

REPUBLIQUE 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

THEME

INTERPRETATION DES DONNEES AUDIO-
MAGNETOTELLURQUES PAR LA METHODE DE
VARIATION DE PHASE 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

FOKOU TANE EBENEZER

Licencié en Physique

Matricule : 08A2981

Sous la direction de:

Dr OWONA ANGUE MARIE LOUISE, Ph D.

Charge de Cours à l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé

ANNEE ACADEMIQUE : 2015-2016

INTERPRETATION DES DONNEES
AUDIO-MAGNETOTELLURIQUES
PAR LA METHODE DE VARIATION
DE PHASE LE LONG D'UN PROFIL
DANS LE VILLAGE LOLABE
(SUD-CAMEROUN) : CONTRIBUTION
A L'IDENTIFICATION DES RISQUES
NATURELS

Présenté par :

FOKOU TANE EBENEZER

licencié en physique

Sous la Direction du

Dr OWONA ANGUE marie louise ph.D

CHARGE DE COURS A L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE YAOUNDE

Université de Yaoundé I

2016

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

- A la famille TANE

Remerciements

A tous ceux qui, au cours de l'élaboration de ce travail m'ont aidé de leur savoir, de leurs critiques et de leurs encouragements, trouvent ici l'expression de ma gratitude..

Je remercie tout d'abord les membres du jury qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail.

- Au Docteur **OWONA ANGUE Marie Louise**, charge de cours à l'école normale supérieure de Yaoundé, directeur de ce mémoire, malgré ses multiples fonctions n'a pas cessé de m'apporter des multiples enseignements et conseils non seulement dans le cadre de ce mémoire mais aussi dans le cadre socio-professionnel. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude. ;
- A **L'équipe géophysique de l'Université de Yaoundé I** pour avoir mis à notre disposition les données audio-magnétotelluriques, collectées dans la zone Kribi-Campo en Mars 2015. ;
- Au Docteur **NGATCHOU Evariste** pour vos encouragements, conseils et enseignements. ;
- J'adresse ma reconnaissance au chef de département par intérim de physique de l'école normale supérieure de Yaoundé, Professeur **BEGUIDE Bonama** et à tous les enseignants du dit département pour ma formation à l'ENS. ;
- A tous mes camarades de la cinquante cinquième promotion de l'école normale supérieure et à ceux du master II de la faculté des sciences de l'Université de Yaoundé I particulièrement à **YOUMO Théophile, DIMO Sonia, NGAHA Franklin, KAPNANG Francky, PIAMEU KWAGAG Joél, LANDO TSAKOU Julyo Achile** pour leur soutien psychologique et didactique durant cette formation. ;
- je remercie tous mes camarades de la cinquante cinquième promotion de l'école
- Aux aînés académiques du laboratoire : **KUE PETOU Rokis, ASSEMBE Stéphane, OWONO Olivier, NGOH Jean Daniel, YANDJIMAN Justin** pour leur disponibilité et leur franche collaboration tout le long de ce travail. ;

-
- A toutes mes tantes, oncles et tuteurs. Particulièrement **LANING Marie Françoise**, **MADZEUFFO Marie**, **FOKOU Jeans**, **NOTEZE Christine** qui m'ont assisté au cours de mes études, je leur exprime mes sincères remerciements. ;
 - A tous mes frères, soeurs et tuteurs, particulièrement **PIHATTA Bertrand**, **KAMCHE Richard**, **MOUEGA Rufin**, **SIMEU Ducleaux**, **KAMGO Thierry**, **KAMGO Boris**, **DOUNTIO Innocent**, **DOUNGUE Cyrile** qui m'ont chacun à sa manière aidé à la réalisation de ce travail. ;
 - A tous mes amis et camarades du secondaire et du supérieur pour leur encouragement. ;

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Resumé	vi
Abstract	vii
Liste des symboles physiques et des abréviations	viii
INTRODUCTION	1
1 Revue de la littérature	3
1.1 Aperçue de la géologie du Cameroun	3
1.2 Présentation de la zone d'étude	5
1.2.1 Généralités	5
1.2.2 Cadre géographique	5
1.2.3 Données géologiques et positions des points de mesure	6
1.3 Travaux géophysiques antérieurs	7
1.4 Quelques risques majeurs naturels	8
1.4.1 Généralités	8
1.4.2 Risque mouvement de terrain	8
1.4.3 Risque volcanique	8
1.4.4 Risque sismique	8
1.5 Conclusion	9
2 Théories et méthodes	10
2.1 Introduction	10
2.2 Théorie sur la MT	10
2.2.1 Source d'énergie magnétotellurique	10
2.2.2 Impédance d'une onde plane en milieu tabulaire	11

2.2.3	L'impédance d'une structure à deux dimensions	13
2.2.4	Impédance d'une structure à trois dimensions	14
2.2.5	Tenseur d'impédance	15
2.2.6	Niveau de bruit.	16
2.2.7	Corrélation d'impédance	17
2.3	Méthode et procédure d'acquisition des données.	17
2.3.1	Généralités sur la méthode MT-tensorielle	17
2.3.2	Détermination des directions principales	17
2.3.3	Relevé de mesure	18
2.3.4	Appareillage	18
2.3.5	Dispositif d'acquisition des données AMT sur le terrain	19
2.3.6	Technique d'acquisition des données magnétotelluriques	20
2.4	Conclusion	20
3	Résultats et discussion	21
3.1	Origine des données	21
3.2	Présentation et interprétation des résultats	21
3.2.1	Courbe de sondage	21
3.2.2	Pseudo-section de variation des phases	30
3.3	Discussion	32
	Implication sur le système éducatif	33
3.4	Conclusion	33
	Conclusion générale et perspective	34
	Annexe	39

RESUMÉ

Une étude géophysique a été menée à Lolabé, zone à proximité du port en eau profonde de Kribi dans le département de l'Océan. L'acquisition des données AMT s'est fait suivant deux directions Nord-Sud et Est-Ouest par l'équipe géophysique de l'Université de Yaoundé I en Mars 2015 avec le résistivimètre MT ECA-0. La distance inter-station est environ 2 km et quatre stations ont été prospectées. L'objectif du présent travail est de localiser les accidents structuraux qui pourraient exister dans le sous-sol du village Lolabé à partir de l'interprétation des données audio-magnétotelluriques (AMT), plus précisément par la variation des phases afin d'identifier quelques risques naturels qui pourraient exister dans ce village lors d'un tremblement de terre. Le traitement et la modélisation des données de terrain sont fait en utilisant le logiciel IP2WinMT. La méthode d'investigation utilisée est la magnéto-tellurie. L'analyse et le traitement des données de phase obtenues à partir de la transformation de Hilbert mettent en évidence des couches de terrain de grande conductivités et grande résistivités. Le sol serait par endroit plissé et fracturé. La tectonique de la région du Sud-Cameroun étant dominée par de grands chevauchements et de nombreuses failles, nous pouvons dire que les risques sismiques et les risques mouvements de terrain pourraient survenir dans ce village lors d'un tremblement de terre. La pseudo-section de variation de phase nous permet de suggérer que les formes irrégulières de la structure du sol constitueraient les plissements, ainsi la séparation de deux compartiments identiques serait une fracture entre la station ST2 et ST3 .

Mots clés : étude géophysique, tectonique, tremblement de terre, risque, variation de phase.

ABSTRACT

A geophysical research was carried out in the LOLABE zone close to the Kribi deep sea port of Kribi, in the Ocean division. The AMT data acquisition was done by the geophysical team of the University of Yaounde 1 following two directions, namely Nord-South and East-West with the ECA-0 resistivity meter. The station spacing considered was 2 km for the four stations where data were collected. The aim of this study is to locate structural features in the Lolabe area from the interpretation of audio-magneto telluric data using the phases variation approach, In order to identify natural risks in that locality during earthquakes. The processing and the modelling of these data was done using IP2WinMT software. The analysis and the interpretation of the phase data obtained from the Hilbert transform, highlights, highly conductive and highly resistive layers. The subsurface is folded and fractured in some areas. The tectonics of the South region of Cameroon, dominated by faults and overlaps can lead us conclude that the area can be subject to seismic risks and landslides. The pseudo section of phase variation permits us to suggest, from the observation of the irregular shapes of the structure of the subsurface, that the area is subject to possible faults, fractures and folding at stations ST2 and ST3.

Key words : Geophysical study, tectonic, earthquake, risk, phase variation ;

Liste des symboles physiques et des abréviations

Symboles Physiques

\vec{j} : Vecteur densité du courant électrique (A/m^2)

\vec{E} : Vecteur champ électrique en (V/m)

\vec{H} : Vecteur champ magnétique en (A/m)

\vec{B} : Vecteur induction magnétique en (Wb/m^2)

\vec{D} : Vecteur courant de déplacement (C/m^2)

i : nombre imaginaire

K : nombre d'onde

Z : impédance (Ohm)

P : profondeur de pénétration (mètre)

μ : Perméabilité magnétique en (H/m)

ε : Constante diélectrique (F)

σ : Conductivité en (S)

A : Ampère

C : coulomb

ω : Pulsation

V : Volt

F : Faraday

H : Henry

Wb : Weber

Ω : Ohm

φ : Phase (en degré)

ρ : Résistivité (en Ohm.mètre)

λ : Longueur d'onde (en mètre)

T : Période (en seconde)

$\nabla\varphi$ Variation des phases en degré

Abréviation

MT : Magnétotellurique
ENE : Est Nord Est
AMT : Audio magnétotellurique
PC : perturbation continue
PI : pulsation irrégulière
Ma : Million d'année
Ga : Milliard d'année
NE-SW : North-East-South-West
EM : électromagnétique
TM : transverse magnétique
TE : transverse électrique
|| : Parallèle
⊥ : Perpendiculaire
W : Ouest
N : Nord
2-D : deux dimensions
3-D : trois dimensions
ST1 : station Ecole publique Lolabé
ST2 : station Chefferie Lolabé
ST3 : station Entrée (Sud) Port en eau profonde
ST4 : station Mboro (Lolabé Entrée Nord Port)
km : kilomètre

Table des figures

1.1	Carte structurale du Sud Cameroun (Maurizot et al. 1987).	4
1.2	Carte de localisation de la zone d'étude modifiée (Oslisly 2001)	6
1.3	Étude pédologique de l'ouest et le Sud du Cameroun modifiée (Oslisly 2001.	6
1.4	Mise en évidence d'un risque (maccion 2008)	8
2.1	Dispositif d'acquisition des données AMT sur le terrain (Owona Cours PHY 521).	19
3.1	Courbe de sondage (ST1)	22
3.2	Courbe de sondage (ST2)	23
3.3	Courbe de sondage (ST3)	24
3.4	Courbe de sondage (ST4)	25
3.5	Courbe de sondage (ST1)	26
3.6	Courbe de sondage (ST2)	27
3.7	Courbe de sondage (ST3)	28
3.8	Courbe de sondage (ST4)	29
3.9	pseudo-section de variation des phases (Nord-Sud)	30
3.10	pseudo-section de variation des phases (Est-Ouest)	31
3.11	Appareillage AMT et accessoires	39
3.12	Stations sismiques au Cameroun.	40

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La géophysique appliquée est l'utilisation des principes fondamentaux de la physique à l'acquisition des renseignements géologiques souterrains, tel que la localisation des nappes pétrolifères. Elle inclut l'étude stratigraphie qui comprend la géotechnique. La prospection géophysique consiste à mesurer les manifestations des propriétés des roches à la surface de la terre et en déduire ses comportements en profondeurs. Pour mieux expliquer la structure du sous-sol, diverses méthodes ont été mises au point en prospection géophysique, nous pouvons citer entre autres :

- les méthodes gravimétriques ; elles mesurent les variations des champs de gravité et se rattachent aux propriétés de masse et densité des roches.

- les méthodes radioactives qui reposent sur l'exploitation des propriétés radioactives des roches.

- les méthodes sismiques qui s'intéressent autant des propriétés élastiques des roches qu'à la détermination de la structure interne 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 magnétiques qui s'intéressent aux variations relatives du champ terrestre et se rattachent à la propriété magnétique des roches. Les méthodes électriques et électromagnétiques, basées sur la mesure du champ électrique et magnétique, permettent d'obtenir certaines grandeurs physiques qui caractérisent les roches dans le sous-sol. Parmi ces dernières, on retrouve la méthode magnétotellurique qui étudie le sous-sol à partir des mesures effectuées en surface. L'une de ces grandeurs mises en évidence par cette méthode est la variation des phases. En outre l'analyse de la sismicité de la zone de Kribi a permis de suggérer qu'il existe dans celle-ci une activité tectonique liée au système de faille (Ntepe et al., 2004). Dans cette même idée, Owona et al., 2013 ont travaillé sur la détermination des linéaments dans cette même zone. Ces travaux, bien que s'accordant sur l'activité tectonique de la zone, ne mettent pas en évidence les risques environnementaux. Alors l'objectif du présent travail sera de localiser les différents accidents structuraux qui pourraient exister dans le sous-sol du village Lolabe à partir de l'interprétation des données audio-magnétotelluriques (AMT), plus précisément par la variation des phases afin d'identifier quelques risques naturels qui pourraient exister dans ce village lors d'un tremblement de terre. Ce travail s'articulera en trois chapitres :

- nous présenterons au chapitre I, un aperçu historique de la géologie du Sud-Cameroun, la présentation de la zone d'étude et quelques travaux antérieurs ;

- au chapitre II, nous décrirons la théorie et méthodes ;

- au chapitre III, nous présenterons les résultats et discussion suivi d'une implication dans le système éducatif; enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale et perspective.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Introduction

Une étude géophysique nécessite une zone d'investigation. Pour notre travail, notre zone d'investigation est une localité du Sud-Ouest Cameroun. Dans ce chapitre, il est donc question de fixer les idées sur la zone qui fait l'objet de notre investigation géophysique. Nous commencerons par présenter un aperçu historique de la géologie du Cameroun, la présentation de la zone d'étude, quelques travaux géophysiques antérieurs et quelques risques majeurs naturels.

1.1 Aperçu de la géologie du Cameroun

L'ensemble des travaux géologiques mené 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 événement thermo tectonique majeur aux environs de 500 Ma et Kennedy (1964) en se basant sur les résultats de la géochimie absolue adopta le terme «panafricain» pour rendre compte de cet événement dans l'ensemble du continent africain. A la même période, Rocci (1965) et Clifford (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. (Clifford et Gass 1970) ont aussi montré que certains fragments de ce socle précambrien n'ont pas été repris par l'orogénèse panafricaine. Restés longtemps stables depuis plus ancienne, ces ensembles ont été nommés Craton. Les roches cristallophylliennes issues de l'orogénèse panafricaine, ainsi que les granitoïdes mis en place à la fin de cette orogénèse, ont été considéré comme correspondant à des zones mobiles. Les recherches géologiques au Cameroun ont démarré avec les travaux de Korableff (1937) a conduit à la réalisation d'une carte de reconnaissance au 1/400000 ème. Cette carte sert 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 Kornprobst et al. (1976), (Lasserre et Soba 1976), 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 d'Afrique centrale couvre presque les 2/3 du territoire camerounais Ndougsa (2004).

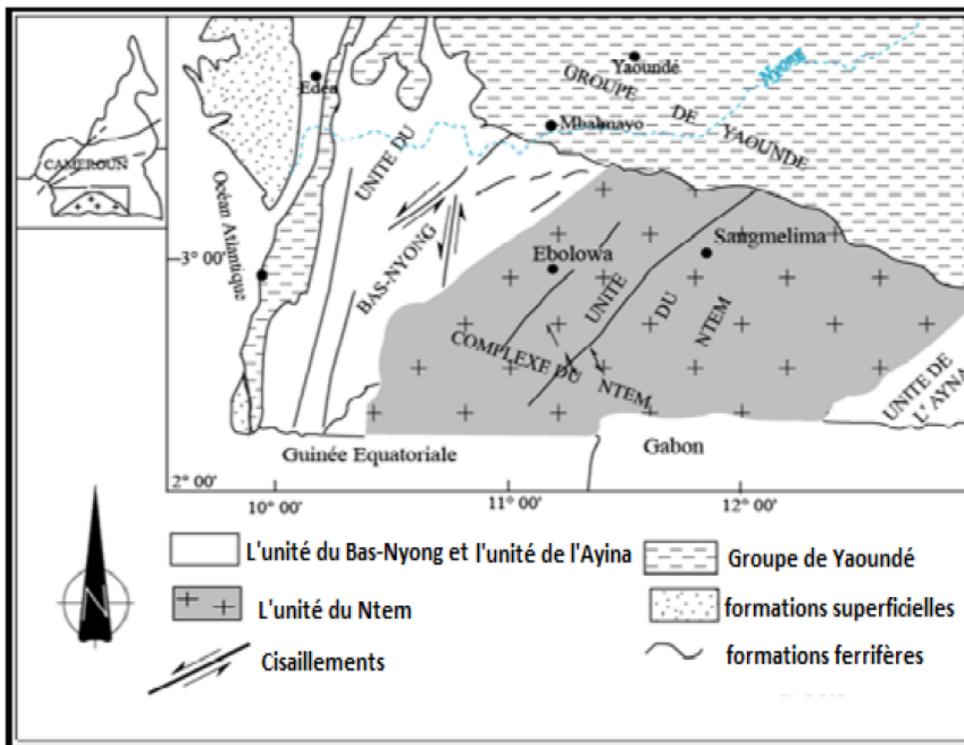


FIGURE 1.1 – Carte structurale du Sud Cameroun (Maurizot et al. 1987).

Trois domaines sont distingués dans la chaîne panafricaine au Cameroun, par leurs caractéristiques lithologiques, structurales et métamorphiques (Nzenti 1994).

Domaine Nord

C'est une vaste région qui va de Poli à l'Extrême-Nord du Cameroun. Elle est constituée de granites, méta-sédiments, méta volcaniques, méta diorites, méta granodiorites, et correspond à un important domaine d'accrétion même si l'on y signale la présence de reliques d'âges éburnéen localisé au Nord du domaine cratonique de l'Adamaoua-Yadé (Vicat 1998).

Domaine du centre Cameroun

Il apparaît dans les régions de l'Adamaoua et du Mbam (Nzenti 1994.). L'Adamaoua est un domaine complexe constitué de sédiments morphologiques d'intensité variable et d'âge panafricain, et de nombreux granites panafricains mais aussi d'anciennes granulites d'âges protérozoïques inférieur (2,1 Ga) (Lassere et Soba 1976). On peut aussi y ajouter la série de Lom qui est un ensemble de méta-sédiments constitué de schistes volcano-sédimentaires et graphiteux, de quartzites et de micaschistes (Vicat 1998).

Domaine Sud

Le domaine du Sud correspond aux séries intermédiaires (Nzenti 1994). On distingue ainsi les séries d'Ayos-Mbalmayo-Bengbis, de Yokadouma et de Yaoundé.

La série d'ayos-mbalmayo-bengbis est composée de schistes et de quartzites recristallisés dans les conditions du faciès schistes vert (Vicat 1998). Le protolithe est une série argilo-arénacée, associée à un magmatisme alcalin de faible importance volumétrique contemporain de la sédimentation (Nzenti 1987). Le cadre géodynamique est celui d'un bassin intracontinental (Vicat 1998).

La série de Yokadouma poly-métamorphique est constituée de granites, d'ortho gneiss, para gneiss à amphibole et grenat, et d'amphibolites. La semelle de la série comprend des mylonites et d'ultra mylonites (Nzenti et al. 1988). Le cadre géodynamique est celui d'un rift continental. Cette série constitue une écaille à la base de la nappe de Yaoundé.

La série de Yaoundé comprend des micaschistes à deux micas, grenat, disthène, staurotide, des quartzites micacés, des gneiss à deux micas et des migmatites. Les migmatites ne sont importantes qu'au Sud de la faille de la Sanaga. Les gneiss et les migmatites qui se suivent depuis la région de Yaoundé jusqu'au Nord du Cameroun constituent l'essentiel des formations. La série de Yaoundé est recristallisée dans les conditions de température et de pression du faciès granulite (Vicat 1998).

1.2 Présentation de la zone d'étude

1.2.1 Généralités

La région de Kribi-campo est située à l'extrême sud du Cameroun, dans le département de l'Océan. Celui-ci couvre une superficie totale de 3.135 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 (Fig. 2). Cette région a un périmètre de 30 kilomètres à partir d'un point de référence pris au centre de chaque ville (Nlend 2014).

1.2.2 Cadre géographique

Le Sud-Cameroun, vaste région qui s'étend de la côte atlantique au bassin du Congo à l'Est, est constituée de pénéplaines plus ou moins arrosées dont l'altitude très variable est en moyenne de 700 m, Le relief est perturbé par endroits par quelques collines dont l'amplitude dépasse parfois 1000 m (Owona 2012).

Les points de mesures des données AMT dans la zone Kribi-Campo sont géographiquement situés entre $02^{\circ}41'$ et $02^{\circ}73'$ de latitude Nord, $09^{\circ}51'$ et $09^{\circ}87'$ de longitude Est. Il est fortement arrosé et présente des différences dépendant de l'altitude et de la latitude. Les précipitations y sont abondantes et assez régulières. Le climat est de type équatorial de mousson (Suchel 1987) à quatre saisons d'inégales importances avec deux maxima et deux minima. La grande saison des pluies s'étend d'août en octobre; le mois le moins pluvieux étant octobre. La grande saison sèche s'étend de décembre à février. La petite saison des pluies va de mars en juin, et la petite saison sèche intervient au mois de juillet (Olivry 1986).

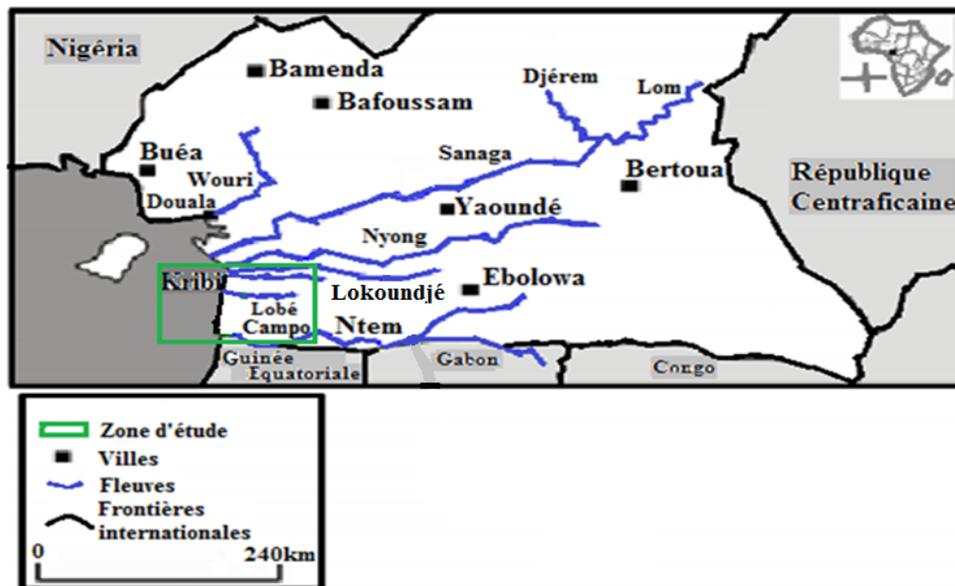


FIGURE 1.2 – Carte de localisation de la zone d'étude modifiée (Oslisly 2001)

1.2.3 Données géologiques et positions des points de mesure

Les compréhensions 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, 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 gneiss vers le craton du Congo et à l'ouest (Vicat et al.1998). Il y a cependant une prédominance des intrusions basiques et ultrabasiques, avec une présence de dolérites et gabbros.

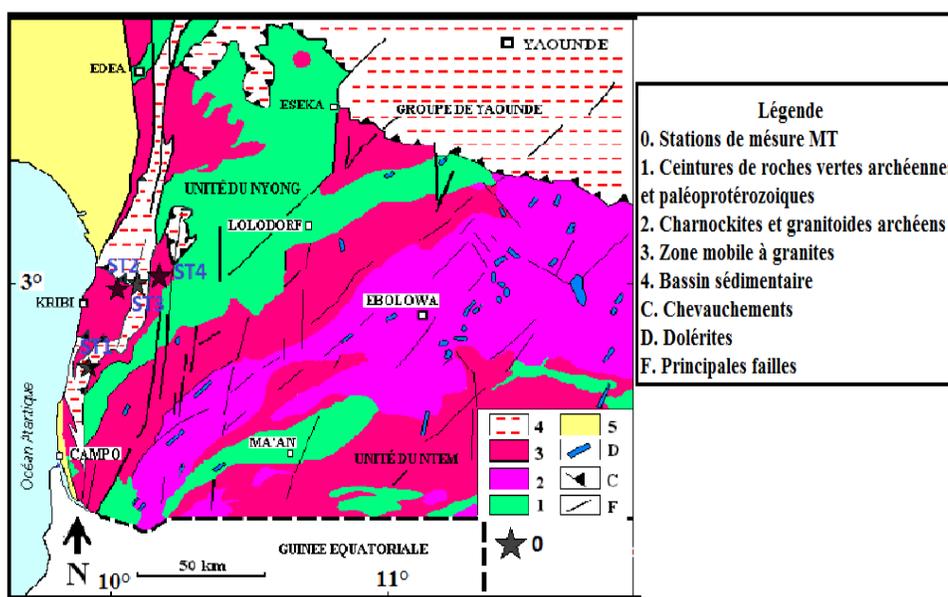


FIGURE 1.3 – Étude pédologique de l'ouest et le Sud du Cameroun modifiée (Oslisly 2001).

Le bassin sédimentaire de Kribi-campo couvre 46 km^2 (Nlend 2014), avec des fossiles qui lui confèrent un intérêt paléogéographie évident. Il y a envahissement des faciès classiques continentaux par les dépôts de mer peu profond (marnes noires, marnes rubanées) (Vicat et al.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 terrains sédimentaires à Campo couvrent 25 km (Campo-Bwandjo-Ipono) du Nord au Sud d'une largeur de 1 km, se prolonge vers la Guinée Équatoriale et le Gabon, constitue la terminaison septentrionale du bassin sédimentaire du Gabon.

La Zone mobile s'oppose à celle du craton qui est considérée comme stable depuis au moins 2,5 millions d'années. Le contact de la zone mobile avec le craton congolais s'effectue selon une ligne de chevauchement (Vicat et al.1998).

La tectonique de la région est dominée par de grands chevauchements et de nombreuses failles ; il s'agit en particulier du grand chevauchement du craton du Congo par le groupe de Yaoundé (Jegouzo, 1984 ; Manguelle-Dicoum, 1988 ; Manguelle-Dicoum et al., 1992 ; Mbom-Abane, 1997).

La structuration archéenne résultant de la tectonique libérienne est marquée ici par des foliations, tandis que la tectonique éburnéenne développe des structures de cisaillements à caractère tangentiel ainsi que des décrochements senestre d'orientation N-S à NE-SW (Owona 2012). Les mouvements tectoniques récents sont attestés par les formes des chutes de la Lobé au Sud tangentielle qui se fait encore ponctuellement ressentir comme le tremblement de terre de Kribi en 1987.

1.3 Travaux géophysiques antérieurs

Poudjom et al. (1995) dans leurs estimations de la profondeur de la croûte grâce à des données gravimétries, 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.

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 évènements antérieurs dans cette région, suggère qu'il existe dans la zone une activité tectonique liée au système de faille connu sous le nom de faille de Kribi-Campo et serait une extension des failles de la Sanaga (Ngako et al., 2003).

Tabod (1991) exploitant des données sismiques collectées entre Février 1987 et Mai 1989 le long de la Ligne Volcanique du Cameroun dans sa partie continentale du Sud-Ouest, établit l'une des premières cartes de sismicité enregistrée au Cameroun. De cette étude, il ressort que les tremblements de terre survenus au voisinage de Kribi ont des foyers localisés à plus de 30 km de profondeur. Compte des marges d'erreur dans la localisation de l'épicentre et du foyer, on pourrait associer ces évènements à la présence de la ligne de faille dit faille de Kribi-Campo.

1.4 Quelques risques majeurs naturels

1.4.1 Généralités

Le risque naturel dépend d'un événement soudain, résultant d'un phénomène naturel et ayant un caractère aléatoire dans ses caractéristiques physiques, spatiales et temporelles

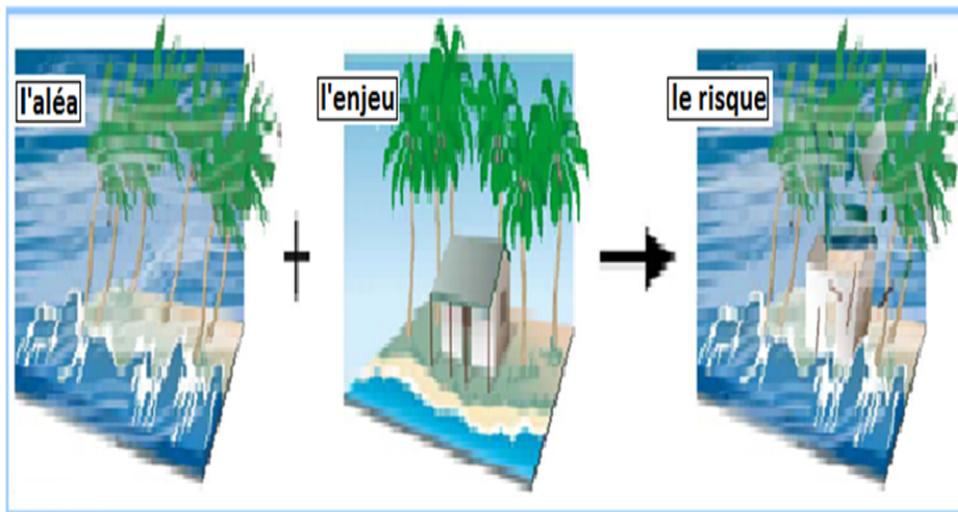


FIGURE 1.4 – Mise en évidence d'un risque (maccion 2008)

1.4.2 Risque mouvement de terrain

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacement, plus ou moins brutaux du sol ou du sous-sol. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et plusieurs millions de mètres cubes. Le mouvement de terrain est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Il est dû à des processus lents de dissolution ou d'érosion favorisés par l'action de l'eau et l'homme.

1.4.3 Risque volcanique

Le volcanisme, avec le séisme représente l'une des manifestations de la tectonique des plaques. On distingue le volcanisme qui prend naissance aux frontières des plaques tectoniques (rift et zone de subduction), du volcan dit de point chaud, indépendant des mouvements des plaques.

1.4.4 Risque sismique

Un séisme est une vibration du sol, causée par une fracture brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sous-sol et parfois en surface. L'activité sismique est concentrée le long des failles, en général à proximité des frontières entre les plaques.

1.5 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de situer la zone d'étude dans son contexte géologique, de citer quelques travaux menés dans la zone Kribi-Campo, les risques naturels. Dans la suite de notre travail nous ferons une étude AMT afin de confirmer les observations géologiques aux résultats AMT.

THÉORIES ET MÉTHODES

2.1 Introduction

Plusieurs chercheurs à qui on doit le mérite, comme Tikhonov en URSS (1950) et surtout Cagniard en France (1953) ont dressé une théorie remarquable sur la base des équations d'électromagnétique de Maxwell. Cagniard (1953) introduit la première base théorique d'une nouvelle méthode de prospection géophysique qu'il appela méthode magnétotellurique, en établissant une relation mathématique entre les variations magnétiques et telluriques faisant intervenir la résistivité électrique du sous-sol. Nous présenterons dans ce chapitre les relations entre la résistivité électrique, la phase et l'impédance en fonction des champs électrique et magnétique par rapport à la dimension du milieu, méthode et les techniques d'acquisition des données sur le terrain.

2.2 Théorie sur la MT

Cagniard établit que le rapport des champs électrique et magnétique ne dépendait que de la fréquence, il permettait de déterminer les variations de la résistivité et de la phase avec la profondeur. Il avait au préalable supposé un sous-sol homogène ou tabulaire. Cantwell (1960) proposa de procédé qui permettait de déterminer les effets de l'anisotropie et l'inhomogénéité des structures 2-D dans le sol et qui prenait plus sérieusement en compte les variations latérales de la conductivité dans la terre.

2.2.1 Source d'énergie magnétotellurique

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

- Les sous orages magnétiques générateurs de micro pulsations aux fréquences inférieure à 1 Hz.
- les orages magnétiques pour les pulsations aux fréquences supérieures à 1 Hz. En deçà de l'hertz le micro pulsations prédomine ; ce sont des fluctuations du champ magnétique terrestre dont l'amplitude ; 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 et 10 minutes (Jacobs 1970). Les micros pulsations sont générés à partir du développement des ondes magnétohydrodynamiques (Alfven 1942), un phénomène intimement lié aux sous orages qui présente des perturbations atmosphériques ayant une durée de l'heure. Les micros pulsations

géomagnétiques ont été subdivisées en deux classes : les perturbations continues (PC) et les pulsations irrégulières (PI). Chacune de ces classes comprend plusieurs types d'ondes suivant divers gammes de périodes.

Au-dessus de 1 Hertz les orages magnétiques d'échelle planétaire sont des principales sources du champ MT. Il existe trois grands centres d'orage magnétique situé 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 l'année. Plusieurs études ont permis de mieux appréhender et classer ces types de fluctuations soit à partir d'une analyse statistique (Chapman et Bartels 1940) ; soit d'après l'extension des perturbations (Bobrov 1961). La classification la plus répandue est celle de Chapman (1964) qui se fonde sur les mécanismes physiques qui génèrent 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 milliers de gammas. La fréquence d'apparition dépend de l'activité solaire.

2.2.2 Impédance d'une onde plane en milieu tabulaire

($E_x, 0, 0$) 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

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

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

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

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

Aux périodes utilisées dans la méthode MT, le courant de déplacement ($i\omega E$) est négligeable devant le processus de conduction (σE), des équations (2.8) et (2.9) on déduit :

$$\frac{d^2 E_x}{dz^2} + k^2 E_x = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{d^2 H_y}{dy^2} + k^2 H_y = 0 \quad (2.13)$$

Où $k = (i\mu\sigma\omega)^{1/2}$ est appelé nombre d'onde et il est relié à la profondeur de pénétration P par la relation

$$k = \frac{1+i}{P} \quad (2.14)$$

Nous avons également

$$p = \left(\frac{10^3}{2\pi}\right)(10\rho T)^{1/2} \quad (2.15)$$

Avec , ρ la résistivité (en $\Omega.m$)

T la période (en S)

P la profondeur (en m)

La longueur d'onde est définir par :

$$\lambda = 2\pi p = 10^3(10\rho T)^{1/2} \quad (2.16)$$

λ : (en m)

Pour chacune des couches, les équations (2.12) et (2.13) sont des solutions de la forme :

$$\vec{E}_x = Ae^{ikz} \quad (2.17)$$

$$H_y = \frac{k}{\mu\omega} Ae^{ikz} \quad (2.18)$$

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.

$$Z_{xy} = 2\pi\left(\frac{\rho}{5T}\right)^{1/2} e^{-i\frac{\pi}{4}} 10^3 ohm \quad (2.19)$$

La phase

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

L'amplitude de l'impédance

$$|Z_{xy}| = 2\pi\left(\frac{\rho}{5T}\right)^{1/2} 10^3 ohm \quad (2.20)$$

La phase est indépendante de la résistivité électrique d'un milieu uniforme tandis que le module de l'impédance décroît lorsque la conductivité et la période augmentent. Lorsque la conductivité et la période augmentent l'équation (2.19) peut s'écrire en unité pratique :

$$\rho_{xy} = 0.2 \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (2.21)$$

ρ_{xy} en ($\Omega.m$) ,

E_x en mV/Km,

T en (en S)

H_y en gamma (γ) tel que $1\gamma = 10^{-9}$ Tesla.

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 :

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} = -i\mu\omega H_x \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = i\mu\omega H_y \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -i\mu\omega H_z \quad (2.24)$$

$$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_x \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \sigma E_y \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_z \quad (2.27)$$

En combinant les équations (2.23) à (2.28), nous obtenons l'équation de diffusion :

$$\frac{\partial^2 F}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = k^2 F \quad (2.28)$$

Avec $F = H_y$ 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 (Magate F. 1995). Lorsque les directions de mesure x , y sont respectivement perpendiculaire et parallèle à la direction des structures, les équations (2.23), (2.25) et (2.27) impliquent les composantes E_y et H_x ; tandis que les équations (2.24), (2.26) et (2.28) sont relatives aux composantes E_x et H_y .

Ces deux modes de polarisation permettent d'obtenir deux valeurs d'impédances différentes :

- Mode de polarisation E ou transverse magnétique (TM),

$$Z_{//} = \frac{E_{//}}{H_{\perp}} = \frac{E_y}{H_x} \quad (2.29)$$

- Mode de polarisation H ou transverse électrique (TE) H_{\perp} ,

$$Z_{\perp} = \frac{E_{\perp}}{H_{//}} = \frac{E_x}{H_y} \quad (2.30)$$

2.2.4 Impédance d'une structure à trois dimensions

Dans le cas d'une structure à trois dimensions la conductivité varie en fonction des trois coordonnées x , y et z . les équations (2.8) et (2.9) donnent :

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_x \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \sigma E_y \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = \sigma E_z \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -i\mu\omega H_x \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -i\mu\omega H_y \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -i\mu\omega H_z \quad (2.36)$$

Il est possible de séparer les composantes du champ électromagnétique en mode de polarisations distinctes. Les programmes de modélisation en 3-D qui existent sont basés exclusivement sur des calculs numériques.

2.2.5 Tenseur d'impédance

Lorsque la conductivité dépend aussi bien de la profondeur que la direction horizontale, la relation entre le champ E et le champ H sont liées par le tenseur d'impédance (Camtwell 1960).

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = [Z] \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (2.38)$$

$$\begin{cases} E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{cases} \quad (2.39)$$

Les impédances Z_{xy} et Z_{yx} sont les éléments anti diagonaux tandis que Z_{xx} et Z_{yy} représentent les éléments diagonaux. Dans la formule de Cagniard (1953) $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$ et $Z_{xy} = -Z_{yx}$ donc le tenseur satisfait à la condition $Z_{xx} + Z_{yy} = 0$. Cette même condition est remplie quand l'un des axes de mesure est parallèle à la dimension structurale d'un modèle 2-D. Considérons le système d'équation (2.40) et estimons les composantes du tenseur $[Z]$ à condition d'avoir au minimum deux mesures indépendantes en un même site de mesure de champ E et H. Soient H_1, H_2, E_1, E_2 ces mesures, on peut exprimer Z_{xx} et Z_{yy} en résolvant les systèmes suivants :

$$\begin{cases} E_{x1} = Z_{xx}H_{x1} + Z_{xy}H_{y1} \\ E_{y1} = Z_{yx}H_{x1} + Z_{yy}H_{y1} \end{cases} \quad (2.40)$$

$$\begin{cases} E_{x2} = Z_{xx}H_{x2} + Z_{xy}H_{y2} \\ E_{y2} = Z_{yx}H_{x2} + Z_{yy}H_{y2} \end{cases} \quad (2.41)$$

A partir des systèmes d'équations précédentes nous pouvons déterminer Z_{xx} :

$$\begin{cases} E_{x_1} = Z_{xx}H_{y_1} + Z_{xy}H_{y_2} \\ E_{x_2} = Z_{xx}H_{x_2} + Z_{xy}H_{y_2} \end{cases} \quad (2.42)$$

La résolution du système d'équation (2.42) donne l'expression de l'impédance Z_{xx} du milieu étudié d'où :

$$Z_{xx} = \frac{E_{x_1}H_{y_2} - E_{x_2}H_{y_1}}{H_{y_1}H_{y_2} - H_{x_2}H_{y_1}} \quad (2.43)$$

De même que précédemment nous déterminons Z_{yy} :

$$\begin{cases} E_{y_1} = Z_{yx}H_{x_1} + Z_{yy}H_{y_1} \\ E_{y_2} = Z_{yx}H_{x_2} + Z_{yy}H_{y_2} \end{cases} \quad (2.44)$$

La résolution du système d'équation (2.44) donne l'expression de l'impédance Z_{yy} du milieu étudié d'où :

$$Z_{yy} = \frac{E_{y_1}H_{x_2} - E_{y_2}H_{x_1}}{H_{y_1}H_{x_2} - H_{y_2}H_{x_1}} \quad (2.45)$$

Les impédances Z_{xx} et Z_{yy} sont positives d'où les expressions (2.43) et (2.45) deviennent :

$$Z_{xx} = \left| \frac{E_{x_1}H_{y_2} - E_{x_2}H_{y_1}}{H_{y_1}H_{y_2} - H_{x_2}H_{y_1}} \right| \quad (2.46)$$

$$Z_{yy} = \left| \frac{E_{y_1}H_{x_2} - E_{y_2}H_{x_1}}{H_{y_1}H_{x_1} - H_{y_2}H_{x_1}} \right| \quad (2.47)$$

À conditions que $E_{x_1}H_{y_2} - E_{x_2}H_{y_1} \neq 0$, c'est-à-dire que les polarisations des deux champs mesurés soient différentes (condition d'impédance de mesure) (Sims 1971).

2.2.6 Niveau de bruit.

Le bruit désigne toutes les impulsions EM de toutes origines, naturelles, industrielles, locales situées dans la bande de fréquence MT, qui ne peuvent pas être considérées comme du signal (Chaize et Lavergne 1970). Une analyse de cohérence entre trace électrique et magnétique associée permet souvent d'éliminer une grande partie des bruits. La durée des portions de trace analysée dépend de la période, il est commode d'analyser des résistivités apparentes que les portions de traces pour lesquelles le coefficient de corrélation est suffisamment élevé : supérieur à 0,7 ou 0,8 par exemple.

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 parasite en moyenne fréquence (10 Hz et 1 Hz) provient du vent et des vibrations microscopiques. La station de mesure doit être 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 électrifiés, à moins de 5 km de lignes des transmissions d'énergie électrique Haute-tension et à moins de 1 km des lignes du secteur de 50 Hz.

2.2.7 Corrélation d'impédance

La relation qui relie la courbe des résistivités apparentes à celle des phases est donnée par :

$$\varphi = \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{\partial \text{Log} \rho_a}{\partial \text{Log} T} \right) \quad (2.48)$$

Où φ est la phase, ρ_a est la résistivité apparente et T est la période. Ce qui signifie que l'on doit observer une baisse de la réponse de la phase quand on observe une augmentation de la résistivité apparente lorsque la période croît. De légers écarts de cette relation sont observés à cause d'un faible d'une dispersion normale des données. Comme règle, si la phase est excessivement élevée le bruit est inclus. Ce type peut être observé lorsqu'on place le transmetteur près d'un récepteur ce qui annule la validité de l'approximation de l'onde plane (Bostick 1977).

2.3 Méthode et procédure d'acquisition des données.

2.3.1 Généralités sur la méthode MT-tensorielle

De nombreux laboratoires de recherche en géophysique dans le monde se sont attelés depuis la mise en oeuvre de la théorie AMT, à produire des appareils performants et des techniques concises de mesure. La MT est une méthode qui permet d'estimer la résistivité électrique, respectivement la phase du sol pour des profondeurs allant de quelques mètres à environ plusieurs kilomètres. La phase peut être estimée à travers l'impédance électrique, la quantité tensorielle définie par le rapport $\left| \frac{\vec{E}}{\vec{H}} \right|$ des champs naturels transposés mesurés à la surface de la terre. Les données aux hautes fréquences sont utilisées pour une investigation en surface tandis que celles aux basses fréquences sont utilisées pour une investigation du sous-sol.

L'inversion des données issues des sondages MT donne une estimation de la résistivité, respectivement de la phase en dessous du récepteur, et indique la complexité géo-électrique en dessous du site de mesures. Dans les milieux où la distribution change très peu entre les stations, le sondage de résistivité donne une estimation raisonnable des résistivités des couches en dessous du site (Mc Phee et al. 2008).

2.3.2 Détermination des directions principales

Dans une région homogène et isotrope, il n'y a pas de direction privilégiée et l'impédance est indépendante de la direction de mesure, mais les vecteurs champs \vec{E} et \vec{H} doivent rester perpendiculaires. Pour un sous-sol non homogène, il existe entre les vecteurs \vec{E} et \vec{H} la relation tensorielle suivante :

$$\begin{cases} E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{cases} \quad (2.49)$$

Le tenseur $[Z]$ qui est entièrement connu par la mesure simultanée de : E_x, E_y, H_x, H_y , est diagonalisable. Les directions pour lesquelles $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$ sont appelées directions principales. Dans le cas

d'une structure à deux dimensions, les directions principales sont l'une parallèle à la structure, l'autre lui est perpendiculaire. La détermination des directions principales a été réalisée par la méthode de rotation (Manguelle-Dicoum et al. 1988).

2.3.3 Relevé de mesure

Les mesures s'effectuent suivant les procédures suivantes :

- On choisit la longueur et l'orientation de la ligne tellurique et on plante les deux électrodes reliées à l'aide de câbles au coffret de mesure. Les électrodes utilisées sont impolarisables de façon à réduire les potentiels irréguliers au contact du sol.

- On place horizontalement le barreau magnétique qui est lui aussi relié au coffret de mesure, et l'oriente perpendiculairement à la direction de la ligne.

- On vérifie l'état des batteries, le contact des électrodes avec le sol et le bon fonctionnement du dispositif. Si les tests sont positifs on commence à effectuer les mesures. A chaque fréquence, on relève les valeurs des champs telluriques et magnétique E_x et H_y , ainsi que les valeurs des résistivités apparentes. Le champ magnétotellurique mesuré étant un champ naturel à caractère aléatoire donc variable, on a effectué en moyenne trois (3) mesures de résistivités apparentes pour chaque fréquence. Les colonnes E_b pour le signal tellurique et H_b pour le signal magnétique portent les valeurs moyennes des bruits de fond de l'appareil pour les fréquences correspondantes. Le rapport signal/bruit peut être estimé en comparant les valeurs mesurées des champs (colonnes E et H) aux valeurs E_b et H_b

Pour certaines fréquences, le champ magnétotellurique peut ne pas être mesurable, cela est dû au fait que le bruit de fond de l'appareil dans ce cas est supérieur ou égal au signal du champ magnétotellurique. Le champ tellurique en général est plus sensible aux perturbations, ce qui conduit à des valeurs surélevées des résistivités apparentes. Un examen des valeurs mesurées et leur comparaison avec le bruit de fond permet d'éliminer les valeurs non correctes.

2.3.4 Appareillage

Partant du fait que les données mis en notre possession sont des données AMT (Equipe Géophysique de L'Université de Yaoundé I) ; nous allons dans cette partie décrire de façon générale les dispositifs utilisés pour l'acquisition des données AMT.

Les appareils de mesure AMT sont des dispositifs transportables constitués de quatre grands ensembles :

- Un ensemble contenant cinq électrodes impolarisables constituées chacun d'un alliage-plâtre. Elles sont placées respectivement suivant les directions N, S, E, W et permettent de mesurer les composantes horizontales du champ électriques.

- Pour des raisons pratiques, la composante verticale du champ électrique n'est pas mesurée.

- La cinquième électrode est reliée à la masse.

- Chacune des électrodes est entourée d'une éponge préalablement imbibée d'eau salée afin d'assurer un bon contact électrique avec le sol. On améliore ainsi le rapport signal sur bruit.
- Un circuit d'amplification constitué d'un pré-amplificateur et d'un amplificateur. Le pré-amplificateur a pour rôle d'amplifier le signal brut enregistré sur le terrain ; l'amplificateur joue un double rôle, il amplifie le signal déjà pré-amplifié et augmente son gain par filtrage.
- Un coffret de visualisation ; il permet de visualiser les signaux améliorés.
- Un magnétomètre à quatre pistes ; il permet un enregistrement analogique des quatre composantes horizontales du champ électromagnétique.
- Le résistivimètre utilise une gamme de fréquences comprises entre 4.1 et 2300 Hz qui sont précisément (4.1, 7.3, 13, 23) ainsi que leurs multiples par 10 et par 100.

2.3.5 Dispositif d'acquisition des données AMT sur le terrain

Le dispositif suivant permet de relever les données AMT sur le terrain, il donne les valeurs des résistivités apparentes et des composantes des champs magnétiques et électriques. Ces composantes permettent de déduire le rapport signal sur bruit

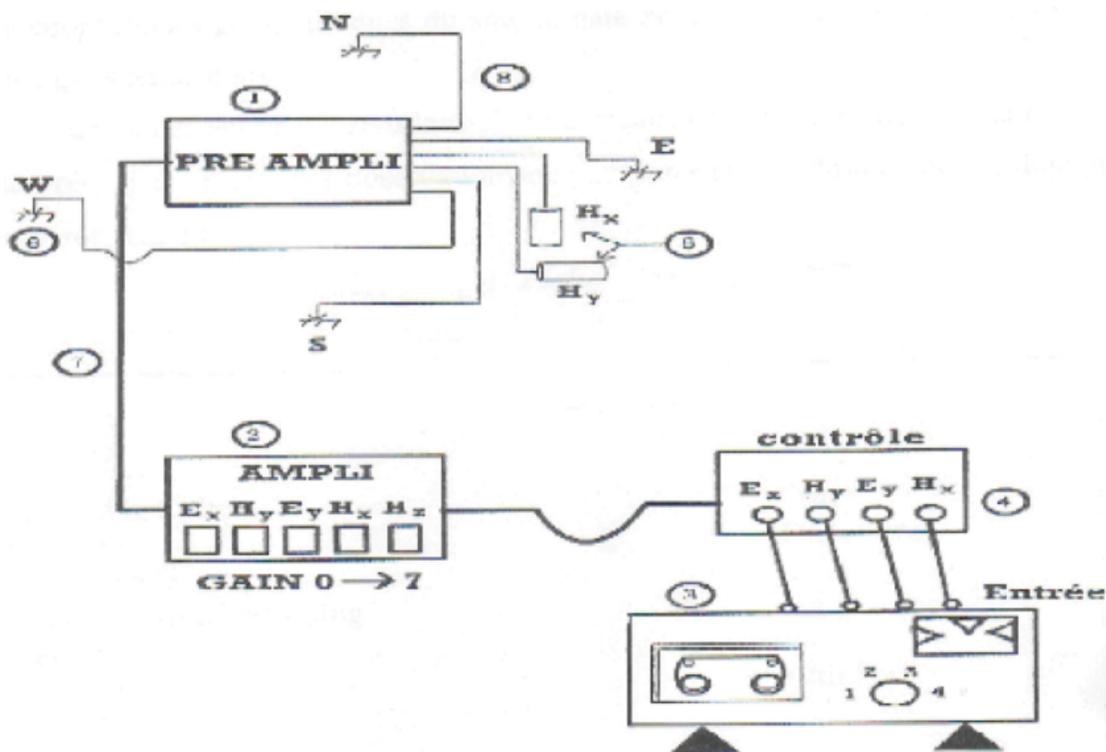


FIGURE 2.1 – Dispositif d'acquisition des données AMT sur le terrain (Owona Cours PHY 521).

Échelle :

1-pré-amplificateur, 2-amplificateur, 3-magnétophone, 4-boîte de contrôle, 5-magnétomètre 6-électrodes, 7-câble de connexion, 8-câble des électrodes

2.3.6 Technique d'acquisition des données magnétotelluriques

Avant d'effectuer toute prise de mesure sur le terrain, certaines précautions doivent être prises, Il faut tout d'abord s'assurer que la station de mesure est éloignée de toute source de bruit tel que les voies de communication, les zones industrielles, les lignes de hautes tension.

- Si pendant la prise des mesures il y a perturbation d'origine naturelle tel que les orages ou les vents violents, il est préférable de stopper toute opération pour éviter la dispersion des résultats.

- A chaque station, on mesure simultanément les composantes horizontales du champ électromagnétique selon la procédure suivante : on dispose perpendiculairement les capteurs du champ magnétique (deux capteurs) qui sont des bobines à contre réaction de flux.

- Perpendiculairement à chaque bobine, on place les lignes telluriques longues de 100 m chacune.

- Afin d'obtenir un meilleur rapport signal sur bruit, une des lignes telluriques doit être orientée perpendiculairement à la direction structurale, pour la simple raison que les résistivités transversales donnent un meilleur contraste au passage des discontinuités électriques.

- Dans le cas où la direction de la structure n'est pas déterminée, il est important de déterminer les directions principales suivants lesquelles seront effectuées les mesures ; la méthode de rotation (Manguellé-Dicoum 1988) est dans ce cas un puissant moyen pour déterminer ces directions. Compte tenu du fait que les fluctuations du champ électromagnétique naturel deviennent importantes dans l'après-midi. Il serait alors judicieux d'effectuer les campagnes de prospection pendant cette période.

2.4 Conclusion

Dans Ce chapitre il est question de décrire en plus des équations de Maxwell, la formule qui nous permettra de calculer les valeurs de phase, celles de la profondeur de pénétration et la procédure d'acquisition des donnée AMT. Ainsi le traitement de ces valeurs de phase nous permettra d'obtenir les différentes représentations qui rendent compte de la variabilité du sous-sol dans la zone d'étude.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Origine des données

Les données soumises à notre étude ont été réalisées sur deux séries de mesures en chaque station, l'une suivant l'orientation Nord-Sud et l'autre suivant l'orientation Est-Ouest par l'équipe géophysique de l'université de Yaoundé I en Mars 2015.

3.2 Présentation et interprétation des résultats

Les courbes de sondage, Figures (6 à 13) et les pseudo-sections de variation des phases, Figures (14 et 15) ont été soumises à une interprétation à l'aide du logiciel IP2WinMT. Les courbes de sondages sont représentées sous la forme : $\text{Phase} = f(\text{racines carrées (T)})$. La pseudo-section de phase est obtenue à partir des racines carrées des périodes et des phases. Les valeurs des phases sont déterminées à partir de la transformation de Hilbert (Bostick 1977) donnée par la relation (2,48) . Ces courbes donnent également une impression sur les variations (verticales ou horizontales) des résistivités en fonction de la profondeur. La pseudo-section de variation des phases est obtenue à partir de la pseudo-section des phases donnée par le logiciel. Deux séries de mesures ont été réalisées en chaque station, l'une pour l'orientation de la ligne tellurique Nord-Sud et l'autre pour l'orientation de la ligne tellurique Est-Ouest. En toutes ces stations la longueur de la ligne tellurique est maintenue constante à 50 m.

3.2.1 Courbe de sondage

Le choix du nombre de couches est conditionné par l'information géologique (Meying 2011), c'est ainsi que les courbes suivantes nous indiquent le nombre de couche, la résistivité et la profondeur atteinte de chaque couche de terrain et le substratum par station.

Courbes de sondage suivant l'orientation Nord-Sud

Station école publique Lolabé

L'interprétation de cette station École Publique Lolabé (ST1) (**Figure 3.1**) fournit un modèle de terrain à trois couches, dont La première couche est conductrice ($79.1 \Omega.m$) et a une épaisseur de $1.25 \cdot 10^{-2}$ km. La deuxième couche est résistante ($2214 \Omega.m$) et a une épaisseur de 1.84 km. Le substratum est plus résistant. La profondeur d'investigation maximale atteinte pour ce site est de 1.85 km.

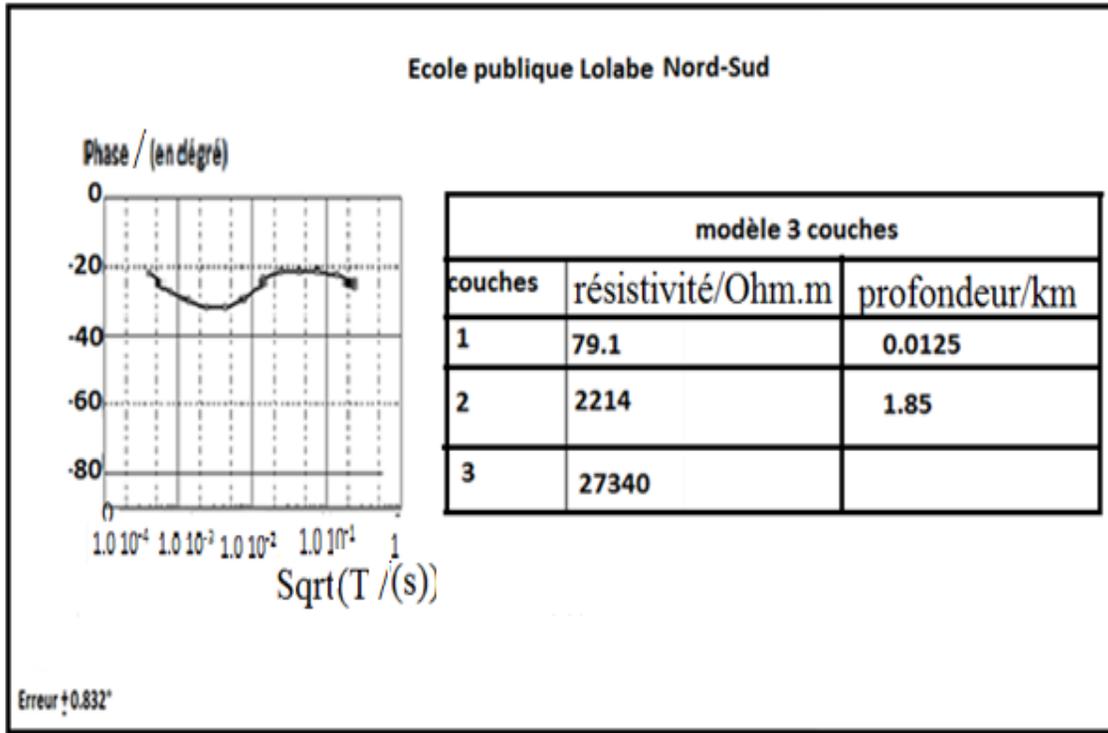


FIGURE 3.1 – Courbe de sondage (ST1)

Station chefferie Lolabé

L'interprétation de cette station chefferie Lolabe (ST2) (**Figure 3.2**) approvisionne un modèle de terrain à cinq couches, dont La première couche est conductrice ($118 \Omega.m$) et a une épaisseur de (0.155 km). La deuxième couche est plus résistante ($1.4 \cdot 10^5 \Omega.m$) et est plus épaisse (16.4 km), les couches trois et quatre, ainsi que Le substratum sont iso résistantes ($7752 \Omega.m$). La troisième couche est moins épaisse (9.94 km) que la quatrième couche (14.4 km). Les iso résistivités dans cette station montrent que la zone aurait connu des plissements, le substratum est résistant. La profondeur maximale atteinte est 41.4 km.

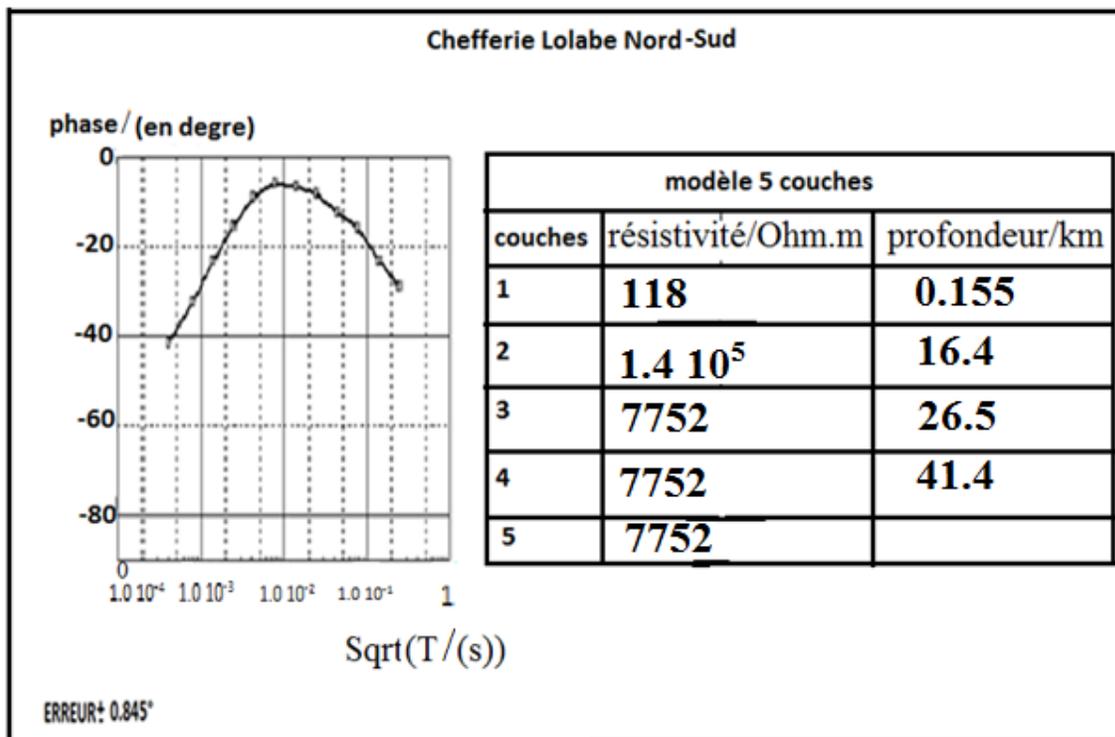


FIGURE 3.2 – Courbe de sondage (ST2)

Station Entrée (Sud) Port en eau profonde

La station Entrée (Sud) Port en Eau Profonde (ST3) (**Figure 3.3**) présente un modèle de terrain à quatre couches, dont la première couche est conductrice ($365 \Omega.m$) et a une épaisseur de 0.454 km, les deuxième et troisième couches sont résistantes de résistivités respectives ($1448 \Omega.m$ et $104 \Omega.m$), la troisième couche est la plus épaisse (227 km). Le substratum est très conducteur ($9.67 \Omega.m$). La profondeur d'investigation maximale atteinte pour ce site est de 228 km.

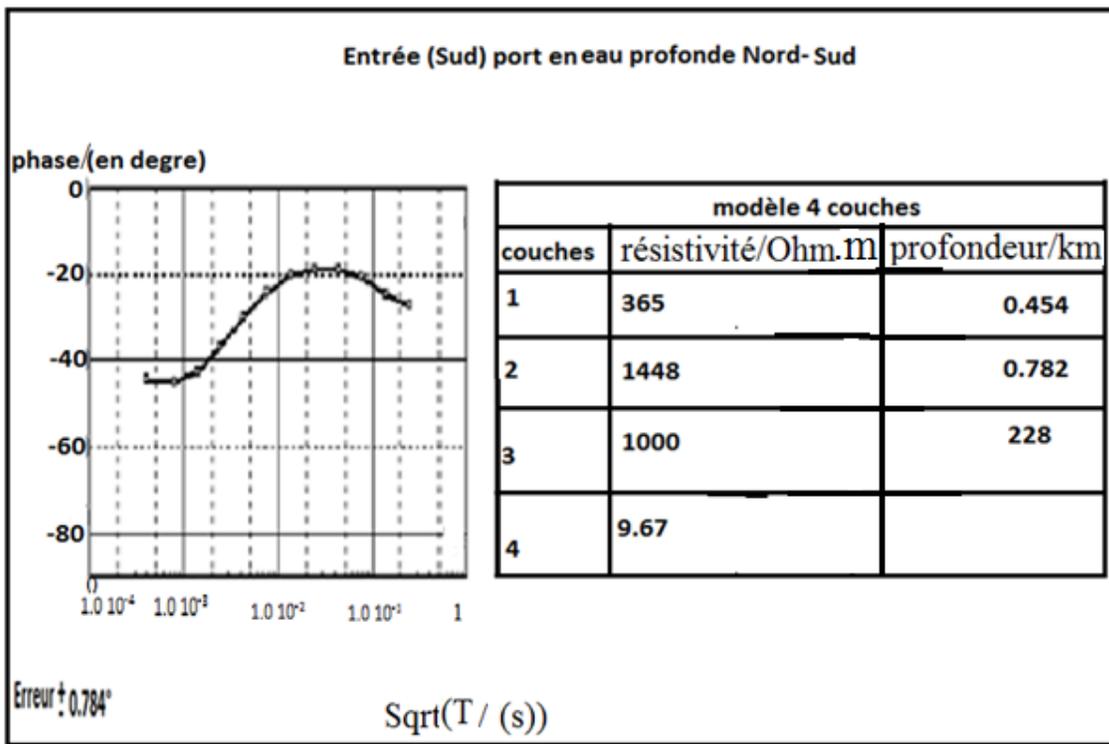


FIGURE 3.3 – Courbe de sondage (ST3)

Station Mboro (Lolabé Entrée Nord Port)

La station Mboro (Entrée Nord Port) (ST4) (**Figure 3.4**) présente un terrain de quatre couches, la première couche est conductrice ($384 \Omega.m$) et a pour épaisseur (0.454 km). Les deuxième et troisième couches sont résistantes ($1448 \Omega.m$ et $5966 \Omega.m$), la troisième est épaisse (158 km). Le substratum est plus conducteur ($9.67 \Omega.m$). La profondeur d'investigation maximale explorée est de 159 km .

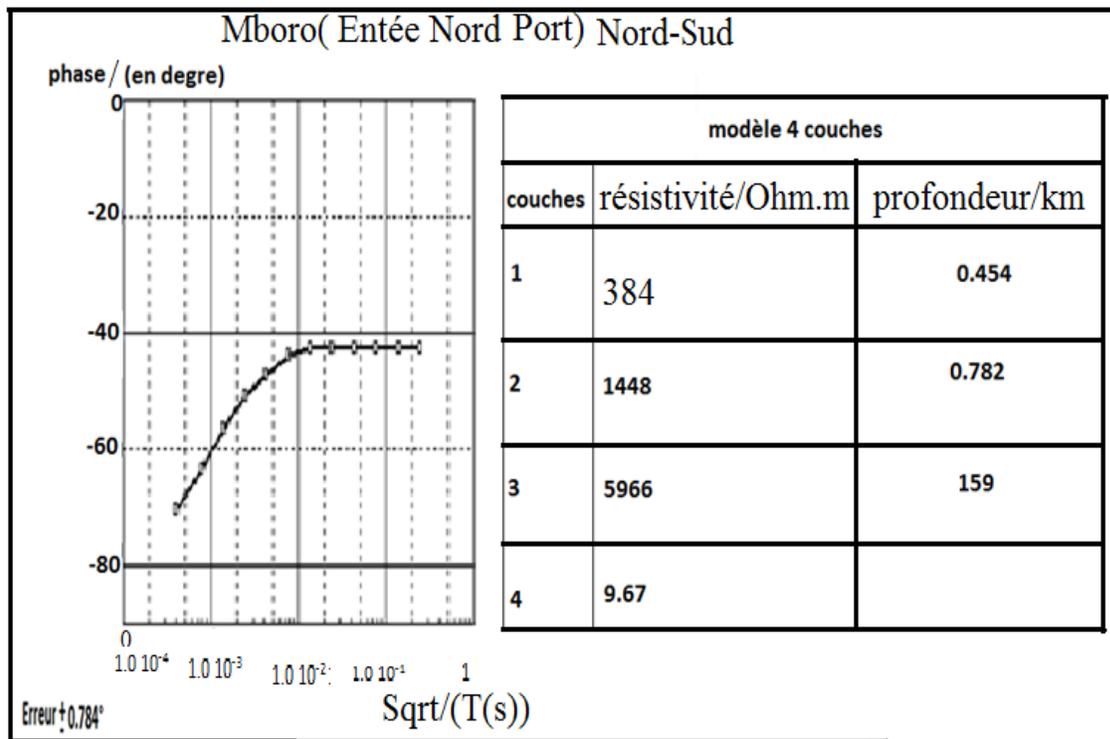


FIGURE 3.4 – Courbe de sondage (ST4)

Courbes de sondage suivant l'orientation Est-Ouest

Station École publique Lolabé

La station École Publique Lolabé (ST1) (**Figure 3.5**) présente un modèle de terrain à trois couches, dont la première couche est conductrice ($29.1 \Omega.m$) et de faible épaisseur ($2,25 \cdot 10^{-2}$ km). La deuxième couche est résistante et plus épaisse (109 km). Le substratum est plus résistant. La profondeur maximale atteinte est 109 km.

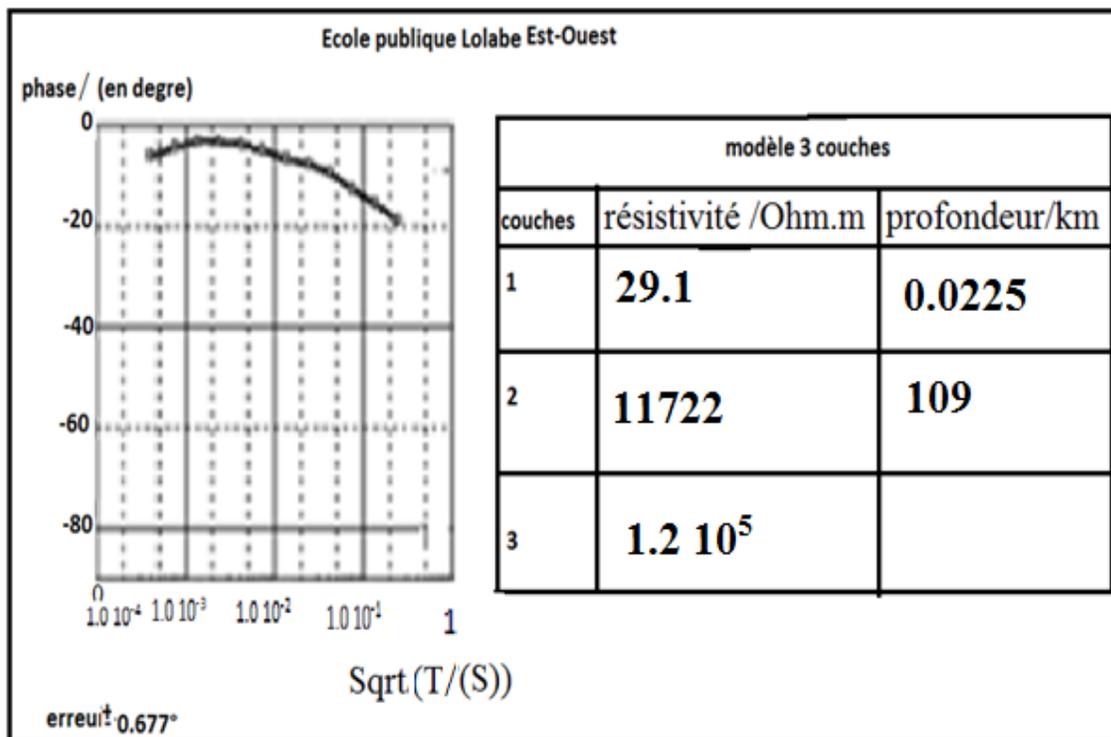


FIGURE 3.5 – Courbe de sondage (ST1)

Station chefferie Lolabé

La station Chefferie Lolabe (ST2) (**Figure 3.6**) présente un terrain de trois couches, dont la première couche est conductrice ($59 \Omega.m$) et a une faible épaisseur (7.4910^{-2} km). La deuxième couche est plus résistante ($2.9 \cdot 10^5 \Omega.m$) et plus épaisse (15.8 km). Le substratum est moins résistant que la deuxième couche et plus résistant que la couche superficielle. La profondeur maximale atteinte est 16 km.

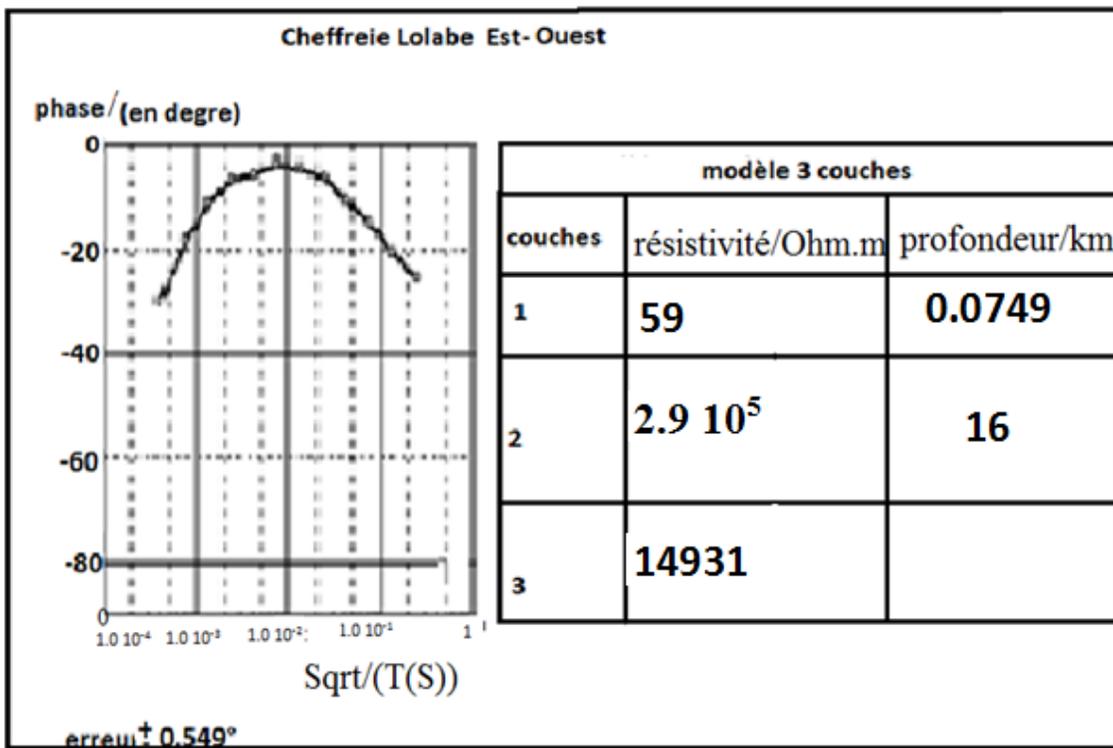


FIGURE 3.6 – Courbe de sondage (ST2)

Station Entrée (Sud) Port en eau profonde

La station Entrée (Sud) Port en Eau Profonde (ST3) (**Figure 3.7**) présente un terrain de quatre couches, dont la couche superficielle est conductrice ($365 \Omega.m$) et a une épaisseur de (0.454 km) supérieure à celle de la deuxième couche (0.328 km) plus résistante ($1448 \Omega.m$). La troisième couche la plus résistante ($1.2 \cdot 10^5 \Omega.m$) est plus épaisse (107 km). Le substratum y est très conducteur ($9.67 \Omega.m$). La profondeur maximale explorée est 108 km.

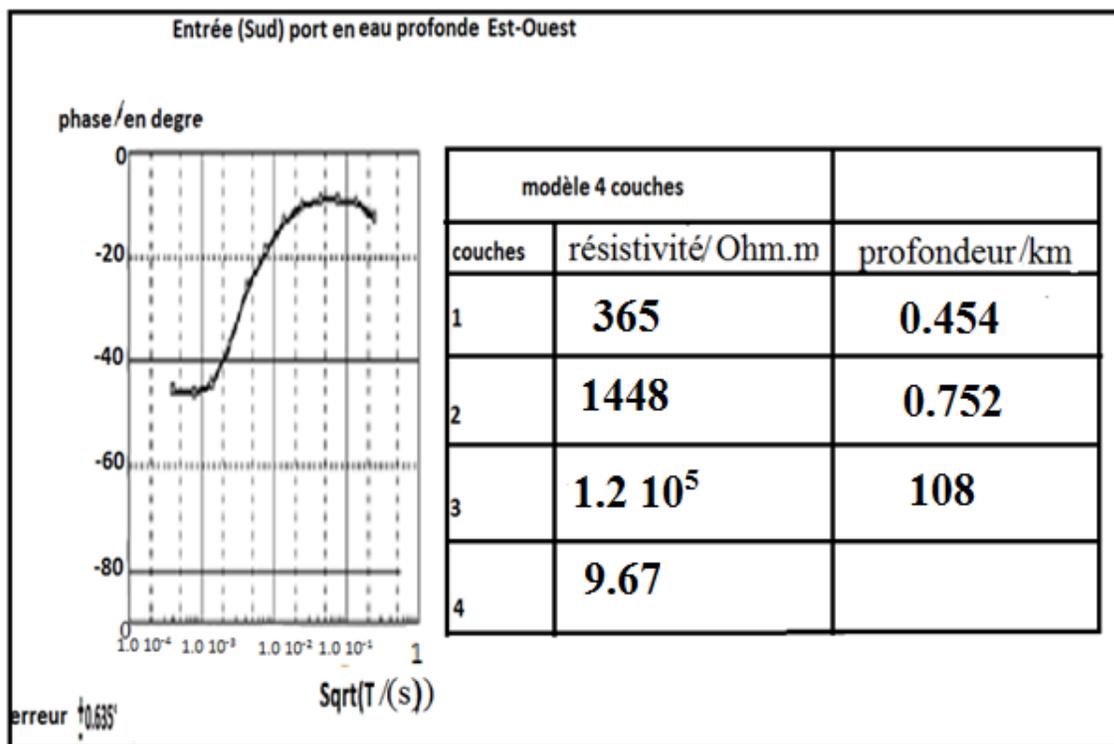


FIGURE 3.7 – Courbe de sondage (ST3)

Mboro (Entrée Nord port)

La station Mboro (Entée Nord Port) (ST4) (**Figure 3.8**) présente un modèle de trois terrains, dont la première couche est conductrice (396 $\Omega.m$). Les deuxième et troisième couches sont résistantes (1448 $\Omega.m$ et 5515 $\Omega.m$) et d'épaisseurs respectives 0.328 km et 2.972 km. Le substratum est plus conducteur. La profondeur maximale atteinte est 3.3 km.

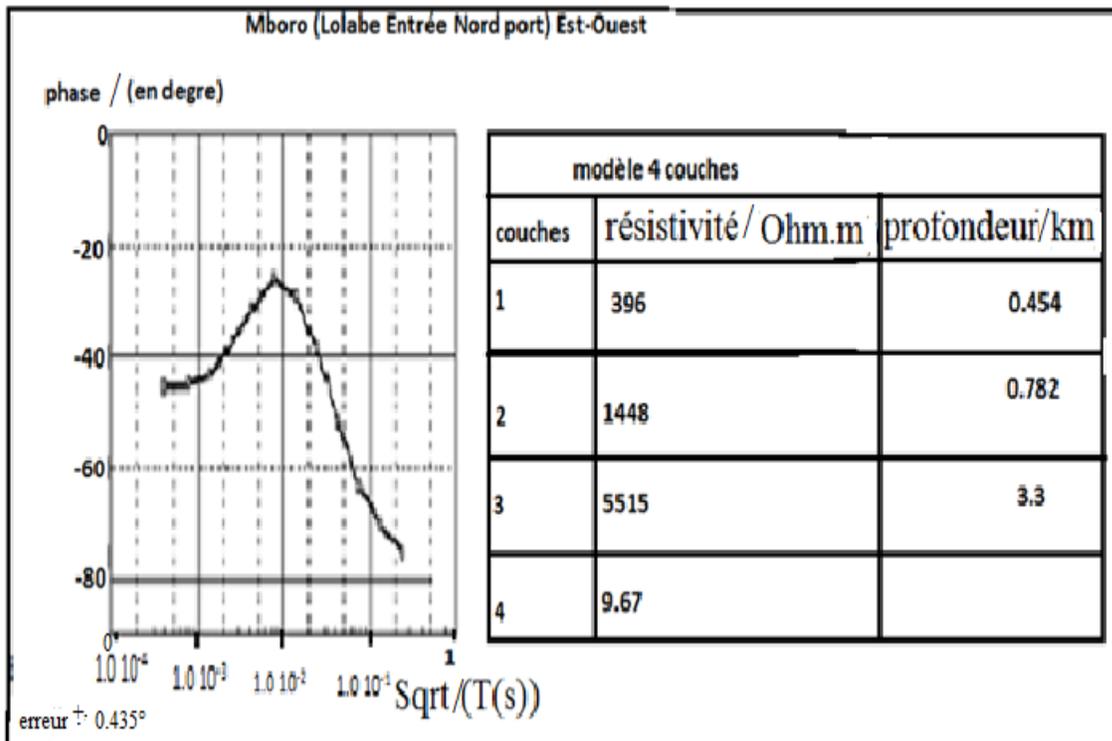


FIGURE 3.8 – Courbe de sondage (ST4)

3.2.2 Pseudo-section de variation des phases

Pseudo-section suivant l'orientation Nord-Sud

La pseudo-section de variation de phase (**figure 3.9**) présente des formes irrégulières. Ces formes seraient les plissements dans la zone d'étude. Sur la station (ST1) nous observons une couche superficielle de variation de phase plus petite que -0.8° , cette couche à la station (ST3) semblerait être une anomalie superficielle. A la station (ST3), on a à une grande profondeur une superposition des couches dans la direction verticale, ainsi celle-ci constituerait un bloc élevé, à cette profondeur. Les stations ST1, ST2, ST3 et ST4 se situeraient sur un grand couloir tectonique dont les indices semblent être une faille quasi-v verticale en profondeur.

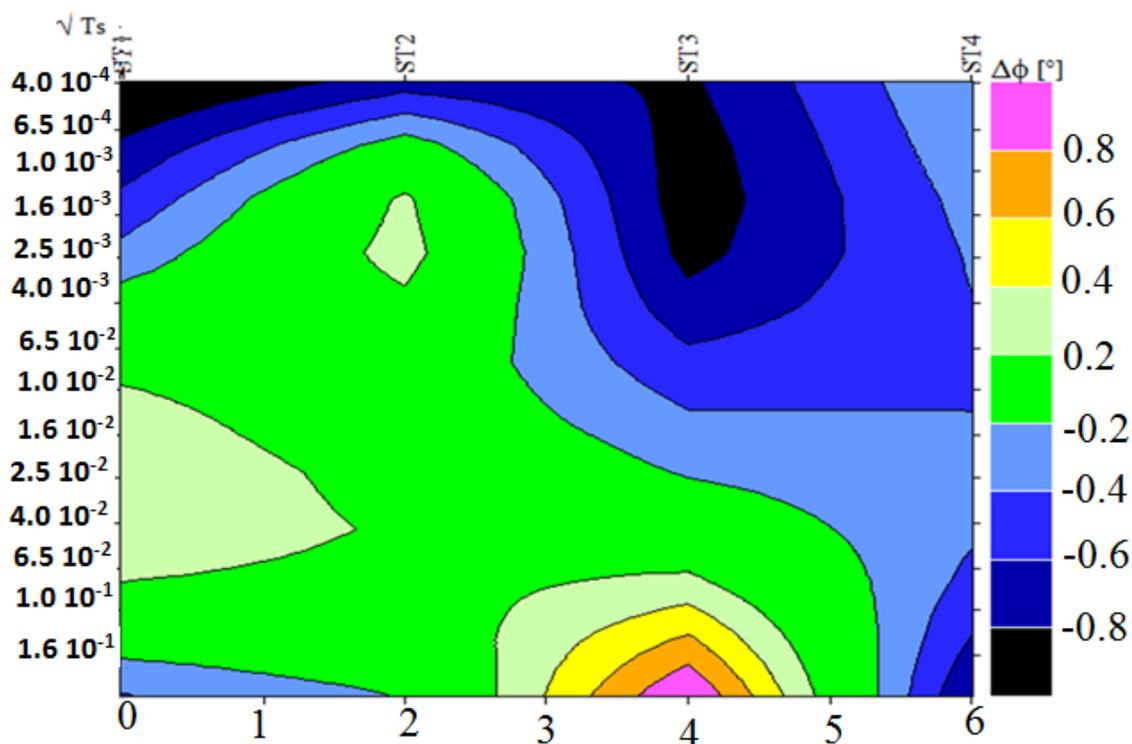


FIGURE 3.9 – pseudo-section de variation des phases (Nord-Sud)

Pseudo-section suivant l'orientation Est-Ouest

La pseudo-section de variation des phases (**figure 3.10**) présente également des formes irrégulières. Entre les stations (ST1) et (ST2) on observe à une profondeur une superposition de quatre couches dont les surfaces sont des contours fermés, la couche du milieu serait une anomalie verticale. Sur la station (ST3), on observe deux couches disposées sous forme de triangles dont l'un des sommets est orienté vers le bas et les côtés opposés à ce sommet sont sur la couche superficielle de la terre. On observe également un couloir verticale jusqu'à une profondeur de variation de phase moyenne inférieure à 0.1° en moyenne profondeur, ce couloir sépare deux compartiments quasi identiques de variations de phases comprises entre -0.1 et 0.1 . Sur la station (ST3) on observe une superposition des couches à une très grande profondeur dans le sous-sol suivant la direction verticale, ainsi cette disposition constituerait un bloc de roche élevé, cette disposition indique qu'il s'agirait d'une faille à cette profondeur d'environ 106 km.

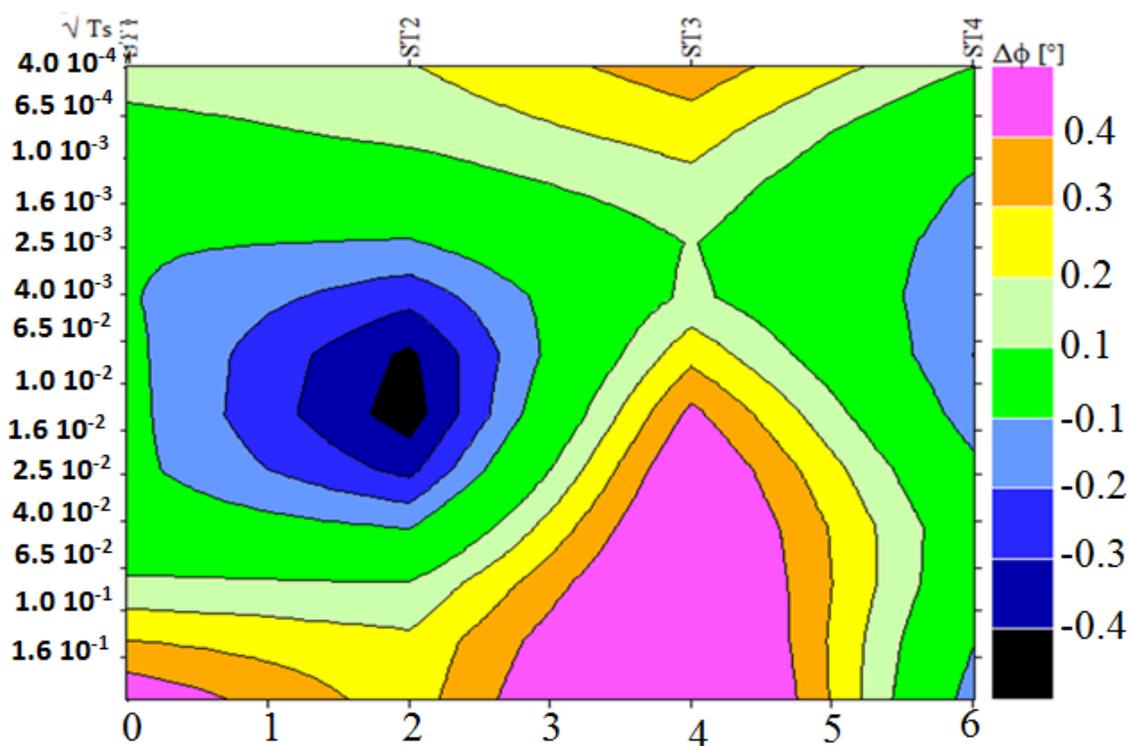


FIGURE 3.10 – pseudo-section de variation des phases (Est-Ouest)

3.3 Discussion

Pour ce qui est des courbes de sondage, nous remarquons que les couches superficielles sont moins épaisses et plus conductrices suivant les orientations des lignes telluriques Nord-Sud et Est-Ouest. Les couches de terrains ayant des grandes valeurs de résistivités sont celles capables de résister face à certains mouvements de terrain, comme la deuxième couche de résistivité ($1.410^5 \Omega.m$) avec 16.4 km d'épaisseur à la station Chefferie Lolabé suivant le profil Nord-Sud, la couche socle de résistivité ($1.510^6 \Omega.m$) à la station École publique Lolabé et la troisième couche de résistivité ($1.210^5 \Omega.m$) avec 107 km d'épaisseur sur la station Entrée (Sud) port en eau profonde suivant l'orientation tellurique Est-Ouest.

Les valeurs élevées des résistivités suivant l'orientation Est-Ouest, suggèrent la présence de matériaux de forte résistivité dans la formation de la zone mobile, au Nord du parallèle $4^\circ N$. La persistance des valeurs élevées de résistivités peut aussi s'expliquer par la présence des matériaux très résistifs, d'origine cratonique, situés en dessous des formations de la zone mobile à granites. Cette hypothèse est conforme aux conclusions des travaux de la prospection géophysique (Nzenti et al. 1988, Olinga et al. 2010) antérieurs qui montrent une extension du craton du Congo (Meying 2011).

L'isorésistivité des couches de terrains suivant les orientations Nord-Sud et Est-Ouest aux stations ST3 et ST4 met en évidence l'existence des plissements dans le sol du village Lolabé.

D'après les informations données par les pseudo-sections de variation des phases, nous remarquons qu'on soupçonnerait dans le village Lolabé proche de Kribi quelques accidents structuraux tels que : des discontinuités, des plissements.

Aux vues des accidents structuraux rencontrés dans la zone prospectée, nous pouvons dire que pour un tremblement de terre survenu dans la zone prospectée, les risques naturels pouvant exister sont tels que risque sismique et risque mouvement de terrain.

Implication sur le système éducatif

Ce travail peut nous permettre :

De mieux appréhender et de mieux enseigner la notion des champs électrique et magnétique aux élèves de la classe de terminale scientifique.

Sensibilisé la population en leur faisant savoir qu'il est très important de faire une étude du sol par le géotechnicien avant de construire un bâtiment sur un terrain pour éviter certains risques naturels.

3.4 Conclusion

Cette analyse nous a permis de déterminer le nombre de couches, l'épaisseur de chaque couche de terrain et la profondeur maximale atteinte à chaque station de mesure par les courbes de sondage. C'est ainsi que les accident structuraux ont été localisés dans la zone d'étude par des pseudo-sections de variation des phases et une implication sur le système éducatifs.

Conclusion générale et perspective

Ce travail a eu pour objectif de localiser les accidents structuraux susceptibles de se trouver dans le village Lolabé, localité de la région du Sud-Cameroun par l'interprétation des données AMT avec la méthode de variation des phases. Une analyse quantitative des courbes de sondages et qualitative des pseudo-sections de variation des phases, réalisées à l'aide du logiciel IP2WinMT, celui-ci a constitué le substratum de notre travail.

En effet on a remarqué que les couches superficielles à la station École publique Lolabé et les substratums aux stations Entrée (Sud) port en eau profonde et Mboro (Entrée Nord port) sont conductrices suivant les orientations telluriques Nord-Sud et Est-Ouest, une couches socle à la station École publique Lolabé suivant le profil Est-Ouest située à une profondeur supérieure à 109 km, on a une discontinuités des couches de terrain à la station Chefferie Lolabé située à une profondeur supérieure à 41.4 km ; il s'est aussi fait ressentir certains une superposition des couches qui pourrait constituer accidents structuraux tels que les plissements et les fractures le long de ces profils par les pseudo-sections de variation des phases. Au vue de ces accidents structuraux nous pouvons dire que les risques pouvant survenir dans ce village seraient les risques mouvement de terrain et les risques sismiques.

Les différentes superpositions des couches rencontrées à l'entrée Sud port en eau profonde nécessite une étude régulière afin de déterminer ce qu'elles mettent en évidence à plus de 108 km. Ainsi que les anomalies rencontrées le long du profil suivant les orientations Nord-Sud et Est-Ouest.

Nous suggérons que pour améliorer les résultats de ce travail, les mesures devraient se faire à des stations de plus en plus rapprochées. Aussi il faudrait utiliser d'autres méthodes de prospection géophysique (méthode électrique) dont les résultats seront comparés à ceux obtenus par la méthode de variation de phase en AMT.

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 micro pulsations». Jacobs I.A. physics all chemistry in space, T.1, (1970), springer, 67-85.

Bostick F. X. (1977). A simple almost exact method of MT analysis. In : Workshop on Electrical Methods in Geothermal Exploration, US Geol. Survey, Contract N° 14080001-8-359, 174-183.

Chaize L. et Lavergne M. (1970). Signal et bruit en magnétotellurique. Geophysical prospecting, vo8, n°1, 64-85.

Clifford T.N. (1970). The structural framework of Africa. In Clifford and Gass I.G. (Eds). African Magmatism and tectonic. Oliver and Byods, Edinburgh : 1-26.

Clifford T.N., Gass I.G. (1970). African magnetism and Tectonics. Oliver and Byods, Edinburgh, 1-25.

Kennedy W.Q. (1964). The instrumental differentiation of Africa in the pan-Africa. Tectonic episode. 8th Ann. Rep. Int. African geol. University Leeds : 48-59.

Gazel J., Hourq V., Nikcles M., Soba D. (1976). Carte géologique du cameroun au 1/1000000 avec notice explicative. Bulletin de la direction des Mines et de la Géologie, Yaoundé Cameroun : 62-69.

Geometrics (2000). Operation mantel for stratagem systems running imagem. Ver.2.16 : Geometrics, San Jose, California, 58-60.

Jacobs I.A. (1970). Geomagnetic micro pulsations, Springer, Berlin, 160-179.

Jegouzo P. (1984). Evolution structurale du Sud-Ouest Cameroun Durant l'orogénèse panafricaine. Association de tectonique cisailante et chevauchement coll. Chevauchement et déformation, Toulouse, 54-67.

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 avec les roches alcalines connues dans la même région. Bulletin de la

société Géophysique de France XVIII : 1297-1302.

Lassere M. et Soba D. (1976). Age libérien des granitoïdes et des gneiss à pyroxène du Cameroun méridional. Bulletin de B.R.G.M. 2 : 17-32.

Manguelle-Dicoum E., Bokossah A.S., Kwende-Mbanwi T.E. (1992). Geophysical evidence for a mayor precambrien schist-granite boundary in southern Cameroun. Tectonophysics 205 : 427-445.

Maurizot P., Abessolo A., Feybesse J.L., John Lecomte (1986). Etude et prospection minière du Sud-Ouest Cameroun.Synthèse des travaux de 1978 à1985.Repp 85 CMR 066, 60-69.

Mc Phee D.K., Chuchel, B.A., Pellenrin L. (2008). Audiomagnetotelluric data and preliminary two-dimensional models from Spring, Dry Late, and Delamar Valleys, Nevada. U.S.Geological Survey Open-File Report, 2008-1301 : 59-60.

Ngako V., Affaton P., Nnange J.M., Njanko Th. (2003). Pan-african tectonic evolution in the Central and the Southen Cameroon : transpréssion and transtension during sinistral shear movements, J.Afr, Earth Sci, 36, 205-213.

Ntepe N., 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.

Nzenti J.P., Barbey P., Macaudiere J., Soba D. (1988). Origin and evolution of the Precambrian high grade Yaounde gneiss (Cameroon). Precambrian Res., 38, 91-108.

Nzenti J.P., Barbey P., Bertrand J.M et Macaudire J. (1994) La chaîne Panafricaine au Cameroun : Cherchons structure et modèle, 15 ème Réunion des sciences de la Terre, Nancy, France, Société Géologique de France, 99 pages,

Olinga J.B., Mpesse J.F., Minyem D., (2010). Slip Shear zone (southern-Cameroon) : Geometry, Kinematics and significance in the late Panafricain tectonics. N.Jb. Geol. Pal(aont) ?. Abh, 257(1), 2-10.

Owona A. M., Tabod C.T., Nguiya S.,Kenfack J.V., Tokam K. A. (2013). Delineation of lineaments in south Cameroon. Open journal of geology, 3, 329-340.

Poudjom-Djomani Y.H., Nnange J.M., Diament D.C.J., Ebinger J., Fairhead J.D. (1995). Effective elastic thickness and crustal thickness variation in west central Africa inferred from gravity data. Journal of Geophysical research, 100(B11), 22.047-22068.

Rocci, G. (1965). Essai d'interprétation de mesure géochronologiques. La structure de l'Ouest Africain. Colloque international de Géochronologie, 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-Mbarga T. (2004). Gravity modelling along the northern margin of the Congo, south Cameroon. Journal o. the Cameroon Academy of sciences. Voll n°1, 42-51.

Vicat J.P (1998) Esquisse géologique du Cameroun. Géosciences au Cameroun, GEO-CAM 1/1998, 4-12.

Vicat J.P., Pouclet A., Nsifa E. (1998). Les dolérites du groupe du Ntem (Sud-Cameroun) et des régions voisines (Centrafrique, Gabon, Bas-zaire). Caractéristiques et place dans l'évolution du craton du Congo au protérozoïque. GEOCAM : 315-324.

LIVRES.

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

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

Cantwell T. (1960). Detection and analysis of low frequency magnetotelluric signals. Ph.D. Thesis, Department of Geology and Geophysics, M.I.T, 155-170.

Chapman S. (1964). « Solar plasma, geomagnetism and polar lights » in : Geofisika, Okolozemnoe Kosmicheskoe Prostranstvo. Gotoptekhnizdat, Moscow, 243-382.

Korableff (1937). Carte géologique. Cameroun Oubangui Chari à 1/400.000. Chronique des Mines Paris, 60 : PP 926-1010.

MACCIONI P. H. (2008). Dossier départemental des risques majeurs de la réunion. France, préfecture de la réunion, pp111.

Olisly R. et Mbida C. (2001b). Surveillance archéologique de l'axe routier Lolodorf-Kribi-Campo. Rapport final du Volet de Protection du patrimoine culturel. Coopération Cameroun-Union Européenne, 23-28.

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

Sims W.E. et Bostick F.X. (1971). The estimation of magnetotelluric impedance tensor element from measured data. Geophysics, 36, 938-945.

Tikhonov A.N. (1950). The determination of the electrical properties of deep layers of the Earth's crust. Dokl. Acad. Nauk. SSR, 73, 295-299, (in Russian).

THESES :

Magate Fari K.N (1995). Interprétation des données géophysiques sur la structure superficielle et profonde du bassin sédimentaire sénégalais et sur la zone de socle au Sénégal Oriental. Thèse Ph.D. Université de Cheikh Anta Diop, Sénégal.

Manguellé Dicoum E. (1988). Étude géophysique des structures superficielles et pro-

fondes de la région de Balmayo (Cameroun). Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.

Mbom-Abane S. (1997). Investigation géophysique en bordure du craton du Congo (région d'Abong-Mbang/Akonolinga, Cameroun) et implications structurales. Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.

Meying A. (2011). Investigations crustales profondes et superficielles par la méthode audio-magnétotellurique (AMT) dans la région Ayos-Nguelemdouka (Cameroun). Thèse Ph.D, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.

Ndougsa Mbarga Théophile (2004). Étude géophysique, par méthode gravimétrie des structures profondes et superficielles de la région de Mamfe. Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.

Nlend R.P. (2014). Les traditions céramiques dans leur contexte archéologie sur le littoral Camerounais (Kribi-Campo) de 3000 à 500 bp, Thèse Ph.D. Université libre de Bruxelles, faculté de philosophie et lettre, Belgique.S

Nzenti J.P. (1987). Pétrogenèse des migmatites de Yaoundé (Cameroun) : Élément pour un modèle géodynamique de la chaîne panafricaine Nord Équatoriale. Thèse Ph.D. Université de Nancy.

Owona A.M. (2012). Interprétation géophysique de la zone de transition entre le craton et le sous-bassin sédimentaire de Kribi-Campo. Thèse Ph.D, Université Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.

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

Suchel J.B. (1987). Les climats du Cameroun. Thèse Ph.D. Université de Bordeaux

MACCIONI P. H. (2008). Dossier départemental des risques majeurs de la réunion. France, préfecture de la réunion, pp111.

Programme :

Owona A.M. (2015). Technique d'acquisition des données Audio-magnétotelluriques. Cours PH 521 Master II, Université de Yaoundé, Faculté des sciences, Cameroun.

Annexe

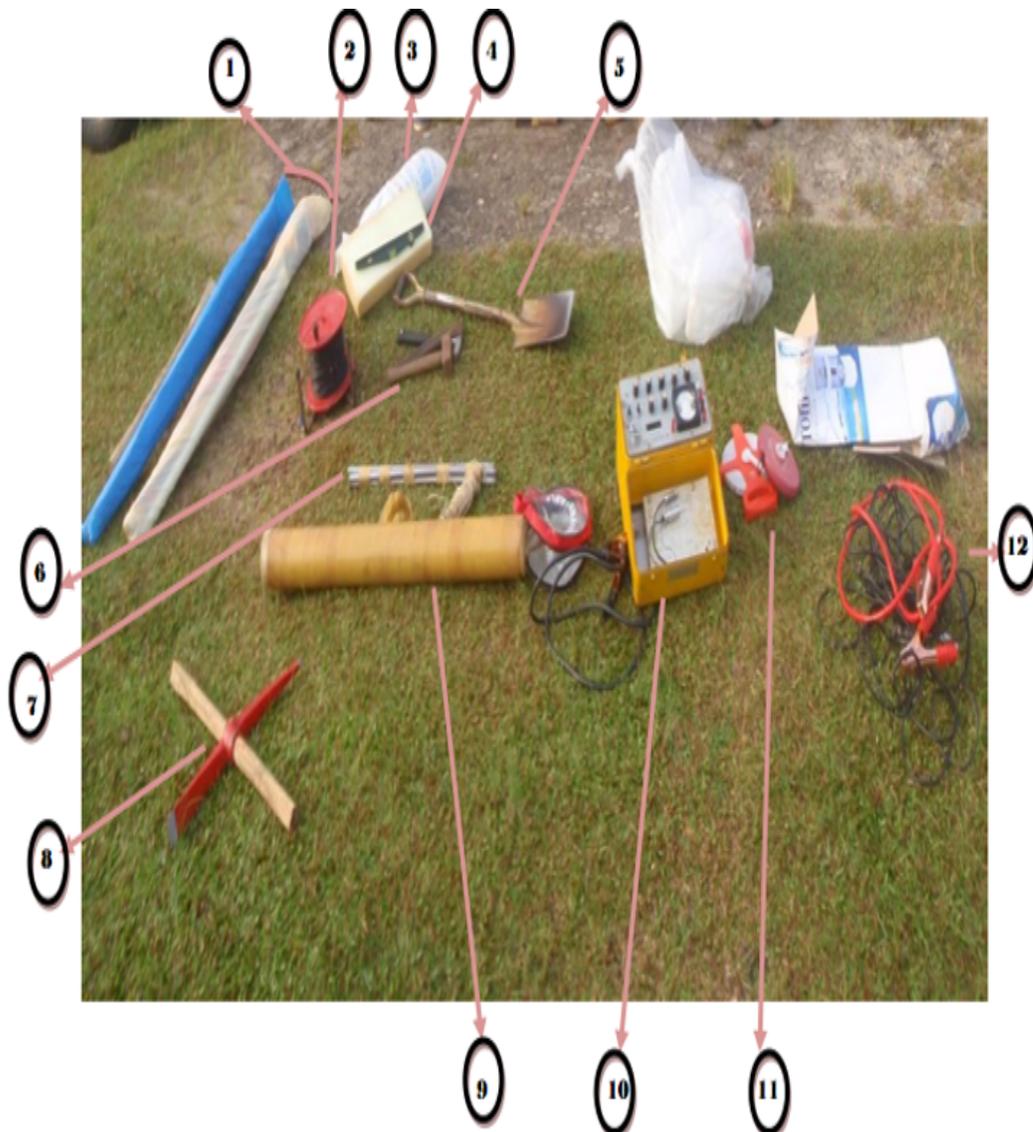


FIGURE 3.11 – Appareillage AMT et accessoires

Légende

1-Parasols, 2-Bobine de câbles électriques, 3-Sac de sel, 4-Éponge + niveau d'eau, 5-Pôle, 6-Marteau géologue + marteau maçon, 7-Électrodes, 8-Pioche, 9-Magnétomètre, 10-Résistivimètre

ECA, 11-Décamètres, 12-Câble de connexion.

Fiche documentaire

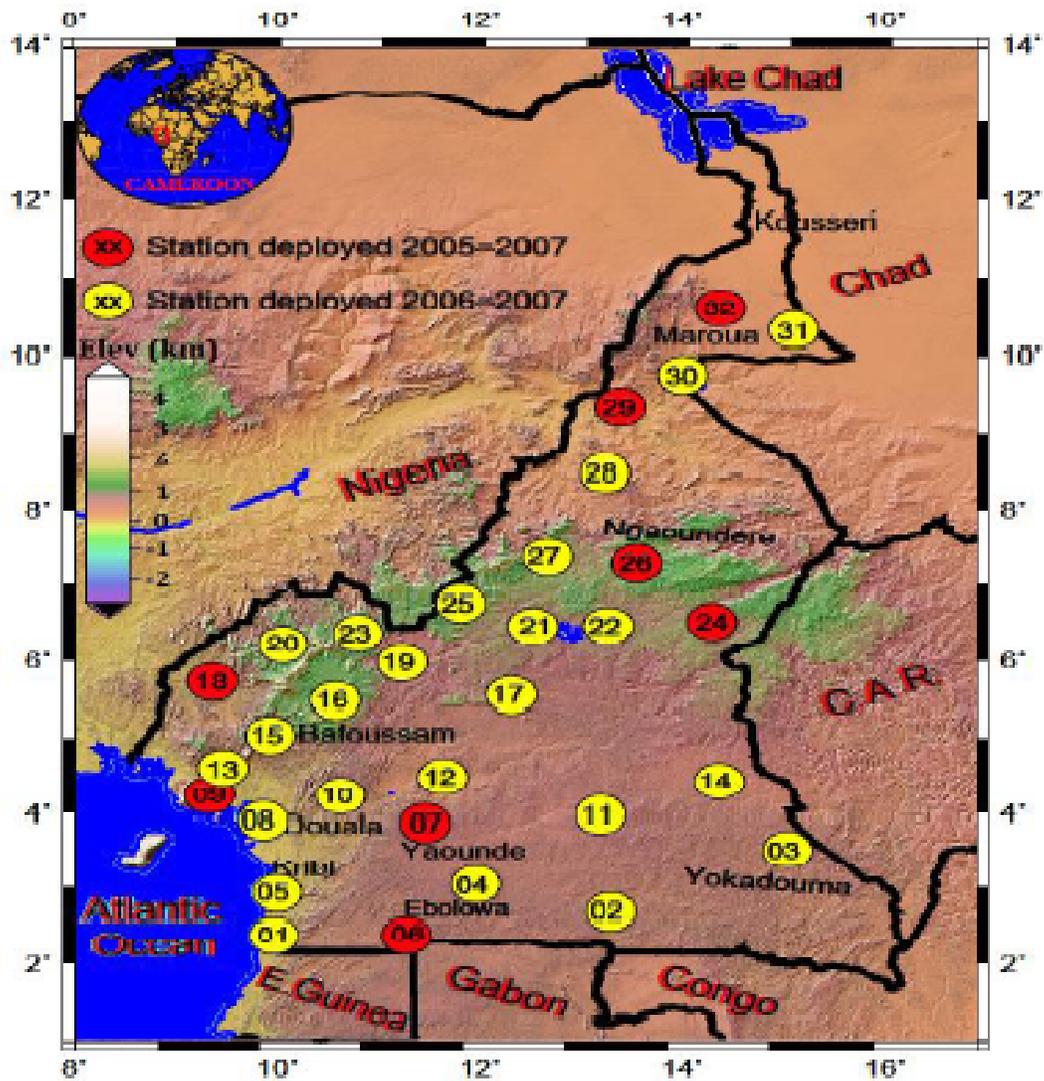


FIGURE 3.12 – Stations sismiques au Cameroun.