

REPUBLICUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NORMALE
SUPERIEURE

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace –Work-Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER TRAINING
COLLEGE

DEPARTMENT OF PHYSICS

**INTERPRETATION DES DONNEES AMT
PAR LA METHODE DE LA RESISTIVITE
APPARENTE LE LONG D'UN PROFIL DANS
LE VILLAGE LOLABE (SUD-CAMEROUN) :
CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DES
RISQUES NATURELS**

Mémoire rédigé et présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur
de l'Enseignement Secondaire, 2^{ème} Grade (D.I.P.E.S.II)

par

NGAHA NZEPANG FRANKLIN
Licencié en Physique.
Matricule : 08S06021

Sous la direction de:

Dr OWONA ANGUE MARIE LOUISE.
CHARGE DE COURS A L'UNIVERSITE DE YAOUNDE I

Année Académique : 2015-2016

**INTERPRÉTATION DES DONNÉES AMT PAR
LA MÉTHODE DE LA RÉSISTIVITÉ
APPARENTE LE LONG D'UN PROFIL DANS
LE VILLAGE LOLABÉ (SUD-CAMEROUN) :
CONTRIBUTION À L'IDENTIFICATION DES
RISQUES NATURELS**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de professeur
de l'enseignement secondaire général deuxième grade : **D.I.P.E.S II**

par

NGAHA NZEPANG Franklin

Matricule 08S06021

Licencié en Physique

sous la direction de :

Docteur OWONA ANGUÉ MARIE LOUISE

CHARGÉ DE COURS UY 1

Année Académique 2015-2016

Dédicace

Ce mémoire est dédié à la famille **NGAHA**.

Remerciements

Ce travail est le fruit des efforts intenses que ma modeste personne ne peut prétendre avoir fourni seule. Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma gratitude :

- À L'Éternel, Dieu vivant, qui nous guide et nous instruit chaque jour.
- Au **Dr OWONA ASSE Marie Louise**, Chargé de Cours à l'école Normale Supérieure de Yaoundé, directeur de ce mémoire, pour vos multiples enseignements et conseils dont vous m'avez gratifié non seulement dans le cadre de ce mémoire mais aussi dans le cadre socioprofessionnel. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.
- Au **Dr NGATCHOU Évariste** , qui nous a encadré dans nos recherches.

L'équipe du Laboratoire de Géophysique Interne de l'Université de Yaoundé I pour avoir mis à notre disposition les données AMT collectées dans la zone de Kribi-Campo en mars 2015.

- Au président et aux honorables membres du jury , qui m'ont fait l'honneur de participer à ma soutenance.
- À Tous les enseignants du département de physique de l'école Normale Supérieure, qui n'ont ménagé aucun effort pour nous dispenser des enseignements de qualité.
- À Tous nos camarades de promotion pour la solidarité et la chaleur qui nous réunissent.
- À Tous mes oncles maternel pour les encouragements.
- À la famille NGAHA à l'instar de **NOUWAN NGAHA Yves**, **FAMPOU NGAHA Gaëlle Rita**, **NGAHA Sandrine** et **YANKAM Nabil** qui m'ont

toujours encouragé jusqu'au bout de ma formation.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumé	vii
Abstract	viii
Liste des symboles physiques et des abréviations	ix
Introduction générale	1
1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
1.1 Introduction	3
1.2 Aperçu historique de la géologie du Cameroun	3
1.3 Cadre géographique	4
1.3.1 Localisation de la zone d'étude	4
1.3.2 Les données géologiques	5
1.3.3 Les formations superficielles	6
1.3.4 Le bassin sédimentaire de Kribi-Campo	6
1.3.5 La zone mobile	7
1.4 Les indications pédologiques	7
1.4.1 Les sols ferralitiques	7
1.4.2 Les sols sur gnéiss et sur schistes latéritiques	8
1.4.3 Les sols hydromorphes	8

1.5	Quelques Risques naturels	8
1.5.1	Le risque mouvement de terrain	8
1.5.2	Le risque sismique	9
1.6	Travaux géophysiques antérieurs	10
1.7	Conclusion	12
2	THÉORIE ET MÉTHODE	13
2.1	Introduction	13
2.2	Principe sur la théorie (MT) et ses variantes (AMT)	14
2.2.1	Les sources d'énergies	15
2.2.2	L'impédance d'une onde plane EM en milieu tabulaire homogène	16
2.2.3	L'impédance d'une structure à deux dimensions	19
2.2.4	Le niveau de bruit	21
2.2.5	Estimation de l'impédance	22
2.3	Méthode	22
2.3.1	Généralités sur la méthode AMT tensorielle	22
2.3.2	Principe de la méthode d'acquisition des données	24
2.4	Conclusion	25
3	RÉSULTATS ET DISCUSSION	26
3.1	Introduction	26
3.2	Présentation interprétation des courbes de sondage	26
3.2.1	Courbe de sondage de l'école publique LOLABÉ (N-S) (ST1)	27
3.2.2	Courbe de sondage de l'école publique LOLABÉ (E-O) (ST1)	28
3.2.3	Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (N-S) (ST2)	29
3.2.4	Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (E-O) (ST2)	30
3.2.5	Courbe de sondage de l'entrée Sud du port (N-S) (ST3)	31
3.2.6	Courbe de sondage de l'entrée Sud du port (E-O) (ST3)	32
3.2.7	Courbe de sondage de MBORO LOLABÉ (N-S) (ST4)	33
3.2.8	Courbe de sondage de MBORO LOLABÉ (E-O) (ST4)	34
3.3	Présentation interprétation des Pseudo-section de Résistivités Apparentes	35

3.3.1	Orientation suivant la direction Nord-Sud	35
3.3.2	Orientation suivant la direction Est-Ouest	36
3.4	Présentation et interprétation des Sections Géoélectriques	37
3.4.1	Orientation suivant la direction Nord-Sud	37
3.4.2	Orientation suivant la direction Est-Ouest	38
3.5	Discussion	39
3.6	Conclusion	40
	Implication sur le Système Éducatif	41
3.7	Intérêt Didactique	41
	Conclusion Générale et perspective	42
	Annexe	48

Résumé

Le village LOLABE est une localité dans la région du Sud-Cameroun. Compte tenu de l'investissement de grande envergure faite par le gouvernement pour la construction du port en eau profonde de Kribi. Il est question pour nous dans le cadre de ce travail, d'identifier les accidents structuraux considérés comme risques en utilisant la méthode magnétotellurique afin de mieux connaître la structure du sous-sol en s'appuyant sur son paramètre physique principal qui est la résistivité électrique. Les résultats obtenus nous ont fait remarquer que la proche surface de la ligne tellurique Nord-Sud serait constituée des matériaux moins résistants. Ce qui pourrait être un très grand danger pour les travaux du géotechnicien. Nous avons aussi observé entre autre un réseau de failles dans cette localité pouvant illustrer ainsi risque de mouvement de terrain ou alors un risque sismique. En clair, aux vues de ces résultats et en ajoutant l'évènement tectonique qui a affecté le socle précambrien au cours des temps géologiques, on comprend à suffisance que La tectonique de la région du Sud-Cameroun est dominée par de grands chevauchements et de nombreuses failles.

MOTS-CLÉ : méthode magnétotellurique, accidents structuraux, ligne tellurique, évènement tectonique, faille.

Abstract

Located in the South Region of Cameroon, Lolabe is the village where the Kribi deep sea port is built. The importance of that investment is a call for concern on the state of the structure of the subsurface. The aim of this study is to identify structural accidents in the area which could be considered potential risks. The magnetotelluric method was used in order to map out the structural layout of the subsurface using the resistivity which is the principal physical parameter of this method. The results obtained among others show that the shallower rocks in the North-South telluric direction are less resistive. This can constitute a potential danger. We have also observed a faults network in this area which indicate a potential zone for landslides or possible seismic events. The overall of these results associated with the tectonic events which affected the precambrian basement during geological times leads us to conclude that the tectonic of the South region of Cameroon is dominated by major faults and overlappings.

KEY WORDS : Magnetotelluric method, structural accidents, telluric direction, tectonic events, faults.

Liste des symboles physiques et des abréviations

Symboles Physiques

- g : Champ de gravité m/s^2
 H : Champ magnétique terrestre (T)
 E : Champ électrique (V/m)
 ρ_a : Résistivité apparente ($\Omega.m$)
 T : Période (s)
 ω : Fréquence angulaire (rad/s)
 μ_0 : Perméabilité magnétique (H/m)
 Z : Tenseur d'impédance
 P : Profondeur de pénétration (m)
 σ : Conductivité du milieu (S)
 f : Fréquence (Hz)
 D : Courant de déplacement (C/m^2)
 J : Densité de courant électrique (A/m^3)
 ρ : Densité de charge électrique (C/m^3)
 ε : Constante diélectrique (F/m)
 K : Nombre d'onde (m^{-1})
 φ : Phase (rad)

Abréviation

MT :Magnétotéllurique

Km : Kilomètre

Kg : Kilogramme

Cm : Centimètre

PH : Potentiel d'hydrogène

EM : Electromagnétique

AMT : Audio magnétotellurique

CSAMT : Controlled source audio magnétotellurique

KW : Kilowatt

PC : Pulsations continues

PI : Pulsations irrégulières

TM : Transverse magnétique

TE : Transverse électrique

N-S : Nord-Sud

E-O : Est-Ouest

SEV : Sondage électrique vertical

ST : Station

Table des figures

1.1	Carte de localisation et limite de la zone d'étude (Oslivry 2001).	5
1.2	Esquisse pédologique de l'Ouest et le Sud du Cameroun (Oslivry 2001).	6
1.3	Schéma illustrant un mouvement de terrain (MACCIONI 2008)	9
1.4	Schéma illustrant un mouvement sismique (MACCIONI 2008)	10
2.1	Principe de mesure des composants du champ électromagnétique	21
2.2	Dispositif classique de mesure en AMT	25
2.3	Mise en oeuvre d'un Sondage AMT	25
3.1	Courbe de sondage de l'école publique LOLABÉ (N-S) (ST1)	27
3.2	Courbe de sondage de l'école Publique LOLABÉ (E-O) (ST1)	28
3.3	Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (N-S) (ST2)	29
3.4	Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (E-O) (ST2)	30
3.5	Courbe de sondage de L'entrée (Sud) du Port (N-S) (ST3)	31
3.6	Courbe de sondage de l'entrée (Sud) du Port (E-O) (ST3)	32
3.7	Courbe de sondage de MBORO LOLABÉ (N-S)(ST4)	33
3.8	Courbe de sondage MBORO de LOLABÉ (E-O) (ST4)	34
3.9	Pseudo-section de résistivités apparentes (N-S)	35
3.10	Pseudo-section de résistivités apparentes (E-O)	36
3.11	Section géoélectrique (N-S)	37
3.12	Section géoélectrique (E-O)	38
3.13	Appareillage AMT et accessoires	48

Liste des tableaux

Introduction Générale

L'Homme a établi une pluralité de science à l'instar de la géophysique. Tout ceci pour augmenter sa connaissance sur le globe terrestre et sa compréhension sur les phénomènes qui s'y produisent au cours du temps. En effet, la Géophysique est la science qui applique les principes physiques à l'étude de la terre. On peut dire qu'elle est une science appliquée grâce à l'importance scientifique et économique des systèmes d'acquisition et de traitement de données. La prospection géophysique a plusieurs applications surtout dans la connaissance de la structure du sous-sol. La Géophysique s'intéresse plus spécialement à la pesanteur, à la gravitation, au magnétisme, à l'électricité terrestre et atmosphérique, à la densité des roches, à la sismique réflexion et réfraction, aux phénomènes de tremblement de terre, à la radioactivité, à la climatologie, au volcanisme, et aussi à tous les problèmes liés à l'environnement. Il existe donc à cet effet un grand nombre de méthodes employées en géophysique pour mieux expliquer la structure du sous-sol. Le choix de la méthode est fonction de l'objectif recherché, des conditions financières, infrastructurelles, climatiques, géologiques de la zone étudiée, mais surtout de la profondeur d'investigation. Nous pouvons donc citer :

- Les méthodes radioactives qui reposent sur l'exploitation des propriétés radioactives des roches ;

- Les méthodes gravimétriques basées sur l'exploitation du champ de gravité g en vue d'obtenir la forme de la terre ainsi que sa constitution.

- les méthodes magnétométriques basées sur les variations du champ magnétique terrestre H , variations dues aux orages magnétiques et aux concentrations des minéraux magnétiques des différentes roches.

- La sismique s'emploie pour désigner d'une manière générale les vibrations et les secousses de la terre sur la base des vitesses de propagation des ondes (P et S) d'une source naturelle ou

artificielle dans le sol.

- Les méthodes électriques et électromagnétiques s'intéressent à la conductivité électrique des roches ou alors son inverse la résistivité du sous-sol. Les méthodes électriques font appel au courant continu ; tandis que les méthodes électromagnétiques font appel aux champs électromagnétiques. Parmi ces dernières, on retrouve la méthode magnétotellurique (MT) qui étudie le sous-sol à partir des mesures magnétotelluriques effectuées en surface. C'est sur celle-ci qu'a reposé notre travail. En effet le village LOLABE situé dans la région du sud-Cameroun, attire un grand nombre de personnes du point de vue de sa proximité avec le port en eau profonde . Mais n'oublions pas aussi qu'elles peuvent être exposées à certains risques.

Étant donné qu'un risque est la résultante de la conjonction d'un aléa non maîtrisé ou non maîtrisable et de l'existence d'un enjeu (personnes, biens ou environnement). L'objectif de notre travail serait d'identifier les accidents structuraux (faille, tectonique, plissement) voire des zones dangereuses dans cette localité de LOLABE afin de contribuer pour la protection des espèces animales, végétales et humaines des risques (mouvement de terrain, volcanisme, séisme etc...) à partir de la méthode audio-magnétotellurique. L'ensemble des résultats de cette étude que nous avons menée en se focalisant uniquement sur la résistivité apparente, a été organisé en trois chapitres précédés de cette introduction et suivit d'une conclusion générale :

- Le premier chapitre est une revue de littérature nous présentant brièvement la zone d'étude ;
- Le deuxième chapitre est basé spécialement sur la théorie et la méthode de travail ;
- Le troisième chapitre porte sur l'analyse, l'interprétation des données et la discussion des résultats.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de localiser la région d'étude et de décrire son contexte géologique et tectonique. Nous commencerons par situer le Cameroun dans son contexte géologico-tectonique (stratigraphie, morphologie, structure), ensuite nous ferons une présentation de la zone de Kribi en général et du village LOLABE en particulier, ainsi qu'un résumé des travaux antérieurs effectués dans la région.

1.2 Aperçu historique de la géologie du Cameroun

L'ensemble des travaux géologiques menés en Afrique Centrale montre que l'Afrique Centrale en général et le Cameroun en particulier est essentiellement constitué d'un socle Précambrien. Ce socle a été affecté d'un évènement thermo tectonique majeur et KENNEDY (1964) en se basant sur les résultats de la géochimie absolue adopta le terme « panafricain » pour rendre compte de cet évènement dans l'ensemble du continent Africain. À la même période, ROCCI (1965), CLIFORD (1970) montraient que le « panafricain » ne résultait pas seulement d'un simple phénomène de réactivation et de rajeunissement du socle précambrien, mais correspondait bien à un cycle orogénique complet. CLIFORD et GASS (1970) ont aussi montré que certains fragments de ce socle Précambrien n'ont pas été repris par l'orogénèse panafricaine. Restés stables depuis l'orogénèse plus ancienne, ces ensembles ont été nommés « Cratons ». Les roches cristallophylliennes issues de l'orogénèse panafricaine, ainsi que les granitoïdes mis en place à la fin de cette orogénèse, ont été considérées comme correspondant à des zones mobiles. Les recherches géologiques au Cameroun ont démarré avec les travaux de KORABLEFF (1937), qui ont conduit à la réalisation d'une carte de reconnaissance au 1/500000 ème. Cette carte a servi de base à Gazel et al. (1956)

pour la publication d'une carte géologique de synthèse au 1/100000 ème. A la suite des travaux de KORNPORST et al. (1976), LASSERRE et SOBA (1976), BESSOLES et LARSEN (1977), BESSOLES et TROMPETTE (1980), le socle Précambrien Camerounais a été subdivisé en deux grands ensembles : Le complexe du Ntem (craton du Congo) et une ceinture mobile. La zone mobile de l'Afrique Centrale couvre presque les 2/3 du territoire Camerounais (NDOUGSA 2004).

1.3 Cadre géographique

1.3.1 Localisation de la zone d'étude

En général, la région de Kribi-Campo est située à l'extrême Sud-Ouest du Cameroun, dans le département de l'Océan. Celui-ci couvre une superficie totale de 3.133 km^2 ; il se situe entre $2^{\circ}22'$ et $2^{\circ}57'$ de latitude Nord, et $9^{\circ}49'$ et $9^{\circ}54'$ de longitude Est (**figure 1.1**). Le terme région renvoie ici à un périmètre de 30 kilomètres à partir d'un point de référence pris au centre de chaque ville. Cependant, après avoir présenté la région de Kribi-Campo, nous allons donc matérialiser notre zone d'étude.

En effet LOLABE est un village situé dans la ville de Campo, limité à $02^{\circ}41'$ de latitude Nord et à $09^{\circ}51'$ de longitude Est par l'école publique ; à $02^{\circ}70'$ de latitude Nord et à $09^{\circ}86'$ de longitude Est par la chefferie ; à $02^{\circ}71'$ de latitude Nord et à $09^{\circ}87'$ de longitude Est par l'entrée sud du port en eau profonde ; enfin à $02^{\circ}74'$ de latitude Nord et à $09^{\circ}88'$ de longitude Est par MBORO.

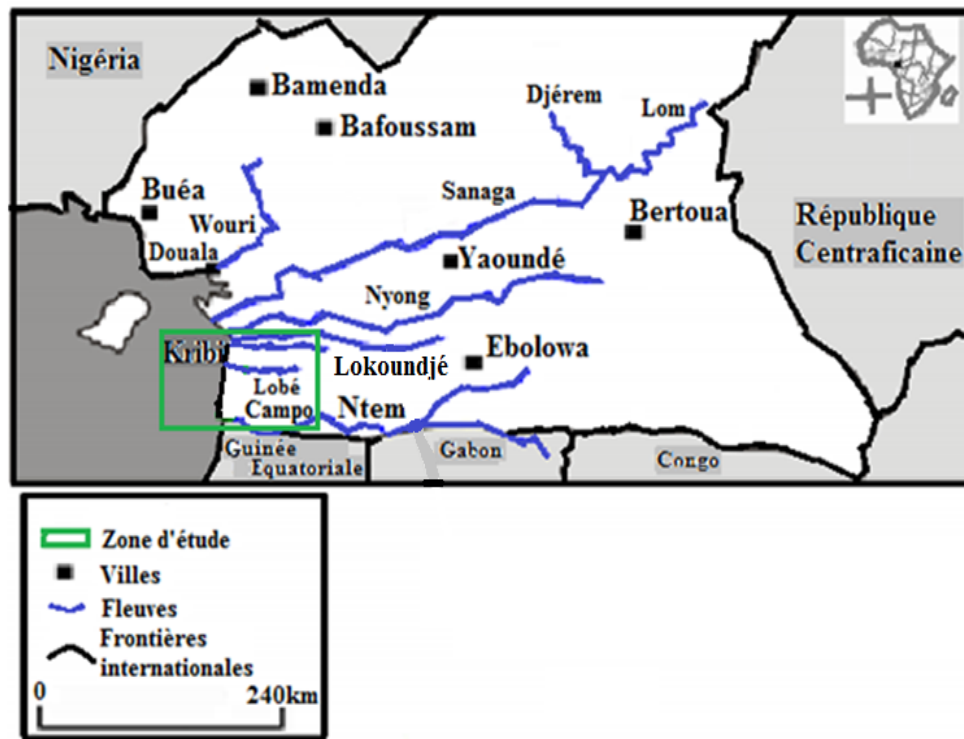


FIGURE 1.1 – Carte de localisation et limite de la zone d'étude (Oslivry 2001).

1.3.2 Les données géologiques

Les connaissances relatives à la géologie de la région sont d'une manière générale regroupées dans le grand ensemble représenté par la région du Sud-Cameroun et associées au groupe du Ntem (**figure 1.2**), point de chute du craton du Congo. La couverture de l'ensemble du Ntem, est composée des granodiorites de la dorsale du Massif du Ntem et du gneiss vers le craton du Congo et à l'ouest (VICAT et al. 1998). Il y a cependant une prédominance des intrusions basiques et ultrabasiqes, avec une présence de dolérites et gabbros (VICAT et al. 1998).

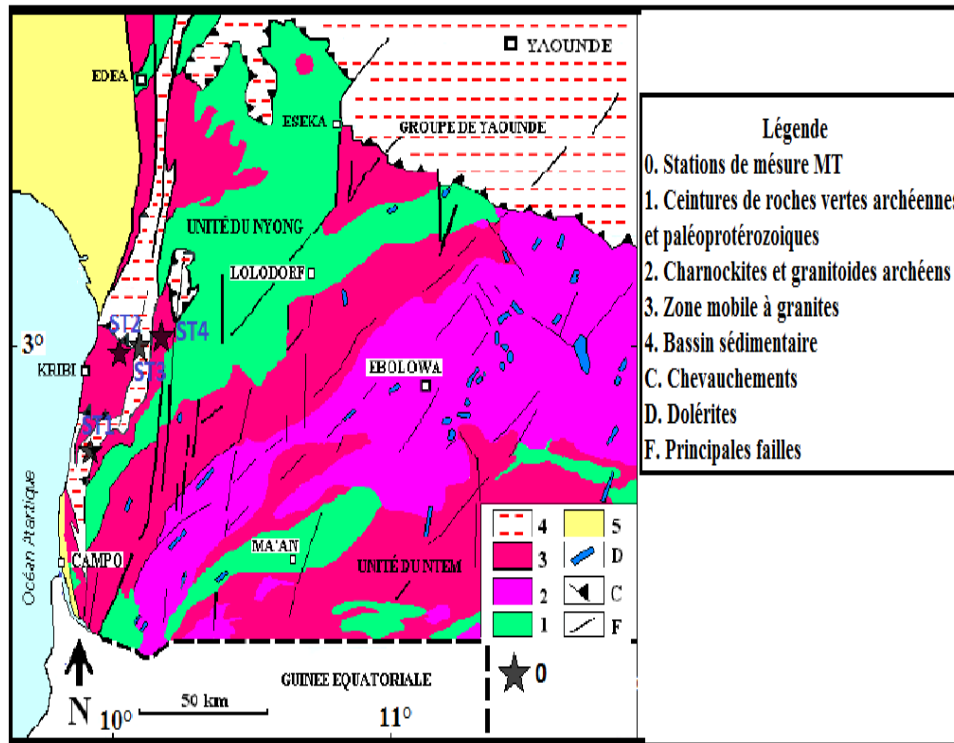


FIGURE 1.2 – Esquisse géologique de l'Ouest et le Sud du Cameroun (Oslivry 2001).

1.3.3 Les formations superficielles

Elles sont représentées par des dépôts alluviaux, des cordons littoraux sableux, mais surtout par les latérites qui sont omniprésentes même si l'humidité ne permet pas la formation de la véritable cuirasse. Les mouvements tectoniques récents sont attestés par les formes des chutes de la Lobé au Sud de Kribi (OSLISLY 2001). La zone a été également profondément restructurée par une tectonique tangentielle qui se fait encore ponctuellement ressentir comme le tremblement de terre de Kribi en 1987 (OSLISLY 2001).

1.3.4 Le bassin sédimentaire de Kribi-Campo

Le sous bassin sédimentaire de Kribi-Campo couvre 45 km^2 , avec des fossiles qui lui confèrent un intérêt paléo-géographique évident. Il envahissement des faciès classiques continentaux par les dépôts de mer peu profond (marnes noires, marnes rubanées) (VICAT 1998). Les sédiments sont très micacés et transgressifs sur le socle de l'Albien au Turonien, avec une épaisseur de 400 mètres

environ, dotés d'une structure grossièrement monoclinale. Les marnes comprennent des empreintes de fossiles comme les ammonites et les poissons. Les formations de grès de base sont rattachées au phénomène de progression à la fois vers le nord et le sud de l'océan. Ces grès s'échelonnent de l'Aptien supérieur à Campo, à l'Albien dans le puits de Kribi avec une épaisseur qui varie de 500 à 600 mètres (VICAT 1998). Les terrains sédimentaires observés à Campo couvrent 25 km (Campo-Bwandjo-Ipono) du Nord au Sud d'une largeur de 1 km, se prolonge vers la Guinée Equatoriale et le Gabon, constitue la terminaison septentrionale du bassin sédimentaire du Gabon.

1.3.5 La zone mobile

La zone mobile s'oppose à celle du craton qui est considérée comme stable depuis au moins 2,500 millions d'années. Le contact de la zone mobile avec le craton congolais s'effectue selon une ligne de chevauchement (VICAT 1998). On retrouve dans cette zone mobile des embréchites à biotite et amphiboles dans les bassins de la Kienké et de la Lobé jusque vers Campo.

1.4 Les indications pédologiques

La région de Kribi-Campo présente en majorité des sols ferralitiques jaunes montrant un fort taux d'acidité; on recense aussi des sols sur gneiss, sur schistes latéritiques ainsi des sols hydromorphes.

1.4.1 Les sols ferralitiques

La couleur jaune des sols ferralitiques semble provenir soit de la pluviométrie, soit de la transition du climat tropical au climat équatorial. Les caractéristiques physico-chimiques indiquent que ces sols sont très acides avec un PH de 4,7 à 5,1; le degré de saturation varie de 15 à 20 pour cent en surface et de moins de 10 cm en profondeur (NLEND 2014). La coupe de ces sols se présente (du haut vers le bas) par une couche humifère de couleur brune d'une épaisseur variant entre 5 et 10 cm, suivie d'une couche argileuse de plus d'un mètre avec à sa base des concrétions ferrugineuses se transformant parfois en cuirasse de faible étendue, la dernière section est occupée par une zone d'altération de la roche mère.

1.4.2 Les sols sur gnéiss et sur schistes latéritiques

Les sols sur gneiss constituent une grande partie des sols de la région de Kribi-Campo ; on distingue de rares cuirasses ou des gravillons latéritiques. Les sols sur schistes latéritiques existent dans la région de Kribi-Campo ; ils sont composés de sable humifère très lessivé et d'un argilo-sableux rouge.

1.4.3 Les sols hydromorphes

Ils résultent essentiellement de l'action d'une nappe phréatique sur une roche mère pendant un certain temps, le processus fondamental étant la formation d'un gley. Les sols hydromorphes riches en matière organique, côtoient généralement les abords des fleuves et les zones marécageuses (OSLISLY 2001) . L'on note aussi les sols hydromorphes spécifiques à la mangrove (embouchure du Ntem) qui sont des sols à gley évoluant en milieu marin.

1.5 Quelques Risques naturels

1.5.1 Le risque mouvement de terrain

Les mouvements de terrain (**figure 2.1**) regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux du sol ou du sous-sol. Il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Les mouvements de terrain apparaissent lors de la conjonction naturelle ou artificielle de facteurs topographique (pentes des terrains, reliefs...), géologiques (nature des sols). On différencie :

- Les mouvements de terrain plutôt lents et continus : tassements et affaissements de sols et glissements de terrain le long d'une pente.
- Les mouvements de terrain plutôt rapides et discontinus : effondrements de cavités souterraines, écroulements et chutes de blocs et enfin coulées boueuses et coulées torrentielles.

Cependant, les conséquences des mouvements de terrain sont fonction de l'ampleur et de la brutalité du phénomène. Ils peuvent être très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages aux biens peuvent être considérables et les plus imposants peuvent entraîner un remodelage des paysages.



FIGURE 1.3 – Schéma illustrant un mouvement de terrain (MACCIONI 2008)

1.5.2 Le risque sismique

Un séisme (**figure 2.3**) est une vibration du sol, causée par une fracture brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sol et parfois en surface. L'activité sismique est concentrée le long de failles, en général à proximité des frontières entre ces plaques. Lorsque les frottements au niveau d'une de ces failles sont importants, le mouvement entre les deux plaques est bloqué. De l'énergie est alors stockée le long des failles. La libération brutale de cette énergie permet de rattraper le mouvement des plaques. Le déplacement instantané qui en résulte est la cause des séismes. Après la secousse principale, il y a des répliques parfois meurtrières qui correspondent à des petits réajustements des blocs au voisinage de la faille. Les victimes peuvent se retrouver blessées, déplacées ou sans-abri. On note aussi une perte en bien matériel avec beaucoup de dommages sur le paysage.

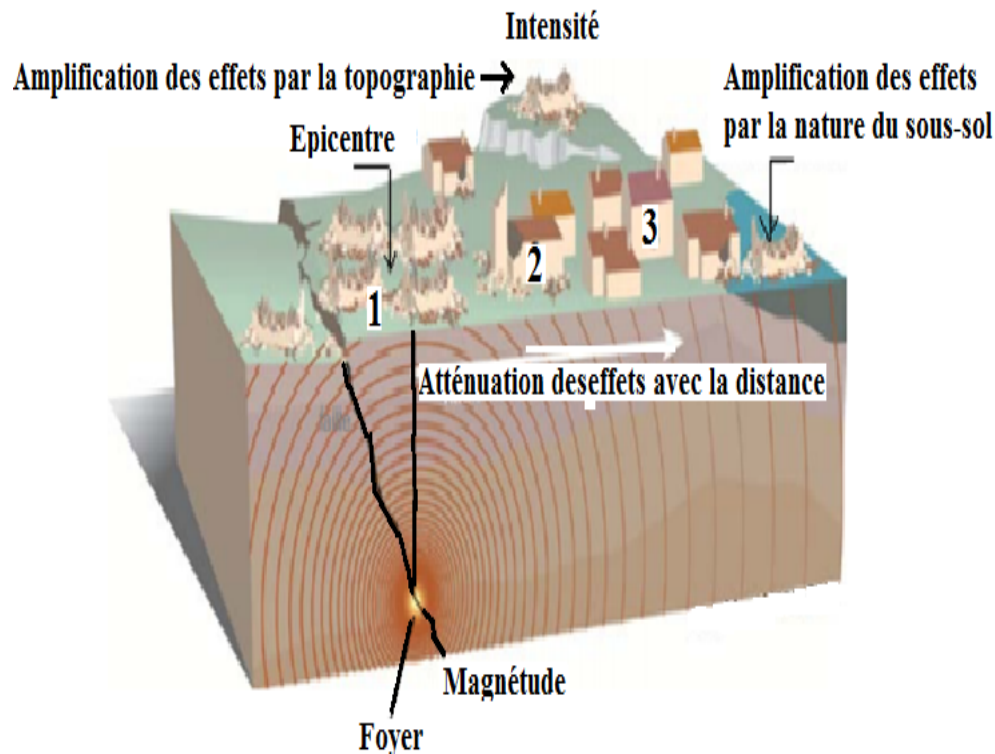


FIGURE 1.4 – Schéma illustrant un mouvement sismique (MACCIONI 2008)

1.6 Travaux géophysiques antérieurs

Au Cameroun, les premiers travaux de prospection géophysique étaient des travaux de reconnaissance, qui étaient pour la plupart des campagnes de collecte de mesures gravimétriques et aéromagnétiques, faites par diverses institutions nationales et étrangères telle que l'université de Leeds, l'université de Yaoundé I, etc... Le Sud-Ouest Cameroun, région dans laquelle se trouve notre zone d'étude a fait l'objet de nombreuses études géophysiques.

- Travaux gravimétriques

La grande partie de ces études géophysique s'inscrit dans le cadre de la compréhension du contact entre le Craton du Congo et la chaîne panafricaine ou chaîne des Oubanguides. On peut citer les travaux de TADJOU et al.(2004), MANGUELLE-DICOUM et al.(1992), OWONA ANGUE (2012) et quelques références citées par cet auteur. À partir des résultats de ces travaux, il est désormais bien établi que la bordure Nord du craton du Congo provient d'une collision intracon-

tinentale avec la chaîne panafricaine, qui a conduit au déversement des structures du Panafricain sur le craton.

COLLIGNON (1968) a produit l'une des premières cartes d'anomalies de Bouguer du Cameroun avec la mise en évidence des premières limites géophysiques du Craton du Congo qui se trouve un peu plus au Nord, le long de la latitude 4°N, par rapport aux limites connues jusqu'alors grâce à des observations géologiques. En effet, il a distingué au sud du parallèle 4°N une anomalie légère de grande extension d'orientation W-E qu'il interprète comme la partie affaissée des formations précambriennes du Sud Cameroun.

De nombreux autres travaux ont été menés dans la zone d'étude, la majorité ayant pour objectifs principaux de comprendre la nature du contact entre la marge Nord du craton du Congo dans le sud Cameroun et la Chaîne panafricaine d'Afrique Centrale, de délimiter et d'estimer les profondeurs respectives de ces structures : TADJOU et al.(2004) , OWONA ANGUE et al. (2011).

POUDJOM et al.(1995) dans leurs estimations de la profondeur de la croûte grâce à des données gravimétriques, évaluent pour la première fois les épaisseurs de celle-ci sous le domaine Kribi-Campo et sous le craton du Congo. Ces auteurs mettent en évidence l'amincissement de la croûte sous le bassin et une croûte épaisse de l'ordre d'une cinquantaine de kilomètres sous le craton.

- Travaux sismiques

TABOD (1991) menant une étude sismique de la ligne volcanique du Cameroun dans sa partie continentale Sud-Ouest au Cameroun, a établi l'une des premières cartes de sismicité connue sur le Cameroun pour des données collectées entre février 1987 et mai 1989. De cette carte, on peut remarquer que les tremblements de terre survenus au voisinage de Kribi ont des foyers localisés à plus de 30 km de profondeur.

L'analyse de la sismicité de la zone de Kribi, suite au tremblement de Terre de magnitude 3.6, survenu dans cette zone en juillet 2002 (NTEPE et al. 2004), associée à d'autres événements antérieurs survenus dans cette région, suggère qu'il existe dans la zone une activité tectonique liée au système de failles connu sous le nom de Faille de Kribi-Campo et qui serait une extension des failles de la Sanaga (NGAKO et al. 2003).

1.7 Conclusion

Il était question de présenter la géologie de notre zone d'investigation. Les études antérieures présentent une géologie dominée par des gneiss à grenat, des micaschistes et des quartzites pour la plupart à mica (NLEND 2014).

THÉORIE ET MÉTHODE

2.1 Introduction

La magnétotellurique (MT) est une technique géophysique qui fournit des informations sur la distribution des conductivités électriques ou alors son inverse appelé résistivité des roches souterraines. Elle est née au début des années 1950 (CAGNARD 1953). C'est maintenant une méthode largement utilisée en géophysique et en géotectonique. En pratique, on mesure les courants telluriques induits dans le sous-sol par les variations du champ magnétique terrestre dans le but de quantifier la résistivité du terrain. L'énergie EM naturelle provient de deux sources principales :

- Les vents solaires qui induisent des courants de particules chargées dans l'ionosphère. La fréquence du signal est alors comprise entre 0.001 Hz et 1 Hz. C'est cette gamme de fréquences qui est utilisée en MT classique.

- L'activité orageuse lointaine dont la fréquence est comprise entre 1 Hz et 20 Hz. Cette gamme de fréquences est utilisée en Audio magnétotellurique (AMT). Ces champs magnétiques varient dans le temps et induisent des courants électriques qui vont à leur tour générer des champs magnétiques secondaires mesurables en surface. Lorsqu'on utilise la méthode de AMT à source contrôlée ou Controlled Source Audio Magnétotellurique (CSAMT), la source électromagnétique utilisée est artificielle. Il s'agit d'un dipôle électrique généralement de plusieurs centaines de mètres ou de quelques kilomètres alimenté par un générateur de fréquences de quelques KW ou dizaines de KW. La longueur d'onde ainsi que l'azimut du champ primaire sont parfaitement contrôlés.

En effet, nous allons présenter certains risques pouvant surgir dans la localité de LOLABÉ.

2.2 Principe sur la théorie (MT) et ses variantes (AMT)

Le principe général des méthodes MT consiste à mesurer simultanément les variations temporelles du champ magnétique et du champ électrique. Si on considère une onde plane dans le plan horizontal (x-y), la résistivité apparente est donnée par (Cagniard 1953) :

$$\rho = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z(\omega)|^2$$

où ω est la fréquence angulaire ($\omega = 2\pi f$ en rad/s), μ_0 est la susceptibilité magnétique. $Z(\omega)$ est l'impédance définie comme le rapport des modules des transformées de Fourier des composantes orthogonales des champs électrique et magnétique :

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = \frac{E_y}{H_x}$$

Pour un milieu stratifié horizontalement dans lequel la résistivité varie avec la profondeur, la formule précédente permet de calculer une résistivité apparente pour différentes fréquences. D'une manière plus générale, le traitement complet des données de MT consiste à calculer le tenseur d'impédance (Z) qui relie les champs E et H pour une fréquence angulaire donnée.

$$\begin{bmatrix} E_x(\omega) \\ E_y(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx}(\omega) & Z_{xy}(\omega) \\ Z_{yx}(\omega) & Z_{yy}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \end{bmatrix}$$

Dans ce cas, la résistivité apparente se calcule comme suit :

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu_0} Z_{xy}^2(\omega)$$

et

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu_0} Z_{yx}^2(\omega)$$

Le tenseur contient toutes les informations nécessaires à l'interprétation en une, deux ou trois dimensions, consistant à déterminer la distribution en profondeur de la résistivité électrique. La profondeur de pénétration augmente lorsque la fréquence diminue :

$$P \approx 503 \sqrt{\frac{1}{\sigma f}}$$

avec p la profondeur de pénétration (m), σ la conductivité du milieu (S/m), f la fréquence (Hz). La profondeur d'investigation n'est pas égale à la profondeur de pénétration mais constitue dans les cas simples, une bonne approximation. A titre d'exemple, pour une gamme de résistivité comprise entre 1 et 1000 $\Omega.m$ et une gamme de fréquence variant entre 10^{-3} et 10^3 Hz, la MT a une profondeur de pénétration de quelques dizaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres.

2.2.1 Les sources d'énergies

Les sources d'énergie du champ MT sont exclusivement naturelles et directement liées à l'activité du soleil. Le spectre des amplitudes permet de distinguer deux sources principales de perturbations EM.

- Les sous-orages magnétiques générateurs des micro pulsations aux fréquences inférieures à 1 Hz ;

- Les orages magnétiques pour les pulsations supérieurs à 1 Hz. En deçà du hertz, les micro pulsations prédominent ; ce sont des fluctuations du champ magnétique terrestre dont l'amplitude va de la fraction de gamma à quelques dizaines de gammas. Leur structure est quasiment périodique avec des périodes qui se situent entre 0,1 seconde et 10 minutes (JACON 1970). Les micro pulsations sont générées à partir du développement des ondes magnétohydrodynamiques (ALFVEN 1942), un phénomène intimement lié aux sous-orages qui représentent des perturbations atmosphériques ayant une durée de l'ordre de l'heure. Les micro pulsations géomagnétiques ont été subdivisées en deux classes : Les pulsations continues (PC) et les pulsations irrégulières (PI). Chacune de ces deux classes comprend plusieurs types d'ondes suivant diverses gammes de périodes. Au-dessus de 1 Hz, les orages magnétiques d'échelle planétaire sont les principales sources du champ MT. Il existe trois grands centres d'orage magnétique situés au Brésil, en Afrique Centrale et en Malaisie, avec environ 100 jours d'orage magnétique par an. D'autres centres secondaires atteignent jusqu'à 200 jours d'orage d'année. Plusieurs études ont permis de mieux appréhender et de classer ces types de fluctuations soit à partir d'une analyse statistique (CHAPMAN et BARTELS 1940) ; soit d'après l'extension des perturbations (BOHROV 1961). La classification la plus rependue est celle de CHAPMAN (1964) qui se fonde sur les mécanismes physiques qui génère ces perturbations ; une distinction est faite entre les perturbations ayant une source située à la limite de la magnétosphère et celles qui sont liées aux effets ionosphériques. En général un orage

magnétique dure quelques secondes à plusieurs jours avec des amplitudes variant de quelques gammas à quelques milliers de gammas. La fréquence d'apparition dépend de l'activité solaire et de la période de l'année.

2.2.2 L'impédance d'une onde plane EM en milieu tabulaire homogène

Suivant l'approche de CAGNIARD (1953), le milieu étant considéré comme isotrope, le champ électromagnétique (EM) présent ne dépend que de l'axe vertical des coordonnées et de la distribution spatiale des résistivités, $E = (E_x, 0, 0)$ et $H = (0, H_y, 0)$. En utilisant la méthode opérationnelle de la solution des équations de MAXWELL nous aurons un champ EM de la forme $E = E_x \exp(-i\omega t)$, $H = H_y \exp(-i\omega t)$ où E_x et H_y sont des amplitudes complexes. Les équations de Maxwell dans un milieu homogène et isotrope sont :

$$\vec{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\vec{\text{rot}} \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} \quad (2.2)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho \quad (2.4)$$

où H est l'intensité du champ magnétique en (A/m); E est l'intensité du champ électrique en (V/m); D est le courant de déplacement en (C/m^2); J est la densité de courant électrique en (A/m^3); ρ est la densité de charge électrique en (C/m^3)

Le milieu est caractérisé par les constantes μ et ε tel que :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.5)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (2.6)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.7)$$

μ est la perméabilité magnétique en (H/m), ε , la constante diélectrique en (F/m) et σ , la conductivité en (S)

Pour les champs sinusoïdaux, les équations de MAXWELL s'écrivent

$$\overrightarrow{\text{rot}} \overrightarrow{E} = i\mu \overrightarrow{H} \quad (2.8)$$

$$\overrightarrow{\text{rot}} \overrightarrow{H} = \sigma \overrightarrow{E} - i\varepsilon \overrightarrow{E} \quad (2.9)$$

$$\text{div} \overrightarrow{E} = 0 \quad (2.10)$$

$$\text{div} \overrightarrow{H} = 0 \quad (2.11)$$

En prenant le rotationnel de (2.1) et en tenant compte de l'équation (2.2), on a

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \overrightarrow{E}) = \overrightarrow{\text{rot}}\left(-\frac{\partial \overrightarrow{B}}{\partial t}\right) = -\frac{\partial(\overrightarrow{\text{rot}} \overrightarrow{B})}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}(\mu \overrightarrow{J} + \varepsilon \mu \frac{\partial \overrightarrow{E}}{\partial t})$$

En introduisant l'équation (2.7), on aboutit à l'équation

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \overrightarrow{E}) = -\mu\sigma \frac{\partial \overrightarrow{E}}{\partial t} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \overrightarrow{E}}{\partial t^2} \quad (2.12)$$

Or nous savons que :

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}}) = \overrightarrow{\text{grad}}(\text{div} \overrightarrow{E}) - \nabla^2 \overrightarrow{E} \quad (2.13)$$

Les équations (2.12) et (2.13) se valent ; et comme

$$\text{div} \overrightarrow{E} = \nabla^2 \overrightarrow{E}$$

Alors nous obtenons

$$\frac{\partial^2 \overrightarrow{E}_x}{\partial z^2} = \mu\sigma \frac{\partial \overrightarrow{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \overrightarrow{E}}{\partial t^2} \quad (2.14)$$

Cette équation est l'équation générale de la propagation du champ électrique. Le courant se déplace suivant (Oz) $E_y = E_z = 0$ et $E_x = f(z,t)$. En coordonnées cartésiennes, l'équation (2.14) devient

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

Dans le cas d'une solution harmonique, on a $E_x = E_0 \exp(i\omega t)$ et l'équation (2.15) devient :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} = i\mu\omega\sigma \vec{E}_x + \mu\varepsilon i^2 \omega^2 \vec{E}_x$$

Soit

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} = i\mu\omega(\sigma + i\varepsilon\omega) \vec{E}_x = k^2 \vec{E}_x \quad (2.16)$$

Avec

$$k^2 = i\mu\omega(\sigma + i\varepsilon\omega)$$

Par analogie, on obtient aussi l'équation

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} = k^2 H_y \quad (2.17)$$

Aux périodes utilisées dans la méthode MT, les courants de déplacement ($i\mu\omega\sigma \vec{E}$) sont négligeables devant les processus de conduction ($\sigma \vec{E}$), $k^2 = i\mu\omega\sigma$. Où k est appelé nombre d'onde et il est relié à la profondeur de pénétration P par la relation

$$k = \frac{1+i}{P} \quad (2.18)$$

Nous avons également

$$p = \left(\frac{10^3}{2\pi}\right)(10\rho T)^{1/2} \quad (2.19)$$

Avec , ρ la résistivité et T la période. La longueur d'onde est défini par :

$$\lambda = 2\pi p = 10^3(10\rho T)^{1/2} \quad (2.20)$$

Les équations (2.16) et (2.17) ont des solutions de la forme

$$\vec{E}_x = A e^{ikz} \quad (2.21)$$

$$H_y = \frac{k}{\mu\omega} A e^{ikz} \quad (2.22)$$

Le coefficient A renferme les informations sur les parties primaire et secondaire du champ EM. Le rapport $\frac{E_x}{H_y}$ à la surface du sol est appelé impédance de l'onde plane dans un milieu uniforme. Elle ne dépend pas de l'intensité du champ primaire. C'est une fonction de la réponse du sous-sol.

Soit

$$Z_{xy} = 2\pi \left(\frac{\rho}{5T}\right)^{1/2} e^{-i\frac{\pi}{4}} 10^3 \text{ ohm} \quad (2.23)$$

Le module de Z_{xy} est donné par

$$|Z_{xy}| = 2\pi \left(\frac{\rho}{5T}\right)^{1/2} 10^3 \text{ ohm} \quad (2.24)$$

Et la phase $\varphi = \frac{\pi}{4}$ pour (E_x, H_y) et $\varphi = \pi - \frac{\pi}{4}$ pour (E_y, H_x)

Le module de l'impédance décroît lorsque la conductivité et la période augmentent. L'équation (2.23) peut s'écrire en unités pratiques.

$$\rho_{xy} = 0.2 \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (2.25)$$

La résistivité s'exprime en $\Omega.m$, E_x en mV/Km, H_y en gamma (γ) tel que $1\gamma = 10^{-9}$ Tesla. Les résistivités apparentes ρ_{xy} et ρ_{yx} sont identiques suivant les deux directions de mesure si le milieu est rigoureusement homogène, puisque dans ce cas, $Z_{xy} = -Z_{yx}$.

2.2.3 L'impédance d'une structure à deux dimensions

La conductivité ne dépend plus uniquement de l'axe vertical, elle varie aussi latéralement. C'est la situation rencontrée dans le cas d'une faille, d'un fossé ou de toute autre anisotropie dans le plan horizontal. Si la résistivité du sol ne varie que suivant les axes x et z par exemple, le champ est invariant dans la direction y ($\frac{\partial}{\partial z} = 0$). Les équations de MAXWELL (2.8) et (2.9) donnent :

$$-\frac{\partial E_y}{\partial z} = i\omega H_x \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = i\mu\omega H_y \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -i\mu\omega H_z \quad (2.28)$$

$$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_x \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \sigma E_y \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_z \quad (2.31)$$

En combinant les équations (2.26) à (2.31), nous obtenons l'équation de diffusion :

$$\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} - k^2 F = 0 \quad (2.32)$$

Où $F = H_y$ ou E_x et $k^2 = i\mu\sigma\omega$ dépend de y et de z

Dans la plupart des cas la résolution analytique de ces équations est difficile, on adopte des méthodes approximatives (différences finies, éléments finis) en tenant compte des conditions aux limites. Lorsque les directions de mesure x , y sont respectivement perpendiculaire et parallèle à la direction des structures (**figure 2.4**), les équations (2.26), (2.28) et (2.30) impliquent les composantes E_y et H_x ; tandis que les équations (2.27), (2.29) et (2.31) sont relatives aux composantes E_x et H_y .

Le tenseur d'impédance est donné sous la forme matricielle :

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

Le champ électrique se met donc sous la forme :

$$E = [Z] . H \quad (2.34)$$

Ou encore,

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y$$

$$E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y$$

Les équations de Maxwell peuvent se subdiviser en deux modes de polarisation : le mode transverse magnétique (TM) et le mode de polarisation transverse électrique (TE). Ces deux modes de polarisation permettent d'obtenir deux valeurs d'impédance différentes :

- Pour le mode de polarisation E ou transverse magnétique (TM), le champ \vec{E} est parallèle à la structure alors que le champ \vec{H} est perpendiculaire à celle-ci. L'impédance est donnée par :

$$Z_{//} = \frac{E_{//}}{H_{\perp}} = \frac{E_y}{H_x} \quad (2.35)$$

- Pour le mode de polarisation B ou transverse électrique (TE), le champ \vec{E} est parallèle à la structure alors que le champ \vec{H} est perpendiculaire à celle-ci. L'impédance est donnée par :

$$Z_{//} = \frac{E_{\perp}}{H_{//}} = \frac{E_x}{H_y} \quad (2.36)$$

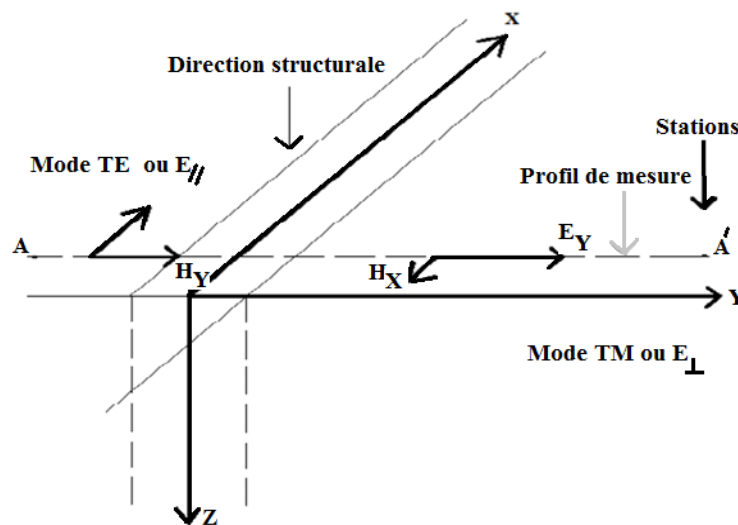


FIGURE 2.1 – Principe de mesure des composants du champ électromagnétique

2.2.4 Le niveau de bruit

Le bruit désigne les impulsions électromagnétiques de toutes origines, naturelles, industrielles ou locales, situées dans la bande de fréquence MT et qui ne peuvent pas être considérées comme du signal (CHAIZE ET LAVERGNE 1970). Une analyse de cohérence entre traces électriques et magnétiques associées permet souvent d'éliminer une grande partie des bruits. La durée des

portions de trace analysées dépend de la période. Il est commode d'analyser des longueurs des traces comprises entre 20 et 60 fois par périodes analysées, avec des intervalles d'échantillonnage de l'ordre de 0,1 fois les périodes. L'uniformité des champs peut aussi être testée, soit au moyen de deux stations simultanées d'enregistrement, soit par l'étude de la composante verticale Hz en une station. L'une des plus grandes sources de parasites en basses fréquences (10Hz à 1 Hz) provient du vent et des vibrations micro sismiques. La station de mesure doit être implantée dans une clairière, loin des arbres. Selon CHAIZE ET LAVERGNE (1970), il est difficile de mener une prospection MT sans perturbations à moins de 30 Km des lignes de traction électrifiées, à moins de 5 Km des lignes des transmissions d'énergie électrique Haute-Tension et à moins de 1 Km des lignes du secteur 50 hertz.

2.2.5 Estimation de l'impédance

$$\overline{\overline{E}}(\omega) = \overline{\overline{Z}}(\omega) \cdot \overline{\overline{H}}(\omega) \quad (2.37)$$

Or

$$\begin{cases} E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{cases}$$

Cette formulation tensorielle de l'impédance de la surface est préférée par rapport à la formulation scalaire parce que, quand la source du champ est une onde presque plane, les éléments de l'impédance Z_{ij} , sont invariants dans le temps. L'impédance scalaire $Z_{ij} = \frac{E_i}{H_j}$ est plus facile à calculer, mais peut varier suivant la direction des champs (GEOMETRICS 2000). Le tenseur d'impédance AMT permet une modélisation en 2-D ou en 3-D des données issues des structures profondes pour des gammes de fréquences utilisées en AMT (GARCIA ET JONES 2002).

2.3 Méthode

2.3.1 Généralités sur la méthode AMT tensorielle

a.) Courbe de sondage

La courbe de sondage caractérise les variations des résistivités apparentes à la verticale d'une station de mesure. Son interprétation permet de déterminer le nombre de couches, la résistivité de

chacune d'elles et ainsi que les épaisseurs correspondantes. La courbe de sondage est à la base des interprétations géo-électriques, on l'obtient après une inversion 1-D. Nous aurons en ordonnée les résistivités apparentes et en abscisse une variable caractérisant les niveaux d'acquisitions suivant la méthode utilisée.

b.) Pseudo section

La pseudo section montre les variations de la résistivité suivant une coupe verticale. Elle permet de mettre en évidence les zones de discontinuité latérale qui apparaissent avec un fort gradient horizontal de résistivité, et contrastent par conséquent avec les zones tabulaires où les lignes d'iso-résistivités sont horizontales. On l'obtient en portant en abscisse les distances inter-stations et en ordonnée la variable indiquant les niveaux d'acquisition.

c.) Section géoélectrique

Elle s'obtient soit par agencement des sondages SEV, soit par inversion 2D à partir des méthodes semi-analytiques (CELOTTA ET JUDAH 1987). Elle montre la disposition des différentes couches suivant l'orientation étudié. Lorsque le rapprochement est fait avec la géologie au point d'assimiler chaque terrain à une couche géologique, on obtient alors la section géologique suivant l'orientation étudié.

2.3.2 Principe de la méthode d'acquisition des données

Les données utilisées dans cette étude proviennent d'une campagne de sondages MT conduite le 17 mars 2015 par une équipe du Laboratoire de Géophysique Interne de l'Université de Yaoundé I. Cette équipe a effectué des mesures suivant 4 stations suivant deux lignes telluriques quasi-parallèles et partant de l'école publique de LOLABE à la chefferie pour les 2 premières stations d'une part puis de l'entrée nord vers l'entrée sud du port en eau profonde de Kribi d'autre part. Les sondages ont été exécutés à l'aide du Résistivimètre scalaire MT ECA-0 conçu par le Centre de Recherches Géophysiques de Garchy. La gamme de fréquences couverte par cet équipement varie de 4,1 Hz à 2300 Hz et permet d'atteindre les couches profondes en fonction de la résistivité du sol. Les éléments principaux de cet équipement comprennent : le coffret de mesure, le capteur tellurique et le capteur magnétique ainsi que différents câbles reliant le coffret aux autres éléments (**figure 2.5**) Les données ont été collectées suivant les directions principales N-S et E-W de la ligne tellurique, qui correspondent aux modes transverse magnétique (TM) et transverse électrique (TE), représentent respectivement l'orientation générale des accidents objet de l'étude et la direction transverse à ces accidents. L'acquisition des données est naturellement précédée du choix des profils qui dans notre cas sont transversaux à la direction de la structure étudiée. Les axes routiers transversaux à la structure étudiée quant à eux favorisent la mobilité du prospecteur et l'implantation des stations. Une fois le site choisi, la station de mesures est établie comme le montre la **figure(2.6)**. Les sondages ont donc été réalisés suivant 7 stations espacées les unes des autres d'environ 2 km et d'altitude 4 m chacune. La surface couverte est d'environ 8000 km^2

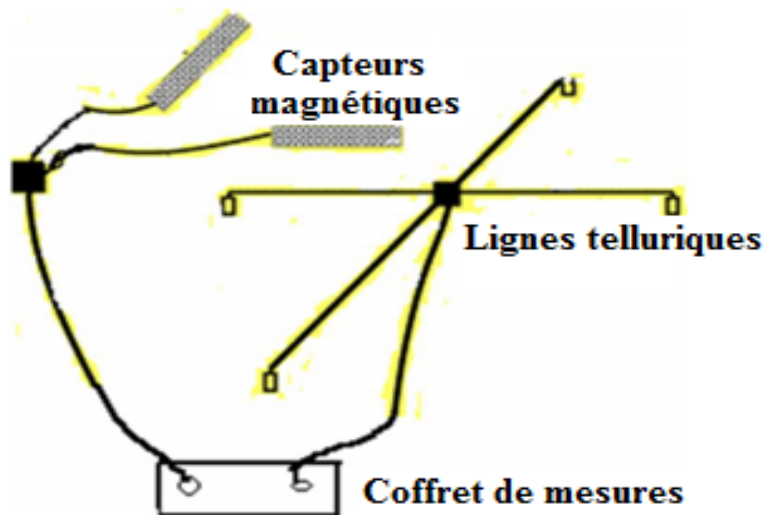


FIGURE 2.2 – Dispositif classique de mesure en AMT

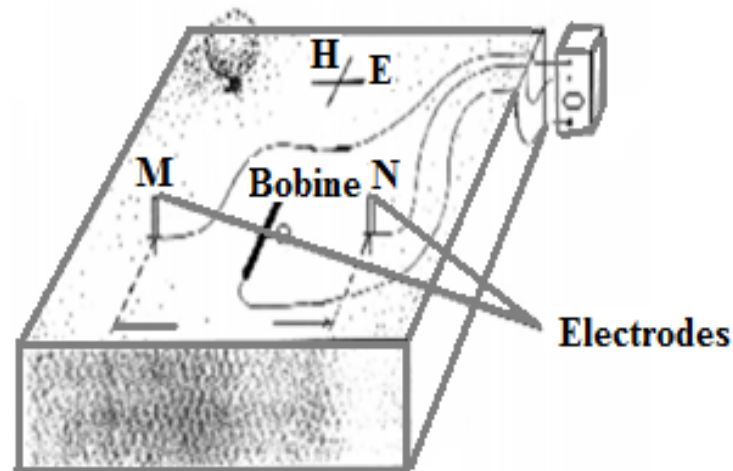


FIGURE 2.3 – Mise en oeuvre d'un Sondage AMT

2.4 Conclusion

La méthode AMT est utilisée en prospection géophysique en vue de la détermination de la structure du sous-sol. Elle procède par enregistrement des signaux EM qui sont convertis en mesure de résistivités caractérisant les roches. Nous avons donc faire allusion aux courbes de sondages, de pseudo-sections et de géoélectricités afin de clarifier nos résultats.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Introduction

Dans cette partie, il sera question pour nous d'utiliser le logiciel IP2 WIN MT afin de générer certaines courbes nécessaires à l'instar des courbes de sondages, de pseudo-section et de géoélectricité pour interpréter les données mises à notre disposition par l'équipe du Laboratoire de Géophysique Interne de l'Université de Yaoundé I.

3.2 Présentation interprétation des courbes de sondage

3.2.1 Courbe de sondage de l'école publique LOLABÉ (N-S) (ST1)

L'école publique LOLABÉ située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Nord- Sud (**Figure 3.1**), présente un terrain à 3 couches. La deuxième couche très résistante ($2707 \Omega.m$) a une épaisseur de 0.337 km. On peut dès lors déjà penser à une remontée de ces matériaux vers la surface. La première couche est la plus conductrice ($2.39 \Omega.m$) mais moins épaisse que la première avec une épaisseur de 0.055 km. Cette couche pourrait de par sa faible résistivité, regorger des ressources naturelles telles que l'eau ainsi que des matériaux de faible résistivité. La profondeur explorée est d'environ 0.337 km.

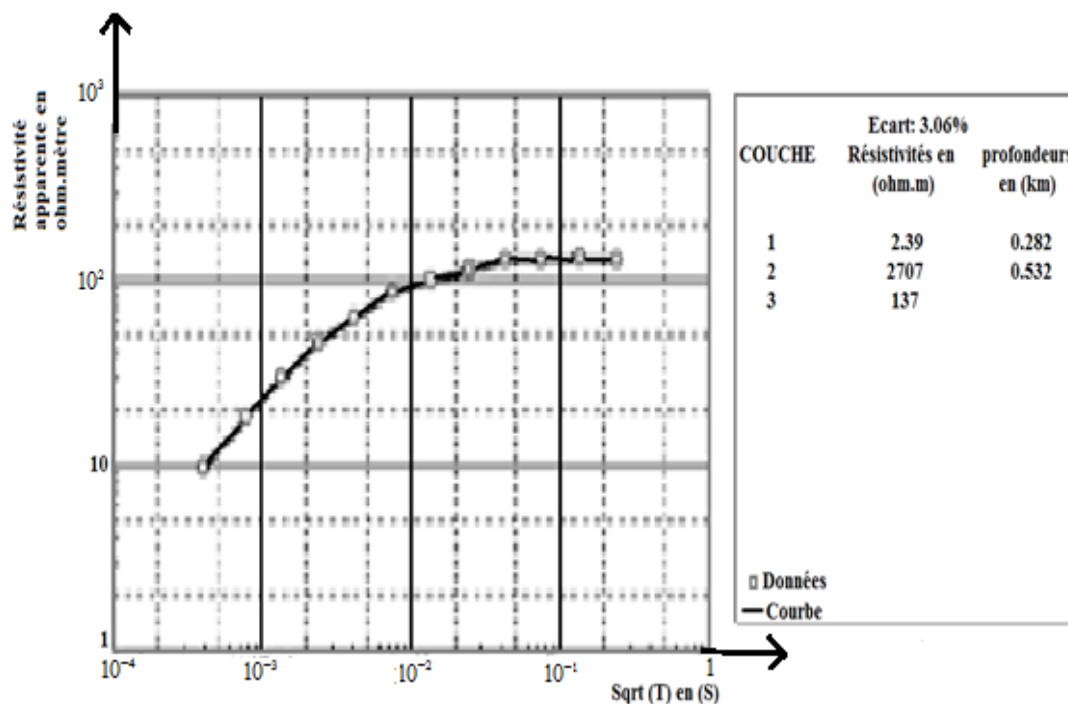


FIGURE 3.1 – Courbe de sondage de l'école publique LOLABÉ (N-S) (ST1)

3.2.2 Courbe de sondage de l'école publique LOLABÉ (E-O) (ST1)

L'école Publique LOLABÉ située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Est-Ouest (**figure 3.5**), présente un terrain à 4 couches. Sa quatrième couche très résistante ($17206 \Omega.m$), est d'une épaisseur infinie. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant des profondeurs de la terre. La première couche est la plus conductrice ($580 \Omega.m$) d'épaisseur 0.809 km et moins épaisse que les autres. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et aussi des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une légère remontée des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on avoisine le socle. La profondeur d'investigation est d'environ 100 km .

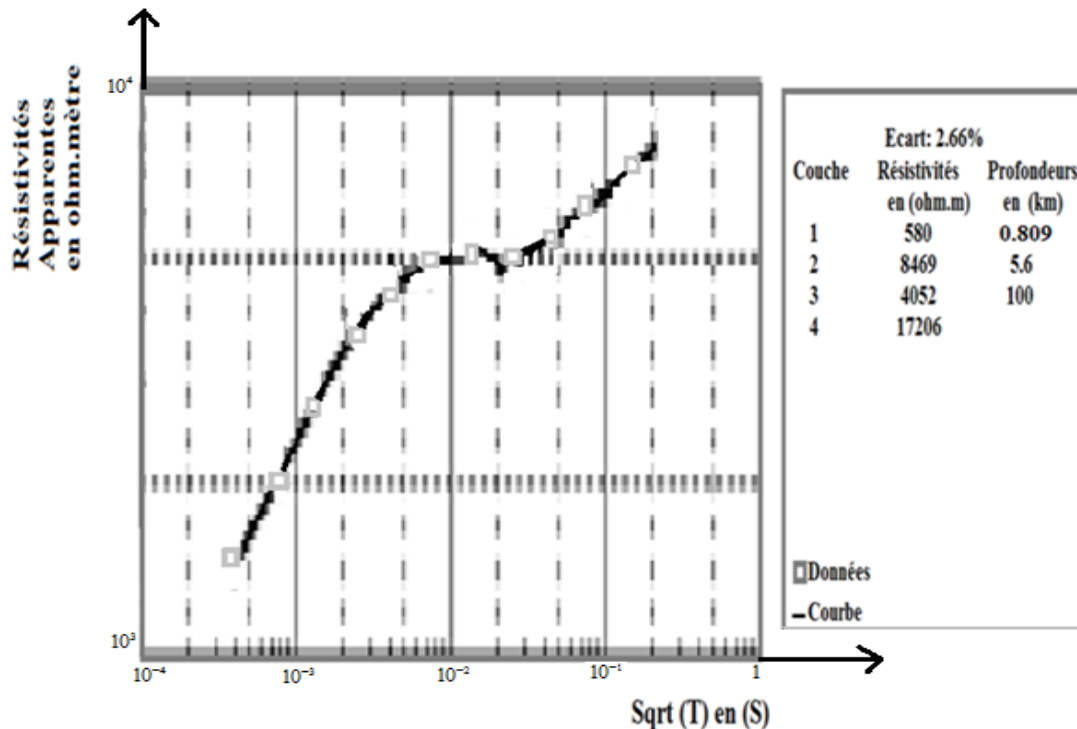


FIGURE 3.2 – Courbe de sondage de l'école Publique LOLABÉ (E-O) (ST1)

3.2.3 Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (N-S) (ST2)

La chefferie LOLABE située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Nord-Sud (**figure 3.2**) présente un terrain à 3 couches. La deuxième couche très résistante ($2.9 \times 10^5 \Omega.m$) a une épaisseur de 8.31 km. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant d'elle. La première couche est la plus conductrice ($59 \Omega.m$) d'épaisseur 7.49 km et moins épaisse que les autres. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et aussi des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une chute libre des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on avoisine déjà les formations moins résistantes. La profondeur d'investigation est d'environ 15.8 km.

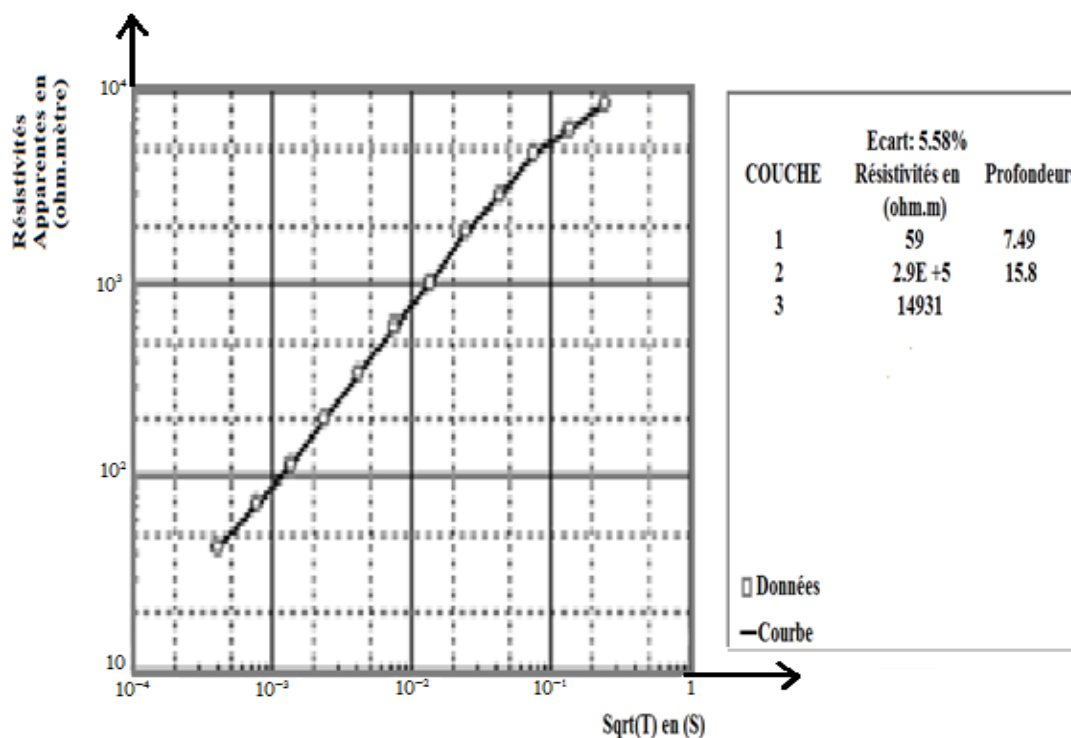


FIGURE 3.3 – Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (N-S) (ST2)

3.2.4 Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (E-O) (ST2)

La Chefferie LOLABÉ située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Est-Ouest (**figure 3.6**), présente un terrain à 3 couches. La quatrième couche très résistante ($56 \times 10^3 \Omega.m$), a une épaisseur infinie. La première couche est la plus conductrice ($14 \times 10^2 \Omega.m$) d'épaisseur 7.13 km et moins épaisse que les autres. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant des profondeurs de la terre. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et aussi des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une légère remontée des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on avoisine déjà le socle. La profondeur d'investigation est d'environ 16 km.

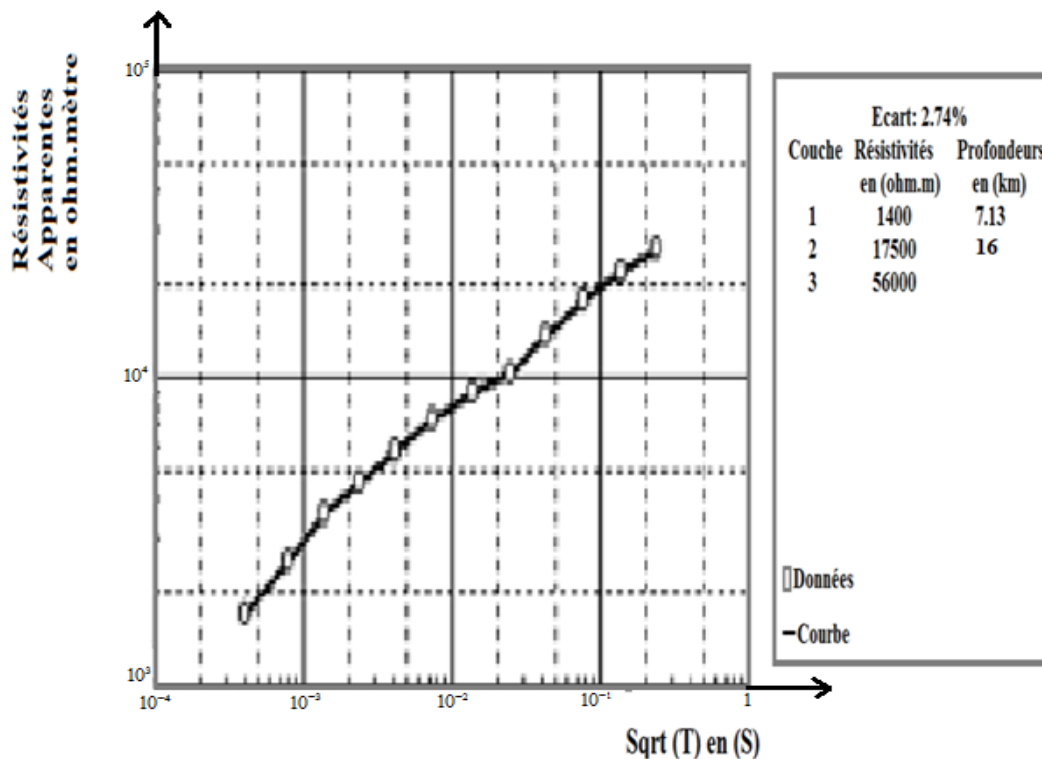


FIGURE 3.4 – Courbe de sondage de la chefferie LOLABÉ (E-O) (ST2)

3.2.5 Courbe de sondage de l'entrée Sud du port (N-S) (ST3)

L'entrée (Sud) Port en eau profonde située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Nord- Sud (**figure 3.3**), présente un terrain à 4 couches. La troisième couche très résistante ($5515 \Omega.m$) a une épaisseur de 212 km. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant d'elle. La dernière couche est la plus conductrice ($3.3 \Omega.m$) et a une épaisseur infinie. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et peut être considérée comme la couche socle avec des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une chute brutale des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on est déjà dans les formations moins résistantes. La profondeur d'investigation est d'environ 220 km

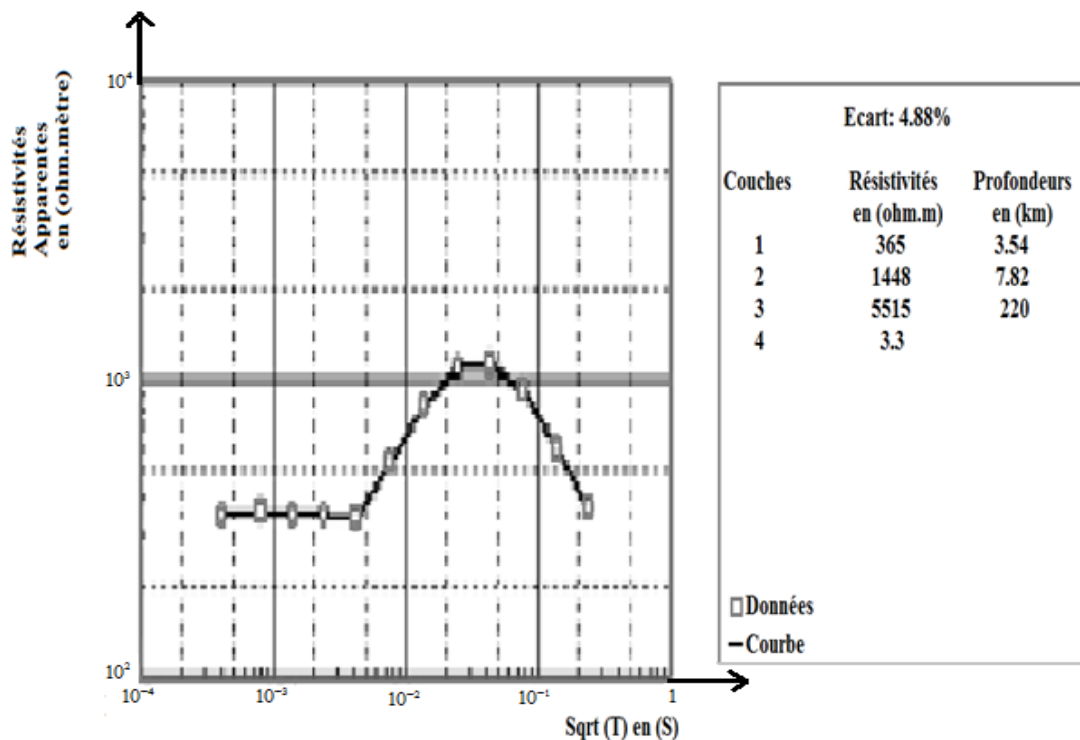


FIGURE 3.5 – Courbe de sondage de L'entrée (Sud) du Port (N-S) (ST3)

3.2.6 Courbe de sondage de l'entrée Sud du port (E-O) (ST3)

L'entrée (Sud) port en eau Profonde est située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Est-Ouest (**Figure 3.7**), présentant ainsi un terrain à 3 couches avec sa dernière couche très résistante ($22 \times 10^3 \Omega.m$) d'épaisseur infinie. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant des profondeurs de la terre. La première couche est la plus conductrice ($440 \Omega.m$) d'épaisseur 5.04 km et moins épaisse que les autre. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et aussi des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une légère remontée des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on avoisine déjà le socle. La profondeur d'investigation est d'environ 102 km.

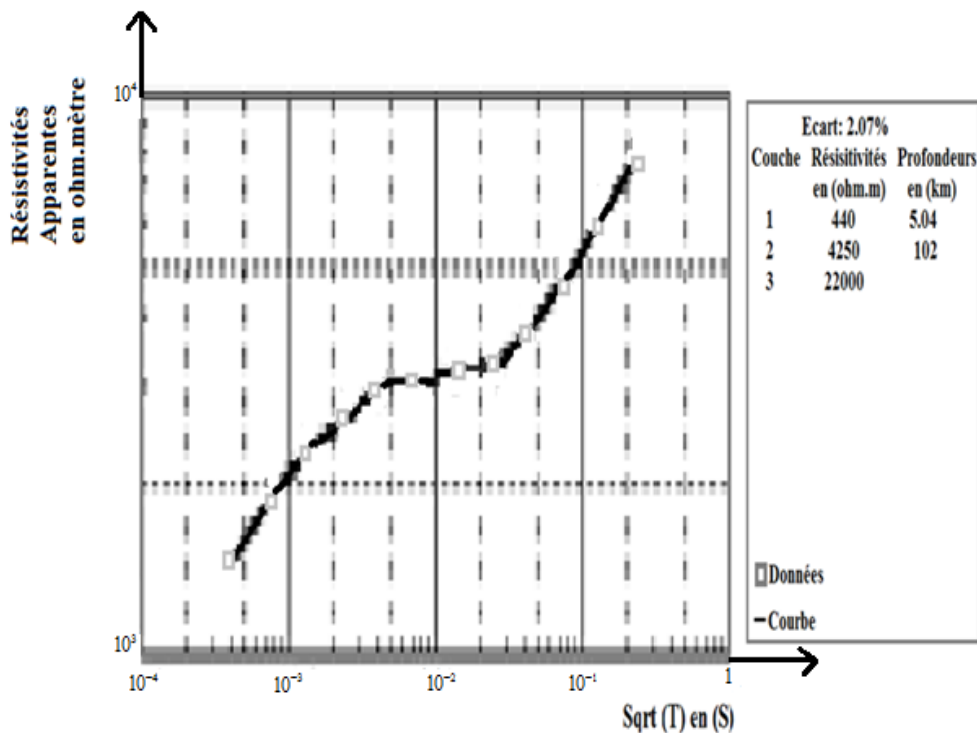


FIGURE 3.6 – Courbe de sondage de l'entrée (Sud) du Port (E-O) (ST3)

3.2.7 Courbe de sondage de MBORO LOLABÉ (N-S) (ST4)

MBORO LOLABÉ (Lolabé entrée Nord Port) située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Nord-Sud (**figure 3.4**), présente un terrain à 4 couches. La troisième couche est très résistante ($5515 \Omega.m$) et a une épaisseur de 1137 km. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant d'elle. La première couche est la plus conductrice ($365 \Omega.m$) d'épaisseur 4.54 km et la moins épaisse. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et aussi des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une chute libre des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on avoisine déjà les formations moins résistantes. La profondeur d'investigation est d'environ 1145 km.

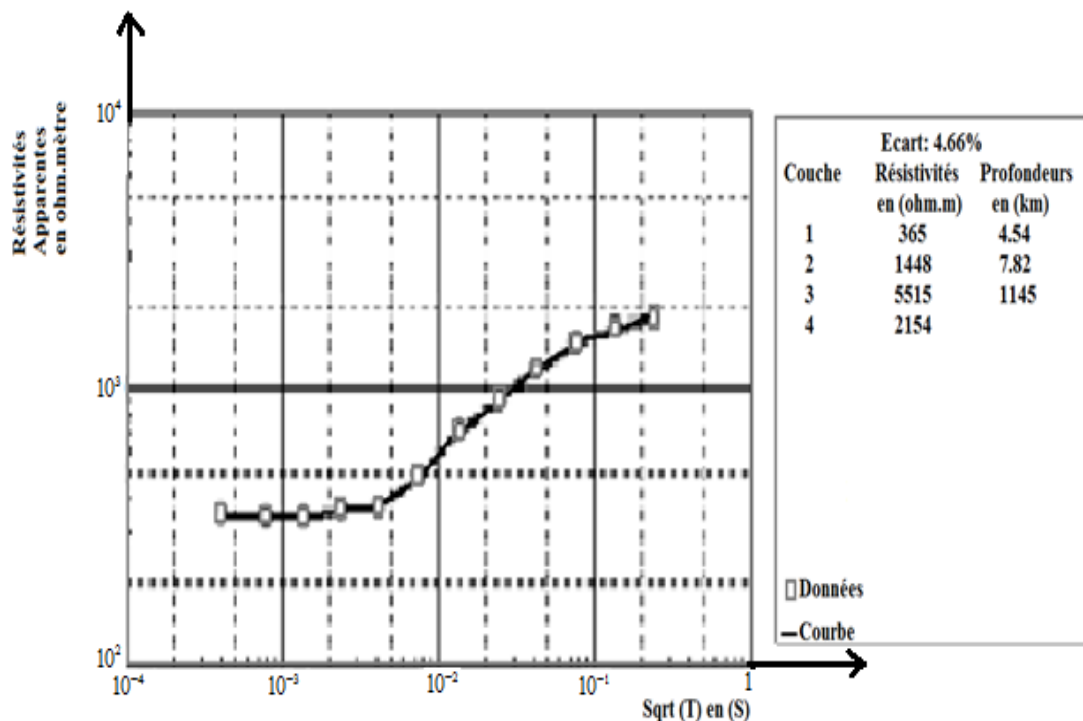


FIGURE 3.7 – Courbe de sondage de MBORO LOLABÉ (N-S)(ST4)

3.2.8 Courbe de sondage de MBORO LOLABÉ (E-O) (ST4)

MBORO (Lolabé Entrée Nord Port) est située à l'orientation de la ligne tellurique suivant l'orientation Est-Ouest (**figure 3.8**), présentant ainsi un terrain à 3 couches avec sa dernière couche très résistante ($75.10^3 \Omega.m$) d'épaisseur infinie. On peut dès lors déjà penser à une remontée vers la surface des matériaux venant des profondeurs de la terre. La première couche est la plus conductrice ($695 \Omega.m$) d'épaisseur 2.28 km donc moins épaisse. Cette couche pourrait contenir des ressources naturelles comme de l'eau et aussi des matériaux de faible résistivité. La fin de la courbe de sondage est marquée par une légère remontée des valeurs de la résistivité et laisse ainsi croire que l'on avoisine déjà le socle. La profondeur d'investigation est d'environ 7.43 km.

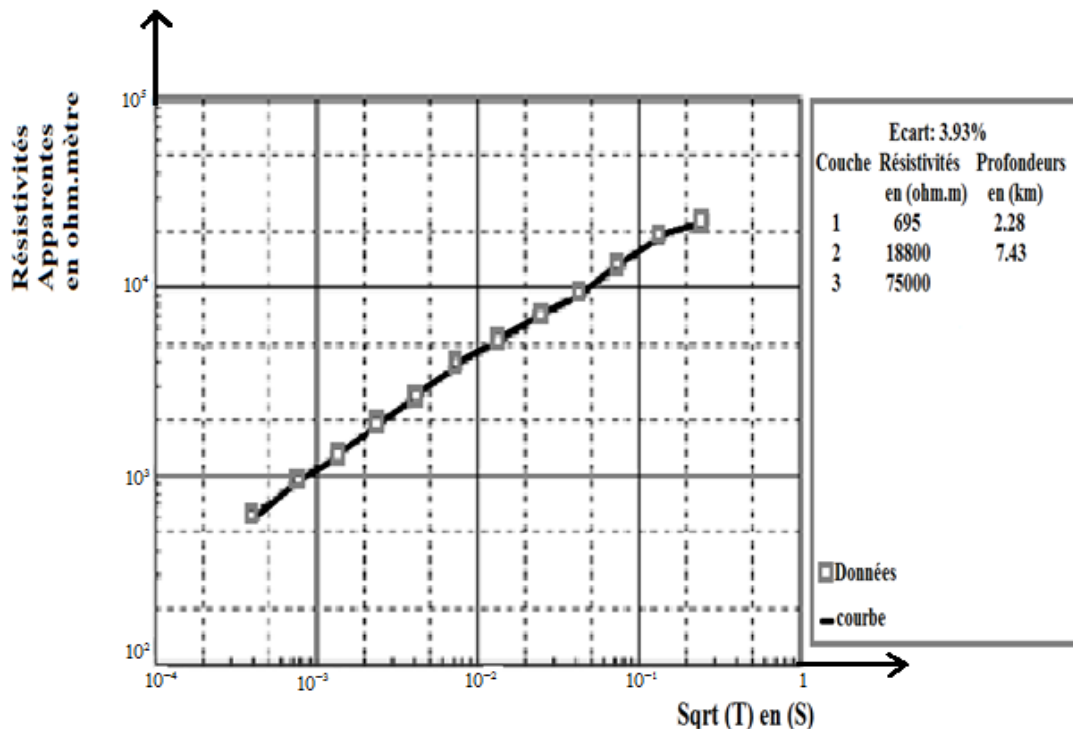


FIGURE 3.8 – Courbe de sondage MBORO de LOLABÉ (E-O) (ST4)

3.3 Présentation interprétation des Pseudo-section de Résistivités Apparentes

3.3.1 Orientation suivant la direction Nord-Sud

La pseudo-section de résistivité moyenne (**figure 3.9**) permet d'observer entre ST1 et ST2 une zone dont les résistivités croient avec la profondeur. On peut donc dire qu'on a une zone très conductrice en proche surface. Cependant, l'on retrouve une zone plus résistante en profondeur beaucoup plus remarquable en ST2. En effet, En ST4, on observe une zone très résistance dans les grandes profondeurs.

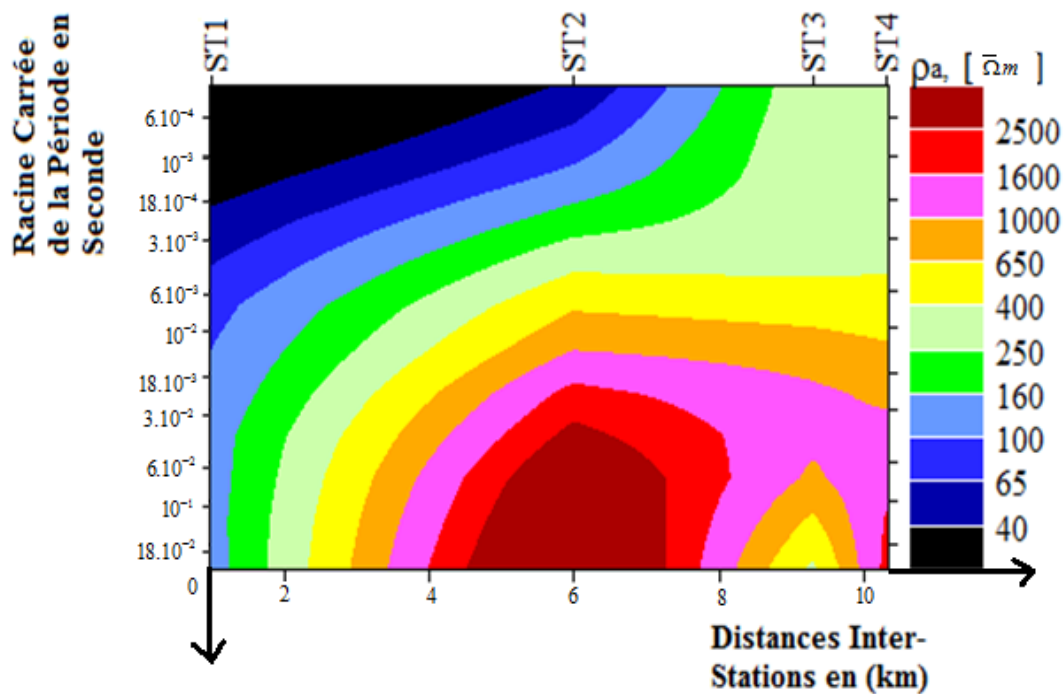


FIGURE 3.9 – Pseudo-section de résistivités apparentes (N-S)

3.3.2 Orientation suivant la direction Est-Ouest

La pseudo-section de résistivité moyenne (figure 3.10) permet d'observer entre ST1 et ST2 une zone quasi-tabulaire dont les résistivités croient avec la profondeur. Néanmoins, on a des compartiments trop résistants très en profondeur. Il est aussi à noter la discontinuité qui se fait ressentir en ST3, preuve qu'un plissement se serait effectué à cet endroit.

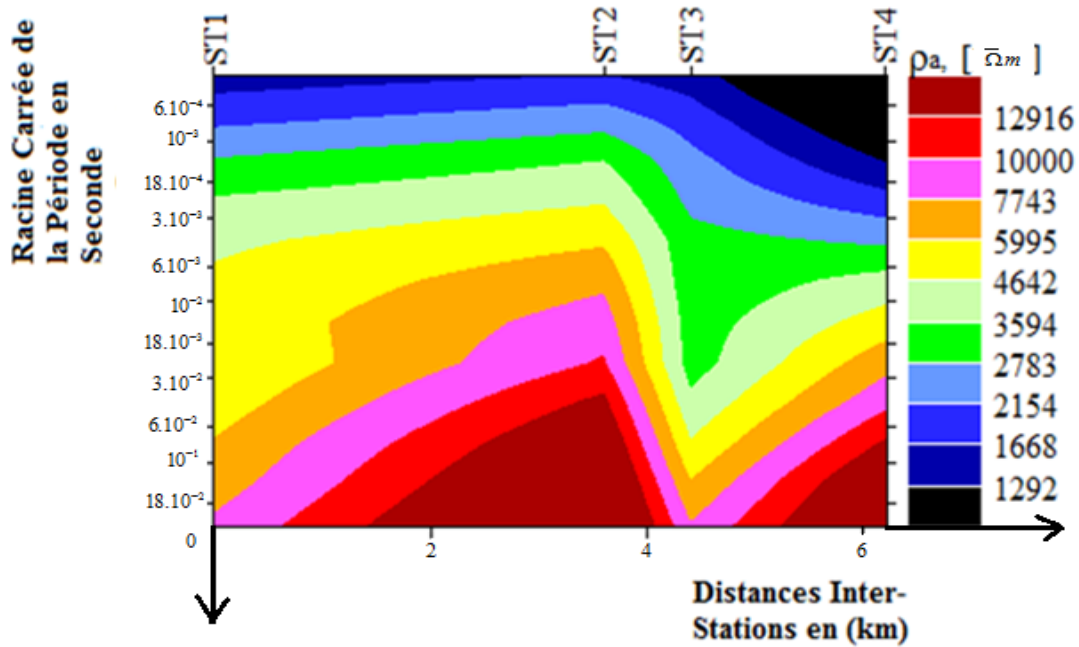


FIGURE 3.10 – Pseudo-section de résistivités apparentes (E-O)

3.4 Présentation et interprétation des Sections Géoélectriques

3.4.1 Orientation suivant la direction Nord-Sud

La section géoélectrique (**figure 3.11**) présente 4 colonnes correspondant aux quatre stations de mesure. On observe en proche surface à environ 250 m, la présence d'une couche très conductrice entre ces stations et qui est un peu plus épaisse dans la deuxième station. Le passage de la station ST1 à la station ST2 est caractérisé par la dénivellation observée au niveau des couches situées en dessous de ces deux stations plus précisément à plus de 15 km. Cette remarque fait penser qu'un accident tectonique se serait produit dans cette zone qu'on pourrait qualifier de mouvement de terrain. Une observation analogue à celle de la station ST1 est faite pour les stations ST2 et ST3 et à la même profondeur. Mais entre les stations ST3 et ST4, on observe à la surface jusqu'à près de 3.8 km de profondeurs, la présence des couches identiques de résistivités variant de $300 \Omega.m$ à près de $10^4 \Omega.m$. La section géoélectrique met en évidence des zones d'anomalies caractérisées soit par des intrusions sédimentaires (cas de ST3 - ST4) ou par la présence des matériaux moins résistant au voisinage de la surface (cas de toutes ces stations).

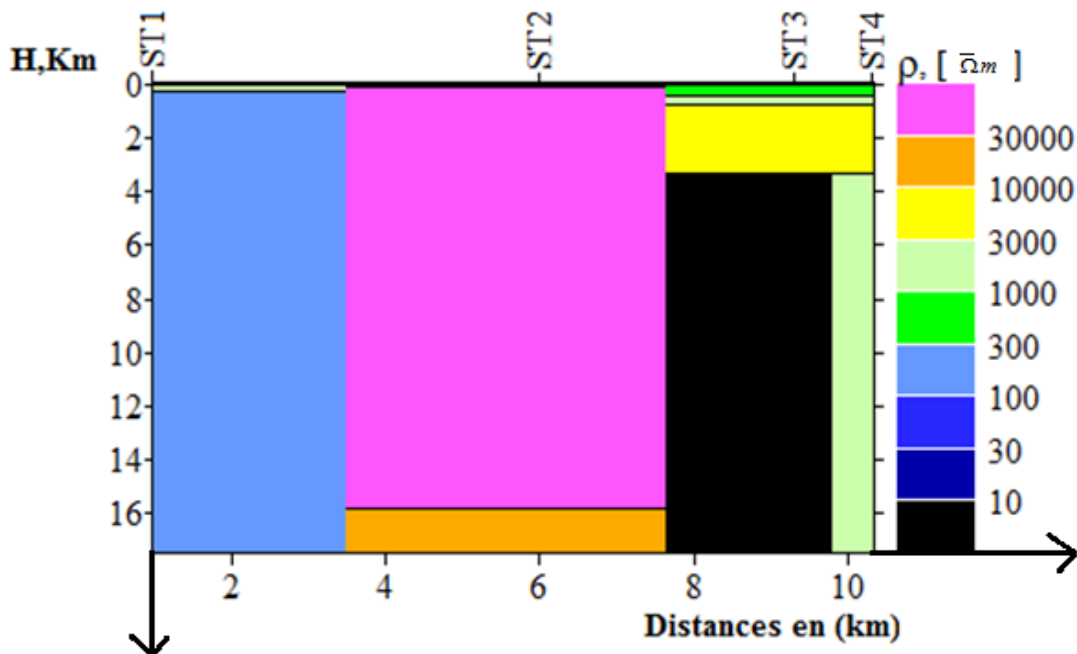


FIGURE 3.11 – Section géoélectrique (N-S)

3.4.2 Orientation suivant la direction Est-Ouest

La section géoélectrique (**figure 3.12**) présente 4 colonnes correspondant aux quatre stations de mesure. On observe à 220 m environ la présence en proche surface d'une couche très conductrice entre ces stations et qui est un peu plus épaisse dans la première et la troisième station. On note en dessous de la première station, c'est-à-dire à plus de 5.75 km de profondeur, une intrusion de matériau à forte résistivité venant de la deuxième station. Le même phénomène a lieu entre la troisième et la quatrième station avec intrusion de matériau à fort résistivité issus de la dernière station mais à la seule différence qu'ici, elle se fait ressentir à partir de 5.25 km. Le passage de la station ST2 à la station ST3 est caractérisé par la dénivellation observée au niveau des couches situées en dessous de ces deux stations vers 5.25 km de profondeur. Cette remarque fait penser qu'un accident tectonique pourrait se produire dans cette zone. La section géo-électrique met en évidence des zones d'anomalies caractérisées soit par des intrusions sédimentaires (cas de ST1 - ST2 et ST3 - ST4), ou par la présence des matériaux moins résistant au voisinage de la surface (cas de toutes ces stations).

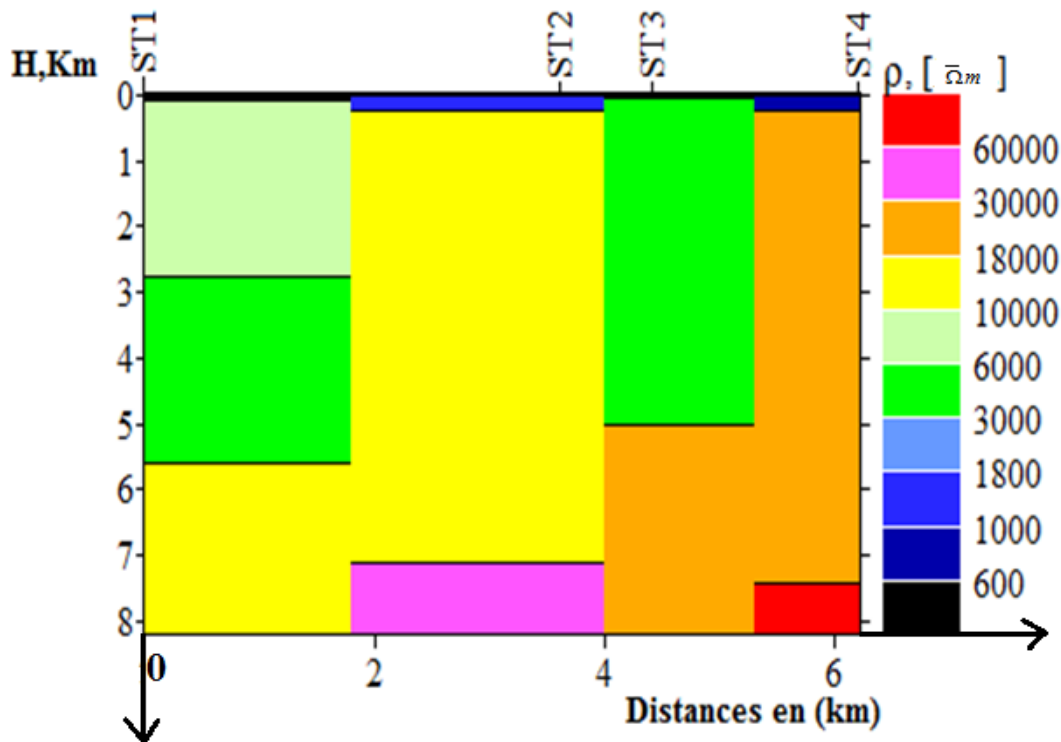


FIGURE 3.12 – Section géoélectrique (E-O)

3.5 Discussion

Nous allons dans cette partie parler des courbes l'une après l'autre en partant de la courbe de sondage jusqu'à celle de la géoélectricité.

Pour ce qui est de la courbe de sondage, nous avons constaté que les premières couches de chaque station de la localité de LOLABÉ, sont constituées des matériaux à faibles valeurs de résistivité. Ce qui pourrait être un risque pour les constructions des bâtiments de grandes envergures. Nous avons aussi relevé dans notre localité, la présence de matériaux de forte résistivité qui sont plus intenses ($2.9 \times 10^5 \Omega.m$) dans la deuxième couche de la deuxième station suivant la ligne tellurique Nord-Sud. Ces matériaux correspondraient à une prédominance des intrusions basiques et ultrabasiqes, avec une présence de dolérites et gabbros d'après (VICAT et al. 1998). Cette persistance des valeurs élevées de résistivités pourrait aussi s'expliquer par la présence des matériaux très résistifs, d'origine cratonique, situés en dessous des formations de la Zone Mobile.

Les pseudo-sections de résistivités apparentes ont permis de mettre en exergue, des plissements dans les différentes structures observées surtout à l'entrée Sud du port. Les isorésistivités observés de la surface jusqu'à une profondeur de 3.8 km de l'entrée sud à l'entrée nord du port dénotent ainsi la présence de nombreuses discontinuités assimilables à des failles. Cela suppose que la tectonique ayant affecté la zone d'étude s'est opérée dans les conditions cassantes. Le réseau de faille que nous mettons en évidence dans cette zone, corrèle bien avec l'analyse de la sismicité de la zone de Kribi, suite au tremblement de Terre de magnitude 3.6, survenu dans cette zone en juillet 2002 effectué par (NTEPE et al. 2004), associée à d'autres événements antérieurs survenus dans cette région, suggérant qu'il existe dans la zone une activité tectonique liée au système de failles connu sous le nom de Faille de Kribi-Campo et qui serait une extension des failles de la Sanaga (NGAKO et al. 2003).

La section géo-électrique de la ligne tellurique Nord-Sud quant à elle, montre des intrusions de matériaux de la surface jusqu'à environ 3.5 km de profondeur. Ceci se fait ressentir au niveau de la troisième à la quatrième station. C'est également les mêmes observations mais cette fois-ci les intrusions ont lieu de la surface jusqu'au fond et remarquable de la première à la deuxième station et de la troisième à la quatrième station. Nous sommes bien en accord, comme l'ont souligné les résultats des travaux de MANGUELLE-DICOUM et al. (1992), TADJOU et al. (2004); OWONA ANGUE (2011) et quelques références citées par cet auteur. Partant des résultats de ces travaux,

il est désormais bien établi que la bordure Nord du craton du Congo provient d'une collision intracontinentale avec la chaîne panafricaine, qui a conduit au déversement des structures du Panafricain sur le Craton.

3.6 Conclusion

Le village LOLABÉ situé dans la région du Sud Cameroun dite région de l'Océan, a été prospecté suivant deux lignes telluriques (Nord-Sud et Est-Ouest). Bref, nous avons constaté que suivant l'orientation Nord-Sud, c'est presque toute la proche surface jusqu'à environ 110 m de profondeur qui est constituée des matériaux à faible résistivité. Nous avons aussi relevé suivant la ligne tellurique Est-Ouest, un réseau de faille vu le contour déformé de sa courbe de pseudo-section.

Implication sur le Système Éducatif

3.7 Intérêt Didactique

La didactique est l'ensemble des procédés et méthodes d'enseignement liés à un contenu disciplinaire. Cependant, nous allons lister quelques de ces intérêts dans notre précieux travail.

L'apport de la géophysique dans le monde scolaire, nous permet de comprendre à suffisance qu'on peut partir de la physique pour protéger notre environnement. Pour cela, il suffit de connaître la structure du sous-sol en utilisant des méthodes physiques à l'instar de la MT en vue d'identifier les accidents tectoniques pouvant créer des dommages à l'écosystème. Étant donné que le ministre a le souci de rendre les enseignements plus pratique dans le cadre de l'Approche Par Compétence, ce travail permettra donc aux élèves du secondaire de :

- Garder à l'esprit l'utilité de l'outil informatique car il a fallu manipuler certains logiciels (IP2 WIN MT, PAINT, MICROSOFT WORD et EXCEL) pour pouvoir construire ce travail.
- Avoir une connaissance fiable de la carte de notre pays le Cameroun et plus particulièrement la position exacte de notre zone d'étude, le village LOLABE vue la présentation de ses coordonnées géographiques.
- Mieux appréhender la notion de forces et champs magnétique et électrique dans les classes de terminales scientifiques.
- Comprendre les notions de résistor, de tension et de courant électrique dans les classes de secondes scientifiques.

Conclusion Générale et perspective

Conclusion Générale

Ce travail nous a permis d'interpréter les données AMT par la méthode de la résistivité apparente le long d'un profil dans le village LOLABE afin d'identifier les accidents structuraux (faille, tectonique, plissement) voire des zones dangereuse dans cette localité. Une analyse qualitative des courbes de sondage, de pseudo-sections de résistivités apparentes et de section géoélectriques réalisées à l'aide du logiciel IP2 WIN MT a constitué le substratum de notre travail. La méthode AMT dans le cadre de la présente étude du point de vue résistivité apparente révèle que le caractère très conducteur des structures de la proche surface est marqué ici par les valeurs de résistivités superficielles faibles. Ceci étant très remarquable dans la ligne tellurique Nord-Sud. Nous avons également remarqué un réseau de failles le long de la ligne tellurique Est-Ouest illustrant ainsi un risque de mouvement de terrain. Ce réseau de failles selon les travaux antérieures, serait la marge Nord du Craton du Congo dans le sud Cameroun et la Chaîne panafricaine d'Afrique Centrale. Toutefois, le gouvernement devra organiser des campagnes de sensibilisation dans ce village LOLABE afin de pourvoir mettre à l'abri la population environnante face à ces risques. L'ensemble des résultats obtenus ne saurait garantir la fin efficace de ce travail, autrement dit, pour rendre d'avantage plausible ces résultats, il serait judicieux d'entrevoir dans notre zone de travail d'autres investigations à l'instar de la méthode géoélectricité.

Perspectives

Pour les prochaines investigations, nous suggérons pour plus d'efficience :

- Une plate-forme fiable et surtout récente des informations géologiques de la zone d'étude afin d'avoir une idée précise des réponses du sous-sol pour la protection des risques environnementaux.
- Un autre méthode géophysique à l'instar de la méthode électrique en vue de comparer les résultats obtenus dans notre étude.

Bibliographie

[1] - ARTICLES DANS UNE REVUE

ALFVEN, H. (1942). On the existence of electromagnetic-hydrodynamic waves. Arkiv. f. Mat. 29 B n°2. in : « Geomagnetic micropulsations ». Jacobs J. A. Physics all chemistry in space T.1. (1970). Springer verlag : pp. 64-86.

BAHR K (1988). Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor : regional induction and local telluric distortion. J Geophys. 62 : 119-127.

BERDICTIEVSKI M. N, DMITRIEV V. S (1976). Basic principles of interpretation in magnetotelluric sounding curves. In : Geoelectric and geothermal sil/dies. A Adam. KAPG Geophysical Monograph, Akademiai Kiado Publishing House, Budapest : pp. 165-221.

BESSELES. B, LASSERRE. M (1977). Le complexe de base du Cameroun. Bulletin de la Société géologique de France, 7 : 1085-1092.

BESSELES, B., TROMPETTE, R. (1980). Géologie d'Afrique. La chaîne panafricaine, zone mobile d'Afrique Centrale (partie sud) et zone soudanaise. Mémoire BRGM. Orléans : 92 : 394

BOBROV, M. S. (1961). Planetary maps of geomagnetic disturbances of corpuscular origin in : Solar Corpuscular Currents, n° 1, Resultati MGG, Moscow : pp. 36-94.

CAGNIARD, L. (1953). Basic theory of the magneto telluric method of geophysical prospecting. Geophysics, 18 : pp. 605-635.

CELOTTA, R. AND JUDAH, L. (1987). Methods of experimental physics. Academic press. Vol 24 part B pp 338

CHAIZE L., LAVERGNE M. (1970). Signal et bruit en magnéto-tellurique. Geophysical Prospecting, vol8, n° 1, pp. 64-85.

CHAPMAN, S. (1964). « Solar plasma, geomagnetism and polar lights» in : Geofisika,

- Okolozemnoe Kosmicheskoe Prostranstvo. Goptekhnizdat, Moscow, pp. 243-382.
- CLIFFORD, T. N. (1970).** The structural framework of Africa. In Clifford and Gass I. G. (Eds). African Magmatism and tectonic. Oliver and Boyds, Edinburgh : pp. 1-26.
- CLIFFORD, T. N., GASS, I. G. (1970).** AFRICAN magnetism and Tectonics. Oliver and Boyds, Edinburgh : pp. 1-26.
- EGGER D. W. (1982).** An eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor geophisic, 47 : pp. 1204-1214.
- GARCIA X., JONES A. G. (2002).** Atmospheric sources for audiomagnetotellurics (AMT) sounding. Geophysic, vol.67, n°2 : 448-458.
- GAZEL, J., HOURQ, V., NIKCLES, M. (1956).** Carte géologique de Cameroun au 1/1 000 000 : 62. avec notice explicative. Bulletin de la direction des Mines et de la Géologie, Yaoundé, Cameroun 2.
- GEOMETRICS (2000).** Operation manual for Stratagem systems running Imagem. ver. 2.16 : Geometrics, San Jose, California
- GROOM R., BAILEY R. C.(1989).** Decomposition of the magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three-dimensional galvanic distorsion. 1. Geophys, Res., 94(B2), 1913-1925.
- KORABLEFF (1937).** Carte géologique, Cameroun Oubangui Chari à 1/400 000. Chronique des Mines Paris, 60 : 926-1028.
- KORNBPROBST, J., LASSERRE, M., ROLLET, M., SOBA, D. (1976).** Existence au Cameroun d'un magmatisme alcalin Panafricain ou plus ancien : la syénite néphélinique de Nkonglong Comparaison.
- LA TORACCA G. A., MADDEN I. R., KORRINGA I. (1986).** An analysis of the magnetotelluric impedance tensor for three dimensional structures. Geophysies n°51 : 1819-1829.
- LARSEN I. C. (1977).** Removal of local surface conductivity effects from low frequency mantle response curves. Acta Geodaet Geophys. Montanis1. Acad. Sei. Hung. 12 : 183-186.
- MANGUELE-DICOUM E., BOKASAH A.S., KWENDE-MBANWI T.E. (1992).** Geophysical evidence of a major Précambrian schist-granite boundary in Southern Cameroon. Tectono physics 205 : 437-466.
- MC PHEE D.K., CHUCHEL B.A., PELLERIN L. (2008).** Audiomagnetotelluric

data and preliminary two-dimensional models from Spring, Dry Lake and Delamar Valleys, Nevada. U.S. Geological Survey Open-File Report. pp. 2008-1301.

NGAKO V., AFFATON P., NNANGE J.M., NJANKO T.H. (2003). Pan-african tectonic evolution in the Central and the southern Cameroon : transpression and transtension during sinistral shear movements, *J. Afr, Earth Sci*, 36, 205-213.

NTEPE V., AKO F.T., UBANGOL R.U., ATEBA B., NNANGE J M., HELL J.N. (2004). The July 2002 earthquake in the Kribi region : Geological context and a preliminary evolution of seismic risk in southwesten Cameroon. *Journal of African Earth sciences*, 40, 160-170.

OSLIVRY J.C (1986). Fleuves et rivière du Cameroun . Coll Mong. Hydro. 9 ORSTOM Paris ; 123-130

OWONA A.M., TABOD C.T., NGUIYA S., KENFACK J.V., TOKAM K.A. (2013). Declination of lineaments in Sourth Cameroon. *Open journal of geology*, 3, 329-340.

POUDJOM-DJOMANI Y.H., NNANGE J.M., DIAMENT D.C.J., EBINGER J., FAIRHEAR J.D. (1995). Effective elastic thickness and crustal thickness variation in West Central Africa inferred from gravity data. *Journal of Geophysical research*, 100 (B 11), 22.047-22068.

ROCCI, G. (1965). Essai d'interprétation de mesure Géochronologique. La structure de l'Ouest Africain. Colloque international de Géochronologique, Nancy, sciences de la terre, X : 461-478.

TADJOU J.M., MANGUELLE-DICOUM E., TABOD C.T., NOUAYOU R., KAMGUIA J., NJANDJOCK N.P. and NDOUGSA-BARGA T. (2004). Gravity modelling along the northern margin of the Congo, South Cameroon. *Journal of the Cameroon Academy of sciences*. Vol 1. N°1, 42-51.

TROMPETTE R. (1994). *Géology of western Gondwana (2000 ? 500 Ma)*. Pan-Africain-brasiliano aggregation of south America and Africa. A.A. Balkema édition, Rotterdam, 350 pages.

TROMPETTE R. (1997). Neoprotozoic (croma) aggregation of western Gondwana atentative scenario. *Precambien research*, vol 82. pp 100 - 113.

VICAT J.P (1998). Esquisse géologique du Cameroun. *Géosciences au Cameroun*, GEO-

CAM vol 11, pp 4-13.

- THÈSES

CEVALLOS C. (1986). Magnetotelluric interpretation-another approach. Ph. D. Thesis, Macquarie University, Sydney.

NDOUGSA MBARGA THÉOPHILE (2004). Etude Géophysique, par la méthode gravimétrique des structures profondes et superficielles de la région de Mamfé. Thèse Ph .D, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.

NLEND R.P. (2014). les traditions céramiques dans leur contexte archéologique sur le littoral camerounais (Kribi-Campo) de 3000 à 500 bp. Thèse Ph.D, Université libre de Bruxelles, faculté de philosophie et lettre, Belgique.

TABOD C.T. (1991). Séismological studies of Cameroon Volcanic line in West Africa. Ph.D Thesis, University of Leeds, England.

- LIVRES

CHAPMAN, S., BARTELS J. (1940). Geomagnetism, Oxford university press, Oxford, pp 1049.

COLLIGNON, F. (1968). Gravimétrie et reconnaissance de la République Fédérale du Cameroun. ORSTOM Paris, pp : 35.

JACONS I. A. (1970). Geomagnetic micropulsations, Springer, Berlin, pp 179.

KENNEDY W. Q. (1964). The instrumental differentiation of Africa in the Pan-African (500m. y) tectonique episode. 8 th Ann. Rep. Inst. African geol. Univ. Leeds, pp 48.

KORNBPROBST J., LASSERE M., SOBA D. (1976). Existence au cameroun d'un magmatisme alcalin panafricain ou plus ancien : syénite néphélinique de Nkonlong. Comparaison avec les roches alcalines connues dans la même région. Bulletin de la société, géologie de France XVIII 1290 - 1304.

LASSERE M ., SOBA D . (1977). Migmatiation d'âge panafricain au sein des formations camerounaises appartenant à la zone d'Afrique centrale. C.R sommaire, société géologique de France 2. PP 63 - 69.

MACCIONI P.H (2008). dossier départemental des risques majeurs. France, préfecture de la réunion, pp 111.

Annexe

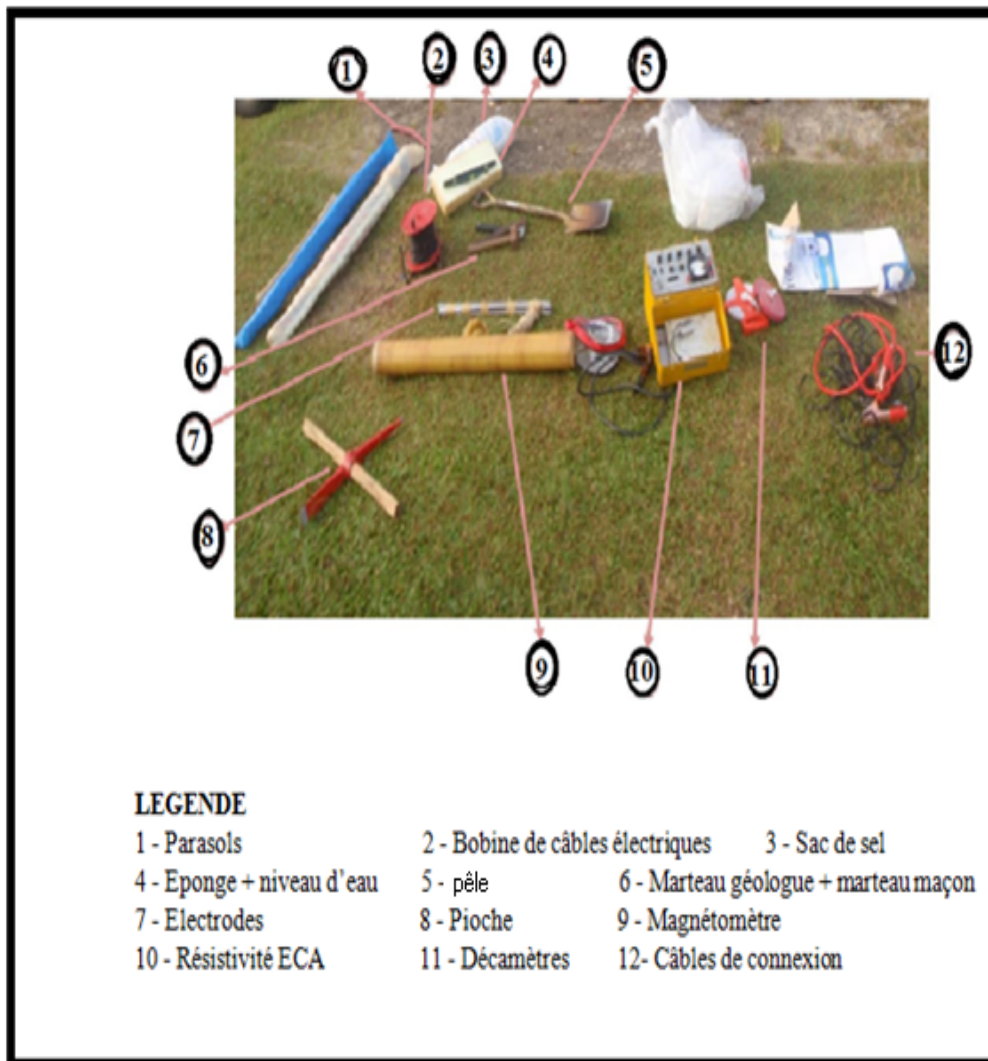


FIGURE 3.13 – Appareillage AMT et accessoires