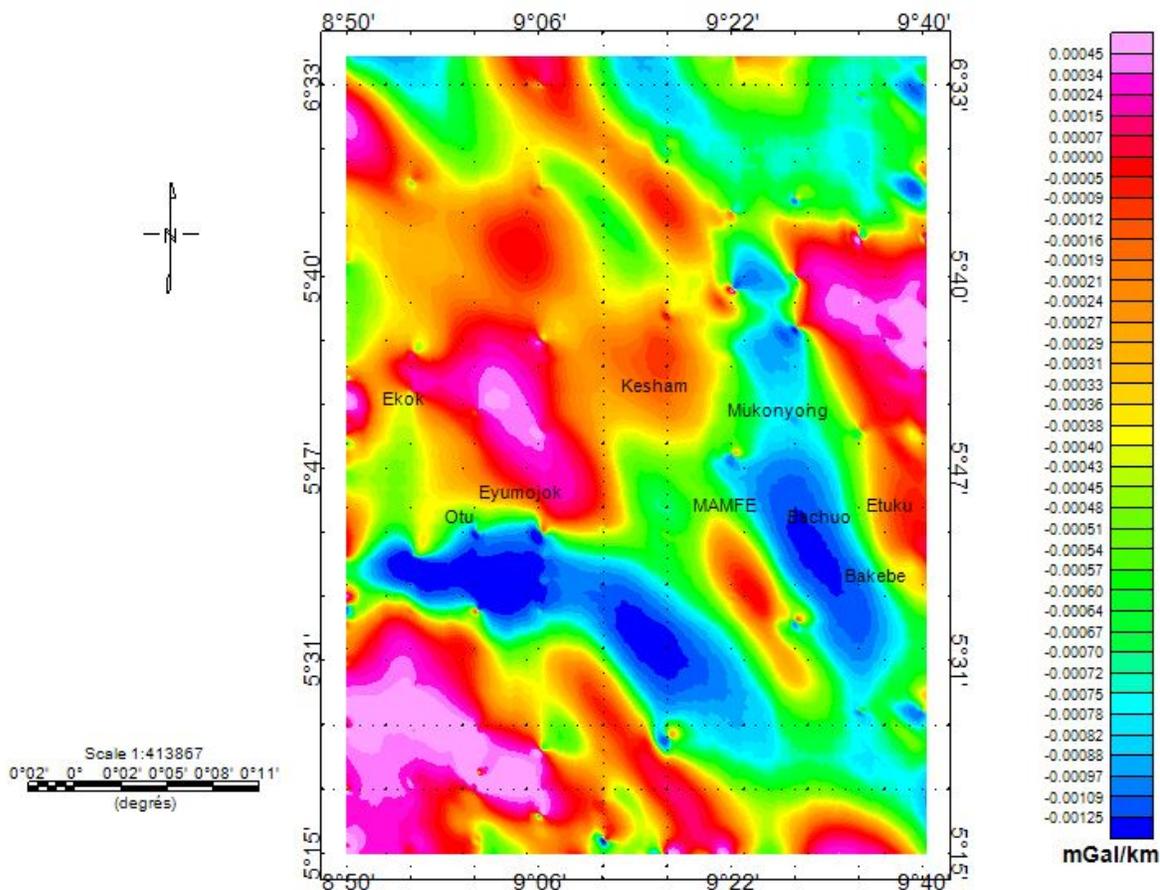


FIGURE 3.5 – Carte du dérivé horizontal des anomalies de Bouguer de la zone de Mamfé

Analyse du gradient horizontal obtenu de la carte d’anomalie Bouguer de Legeley-Padovani et al., 1996

Sur la carte des anomalies de Bouguer, nous cherchons à déterminer les structures géologiques relativement peu profondes dans le bassin et des limites méridionales et orientales de la zone de Mamfé. Procédant de la même façon que la précédament, nous déterminons le dérivé horizontal suivant la direction x et la direction y de la carte des anomalies de Bouguer (figure 3.6). L’examen de cette carte nous montre des anomalies de différentes formes, et orienté NW-SE, NE-SW et N-S. La zone de fort gradient se localise à l’ouest sur la moitié de la carte, et au Nord-Est avec une amplitude globale de 0.0002 mGal/km. La zone de faible gradient se localise presque au centre de la carte englobant les villes Mukonyong, Mamfe, Bachuo, Bakebe, Etuku. Elle se prolonge plus au sud, et s’intercale entre deux zone de fort gradient, caractérisant ainsi la présence d’un accident tectonique

d'origine surperficielle et orienté N-S.

La zone Ouest englobant Eyumojok, Otu, et Ekok est composé d'anomalies de formes circulaires et de fortes intensités, qui caractérisent les corps intrusifs (dykes) dans le Bassin Sédimentaire et le contact schiste-granite dans le socle. De même qu'au Nord-Est d'Etuku, on localise aussi un corps intrusif de forte intensité qui peut être d'origine volcanique dans le socle.

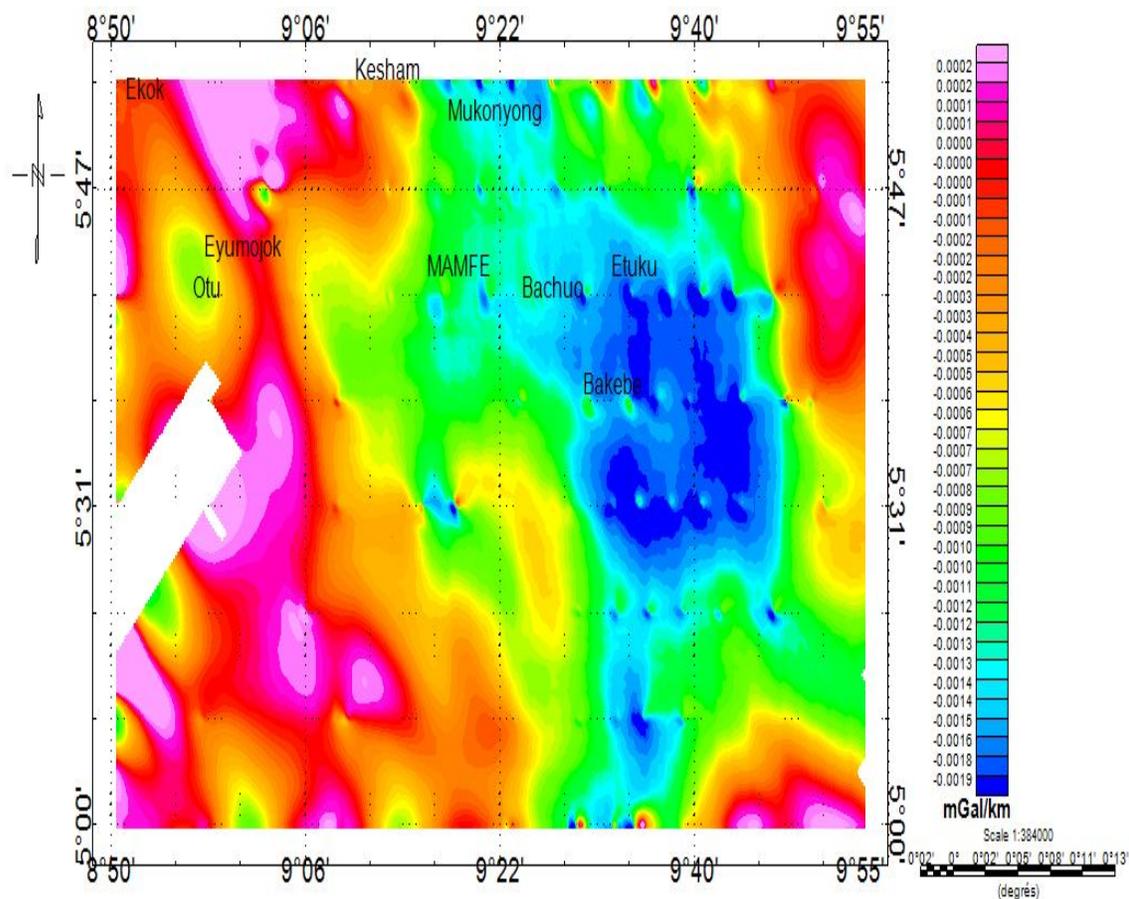


FIGURE 3.6 – :Carte du dérivé horizontal des anomalies de Bouguer

3.2.3 Analyse multi-échelle des maximas des gradients horizontaux et cartographie des linéaments

L'application du prolongement vers le haut de la carte d'anomalie de Bouguer a pour but d'atténuer voir de supprimer à chaque élévation les anomalies de courtes longueurs d'ondes et amplifier les anomalies de grandes longueur d'onde localisées dans les profondeurs du sous-sol. Ensuite, il sera

question d'appliquer le dérivé horizontal dans les directions x et y à chaque gille de prolongement obtenue et de localiser les maxima des gradients. L'analyse des maxima du gradient horizontale de la carte d'anomalie de Bouguer prolongés vers le haut respectivement à des altitudes de : 3 km ; 6 km ; 9 km ; 12 km, permet d'obtenir la direction des linéaments. Les résultats des cartes de linéament obtenues nous permet de constater la présence d'une faille localisé entre Ekok et Kesham responsable de l'anomalie positive sur les cartes précédentes dans la zone du bassin sédimentaire. La carte ci-dessus, nous présente les différents linéaments.

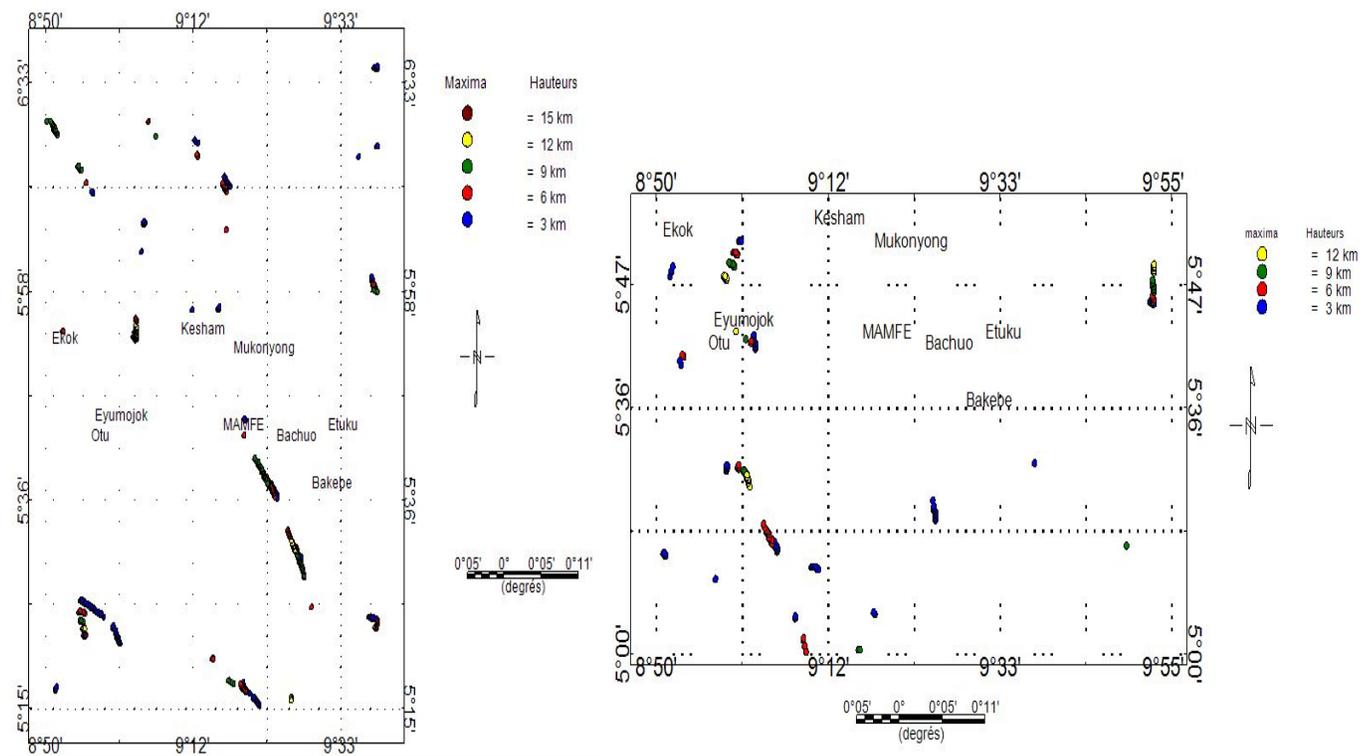


FIGURE 3.7 – Maxima du gradient Horizontal prolongé à 3, 6, 9 et 12 km

3.2.4 Détermination des linéaments

La cartographie des linéaments associés aux contacts géologiques est obtenue par superposition de la carte de gradient horizontal et de la carte des maxima des gradients. Les linéaments se tracent facilement suivant l'évolution des maxima des gradients horizontaux. Les cartes ci-dessous représentent la superposition des maxima locaux du gradient horizontal déterminés sur la Bouguer et ses prolongées vers le haut à une série d'altitudes allant jusqu'à 12 km, pour la carte de gradient horizontal de Fairhead et *al* (figure 3.8 à gauche) et à 12 km pour la carte de gradient horizontal de

Legeley-Padovani et al (figure 3.8 à droite)

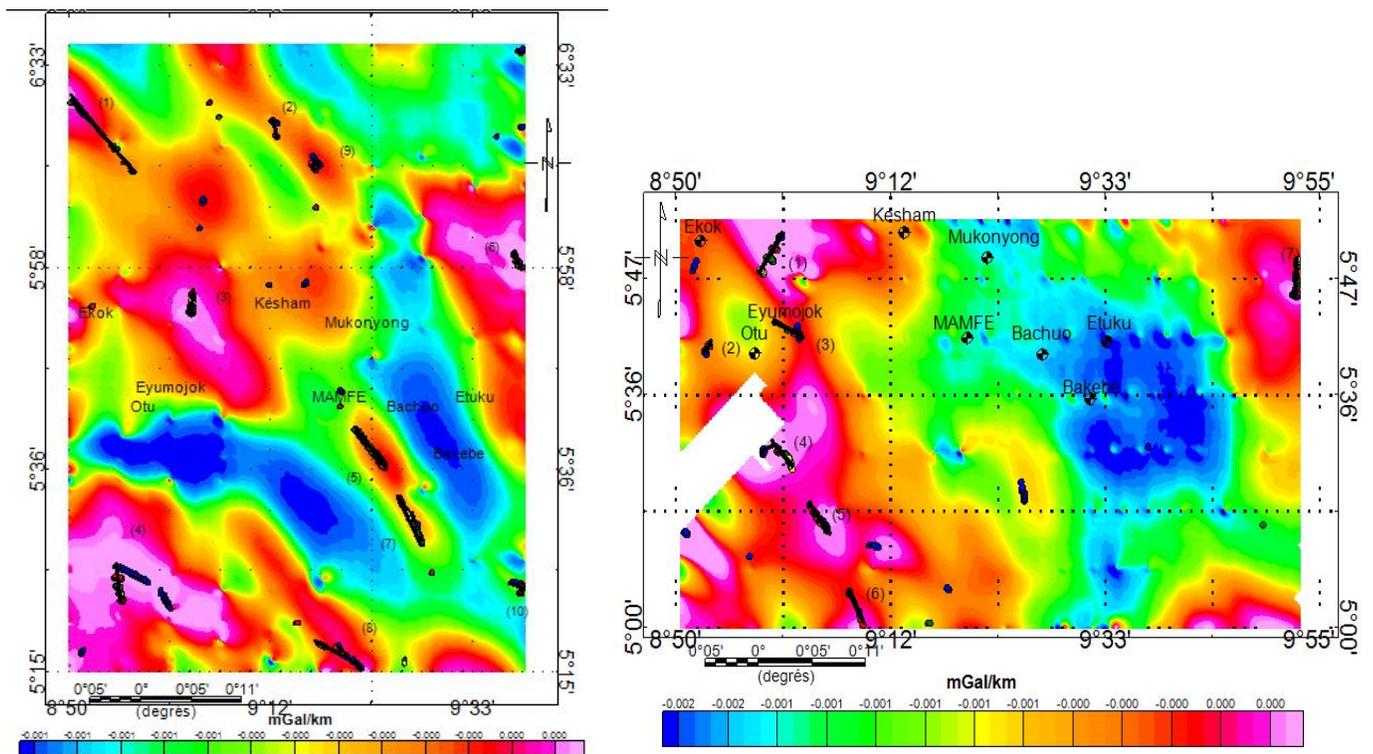


FIGURE 3.8 – Cartographie des linéaments à gauche et à droite.

La carte des linéaments nous a permis d'établir les tableaux 3.1 et 3.2, dans laquelle sont consignées les différentes orientations des linéaments de la zone d'étude. Ces linéaments présentent les orientations N-S, WNW-ESE, NE-SW, NW-SE, NNW-SSE avec une prédominance des directions WNW-ESE. Dans la zone du Sud-Est, on observe des linéaments de direction NNW-SSE d'une zone de fracturation supposées d'un couloir de mylonitique. Cet ensemble de faits structureaux semble alerter d'une intense activité tectonique en profondeur. (Ndougsa 2004).

Numeros du linéament	orientation
(1)	N43°E
(2)	N45°E
(3)	N112.5°E
(4)	N135°E
(5)	N135°E
(6)	N145.5°E
(7)	N180°E

TABLE 3.1 – Orientation vu de la carte des linéaments droite de la zone d'étude .

Numeros du linéament	orientation	Numeros du linéament	orientation
(1)	N135°E	(6)	N135°E
(2)	N157.5°E	(7)	N135°E
(3)	N180°E	(8)	N112.5°E
(4)	N157.5°E	(9)	N225°E
(5)	N135°E	(10)	N112.5°E

TABLE 3.2 – Orientation vu de la carte des linéaments gauche de la zone d'étude .

3.3 Application de la déconvolution d'Euler aux Cartes d'anomalie de Bouguer

Comme nous l'avons déjà signalé, la déconvolution d'Euler est une méthode qui nous permet la localisation des contacts gravimétriques dans un plan horizontal, et détermine leurs profondeurs. Les indices peuvent prendre les valeurs entre 0 et 2 pour le champ gravimétrique, caractérisant ainsi les modèles géologiques simples. Les résultats chiffrés que nous avons obtenues, ont un caractère quantitatif et nous permettra ainsi d'estimé la profondeur des sources d'anomalies du Bassin et dans ses environs.

3.3.1 Localisation des contacts superficielles

Rappelons que, les solutions d'Euler pour l'indice structural $N=0$ représentent en gravimétrie, les structures géologiques à savoir les failles à grand rejet, les gradins, les horsts et les grabens, ceux d'indice structural $N = 1$, représentent les filons minces, les dykes et les failles à faible rejet vertical. Ils sont localisés par l'application de la déconvolution d'Euler sur la carte du gradient vertical qui permet de nous intéresser uniquement aux structure superficielles. Pour cela, nous avons adopté des indices structuraux $N = 0, 1$. En ce qui concerne la taille de la fenêtre et au vu de la taille des structures de la région, nous avons adopté une valeur de $20 \times 20 m^2$

a) Application de la déconvolution d'Euler à la carte du gradient vertical pour un indice $N = 0$

Solutions obtenues de la carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et *al.* 1991

Les solutions d'Euler calculées sur la figure 3.9, avec une tolérance $dZ = 15 \%$, nous montrent des structures de failles détectées donc les profondeurs peuvent atteindre 3175 m. Elles ont des orientations suivantes : NW-SE, E-W, NE-SW, et couvrent toute la surface d'étude. Les observations géologiques précédentes n'ont pas signalé pareille situation, ainsi un traitement avec une tolérance d'erreur de $dXY = 20 \%$ sur la localisation, est fait sur ces solutions. Nous obtenons les solutions, qui gardent les mêmes orientations (figure 3.10).

Nous observons aux environs d'Ekok, un alignement de solutions d'Euler, orienté ENE-WSW. Cette alignement de solutions peut représenter un gradin ou une faille avec des profondeurs variant de plus de 2467 m. Cette anomalie semble correspondre à une structure en affleurement de la montagne de Bamenda avec le bassin. De plus au Sud, on observe une faille orienté N-S, qui se localise dans le bassin sédimentaire avec une profondeur de 976.1 m, qui peut être considéré comme un centre de dépôt ou de piégé à hydrocarbure immigrant de la cuvette de Bénoué. Au Nord-Est, on observe une superposition de plusieurs solutions, donc la couleur noir nous permet d'estimer sa profondeur au plus à 2706 m.

Tout autour des villages Otu et Eyumojok, nous observons des lignes de solutions d'Euler représentant des failles, avec des profondeurs pouvant varier entre 619.3 à 976.1 m. Entre Kesham et Ekok nous observons une superposition de solution, de profondeur 2706 m et 24670 m, qui peut être

responsable de l'anomalie a fort gradient observée sur la carte du dérivé vertical. L'Est de Mukonyong présente une ligne courbée de failles, avec des profondeurs variant entre 1286 à 2706 m et au Nord-Est de Kesham, on observe un groupement de solutions de profondeur 976.1 m. Au Nord de Bachuo, on observe un regroupement de solutions qui caractériseraient les limites des corps intrusifs dans le bassin de profondeur 1490 m. De même autour de Mamfé, il y a une superposition de solutions de profondeur 1958 m au Nord et à l'Ouest, et un regroupement au Nord, au Nord-Ouest et au Sud. Ces regroupements ont des profondeurs de 976.1 m et 1490 m. Ces différents localisations de solutions d'Euler, qui se répartissent sur tout le Bassin, confirment bien les précédents résultats (Ndougsa 2004)

Au Nord et au Sud, c'est-à-dire dans la zone des montagnes d'Oban et de Bamenda, nous observons aussi des solutions d'Euler, alignées ou regroupées, caractérisant les cassures du socle granito-gneissique (faille, graben, horts), ou des intrusions des roches magmatiques. Ces structures géologiques affectant le socle et sont orientées en générale d'E-W et NE-SW, avec des profondeurs de 619.1 m à plus de 2706 m.

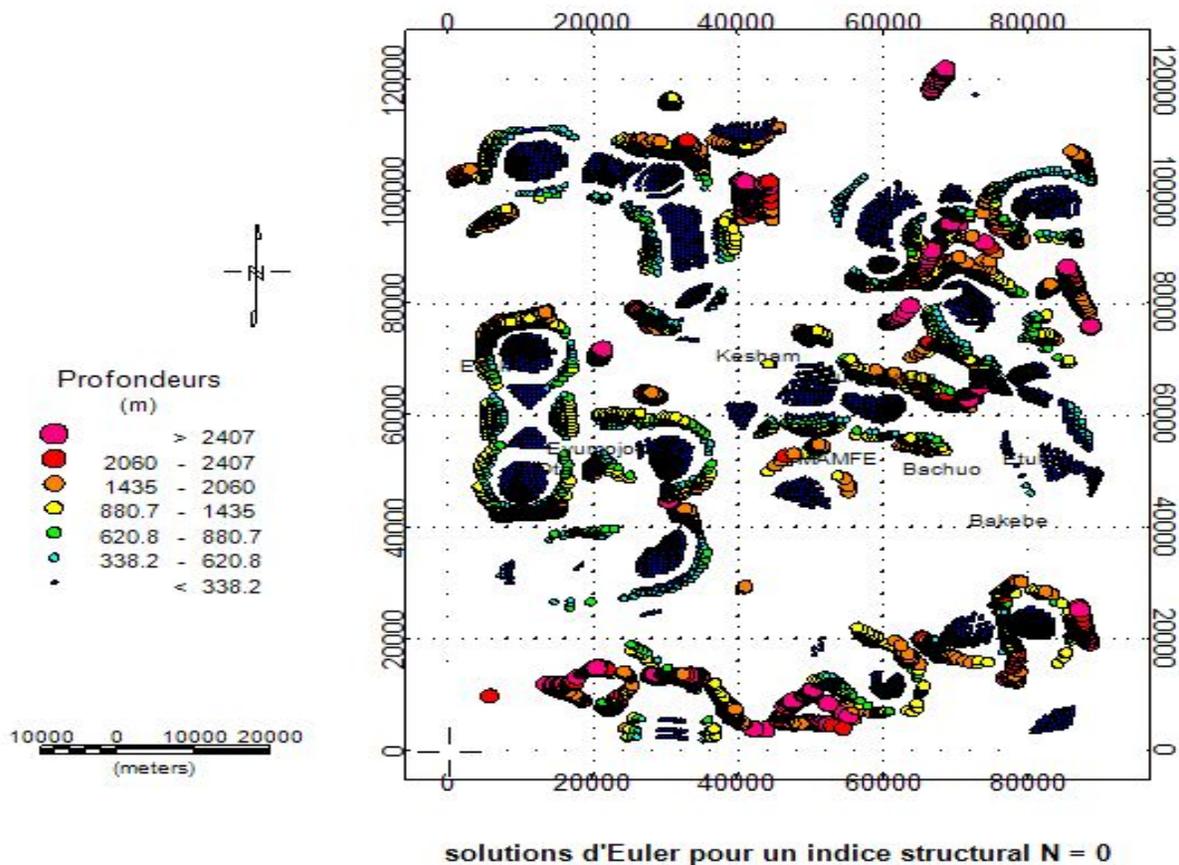


FIGURE 3.9 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 0$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$ et Tolerance : $z = 15 \%$

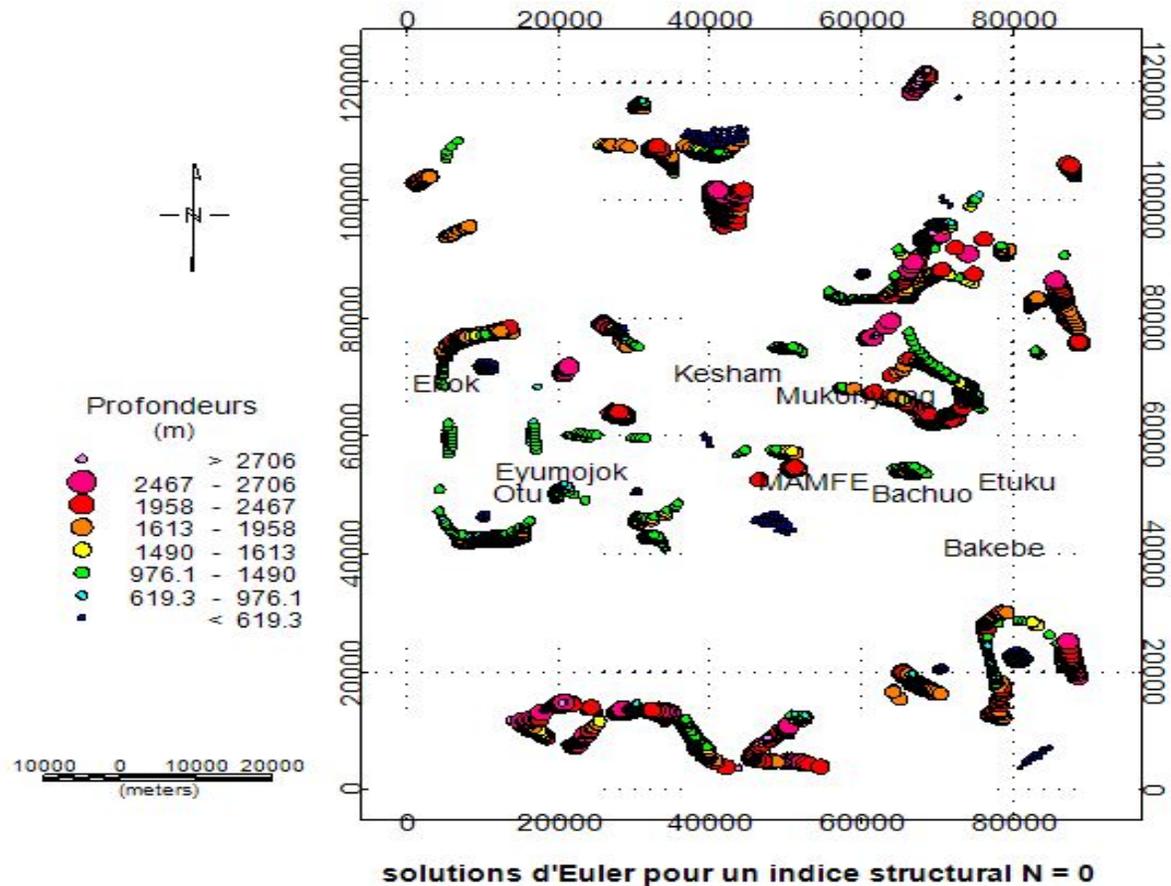


FIGURE 3.10 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 0$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$. Tolerance : $dxy = 20 \%$

Solutions obtenues de la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.* 1996

Les solutions d'Euler obtenues dans la figure 3.11, ont des profondeurs pouvant atteindre 3182 m et on observe trois grandes orientations des structures que sont : NE-SW, NW-SE et N-S. Elles occupent toute la zone d'étude, et peuvent être composées de solutions fallacieuses, du fait qu'elles que l'erreur sur la localisation n'a pas été défini. La tolérance dXY , étant pris à 20 %, la dimension de la cellule à 320 et la taille de fenêtre étant pris à $20 \times 20 \text{ m}^2$ pour une étendue de structure de 6400 m. la représentation des solutions d'Euler, obtenues se répartissent sur dans le Bassin et sur ces limites orientales et méridionales. Nous observons ainsi des alignements et des regroupements de solutions d'Euler (figure 3.12) :

A Etuku et à Bakebe, nous observons un regroupement de solutions d'Euler caractérisant les intrusions de roches magmatiques au niveau du bassin. Ces regroupements ont une profondeur inférieure à 629 m. Au Nord-Est de Bakebe, nous observons un ensemble de solutions alignés et représentés sous formes elliptiques et caractérisant les lignes structurales sécantes, qui marqueraient probablement la bordure orientale du bassin (Ndougsa 2004). Elles ont des profondeurs de 629 m à plus de 2931 m.

A Bachuo, on observe une superposition de solutions de profondeurs 2931 m et 1124 m, qui semble caractériser ici des failles verticales et de directions structurales N-S et E-W. Au Nord-Ouest, une localisation d'alignement de solutions de profondeur croissante représentant un garben ou une faille ou encore un gradin, orienté NE-SW.

A Mamfé, nous localisons un alignement de solutions, qui se prolonge au Sud et s'entrecroise avec d'autres alignements venus du Nord et de l'Ouest. Elles représentent les cassures superficielles du socle, qui se prolonge jusqu'au bassin, et caractérisent des failles doublées d'intrusion de roches.

Au Sud-Est de Mukonyong, nous observons une localisation d'alignement de solution d'Euler, orienté de NE-SW et caractérisant une ligne de gradin de profondeurs 2356 m et aux limites Nord et Sud la profondeur est de 1124 m. A Kesham au Nord-Ouest de Kesham, nous avons une superposition de solutions de profondeurs plus de 2831 m, qui caractérise une faille verticale.

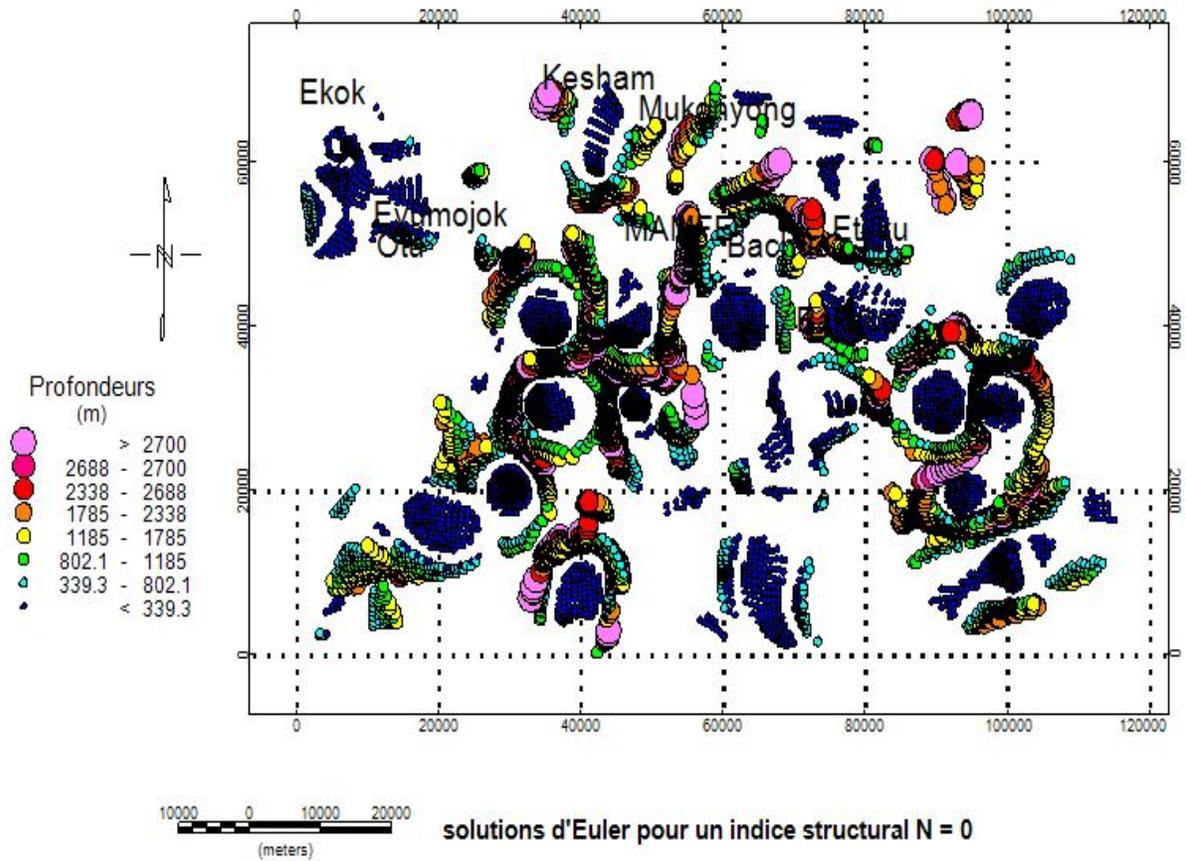


FIGURE 3.11 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 0$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$.

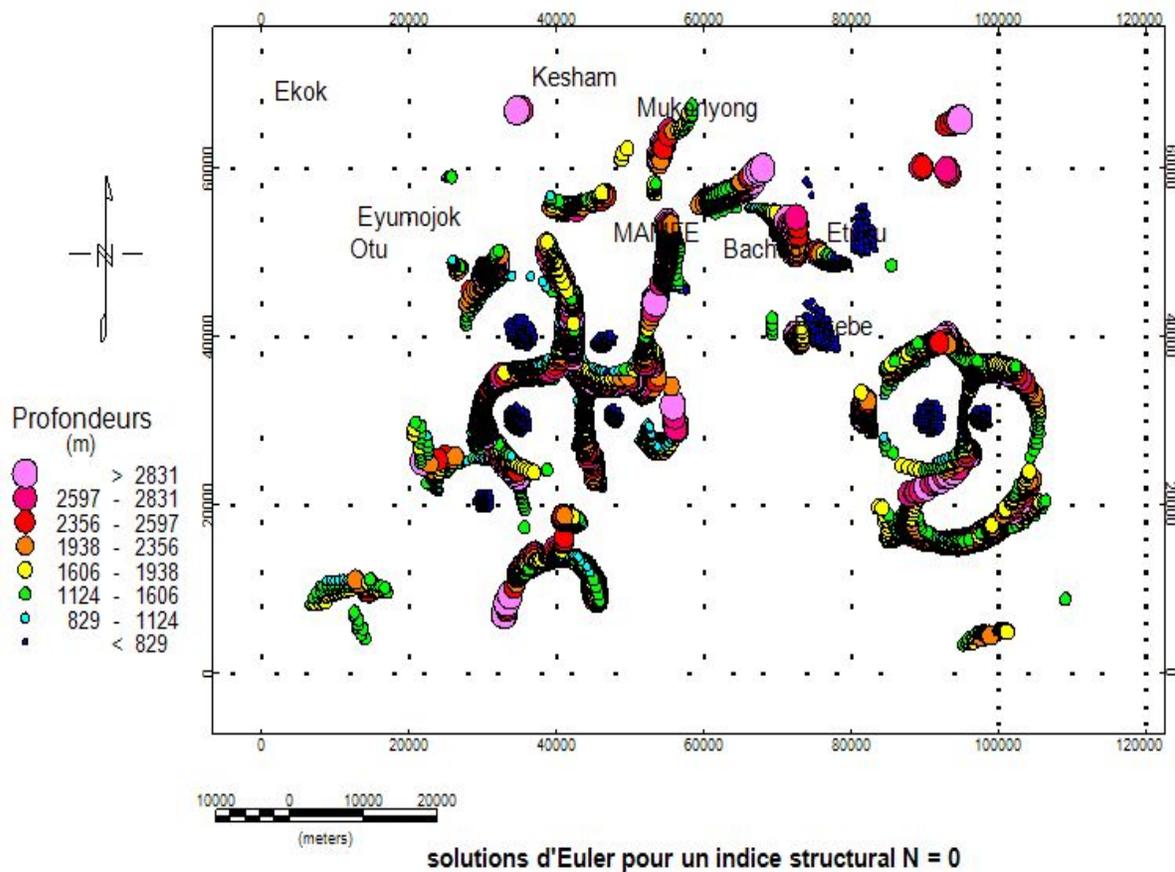


FIGURE 3.12 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 0$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$. Tolerance : $dxy = 20 \%$

b) Application de la déconvolution d'Euler à la carte du gradient vertical pour un indice $N = 1$

Nous rappelons que les solutions d'Euler pour l'indice structural $IS = 1$ est le mieux adapté en gravimétrie, pour la localisation des structures géologiques à savoir : les filons minces, les dykes et les failles à faible rejet vertical. La localisation de ces structures s'est faite par l'application de la déconvolution sur la carte du dérivé verticale, qui a pour but de localiser les structures superficielles correspondant à cet indice structurel et de donner leurs profondeurs.

Solutions obtenues de la carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et *al.* 1991

Les solutions d'Euler obtenues sont représentés sur la figure 3.13, elles indiquent des profondeurs pouvant atteindre 3190,5 m. Elles ont une orientation moyenne NW-SE et sont composées d'alignements, de regroupements et de superpositions des solutions. Elles se localisent dans la moitié Est du bassin, au Nord, et au Sud du Bassin.

Au sud de notre zone d'étude, nous observons des solutions de formes linéaires et superposés, réparties en différent endroit du Sud-Est au Sud-Ouest. La profondeur de ses différentes structures détectés varient entre 1295 à 2733 m au Sud-Est, et de 1891m à 2146m voire même plus de 2964 m au Sud-Ouest. Elles caractérisent les failles ou les filons au Sud-Est et au Sud.

Au Sud de Mamfé, les solutions d'Euler ont des formes ponctuelles et sont observent pour des profondeurs inférieure ou égale à 1101m. Elles peuvent caractérisés un ensemble de filon de minerais.

Au environ de Mukonyong, nous observons un alignement de solutions, d'orientation NW-SE , qui caractérises les failles à faibles rejet verticales. Au sud de Mukonyong, ces structures ont une profondeur de 2964 m et au Nord-Est, leurs profondeurs varient de 1492 m à 2733 m. Ces solutions sont localisées approximativement sur la limite entre le bassin sédimentaire et la montagne de Bamenda.

Au Nord de notre zone d'étude, nous observons des alignements de directions N-S, NE-SW, WNW-ESE. Elles caractérisent les failles à faible rejets, avec des profondeurs de 1891 m à 2733 m.

Pour les différentes formes de représentations des solutions d'Euler, nous identifions les formes linéaires aux filons ou au dyke et les formes superposées aux failles à faibles rejet verticales.

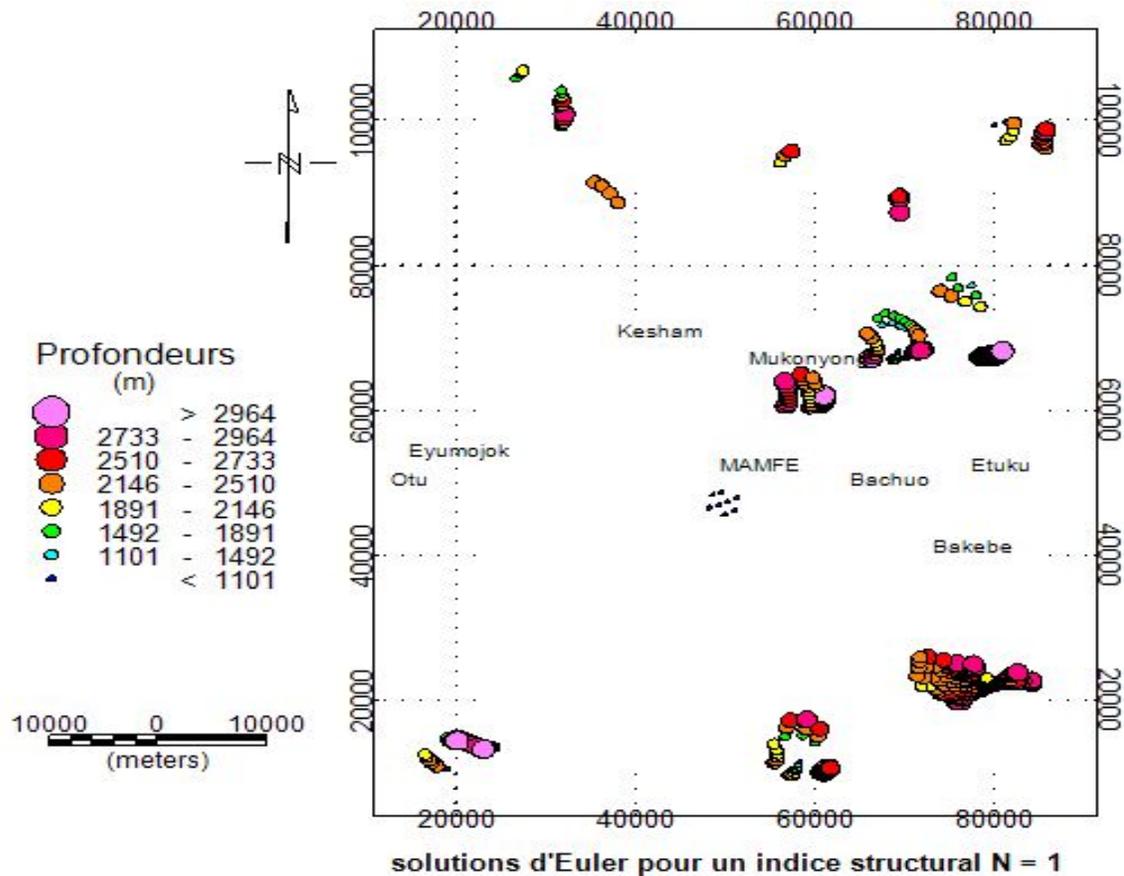


FIGURE 3.13 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 1$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$.

Solutions obtenues de la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.* 1996

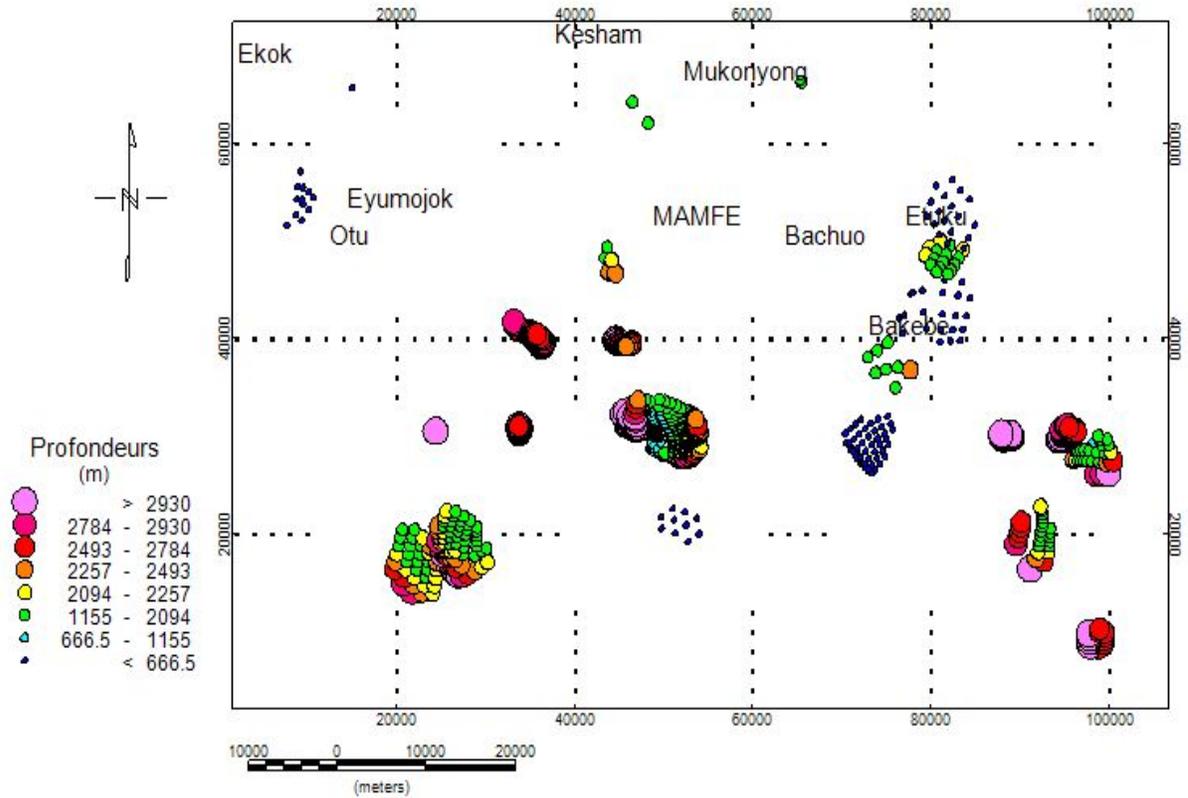
Les solutions d'Euler obtenues sont représentés (figure 3.14), elles indiquent des profondeurs pouvant atteindre 3148.63 m. Elles ont une orientation moyenne NW-SE et sont composées de solution d'Euler suivante différentes formes et localisé en différent endroit à savoir :

Au Nord-Ouest de Eyumojok, les solutions d'Euler sont de formes linéaires et d'orientation NW, leur profondeur est inférieure ou égale à 666.5 m.

Au Sud-Ouest et à l'Est de Mukonyong, nous observons les solutions d'Euler sous formes uniques et de profondeurs et variant entre 1155 à 2096 m.

A Etuku et Bakebe, nous observons les solutions d'Euler de forme linéaire et de point, de même plus au Sud de Bakebe. Ces solutions ont des profondeurs variant de 666.5 à 2242 m.

Au Sud, au Sud-Est et au Sud-Ouest, nous observons des solutions de formes regroupées, de point et linéaire. Les solutions regroupés ont une profondeur variant de 1155 à 2493 m, ceux de qui sont linéaire variant de 666.5 à plus de 2930 m et les points ont une profondeur de 2930 m, 666.5 m.



solutions d'Euler pour un indice structural $N = 1$

FIGURE 3.14 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 1$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$.

3.3.2 Localisation des structures profondes

La localisation de contacts gravimétriques dans un plan horizontal est faite par application directe de la déconvolution sur la carte d'anomalies de Bouguer prolongée à 2 km vers le haut, pour s'intéresser uniquement aux structures profondes dans la zone d'étude. Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse à la détection des sources, la détermination de leurs profondeurs et la localisation des systèmes de failles et contacts dans la région. Pour cela nous avons adopté un indice structural $N = 0$.

Il sera question de déterminer les structures profondes d'une étendue de 10 km, pour une dimension de la cellule de 500 et de la fenêtre de $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$.

a) Application de la déconvolution à la carte d'anomalie de Bouguer de Fairhead et *al.* 1991

La carte prolongé à 2 km vers le haut (carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.* 1991), donne par application de la déconvolution d'Euler les solutions (figure 3.15). Nous observons des alignements et des regroupements de solutions d'Euler dans la zone d'études.

Au Sud de Otu, nous observons un regroupement de solutions caractérisant soit un graben, soit un horst localisé sur le flanc Sud du bassin. Cette structure géologique à une nature profonde, car elle a déjà été localisé pour des contacts superficielles. Ces failles profondes se prolongent vers l'Est tout au long de la limite Sud du bassin.

A l'Est de Eyumojok, nous localisons un alignement de solutions de direction N-S, et de profondeurs -3086,06 m qui semble caractériser des anticlinales dans la zone du bassin (Ndougsa 2004)

Au Nord-Est, nous observons des alignements de solutions de direction N-S, et de profondeurs négatives qui semblent caractériser les structures d'anticlinales et de synclinales.

Au Sud-Ouest, nous observons un regroupement de solutions, de hauteurs -2444 m à -502 m, encadrés au Nord et au Sud par un alignements de solutions de profondeurs 397 m à 909 m. Cette ensemble structurale semble être un anticlinale encadré par deux failles potentielles dans la zone du socle.

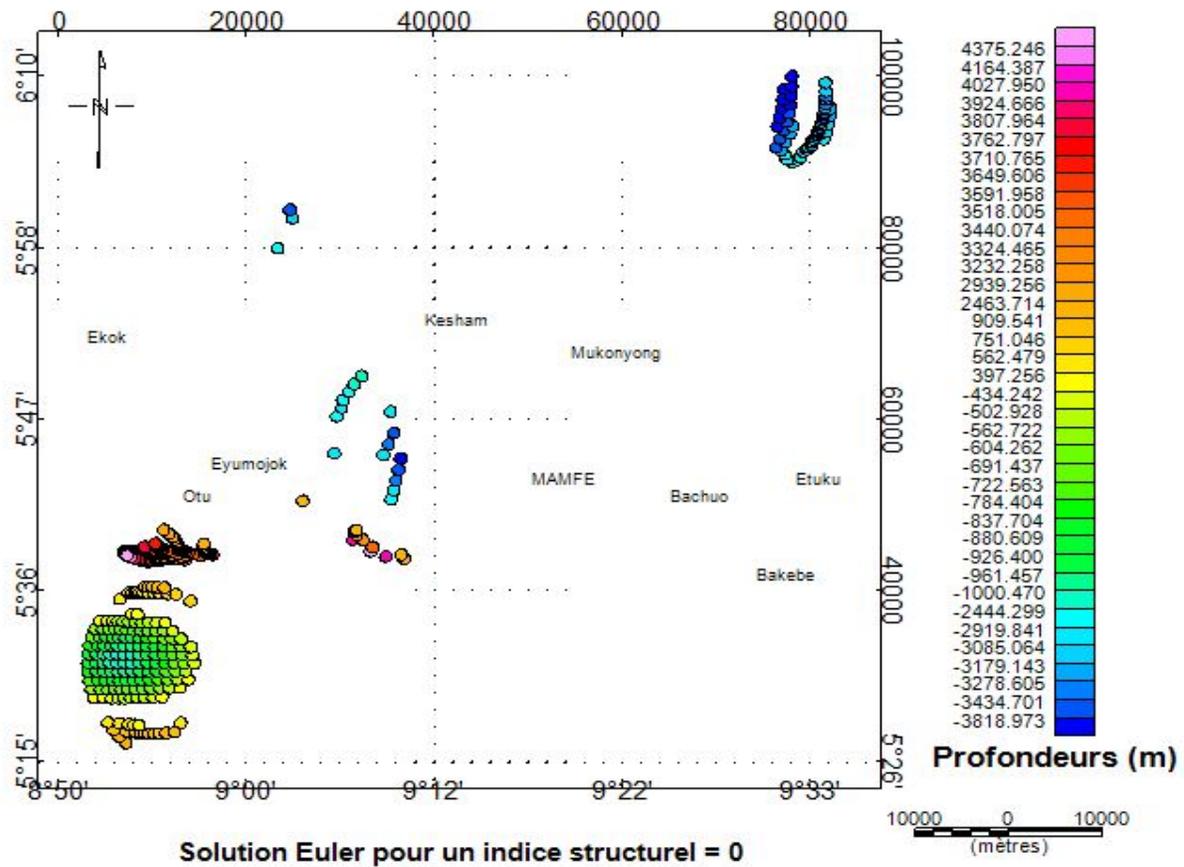


FIGURE 3.15 – Carte des solutions d’Euler pour les paramètres : $IS = 1$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$.

La figure 3.16 ci-dessous, est la carte des solutions d’Euler, prolongées à 4 km. La localisation des contacts profonds se situent au Sud-Ouest de la zone d’étude. Au Nord de cette carte, on observe des alignements de solutions de profondeurs 1155.6 m à 4559.95 m. Ces alignements s’étendent sur au moins 10 km, et semble être des failles observés au Sud de Otu, et sur les limites Sud approximatives du bassin. Elles ont des directions NE-SW, E-W et NW-SE. A l’Ouest de notre carte, nous avons des alignements de solutions de profondeurs négatives -1367 m à -1689.63 m. Elles caractérisent des plis présents dans le socle ou des formations de couvertures, des granites affleurants sur lesquels reposent d’Ouest en Est les gneiss et les embrichites à biotite, à deux micas et disthène (Dumort 1965, Hell et al. 2000).

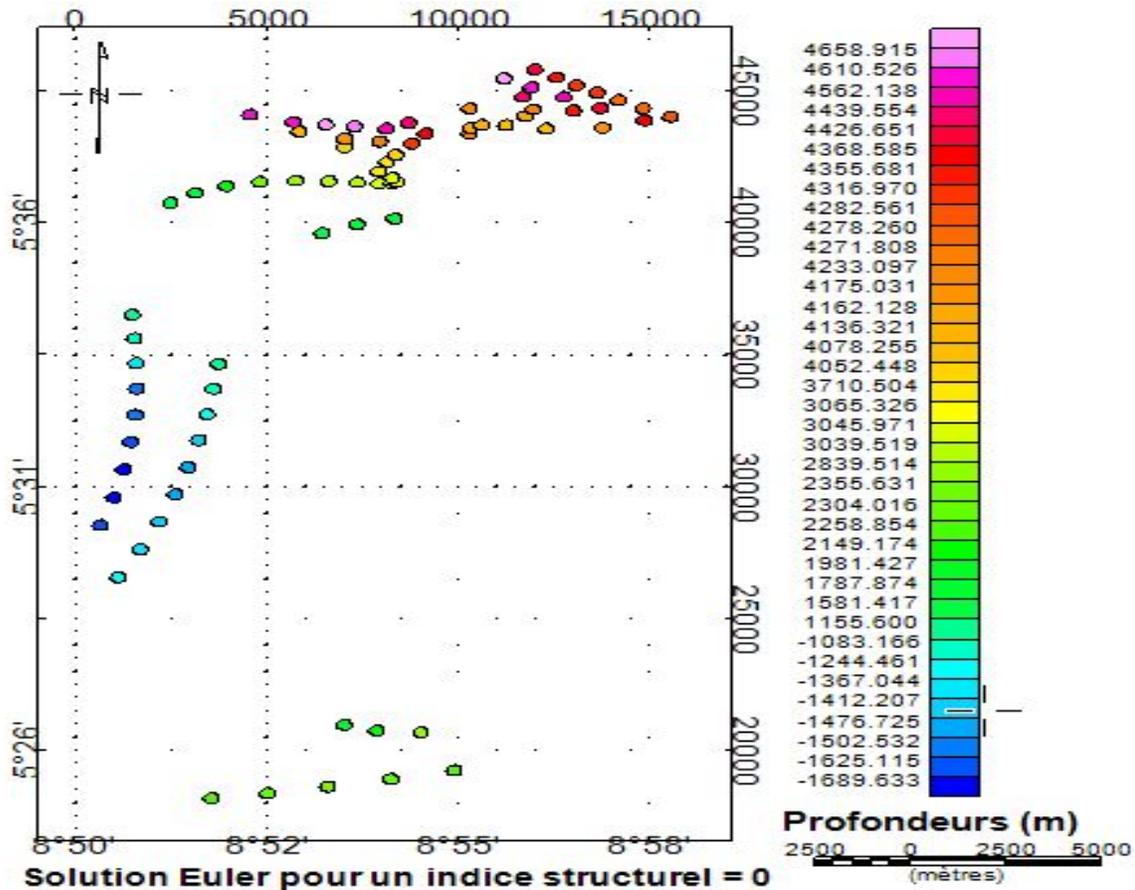


FIGURE 3.16 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 0$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$.

b) Application de la déconvolution à la carte d'anomalie de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.* 1996

La figure 3.17 nous présente les solutions d'Euler des structures étendues et profondes :

Entre Ekok et Kesham, nous observons un alignement de solution de profondeur variant de 3894.68 m à -2500 m dans la direction ENE-WSW, caractérisant un synclinal et un anticlinal déjà signalé sur les cartes de gradient vertical. De même, nous observons entre Kesham et Mukonyong une superposition de deux solutions de profondeurs -2500 m, caractérisant un anticlinal.

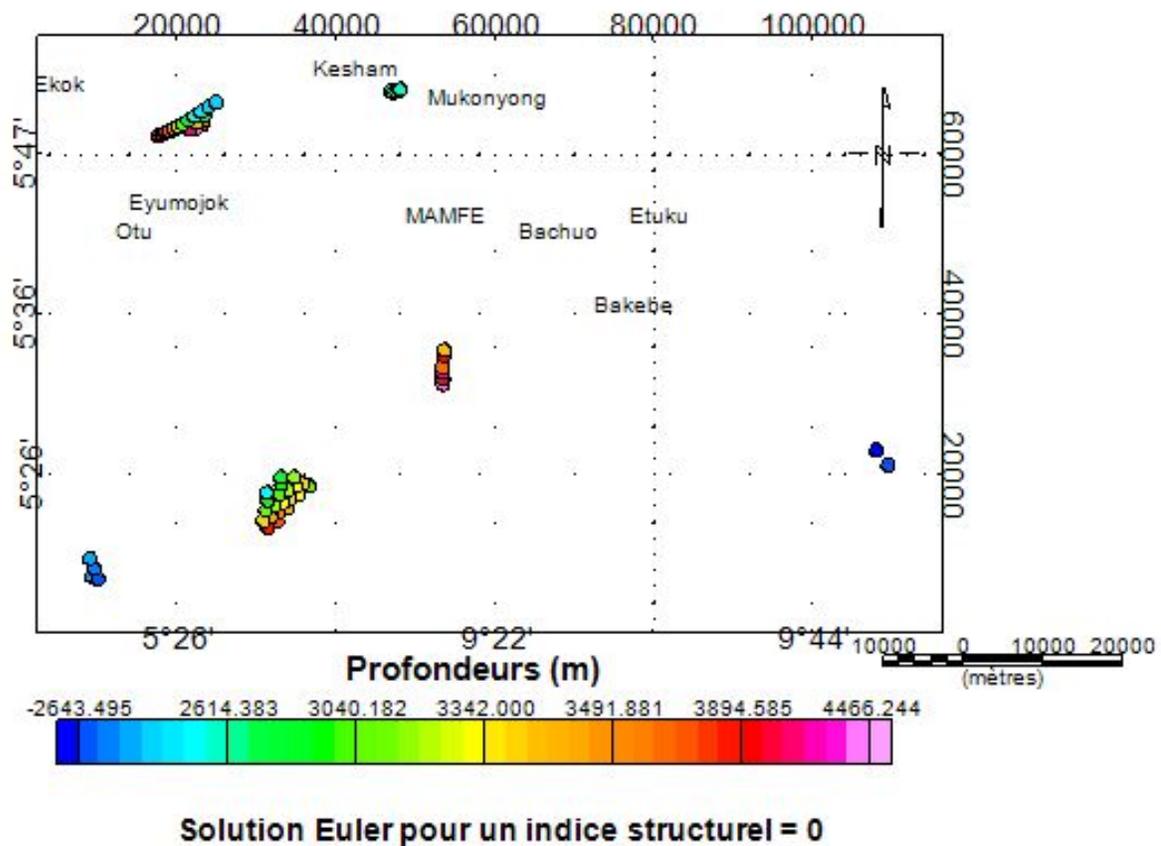


FIGURE 3.17 – Carte des solutions d'Euler pour les paramètres : $IS = 0$. Dimension de la fenêtre : $w = 20 \times 20 \text{ m}^2$. Tolerance : $dz = 15 \%$.

3.3.3 Discussions

Rappelons tout d'abord que les résultats obtenus dans notre investigation dépendent de la méthodologie et des techniques de traitements des données utilisées. Par ailleurs, la fiabilité des conclusions dépendent de la précision avec laquelle les résultats ont été obtenus. Ainsi du point de vue tectonique, nos résultats montrent une continuité dans les analyses faites par (Dumort 1965, Hell et al. 2000, Ndougsa 2004, Ndougsa et al. 2007). Et peuvent être résumés dans les points suivants :

L'obtention d'une carte du dérivé vertical des anomalies de Bouguer dont l'interprétation qualitative a permis de montrer d'une part, la relation étroite entre les différentes cartes de Bouguer soumis à notre étude (Fairhead et al., 1991 et Legeley-Padovani et al., 1996), et d'autre part de confirmé

le fait que le bassin de Mamfé est subdivisé en trois sous bassins d'après les études précédemment faites par Ndougsa et al., (2007). Il a aussi permis de confirmer la présence des anticlinales et des affleurements entre le bassin sédimentaire et les montagnes de Oban et de Bamenda qui permet de ressortir la largeur approximative du bassin.

Les accidents tectoniques qui sont responsables de la structuration de la zone étudiée sont mis en évidence et bien localisés par l'analyse multi-échelle des gradients gravimétriques horizontaux. L'établissement de cette carte du dérivé horizontal montre des structures géologiques relativement peu profondes et de grande extension latérale qui s'allongent, selon une direction principale NW-SE. Cette analyse du gradient a permis d'exposer les zones de contact invisibles ceci se justifie par l'absence de dénivellation entre les deux blocs de la faille qui se seraient déplacés latéralement l'un par rapport à l'autre car c'est la dénivellation qui permet de déceler l'effet d'une faille sur la carte gravimétrique. Elle a aussi permis de présenter les direction d'évolution structurale et de confirmé celle qui sont visible dans l'étude géologique de la zone.

La détermination des linéaments a permis d'exposer la présence des mouvements tectonique intense dans cette zone et leur orientation géodynamique à partir du pendage des linéaments.

L'application de la déconvolution d'Euler aux cartes d'anomalie a permis de mettre en évidence pour différents indices structuraux, les sources superficielles et profondes responsables des anomalies et leurs profondeurs. De confirmer la présence de failles, des grabens, des gradins, et des horsts au niveau des flancs du bassin de Mamfé, qui pourrait être des pièges à pétrole et à gaz. Cet espérance est connexe à l'existence de pétrole et de gaz dans la cuvette de Bénoué. La colonne sédimentaire épaisse contribuerait à la pression nécessaire pour la migration de partie latérale de fluides du centre de dépôt vers les flancs de bassin. La plupart de pétrole et des ressources de gaz émigrant vers les flancs du bassin s'accumulera dans les pièges structuraux stratigraphiques, les blocs de défaut, interne du sous-sol et les structures supérieures du sous-sol. (Ndougsa et al., 2007).

La déconvolution d'Euler des données gravimétriques de la zone d'étude a aussi permis d'estimer les profondeurs des contacts superficiels majeures pour chacune des deux cartes à 3186 m ; 3166 m ; 3175 m ; 3182.31 m ; 3190.5 m, ce qui donne une moyenne de profondeur du bassin et ces environs à 3180 m. ce résultat avoisine les conclusions faite par Fairhead et alen2004, qui évalues l'épaisseur du bassin à 3000 m. et Nguimbous en 2012, qui par l'application de la méthode de magnétotellurique à identifier trois couches lithosphérique et évaluer la profondeur du bassin à plus de 1000 m. le résultat obtenue par nos études donne la profondeur des zones profondes de contact à environ 5000 m.

3.4 Implication didactique et pédagogique des interprétations des données gravimétriques

3.4.1 Implication pédagogique des interprétations des données gravimétriques

Les données gravimétriques sont obtenues des mesures de la variation de pesanteur. Son interprétation nous permet d'avoir une connaissance sur les structures qui entre dans la connaissance de la composition des couches superficielles et profondes du sous-sol d'une région d'étude. L'interprétation de ces données est un ensemble de processus didactique d'autre sciences en dehors des géosciences. Elle requière des connaissances dans les domaines à savoir :

- En géophysique, dans l'identifications des signatures et la corrélation de celle-ci au context géologique.
- En géologie, dans la corrélation entre le type d'anomalie (négative ou positive) et la caractéristique physique (densité) de la roches.
- En informatique, dans le filtrage, la séparation (des anomalies locales et régionales) des données gravimétriques obtenues en vue de séparer l'information utile du bruit qui affecte, pollue les données et empêche une meilleur interprétation. L'informatique permet aussi la moderlisation du sous-sol et améliore ainsi la connaissance stratigraphique.

L'ensemble de ces connaissances permettra à l'apprenant de faire un inventaire des environnements pouvant abriter les ressources naturels, particulièrement les hydrocarbures et les minerais.

3.4.2 Intérêt didactique de l'analyse multi-échelle et de déconvolution d'Euler

L'analyse multi-échelle et de déconvolution d'Euler permettent une approche à la détermination des structures profondes du sous-sol, à l'étude dynamique de celle-ci et d'expliquer les manifestations des formations géologiques de surfaces. Pour cela, il a été mis à notre disposition des données géophysiques, plus particulièrement les données gravimétriques issus d'un appareille appelé gravimètre. Ces données nous permettrons par filtrage et par analyse à identifier les signatures des données gravimétrique associés aux structures géologiques présentes. elle utilise des méthodes dites non destructive

du site, qui exploite les caractéristiques physiques des roches.

Dans ce memoire les structures détectés sont des failles, des horsts, des sills et des gradins, dont la présence dans un bassin sédimentaire, joues le rôle de réservoir ou de piège à hydrocarbure et à minerais. Les connaissances de bases en sciences de la terre, en géophysique sont les bases pour un apprentissage dans ce domaine des sciences.

La méthodologie suivis en géophysique dans l'analyse, la modélisation et l'interperetation de Données est :

- Définition de l'objectif de travail.
- Élaboration des hypothèses à partir de travaux géologiques et géophysiques précédament effectués dans la zone.
- Choix des méthodes,
- Acquisition des données, qui peuvent être récents (faits par nous sur le terrain), ou qui peut être les données acquis à l'époque.
- Traitement des données (Nettoyage , Amélioration du rapport Signal / Bruit et l'incertitude, Corrections du signale)
- Modélisation (Construire un modèle géologique qui vérifie les données traitées tout en s'appuyant sur les hypothèses)
- Interprétation géologique, elle est l'intégration au contexte géologique local, régional.

Conclusion générale et perspectives

Parvenu au terme de notre travail dont L'objectif était de faire une interprétation des données gravimétriques de la zone de Mamfé. L'étude géographique nous a permis de caractériser les éléments (position, hydrographie, végétation et relief) qui font de Mamfé un bassin, et les observations géologiques basées sur la composition stratigraphique et les mouvements tectoniques que subissent son sous-sol, nous démontre de la complexité de la région de Mamfe. Cette complexité est observée à travers les cartes d'anomalies de Bouguer permettant une analyse et une interprétation, et ainsi nous renseigne sur les structures superficielles ou profonde responsables de ces anomalies. L'utilisation des méthodes d'interprétations, telle que l'analyse multi-échelle et la déconvolution d'Euler associées comme outils au logiciel Oasis, nous a aidé dans notre analyse et notre interprétation. L'application de ceux-ci, a permis :

De faire une analyse qualitative plus poussé des structures superficielle, une carte du gradient vertical et horizontal ont été obtenue, mettant en exposition les signatures de ces structures. Ces cartes de gradients ont laissé identifier la présence des signatures des structures qui divise le Bassin en trois sous bassins. La pile sédimentaire étant plus profond dans la partie occidentale du bassin, constitue probablement un centre de formation ou de dépôt de pétrole et de gaz. Ce centre de dépôt est probablement localisé à l'est de la région d'Ekok. Le bassin est progressivement peu épais vers l'est.

Une interprétation qualitative de la carte du dérivé horizontale couplé au prolongement vers le haut, pour diverse hauteur a permis de faire ressortir les zones géologiques fragiles (linéaments). La superposition des maximums horizontaux de gradient de l'anomalie de Bouguer, obtenue par prolongement vers le haut pour un pas de 3 km successivement jusqu'à une hauteur de 15 kilomètres, montre des alignements décrivant des contacts et fournit l'information sur leur immersion. L'analyse des contacts et l'interprétés des linéaments montrent deux tendances principales : NNO-SSE et N-S. Qui nous informe sur la nature profonde de certaines anomalies observées. ces structures profondes (failles, garben, horst) constituent des pièges à hydrocarbure, qui sont d'un intérêt économique pour notre pays.

De confirmer à l'aide des solutions d'Euler, la présence de certains structures et d'exposées celles qui n'étaient pas visibles. Et aussi de connaître la profondeur de chaque sources d'anomalies et

d'évaluer la profondeurs des sturctures superficielles à 3200m, et celles de structures profondes à 5000m.

Ces resultats peuvent servir de guide pour des investigations et des exploitations des sources minérales et des couches aquifères dans le secteur d'étude, en facilitant l'information des points favorables à leur existence. Ces resultats peuvent également servir de guide dans l'identification des secteurs à risque.

Dans ce mémoire, il a été question pour nous en tant qu'apprenant, de faire ressortir une implication pédagogique par l'utilisation d'un logiciel dans l'interprétation des données géophysiques et de deduire un inventaire des environnements pouvant abriter les ressources naturelles, particulièrement les hydrocarbures et les mineraais. L'intérêt didactique a consisté à établir une interconnexion entre l'informatique et les géosciences particulièrement dans la maitrise d'un logiciel d'interprétation de données géophysiques.

Bibliographie

- [1] Abderbi J., Khattach D. (2010) Contribution de la gravimétrie à l'étude de la structure des Hauts Plateaux (Maroc oriental). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°32, p. 19-30.
- [2] El Gout R., Khattach D., Houari M.R. Kaufmann O., Aqil H. (2010) Main structural lineaments of north-eastern Morocco derived from gravity and aeromagnetic data. J. Afr. Earth Sci., 58, 255-271.
- [3] Esemé E., Agyingi C. M., Foba-Tendo J. (2002) "Geochemistry and genesis of brine emanations from Cretaceous strata of the Mamfe Basin, Cameroon," Journal of African Earth Sciences, vol. 35, no. 4 : 467-476.
- [4] Chennouf T., Khattach D., Milhi A., Andrieux P. Keating P. 2007. Principales lignes structurales du Maroc nord-oriental : apport de la gravimétrie. C.R. Géoscience : 399, 383-395.
- [5] Durmort T.C. (1965) Carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500000. Notice explicitive sur la feuille à Douala Ouest. République Fédérale du Cameroun, B.R.G.M : 69.
- [6] Fairhead J. D., Bink R. M. (1991) Differential opening of the central and south Atlantic oceans and the opening of the central African rift system.
- [7] Fairhead J. D., Okereke C. S. and Nnange J. M. (1991) Crustal Structure of the Mamfe basin, West Africa, based on gravity data. Tectonophysics, 186, 351-358.
- [8] Khattach D., Keating P., Mili E.M., Chennouf T., Andrieux P., Milhi A. (2004) Apport de La gravimétrie à l'étude de la structure du bassin des Triffa (Maroc nord-oriental) : implications hydrogéologiques. Geoscience, 336, 1427-1432.

- [9] Legeley-Padovani A., Poudjoun-Djomani Y. H., Boukeke B. D., Nnange J. D., Ateba-Bekaa, Albouy Y., Fairhead J. D. (1996) Levés gravimétriques de reconnaissances Cameroun. JRD ex ORSTOM, édition Bondy, France.p 30.
- [10] Ndougsa M.T. (2004) Etude géophysique par la méthode gravimétrique des structures profondes et superficielles dans la région de Mamfé (Cameroun). Thèse Ph.D, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.p : 77, 79.
- [11] Ndougsa M. T., Dicoum E. M., Enriquez J. O. C., Atangana Q. Y. (2007) Gravity anomalies, sub-surface structure and oil and gas migration in the Mamfe, Cameroon-Nigeria, sedimentary basin. *Geofísica Internacional*, Vol. 46, Num. 2, pp. 129-139.
- [12] Ndougsa M.T., Bikoro B. A. M., Tabod T.C. (2013) Filtering of gravity and magnetic anomalies using the finite element approach (fea). *J. Ind. Geophys. Union* : Vol.17, No.2 : 167-178.
- [13] Ngando A. M., Tabod E.C. T., Manguelledicoum R., Nouayou J. M., Zakariou A. (2004) Structure géologique le long de deux profils audio magnétotelluriques dans le bassin de Mamfé. *Journal of Cameroon Academy of Science*, 4(2), 149-162.
- [14] Nguimbous K. J. J., Takam Takougang E. M., Nouayou R., Tabod Tabod C., Dicoum E. M. (2012) Structural Interpretation of the Mamfé Sedimentary Basin of Southwestern Cameroon along the Manyu River Using Audiomagnetotellurics Survey. *International Scholarly Research Network (ISRN) Geophysics Volume 2012*, Article ID 413042,7 pages doi :10.5402/2012/413042.
- [15] Noutchogwe T.C.B. (2004) Apport de la gravimétrie à l'étude de la bordure méridionale du plateau de l'Adamaoua (Cameroun). Thèse Ph.D, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.
- [16] Vanié L. T. A, Khattach D, Houari M. R. (2005) Apport des filtrages des anomalies gravimétriques à l'étude des structures profondes du Maroc oriental. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, n°27, 29-40.

- [17] Vanié L.T.A., Khattach D., Houari M.R., Chourak M., Corchete V. 2006. Apport des filtrages des anomalies gravimétriques dans la détermination des accidents tectoniques majeurs de l'Anti-Atlas (Maroc). Actes du 3ème Colloque Maghrébin de Géophysique Appliquée, Oujda, 11-13 mai 2006 : 23-30.
- [18] Wambo T. O. (2007) Prospection par la méthode héliomagnétotellurique le long d'un profil dans le bassin sédimentaire de Mamfe. Mémoire DEA, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences.pers comm.
- [19] Y. le Fur, "Mission socle-Crétacé. Rapport (1964-1965) sur les indices de plomb et zinc du golfe de Mamfe," Tech. Rep., Rapport B.R.G.M., Cameroun.p : 9.

ANNEXE

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
1	0	1	5
1	0	10	10
1	0	20	15
1	0	30	20
1	0	40	15
1	0	46	10
1	0	68	10
1	0	74	15
1	0	92	15
1	0	110	10
2	10	1	5
2	10	11	10
2	10	19	15
2	10	26	20
2	10	38	20
2	10	42	15
2	10	44	10
2	10	46	5
2	10	72	5
2	10	78	10
2	10	105	10
3	20	2	5
3	20	12	10
3	20	19	15
3	20	38	20
3	20	41	15
3	20	43	10
3	20	46	5
3	20	50	0

TABLE 3.3 – Données numérisées par Ndougssa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991.

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
3	20	69	0
3	20	79	5
3	20	11	5
4	30	6	0
4	30	10	5
4	30	16	10
4	30	38	10
4	30	42	5
4	30	46	0
4	30	50	-5
4	30	56	-5
4	30	66	0
4	30	80	5
4	30	104	5
4	30	120	0
5	40	2	-10
5	40	8	-5
5	40	16	0
5	40	26	5
5	40	42	0
5	40	51	-5
5	40	62	-5
5	40	84	0
5	40	110	0
6	50	0	-20
6	50	8	-15
6	50	18	-10
6	50	50	-10
6	50	70	-10

TABLE 3.4 – Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991 .

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
6	50	84	-5
6	50	110	-5
7	60	0	-25
7	60	12	-20
7	60	40	-20
7	60	62	-20
7	60	78	-15
7	60	88	-10
7	60	100	-10
7	60	124	-15
8	70	20	-30
8	70	36	-30
8	70	68	-30
8	70	82	-30
8	70	90	-25
8	70	102	-20
8	70	120	-20
9	80	0	-40
9	80	22	-40
9	80	66	-40
9	80	80	-35
9	80	87	-30
9	80	96	-25
9	80	118	-30
10	90	22	-50
10	90	46	-50
10	90	66	-45
10	90	75	-40
10	90	79	-35

TABLE 3.5 – Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991 .

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
10	90	85	-30
10	90	96	-30
10	90	106	-35
10	90	120	-40

TABLE 3.6 – Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d’anomalies de Bouguer de Fairhead et *al.*, 1991 .

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
a-a'	0	14	0
a-a'	0	36	-10
a-a'	0	62	-20
a-a'	0	72	-30
a-a'	0	78	-40
a-a'	0	82	-50
a-a'	0	88	-60
a-a'	0	100	-70
b-b'	10	14	0
b-b'	10	36	-10
b-b'	10	62	-20
b-b'	10	72	-30
b-b'	10	78	-40
b-b'	10	82	-50
b-b'	10	88	-60
b-b'	10	100	-70
c-c'	20	30	0
c-c'	20	46	-10
c-c'	20	60	-20
c-c'	20	72	-30
c-c'	20	78	-40
c-c'	20	83	-50
c-c'	20	88	-60
c-c'	20	94	-70
c-c'	20	102	-80
d-d'	30	35	0
d-d'	30	48	-10
d-d'	30	53	-20
d-d'	30	71	-30

TABLE 3.7 – Données numérisées par Ndougssa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996.

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
d-d'	30	77	-40
d-d'	30	81	-50
d-d'	30	86	-60
d-d'	30	91	-70
d-d'	30	97	-80
d-d'	30	110	-90
e-e'	40	35	0
e-e'	40	46	-10
e-e'	40	54	-20
e-e'	40	63	-30
e-e'	40	74	-40
e-e'	40	80	-50
e-e'	40	84	-60
e-e'	40	89	-70
e-e'	40	93	-80
e-e'	40	97	-90
e-e'	40	104	-100
e-e'	40	108	-100
f-f'	50	1	10
f-f'	50	28	0
f-f'	50	43	-10
f-f'	50	51	-20
f-f'	50	58	-30
f-f'	50	66	-40
f-f'	50	73	-50
f-f'	50	80	-60
f-f'	50	86	-70
f-f'	50	91	-80
f-f'	50	96	-90

TABLE 3.8 – Données numérisées par Ndougssa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996.

Profils S-N	Distance W-E (km)	Distance S-N (km)	Anomalies (mGals)
f-f'	50	102	-100
g-g'	60	6	10
g-g'	60	24	0
g-g'	60	43	-10
g-g'	60	51	-20
g-g'	60	57	-30
g-g'	60	63	-40
g-g'	60	69	-50
g-g'	60	76	-60
g-g'	60	84	-70
g-g'	60	90	-80
g-g'	60	97	-90
g-g'	60	109	-100
g-g'	60	116	-100
h-h'	70	37	10
h-h'	70	47	0
h-h'	70	52	-10
h-h'	70	57	-20
h-h'	70	62	-30
h-h'	70	68	-40
h-h'	70	76	-50
h-h'	70	84	-60
h-h'	70	92	-70
h-h'	70	102	-80
h-h'	70	73	-90

TABLE 3.9 – Données numérisées par Ndougsa 2004 de la carte d'anomalies de Bouguer de Legeley-Padovani et *al.*, 1996.