



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
Domaine Sciences et Technologies
Mention Physique et Application



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Parcours: Sciences et Techniques en Géophysique et Géomatique (S.T.G.G.)

Option: Géophysique « Mine et Environnement »

Intitulé

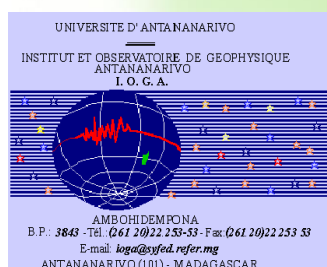
**REINTERPRETATION DES DONNEES GRAVIMETRIQUE ET
MAGNETIQUE DE LA PARTIE NORD DU BASSIN
SEDIMENTAIRE DE MAHAJANGA.**

Présenté et soutenu publiquement le 24 Mars 2016 par

Monsieur RANIRISON

Devant les membres du jury composés de:

Président :	Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien Noël	Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences à l'Université d'Antananarivo
Rapporteurs :	Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier	Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo
	Monsieur ANDRIAMIARANTSOA Tolojanahary	Chef de département de la Gestion des Banques de Données à l'OMNIS
Examineur :	Monsieur RASOLOMANANA Eddy Harilala	Professeur Titulaire à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo



Année universitaire 2014/2015





UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
Domaine Sciences et Technologies
Mention Physique et Applications



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Parcours: Sciences et Techniques en Géophysique et Géomatique (S.T.G.G.)

Option: Géophysique « Mine et Environnement »

Intitulé

**REINTERPRETATION DES DONNEES GRAVIMETRIQUE ET
MAGNETIQUE DE LA PARTIE NORD DU BASSIN
SEDIMENTAIRE DE MAHAJANGA.**

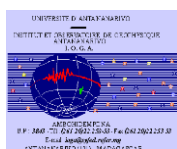
Présenté et soutenu publiquement le 24 Mars 2016 par

Monsieur RANIRISON



Devant les membres du jury composés de:

Président :	Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien Noël	Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences à l'Université d'Antananarivo
Rapporteurs :	Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier	Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo
	Monsieur ANDRIAMIARANTSOA Tolojanahary	Chef de département de la Gestion des Banques de Données à l'OMNIS
Examineur :	Monsieur RASOLOMANANA Eddy Harilala	Professeur Titulaire à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo



Reinterprétation des données gravimétrique et magnétique de la partie nord du bassin sédimentaire de Mahajanga

Année universitaire 2014/2015



REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères vont en premier lieu à Dieu tout puissant car sans sa Bénédiction, son Amour ce mémoire n'aurait pas pu être réalisé. Il m'a accompagné avec sa Bonté durant mes études. C'est donc avec une immense joie et sincérité que j'adresse également toutes mes reconnaissances et mes vifs remerciements à l'égard de :

- Monsieur **RAHERIMANDIMBY Marson**, Professeur Titulaire, Doyen du domaine Sciences et Technologies ;
- Monsieur **RAKOTONDRAMANANA Hery Tiana**, Maître de Conférences, Chef de Département de Physique du domaine Sciences et Technologies ;
- Monsieur **RAMBOLAMANANA Gérard**, Directeur de l'Institut d'Observatoire et Géophysique d'Antananarivo, de m'avoir autorisé à présenter ce mémoire ;
- Monsieur **RANAIVO NOMENJANAHARY Flavien**, Professeur Titulaire, Responsable du parcours Master en Sciences et Techniques de Géophysique et Géomatique pour nous avoir guidé tout au long de la formation et nous faire un grand honneur de présider le jury de ce mémoire ;
- Monsieur **RASOANAIVO Fetinirina Bonaventure**, Directeur Général de l'OMNIS, Madame **RANOROARISOA Lalanirina**, Directeur de la Direction des Hydrocarbures, Monsieur **BELALAHY Olivier**, Adjoint Directeur de la Direction des Hydrocarbures, qui m'ont permis d'effectuer mon stage de mémoire de fin d'études au sein de l'établissement OMNIS durant deux mois ;
- Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier**, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo, mon encadreur pédagogique, qui m'a donné, non seulement l'opportunité d'entamer un stage de mémoire pour pouvoir en tirer profit, mais surtout ses précieuses aides pour la réalisation de ce mémoire afin de terminer à bon terme cet ouvrage. Tous ses contributions ainsi que ses compréhensions m'ont permis d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions ;
- Monsieur **RANDRIAMIARANTSOA Tolojanahary**, Chef de département de la Gestion des Banques de Données de la Direction des Hydrocarbures à l'OMNIS, qui m'a soutenu et encadré pendant le stage et surtout qui a bien accepté d'être mon encadreur professionnel pour mon mémoire de fin d'études en partageant ses expériences malgré ses hautes responsabilités et multiples occupations ;

- Monsieur **RASOLOMANANA Eddy Harilala**, Professeur Titulaire à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo, d'avoir accepté d'être membre du jury et examiner ce modeste travail, malgré ses immenses responsabilités en tant que Directeur Général des Mines et du Pétrole au sein du Ministère des Mines et du Pétrole ;
- Tous les Enseignants de Master en Sciences et Techniques en Géophysique et Géomatique ;
- A toute l'équipe de l'OMNIS, particulièrement celle du département GBD Mangasoavina à savoir, Monsieur **RAKOTOMBELO Alain Herisoloniaina**, responsable de Bande magnétique, Monsieur **RAKOTOMALALA Sedrasoa Andrianiaina**, responsable de la Carothèque, Monsieur **JOROFOMANA**, responsable de la propreté de l'appartement GBD, d'avoir bien voulu partager leurs expériences et de nous avoir bien accueilli et aidé ;
- Tous les membres du personnel enseignant de l'IOGA ainsi que l'administration qui nous ont transmis leur savoir-faire, leur connaissance et forger notre éducation.
- Tous ceux ou celles que j'ai dû consulter et qui ont, de près ou de loin, apporté leur soutiens et aides pour la réalisation de ce travail.
- En terminant, je tiens à remercier toute ma famille, pour leurs encouragements constants, pour leur affection, leur soutien moral, financier et spirituel durant mes études ; et enfin à tous mes amis en particulier RAMANANTOININA H.A Solonavalona et tous les collègues de la promotion.

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE: CONTEXTES GENERAUX DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE I: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE II: CONTEXTES GEOLOGIQUES

DEUXIEME PARTIE: METHODES DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE

CHAPITRE III: PROSPECTION GRAVIMETRIQUE

CHAPITRE IV: PROSPECTION MAGNETIQUE

TROISIEME PARTIE: TRAITEMENT DES DONNEES ET
INTERPRETATION DES RESULTATS

CHAPITRE V: TRAITEMENT DES DONNEES

CHAPITRE VI: ANALYSE DE RESULTAT

CONCLUSION

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

ASCII:	American Standard Code for Information Interchange
EMAG:	Earth Magnetic Anomaly Grid
ESRI:	Environmental Systems Research Institute
GBD :	Gestion des Banques des Données
GPS:	Global Positioning System
GRID:	Global Resource Information
IGRF:	International Geomagnetic Reference Field
IOGA:	Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
OGO:	(Orbiting Geophysical Observatories)
OMNIS:	Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques
ORSTOM:	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
POGO:	Polar Orbiting Geophysical Observatory
SI:	Système International
SIG:	Système d'Information Géographique
SPM:	Société des Pétroles de Madagascar
UTM:	Transverse universality de Mercator
WGS84:	World Geodesic System 1984

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Successibilités magnétique des roches.....	36
Tableau 2: Caractéristique des éléments magnétiques.....	37
Tableau 1: Extrait des données gravimétriques.....	47
Tableau 4: Précision des résultats de l'anomalie de Bouguer.....	48
Tableau 5: Extrait des données magnétiques.....	50
Tableau 6: Synthèse géologique de la zone d'étude.....	51
Tableau 7: Valeur des densités des roches.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Délimitation de la zone d'étude.....	4
Figure 2: Hydrographie du bassin de Mahajanga.....	5
Figure 3: Madagascar dans le Gondwana.....	7
Figure 4: Carte géologique de Madagascar.....	8
Figure 5: Présentation des 4 bassins sédimentaire de Madagascar.....	10
Figure 6: Géologie du bassin de Mahajanga.....	15
Figure 7: Migration des hydrocarbures.....	18
Figure 8: La migration primaire, secondaire et la dysmigration.....	19
Figure 9: Exemples de pièges stratigraphiques.....	21
Figure 10: Exemples de pièges structuraux.....	22
Figure 11: Exemple de pièges mixtes.....	23
Figure 12: Exemples de pièges à Madagascar.....	23
Figure 13: Signatures gravimétriques des gisements.....	32
Figure 14: Gravimétrie La Coste & Romberg G/D et Gravimètres supraconducteurs.....	32
Figure 15: Présentation champ magnétique H dans le repère Cartésienne.....	35
Figure 16: Les interfaces du système d'acquisition des données.....	39
Figure 17: Mode d'acquisition des données.....	41
Figure 18: Organigramme de traitement des données.....	44
Figure 19: Ajustement du profil sur GM SYS.....	45
Figure 20: Résultats des levés gravimétriques.....	47
Figure 21: Histogramme des anomalies de Bouguer.....	48
Figure 22: Satellite Allemand CHAMP embarquant un magnétomètre.....	52
Figure 23: présentation de zone à forer.....	54
Figure 24: Carte d'anomalie de Bouguer de la zone d'étude.....	55
Figure 25: Carte d'anomalies magnétique.....	56
Figure 26: Modélisation du profil AB.....	57
Figure 27: Superposition de la carte d'anomalie de Bouguer et la carte géologique.....	58

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1:	Valeurs des susceptibilités des roches.....	A
Annexe 2:	Tableau de valeurs de densités des roches.....	A
Annexe 3:	.Aperçu géographique du bassin sédimentaire de Mahajanga....	B
Annexe 4:	.Etage stratigraphie du bassin sédimentaire de Mahajanga.....	C
Annexe 5:	.Echelle stratigraphie de Madagascar.....	D
Annexe 6:	.Processus de prospection pétroliers.....	E
Annexe 7:	.Organigramme de l'OMNIS	F

INTRODUCTION

L'or noir constitue un objet de convoitise depuis la Révolution Industrielle. De l'apparition des premiers moteurs à explosion de Diesel jusqu'aux raffineries perfectionnées produisant des kérosènes et essences en passant par le plastique et d'innombrables dérivées, presque tous les inventions et innovations majeures de notre civilisation de ces deux dernières siècles n'ont pu avoir lieu sans le pétrole.

Les hydrocarbures sont des combustibles fossiles dont leurs formations se sont formées depuis des centaines de millions d'années. En effet, cette substance huileuse est le produit de matières organiques (animales et végétales) décomposées par des microorganismes au cours des centaines de millions d'années pour ensuite subir une dégradation géothermique et un processus chimique complexe de carbonisation.

Etant donné que ces gisements d'hydrocarbure se situent à plus de 600 mètres de profondeur, la prospection pétrolière n'a jamais été une tâche facile à faire. Entre autres, les principaux techniques utilisés pour détecter ces informations souterraines sont la gravimétrie, la prospection magnétique et le sismique. Pour le cas de Madagascar, les premières explorations pétrolières ont été menées par la Société des Pétroles de Madagascar (SPM) dans le bassin sédimentaire de Mahajanga aux années 50. L'étude a été motivée par la recherche des pétroles ainsi que le besoin d'avoir des informations géophysique et géologique de la région. Les données gravimétriques sont essentiellement des levés au sol et des levés en aéroportés. Pour la prospection magnétique, ces données sont exploitées à cette époque pour voir surtout la signature géologique des anomalies et de voir la possibilité de rencontrer des systèmes pétrolier dans le bassin sédimentaire de Mahajanga.

Depuis 1987, l'Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques (OMNIS) a pris en main et de revoir les données d'explorations pétrolière afin de valoriser et d'approfondir la connaissance des différents bassins sédimentaires de Madagascar. Pour cela, ce travail s'intitule « **Réinterprétation des données gravimétrique et magnétique de la partie Nord du bassin sédimentaire de Mahajanga** » a pour objectif de réévaluer la potentialité du bassin de Mahajanga. Il se propose de traiter ces données existantes avec des moyens et des techniques plus modernes.

A ces fins, cet ouvrage sera détaillé en trois grandes parties:

La première partie présente les contextes généraux de la zone d'étude tandis que la deuxième partie est consacrée aux méthodes de prospection géophysique. Enfin, en dernière partie présente les traitements des données et l'interprétation des résultats.

PREMIERE PARTIE:
CONTEXTES GENERAUX
DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Cette étude a pour but de réinterpréter les données géophysiques issues des explorations pétrolières menées par la SPM aux années 50, mais pour commencer, nous allons présenter dans ce chapitre la zone d'étude.

I.1. Situation géographique

La zone d'étude délimitée par une frontière que montre sur la figure 1 suivante C'est une partie onshore d'une superficie de 672km² du bassin sédimentaire de Mahajanga.

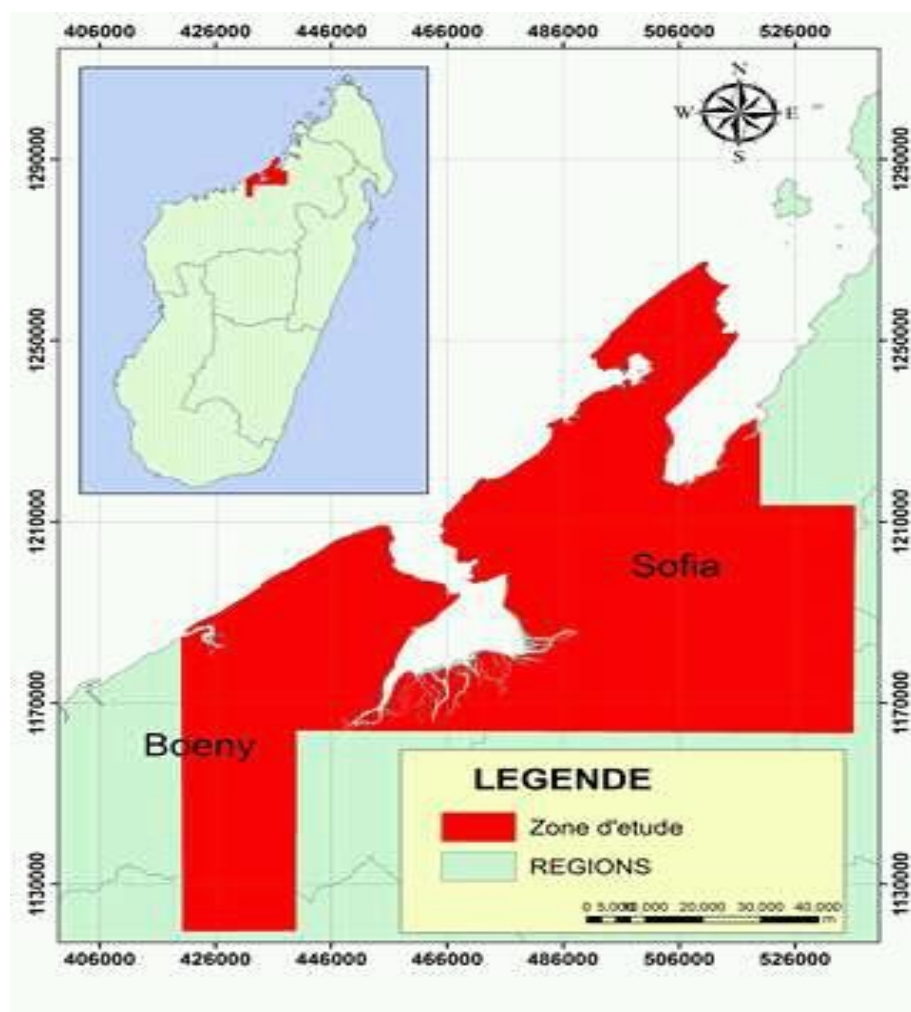


Figure 1: Délimitation de la zone d'étude

Notre zone d'étude est parmi les quatre bassins sédimentaires de Madagascar à savoir Morondava, Ambilobe, Tamatave, Mahajanga. Elle s'étend sur une surface de 138165.31Km² équitablement partagée en immergée et émergée; le bassin de Mahajanga se situe au Nord-Ouest de la Grande Île. C'est le deuxième grand bassin après celui de Morondava.

Il est encadré au Nord par la presqu'île d'Ampasindava, au Sud par les dômes de Bekodoka et d'Ambohipaky et à l'Est par un socle cristallin des hauts plateaux.

I.2. Hydrographie

Cinq grands fleuves serpentent le bassin sédimentaire de Mahajanga :Loza, Sofia, Mahajamba, Betsiboka et Ikopa; avec de nombreux affluents qui se drainent dans la région à étudier.

Ces fleuves sont généralement orientés de l'Est vers l'Ouest, traversant la grande plaine interne pour finalement se déverser dans le canal de Mozambique. Leurs débits sont très forts, sans régime d'étiage pendant la saison sèche

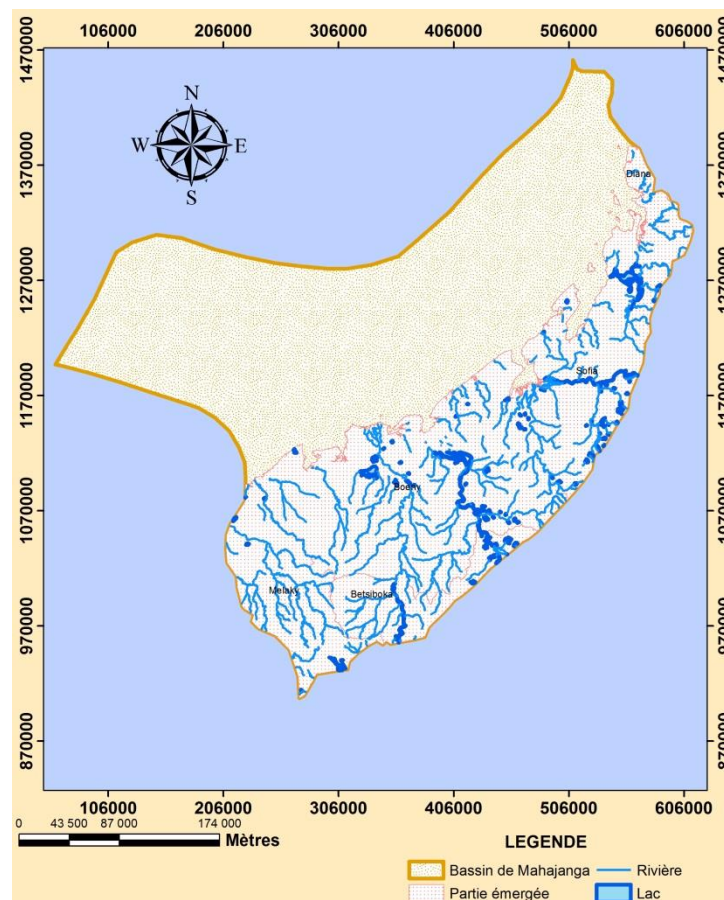


Figure 2: Hydrographie du bassin de Mahajanga

I.3. Contexte climatique

Le bassin de Mahajanga est divisé en deux grandes saisons bien distinctes. Il affecte le régime climatique à saison sèche commençant au mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre pendant laquelle de rares pluies sont insuffisantes sur cette région.

La pluviométrie annuelle varie de 1500 à 1700mm et sa température moyenne est élevée de 26 jusqu' à 30°. Durant l'Eté, le bassin de Mahajanga reçoit par intermittence la Mousson du Nord-Ouest qui donne un vent faible ou modéré lorsqu'il n'est pas renforcé par la brise de mer ou des influences cycloniques qui s'accompagne par des fortes pluies.

Durant l'hiver, l'alizé du Sud-Est arrive par intermittence mais dessèche dans son trajet les hautes terres, il produit aussi un effet de froid sur toute la région.

CHAPITRE II. CONTEXTES GEOLOGIQUES

La zone d'étude se trouve dans le bassin sédimentaire de Mahajanga au Nord-Ouest de Madagascar. Le bassin de Mahajanga constitue un monoclinal plus ou moins régulier qui plonge vers le canal de Mozambique. Les assises sédimentaires s'organisent en auréoles concentriques. Dans ce chapitre, nous allons décrire la géologie de Madagascar et le bassin sédimentaire de Mahajanga.

II.1. Géologie de Madagascar

Etant séparé seulement d'une distance de 400km de Mozambique, les données tectoniques, paléo magnétiques, structurales ainsi que stratigraphiques indiquent que Madagascar était rattaché au supercontinent Gondwana à l'ère Carbonifère. Jusqu'au Trias, une phase de dérive a créé un système de fossés et de demi-fossés incluant les bassins de Morondava et de Mahajanga ; qui, par l'occasion, ont acquis une couche de sédiments Karroo caractéristique de l'Afrique.

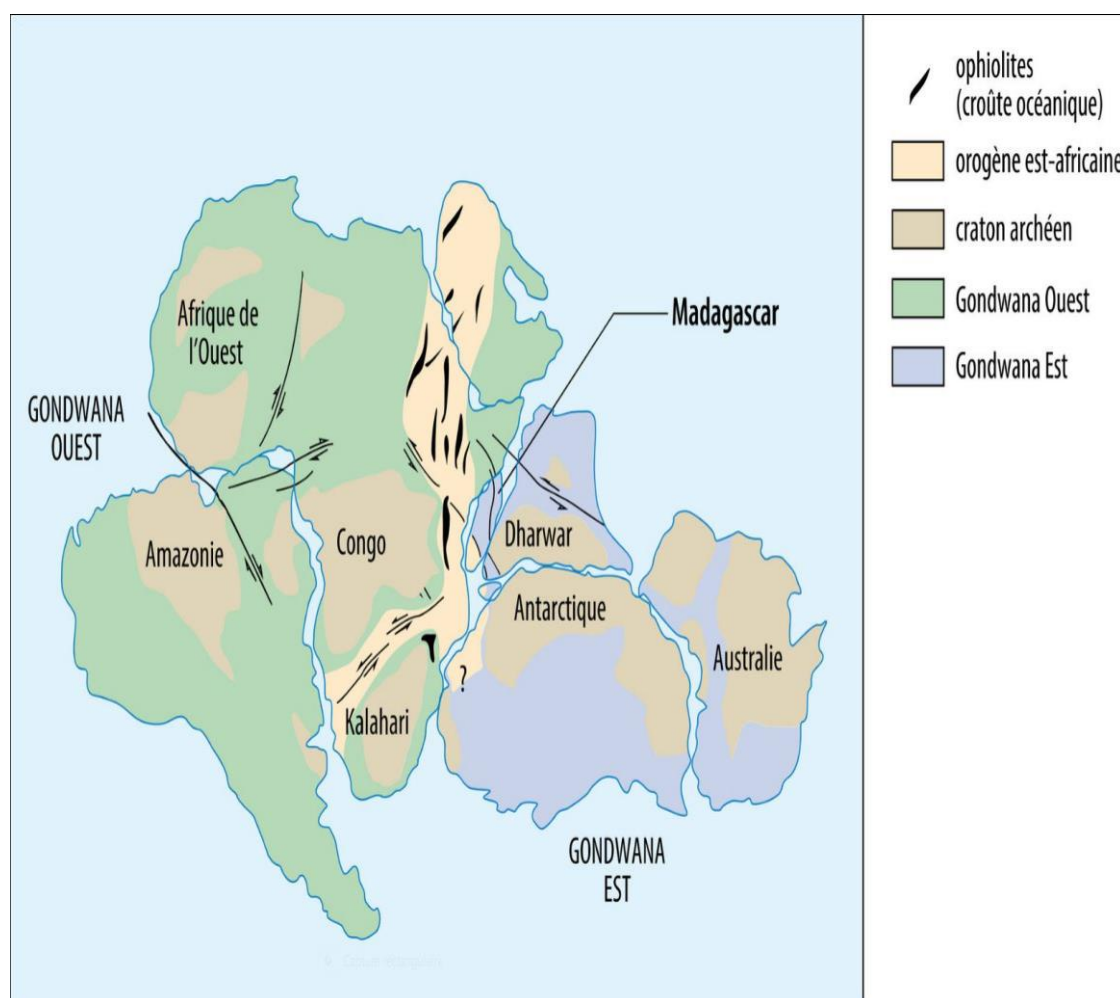


Figure 3: Formation de Madagascar dans le Gondwana

Madagascar est formé d'un noyau principal du socle cristallin au bord duquel, sur la côte Nord-Ouest, s'est développé depuis le permien le bassin de Mahajanga. Dans son ensemble, la topographie de l'île est dominée par des directions subméridiennes. La côte Est est dominée par une falaise importante qui n'est qu'un étroit liséré sédimentaire souvent discontinu. La côté Ouest constitue une zone sédimentaire relativement basse, elle est constituée par une topographie de Cuestas qui souligne la disposition monoclinale des couches. Cette disposition est particulièrement nette dans la partie Nord du bassin de Morondava avec les côtes de Bemaraha et des coulées de Basalte.

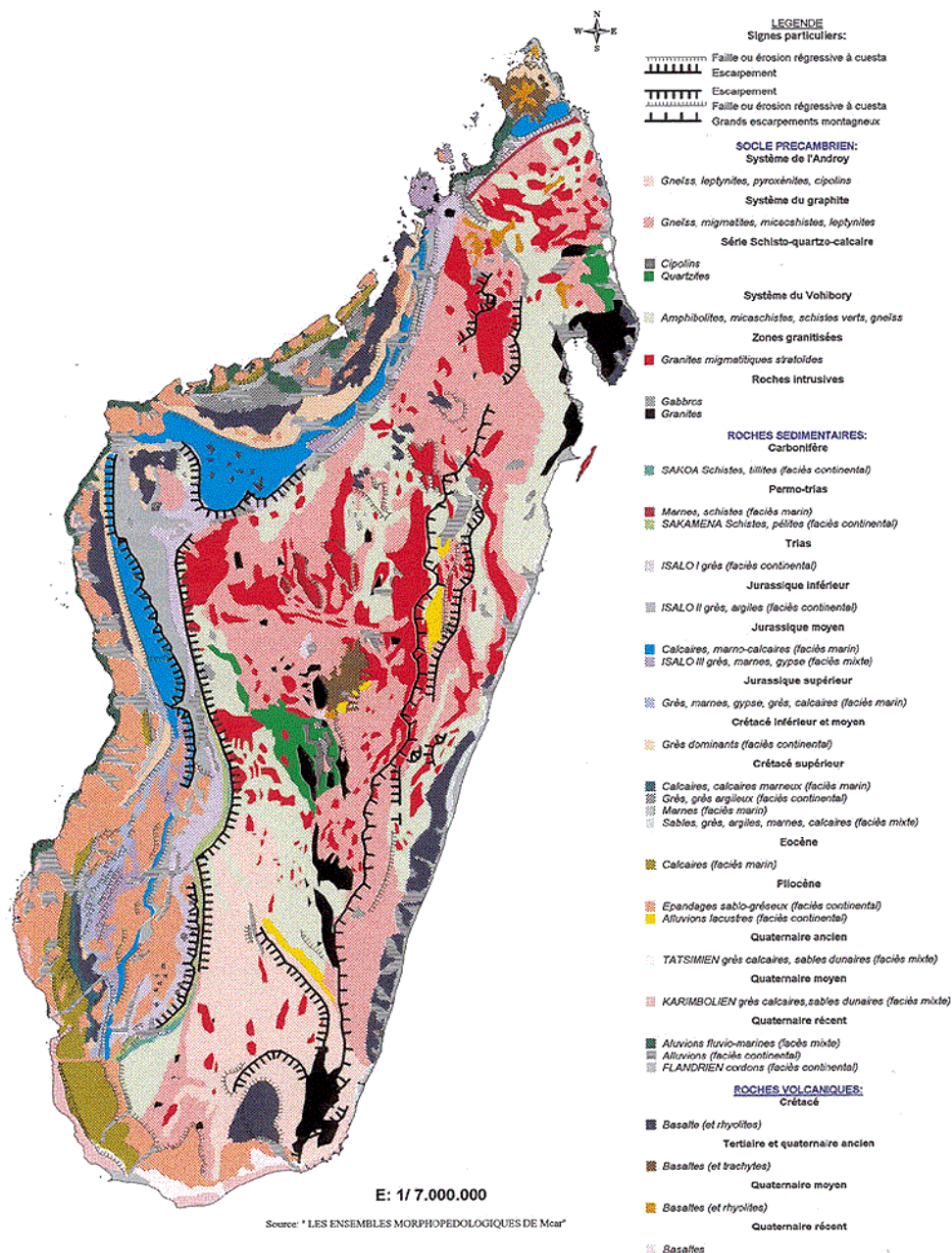


Figure 4: Carte géologique de Madagascar

Madagascar est constitué pour les 2/3 de sa superficie par des roches magmatiques et métamorphiques précambriennes qui constituent le socle cristallin (Hauts-plateaux) et pour le tiers restant, par des roches sédimentaires dont les affleurements vont:

- Du carbonifère dans l'actuel bassin de l'Ouest, avec une série complète de couche géologique.
- Du trias dans l'actuel bassin de Diégo-Suarez mais avec un grand développement des calcaires jurassiques et des basaltes crétacés.
- Du crétacé dans l'actuelle étroite bande sédimentaire de la côte-Est.
- Du Néogène dans l'actuel extrême-Sud de l'île.

Les roches métamorphiques du précambrien malgaches sont principalement des migmatites, des gneiss, des leptynites, amphibolites, des micaschistes, des cipolins, des quartzites, tandis que les roches magmatiques sont des granites, des basaltes et différents dépôts volcaniques du Néogène et Pléistocène.

La figure 5 montre que la Grande-Ile possède 4 grands bassins encadrant le socle cristallin des Hautes Terres Centrales : le bassin de Mahajanga à l'Ouest, le bassin d'Ambilobe au Nord, le bassin de Morondava à l'extrême Sud et le bassin de Tamatave à l'Est.

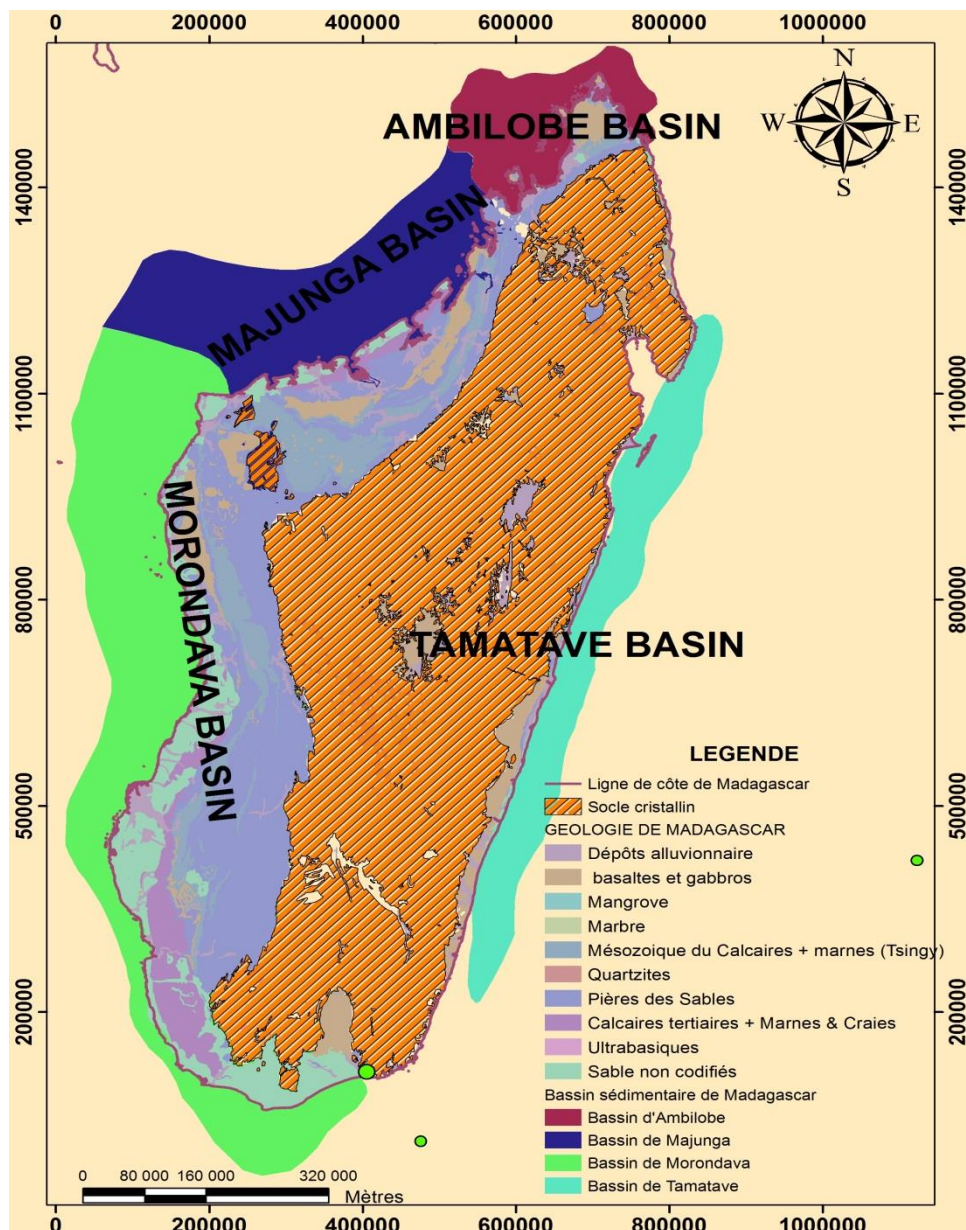


Figure 5: Les bassins sédimentaires de Madagascar

II.2. Géologie du bassin de Mahajanga

Le bassin de Mahajanga possède la série sédimentaire la plus complète de Madagascar, certaines formations n'affleurent que dans des zones localisées du bassin mais en général toutes les couches se rencontrent du Nord au Sud avec quelques variations de faciès et suivant des développements variables. Le bassin a une structure monoclinale avec une pente générale de direction Ouest, localement plissée affectant parfois l'allure de semi-bassin synclinal de grand diamètre.

Etant donné qu'un gisement d'hydrocarbure est contenu dans une couche géologique généralement de l'ère Crétacé, il est fondamental d'étudier la stratigraphie de la zone. Par ailleurs, les failles constituant des échappatoires aux hydrocarbures piégés sous les roches, des informations sur la tectonique seront plus que déterminantes.

II.2.1. Sols

Le bassin sédimentaire de Mahajanga est constitué de quatre principaux types de sols:

- Sols alluvionnaires.
- Sols argileux latéritiques,
- Sols arénacés,
- Sols calcaires,

Les types sols alluvionnaires occupent presque la totalité de la plaine alluviale de cette zone et qui favorise le secteur agricole à ce lieu.

II.2.2. Les étapes de l'histoire géologique

II.2.2.1. Précambrien

Les amphibolites du système de Vohibory correspondent à une ancienne coulée basaltique, éventuellement associées à des intrusions basiques et ultrabasiques qui ont été métamorphisées au cours d'une ou plusieurs orogénèses précambriennes. Au sein du système de Vohibory, le groupe de Maevatanana occupe une position synclinoriale. Les roches qui le constituent résultent d'un métamorphisme faible de faciès schistes verts. Elles sont parfois associées à des gneiss ortho dérivés à hornblende, des gneiss sur micacé, des micaschistes et des quartzites à magnétite.

II.2.2.2. Précambrien au Permien

A cette ère géologique, Madagascar n'a pas encore eu de dépôt sédimentaire, il a été recouvert de formation cristalline.

II.2.2.3. Paléozoïque terminal à l'Actuel

Les études géologiques ont permis de connaître l'individualisation du bassin sédimentaire de Mahajanga qui a débuté à la fin du Paléozoïque et le processus de sédimentation a été continue jusqu'à une période très récente.

II.2.3. Socle cristallin

Les formations cristallines précambriennes malgaches ont été connus grâce aux travaux effectués par de nombreux auteurs par exemple Henri Besairie et Hottinger en 1972, Razafiniparany en 1978, etc...

A partir de cette reconnaissance géologique, les formations cristallines se divisent en trois grandes parties.

II.2.3.1. Système du Graphite

Ce système est caractérisé essentiellement par des couches à graphite abondant, sauf dans les horizons supérieurs. Ce système est recouvert par la plus grande partie du socle cristallin de Madagascar. Il se place stratigraphiquement en dessous par le système de Vohibory et au-dessus par le système Androyen.

II.2.3.2. Système de Vohibory

Il est caractérisé par l'abondance des formations amphiboliques et par la présence d'anciennes coulées basaltiques transformées en ortho amphibolites associées à des intrusions basiques et ultra basiques plus ou moins métamorphisées.

II.2.3.3. Système Androyen et Antongil

Parmi ces différentes formations du socle, ces deux systèmes sont formés de roches des plus anciennes. Comme le système Androyen, ils sont nettement métamorphiques avec des faciès granulites et des leptynites, et le système Antongil constitue le complexe basalte du socle qui est dominé par des granites et des migmatites.

II.2.4. Stratigraphie

Les principales formations sont de bas en haut, de l'Est à l'Ouest à partir du contact discordant avec le socle.

II.2.4.1. L'Isalo (du Trias au jurassique moyen)

Elle est divisée en 3 étages qui sont l'Isalo I, Isalo II et Isalo III

II.2.4.2. L'Isalo I (trias continental)

Elle est constituée de grès blancs grossiers, mal cimentés, souvent conglomératiques avec stratification entrecroisées. Son épaisseur atteint plusieurs milliers de mètres.

II.2.4.3. L'Isalo II (Jurassique inférieur- lias supérieur)

Elle est formée d'une alternance de grès plus ou moins grossiers à stratification entrecroisée, jaunâtre ou rougeâtre et d'argiles rouges, parfois bariolées. Il renferme d'importantes intercalations marines constituées de marnes, et calcaires. Son épaisseur va de plusieurs centaines de mètres.

II.2.4.4. L'Isalo III (Jurassique moyen)

Elle est constituée d'une alternance de grès à stratification entrecroisée et d'argiles. Les intercalations marines y sont plus abondantes, son épaisseur est de plusieurs centaines de mètres.

II.2.4.5. Jurassique moyen marin (équivalent marin de l'Isalo II et III)

Les formations marines du jurassique moyen sont représentées par de grands plateaux calcaires karstifiés.

II.2.4.6. Jurassique supérieur

- Callovien: calcaires marneux et marnes
- Oxfordien: calcaires.
- Argovien marnes jaunes d'Ankilizato avec quelques intercalations calcaires.
- Kimmeridgien: marnes à mèches calcaires.
- Tithonique: argilo-marneux glauconieux.

II.2.4.7. Crétacé inférieur

- Valanginien: marnes et argiles puis grés de Sitampiky.
- Hauterivien: argiles, grés glauconieux et argiles grés-marneuses.

II.2.4.8. Crétacé moyen

- Aptien: Grés glauconieux et grés continentaux.
- Albien: Grés, grés glauconieux argileux, argiles gréseuses et marnes jaunes.
- Cénomaniens: argiles à la base, puis grés grossiers entrecroisés
- Turonien: grés, coulées basaltiques puis marnes argileuses.

II.2.4.9. Crétacé supérieur

- Coniacien: grés argileux.
- Santonien: Grés continentaux entrecroisés.
- Campanien: Grés continentaux entrecroisés.
- Maestrichtien: Marne, marno-calcaires.

II.2.4.10. Eocène

Essentiellement calcaires avec quelques passages calcareo-dolomitique, calcareo-marneux, marno-calcaires.

II.2.4.11. Oligocène

Marnes, Affleurements localisés.

II.2.4.12. Néogène

Le néogène est essentiellement continental avec des grés tendres entrecroisés avec des argiles sableuses sur toute la région côtière, et recouvert de carapace sableuse dans tout le bassin de

II.2.4.13. Quaternaire

Le Quaternaire est constitué de carapace sableuse; alluvions et dépôts de mangrove; sables des plages et des dunes.

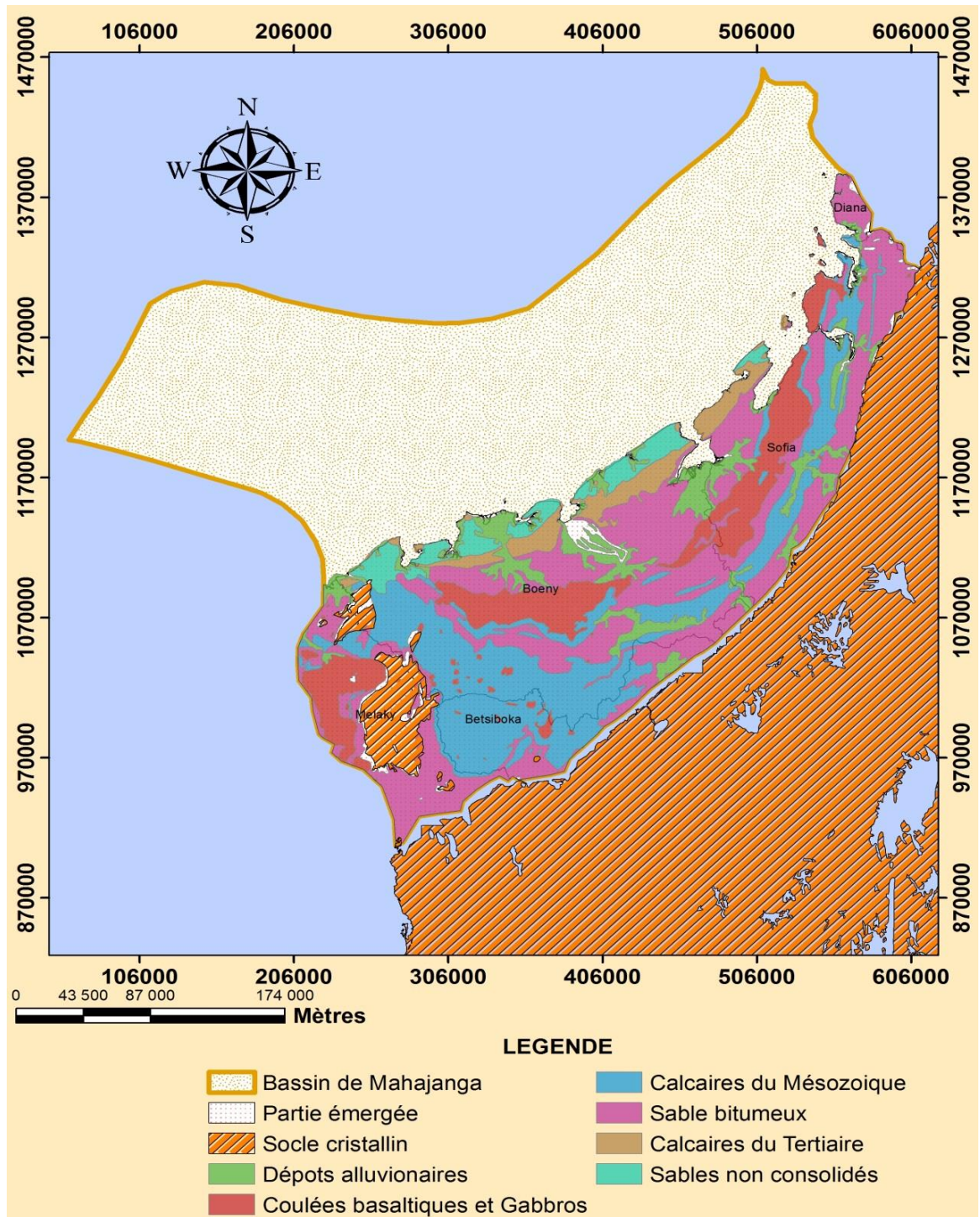


Figure 6: Géologie du bassin de Mahajanga

II.2.5. Tectonique

Le pendage général est Ouest et les angles sont faibles. Compte tenues des estimations aléatoires à partir des affleurements, on conçoit une épaisseur sédimentaire maximum de 3000m.

La tectonique telle qu'on la connaît actuellement semble plus calme que dans le bassin de Morondava.

Le Jurassique paraît affecté d'un système de failles dont le dessin s'harmonise avec celui du contact sédimentaire socle. Il est évident que nous nous trouvons là en présence d'une zone tectoniquement complexe.

Les rejets des failles visibles en surface sont de quelques dizaines de mètres. D'une manière générale, les couches plongent vers le Nord-Ouest et l'Ouest. Jusqu'à présent, on n'a pas relevé des pendages Est rappelant ceux connus dans le bassin de Morondava. Mais pour l'instant, les levées géologiques de détails sont pratiquement inexistantes, et les informations précédentes doivent être considérées prudemment.

Dans l'étage Crétacé, il est impossible pour l'instant de distinguer des zones de fractures et de donner un aperçu des pendages caractéristiques.

Une faille probable se trouverait dans la zone littorale et vers la baie de Narinda.

Elle suggérerait l'existence d'un graben.

On ne rencontre aucune manifestation volcanique après l'épanchement des coulées basaltiques.

Dans le socle, la tectonique des Schistes cristallins est difficile à démêler. Dans l'ensemble, les couches ont une structure isoclinale serrées avec le plus souvent des pendages proches de la verticale. Les venues granitiques sont nombreuses mais sans métamorphisme de contact.

La souvent est classées sous forme d'intrusions basaltique. Elles peuvent aussi se présenter comme les dykes. Plus à l'Ouest, dans le rejet de l'éperon du socle qui sépare le bassin de Mahajanga de celui de Morondava, on trouve des dômes importants de migmatites.

CHAPITRE III. GENERALITES SUR LE SYSTEME PETROLIER

Dans ce chapitre on va rappeler le système pétrolier. La première étape fondamentale est la formation de la roche mère. Cette boue sédimentaire enfouie à plusieurs kilomètres de profondeur se transforme après plusieurs étapes en pétrole, eau et gaz. Sous la pression des gaz, le pétrole est expulsé de la roche mère et constitue la migration, jusqu'à ce qu'il rencontre une roche réservoir, puis une roche couverture imperméable, où il sera piégé et préservé. Cette succession d'étapes ordonnées compose un « système pétrolier », chacune étant indispensable les unes que les autres pour aboutir à un gisement exploitable.

III.1. Présence de roches-mères

Ce sont des roches riches en matière organique dans lesquelles cette dernière a pu se conserver et se transformer sans être détruite par des actions oxydantes.

La roche-mère se trouve toujours dans un bassin sédimentaire. Elle a, en général, alimenté des roches sédimentaires plus poreuses. Quelques roches ignées ou métamorphiques suffisamment poreuses et proches ont pu recueillir du pétrole.

Comme exemple, les roches-mères associées aux séries argilo-sableuses (argiles, marnes schisteuses, sable ou le grès) sont les argiles et marnes noires à grain fin, tandis que celles des séries carbonatées (calcaires fins, dolomies de teint sombre) sont les assises argileuses ou marneuses.

Simultanément, sous l'effet de la pression, les hydrocarbures formés sont progressivement expulsés de la roche mère malgré leur forte imperméabilité, pour migrer dans des roches à plus forte porosité et perméabilité : c'est la migration.

En général, ce mouvement s'effectue vers un milieu poreux et perméable qui en raison même de ces caractéristiques ne constituait pas une roche mère initiale, la matière organique sédimentaire ayant été détruite ou oxydée précocement.

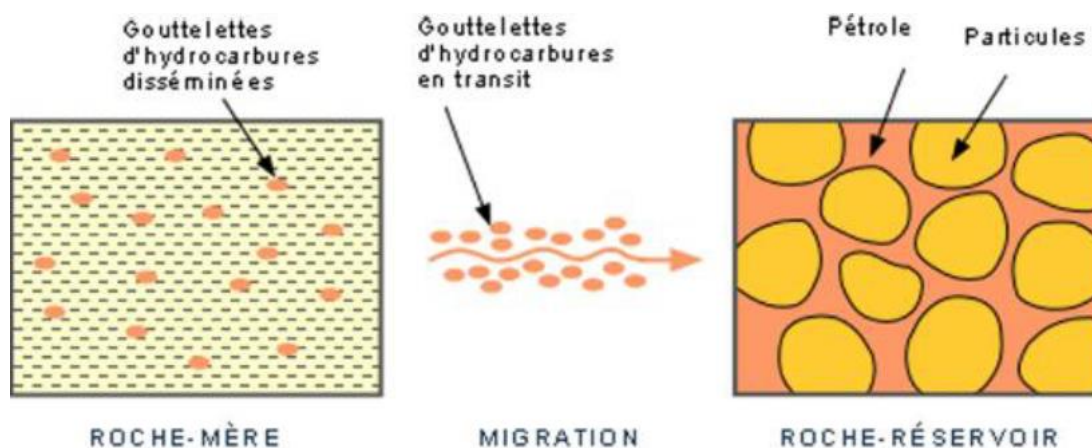


Figure 7: Migration des hydrocarbures

En générale, on distingue trois phases de migration:

III.1.1. La migration primaire

Elle désigne l'expulsion de l'huile et du gaz de la roche mère vers un drain poreux, perméable. La cause majeure de l'expulsion de l'huile en milieu argileux est la compaction.

Avec la perte progressive de la porosité, après l'expulsion massive de l'eau, les hydrocarbures dont la saturation augmente peuvent envahir l'espace poreux puis former un véritable réseau.

La migration primaire s'effectue comme un flot diphasique, eau et hydrocarbures séparément en deux phases distinctes.

III.1.2. La migration secondaire

Cette phase désigne les mécanismes de déplacement des hydrocarbures depuis leur lieu d'expulsion ou roche-mère vers leur lieu d'accumulation dans une roche-réservoir ou magasin qui constitue sous certaines conditions un piège.

L'expulsion à partir de roches à grain fin qui est le cas pour toutes les roches mères vers un réservoir suppose des chemins de migration le long de drains.

Les mécanismes de la migration secondaire se résument comme suit :

Les différents fluides expulsés de la roche tels que l'eau et les constituants pétroliers relativement insolubles plus légers que la roche vont circuler par effet de flottaison en fonction de leur densité en suivant un drain vers la surface.

Les chemins de migration peuvent être variés. Ainsi, les drains peuvent être :

- ✓ soit une roche poreuse perméable comme le sable, grès, calcaire grainstone, dont les caractères sont ceux de roches réservoirs,
- ✓ soit un système de fractures ouvertes comme les failles et les micros fractures,
- ✓ soit encore des surfaces de discontinuités ou discordances.

Les distances de migration dépendent de la proximité d'un piège et varient considérablement. Elles peuvent être infimes dans quelques cas rares (cas des schistes bitumineux) ou très modérées, mais on reconnaît aujourd'hui des chemins de migration très longs, jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres et dont l'histoire peut être complexe en fonction de l'histoire géologique.

III.1.3. La migration tertiaire ou dysmigration

L'étanchéité d'un piège ou d'un gisement dépend de l'imperméabilité de sa couverture qui dans les cas favorables empêche le mouvement normalement ascendant du pétrole.

Si l'étanchéité est mauvaise il y a dysmigration: c'est par exemple le cas le long de failles ouvertes qui sont perméables ou à travers des couvertures hétérogènes que les barrières de pression capillaire deviennent inférieures aux forces de flottaison.

La migration tertiaire ou dysmigration est donc la « fuite » des hydrocarbures qui, à partir d'un piège où ils se sont accumulés et concentrés, se déplacent vers la surface du sol ou vers un autre piège, souvent appelé gisement de récupération.

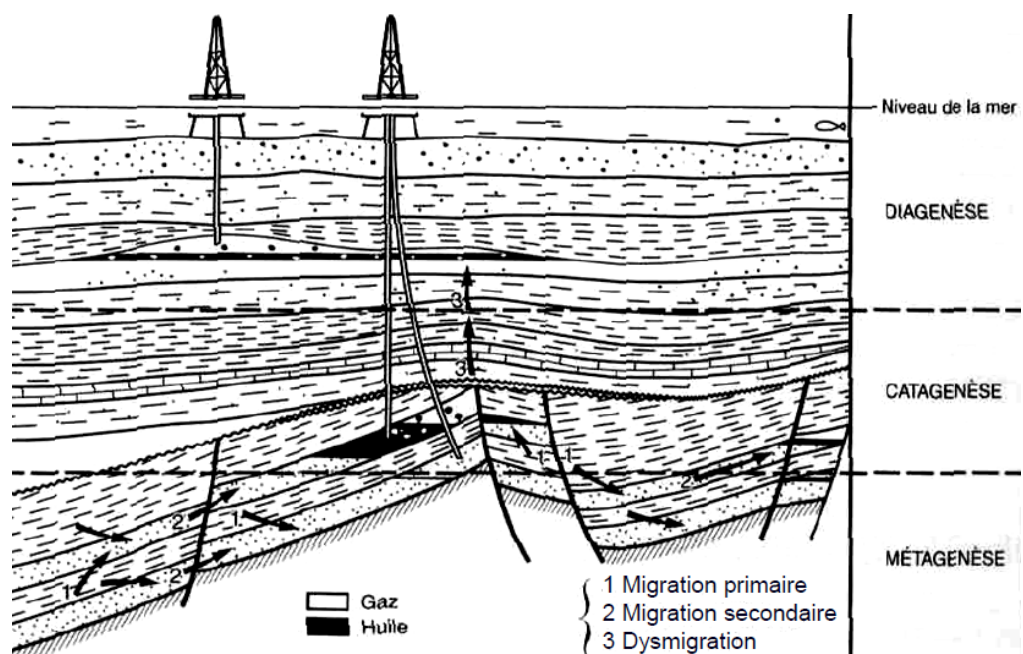


Figure 8: La migration primaire, secondaire et la dysmigration

III.2. Présence de roches-réservoirs

La formation du pétrole et gaz se passe dans un bassin sédimentaire.. Ils naissent puis migrent au sein de roches sédimentaires. Ces roches se sont toutes déposées au final dans l'eau d'un océan, d'une mer, d'une lagune ou d'un lac, sous forme de grains. Ces grains peuvent être très grossiers comme le cas des graviers, plus fins comme le sable ou de taille minuscule, formant des boues. Ils sont en contact les uns avec les autres. Les vides existant entre eux définissent la porosité d'une roche qui se mesure en pourcentage de volume total de la roche.

Les roches réservoirs ou roches magasins, sont donc des roches poreuses et perméables dans lesquelles l'hydrocarbure pourra se loger.

Plus ces deux caractéristiques pétrophysiques seront bonnes, plus le réservoir sera meilleur.

Si la roche est fracturée, ses qualités de réservoir sont améliorées.

Les roches-réservoirs sont constituées essentiellement par des roches détritiques, formées par l'empilement de petits grains de quartz ou de carbonates, comme les sables et les grès, et par certaines roches carbonatées, calcaires et dolomies. Ces roches correspondent le plus souvent à des milieux de dépôts agités et peu profonds.

Par exemple, pour le cas des séries pétrolifères argilo-sableuses (argiles, marnes schisteuses, sable ou grès), les roches-réservoirs associées sont les argiles et le sable et celles des carbonatées (calcaires fins, dolomies de teint sombre) sont le calcaire et la dolomie.

III.3. Présence de roches couvertures

C'est une roche imperméable au-dessus du réservoir qui a pour rôle d'empêcher la fuite de l'hydrocarbure vers la surface. Les roches-couvertures sont à la fois plastiques, imperméables et suffisamment épaisses surtout dans les régions de tectonique violente ou il y a risque d'étirement et rupture.

Comme exemple, les roches-couvertures associées aux séries argilo-sableuses sont les horizons argileux ou schisteuses, tandis que celles des carbonatées sont les calcaires compacts et horizons d'anhydrite ou de sel.

III.3.1. Présence de pièges

Un piège, condition indispensable de tout gisement, est une zone où le réservoir, couvert par une couche imperméable, est fermé latéralement par des terrains imperméables ou par une déformation des couches. Il permet l'accumulation d'une quantité d'hydrocarbures

exploitable. Un piège rempli d'hydrocarbures peut ne contenir que du pétrole ou du gaz ou les deux à la fois. Pour ce dernier cas, le gaz étant plus léger, se rassemble au sommet du piège.

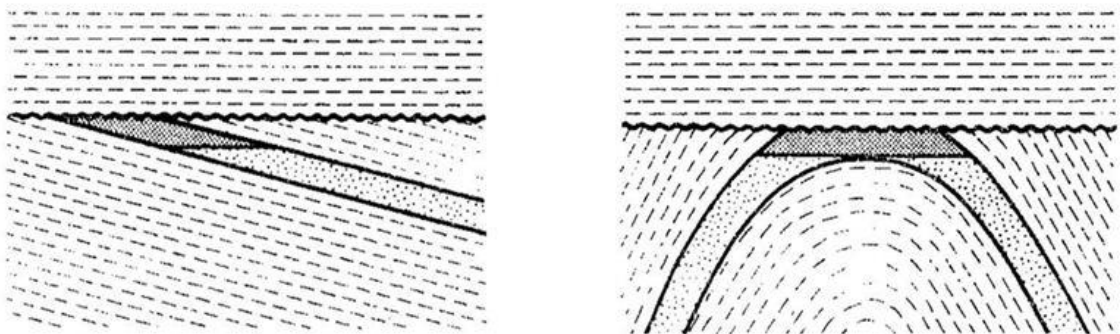
Il est à remarquer que si seul du pétrole s'y accumule, d'importantes quantités de gaz sont tout de même dissoutes et que les accumulations de gaz seul contiennent toujours une fraction de liquides légers appelé condensat, d'autant plus qu'il reste toujours un peu d'eau résiduelle collée aux grains de la roche réservoir.

Il existe différents types de pièges classés en trois grandes familles: les pièges stratigraphiques, les pièges structuraux et les pièges mixtes.

III.3.2. Les pièges stratigraphiques

La formation de ce type de piège est due aux variations latérales des caractéristiques de la roche réservoir passant. La roche-réservoir devient imperméable et bloque la migration du pétrole. C'est par exemple le cas des pièges récifaux.

Un autre mode de formation de ce type de piège est quand la couche perméable se termine par un biseau. Citons comme exemple de pièges stratigraphiques un piège à discordance, un piège optique et un paléo récif, lentille sableuse et un piège par variation lithologique.



Discordances

Figure 9: Exemples de pièges stratigraphiques

III.3.3. Les pièges structuraux

Les pièges structuraux sont formés à la suite d'une déformation des couches sédimentaires réservoirs. Ces déformations sont en général postérieures au dépôt.

Les exemples de pièges structuraux sont :

- les pièges anticlinaux qui sont dus à un mouvement tectonique souple
- les pièges par faille : dus à une tectonique cassante.

Ce type de piège été créé par des failles ou des fractures mettant en contact une couche-réservoir et un terrain imperméable.

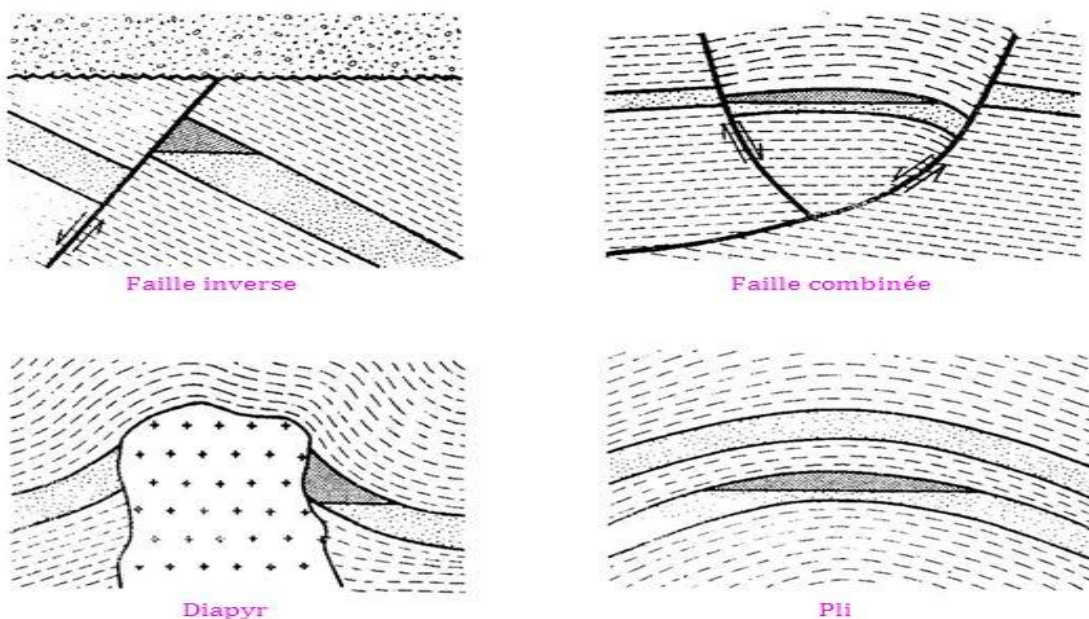
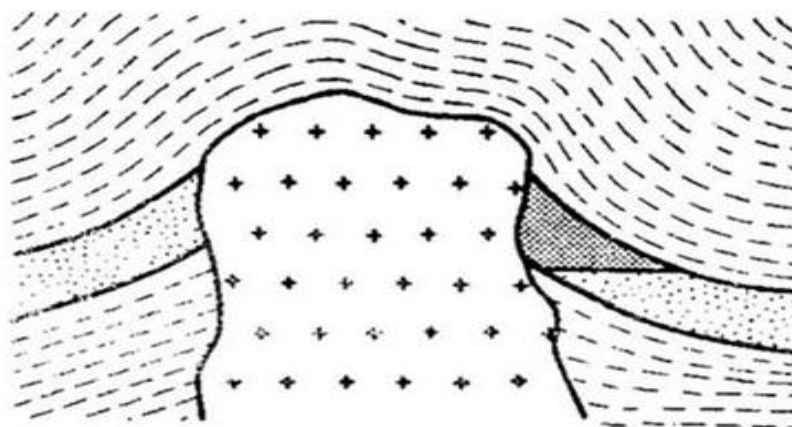


Figure 10: Exemples de pièges structuraux

III.3.4. Les Pièges mixtes

Ce sont des pièges qui résultent de la conjonction de facteurs structuraux, lithologiques et stratigraphiques. Un des exemples est celui des pièges liés aux dômes de sel.

La formation de ce type de piège se passe comme suit : au cours des temps, durant leur phase de maturation ou diagenèse, les roches sédimentaires augmente en densité, ce qui n'est pas le cas pour les roches salines ou sel gemme qui conservent sa densité. Ainsi, ce déséquilibre permet aux roches salines de monter au travers de la colonne stratigraphique et redresse à son contact les couches traversées et créent ainsi des failles.



Dôme de sel

Figure 11: Exemple de pièges mixtes

La figure suivant montre quelques exemples de pièges qui rencontrent à Madagascar:

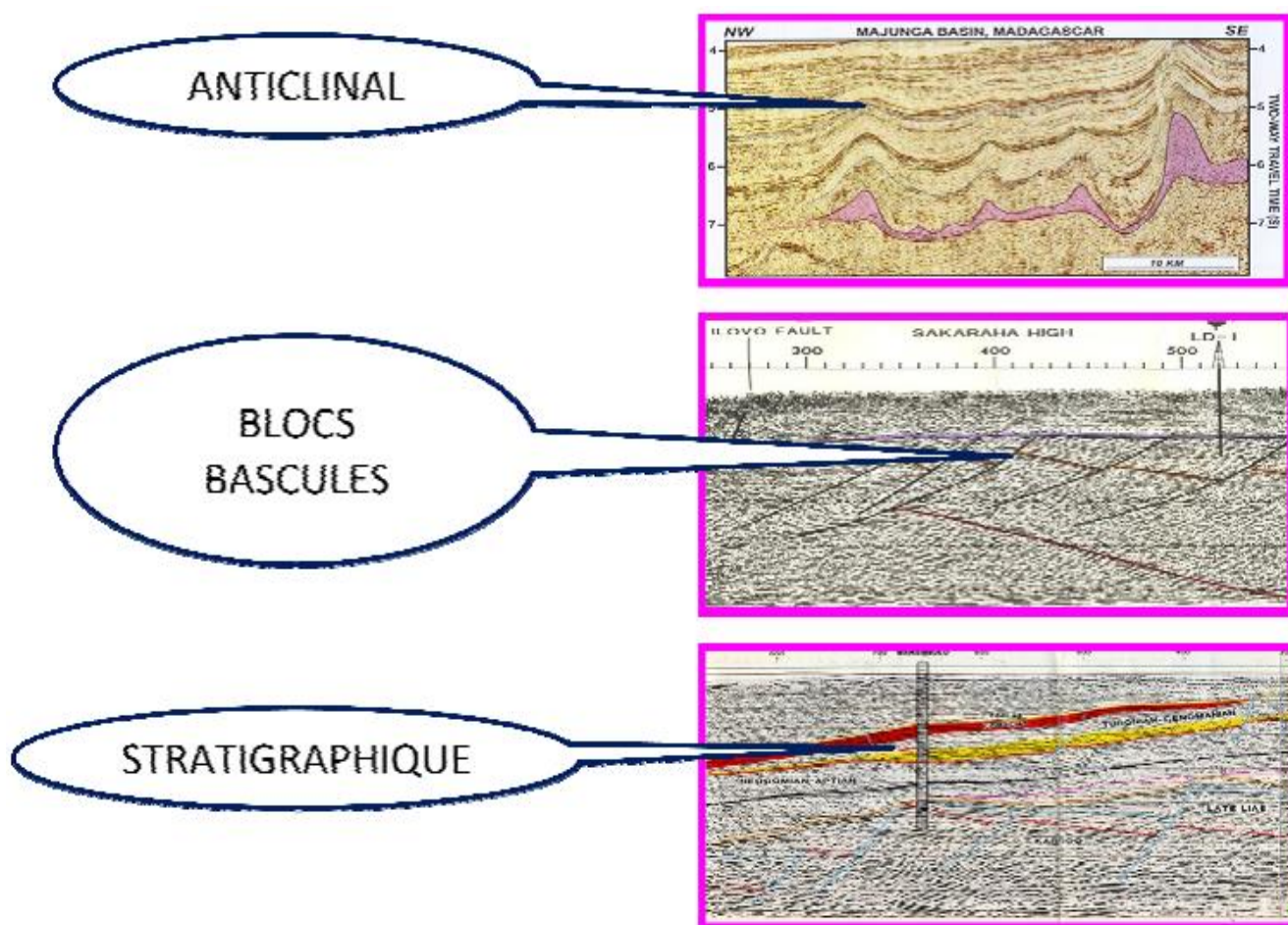


Figure 12: Exemples de pièges à Madagascar

DEUXIEME PARTIE:
METHODES DE PROSPECTION
GEOPHYSIQUE

CHAPITRE IV. PROSPECTION GRAVIMETRIQUE

La gravimétrie est une méthode géophysique qui consiste à mesurer les variations spatiales du champ de gravité. C'est une méthode géophysique utilisée pour produire une cartographie géologique d'un terrain.

IV.1. Principe de la gravimétrie

IV.1.1. La gravitation

La gravitation est une des quatre forces fondamentales régissant le mécanisme de l'univers.

C'est une force dite "d'attraction universelle" décrite par la première loi de Newton :

Deux corps ponctuels de masses respectives M_A et M_B s'attirent avec des forces de même valeurs (mais vectoriellement opposées), proportionnelles à chacune des masses, et inversement proportionnelles au carré de la distance r qui les sépare.

Cette force a pour direction la droite passant par le centre de gravité de ce corps.

$$\vec{F}_{A/B} = \vec{F}_{B/A} = G \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{r^2} \cdot \vec{u}$$

Avec $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ SI une constante universelle.

IV.1.2. Accélération de la pesanteur

D'après la loi décrite par l'équation 4.1 de Newton, une masse m située à une altitude z est attirée par la Terre de masse M_T et de rayon R avec une force d'intensité:

$$F = m \times \frac{G \cdot M_T}{(R + z)^2}$$

Sachant le rayon moyen de la Terre $R_T = 6371 \text{ Km}$ et sa masse $M_T = 5,9736.10^{24} \text{ Kg}$, on peut réduire cette expression de l'équation 4.2 sous la forme populaire (en module)

$F = mg$ où g baptisé constante de pesanteur ou accélération de la pesanteur, d'une valeur moyenne de $9,8 \text{ N.Kg}^{-1} = 9,8 \text{ m.s}^{-2} = 980 \text{ Gal}$.

Formellement,

$$g = \frac{G \cdot M_T}{(R + z)^2} = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$$

Autrement, la pesanteur étant une force conservative, elle dérive d'un potentiel scalaire U

$$\vec{g}(r, \theta, \varphi) = \nabla U(r, \theta, \varphi)$$

Où le centre de la Terre est pris comme origine des coordonnées.

Par définition,

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz$$

$$\nabla U = \frac{\partial U}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{e}_z$$

En notant par $d\vec{r}$ le vecteur déplacement d'un point de coordonnées (x, y, z) vers un point

$$(x + dx, y + dy, z + dz) :$$

$$d\vec{r} = dx. \vec{e}_x + dy. \vec{e}_y + dz. \vec{e}_z$$

$$dU = (\vec{\nabla} U). d\vec{r}$$

Alors,

$$U(r, \theta, \varphi) = \int_{\infty}^r (\vec{\nabla} U). d\vec{r} = - \int_{\infty}^r \vec{g}. d\vec{r}$$

En utilisant l'expression de g dans l'équation 4.3, on peut obtenir une expression d'usuellement dépendante de r:

$$U(r) = -G \int_{\infty}^r m \frac{dr}{r^2}$$

Or l'accélération de la pesanteur est toujours dirigée vers le centre de la Terre, g n'est autre qu'une mesure de la variation du potentiel gravitationnel en fonction de l'altitude z:

$$U(r) = \frac{\partial U}{\partial z}; \quad z/r = \cos \theta$$

IV.1.3. Les Dérivés du potentiel

Les quantités importantes dans l'analyse gravitationnelle peuvent-être obtenues par la dérive du potentiel. On connaît déjà la composante verticale de la gravitation suivant z, c'est la quantité mesuré par les gravimètres.

Le dérivé premier du potentiel g:

$$\begin{aligned}\frac{\partial g}{\partial z} &= \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \\ &= U_{-zz} \\ &= \gamma \rho \int_x \int_y \int_z \left(\frac{1}{3} - \frac{3z^2}{r^5} \right) dx.dy.dz\end{aligned}$$

Et le dérivé second est:

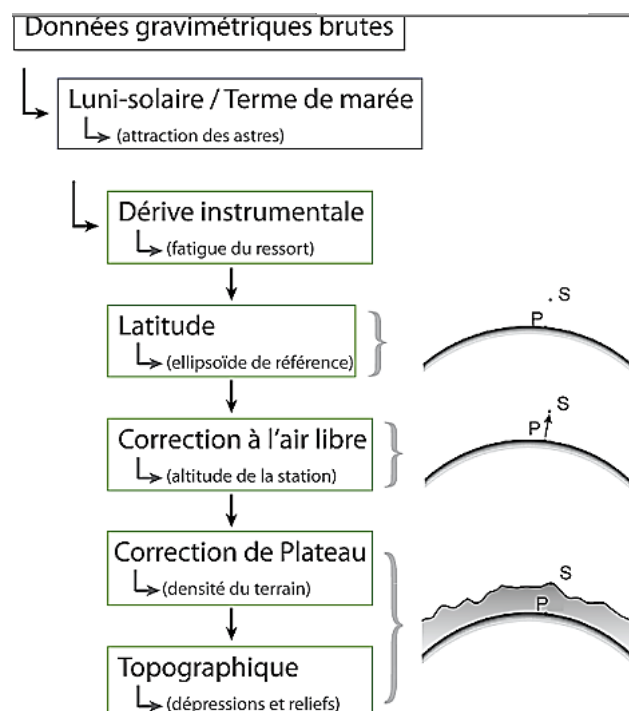
$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} &= \frac{\partial^3 U}{\partial z^3} \\ &= -U_{zzz} \\ &= \gamma \rho \int_x \int_y \int_z \left(\frac{5z^3}{r^7} - \frac{3z}{r^5} \right) dx.dy.dz\end{aligned}$$

Ce dérivé est fréquemment utilisé dans l'interprétation gravité pour isoler les anomalies.

Si on prend le dérivé de g suivant x et y, on obtient le composant gradient horizontale de la gravité:

$$U_{xz} = -\frac{\partial g}{\partial x} = 3\gamma \rho \int_x \int_y \int_z \left(\frac{5xz^3}{r^7} - \frac{3z}{r^5} \right) dx.dy.dz$$

La composante U_{yz} suivant s'y obtient de la même manière. Le gradient horizontal est très important dans la définition du bord et de la profondeur des corps.



IV.1.4. Corrections

Des variations locales sur les densités des roches proches de la surface provoquent une légère perturbation du champ gravitationnel. De l'équateur aux pôles, on note une différence de 5 Gal soit environ 0,5 % de la valeur moyenne (980 Gal), les différences d'altitude peuvent être responsable d'une fluctuation de 0,1 Gal. En prospection pétrolière, une anomalie gravimétrique est assez élevée si elle atteint le 10 mGal ; tandis qu'en exploration des minéraux, c'est de l'ordre de 1 mGal soit 0,0001% de g. Les minimales variations locales des gravitations sont donc souvent difficiles à cerner. Pour contourner ce problème, des corrections doivent être apportées pour éliminer les contributions des facteurs tels que l'altitude ou la latitude.

Ils existent plusieurs types de correction ; correction de dérive, correction de latitude, correction de plateau, correction d'altitude, correction de terrain, correction de Nettleton et l'anomalie de Bouguer. C'est ce dernier qu'on va développer.

IV.1.4.1. Anomalie de Bouguer

L'anomalie de Bouguer se traduit comme:

$$\Delta g_B = \Delta g_{B(\text{observée})} \pm \text{les 5 corrections}$$

IV.1.4.2. Correction de dérive de l'appareil

Le taux de dérive est définie par:

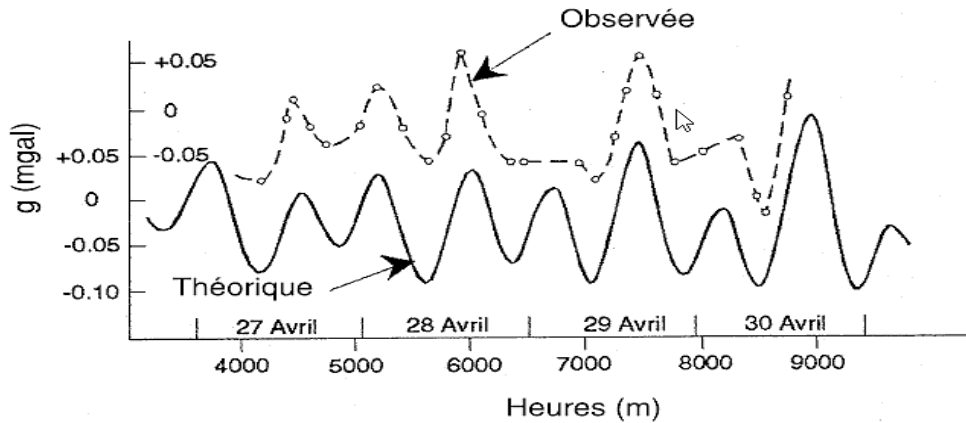
$$TD = \frac{U_2 - U_1}{T_2 - T_1}$$

Lorsque la dérive est positive, c'est que les mesures ont été surestimées, il faut donc les diminuer.

La correction de dérive sera négative ; et inversement, dans le cas où la dérive est négative, les mesures sont sous-estimées et la correction devra être positive.

U pris au temps T entre T_1 et T_2 sera corrigée par :

$$U_{cor} = U_{in} \left[\frac{U_2 - U_1}{T_2 - T_1} \right] * (T_2 - T_1)$$

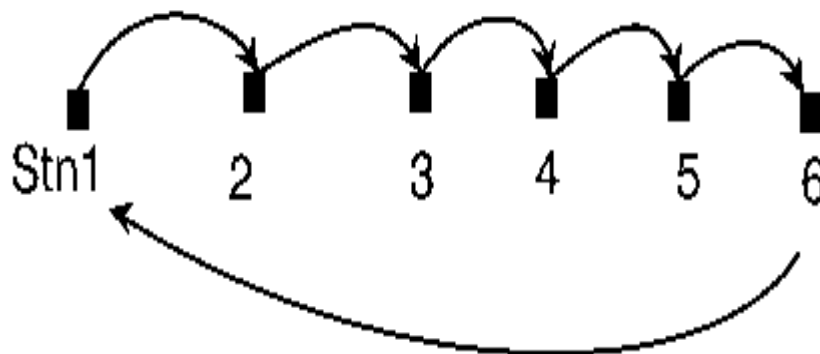


Dans ce but, il est nécessaire de suivre un certain cheminement entre les stations de lectures. Dans la pratique, on fait une série de mesures en suivant un cheminement en boucle : la série débute habituellement en un point donné et se termine à ce même point. Le point de départ de la boucle est normalement relié à une station de base.

IV.1.4.3. Correction de latitude

Elle compte des variations de g avec la latitude dues à la rotation de la terre et à son aplatissement. A partir des mesures géodésiques mondiales, on sait que la terre est un ellipsoïde de révolution presque parfait.

Le champ gravitationnel est décrit par l'équation:



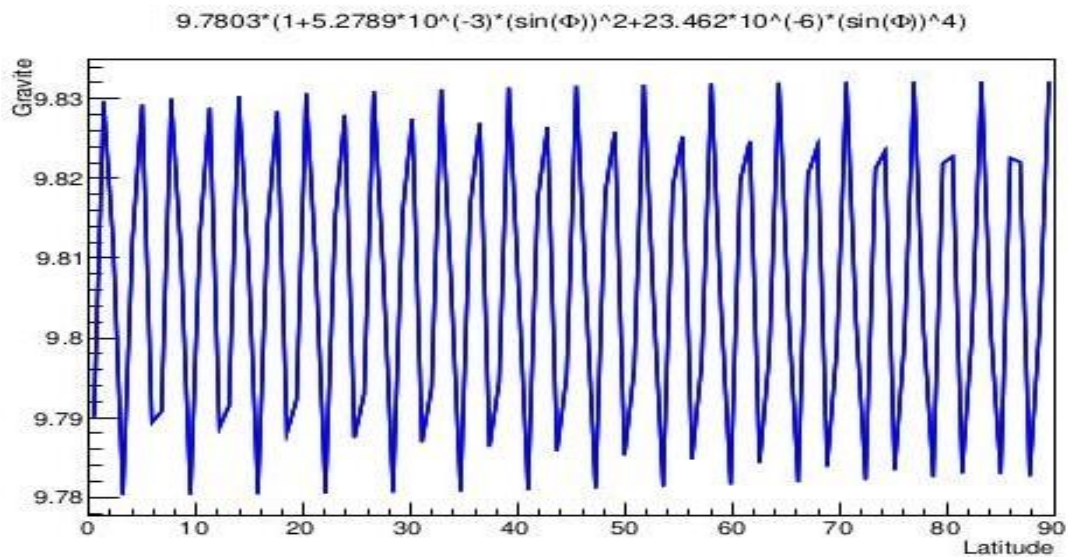
$$g_{th}(\varphi) = 978.03 [1 + 5.2789 \cdot 10^{-3} \sin 2\varphi + 23.462 \cdot 10^{-6} \sin 4\varphi] \text{ gals}$$

Où $g_{th}(\varphi)$ est la valeur du champ au point de latitude géocentrique φ .

La correction pour un déplacement dl suivant un méridien est donc :

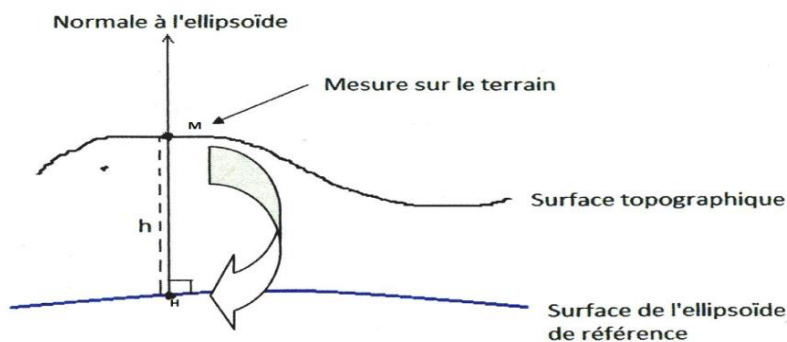
$$\Delta_L = \frac{dg_{th}}{dl} * dl \text{ avec } dl = R(\varphi)d\varphi$$

On a donc, $\Delta_L = 0.081 \sin 2\varphi \text{ mGal/100m}$.



IV.1.4.4. Correction d'altitude

Ceci est dû à cause des variations des mesures obtenues, ces variations sont dues qu'à la position de la station de mesure et non pas à des hétérogénéités du sous-sol.

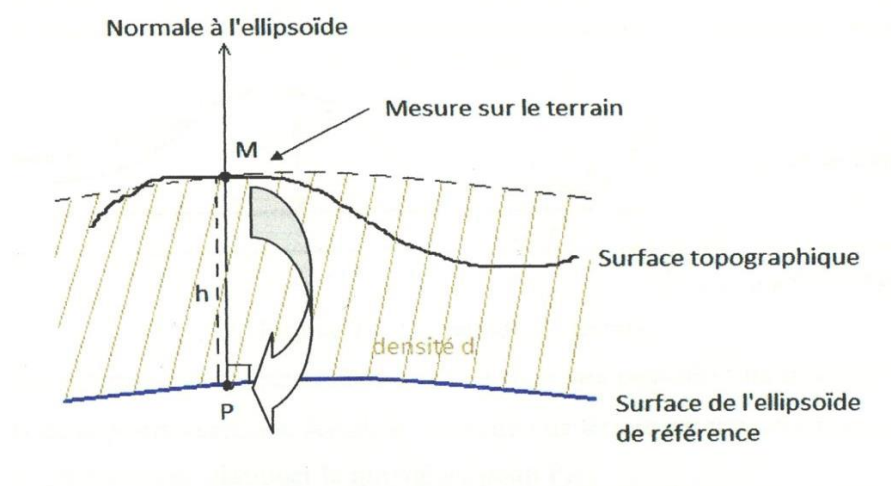


$$\Delta H = 0.3086 h \text{ (mGal.m}^{-1}\text{)}$$

Avec $h > 0$.

IV.1.4.5. Correction de plateau

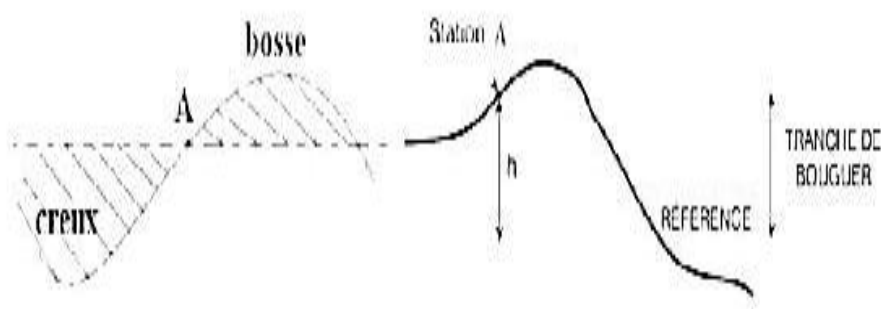
Cette correction tient compte de la mesure de la masse comprise entre le référentiel et la station de mesure; $\Delta P = -0.04191 \rho_B h \text{ (mGal.m}^{-1}\text{)}$



IV.1.4.6. Correction de terrain ΔT

h est positif si la situation est au-dessus du référentiel et négatif en-dessous et donc dans l'anomalie de Bouguer est:

$$\Delta g_{(\text{observée})} = g_{(\text{observée})} - g_{(\text{ref})}$$



Il est à noter que le gravimètre ne donne pas une valeur absolue de g mais une valeur relative:

$$\Delta g_B = g_{(\text{observée})} - (g_{(\text{ref})} \pm g_{(\text{ref})})$$

L'anomalie de Bouguer peut provenir de plusieurs niveau ; de grande profondeur, profondeur moyenne et de faible profondeur.

IV.2. Signature d'un gisement d'hydrocarbures en gravimétrie

Les gisements de pétrole étant moins denses par rapport aux structures rocheuses environnantes, il est possible de les localiser en détectant les anomalies du champ gravitationnel. La figure suivante montre l'aspect des variations de densités selon la nature du sous-sol.

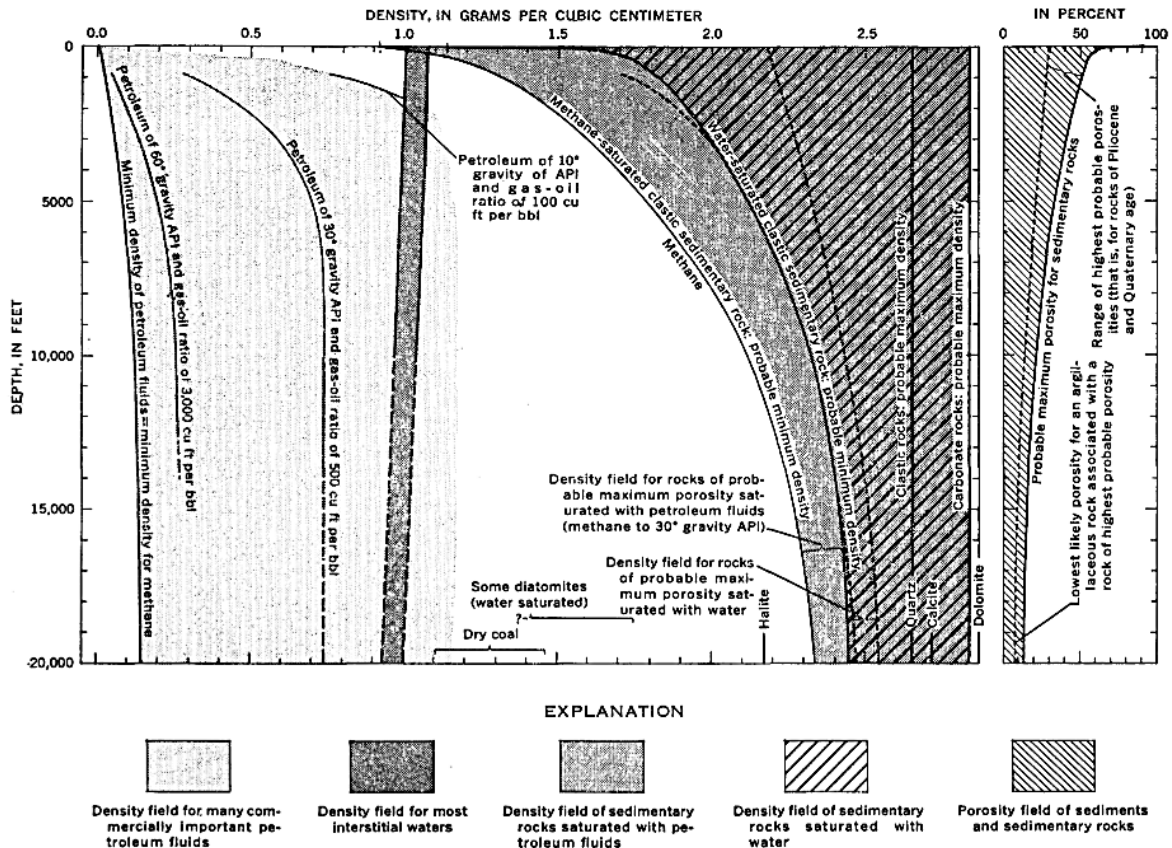


Figure 13: Signatures gravimétriques des gisements

IV.3. Acquisition des données gravimétriques

IV.3.1. Levé gravimétrique

Pour le cas de la présente étude, les mesures ont été faites au gravimètre Worden Standard, étalonné sur la base internationale de Tananarive (milligal international):

— Palais de la Reine

— Collège Saint-Michel, dont le Δg est de 38, 24 milligals.

IV.3.2. Instrumentation

Il existe deux types de mesure:

Mesure absolue utilisant la pendule. La mesure est obtenue à partir de la relation suivante:

$$g = \frac{4\pi I}{T^2 m h}$$

Où I le moment d'inertie, T la période d'oscillation, m la masse et h la distance du pivot au centre de masse du pendule. Pour un pendule idéal $g = \frac{4\pi I}{T^2}$

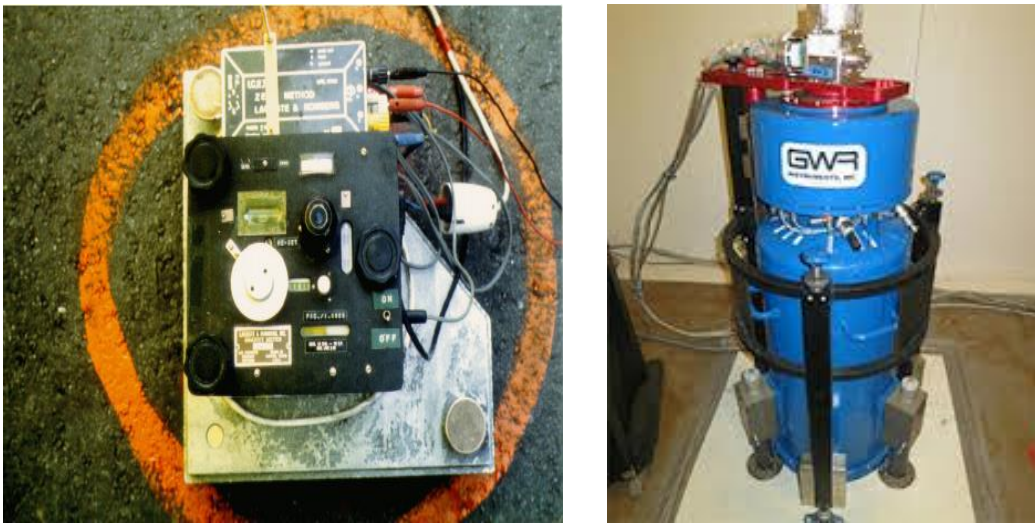


Figure 14: Gravimétrie Lacoste & Romberg et Gravimètres supraconducteurs

Il existe aussi d'autres méthodes de mesure absolue comme la corde vibrante ou la chute libre.

Mesure relative Dans cette mesure, on utilise trois instruments : pendule, balance à torsion et gravimètre.

Les gravimètres Il est conçu pour mesurer Δg_z , le système correspond essentiellement à une balance extrêmement sensible dans laquelle une masse est reliée à un ressort.

La variation de la gravité se traduit alors par élongation du ressort amplifiée mécaniquement ou électriquement. Les gravimètres modernes utilisent deux ressorts : un dont la tension correspond à une valeur moyenne pour la région et un autre plus sensible relié à une vismicrométrie qui sert à faire la lecture.

CHAPITRE V. PROSPECTION MAGNETIQUE

La prospection magnétique permet de déterminer les différents contrastes de susceptibilité magnétique dans l'écorce terrestre. Chaque corps placé dans un champ magnétique externe acquiert une magnétisation induite proportionnelle au champ inducteur dans la même direction. Pour cela, ce chapitre rappelle la théorie sur le magnétisme et les différentes étapes à suivre pour la prospection magnétique.

V.1. Théorie sur le magnétisme

V.1.1. Force magnétique

Pour un pôle magnétique, Coulomb a déterminé la force qui s'exerce sur ce champ, donnée par :

$$\vec{F} = \frac{m_1 \cdot m_2}{\mu r^2} \vec{u}$$

Avec :

- F est la force appliquée au pôle exprimée en cm.g.s^{-2} ou en N.
- m_1 et m_2 sont des masses magnétiques appliquées aux pôles [Kg].
- u est le vecteur unitaire suivant la droite joignant m_1 et m_2 .
- μ est la perméabilité du milieu autour des pôles, $\mu = 1$ dans le vide ou dans l'air.
- r la distance séparant les deux masses.

V.1.2. Champ magnétique

Soit une masse magnétique m_1 apportée sur le point A dans l'espace soumis à l'attraction émanant d'une autre masse magnétique m située à une distance r de A.

Ce champ magnétique porte trois composantes dans l'espace, qui sont:

- ✓ (X, Y, Z) : composantes cartésiennes
- ✓ (H, D, Z) : composante dans le système de coordonnées cylindriques
- ✓ (F, D, I) : composante dans le système de coordonnées sphériques

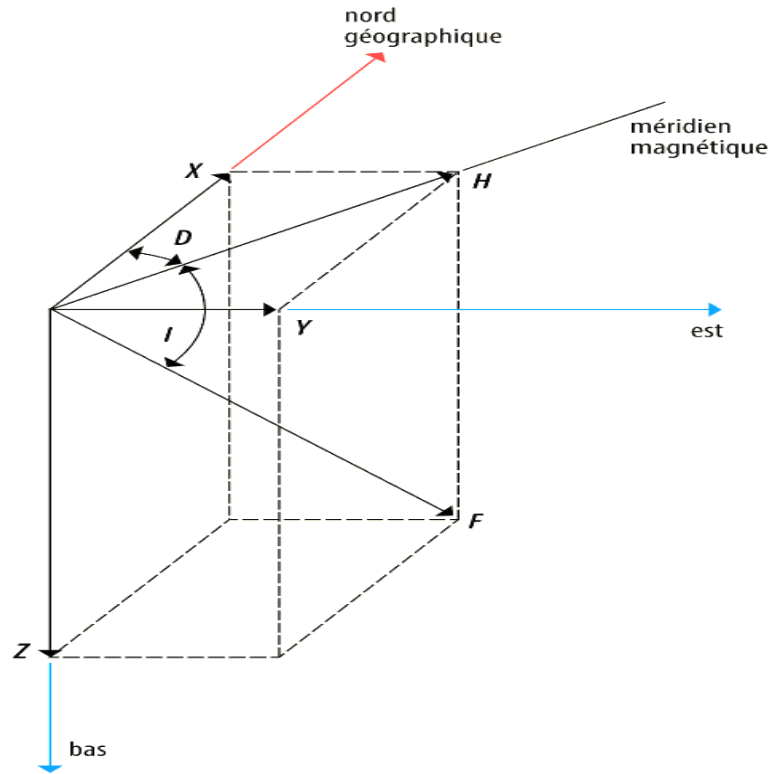


Figure 15: Présentation du champ magnétique H dans le repère Cartésienne

Et l'intensité du champ magnétique H exercé sur un pôle unitaire est donnée par la formule suivante:

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m_1} = \frac{m}{\mu r^2} \vec{u}$$

On suppose que m_1 ne soit pas assez grand pour affecter le champ H pour chaque point de mesure, c'est-à-dire $m_1 m$. En unité CGS, l'unité du champ est l'œrsted.

En géophysique, on mesure les variations du champ magnétique de l'ordre de 10^{-4} fois l'amplitude du champ magnétique terrestre ($\approx 0,5$ oersted).

V.1.3. Intensité de la magnétisation

Un corps placé dans un champ magnétique externe sera magnétisé par un champ d'induction. L'intensité de la magnétisation est proportionnelle à la force du champ et sa direction est dans celle du champ. Cette intensité est définie comme le moment magnétique par unité de volume.

V.1.4. Susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique k d'un corps indique son degré de magnétisation.

Elle est donnée par:

$$k = \frac{\|\vec{I}\|}{\|\vec{H}\|}$$

Tableau 2: Susceptibilités magnétique des roches

<i>Types des roches</i>	<i>Susceptibilité magnétique</i>
<i>Magnétite</i>	0.1
<i>Ilménite</i>	0.03
<i>Roche basique</i>	10^{-2} à 10^{-3}
<i>Roches acides</i>	10^{-4}
<i>Grès et argiles</i>	10^{-5}
<i>Calcaire et dolomie</i>	10^{-6}

V.1.5. Induction magnétique

Soit un corps magnétique placé dans un champ magnétique externe H , sous l'effet de ce champ, le pôle magnétique sera plus ou moins aligné et produisant un champ H relié à l'intensité de la magnétisation.

Donc l'induction magnétique est le champ total appliqué à l'intérieur du corps :

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}'$$

V.2. Propriétés magnétiques des matériaux

Les matériaux de la croûte terrestre sont principalement des minéraux : O, Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, Ti, et Mn. On classe les matériaux en fonction de leurs propriétés magnétique,

caractérisées par leur susceptibilité qui est définie comme la faculté à s'aimanter sous l'application d'un champ magnétique.

On distingue donc:

— Les matériaux diamagnétiques : ne contenant aucun élément magnétique et caractérisés par une susceptibilité négative $k < 0$.

Ils existent beaucoup de substance organique considérées comme diamagnétiques: par exemple l'eau, le mercure le bismuth et aussi la plupart des matières organique comme le pétrole et les plastiques.

Tableau 3: Caractéristique des éléments magnétiques

Type de magnétique	Valeur de χ	Signe de χ	Moment magnétique des atomes	Exemples
Diamagnétique	Extrêmement faible, de l'ordre de 10^{-5}	Négatif	Aucune	Argent, Or, Cuivre, presque tous les composés organiques
Paramagnétique	Très faible, de l'ordre de 10^{-3}	Positif	Orienté au hasard	Platine, Manganèse, Aluminium et certains composés d'éléments ferromagnétique par exemple l'alliage 68% de Fer 32% de Nickel
Ferromagnétiques	Très grande, il peut atteindre 10^5	Positif	Alignés	Fer, Colbat, Nickel et un grand nombre de leurs alliages, en particulier les aciers, et certain de leurs composés, ainsi que combinaison d'éléments non ferromagnétique
Antiferromagnétique	Très grande	Positif	Alignés parallèle et antiparallèle	Chrome, Oxyde de manganèse, Hématite
Ferrimagnétique	Très grande, il peut atteindre 10^5	Positif	Alignés et antiparallèle	Ferrite de baryum

Dans le phénomène de diamagnétisme, l'intensité de la magnétisation induite est dans la direction opposée au champ inducteur ; il est faible et réversible.

— Les matériaux paramagnétiques : qui peuvent contenir du fer ou du manganèse; ils acquièrent une aimantation uniquement sous l'effet d'un champ magnétique extérieur, celle-ci disparaît lorsque le champ extérieur est annulé.

Leur susceptibilité est

$$k = \frac{C}{T - T_p}$$

Avec: C est la constante de Curie

T_p est la température de Curie paramagnétique (ces deux grandeurs dépendent de la nature des matériaux).

— Les matériaux ferromagnétiques contenant du fer ou du manganèse sous forme d'oxydes, d'hydroxyde ou de sulfure ; ils présentent une aimantation spontanée même en l'absence de champ extérieur; leur moment magnétique s'aligne spontanément dans des régions appelées domaines.

Le ferromagnétisme disparaît si on dépasse une certaine température dite point de Curie.

Si le moment magnétique d'une substance sont antiparallèles dans les domaines et différentes, le moment magnétique total est différent de zéro. La substance est alors appelée ferrimagnétique; exemple l'ilménite.

Dans le cas d'une substance ferrimagnétique où la somme des moments parallèles et antiparallèles est nulle, on parle alors d'anti-ferrimagnétique.

V.3. Acquisition des données magnétiques

V.3.1. Instrumentation

Pour mesurer les champs magnétiques, on utilise des capteurs magnétiques comme le Magnétomètre (est une technologie passive, ce qui signifie qu'il ne détecte que des champs magnétiques qui existent déjà).

Ils existent quatre types principaux de magnétomètre:

- Balance magnétique Utilisés jusqu'à la fin des années 50.
- Sursaturation magnétique
- Précession nucléaire
- Pompage optique.
- Un magnétomètre



Figure 16: Les interfaces du système d'acquisition des données

V.3.2. Corrections

V.3.2.1. Correction de dérives

A cause des variations temporelles du champ magnétique terrestre, les mesures du champ magnétique, comme dans le cas du champ de gravitation nécessite des corrections.

- Variation séculaire: variation annuelles reliées au déplacement des pôles magnétiques.
- Variation diurne: variation cyclique d'environ 24 heures qui sont corrigées en établissant une station de base et en suivant la même procédure qu'en gravimétrie.

- Tempêtes magnétiques: variation brusque dues à des sursauts de l'activité solaire qui peuvent atteindre 2000 nT et durer plusieurs jours.

V.3.2.2. Correction d'altitude

Le gradient vertical de H_0 est d'environ -0.03nT/m aux pôles et de -0.015nT/m à l'équateur. Les effets d'élévation sont donc normalement négligeables. Toutefois, dans les montagnes, une correction d'élévation est faite. Elle égale à $-0.47\text{nT} \cdot H_0/\text{m}$, où H_0 est la valeur locale de l'intensité du champ géomagnétique en Oe. La correction est positive au Nord de l'équateur et négative au sud. Le nivellement peut s'effectuer par levé barométrique.

Dans le cas de levés aéroportés, il peut être spécifié que tout survol dont la différence entre la hauteur de vol théorique et réelle dépasse une certaine limite sera rejeté.

V.3.2.3. Correction de terrain

Les effets dus à des affleurements magnétiques près des stations vont influencer beaucoup de lectures. Par exemple une roche magnétique située au-dessus d'une station peut produire de fausse anomalie négative.

Les corrections de terrain étant ardues à faire, elles sont généralement omises.

V.3.2.4. Réduction à un datum

Le champ local est fortement influencé par la topographie.

Cette correction n'est appliquée que pour les levés au sol pour lesquels on mesure généralement la composante Z du champ.

V.3.2.5. Correction de latitude

Localement, le gradient horizontal de H_0 n'est pas discernable et on n'applique pas de correction de latitude.

V.4. Prospection aéromagnétique

La prospection magnétique s'effectue par survol stratégique de la zone avec un appareil incorporant un magnétomètre. A une fréquence déterminée, les mesures sont prises automatiquement.

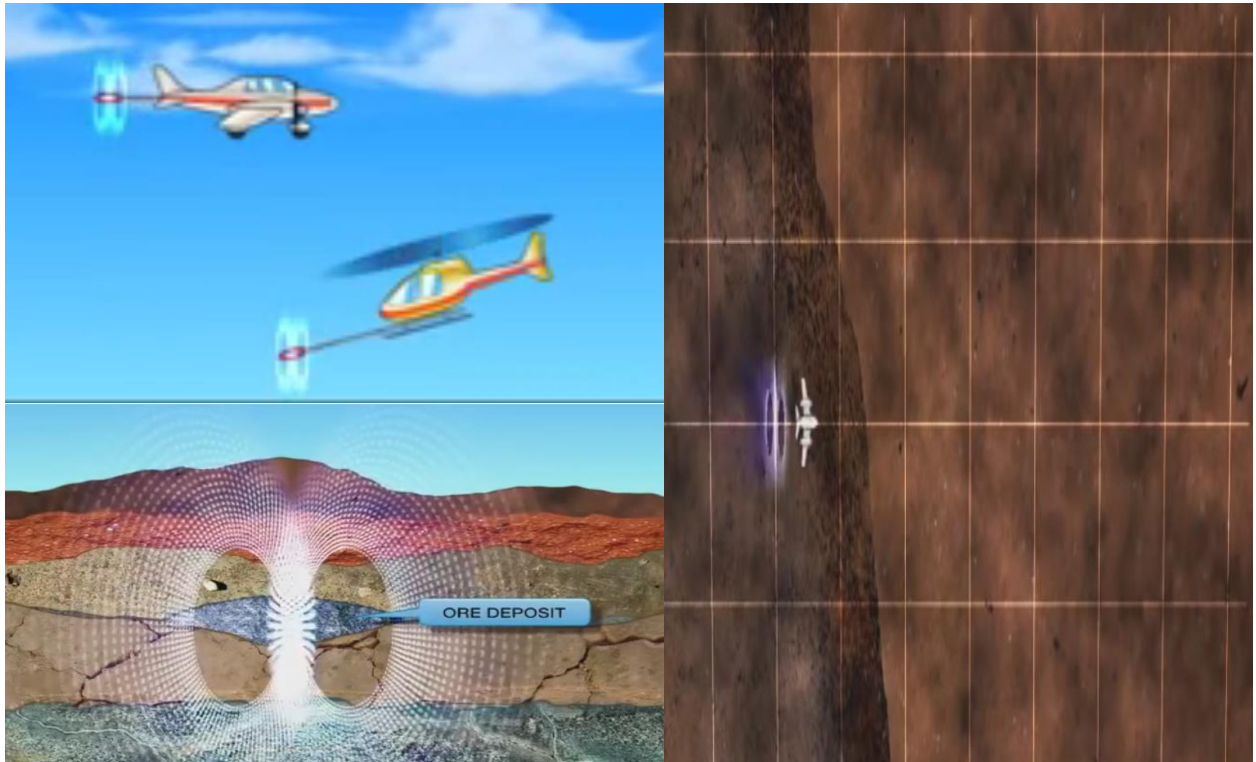


Figure 17: Mode d'acquisition des données

TROISIEME PARTIE:
TRAITEMENT DES DONNEES ET
INTERPRETATION DES
RESULTATS

CHAPITRE VI. TRAITEMENT DES DONNEES

Les données disponibles à l'OMNIS ont été reproduites en utilisant les logiciels de nos jours. Ce chapitre nous décrit la présentation de ces logiciels et ses modes d'exploitation afin de réinterpréter les données obtenues.

VI.1. Présentation des logiciels utilisés

La reproduction des données a été faite par le logiciel ArcGIS10.2, nous avons digitalisés les cartes d'anomalie de Bouguer. Par contre, les traitements des données sont faits l'Oasis Montaj 6.4.

VI.1.1. ArcGis 10.2

Arc GIS 10.2 est un logiciel qui permet de traiter les cartographiques pour ressembler SIG (Système d'Information Géographique), elle est développée par la société américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute.).

Arc GIS donc est un système informatique complet qui permet de collecter, d'organiser, de gérer, à d'analyser, de communiquer et de diffuser de l'information géographique. En fait, il peut créer, gérer et partager les données géographiques, des cartes et des modèles d'analyse via les applications automatisation de bureau et serveur.

➤ Méthode de manipulation du logiciel

Pour faire la géo-référencement, on ouvre l'arcMap puis clic droit sur le tache Layers puis aller au Properties pour choisir le système de coordonnées géographiques ensuite aller au Coordinatesystem puis Ok. Clic Add data pour introduire la carte à géoréférencier puis choisir le phot à scanner. Pointer les points de rencontre de deux coordonnées puis clic droit ceux ensuite taper les coordonnées X et Y dans la petite case. Clic la tache full extent pour retourner à la photo à scanner puis on refait la même opération. Et enfin clic Georeferencing puis clic rectify et choisir l'emplacement ensuite renommer puis Save et OK. Après ces démarches les formats d'une image changent sous forme de .tif.

Après avoir obtenu le l'image .tif, on fait la digitalisation pour avoir une shapfile, c'est-à-dire clic le catalog sur le barre de tache en haut ensuite choisir l'emplacement, si on déjà choisit l'emplacement, clic droit sur le souris puis New ensuite Shapfile. Renommer le chapfile puis choisir featur type (point, polyline, polygon, multi point, multi patch) et clic Edit pour choisir les systèmes de coordonnées qu'on déjà choit dans le géoréférencement et en fin clic Ok. Si

on a le Shapfile, clic droit sur eux puis aller au propriétés ensuite fields (Taper le nom puis dérouler à droite, clic à droite de souris puis choisir double si le chiffre qu'on introduit dans le Table attribut et text si autres) et OK. Et en fin faire la digitalisation, après la digitalisation, le shapfile est obtenu.

VI.1.2. Oasis Montaj 6.4.2

L'Oasis Montaj de Geosoft est un logiciel qui permet de traiter les données gravimétriques, magnétiques et de cartographie. Il permet aussi de manipuler, visualiser, cartographier et gérer les données géo référencées dans le domaine des Sciences de la Terre. Il fournit un environnement optimal pour l'intégration, la visualisation et la comparaison de grands volumes de données. Il a renfermé des extensions qui apportent des fonctions complémentaires telles que l'analyse géophysique, géologique ou géochimique.

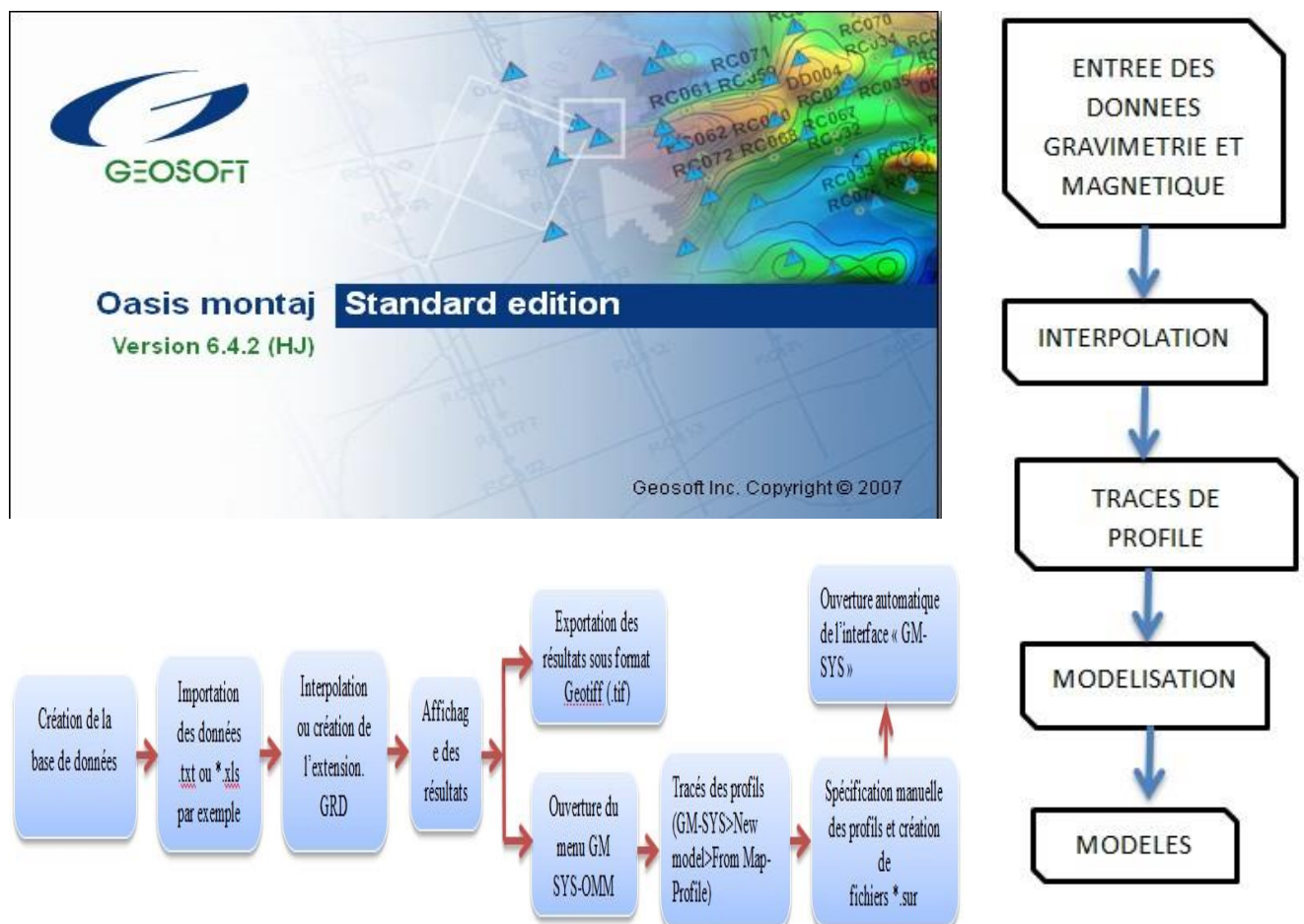


Figure 18: Organigramme de traitement des données

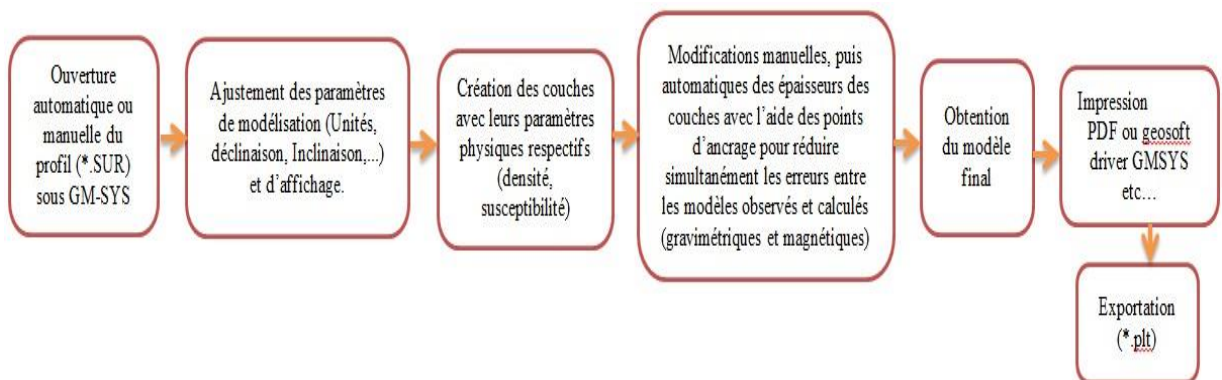
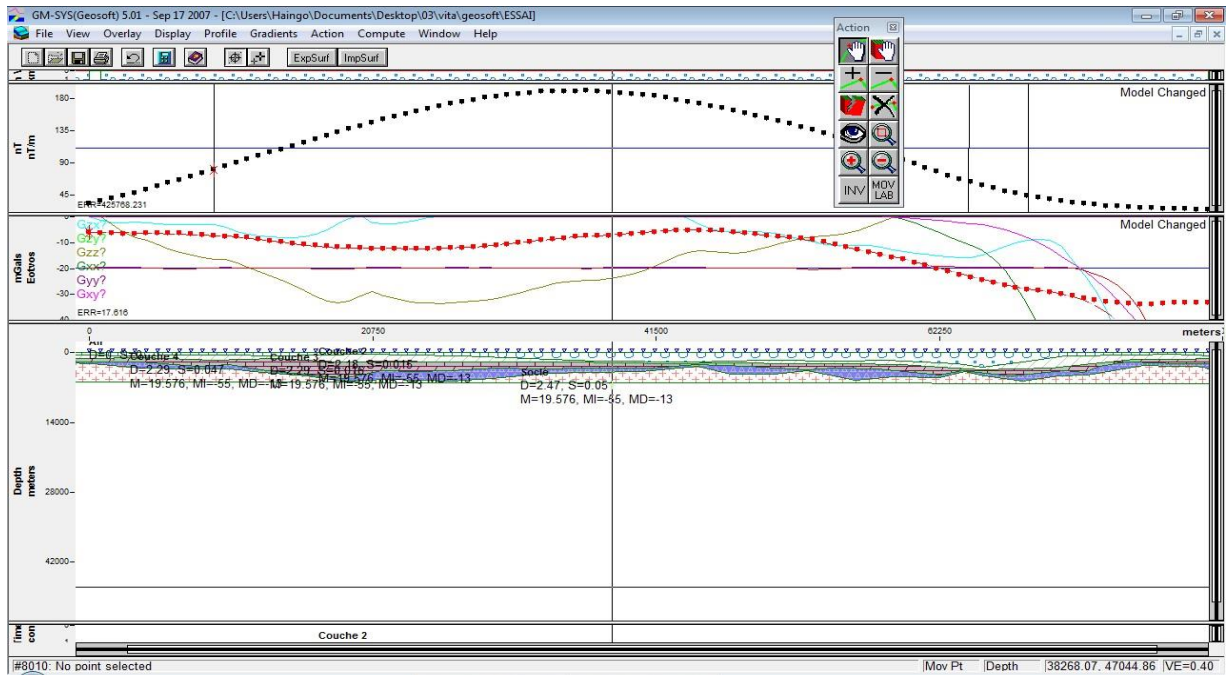


Figure 19: Ajustement du profil sur GM SYS

VI.2. Mise à jour des données

En premier temps nous allons reprendre la carte d'anomalie de Bouguer de la SPM (1957), et puis, on va les digitalisées, pour qu'on puisse les retraites dans d'autre logiciel. De même on exploite les données géologiques dans l'ArcGis en ligne.

VI.2.1. Données gravimétriques

Après la digitalisation, la figure ci-après nous montre la nouvelle carte d'anomalie de Bouguer.

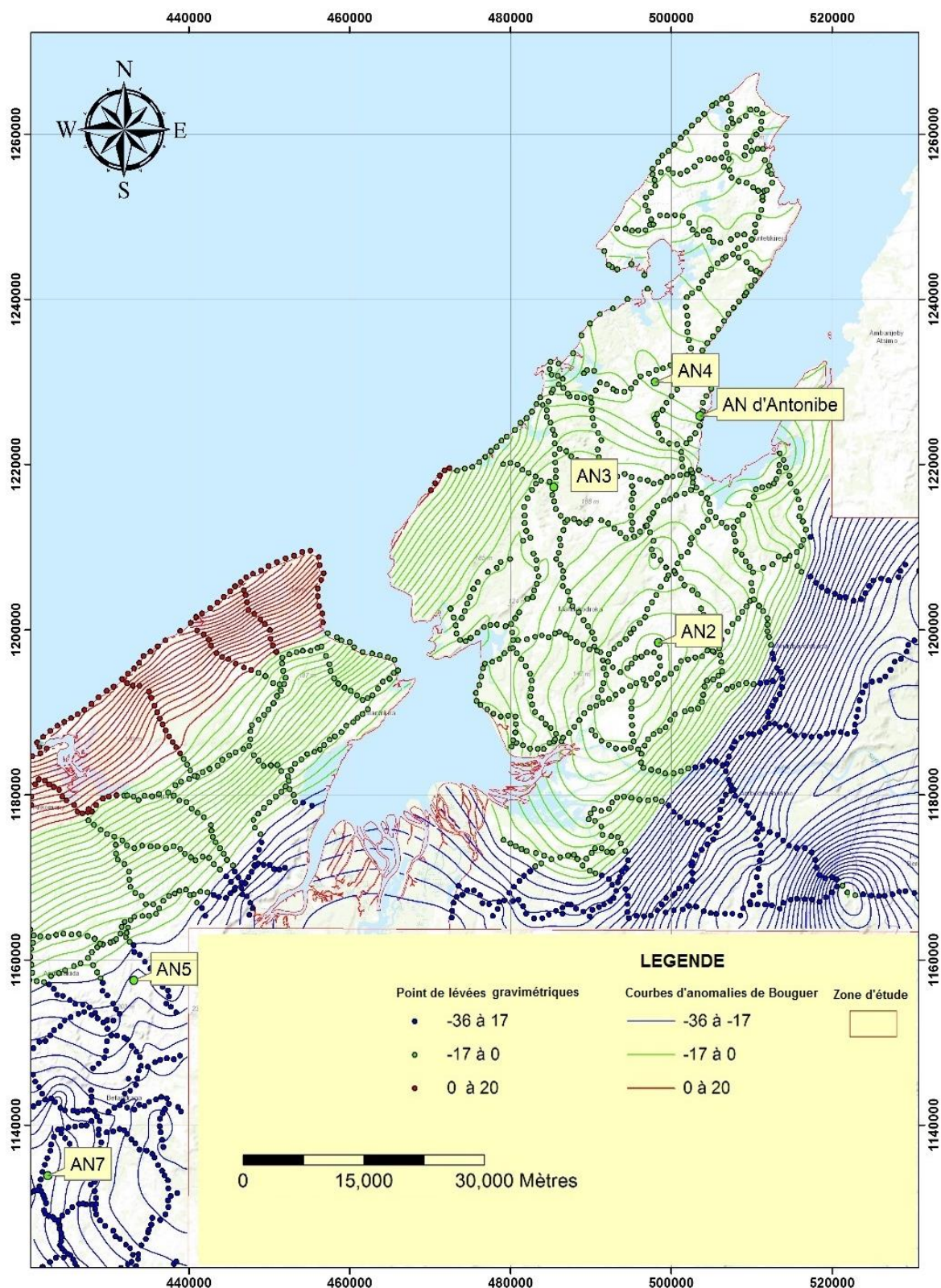


Figure 20: Résultats des levés gravimétriques

Le tableau suivant montre un extrait des résultats des valeurs de l'anomalie de Bouguer obtenue.

Tableau 4: Extrait des données gravimétriques

X (Laborde en m)	Y (Laborde en m)	AB (Anomalies de Bouguer)
420019.164	1142534.91	-23.86
420049.063	1180770.12	7.22
420141.969	1157567.6	-16.09
420270.623	1163684.24	-10.61
420277.238	1160436.47	-14.31
420298.359	1131865.37	-28.15
420343.384	1161382.36	-13.5
420382.439	1178780.45	4.23
420408.897	1179791.16	5.27
420422.759	1159437.67	-14.99
420465.047	1121800.6	-29.05
420493.532	1184702.56	13.68
420511.064	1158508.19	-15.53
420581.509	1162090.12	-12.87
420614.478	1146122.66	-22.07
420638.29	1149369.11	-20.36

L'histogramme suivant montre la distribution des valeurs des anomalies gravimétriques dans notre zone d'étude, et ceci est bien corrélé avec les données SPM, 85% des données sont d'anomalies négatives.

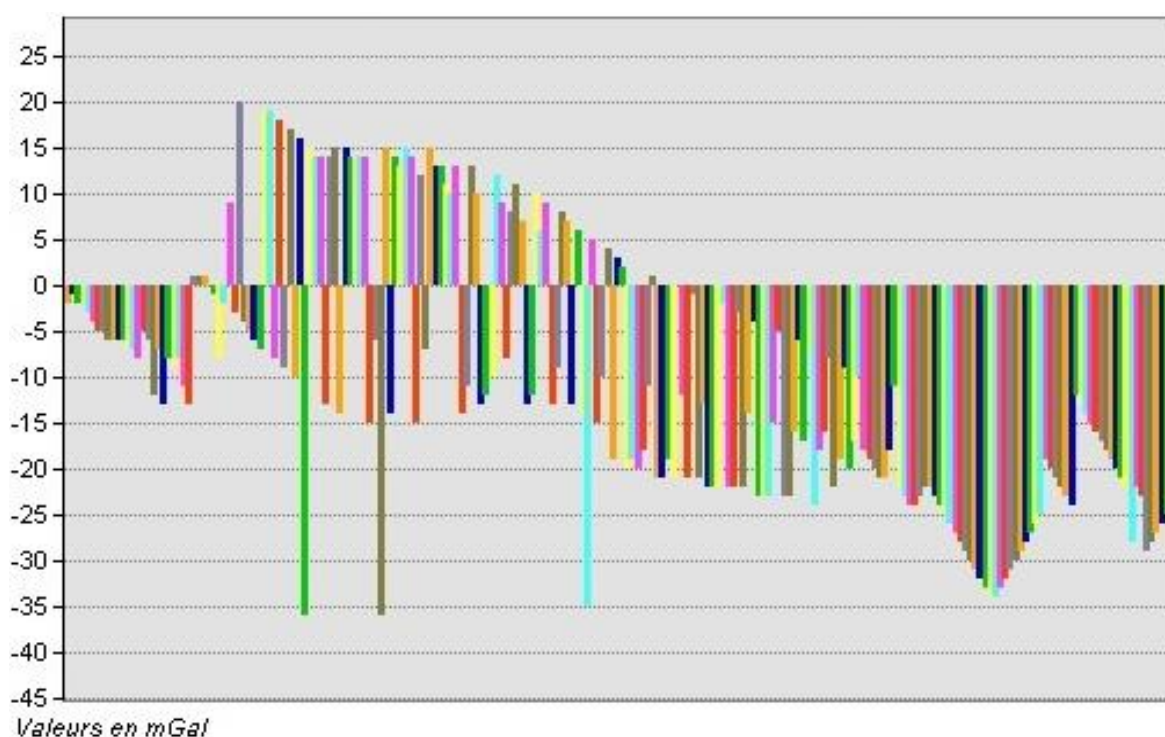


Figure 21: Histogramme des anomalies de Bouguer

Le tableau ci-après nous montre les précisions des résultats des valeurs de l'anomalie de Bouguer obtenue.

Tableau 5: Précision des résultats de l'anomalie de Bouguer

	PRECISION DES RESULTATS - ANOMALIE DE BOUGUER $B = g + g_0 + CZ + T$			
	Définition de l'erreur moyenne quadratique	Erreur sur le terme correspondant: 1/100°mGal	Erreur entre 2 points voisins en 1/100°mGal	Erreur entre 2 points de distance D=3 soit #30Km
Altimétrie (Z)	$e_z = (cm) 6,9\sqrt{D}$	$e_z = 6,9 \times 0,216\sqrt{D}$	$e_z = 1,5$	$e_z = 8,3$
Laborde Y	0	0	0	0
Laborde X	$e_x = (m) 8,9\sqrt{D}$	$e_{g_0} = \frac{42}{1000} e_x$	$e_{g_0} = 0,3$	$e_{g_0} = 1,7$
Gravimétrie	$e_z = 0,04 \text{ mGal}$ $e_z = 0,06 \text{ mGal}$	$e_G = \sqrt{e_b^2 + e_g^2}$	$e_G = 7,2$	$e_G = 9$
Précision sur AB		$E = \sqrt{e_z^2 + e_G^2 + e_Y^2}$	$E = 7,4$	$E = 12$

VI.2.2. Données magnétiques satellitaires

Avant l'ère spatiale les relevés sur les caractéristiques régionales du champ magnétique terrestre sont rares ou absentes. Les satellites POGO (Polar Orbiting Geophysical Observatory) et OGO (Orbiting Geophysical Observatories) 2, 4, et 6 satellites de la NASA effectuent entre octobre 1965 et juin 1971 des mesures globales de l'intensité du champ magnétique terrestre et des modèles sont construits à partir des données de POGO.

Avant le lancement de POGO, on considérait qu'il était impossible de détecter les anomalies magnétiques depuis l'espace. En analysant les données de ce satellite les scientifiques se rendirent compte que les instruments du satellite avaient pu détecter des variations du champ magnétique local lorsqu'il survolait la Terre à basse altitude.

La mesure du champ magnétique terrestre par satellite se fait grâce au magnétomètre embarqué sur le satellite. Les anomalies magnétiques détectées sont le reflet de caractéristiques géologiques majeures telles que la composition et la température de la formation des roches, le magnétisme rémanent et la structure géologique à une échelle régionale.

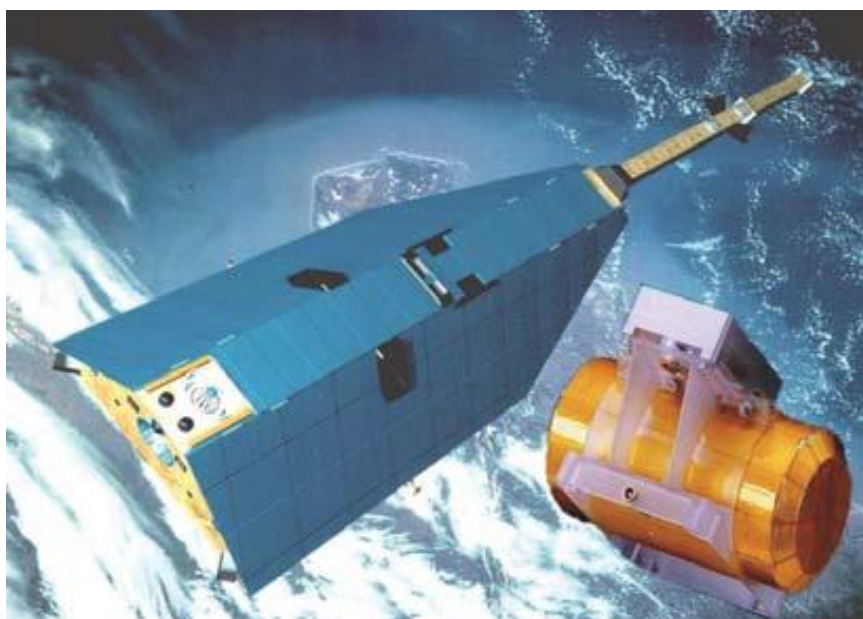


Figure 21: Satellite Allemand CHAMP embarquant un magnétomètre

Les données EMAG2 sont disponibles sur internet. Il existe différentes types de fichiers téléchargeables selon les besoins. Celles-ci peuvent être des cartes ou sous forme ASCII.

Pour notre cas, nous avons téléchargé la version ASCII de l'anomalie magnétique terrestre. Ainsi, les valeurs présentées sont celles recouvrant plus ou moins la totalité du globe. Nous avons ensuite extrait les valeurs utiles pour notre zone d'étude.

Il est à noter que ce sont des données qui ont déjà été corrigées donc prêtes pour interprétation.

Les données magnétiques sont extraites dans les données géophysiques mondiales sous google earth, le site EMAG2-kmz, nous allons télécharger ces données le 29/02/2016. Le tableau ci-dessous nous montre l'extrait de ces données magnétiques.

Tableau 6: Extrait des données magnétiques

Longitude (degré)	Latitude (degré)	Anomalies Magnétiques (Nt)
46.8	-13.8	13.40501
46.8	-13.8	15.21086
46.9	-13.8	17.37713
46.9	-13.8	19.47139
46.9	-13.9	24.09279
47	-13.9	26.08211
47	-13.9	27.13751
47	-13.9	27.66116
47.1	-13.9	28.65695
46.9	-13.8	22.61874
47	-13.8	24.90318
47	-13.8	26.31827
47	-13.8	26.86089
47.1	-13.8	27.21132

VI.2.3. Données géologiques

Les données géologiques que nous allons utiliser pour ce travail sont celle qu'on entracte dans les sites de la géologie mondiale dans la date de dernier mis à jours du 29/02/2016, on utilise le logiciel d'ArcGis en ligne.

L'information géologique sur la zone à étudier se résume sur le tableau ci-dessous:

Tableau 7: Synthèse géologique de la zone d'étude

Information générales			
Stratigraphique	Commentaire	Tectonique	Commentaire
Isalo	Caractère à exception de calcaire marin et essentiellement gréseux avec des intercalaires d'argilites	Bassin total	Le pendage est Ouest et de les angles sont faibles : une épaisseur sédimentaire maximum 3000m et des estimations aléatoires à partir des affleurements, ce tectonique est plus calme que dans le bassin de Morondava
Jurassique	Une grande transgression du Bathonien et de majorité argilo-marneux (passage gréseux)	Etage Jurassique	Il parait affecté d'un système de failles. C'est une zone tectoniquement complexe
Crétacé	Comme dans le bassin de Morondava: une vaste coulées basaltique	Etage Crétacé	Probablement d'une faille dans la baie de Narinda (elle suggère rait l'existence d'une Graben).
Crétacé ante-basaltique	Présente un nouveau bande affleurant plus important, ce Crétacé retrouvera dans les affleurements des coulées basaltiques (Turonien inférieur)	Socle	C'est une structure isoclinale serrée avec de pendage proche verticale. De nombreuse granitique mais sans métamorphisme de contact, peuvent aussi se présenter de dykes.
Crétacé post-basaltique	Caractérise par d'importante variation de Faciès (Faciès marin et continentaux		
Eocène	C'est une formation calcaire		

VI.2.4. Données des forages

Les interprétations des données gravimétrique et magnétique nécessitent des informations des forages existantes dans la zone d'étude, afin de déterminer les caractéristiques des paramètres physiques du sous-sol (densités et susceptibilité magnétique) deux forages ont été existés dans la zone étudiée qui sont MAROVOAY-1 et SOFIA-1.

VI.2.4.1. Forage de MAROVOAY-1

Catégorie de sondage: puits d'exploration, coordonnées Laborde Est 420,26670km et Nord 1 122,95409km

Objectif est de tester la formation Isalo I et Sakamena

Le puits a été pénétré une séquence de sédiments du Crétacé et du Jurassique comme prévu.

Aucun indice spectaculaire n'a été observé et les sables ont été calculés comme palier de l'eau entièrement.

La section Trias Karoo objectif était décevant car il contenait des indications tracé seulement, et a montré un développement de réservoir pauvre.

VI.2.4.2. Forage de SOFIA-1

Catégorie de sondage: puits d'exploration, coordonnées Laborde X= 1 177.5km et Y=475.665km et coordonnées géographiques (UTM): 47° 09'00" E et 15°29'12" S.

Objectifs: tester le grès du Crétacé, le calcaire jurassique et les grès de l'Isalo ; obtenir de l'information régionale stratigraphique et structural dans le bassin de Mahajanga.

Puits bouché et abandonné; pas d'indice d'huile et de gaz, SOFIA a rencontré des niveaux de silts pyroclastiques sur une centaine de mètres. La série traversée est, par ailleurs, fortement argileuse. La figure suivante représente le point de sondage durant l'étude.

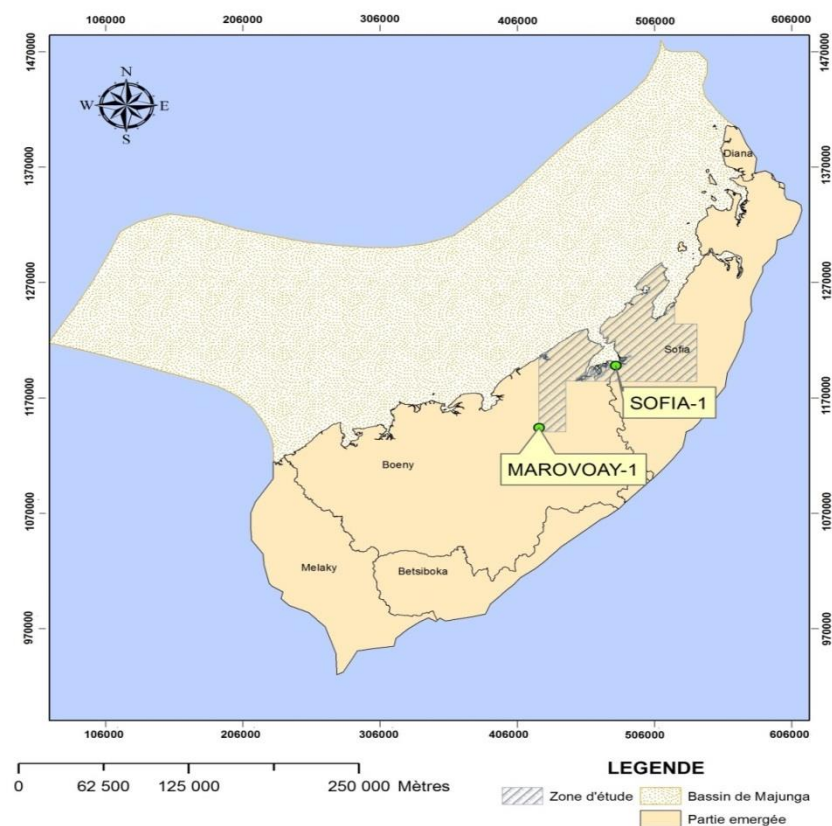


Figure 22: présentation de zone à forer

D'après les résultats des forages, on en déduit les valeurs des densités des roches rencontrées (Tableau 7)

Tableau 8: Valeur des densités des roches (source SPM)

Formations	Densités
Calcaires de l'Eocène	2,2
Calcaires du Maestrichtien (Marne et Craie)	2,1
Calcaires du Maestrichtien (Grès et Sables)	2,2
Grès du Sénonien-Turonien (Grès grossiers)	2,2
Grès du Sénonien-Turonien (Grès et Argiles)	2,1
Carapace Sableuse	2,1
Basaltes	2,1
Alluvions récentes	1,9

VI.3. Traitement des données

VI.3.1. Interprétation qualitative

L'interprétation qualitative permet de mettre en évidence l'existence des corps dont la densité ou susceptibilité magnétique les différencies avec le milieu environnant, on peut faire sortir également les aspects structuraux de la zone étudié.

Cette mode de traitement a pour objectif de voir la répartition spatiale des anomalies, on utilise l'Oasis Montaj pour faire sortir les cartes d'anomalie de Bouguer et d'anomalie magnétique.

VI.3.1.1. Carte d'anomalie de Bouguer

Après retraitement des données gravimétriques la figure 19 nous montre l'anomalie de Bouguer du bassin étudié.

D'un point de vue général, on remarque que l'anomalie de Bouguer croît de l'Ouest vers l'Est, elle varie de -36 à 24 mGal. Le plus remarquable est celle d'Ampombobitika ayant une forme elliptique de direction Sud-Ouest – Nord Est dont l'intensité de l'anomalie varie entre -32 à -18mGal (Couleur Bleue sur la figure). Ces zones ont un intérêt particulier pour la recherche des gisements pétroliers.

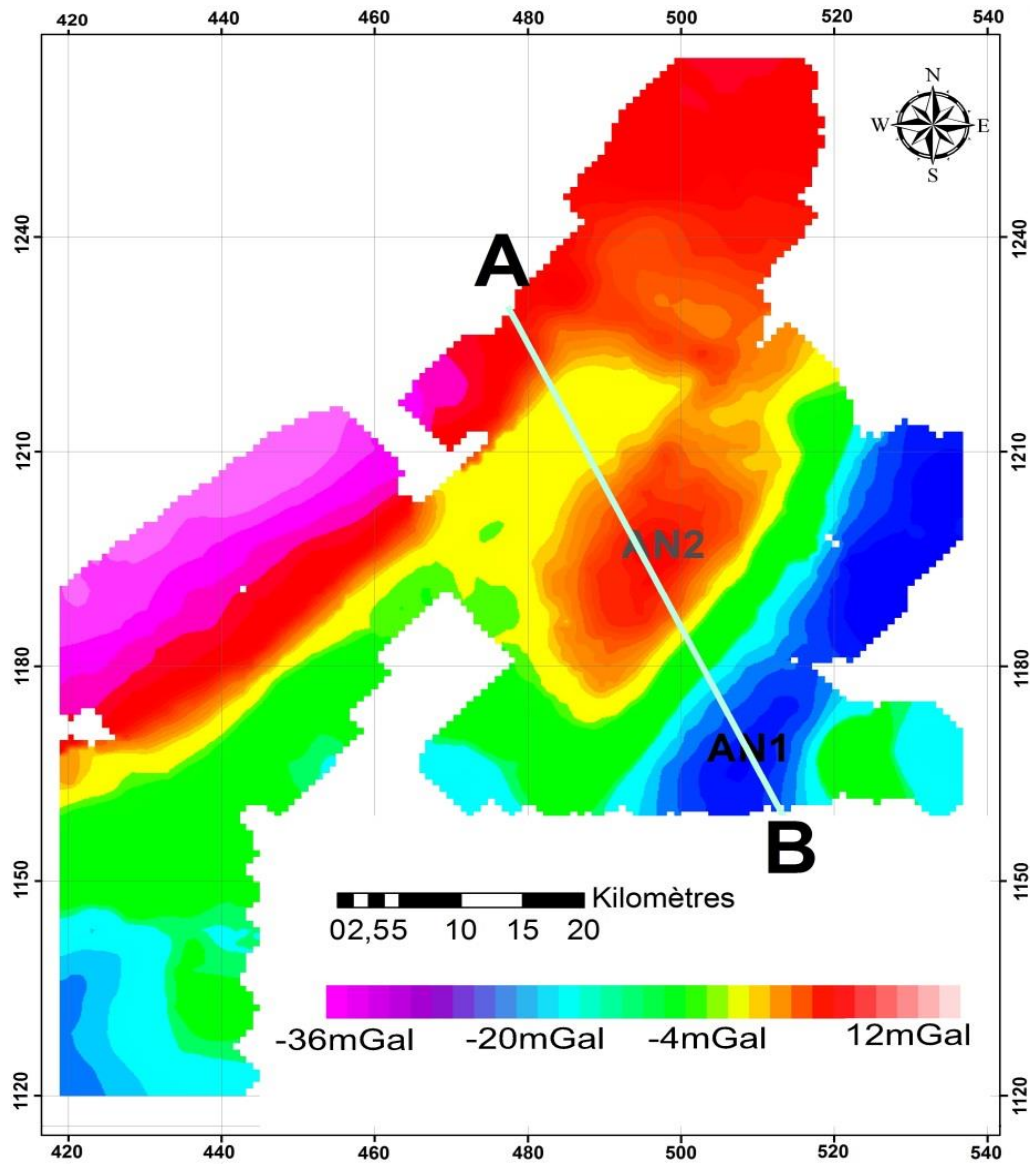


Figure 23: Représentation d'anomalies de Bouguer spectrale

VI.3.1.2. Carte d'anomalie magnétique

La réalisation de la carte d'anomalie magnétique est semblable à celle de l'anomalie de Bouguer et traitée par les mêmes logiciels. Nous avons plus de 5670 points de levé et l'interpolation a été réalisée par méthode de krigeage avec une maille de 300m.

Les valeurs de l'anomalie observées varient de -49 à 101nT, dans laquelle l'anomalie positive domine dans la majeure partie de la zone d'étude et deux petits lobes d'anomalie négative.

Une forte anomalie positive de forme ovale, de direction Ouest - Est, elle se trouve dans la partie centrale de la zone d'étude. Elle pourrait être interprétée comme une intrusion basaltique dans laquelle le taux de magnétite est très élevé.

Le côté Nord-Ouest et la partie centrale Ouest de notre zone sont dominés par des anomalies magnétiques négatives plus ou moins uniformes (couleur bleu et verte sur la carte).

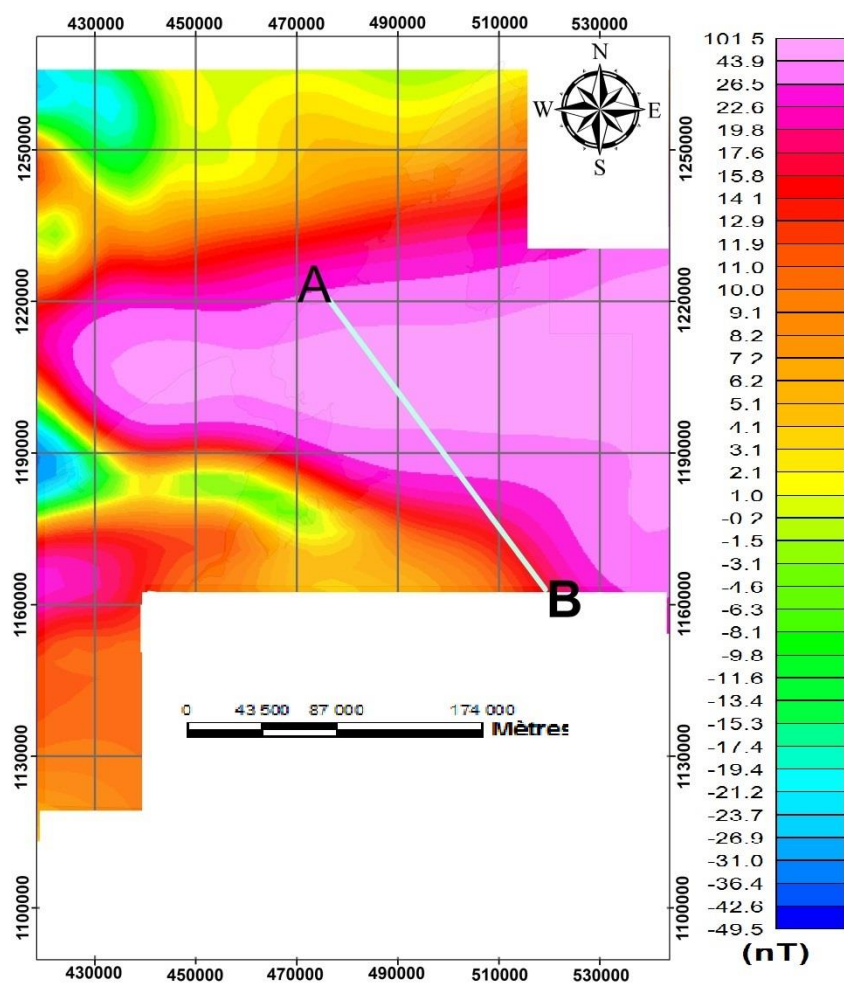


Figure 24: Représentation spectrale d'anomalies magnétique

VI.3.2. Interprétation quantitative

Cette mode d'interprétation est celle de la modélisation en 2D. La modélisation serait possible seulement si on impose des contraintes dans le but de bien ajuster nos courbes théoriques sur les points expérimentaux.

Elle est réalisée avec le logiciel Geosoft 6.4 grâce au programme de modélisation en 2D incorporé « GM-SYS 6.4 ».

C'est une application développée par le Northwest Geophysical Associates en 1999.

La modélisation des profils gravimétriques et magnétiques se fait simultanément. Le calcul des anomalies tient exclusivement compte des masses comprises entre 0 et 5km de profondeur, des structures et des formations géologiques de la région.

L'objectif de cette modélisation est de mettre en évidence les structures et les formations géologiques probables de la région.

Pratiquement, la modélisation se fait en 3 étapes :

- Création des modèles gravimétriques et magnétiques théoriques
- Entrée des différentes valeurs de densité et de susceptibilité
- Ajustement simultané des courbes expérimentale et calculée

VI.3.2.1. Choix de profil

Le profil doit suivre une direction perpendiculaire à celle des couches étudiées. Pour notre cas, ce profil a une direction Nord-Ouest Sud-Est, il coupe l'anomalie de Bouguer fortement négative et l'anomalie magnétique positive, c'est l'endroit où on peut rencontrer des systèmes pétroliers intéressants.

VI.3.2.2. Modélisation

Un modèle est proposé suivant la coupe AB passant par Mahadrodroka et Ampombobitika, ce profil a une longueur totale d'environ 75Km.

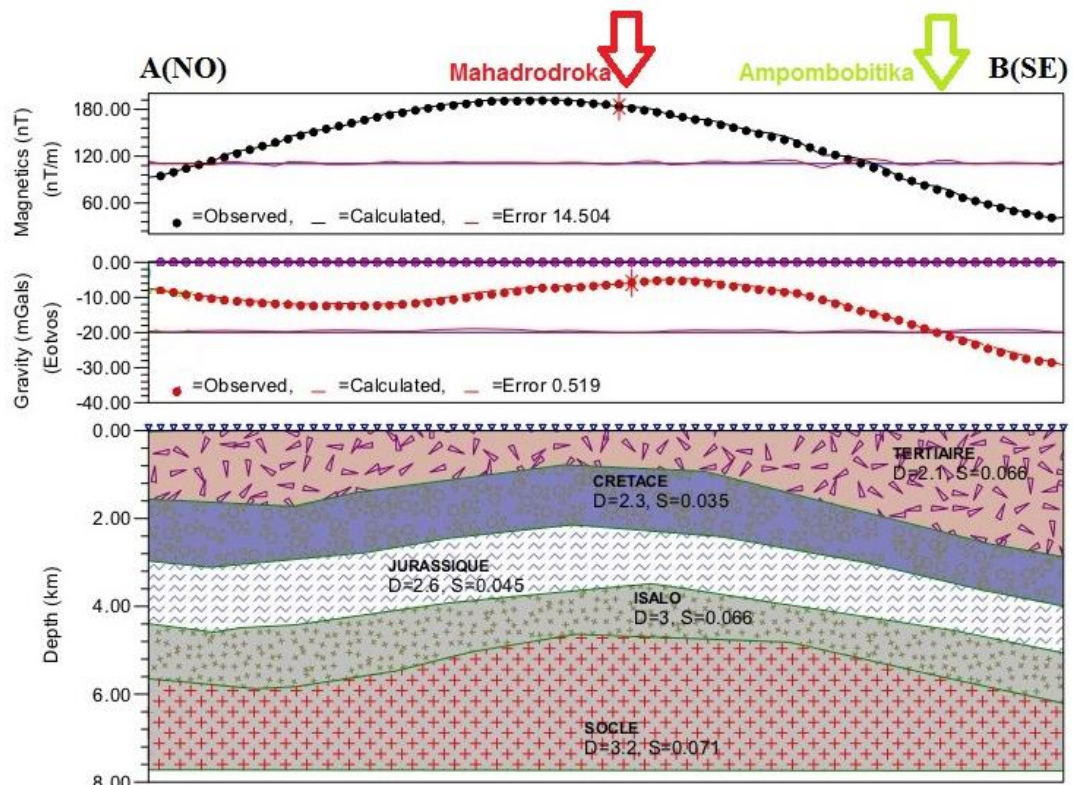


Figure 25: Model géophysique correspondant au profil AB

La coupe nous montre cinq successions des couches identifiées par des valeurs de densité et de susceptibilité magnétique bien contrasté.

- La première couche superficielle ayant une densité de 2.1 et de susceptibilité magnétique 0.003 est une formation tertiaire de nature alluvionnaire, elle est beaucoup plus épaisse aux deux extrémités du profil et s'amincit au milieu du profil.
- La deuxième couche est caractérisé par la densité de 2.3 et de susceptibilité magnétique 0.035, elle doit avoir une épaisseur moyenne de 1900m tout au long du profil, de plus elle est constituée par une couche de crétacé.
- La troisième couche, de nature Jurassique, caractérisée par une densité de 2,6 et de susceptibilité magnétique 0,045 constitue la roche réservoir. Elle a une épaisseur moyenne de 1500m tout au long du profil..
- On constate que la couche de l'Isalo est plus épaisse par rapport aux trois autres couches sus-jacentes, Il est plus probable qu'elle contient une roche de mère, qui se trouve à une profondeur approximative de 3500m. Sa densité est de 3.0 et la susceptibilité est de 0,056.
- A cinq kilomètres de profondeur, le socle cristallin termine les séquences, il est caractérisé par une densité de 3,2 et de susceptibilité magnétique 0,061.

VI.3.3. Superposition des cartes

La figure suivante montre la combinaison entre l'anomalie de Bouguer et la géologie de la région répartissant les anomalies négative et positive.

La forte valeur d'anomalie de Bouguer négative localisée tout près d'Ampombobitika et de Mahadroka (Anomalie 1 et Anomalie 2) correspond à la formation sable bitumeux observable en surface, cette zone doit avoir des intérêts particuliers en termes d'accumulation pétrolière.

La forte valeur d'anomalie de Bouguer positive est localisée sur le long du littoral Ouest, elle est constitué par des formations tertiaires, soit de nature calcaireux ou des sables non consolidés.

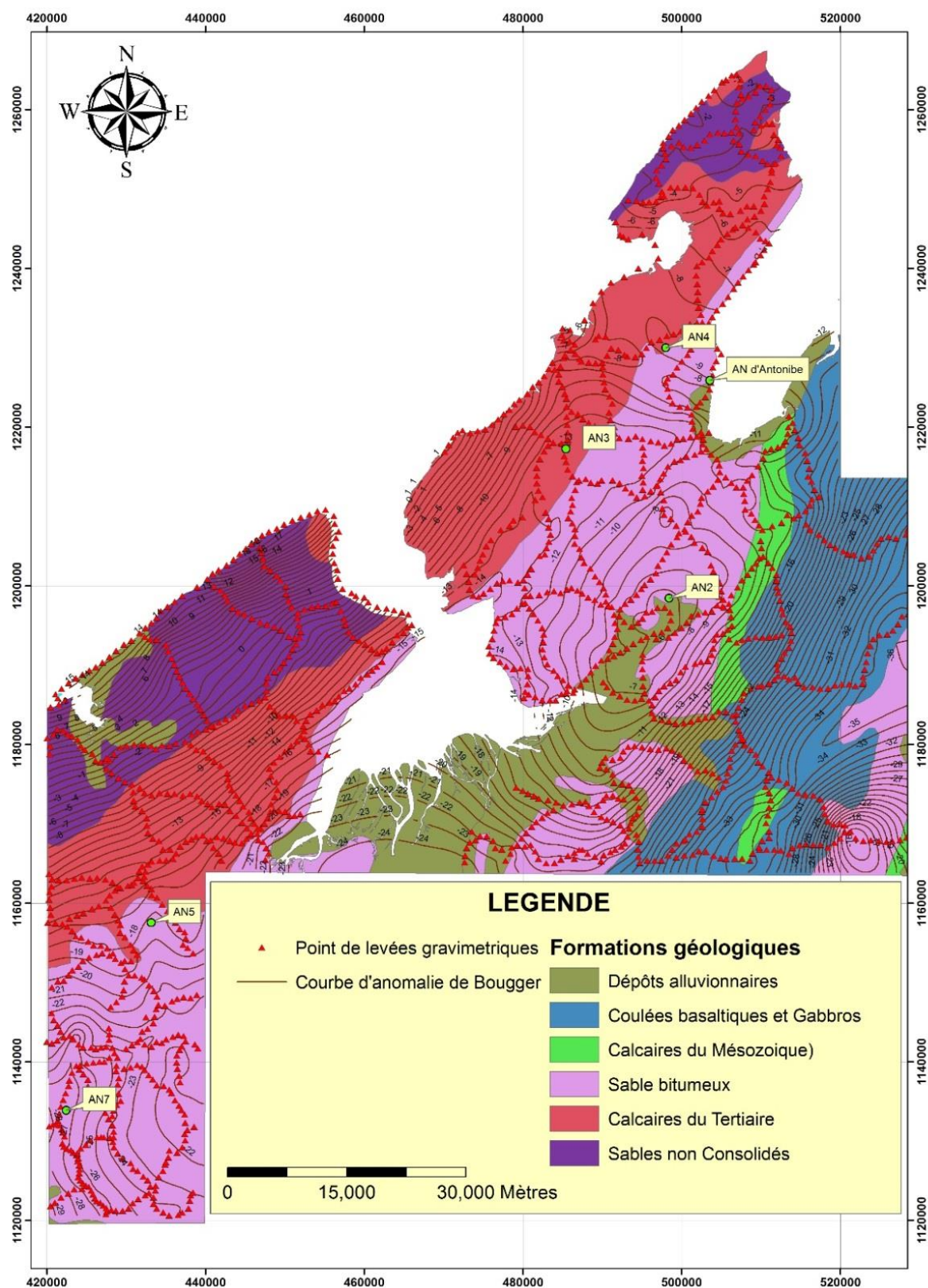


Figure 26: Superposition de la carte d'anomalie de Bouguer et la carte géologique

VI.4. Intérêts pétroliers

La synthèse des différentes analyses effectuées précédemment nous conduit à avancer des hypothèses sur la potentialité en hydrocarbure de notre zone d'étude. Ainsi, nous allons considérer deux zones :

- La zone d'Ampombobitika
- La zone côtière

VI.4.1. La zone d'Ampombobitika

L'intérêt pétrolier de cette zone réside sur le fait qu'elle pourrait être le lieu de formation d'hydrocarbure (roche réservoir). La forte anomalie gravimétrique négative (couleur bleue sur la carte d'anomalie de Bouguer Figure 27) témoigne de la profondeur de cette roche réservoir et de l'éventuelle existence de corps relativement légers. De plus, l'existence des séries de failles pourraient faciliter la migration et de même la formation de pièges à hydrocarbure.

VI.4.2. La zone côtière

Comme il est mentionné précédemment, la zone côtière apparaît comme un bassin profond qui pourrait susciter un intérêt pétrolier. Néanmoins la carte d'anomalie de Bouguer a donné une forte valeur de l'anomalie relativement élevée allant de 9 à plus de +24mGal (couleur rouge au rose sur la carte).

De plus, on a retrouvé une série d'argile très épaisse d'environ 1500m aux environs de Mahadroka (d'après les données de forage et la modélisation)..

Ces deux dernières hypothèses amèneraient à avancer que la probabilité d'existence de gisement pétrolifère dans cette zone côtière serait relativement faible, ceci est dû au fait que cette série homogène d'argile ne pourrait pas constituer un réservoir.

CONCLUSIONS

Au terme de ce travail, nous pouvons faire une réinterprétation des données gravimétriques et magnétiques, ceux sont deux méthodes très utilisées en exploration pétrolière à grande échelle. Les résultats obtenus ne contredisent pas les études antérieures et dégagent quelques informations supplémentaires.

Couplée avec la géologie, à la suite des différents traitements réalisés, les interprétations des données gravimétrique ont permis de dégager que l'anomalie de Bouguer fortement négatives est le signataire de l'intrusion basaltique. Les interprétations des données magnétiques satellitaires ont permis de dire que le taux de magnétites dans cette formation est élevé.

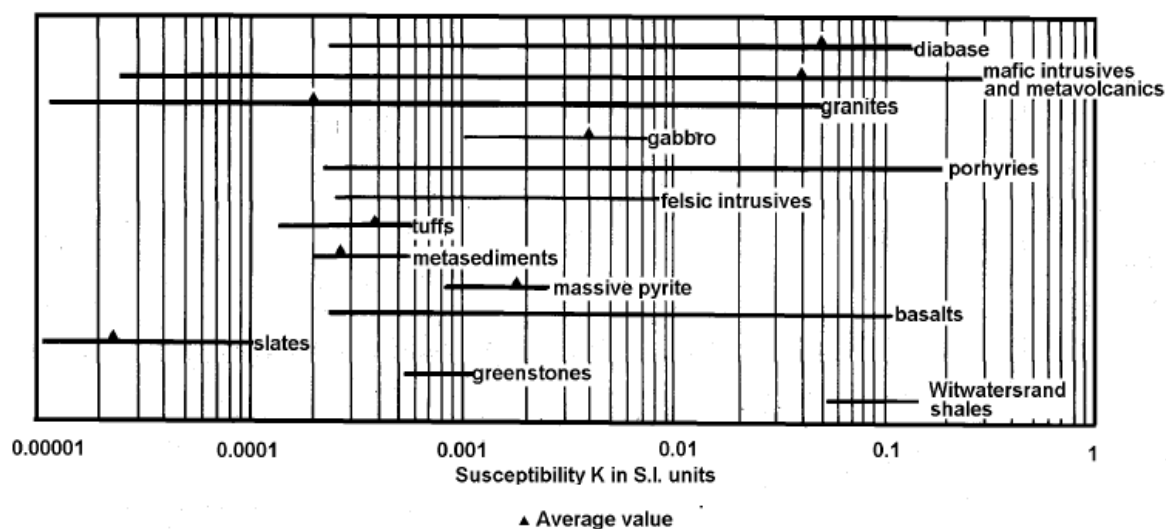
La présence d'un important gradient gravimétrique qui s'allonge du Nord au Sud dans la partie Est du bassin, correspond à un accident tectonique au niveau du jurassique; On trouve des rejets de 2000 à 2500m lors de la modélisation conjointes des anomalies gravimétrique et magnétique. Le compartiment haut (compartiment Est) correspond à un socle qui est localisée entre 650m et 1300m de profondeur, il est marqué par la présence des anomalies positives. D'où cette zone n'a aucun intérêt sur l'accumulation des gisements pétroliers.

La forte anomalie négative dans la partie Ouest associée à une plus grande épaisseur des séries sédimentaires est assez intéressante. En effet, la géologie pétrolière nous informe que les pièges à hydrocarbures pourraient bien se trouver dans la couche Isalo ou Jurassique. Or, dans zone, ces couches sont assez distinguées. Par ailleurs, la carte géologique montre des sables bitumeux dans cette partie, une information cruciale sachant que c'est un indice potentiel de présence d'hydrocarbures étant donné que le bitume en est une forme. La modélisation 2D montre que la roche réservoir est localisée à 3000m de profondeur. A notre avis, il serait intéressant d'effectuer un forage dans cette zone.

On devrait alors avoir recours à des méthodes plus détaillées comme les méthodes gravimétriques et magnétiques détaillés avec des mailles plus fines et à la sismique réflexion par l'implantation de profils le long des anomalies gravimétriques et magnétiques observées et les confirmer avec des forages.

ANNEXE

Annexe 1: Valeurs des susceptibilités des roches

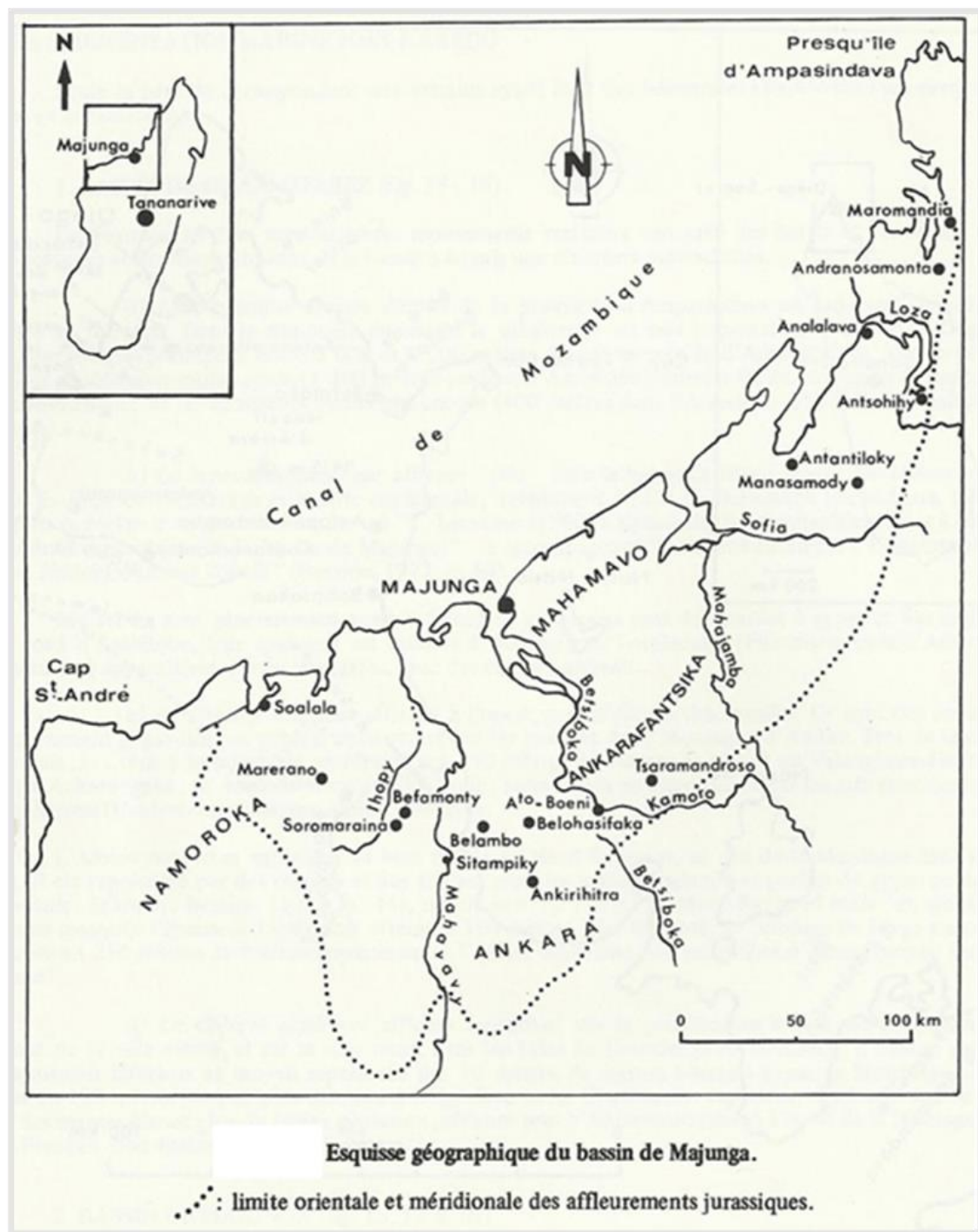


Annexe 2: Tableau de valeurs de densités des roches

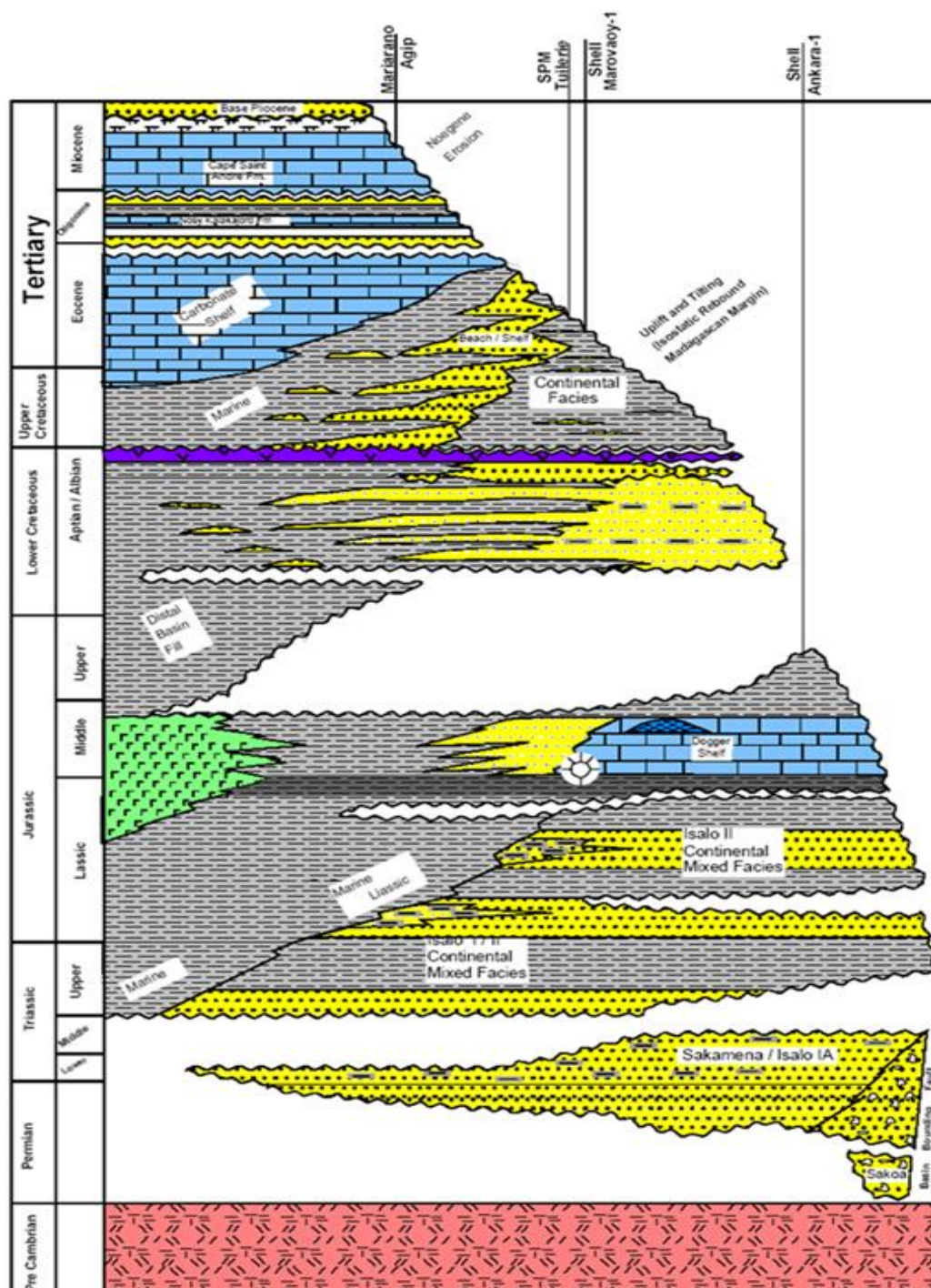
Type de roche	Valeur minimale	T Valeur maximale
Sable	1.6	1.9
Alluvions	1.5	2
Marnes	2.1	2.6
Grès	2	2.5
Calcaire	2.4	2.7
Sel	2.1	2.4
Anhydrite	2.9	3
Schiste	2.4	2.9
Granite	2.5	2.8
Basalte	2.7	3.3
Lave	2.8	3
Roches éruptive	2.8	3.7

A

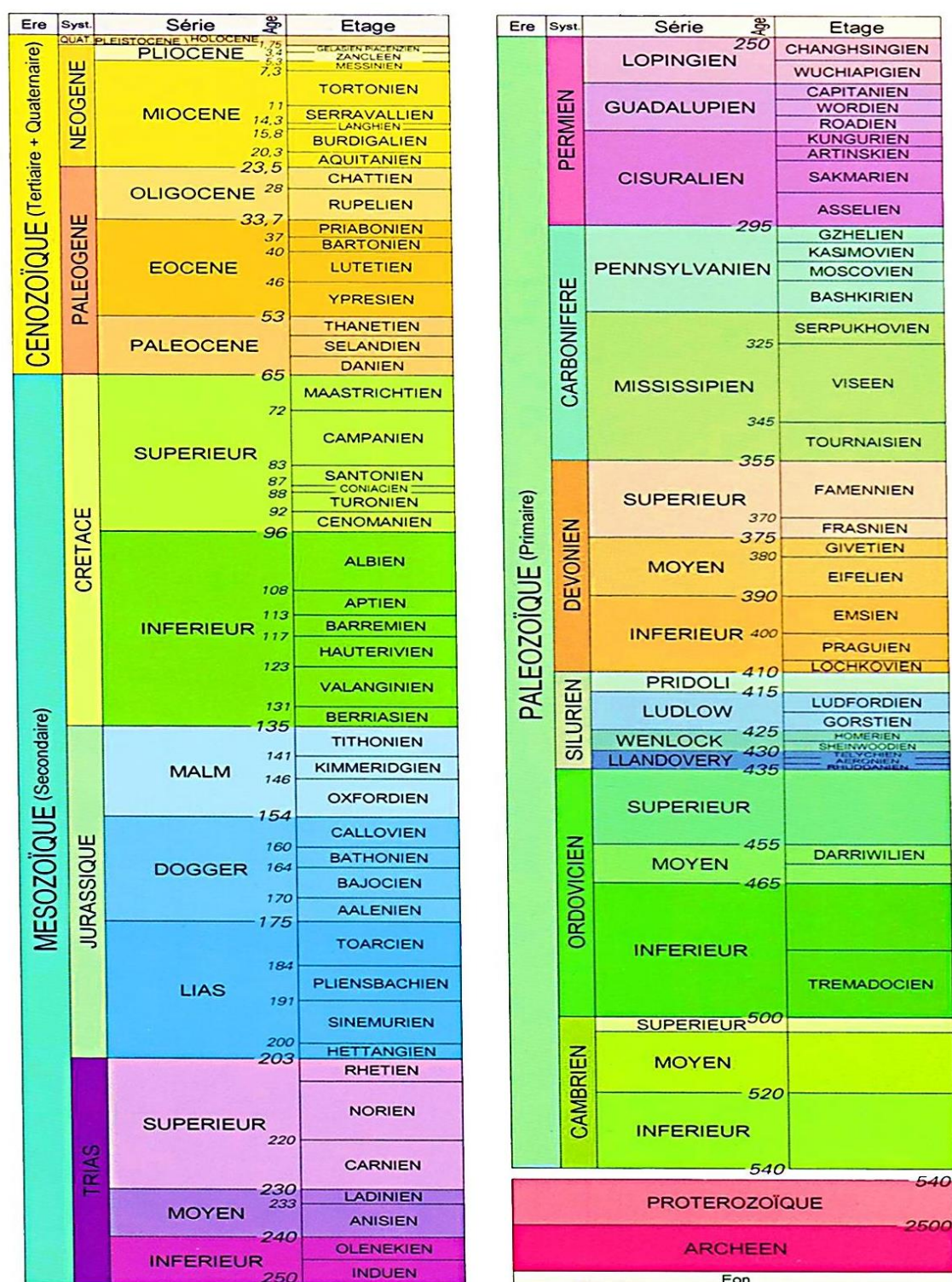
Annexe3: Aperçu géographique du bassin sédimentaire de Mahajanga



Annexe 4: Etage stratigraphie du bassin sédimentaire de Mahajanga



Annexe5: Echelle stratigraphie de madagascar

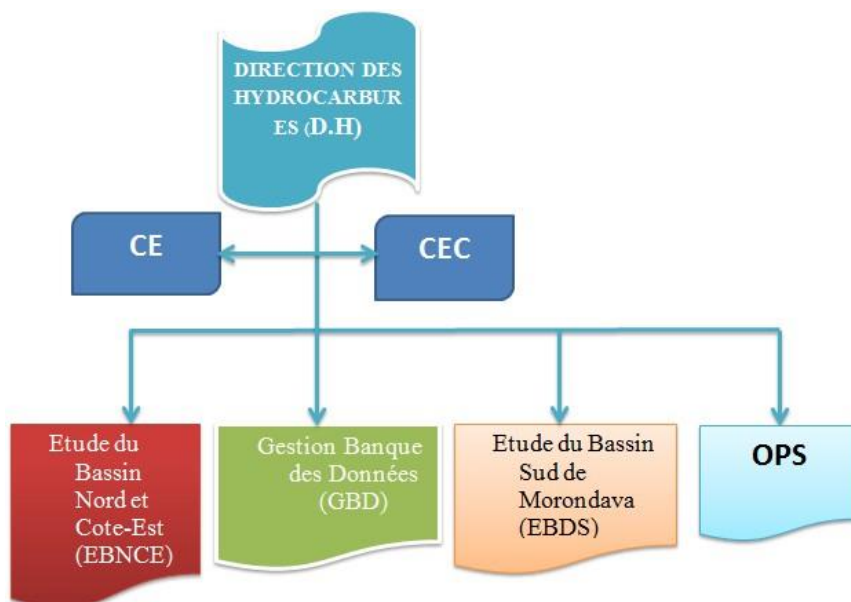
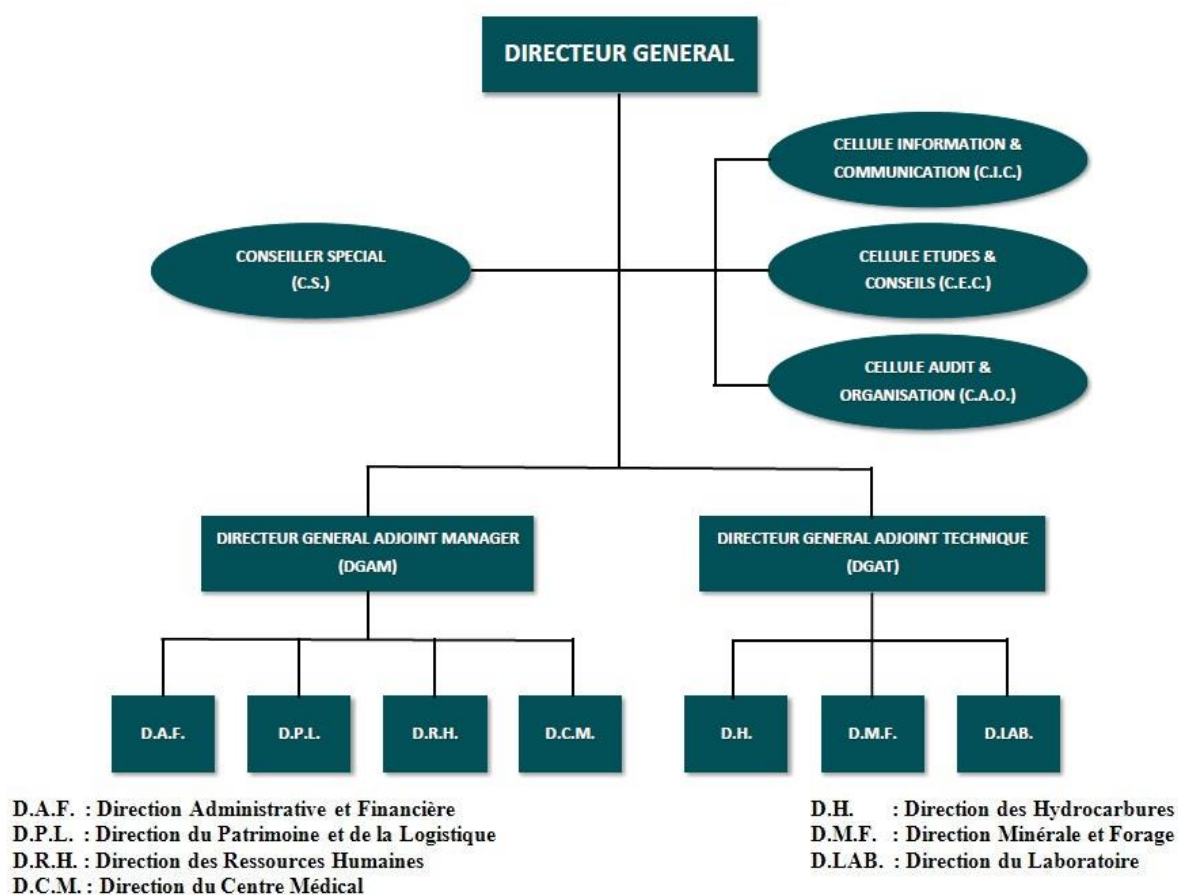


BRGM Mars 2003. Noms des unités d'après la chartre stratigraphique internationale IU65. 2000. Ages numériques (Ma) d'après G.S. Odin. 2000. Couleurs des unités d'après le programme de la carte géologique de la France à 1/50 000

Annexe 6: Processus de prospection pétrolière



Annexe7: Organigramme de l'OMNIS



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

- 1) Michel Chouteau, [Ecole Polytechnique de Montréal], 26 août 2002 « GEOPHYSIQUEAPPLIQUEE I » Magnétisme.
- 2) Etude de faisabilité des forages manuels identification des zones potentiellement favorables (03/03/2016).
- 3) RAHARIMANANIRINA Clodette, « LE PLATEAU CONTINENTALAKJK/ L DE L'EXTREME SUD DE MADAGASCAR – ETUDES TECTONIQUE ET GEOPHYSIQUE ». Thèse de doctorat d'Université, Université d'Antananarivo.
- 4) SARRAILH M. et al. La mesure directe du champ de gravité de la terre : La gravimétrie. Bureau Gravimétrique International, Toulouse, France.
- 5) BESAIRIE H. avec la collaboration de Maurice COLLIGNON- GEOLOGIE DE MADAGASCAR, tome1, sédimentaires, Tananarive imprimerie Nationale 1971.
- 6) Société des pétroles de Madagascar (SPM)-RAPPORT DE SYNTHESE DE MAHAJANGA, CAMPAGNE 1957, TEXTE CAMPAGNE GENERALE DE GEOPHYQUE.
- 7) ETUDE GRAVIMETRIQUE DU BASSIN DE MAJUNGA, 16 Avril au 16 Décembre 1957, TEXTE CAMPAGNE GENERALE DE GEOPHYQUE.
- 8) RAKOTOSOLOFO N.A. et al., The Karoo Super group revisited and Madagascar-Africa fits, Journal of African Earth Sciences, Vol 29 (135-151).
- 9) INTERPRETATION DE DONNEES MAGNETIQUES ET GRAVIMETRIQUE SU LE BASSIN DE MAJUNGA MADAGASCAR, DIRECTION EXPLORATION, division des techniques d'interprétation spécialisées géophysique.
- 10) <http://www.geomag.org/models/emag2.html>(consulté le 29/02/2016)
- 11) <http://www.omnis.mg> (consulté le 10/12/2016)
- 12) <http://geomag.org/models/EMAG2/acknowledgments.html> (consulté le 29/02/2016)
- 13) <http://www.tuto.arcgis.com> (consulté le 03/01/2016).
- 14) <http://www.geosoft.com>, (consulté le 25/01/2016).
- 15) <http://www.searchanddiscovery.com/documents/2007/> (consulté le 25/02/2016).

G

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE: CONTEXTES GENERAUX DE LA ZONE D’ETUDE	3
CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	4
I.1. Situation géographique	4
I.2. Hydrographie	5
I.3. Contexte climatique	6
CHAPITRE II. CONTEXTES GEOLOGIQUES	6
II.1. Géologie de Madagascar.....	6
II.2. Géologie du bassin de Mahajanga	10
II.2.1. Sols	10
II.2.2. Les étapes de l’histoire géologique	10
II.2.2.1. Précambrien	10
II.2.2.2. Précambrien au Permien	11
II.2.2.3. Paléozoïque terminal à l’Actuel	11
II.2.3. Socle cristallin	11
II.2.3.1. Système du Graphite.....	11
II.2.3.2. Système de Vohibory.....	11
II.2.3.3. Système Androyen et Antongil.....	11
II.2.4. Stratigraphie.....	12

H

II.2.4.1. L'Isalo (du Trias au jurassique moyen)	12
II.2.4.2. L'Isalo I (trias continental)	12
II.2.4.3. L'Isalo II (Jurassique inférieur- lias supérieur)	12
II.2.4.4. L'Isalo III (Jurassique moyen)	12
II.2.4.5. Jurassique moyen marin (équivalent marin de l'Isalo II et III)	12
II.2.4.6. Jurassique supérieur.....	12
II.2.4.7. Crétacé inférieur	13
II.2.4.8. Crétacé moyen	13
II.2.4.9. Crétacé supérieur	13
II.2.4.10. Eocène	13
II.2.4.11. Oligocène.....	13
II.2.4.12. Néogène	13
II.2.4.13. Quaternaire	13
II.2.5. Tectonique	14
CHAPITRE III. GENERALITES SUR LE SYSTEME PETROLIER.....	16
III.1. Présence de roches-mères.....	16
III.1.1. La migration primaire.....	17
III.1.2. La migration secondaire	17
III.1.3. La migration tertiaire ou dysmigration.....	18
III.2. Présence de roches-réservoirs	19
III.3. Présence de roches couvertures.....	19
III.3.1. Présence de pièges.....	19
III.3.2. Les pièges stratigraphiques	20
III.3.3. Les pièges structuraux	21
III.3.4. Les Pièges mixtes	21
DEUXIEME PARTIE: METHODES DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE	23

CHAPITRE IV. PROSPECTION GRAVIMETRIQUE	24
IV.1. Principe de la gravimétrie	24
IV.1.1. La gravitation	24
IV.1.2. Accélération de la pesanteur	24
IV.1.3. Les Dérivés du potentiel	25
IV.1.4. Corrections	27
IV.1.4.1. Anomalie de Bouguer	27
IV.1.4.2. Correction de dérive de l'appareil.....	27
IV.1.4.3. Correction de latitude.....	28
IV.1.4.4. Correction d'altitude	29
IV.1.4.5. Correction de plateau	30
IV.1.4.6. Correction de terrain ΔT	30
IV.2. Signature d'un gisement d'hydrocarbures en gravimétrie	31
IV.3. Acquisition des données gravimétriques.....	31
IV.3.1. Levé gravimétrique	31
IV.3.2. Instrumentation	32
CHAPITRE V. PROSPECTION MAGNETIQUE	33
V.1. Théorie sur le magnétisme	33
V.1.1. Force magnétique	33
V.1.2. Champ magnétique.....	33
V.1.3. Intensité de la magnétisation	34
V.1.4. Susceptibilité magnétique.....	35
V.1.5. Induction magnétique	35
V.2. Propriétés magnétiques des matériaux	35
V.3. Acquisition des données magnétiques.....	37
V.3.1. Instrumentation.....	37

V.3.2. Corrections	38
V.3.2.1. Correction de dérives.....	38
V.3.2.2. Correction d'altitude.....	39
V.3.2.3. Correction de terrain.....	39
V.3.2.4. Réduction à un datum.....	39
V.3.2.5. Correction de latitude	39
V.4. Prospection aéromagnétique.....	39
TROISIEME PARTIE: TRAITEMENT DES DONNEES ET INTERPRETATION DES RESULTATS	41
CHAPITRE VI. TRAITEMENT DES DONNEES	42
VI.1. Présentation des logiciels utilisées	42
VI.1.1. ArcGis 10.2	42
VI.1.2. Oasis Montaj 6.4.2	43
VI.2. Mise à jour des données	44
VI.2.1. Données gravimétriques.....	44
VI.2.2. Données magnétiques satellitaires	47
VI.2.3. Données géologiques	49
VI.2.4. Données des forages.....	51
VI.2.4.1. Forage de MAROVOAY-1	51
VI.2.4.2. Forage de SOFIA-1	51
VI.3. Traitement des données.....	53
VI.3.1. Interprétation qualitative	53
VI.3.1.1. Carte d'anomalie de Bouguer	53
VI.3.1.2. Carte d'anomalie magnétique	54
VI.3.2. Interprétation quantitative	55
VI.3.2.1. Choix de profil	56

VI.3.2.2. Modélisation.....	56
VI.3.3. Superposition des cartes	57
VI.4. Intérêts pétroliers.....	59
VI.4.1. La zone d’ Ampombobitika	59
VI.4.2. La zone côtière	59
CONCLUSIONS	60
ANNEXE	A
Annexe 1: Valeurs des susceptibilités des roches	A
Annexe 2: Tableau de valeurs de densités des roches	A
Annexe3: Aperçu géographique du bassin sédimentaire de Mahajanga	B
Annexe 4: Etage stratigraphie du bassin sédimentaire de Mahajanga.....	C
Annexe5: Echelle stratigraphie de madagascar	D
Annexe 6: Processus de prospection petrolier	E
Annexe7: Organigramme de l’OMNIS	F
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES	G
TABLE DES MATIERES	H

Titre: «Réinterprétation des données gravimétrique et magnétique de la partie Nord du bassin sédimentaire de Mahajanga »

Nombre de pages: 60

Nombre de tableaux: 07

Nombre de figures: 27

Nombre d'annexes: 07

RESUME

L'objectif principal de cet ouvrage est la valorisation des données disponibles dans la partie Nord du bassin sédimentaire de Mahajanga.

Les données géophysiques utilisées proviennent des données SPM pour la gravimétrie et des mesures de faites par des satellites pour le magnétisme. Ils ont été combinés des données de forage et des études géologiques antérieurs, afin de réinterpréter ces données à l'aide des logiciels de nos jours.

Les résultats de modélisation 2D des données conjointes entre l'anomalie gravimétrique et magnétique de la zone permet de dire que la roche réservoir est localisée à 3000m de profondeur sous village d'Ampombobitika. On propose de faire un forage de reconnaissance sous cet endroit.

Mots clés: Bassin de Mahajanga, données satellitales, magnétisme, gravimétrie, anomalie, modélisation.

ABSTRACT

The main objective of this work is the recovery of data available in the northern part of the sedimentary basin of Mahajanga.

The geophysical data used come from the SPM data and gravimetry measurements made by satellites to magnetism. They were combined to drilling data and previous geological studies, to reinterpret the data using software today.

The 2D modeling results jointly between gravity and magnetic anomaly area suppose that the reservoir rock maybe located at depth of 3000m in the village of Ampombobitika. We propose a drilling reconnaissance in this area.

Keywords: Mahajanga Basin, satellite, magnetism, gravity, anomaly, modeling.

Rapporteurs

Auteur: **RANIRISON**

Email : **ranirison.allan@gmail.com**

Tél : (+261) 344601060

- Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier**, Maître de Conférences à l'ESPA
- Monsieur **RANDRIAMIARANTSOA Tolojanahary**, Chef de département de la Gestion de Banques des Données de la Direction des Hydrocarbures à l'OMNIS.