

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

ECOLE NORMALE SUPERIEURE

\*\*\*\*\*

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

HIGHER TEACHER'S TRAINING  
COLLEGE

\*\*\*\*\*

DEPARTMENT OF PHYSICS

\*\*\*\*\*

**INVESTIGATION GÉOPHYSIQUE DU SOUS-BASSIN  
SÉDIMENTAIRE DE DOUALA DANS LA LOCALITÉ  
DE BONEPOUPA (LITTORAL-CAMEROUN) PAR LA  
MÉTHODE AUDIO MAGNETOTELLURIQUE**

Mémoire rédigé et présenté en vue de l'obtention du  
**Diplôme de Professeur de l'Enseignement Secondaire**  
**Deuxième grade (DI.P.E.S. II)**

Par :

**NGOUEGNI FOTCHA BÉATRICE CAROLE**

**Licenciée en Physique**

**Matricule : 12W0979**

Sous la direction de :

**Dr. NJINGTI NFOR**

**Chargé de Cours**

**Année académique : 2018- 2019**

**INVESTIGATION GÉOPHYSIQUE  
DU SOUS-BASSIN SÉDIMENTAIRE DE  
DOUALA DANS LA LOCALITÉ DE  
BONEPOUPA (LITTORAL-CAMEROUN)  
PAR LA MÉTHODE AUDIO  
MAGNETOTELLURIQUE**

Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du  
DIPES II

Présenté par :

**NGOUEGNI FOTCHA BÉATRICE CAROLE**

Matricule : 12W0979

Licencié en Physique

Sous la Direction du

**Dr. NJINGTI NFOR**

Chargé de Cours,

Université de Yaoundé I (ENS)

Département de Physique

Année Académique 2018-2019

---

## Dédicaces

---

A mes très chers parents,mes frères et sœurs et mon fiancé .

*« Votre présence à mes côtés a toujours été une perpétuelle source de motivation. Retrouvez dans ce mémoire l'expression de ma profonde gratitude, de mon amour. »*

---

## Remerciements

---

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

- A mon Dieu qui m'a donné la force et le souffle pour accomplir mon travail ;
- Mon encadreur Dr NJINGTI NFOR pour son guide et ses conseils qui m'ont beaucoup aider
- Ma mère, mon adorable maman, celle sans qui tout ceci n'aurait pas été rendu possible, merci pour tout l'amour, l'attention, l'affection, les encouragements depuis mes premiers pas jusqu'à ce jour ;
- Mon père, pour le soutien permanent ;
- Mon grand frère chéri, TAMEGHUI RENE pour le soutien financier qu'il m'a toujours apportée depuis mes premiers pas ;
- Mes grandes soeurs ARISTIDE, CLARISSE ET NOEL FLORE pour leurs encouragements chaque fois que je me fatiguais et que je voulais baisser les bras ;
- Tous les enseignants de l'école normale supérieure de Yaoundé, pour les enseignements reçus, le sérieux dans notre formation au métier d'enseignant ;
- Tous mes camarades de la 58ème promotion de l'école normale supérieure de Yaoundé pour l'ambiance bon enfant tout au long de notre formation ;
- Tous mes amis, pour toujours avoir été là lorsque j'en avait besoin. particulièrement mon très cher ami TIOKANG LIBAWO HUSSERL pour son soutien sans faille ;
- Mon fiancé SOUH PENANJO JEANS FRANÇOIS qui a toujours été là pour m'encourager et me reconforter.
- Tous ceux qui de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce travail.

---

## Table des matières

---

Dédicaces .....	i
Remerciements .....	ii
Table de matières .....	iv
Résumé .....	v
Abstract .....	vi
Liste des abréviations .....	vii
Liste de figures .....	x
Liste de tableaux .....	xi
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
<b>CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE .....</b>	<b>3</b>
1.1 GÉNÉRALITÉS SUR LE CAMEROUN .....	3
1.1.1 Présentation géographique .....	3
1.1.2 présentation géologique .....	4
1.1.2.1 Le socle précambrien .....	4
1.1.2.2 La couverture sédimentaire .....	5
1.1.2.3 Les formations volcaniques .....	5
1.1.2.4 Aperçu tectonique .....	5
1.2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	6
1.2.1 Cadre géographique .....	6
1.2.1.1 Localisation .....	6
1.2.1.2 Climat .....	7
1.2.1.3 Hydrographie .....	7
1.2.2 Cadre géologique .....	7
1.2.2.1 Formations du socle .....	7
1.3 Les travaux antérieurs .....	9

1.4	LES DIFFERENTES METHODES GEOPHYSIQUES ET PRISE DE POSITION . . . . .	9
<b>CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE</b> .....		11
2.1	La méthode magnétotellurique. . . . .	11
2.1.1	Fondements de la méthode . . . . .	12
2.1.2	Théorie de la méthode. . . . .	12
2.1.3	Équation de propagation d'une onde électromagnétique dans le sol. . . . .	12
2.1.4	Solution de l'équation de diffusion . . . . .	13
2.1.4.1	Cas d'une structure tabulaire . . . . .	14
2.1.4.2	Cas d'une structure non tabulaire . . . . .	16
2.2	Appareillage et techniques d'acquisition des données en magnétotellurique . . . . .	16
2.2.1	Appareillage . . . . .	16
2.2.2	Acquisition des données . . . . .	17
2.2.2.1	Principe . . . . .	17
2.2.2.2	Le GPS . . . . .	17
2.2.2.3	Dispositif expérimental . . . . .	18
2.2.3	Analyse des données . . . . .	19
2.2.3.1	Courbes de sondage . . . . .	19
2.2.3.2	Profils résiduels de résistivité apparente . . . . .	19
2.2.3.3	Coupes semi-quantitatives ou pseudo-sections . . . . .	20
<b>CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS</b> .....		21
3.1	Logiciels utilisés et description du profil . . . . .	21
3.1.1	Logiciels utilisés . . . . .	21
3.1.2	Description du profil étudié . . . . .	22
3.1.3	Analyse des courbes de sondage . . . . .	22
3.1.4	Analyse du profil de résistivité . . . . .	26
3.1.5	Analyse de la pseudo section de résistivités . . . . .	27
3.1.6	Analyse de la section geoelectrique . . . . .	29
3.1.7	Analyse du modèle géologique proposé . . . . .	29
3.2	DISCUSSION DES RÉSULTATS . . . . .	30
<b>CHAPITRE 4 : IMPLICATION SUR LE SYSTÈME ÉDUCATIF</b> .....		32
4.1	Intérêt didactique . . . . .	32
4.2	Définition des concepts . . . . .	32
4.3	Objectif d'étude . . . . .	33
4.4	Apports chez les enseignants . . . . .	33
4.5	Apports chez les élèves . . . . .	34
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES .....		35
Bibliographie .....		36
ANNEXES .....		40

Suivant un profil mesurant environ 10 Km est constitué de 5 stations, des mesures audio magnétotelluriques (AMT) ont été effectuées dans le but de mieux comprendre la structure du sous-sol dans la localité de Bonepoupa (Le paramètre géophysique rechercher ici est la résistivité des couches de terrain via un dispositif AMT constitue d'un resistivimètre scalaire dont la fréquence varie entre 4,1 Hz et 2300 Hz). Il est également à noter que notre profil est situé sur la partie septentrionale du craton du Congo. Les résultats obtenus à l'aide des différentes courbes ont présenté des couches superficielles de faibles épaisseurs et de résistivités très faibles à certains endroits ; ces faibles valeurs de résistivités marquent la présence des matériaux très conducteurs en surface. L'analyse et l'interprétation de ces résultats nous ont permis de mettre en évidence d'une part la présence de deux fossés géologiques entre les stations Y1 et Y2 puis en dessous de la station Y4 et la présence des formations intra-sédimentaires d'autre part. ces observations seraient les conséquences des mouvements tectoniques qui ont eu lieu dans cette partie de la région. Les courbes de sondage nous ont permis d'observer dans certaines stations des intrusions des matériaux résistants plus en profondeur, des amas très conducteurs coincés entre les couches un peu plus résistantes. Elles mettent ainsi en évidence la présence des failles a ces endroits du profil étudié. Ceci nous permis de proposer un modèle géologique montrant la disposition des différentes roches dans le sous-sol et les failles qui y sont suivant notre profil.

**Mots clés** : ATM (Audiomagnétotellurie), bassin sédimentaire, investigation, socle, profil, résistivité, sondage.

---

## ABSTRACT

---

According to a profile measuring about 10 Km consists of 5 stations, monetotelluric audio measurements (AMT) were made in order to better understand the structure of the subsoil in the locality of Bonepoupa. The geophysical parameter to be investigated here is the resistance of the field layers via an AMT device consisting of a scalar resistivity meter whose frequency varies between 4.1 Hz and 2300 Hz. It should also be noted that our profile is located on the part northern Congo craton. The results obtained using the various curves showed surface layers of low thickness and very low resistivities in certain places; these low values of resistivities mark the presence of highly conductive materials on the surface. The analysis and the interpretation of these results allowed us to highlight on the one hand the presence of two geological ditches between the Y1 and Y2 stations and then below the Y4 station and the presence of the intrasedimentary formations of somewhere else. these observations would be the consequences of the tectonic movements that took place in this part of the region. The probing curves have allowed us to observe in some stations the intrusions of the resistant materials at greater depth, very large clusters wedged between the layers a little more resistant. They thus highlight the presence of faults at these locations of the studied profile. This allowed us to propose a geological model showing the disposition of the different rocks in the basement and the faults that are there according to our profile.

**Keywords :** ATM (Audiomagnetotelluria), sedimentary basin, investigation, basement, profile, resistivity, sounding.



---

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

---

AMT : Audio magnétotellurique

Ma : Million d'années

rad : Radian

$\Omega.m$  : Ohm metre

MT : Magnetotellurique

N : Nord

Hz : Hertz

V : Volt

d.d.p : Difference de potentiel

A : Ampere

s : Seconde

t : Temps [s]

f : Frequence [Hz]

EM : Electromagnetique

TM : Transverse magnetique

TE : Transverse electrique

RMS : Root Mean Square (erreur quadratique moyenne)

GPS : Global Positioning System

O : Ouest

Ga : Milliard d'annees

NNE : Nord Nord-Est

SSW : Sud-Sud-West

ORSTOM : Office de Recherche Scientifiques des Territoires d'Outre-Mer

RCA : Republique

E : Est

Centre Afriquaine

1D : Une Dimension

2D : Deux Dimensions

3D : Trois Dimensions

Km : Kilometre

m : Metre

$D$  : Vecteur Déplacement diélectrique ;

$s$  : seconde ;

$t$  : temps ;

$f$  : fréquence ;

$\sigma$  : Conductivité électrique ;

$\varepsilon$  : Permittivité diélectrique ;

$\varepsilon_r$  : Permittivité diélectrique relative ;

$\varepsilon_0$  : Permittivité diélectrique du vide

$\mu$  : Perméabilité magnétique ;

$\mu_r$  : Perméabilité magnétique relative ;

$\mu_0$  : Perméabilité magnétique du vide ;

$\vec{J}$  : Vecteur densité de courant électrique ;

$\vec{A}$  Vecteur quelconque ;

$m$  : Paramètre d'un modèle de terrain ;  $^{\circ}C$  : Degré Celsius ;

$g$  : Fonction traduisant les problèmes directs

$e$  : Nombre de Neper = 2,71828

$Z$  : Impédance magnétotellurique de Tikhonov-Cagniard ;

$j$  : Imaginaire pur ;

$\rho_a$  : Résistivité apparente ;

$\delta$  : Profondeur de pénétration ;

$\nabla$  : Opérateur NABLA ;

$T$  : Période ;

$\vec{E}$  : Vecteur champ électrique ;

$\Omega.m$  : Ohm mètre ;

$\Delta$  : Opérateur Laplacien ;

$\rho_l$  : Résistivité moyenne longitudinale ;

$\rho_t$  : Résistivité moyenne transversale ;

$\rho_i$  : Résistivité d'une couche  $i$

$h_i$  : Epaisseur d'une couche  $i$  ;

$\frac{\partial}{\partial t}$  Opérateur de la dérivée partielle d'une fonction par rapport au temps ;

$\frac{\partial}{\partial r}$  : Opérateur de la dérivée partielle d'une fonction par rapport à une variable spatiale

$\vec{B}$  : Vecteur d'induction magnétique ;

$\vec{H}$  : Vecteur champ magnétique ;

---

## Liste des figures

---

Figure 1.1 : Carte géologique du Cameroun (VICAT.J. P et BILONG.P, 1998) .....	4
Figure 1.2 : Carte de localisation de la zone d'étude (bonepoupa) d'après Njiké Ngaha (1984), modifiée .....	6
Figure 1.3 : Carte géologique du bassin sédimentaire de Douala .....	8
Figure 2.1 : Diffusion d'une onde plane sinusoïdale dans un milieu matériel .....	14
Figure 2.2 : Appareillages d'acquisition des données AMT sur le terrain .....	16
Figure 2.3 : GPS Garmin .....	18
Figure 3.1 : Carte géologique de la zone d'étude .....	22
Figure 3.2 : Courbe de sondage de la station Y1. RMS : 0.51% .....	24
Figure 3.3 : Courbe de sondage de la station Y2 . RMS : 0.51% .....	24
Figure 3.4 : Courbe de sondage de la station Y3 . RMS : 1.97% .....	25
Figure 3.5 : Courbe de sondage de la station Y4 . RMS : 1.97% .....	25
Figure 3.6 : Courbe de sondage de la station Y5. RMS : 2.86% .....	26
Figure 3.7 : Profil de résistivité des stations de mesure .....	26
Figure 3.8 : pseudo section de résistivités .....	27
Figure 3.9 : section geo-electrique .....	29
Figure 3.10 : Modèle géologique proposé .....	30

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 3.1 : Résistivités apparentes et épaisseurs des couches dans différentes stations..... 23

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

L'Homme et plus particulièrement le scientifique, a pendant longtemps été intéressé par la conquête de l'espace. Pour comprendre la soudaine importance accordée à l'étude des structures superficielles et profondes du globe terrestre, il faut se rapporter au dix-neuvième siècle où les richesses naturelles du sous-sol tels que, les minerais et le pétrole n'étaient plus perceptibles en surface et où la consommation en énergie avait beaucoup augmenté dans les pays développés de cette époque. Pour pallier à ce problème il a fallu dans un premier temps faire des forages des douzaines de mètres et ensuite, il était question d'aller un peu plus en profondeur c'est à dire à des centaines de mètres. Pour aller en profondeur, cela demande beaucoup plus d'investissement et coûte donc plus cher ; afin que ces investissements ne soient pas vains, il est nécessaire de mener des études de prospection pour s'assurer de la qualité de l'information requise. De nos jours il existe plusieurs méthodes pour étudier la structure interne du globe terrestre, chacune des méthodes utilisant une propriété bien définie des roches.

- Les méthodes potentielles qui sont composées des méthodes gravimétriques (la plus ancienne des méthodes géophysiques se sert de la densité pour déterminer le contraste de densité entre l'encastrement et la roche perturbatrice, responsable d'une anomalie détectable en surface) et magnétiques ;
- Les méthodes sismiques qui se rattachent aux propriétés élastiques des roches et exploitent les vitesses de propagation des ondes sismiques dans les roches ;
- Les méthodes radioactives qui se rattachent aux radioéléments des roches ;
- Les méthodes électromagnétiques et électriques qui se rattachent soit à la conductivité, soit à la résistivité des roches ;
- Les méthodes géostatistiques qui se rattachent à la distribution spéciale des roches spécifiques.
- La méthode magnétotellurique ; elle a plusieurs dérivées :
  - La radio magnétotellurique, pour les faibles profondeurs
  - L'audio magnétotellurique, pour les moyennes profondeurs
  - L'hélio magnétotellurique, pour des grandes profondeurs

Toutes ces dérivées se servent des mesures effectuées en surface pour déterminer la résistivité des roches. C'est cette technique de prospection qui sera utilisée tout au long de notre travail.

La présente étude menée dans le bassin sédimentaire de Douala, consiste à effectuer des sondages magnétotelluriques le long d'un profil choisi dans le bassin sédimentaire de Douala, dans le but d'étudier le comportement (mouvement ou phénomène géologique) de la zone de contact entre les formations sédimentaires et métamorphiques suivant ce dernier. Pour se faire, nous allons d'abord déterminer les différentes formations de notre profil, déterminer les phénomènes géologiques qui s'y produisent pour enfin décrire le comportement de cette zone de contact.

La présentation de ce travail s'articule autour de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous ferons tout d'abord les généralités sur le Cameroun (présentation géographique et géologique) ; par la suite nous présenterons la zone d'étude, les différentes méthodes d'investigation géophysique et enfin les études antérieures menées sur ce dernier. La méthode magnétotellurique et sa

technique d'acquisition des données fera l'objet du deuxième chapitre.

Le troisième chapitre traitera de l'interprétation et l'exploitation des données magnétotelluriques ; dans ce dernier, nous allons après différentes formes de présentation des données, proposer un modèle géologique du sous-sol étudié. Le quatrième chapitre parlera de l'implication sur le système éducatif. Nous aurons enfin une conclusion générale, puis des perspectives.

### **Introduction**

Dans ce chapitre, nous ferons une brève présentation d'abord géographique, puis géologique du Cameroun et de notre zone d'étude. La présentation géographique consiste à mettre en exergue les coordonnées géographiques, le climat, ainsi que l'hydrographie. L'aspect géologique quant à elle reposera sur la stratigraphie, la lithologie et la morphologie voir la géomorphologie de cette région ; Nous présenterons les différentes méthodes d'investigation géophysique en général, et la méthode magnétotellurique en particulier qui est celle prévue pour notre travail ensuite suivront les études antérieures menées sur ce bassin.

## **1.1 GÉNÉRALITÉS SUR LE CAMEROUN**

### **1.1.1 Présentation géographique**

Le Cameroun se situe en bordure du golfe de Guinée au cœur de l'Afrique entre  $01^{\circ}40'$  et  $13^{\circ}05'$  de latitude Nord et entre  $08^{\circ}30'$  et  $16^{\circ}10'$  de longitude Est. Sa superficie est de  $475.440 \text{ km}^2$  répartie dans le cadre d'un triangle approximatif de 1400km de base et de 2300 km de hauteur. Son relief s'étage de 0 à 4095 m au mont Cameroun.

Le pays est bordé au Sud par la Guinée équatoriale, le Gabon, le Congo ; à l'Est par la republique centre africaine (RCA) ; au Nord par le Tchad et à l'Ouest par le Nigeria.

Le Cameroun bénéficie d'une grande variété de régimes climatiques et pluviométriques à cause de la circulation des masses d'air (mousson et harmattan) et de l'inégale répartition de son relief. Ce dernier est très diversifié :

- A l'Ouest du pays, des collines sont baissées ainsi qu'une longue chaîne de montagne dominée sur toute la côte atlantique par le mont Cameroun (4070 m)
- Au centre, des pâturages d'altitude dans les massifs de l'Adamaoua à 2500 m de hauteur
- Au Nord, la savane est dominante ainsi que quelques chaînes de montagnes (monts Mandera) à la frontière avec le Nigeria
- Au sud, nous avons les tropicales et les marécages. Sur le plan climatique, les divers types de climat retrouvés dans le pays sont les suivants :
- Le climat équatorial caractérisé par les précipitations abondantes et les températures élevées ;



- Le climat guinéen sévissant sur la côte et le plateau du Sud camerounais avec deux saisons sèches et deux saisons de pluies ;
- Le climat camérounien régnant des abords du Mont Cameroun à l’embouchure de la Sanaga en passant par une abondance des pluies (en une saison de pratiquement 9 mois par an) ;
- Le climat tropical qui est en fait le résumé de tous les autres ;
- Le climat soudanien au Nord, dans cette partie du pays, plus on se rapproche du Tchad, plus le climat devient sec.
- En fin Le climat sahélien à partir de Ngaoundéré, le climat est assez humide puisque la région est plus en altitude contrairement à la chaleur torride qu’il fait à Maroua. Dans cette partie du pays on ne connaît qu’une saison sèche et une saison de pluie.

### 1.1.2 présentation géologique

La géologie du Cameroun se caractérise d’une part par l’ancienneté, la variété et l’étendue des roches cristallines et métamorphiques, d’autre part par l’intensité des déformations et cassures du socle ancien. Autant de faits qui influencent les formes actuelles du relief. Ce dernier est constitué en quasi-totalité par des terrains appartenant à l’immense bouclier africain recouvert localement par des sédiments ou des épanchements de larves. La sentence de nombreux travaux (Cornachia et Dars, 1983 ; Ngako et al, 1991 ; Penaye et al, 1993), constitué d’un socle précambrien comprenant des roches magmatiques et métamorphiques : roches appartenant à diverses époques du précambrien et étant affleurantes. Ce sont principalement des granites et migmatiques rajeunis lors de l’épisode panafricain.

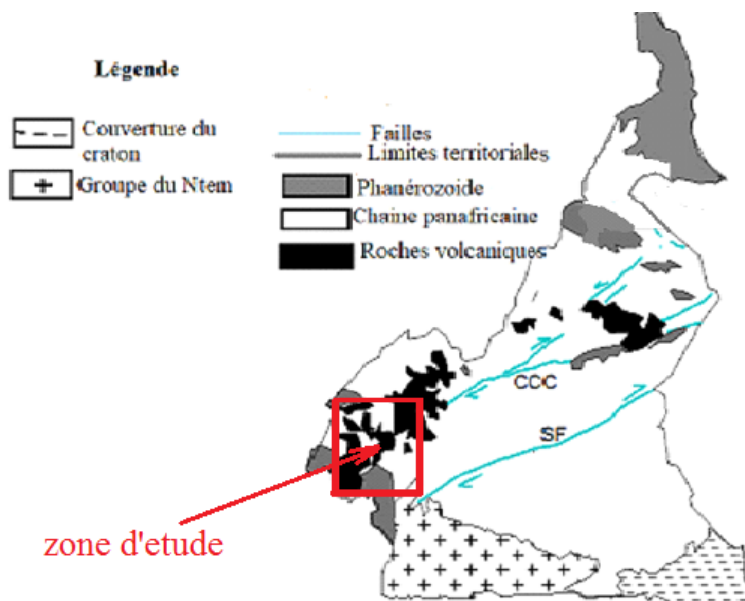


Figure 1.1 – Carte géologique du Cameroun (VICAT.J. P et BILONG.P, 1998)

#### 1.1.2.1 Le socle précambrien

En géologie, un socle désigne une structure géomorphologique constituée d’un ensemble rocheux induré composé des roches métamorphiques ou magmatiques plissées puis pénéplaines formées au cours

d'un ou de plusieurs cycles orogéniques. Il se compose du complexe métamorphique généralement métamorphisé et granité ; et des formations de plates-formes, solidaires du complexe sous-jacent, plissées, peu ou pas métamorphosées. Il est recoupé par une surface de discordance sur laquelle repose éventuellement une couverture sédimentaire ou volcanique à la suite d'une succession de transgression ou d'une période de volcanisme. Les formations charnokitiques constituent les éléments repris du mâle Archéen dans la zone mobile. Dans la zone camerounaise (Bessoles et Tasserres, 1977), la partie supérieure du complexe de base est représentée par des formations des séries quartzo-schisteuses à muscovites constituées des séries de Mbalmayo-Bengbis, d'Ayos, de Poli et de Lom. Les formations de plates-formes sont représentées par la série du Dja inférieur dont les niveaux quartziques sont fréquemment recoupés par les filons doléritiques

### **1.1.2.2 La couverture sédimentaire**

Elle repose sur le socle précambrien et est le témoin d'une émergence depuis le précambrien terminal (infra précambrien). Le golfe de Guinée reste la région où sont localisées les premières manifestations marines, témoin de l'ébauche d'océanisation de l'Atlantique Sud au cours de l'Albien (Cornachia et al, 1993). La couverture sédimentaire est constituée, au Sud, de roches sédimentaires très ressentes et au Nord, de roches sédimentaires des méziques et du cénozoïque qui couvrent le bassin du Tchad, et au Sud-ouest, des roches des crétacés inférieurs qui couvrent le bassin de Manfé, le fossé de la Bénoué, le bassin de Bida (Genick, 1992)

### **1.1.2.3 Les formations volcaniques**

Le Cameroun est constitué d'un socle précambrien sur lequel repose en discordance des formations sédimentaires subhorizontales méziques et cénozoïques, le paléozoïque peut y être développé. Des accidents profonds affectent le socle et la couverture sédimentaire et guident, notamment au tertiaire et au quaternaire un volcanisme généralement basaltique (Cornachia et R. Dars, 1983). D'après les études géochronologiques, le Cameroun comporte principalement deux zones structurales (Bessoles et Lasserre, 1977) :

- Au sud, le craton du Congo stable, n'ayant subi aucun effet sensible d'événement thermo tectonique panafricain, représenté par le complexe du Ntem.
- Les parties centrales et septentrionales correspondant à la zone mobile de l'Afrique centrale, siège des événements du panafricain, qui constitue la structure essentielle de l'orogénèse panafricaine.

### **1.1.2.4 Aperçu tectonique**

La chaîne panafricaine partout ailleurs (Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale) est polyphasée (Podevin, 1985, 1991, Rolin, 1991) : on parle de quatre phases, voire cinq phases (Affaton, 1975 et al, 1980). Alors qu'en Centrafrique nous avons deux phases (D2 et D3) :

- La direction subméridienne des plis est associée à deux phases tectoniques ébur-néennes (Rolin, 1998) ;
- Les deux autres directions (N45 et N100) sont reliées à deux phases tectoniques panafricaines :
  - La première phase D1 est attachée à une technique de collision tangentielle datée d'environ 640 Ma orientée NNE-SSW. Elle affecte la bordure du craton du Congo et met en place la nappe panafricaine des Gbayas en Centrafrique (Rolin, 1995, 1998) et celle de Yaoundé au Cameroun (Nzenti et al, 1988, Toteu et al, 1989).

- La deuxième phase correspondant à une phase D2 est associée à une tectonique décrochement (Rolin, 1995) dont la direction est N110 en Centrafrique et elle correspond à phase tardi D2 au Cameroun (Toteu et al, 2001, 2004)

## 1.2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 1.2.1 Cadre géographique

#### 1.2.1.1 Localisation

Notre zone d'étude se situe dans la région du littoral entre  $4^{\circ}$  et  $4^{\circ}10'$  de la latitude Nord et entre  $9^{\circ}5'$  et  $10^{\circ}$  de la longitude Est. Elle couvre une superficie d'environ  $2,2 \text{ km}^2$  et est localisée dans le bassin de Douala-Kribi-Campo qui couvre une superficie totale de  $19\,000 \text{ km}^2$  dont  $7\,000 \text{ km}^2$  émergés (Njike Ngaha, 1984). Il se prolonge sous les eaux du Golfe de Guinée par une plate-forme continentale d'une largeur de 25 km (Nguene et al., 1992). Ce bassin comprend deux sous-bassins : le sous-Bassin de Douala et le sous-bassin de Kribi-Campo.

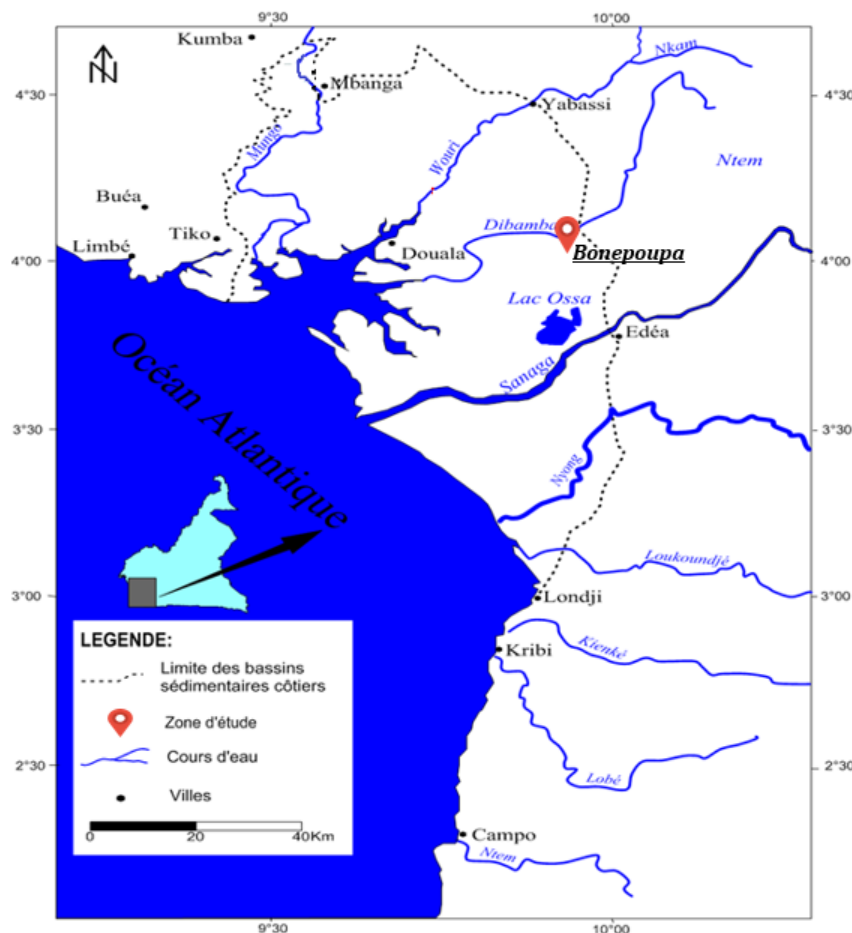


Figure 1.2 – Carte de localisation de la zone d'étude (bonepoupa) d'après Njiké Ngaha (1984), modifiée

### 1.2.1.2 Climat

Le secteur d'étude est arrosé par des pluies de mousson qui ont été appelé pluies de turbulence géographique par (Suchel, 1987). Le climat est caractérisé par une forte humidité. La température varie généralement entre 23°C et 29°C, le mois le plus chaud étant celui de février. Comme le département du Nkam, l'arrondissement de yabassi en général et notre zone d'étude Bonepoupa en particulier est très pluvieux. Les hauteurs annuelles de pluie se situent entre 2900 mm et 3000 mm. La saison sèche va de mi-novembre à mi-mars. Elles résultent directement des turbulences et d'ascendances dues aux inégalités du relief. Ces pluies sont généralement abondantes, de longue durée et de fortes intensités comparables à celles des pluies d'orages. Le climat du secteur d'étude est de type équatorial côtier Nord à deux saisons. On peut également parler de climat de mousson à paroxysme pluviaux, avec une courte saison sèche allant de décembre à février et une longue saison pluvieuse de mars à novembre (Olivry, 1986)

### 1.2.1.3 Hydrographie

L'arrondissement de Yabassi est densément arrosé par de nombreux cours d'eau dont les principaux sont : Le Nkam qui devient le Wouri en aval et se prolonge par une plaine côtière périodiquement inondable, la Dibamba, la Mabombé, le Njanga, la Mahé. Notre zone d'étude, Bonepoupa quant à elle est particulièrement drainée par la Dibamba, longue de 150 km. Elle limite douala par le sud et se jette dans l'océan atlantique.

## 1.2.2 Cadre géologique

L'histoire géologique du Bassin de Douala (Figure12) débute au Crétacé inférieur par la cassure marquant la séparation de l'Amérique du sud et de l'Afrique. Le comblement du bassin commence pendant cette phase de rift initiale avec la mise en place des premiers dépôts de la Formation Mundeck inférieur (Regnault, 1986; Nguene et al., 1992). Ce comblement s'amorce au Barrémien dans le sous-bassin de Kribi-Campo et à l'Aptien dans le sous-bassin de Douala (Nguene et al., 1992; Tamfu et al., 1995).

### 1.2.2.1 Formations du socle

La stratigraphie du sous-bassin de Douala fut établie en 1980 par les stratigraphes pétroliers. Ceux-ci se servant des travaux de recherche antérieurs, Reyre (1959 et 1966), Dumort (1968), et des études des carottes et des déblais des forages profonds. Elle se présente comme suit :

— Crétacé

- Crétacé inférieur :

Discordant sur le socle, Il est représenté par un lithofaciès complexe connu sous le nom de « grès de base ». Ce faciès est décrit par plusieurs auteurs : (Marchesini et al., 1952), Hourcq (1955) et Prudot D'Avigny (1957). Il est constitué de conglomérats polygéniques, de grès arkosiques, et d'argiles schisteuses noires ou grises plus ou moins altérés. Le « grès de base » est encore connu sous le nom de « Mundeck Formation » ou « Formation de Moundeck ». (Njike Ngaha, 1984).

- Crétacé supérieur :

Il est constitué d'un faciès daté au Turonien. Il affleure comme l'essentielle des formations du crétacé inférieur dans la vallée du Mounjo et en bordure de Mbanga où il surmonte le « grès de base » (Reyre, 1966). Ce lithofaciès est constitué d'argiles sableuses à rares intercalations calcaires et des argiles à intercalations de calcaires lumachelliques. Au-dessus de ce lithofaciès repose plusieurs faciès du Sé-nonien constitués d'argiles (sableuses, schisteuses), de calcaires (gréseux), de grès et de sables.

— Tertiaire

● Paléogène :

Au Cameroun, le Paléocène est connu dans la vallée du Moungo, à Bongué et à Dizangué. Il est représenté par des schistes argilo-calcaires et des grès ferrugineux grossiers à stratification entrecroisée (Njike Ngaha, 1984). L'Eocène est constitué d'argiles schisteuses, de grès calcaires ou marneux et de marnes. L'Oligocène Comprend de bas en haut des argiles noires ou brunes avec quelques petits bancs sableux, des sables argileux à fines intercalations calcaires, des sables et graviers alternant avec des argiles plastiques.

● Néogène : Le Miopliocène est constitué de faciès marins régressifs. Il s'agit de sables et d'argiles colorés reposant en discordance sur les termes antérieurs.

— Quaternaire

Le Quaternaire est représenté par des dépôts estuariens constitués d'une alternance de sables fluviatiles souvent grossiers, de vases et limons estuariens. Il s'agit de sables côtiers, des vases noires des mangroves et des alluvions fluviatiles. Ces faciès se sont accumulés sur une grande épaisseur en continuité avec des dépôts Pliocène et jusqu'à la période actuelle.

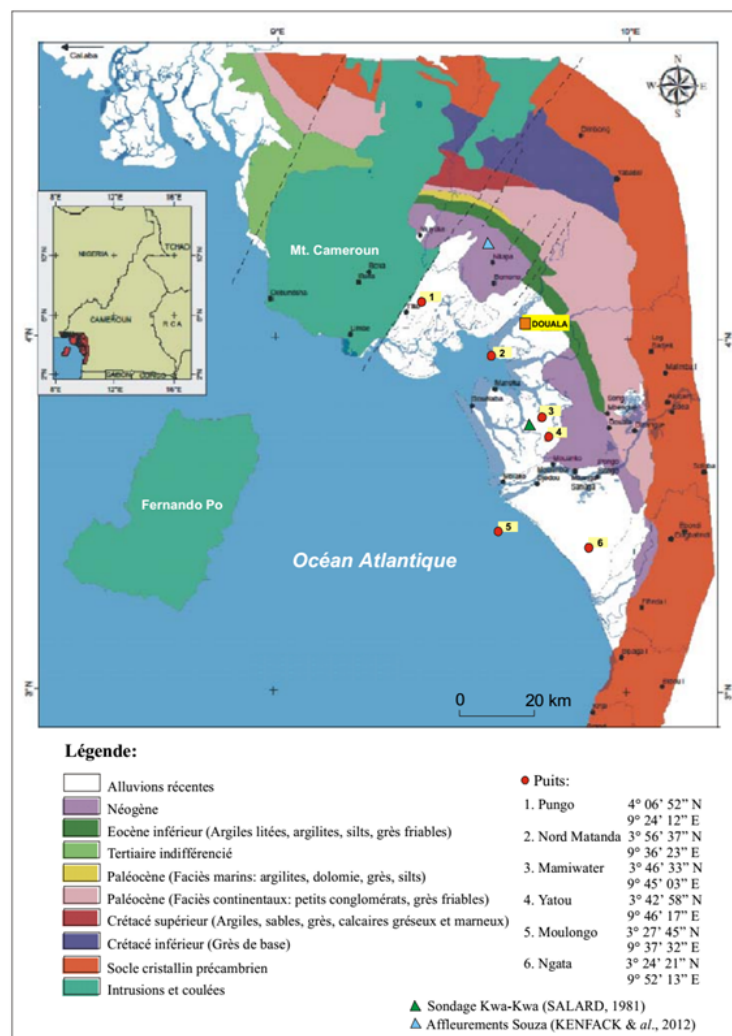


Figure 1.3 – Carte géologique du bassin sédimentaire de Douala

### 1.3 Les travaux antérieurs

Les investigations géophysiques menées dans la région du littoral jusqu'ici ont utilisé essentiellement les méthodes sismiques, gravimétriques, magnétotelluriques et géologiques. Wambo Thierry oscar et al, 2007, ont effectué dans la localité de Mamfe précisément le long du profil Ndwap-Eshobi ; leur objectif était de déterminer le modèle géologique du sous-sol de ladite localité à partir des données héliomagnétotelluriques y recueillis. Après interprétations et exploitations des données, ils ont obtenu les résultats suivants :

- Un fossé géologique Situé entre Ndwap et Esagem2
- Une enclave résistante à Kesham
- Le socle a été atteint à Kesham et à Eshobi
- Quatre failles intra-sédimentaires.
- La station Esagem2 est située sur un terrain assez conducteur. Les sédiments de cette station sont responsables de la faible pénétration des ondes électromagnétiques en cette station

Aux termes de leur travail ils ont proposé un modèle géologique de la localité, mais ce dernier n'était pas tout à fait exact car la gamme de fréquence utilisée n'était pas appropriée pour atteindre l'objectif. Plusieurs études ont été menées dans le du sous-bassin de Douala. Les premiers travaux sont ceux de Reyre (1966) et Belmonte (1966). Ces auteurs remarquent une corrélation entre les facies gréseux de Campo et les facies de cocobeach au Gabon et supposent donc que ces deux bassins sont dans le même prolongement. Par la suite Dumort (1968) en faisant la synthèse de Andreeff (1950), Reyre (1959), (Diebold (1960) et Belmonte (1966) propose une évolution de la paléogéographie mettant en relief deux lacunes stratigraphiques, l'une au Damien et l'autre à l'Oligocène. Salard-Chebouldaef (1977) à travers les méthodes palynologiques met en évidence des formations d'âge Oligocène jusque-là inconnues dans les bassins côtiers du Cameroun. Puis Bergquist (1979) propose que les formations de base du sous-bassin de Douala et de Rio Del Rey sont D'âge Turonien. Cet âge a été ramené au Crétacé inférieur et moyen par des nouvelles méthodes micropaléontologiques (Njiké Ngaha, 1984). Chialvo (1981) propose que les grès datés Albo-Aptien du Nyong (Sud) et ceux du Cénomaniens du Mungo (Nord) sont synchrones. Njiké Ngaha (1984) trouve les éléments volcaniques bien arrondis dans le grès de base de Dibombé et du Mungo. Plus tard Regnault (1986) montre que pendant les 50Ma qui se sont écoulées de l'Yprésien de la formation de N'kapa (Nummulites du forage kwa-kwa 1) au Burdigalien de la formation de Matanda, le talus du sous-bassin de Douala ne conservera presque pas de sédiment à l'exception de la formation de Souellaba, d'âge probablement Oligocène.

### 1.4 LES DIFFERENTES METHODES GEOPHYSIQUES ET PRISE DE POSITION

De nos jours il existe plusieurs méthodes pour étudier la structure interne du globe terrestre, chacune des méthodes utilisant une propriété bien définie des roches.

- Les méthodes potentielles qui sont composés des méthodes gravimétriques (la plus ancienne des méthodes géophysiques se sert de la densité pour déterminer le contraste de densité entre l'encaissant et la roche perturbatrice, responsable d'une anomalie détectable en surface) et magnétiques ;
- Les méthodes sismiques qui se rattachent aux propriétés élastiques des roches et exploitent les vitesses de propagation des ondes sismiques dans les roches ;
- Les méthodes radioactives qui se rattachent aux radioéléments des roches ;
- Les méthodes électromagnétiques et électriques qui se rattachent soit à la conductivité, soit à la

résistivité des roches ;

- Les méthodes géostatistiques qui se rattachent à la distribution spéciale des roches spécifiques.
- La méthode magnétotellurique ; elle a plusieurs dérivées :
  - La radio magnétotellurique, pour les faibles profondeurs
  - L'audio magnétotellurique, pour les moyennes profondeurs
  - L'hélio magnétotellurique, pour des grandes profondeurs

Toutes ces dérivées se servent des mesures effectuées en surface pour déterminer la résistivité des roches. C'est cette technique de prospection qui sera utilisée tout au long de notre travail. Car la plupart des roches cristallines présentent des résistivités caractéristiques de leur contenu minéralogique et de leur porosité. Ces valeurs évoluent de plusieurs ordres de grandeurs. La méthode MT permet ainsi d'identifier la nature des roches et des structures en profondeur grâce à une étude de la fréquence (f) les signaux des ondes magnétiques et des courants telluriques en fonction de la résistivité  $\rho$  des roches du sol. C'est la méthode privilégiée si on souhaite mettre en évidence la présence de fluides dans le sous-sol comme a de grandes profondeurs. Seule la méthode MT peut documenter les paléo-circulations de CO<sub>2</sub>. De par sa nature tensorielle, cette méthode intègre tout naturellement le problème de l'anisotropie et l'hétérogénéité du milieu à étudier. Ces méthodes de prospection géophysiques ont pour objectif principal de connaître les principales techniques d'auscultation et de caractérisation géophysique ainsi que les principes de base des méthodes et leurs champs d'application, recevoir une information technique de base sur les méthodes géophysiques utilisées pour caractériser la proche surface et d'analyser des méthodes adaptées aux besoins d'une problématique donnée.

## Conclusion

Les formations géologiques du littoral Cameroun sont variées et présentent des âges allant de l'archéen au crétacé. Les formations du socle ont été affectées par l'orogénèse libérienne (3300-2500 Ma). Par la suite, elles ont subi à leur bordure des effets de l'orogénèse éburnéenne (2400-1800 Ma). Les formations de la zone d'étude sont constituées de l'argile, des gneiss granulitiques tel que le quartz la tectonique est dominée par de nombreuses failles, mais la nature et la géologie des structures restent encore inconnues. Une fois la géologie et le milieu naturel prospecté connus, nous allons dans ce qui suit, définir le matériel d'acquisition des données et la méthode d'investigation.

### **Introduction**

La méthode magnétotellurique contrairement à la méthode des courants induits dont les fréquences de quelques hertz à plusieurs méga hertz, s'appuie sur les mesures des intensités des champs électromagnétiques oscillants générés par des courants naturels. De par son principe, elle est différente des autres méthodes électriques de prospection basées sur la mesure des variations des potentiels dus à des courants naturels ou artificiels. Les fluctuations dans le temps du champ magnétique terrestre (orages tornades) et les phénomènes électriques (décharges électriques) dont le siège est la haute atmosphère induisent à la surface de la terre des courants naturels appelés courants telluriques. Ceux-ci y circulent en larges lacs et génèrent un champ électromagnétique appelé champ magnétotellurique (Telford et al; 1990; Parasis, 1997). Ce champ se propage dans l'écorce terrestre par l'effet de l'eau, grâce aux propriétés électriques des roches accentuées par leurs porosités et les électrolytes dissouts dans l'eau qu'elles contiennent(zhdanov,2009). Cagniard (1953), le précurseur de la méthode magnétotellurique(MT), établi que le rapport des champs électriques et magnétiques ne dépend que de la fréquence et de la résistivité du sol, et permet de déterminer la résistivité du sol avec la profondeur. Il avait au préalable supposé un sous-sol homogène. Des années plus tard, Niblett et Sayn-wittgenstein (1960) et Bostick (1977) contribuèrent à l'amélioration de la méthode. Nous présenterons ici la méthode audio-magnétotellurique et sa technique d'acquisition des données.

### **2.1 La méthode magnétotellurique.**

La magnétotellurique (MT) est une méthode de prospection géophysique passive appartenant aux méthodes électromagnétique basse fréquence. Développée parallèlement par Tikhonov(1950) et Cagniard(1953), elle fournit des informations sur la distribution des conductivités électriques des roches souterraines. La méthode audio-magnétotellurique(AMT) utilisée dans ce travail est une variante de la méthode MT. Elle couvre essentiellement les fréquences audibles entre 1 et 5 kHz environ (vozoff,1972), tandis que la méthode MT comprend des périodes plus longues qu'une seconde.



### 2.1.1 Fondements de la méthode

La méthode Audio-magnétotellurique est fondée sur l'existence du champ électromagnétique naturel qui se propage dans le sol. D'origine lointaine (ionosphère) et générés essentiellement par l'interaction du vent solaire avec l'environnement terrestre, ces courants telluriques se propagent par l'induction dans les couches internes du globe terrestre. Les champs EM associés sont enregistrés à la surface de la terre en prospection terrestre ou sur le fond marin en prospection marine. Cagniard (1953) a établi que le rapport des champs électrique et magnétique ne dépendaient que de la fréquence, et permettaient de déterminer les variations de la résistivité en fonction de la profondeur. Il avait au préalable suppose un sous-sol homogène ou tabulaire. Cantwell (1960) proposa des procédés qui permettaient de déterminer les effets de l'anisotropie et de l'inhomogénéité des structures 2D dans le sol, et qui prenait plus sérieusement en compte les variations latérales de la conductivité dans la terre. Ce traitement est rendu possible par l'étude de la propagation des ondes EM dans le sol .

### 2.1.2 Théorie de la méthode.

Le phénomène de l'induction électromagnétique est décrit par les équations de Maxwell. Ces équations décrivent le champ électrique et le champ magnétique en fonction des paramètres du milieu. Pour une onde EM plane se propageant dans un milieu homogène, isotrope et diélectrique, les équations de Maxwell s'écrivent (Marquis 2004).

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

Le milieu étant homogène et peu conducteur, la conductivité est uniforme et il n'y a pas d'accumulation locale de charges électriques :  $\frac{\partial \Psi}{\partial t} = 0$ , où  $\Psi$  représente la densité de la charge électrique. Les trois autres équations de Maxwell s'écrivent comme suit :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = -\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (2.2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.4)$$

Avec

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}; \vec{D} = \epsilon \vec{E}; \vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.5)$$

Où  $E$ [v/m] est vecteur champ électrique,  $B$  [v.s/{m<sup>2</sup>}] est le vecteur d'induction magnétique, est le vecteur champ magnétique,  $D$  [A.s/m<sup>2</sup>] est le déplacement diélectrique,  $\vec{J}$  est le vecteur de la densité de courant électrique et les paramètres caractéristiques des propriétés physiques du milieu sont la permittivité diélectrique,  $\sigma$ [A/V.m] la conductivite électrique et  $\mu$ [V.s/A.m] la perméabilité magnétique. A partir de ces équations de Maxwell, il est possible d'établir les équations de diffusion des ondes EM dans le sol.

### 2.1.3 Équation de propagation d'une onde électromagnétique dans le sol.

Etablir l'équation de diffusion des ondes EM dans le sol revient à composer les équations (2.1) et (2.2) par le rotationnel, en y intégrant les équations (2.5). De plus, l'identité vectorielle stipulant que :

$$\nabla * \nabla * \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \Delta \vec{A} \quad (2.6)$$

On obtient respectivement l'équation du champ électrique et du champ magnétique (marquis, 2004) :

$$\Delta \vec{E} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.7)$$

$$\Delta \vec{H} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (2.8)$$

La structure de ces deux dernières équations suggère une solution sinusoïdale dépendante du temps du champ  $\vec{E}(t) = \vec{E}_0 e^{j\omega t}$   $\vec{H}(t) = \vec{H}_0 e^{j\omega t}$  de pulsation  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  est la fréquence et  $j^2 = -1$ . En remplaçant ces solutions dans les équations (2.7) et (2.8), l'équation de diffusion des champs électrique et magnétique devient :

$$\Delta \vec{E} = (j\omega\mu\sigma - \omega^2\mu\varepsilon) \vec{E} \quad (2.9)$$

$$\Delta \vec{H} = (j\omega\mu\sigma - \omega^2\mu\varepsilon) \vec{H} \quad (2.10)$$

Le terme  $j\omega\mu$  décrit ici la conduction et  $\omega^2\mu\varepsilon$  décrit le déplacement. La prospection AMT s'effectue essentiellement dans le domaine des basses fréquences. Dans ce travail, on a  $f_{\max} \leq 2300Hz$ , par approximation maximale ( $\omega_{\max} = 2.10^4 rad.s^{-1}$ ;  $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_l = 80\varepsilon_0$  où  $\varepsilon_0$  est la permittivité du vide et  $\varepsilon_l$  celle de l'eau), on montre que dans les milieux homogènes tel que la terre, l'inégalité  $\omega^2\mu\varepsilon \ll \omega^2\mu\sigma$  est toujours vérifiée :  $\sigma \gg \varepsilon\omega$ , les courants de conduction dominent les courants de déplacement. C'est l'approximation des états quasis-stationnaires de basse fréquence. L'équation de diffusion pour les champs électriques et magnétiques se réduit à :

$$\Delta \vec{E} = j\omega\mu\sigma \vec{E} \quad (2.11)$$

$$\Delta \vec{H} = j\omega\mu\sigma \vec{H} \quad (2.12)$$

Ceci étant, posons :  $k^2 = -j\omega\mu\sigma$  on a :

$$k = \pm\sqrt{i}\sqrt{\omega\mu\sigma} = \pm\sqrt{\omega\mu\sigma} e^{i\pi/4} = \pm(1+i)\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = (1+i)v \quad (2.13)$$

avec :

$$v = \pm\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$$

$k$  représente ici le carre du nombre d'onde qui caractérise les interactions entre les champs électromagnétiques et les propriétés du milieu ( $\mu, \sigma$ ) suivant la fréquence de diffusion . L'équation de diffusion devient donc :

$$\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (2.14)$$

$$\Delta \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (2.15)$$

Pour étudier l'influence du sol sur les champs électromagnétiques appliqués, la résolution de cette équation s'impose.

## 2.1.4 Solution de l'équation de diffusion

Soit un milieu matériel hétérogène muni d'un repère (o, i, j, k). Considérons une onde électromagnétique plane et sinusoïdale diffusant depuis la surface ( $z=0$ ) suivant la verticale des  $z$  positifs et supposons la structure étudiée allongée dans la direction  $y$  (figure 2.1). On mesure en suite le champ magnétique et le champ électrique dans les deux directions des axes principaux. C'est à dire selon l'axe de la structure étudiée ( $oy$ ) et selon la direction de mesure et le champ mesure, on distingue ainsi deux

modes de polarisation à savoir : le mode de polarisation électrique ou transverse électrique (TE) où le champ électrique est horizontale est parallèle à la structure étudiée et les composantes du champ électromagnétique sont  $H_y$ ,  $E_x$  et  $E_z$  et à l'inverse, le mode de polarisation magnétique ou transverse magnétique (TM) où le champ magnétique horizontale est parallèle à la structure étudiée et les composantes du champ électromagnétique sont ici  $E_y$ ,  $H_x$  et  $H_z$ . L'interprétation des équations de diffusion dépend du type de structure étudiée. Nous avons des structures tabulaires qui correspondent à un empilement de couches horizontales et homogènes, les structures non tabulaires correspondantes à celles où des hétérogénéités sont retrouvées sur le plan horizontale.

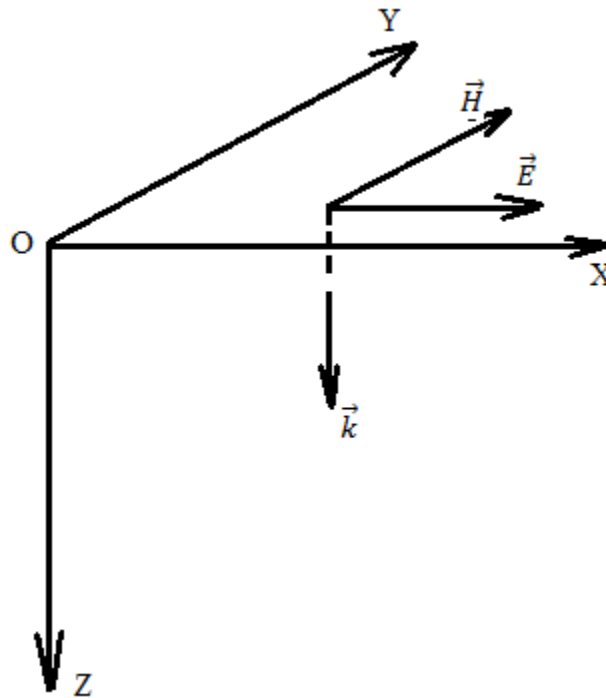


Figure 2.1 – Diffusion d'une onde plane sinusoïdale dans un milieu matériel

L'interprétation des équations de diffusion dépend du type de structure étudiée. Nous avons les structures tabulaires qui correspondent à un empilement des couches horizontales et homogènes et les structures non tabulaires correspondantes à celles où les hétérogénéités sont retrouvées sur le plan horizontal (Ngando, 2011).

#### 2.1.4.1 Cas d'une structure tabulaire

La structure étant constituée d'un empilement de couches horizontales, la conductivité varie uniquement avec la profondeur  $z$  et les vecteurs champ  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$  sont constants dans le plan horizontal. On a alors :

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\partial E}{\partial y} = \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial H}{\partial y} \quad (2.16)$$

L'équation de diffusion s'écrit dans ce cas :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (2.18)$$

Les champs  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$  s'annulant à des profondeurs infinies(z), la solution de cette equation de diffusion s'écrit alors :

$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}_0 e^{-j(kz-\omega t)} = \vec{E}_0 e^{-j(\omega t-vz)} e^{-vz} \quad (2.19)$$

$$\vec{H}(z, t) = \vec{H}_0 e^{-j(kz-\omega t)} = \vec{H}_0 e^{-j(\omega t-vz)} e^{-vz} \quad (2.20)$$

$E_0$  et  $H_0$  sont les valeurs du champ électrique et magnétique à la surface et  $k = (1 + i) v$  le nombre d'onde électromagnétique avec  $v = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$  En utilisant l'équation (2.1) on obtient :

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} \quad (2.23)$$

Le champ magnétique H se propageant verticalement suivant la direction z. D'après l'hypothèse des ondes valable jusqu'à la période 10000 secondes environ (soit environ 0.0001 Hz) pour les valeurs de résistivité rencontrées dans le sol, le champ électrique n'a pas de composante suivant z ( $E_z=0$ ), cela implique également que la composante  $B_z$  soit nulle ( $B_z=0$ ). En intégrant les équations (2.19), (2.20) aux équations (2.21) et (2.22), on obtient les égalités suivantes :

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} - ikE_x = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = -i\omega\mu H_y \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} - ikE_y = -\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = -i\omega\mu H_x \quad (2.25)$$

On peut ainsi définir l'impédance magnétotellurique de Tikhonov-Cagniard, résultante du rapport entre le champ électrique et le champ magnétique a une fréquence donnée par :

$$Z(\omega) = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x} = \frac{\omega\mu}{k} \quad (2.26)$$

E et H étant déphasés, z est donc un nombre complexe. Il possède une phase et un module. Dans le milieu homogène, la phase est de  $15^\circ$  (égale à l'argument de z) et le module vaut :

$$|z|^2 = \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 = \frac{\omega\mu}{\sigma} \quad (2.27)$$

Le module de z est relié directement à la résistivité apparente  $\rho_a$ . Cette dernière est égale à la résistivité vraie mesurée en surface si le milieu est homogène. Elle est donnée par l'équation :

$$\rho_a = \frac{|z|^2}{\omega\mu} \quad (2.28)$$

### 2.1.4.2 Cas d'une structure non tabulaire

La conductivité ne dépend plus uniquement de l'axe vertical, elle varie aussi latéralement. C'est la situation rencontrée dans le cas des structures telles qu'une faille, un fossé ou de toute autre anisotropie dans le plan horizontal. L'impédance magnétotellurique  $z$  est alors un tenseur (Zhdanov, 2009), il est donné par l'équation suivante :

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (2.29)$$

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} \text{ et } Z_{yx} = \frac{E_y}{H_x} \quad (2.30)$$

$$\rho_{axy} = \frac{|Z_{xy}|^2}{\omega\mu} \text{ et } \rho_{ayx} = \frac{|Z_{yx}|^2}{\omega\mu} \quad (2.31)$$

Où  $\rho_{axy}$  est la résistivité apparente du mode transverse magnétique (TM) et  $\rho_{ayx}$  la résistivité apparente du mode transverse électrique (TE). Si les axes choisis sur le terrain coïncident avec les directions des structures, alors on aura :  $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$ . Dans les équations (2.19) et (2.20), la première exponentielle  $e^{i(\omega t - vz)}$  représente une variation harmonique de l'onde en fonction du temps dont on remarque le changement de la phase pour chaque profondeur ( $z$ ). La deuxième exponentielle  $e^{-vz}$  représente l'atténuation de l'onde. Cela nous amène à définir la profondeur de pénétration (l'effet de peau) :

$$\delta(m) = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu_0}} \cong 503\sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad (2.32)$$

Où  $T[s]$  est la période,  $\omega[\text{rad/s}]$  la pulsation,  $\sigma[A/V.m]$  la conductivité électrique et  $\mu_0 = \frac{4\pi \times 10^{-7} H}{m}$  la perméabilité magnétique du vide. Cette profondeur est celle à laquelle l'amplitude de l'onde diminue d'une valeur de  $e = 2,718$  (logarithme népérien) par rapport à sa valeur en surface. La profondeur de pénétration diminue avec l'augmentation des fréquences et de la conductivité électrique (Marquis, 2004). D'une courbe théorique  $g(m)$  pour des valeurs des paramètres (nombre de couches, résistivité épaisseur) dans l'hypothèse tabulaire.

## 2.2 Appareillage et techniques d'acquisition des données en magnétotellurique

### 2.2.1 Appareillage



Figure 2.2 – Appareillages d'acquisition des données AMT sur le terrain

Partant du fait que les données à notre possession sont des données audio magnétotellurique (AMT), nous allons dans cette partie décrire de façon générale les dispositifs utilisés pour l'acquisition des données audio magnétotellurique. Les appareils de mesures AMT (figure 2.2), sont des dispositifs transportables constitués de 4 grands ensembles :

- Un ensemble contenant 5 électrodes impolarisables et constitué chacune d'un alliage ciment-plâtre; elles sont placées respectivement suivant les directions N, S, E et W et permettent de mesurer les composantes horizontales du champ électrique. Pour des raisons pratiques, la composante verticale du champ électrique n'est pas mesurée (Périer Falco, 2006). 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/bruit.
- Un circuit d'amplification constitué d'un préamplificateur et d'un amplificateur. Le préamplificateur 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 permettant de visualiser les signaux améliorés.
- Un magnétophone TEAC à quatre pistes, permettant un enregistrement analogique des quatre composantes horizontales du champ électromagnétique.

## 2.2.2 Acquisition des données

### 2.2.2.1 Principe

Pour chaque valeur de la fréquence les variations du champ  $\vec{E}$  sont calculées à partir de la mesure de la différence de potentiel. Entre deux électrodes métalliques enfoncés dans le sol et qui détermine la ligne tellurique. Les variations du champ  $\vec{H}$  sont en même temps enregistrées grâce à un capteur métallique. Des canaux identiques enregistrent, amplifient et filtrent les signaux électriques et magnétiques qui sont testés par un micro-processeur qui calcule et affiche les valeurs moyennes des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$  et enfin de  $\rho_a$ . En raison du caractère aléatoire des champs enregistrés, il faut prendre des dispositions pour améliorer la qualité des données. Pour se faire, on procède tour à tour à : L'intégration numérique des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$  à intervalle de temps fixe L'élimination automatique des séquences perturbées par des sources électriques. La multiplication des relevés des valeurs des composantes de  $\vec{E}$ , de  $\vec{H}$  et de  $\rho_a$  à une même fréquence. La paire de valeur composante de  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$  permet d'apprécier le rapport signal-bruit,  $\frac{s}{B}$  pour un dispositif de mesure donnée. Quand ce rapport est faible, il en résulte une grande dispersion de valeur de la résistivité apparente notamment dans le cas des mesures faites à proximité des réseaux hautes tensions ou des émetteurs d'ondes électromagnétiques. Un accroissement de la ligne des valeurs telluriques permet souvent d'accroître le rapport  $\frac{s}{B}$ .

### 2.2.2.2 Le GPS

Il permet d'obtenir en temps réel et partout sur la surface d'étude les positions géographiques (Latitude, Longitude et Altitude) des stations de mesure, la distance entre les stations de mesure, la direction des axes de mesure à vol d'oiseau, l'enregistrement des stations et bien d'autres.



Figure 2.3 – GPS Garmin

Il a été établi plus haut que l'étude d'une structure complexe 3-D par exemple, nécessite la mesure simultanée des composantes de  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$ . Le dispositif de mesure sera de type tensoriel comportant deux canaux magnétiques et deux canaux telluriques pour mesurer simultanément  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ . Mais pour une structure 2-D, il suffit d'avoir un dispositif de mesure de type scalaire, comportant un canal magnétique et un canal tellurique pour mesurer successivement les paires  $(E_x, H_y)$  et  $(E_y, H_x)$  qui fournissent les valeurs  $\rho_{xy}$  et  $\rho_{yx}$  de la résistivité apparente en modes TE et TM, respectivement. On sait que dans la rotation des axes de mesure ou axes de coordonnées, lorsque ces derniers coïncident avec les axes principaux de la structure 2-D, les valeurs de  $Z_{xx}$  et  $Z_{yy}$  passent par un minimum nul, tandis que celles de  $Z_{yx} = Z_{\perp}$  et  $Z_{xy} = Z_{\parallel}$  passent l'une par un maximum et l'autre par un minimum (Ritz, 1982; Manguelle-dicoum, 1988). On détermine ainsi la direction d'une structure 2-D par rotation de la ligne tellurique en repérant la direction qui correspond à  $\rho_{\min} = \rho_{\parallel}$  et  $\rho_{\max} = \rho_{\perp}$ . C'est le principe du sondage de rotation (Manguelle-dicoum, 1988).

### 2.2.2.3 Dispositif expérimental

L'évolution des technologies de pointe a permis de doter la méthode magnétotellurique d'équipements performants d'acquisition de données, comportant des systèmes de traitement de données sur site (Ritz, 1982; Vozoff, 1990).

Mais on utilise encore des dispositifs de mesure simple et robuste, faciles à manœuvrer, et qui permettent de réaliser des mesures avec grande fiabilité. C'est le cas des dispositifs scalaires de mesure, notamment dans la gamme des fréquences audio, caractérisés par la rapidité de manœuvre et des résultats intéressants malgré le caractère quelques fois primitif des équipements. La méthode Audio Magnétotellurique (A.M.T.) ne fait que renforcer ses atouts avec l'apparition récente de systèmes A.M.T. tensoriels (Gex, 1990; Vozoff, 1990).

La prospection sur le terrain, pour le présent travail, a été réalisée grâce à un dispositif A.M.T. scalaire dans la gamme de fréquence allant de 4.1 à 2300 Hz (3 décades). Ce dispositif se compose notamment :

- D'un résistivimètre type ECA 542 mis au point au C.R.G. de Garchy (France) et fabriqué par la Firme ECA-PARIS.
- D'un magnétomètre constitué d'une bobine d'induction.

- De deux électrodes métalliques
- D'accessoires de connexion et de mise en œuvre du dispositif de mesure.

Ce dispositif a été testé et largement utilisé dans de nombreuses campagnes de reconnaissance. Les caractéristiques techniques et les performances de ce dispositif sont largement présentées par Ballestracci (1983), Benderitter (1978) et Manguelle Dicoum (1988).

### 2.2.3 Analyse des données

Dans les conditions normales, ni  $\vec{E}$ , ni  $\vec{H}$  ne sont polarisés linéairement, de sorte que les données comportent un mélange de signal et le bruit sur une large gamme de fréquence (Vozoff, 1990). Aussi, pour extraire l'information sur la résistivité du sous-sol à partir des données, il s'avère nécessaire :

- De bien faire ressortir la relation entre la résistivité apparente et la fréquence dans un site donné.
- De révéler les ressemblances entre les sites.
- De localiser les anomalies significatives de  $\rho_a$ .

Nous présentons ci-dessous différents mode de présentation des données en vue d'une analyse qui conduit à la détermination des structures de résistivité électrique par comparaison avec des modèles.

#### 2.2.3.1 Courbes de sondage

La présentation initiale des données brutes consiste à représenter, à chaque site et chaque polarisation, la résistivité apparente en fonction de la fréquence sous la forme :  $\log(\rho_a) = f(\log \sqrt{T})$  Les données se présentent généralement sous la forme d'un nuage de points plus ou moins dispersés dû au bruit. Cette dispersion est réduite par lissage manuel et par animation des valeurs aberrantes de  $\rho_a$ . Des méthodes analytiques peuvent également être à cet effet. La meilleure courbe de sondage est choisie quelques fois avec données. A chaque fréquence, les profils iso fréquentiels de  $\rho_a$  couvrant l'ensemble des stations de sondage permettent de localiser les zones de discontinuités. Les minima de  $\rho_a$  sont généralement associés aux amas conducteurs, dykes, failles ou contacts géologiques notamment en mode T.M.

#### 2.2.3.2 Profils résiduels de résistivité apparente

Une importante dispersion des valeurs de  $\rho_a$  par fréquence peut être provoquée par la déformation des champs électriques locaux, due à des hétérogénéités superficielles. Cette dispersion dépendra des dimensions de la structure source de la déformation, et de la longueur comparable à la profondeur d'investigation. On peut aussi simuler l'effet d'un dipôle qui couvrirait l'ensemble des stations de mesure (Koziar et al., 1978). Si N est le nombre de stations consécutives de mesure tels que les dipôles soient adjacents, et  $\rho_{ai}$  la résistivité apparente à la station  $A_i$ , la valeur moyenne régionale de l'impédance pour l'ensemble des stations du profil est, pour une période T donnée.  $Z_{ay} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i$  avec  $Z_i = \sqrt{\frac{\rho_a}{KT}}$  La valeur moyenne régionale de la résistivité apparente est donnée par la relation de Cagniard (1953), soit :  $\rho_{ay} = KT|Z_{ay}|^2$

où k est une constante, et T la période. On peut donc calculer la résistivité  $\rho_{av}$ , pour T donnée, quand on connaît les valeurs  $\rho_{ai}$  de toutes les stations par la relation (Koziar et al., 1978).  $\rho_{av} = \left[\frac{1}{N}\right]^2 \left[\sum_{i=1}^N \sqrt{\rho_{ai}}\right]^2$

La validité de cette relation n'est pas toujours assurée, car elle suppose l'invariance du champ magnétique et la continuité du profil de dipôles. Mais la valeur ainsi estimée de  $\rho_{ay}$  permet de repérer un niveau de référence pour une comparaison des valeurs de  $\rho_a$  à une même fréquence sur un profil de mesure. En effet, la localisation et la délimitation des zones plus conductrices ou plus résistantes par rapport à la moyenne permettent, par suite d'identifier les unités géologiques mieux que la considération des seules valeurs



de la résistance apparente (Koziar, 1978). C'est dans ce cadre que le rapport  $\frac{\rho_a}{\rho_{ay}}$ , calculé par station et pour chaque fréquence, joue un rôle important. Les valeurs de  $\log\left(\frac{\rho_a}{\rho_{ay}}\right)$  ainsi calculées constituent ce que Koziar (1978) désigne par "profils résiduels". Sur chaque profil résiduel, aux valeurs négatives de  $\log\left(\frac{\rho_a}{\rho_{ay}}\right)$  correspondent des zones plus conductrices alors qu'aux valeurs positives correspondent des zones plus résistantes, pour une polarisation donnée. En conclusion, cette autre représentation des données mettra davantage en évidence les variations latérales importantes de  $\rho_a$  notamment au niveau des contacts géologiques et des failles.

### 2.2.3.3 Coupes semi-quantitatives ou pseudo-sections

La pseudo-section constitue la représentation des données la plus utile pour une évaluation qualitative. Elle offre, en effet, une image simultanée des variations latérales et verticales de la résistivité apparente (Koziar et al., 1978; Kaikkonen et al., 1984).

- Pseudo-section de résistivité apparente : A chaque polarisation, la pseudo-section de  $\rho_a$  est construite à partir d'une matrice dont les colonnes correspondent valeurs de  $\rho_a$  à une même station pour des valeurs décroissantes de la fréquence vers le bas, alors que les lignes correspondent aux valeurs de  $\rho_a$  à une fréquence donnée. La fréquence (ou  $\log(F)$ ), étant portée en ordonné et les stations en abscisse, la pseudo-section de  $\rho_a$  sera constituée de contours d'iso-résistivité selon le pas choisi, Les contours sont réalisés soit par méthode visuelle, soit par des méthodes analytiques. Ces dernières, de plus en plus utilisées, calculent à l'aide de logiciels d'interprétation, les valeurs de  $\rho_a$  d'une matrice de points géométriquement équidistants. La méthode analytique procède par ajustement des courbes de sondage à un polynôme de la forme :  $\log \rho_a = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i (\log f)^i$  ( $f$ , la fréquence,  $a_i$ , le coefficient à déterminer) Et par interpolation sur les courbes ajustées. Les valeurs limites de la fréquence étant fixées, un polynôme d'ordre (n-1) suffit pour ajuster une courbe du modèle à n terrains (Koziar et al., 1978). Une pseudo-section présente généralement des contours d'iso- $\rho_a$  soit horizontaux et parallèles si le sous-sol est un modèle tabulaire, soit verticaux à gradient latéral important au contact, dykes, fractures ou failles.
- Pseudo-section d'anisotropie apparente :

Construite suivant le même procédé, une coupe semi-quantitative de  $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_{\perp}}{\rho_{\parallel}}}$  permet de distinguer sur un seul diagramme :

- Les zones sensiblement isotropes des zones fortement anisotropes.
- Les zones d'anisotropie différentes.

Elle permet donc de suivre les variations de la direction des axes principaux d'anisotropie. La pseudo-section d'anisotropie est susceptible d'être d'un grand rapport au moment de la modélisation initiale.

## Conclusion

En somme, la méthode audio magnétotellurique a été largement étudiée par de multiples auteurs qui ont vulgarisé plusieurs algorithmes et programme d'inversion et de modélisation des données y afférant (Newman and Alumbaugh, 2000; Marescot, 2000). A la suite des données analysées et traitées, il ne reste plus qu'à les exploiter pour une interprétation afin de proposer un modèle géologique donne du profil étudié, suggéré par les différentes courbes à tracer au chapitre suivant.

### Introduction

Le traitement des données géophysiques requiert une connaissance aiguisée des outils et de la modélisation. Bien que le plus dur réside souvent dans l'usage de ces derniers, le fait qu'il faut tenir compte de la réalité géologique du terrain et obtenir des modèles avec une marge d'erreur minimale. L'objectif de ce chapitre sera de présenter les résultats obtenus, tout d'abord à travers une visualisation du profil et des différents points de mesure utilisés à nos stations, une analyse des différentes courbes et sections obtenues par modélisation le long de ce profil. Enfin, nous clôturons ce chapitre par une discussion, suivie d'une conclusion.

### 3.1 Logiciels utilisés et description du profil

#### 3.1.1 Logiciels utilisés

Plusieurs logiciels et programmes ont été utilisés pour réaliser ce travail :

- Editeurs d'images GIMP : logiciel de dessin intégré à linux, il nous a permis de dessiner les modèles géophysiques.
- MAPINFO : Logiciel de système et d'information géographique, il nous a permis de redessiner la carte géologique de la zone d'étude et ses environs.
- Excel : C'est un tableur de calcul permettant de générer des tableaux et des graphes. Il nous a permis de tracer les profils de résistivité. Il nous a permis de réorganiser les données et de générer des fichiers de données lisibles pour le logiciel d'interprétation.
- Paint : Logiciel de dessin intégré à Windows, il nous a permis d'améliorer la clarté de nos cartes.
- Ipi2Win(MT) : C'est un logiciel de modélisation ID des données MT. Par inversion des données, il nous a permis de tracer les courbes de sondage, les pseudo-sections et les sections géo-électriques de notre profil.
- Google Earth : Il nous a permis de télécharger des images récentes de la zone d'étude.

### 3.1.2 Description du profil étudié

Le profil suivant lequel ont été effectués les sondages AMT a une longueur d'environ 10 km et est constitué de 5 stations à savoir : stations Y1, Y2, Y3, Y4 et Y5. Ce profil est orienté suivant la direction W-E.

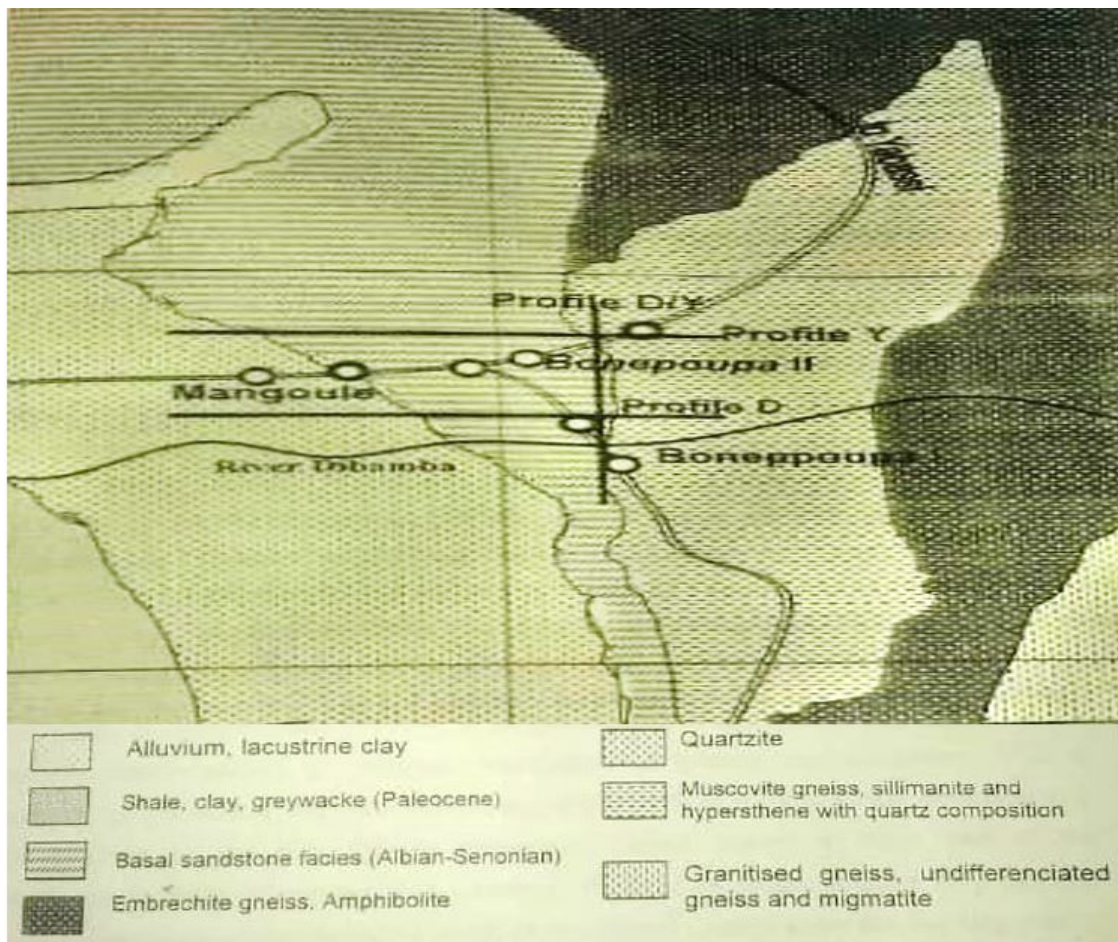


Figure 3.1 – Carte géologique de la zone d'étude

### 3.1.3 Analyse des courbes de sondage

Les courbes de sondage (figures suivantes) ont été soumises à une interprétation 1-D à l'aide du logiciel d'inversion ipi2Win (MT). Le choix du nombre de couches a été conditionné par l'information géologique : quatre couches pour chaque station. Les valeurs du Root Mean Square (RMS) des différentes courbes contribuent également à la validation des modèles géologiques. Ces différentes courbes de sondage nous renseignent sur la disposition verticale des couches suivant le profil étudié. Les paramètres tels que le nombre de couches, l'épaisseur et la résistivité  $\rho$  sont consignés. Dans le cadre de notre travail, ces valeurs du RMS pour les cinq stations varient entre 0.51% et 3.96%. Ce qui explique la dissemblance entre les courbes théoriques et expérimentales.

Tableau 3.1 – Résistivités apparentes et épaisseurs des couches dans différentes stations

Stations	Résistivités app / $\Omega.m$	Epaisseur /m
Y <sub>1</sub>	00.71	08.90
	65.60	10.70
	01.66	72.80
	626.00	Infinie
Y <sub>2</sub>	13.44	13.68
	04.37	45.24
	09.83	66.35
	02.55	Infinie
Y <sub>3</sub>	30.12	14.28
	07.36	35.88
	04.32	33.63
	00.60	Infinie
Y <sub>4</sub>	21.88	11.37
	178.40	14.24
	26.24	79.95
	224.10	Infinie
Y <sub>5</sub>	03.94	11.00
	32.80	17.20
	03.68	63.70
	98.60	Infinie

La station Y1 présente un terrain à quatre couches. La première couche est la plus conductrice (0,71  $\Omega.m$ ) et a une épaisseur de 8,90 m. Cette couche pourrait de par sa faible résistivité regorger des ressources naturelles telle que de l'eau. On remarque également un saut de valeur de la résistivité entre la première et la deuxième couche qui passe de 0,71  $\Omega.m$  à 65,60  $\Omega.m$  et une chute de cette valeur lorsqu'on passe de la couche 2 à la couche 3; une remontée brusque de cette valeur de résistivité est observée quand on passe de la couche 3 à la couche 4 (de 1,66  $\Omega.m$  à 626  $\Omega.m$ ). Ce contraste d'environ 625  $\Omega.m$  de résistivité pourrait nous faire remarquer que cette station repose sur les formations sédimentaires et qu'on est proches des formations plus résistantes. Dans cette station. La dernière couche a la particularité d'être la plus résistante (626  $\Omega.m$ ) avec une épaisseur infinie. Cette remontée à la fin de la courbe laisse croire que l'on envisage le socle.

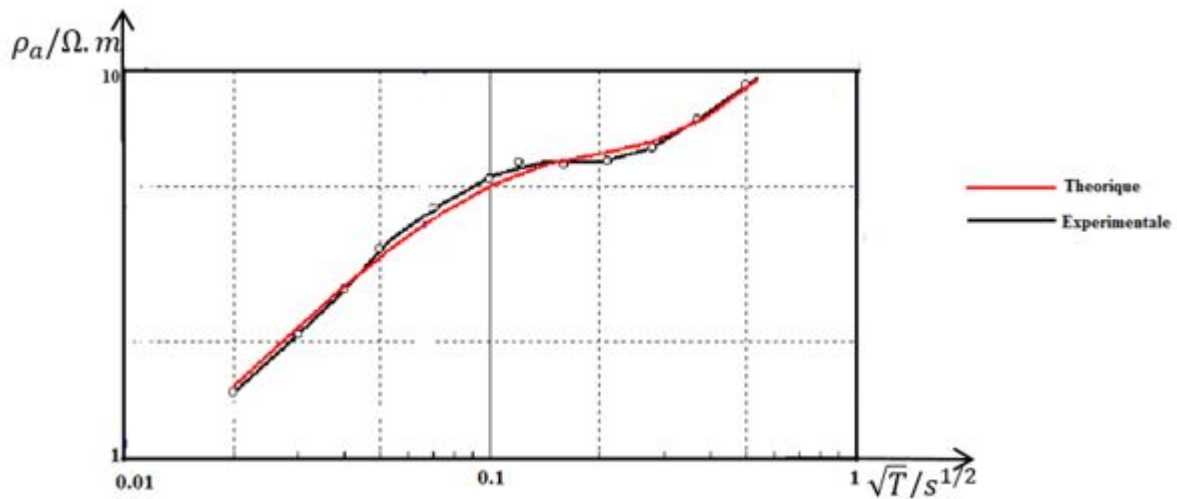


Figure 3.2 – Courbe de sondage de la station Y1. RMS : 0.51%

La station Y2 présente un terrain à 4 couches. Elle est caractérisée par un sous-sol assez conducteur (résistivités inférieures a 20  $\Omega.m$ ) avec la particularité pour la première couche d’être la plus résistante avec une épaisseur de 13,68 m. la quatrième couche est la plus conductrice (2,55  $\Omega.m$ ) ayant une épaisseur infinie. Ceci nous penser que, comme la première station cette deuxième station repose sur les formations sédimentaires. Mais nous envoisons par contre en profondeur un sol plus conducteur.

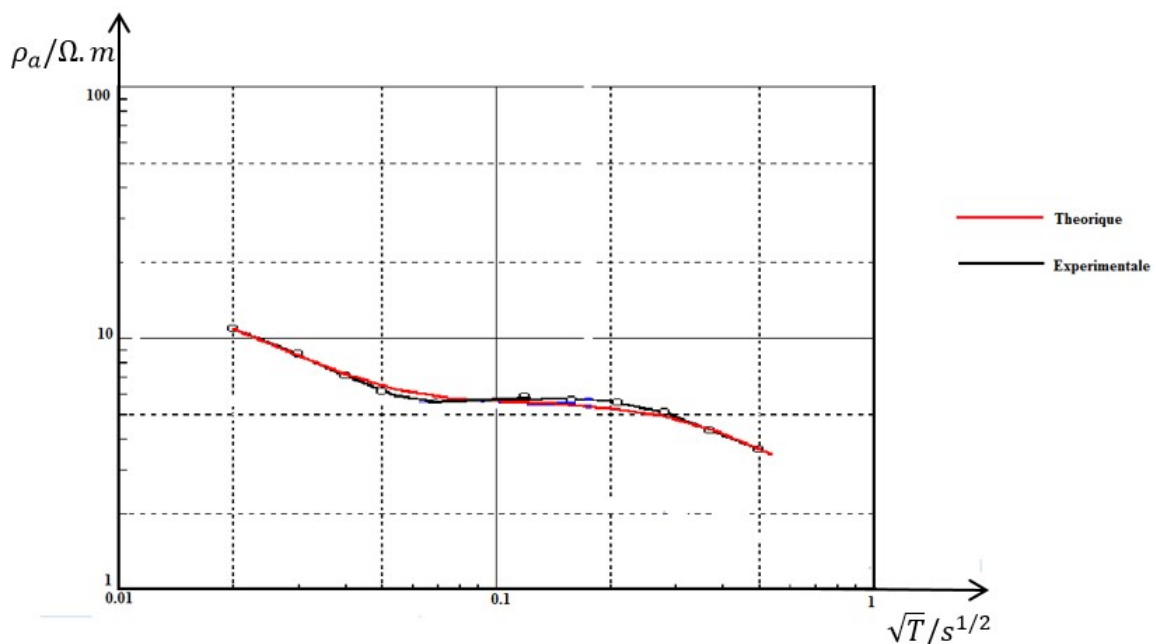


Figure 3.3 – Courbe de sondage de la station Y2 . RMS : 0.51%

La station Y3 présente également un terrain à 4 couches. La première couche est la plus résistante (30  $\Omega.m$ ) et une épaisseur de 14,28 m. la quatrième couche est la moins résistante (0,60  $\Omega.m$ ) avec une épaisseur infinie. Les deuxièmes et troisièmes couches ont respectivement des résistivités de 7,36  $\Omega.m$  et 4,32  $\Omega.m$ . ces valeurs très faibles de résistivités des couches dans cette station nous permet de conclure

que le sol à ce niveau est composé de matériaux assez conducteurs. la marge d'erreur ici est faible (1.97%). ce qui pourrait de la validité du modèle théorique obtenu.

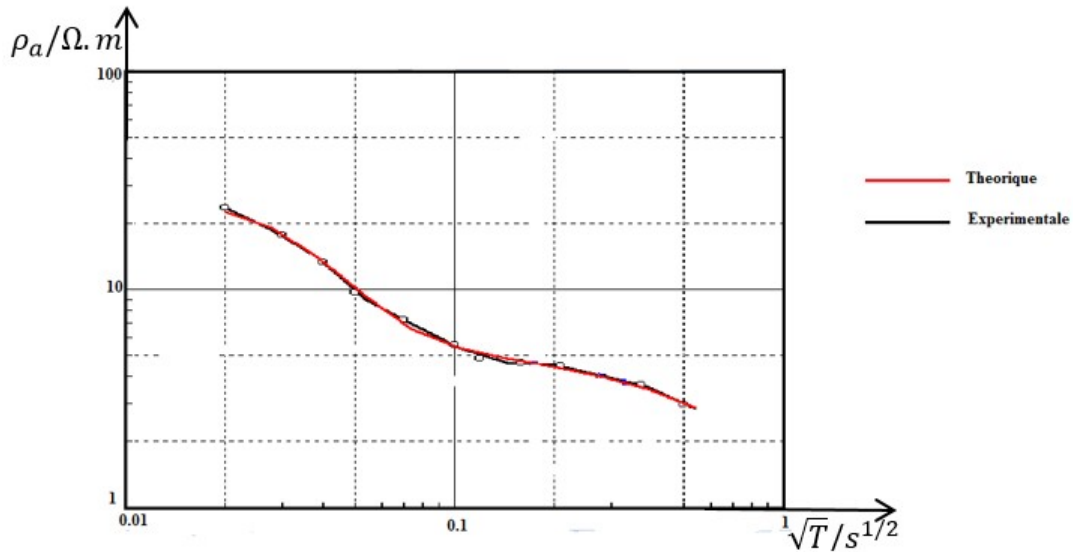


Figure 3.4 – Courbe de sondage de la station Y3 . RMS : 1.97%

Y4 présente également un terrain a quatre couches avec la particularité pour la première d'être la plus conductrice et la moins épaisse (21,88 Ω.m et 11,37 m). Ce qui pourrait témoigner de la présence d'une ressource naturelle en surface comme l'eau. La couche 4 est la plus résistante (224,10 Ω.m) et une épaisseur infinie qui est suivie de la couche 2 avec une résistivité de 178,40 Ω.m et une épaisseur de 14,24 m. la fin de la courbe est marquée par une remontée brusque de la valeur de la résistivité lorsqu'on passe de la troisième a la quatrième couche. Ce qui explique qu'on envoisine un sol plus résistant en profondeur et par conséquent le socle pourrait être atteint.

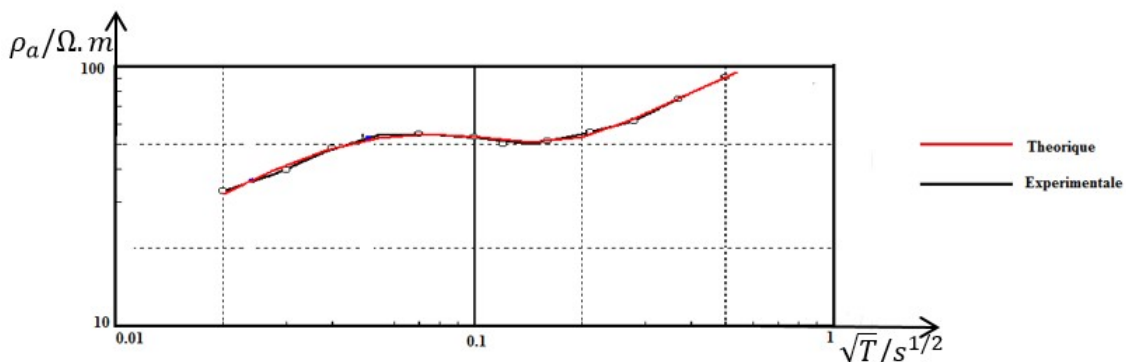


Figure 3.5 – Courbe de sondage de la station Y4 . RMS : 1.97%

Avec la même allure de courbe et le même nombre de couche que les stations précédentes, la station Y5 possède une RMS de 2.86% qui explique une légère dissemblance entre la courbe théorique et celle expérimentale. Cette station possède des couches de résistivité comprises entre 3, 68Ω.m et 98,6

$\Omega.m$  et d'épaisseurs peu variables. La troisième couche est la moins résistante avec une épaisseur de 17,20 m et la quatrième la plus résistante avec une épaisseur infinie. Ceci fait recours à un sol constitué de matériaux très conducteurs en surface.

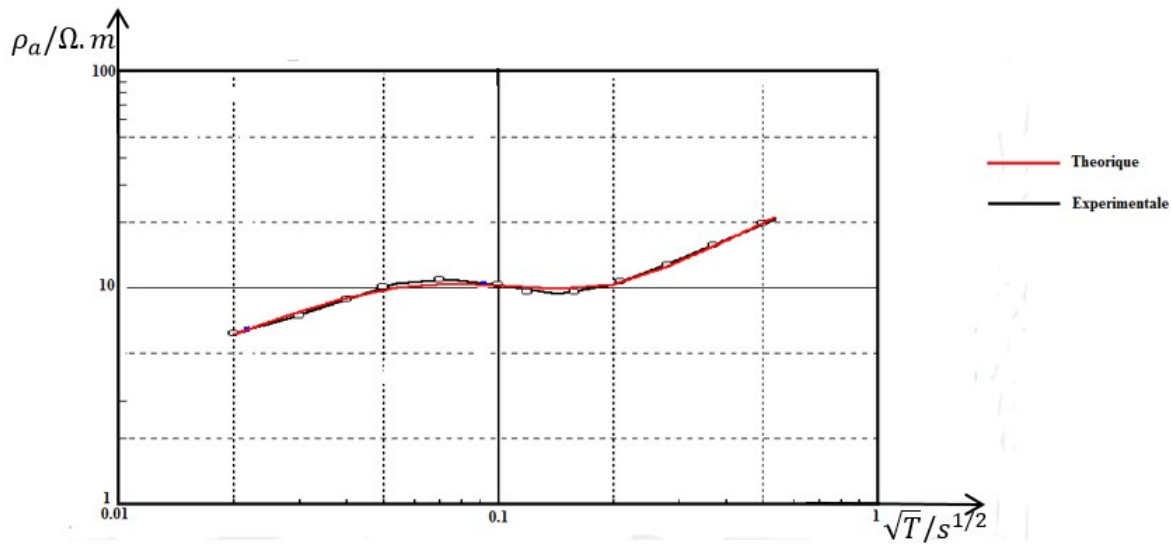


Figure 3.6 – Courbe de sondage de la station Y5. RMS : 2.86%

### 3.1.4 Analyse du profil de résistivité

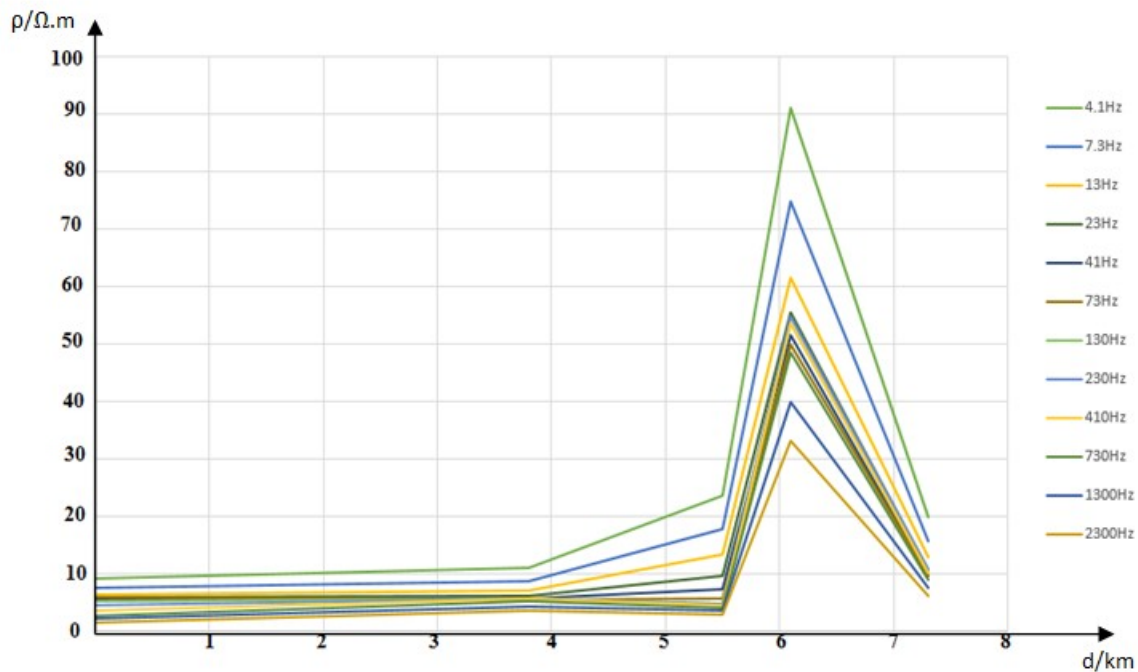


Figure 3.7 – Profil de résistivité des stations de mesure

Ce profil de résistivité présente 5 stations de mesures. Pour cette courbe de profilage, nous remarquons qu'entre les stations Y1 et Y2, les valeurs de la résistivité évoluent de manière constante. Ce qui

pourrait confirmer la faible pénétration du champ électromagnétique et pourrait marquer une zone hautement conductrice à la surface du sol. Entre les stations Y2 et Y3, il y'a une légère croissance des résistivités pour les fréquences 4,1 Hz à 130 Hz. Cela marque une stratification des couches. Pour les autres fréquences, on note une évolution constante et presque confondue des résistivités (autour de 5  $\Omega.m$ ). Entre les stations Y3 et Y4, on constate une croissance importante de résistivités pour toutes les fréquences ; probablement à cause d'un changement soudain de la direction de sondage. Ce qui laisse penser à la présence d'une zone de séparation de deux formations géologiques différentes. Dans zone, il se peut que le socle soit atteint. Entre les stations Y4 et Y5, on remarque une décroissance brusque des valeurs de résistivités aussi pour toutes les fréquences. Ceci témoigne de l'existence d'une zone fragile et perméable. On note aussi une évolution presque constante les résistivités tout au long de la station 1, suivi une croissance progressive de certaines ces valeurs de la station 2 a la station. Cela nous permet de penser à une zone de contact entre les formations sédimentaires et des formations métamorphiques au niveau de la station 2. En générale, pour ce profil nous remarquons une évolution constante des valeurs de la résistivité entre les deux premières stations ; une augmentation progressive des résistivités pour certaines fréquences est observée entre les stations Y2 et Y3, suivi d'une remontée brusque lorsqu'on passe de Y3 a Y4 puis d'une chute brusque entre Y4 et Y5. Ces observations présagent des discontinuités entre chacune de ces stations.

### 3.1.5 Analyse de la pseudo section de résistivités

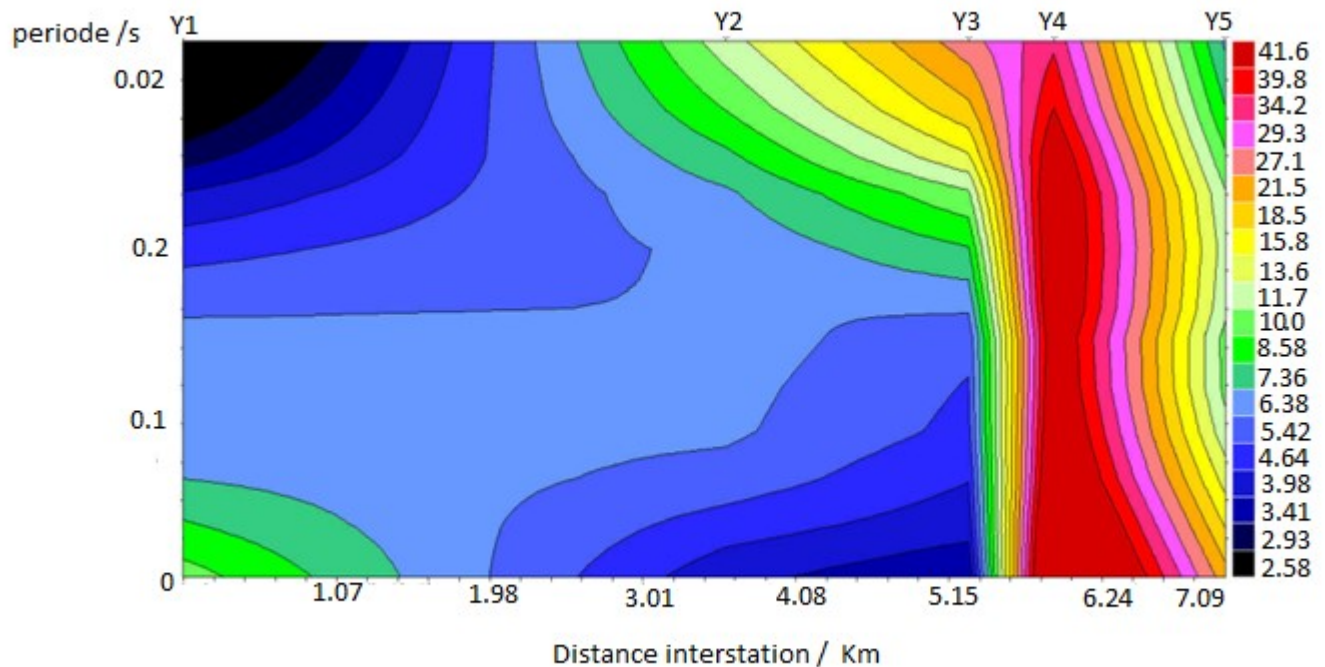


Figure 3.8 – pseudo section de résistivités

La pseudo section met en évidence une zone très conductrice entre les stations Y1 et Y2 et caractérisé par les résistivités de très faibles valeurs. La forme des couches d'isorésistivités, la disposition de celles-ci nous permet de conclure que, entre les stations Y1 et Y2 il y'a un fossé géologique. La pseudo section nous révèle que les stations Y2, Y3 et Y5 sont situées sur des sols assez conducteurs et dont les résistivités



moyennes des matériaux sont inférieures à  $50 \Omega.m$  (respectivement  $7,54 \Omega.m$ ;  $10,60 \Omega.m$ ;  $35 \Omega.m$ ). La transition entre les stations Y3, Y4 et Y5 est caractérisée par des isorésistivités verticales traduisant ainsi la présence d'une faille entre ces stations. La station Y1 est caractérisée par la présence des matériaux résistants en profondeur cela à cause du saut de résistivité qui passe de pour la troisième couche à pour la quatrième et dernière couche. Cette remontée brusque pourrait s'expliquer par d'une faille dans les profondeurs du sol.

### 3.1.6 Analyse de la section geoelectrique

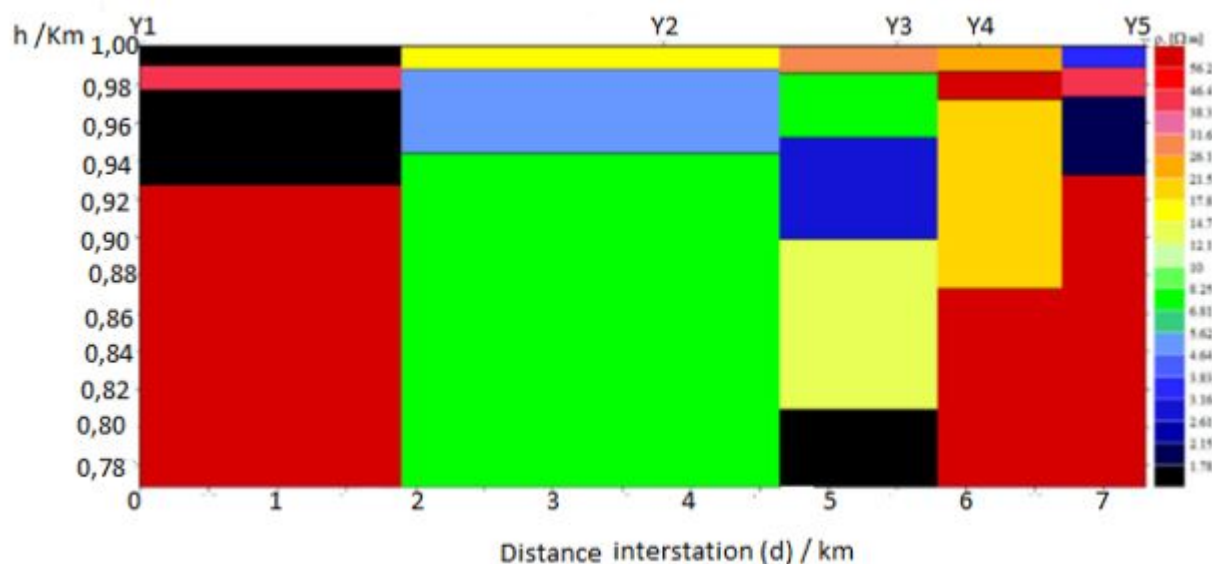


Figure 3.9 – section geo-electrique

La section geoelectrique présente 5 colonnes correspondant aux 5 stations de mesure. On note en dessous de la première station une intrusion de matériaux de faible résistivité. Le passage de la station Y1 à la station Y2 est caractérisé par la dénivellation observée au niveau des couches situées en dessous de ces deux stations. Cette remarque fait penser qu'un accident tectonique se serait produit entre ses zones. Une observation analogue à celle des 2 premières stations est faite pour les stations Y3 et Y4, on pourrait avoir des intrusions résistantes en profondeur. Cette pseudo section met en évidence quelques zones d'anomalies caractérisées soit par présence des intrusions sédimentaires dans la station Y1 ou par la présence des matériaux résistants en profondeur des stations Y1, Y4 et Y5.

### 3.1.7 Analyse du modèle géologique proposé

Les analyses et interprétations qui découlent des courbes ci-dessous nous ont permis de proposer un modèle géologique du profil étudié. L'obtention de ce modèle nous permettra d'observer la répartition des différentes couches, de connaître la nature de chacune d'elle et de localiser les accidents tectoniques qui existent le long de notre profil d'étude. Ce modèle prendra également en compte d'une part les valeurs des abaques de résistivités (voir annexe), les résultats des analyses des courbes de sondage, de la pseudo section, des profils de résistivité, de la section geoelectrique et d'autre part de la carte géologique de la région d'étude. Nous aurons ainsi le modèle suivant :

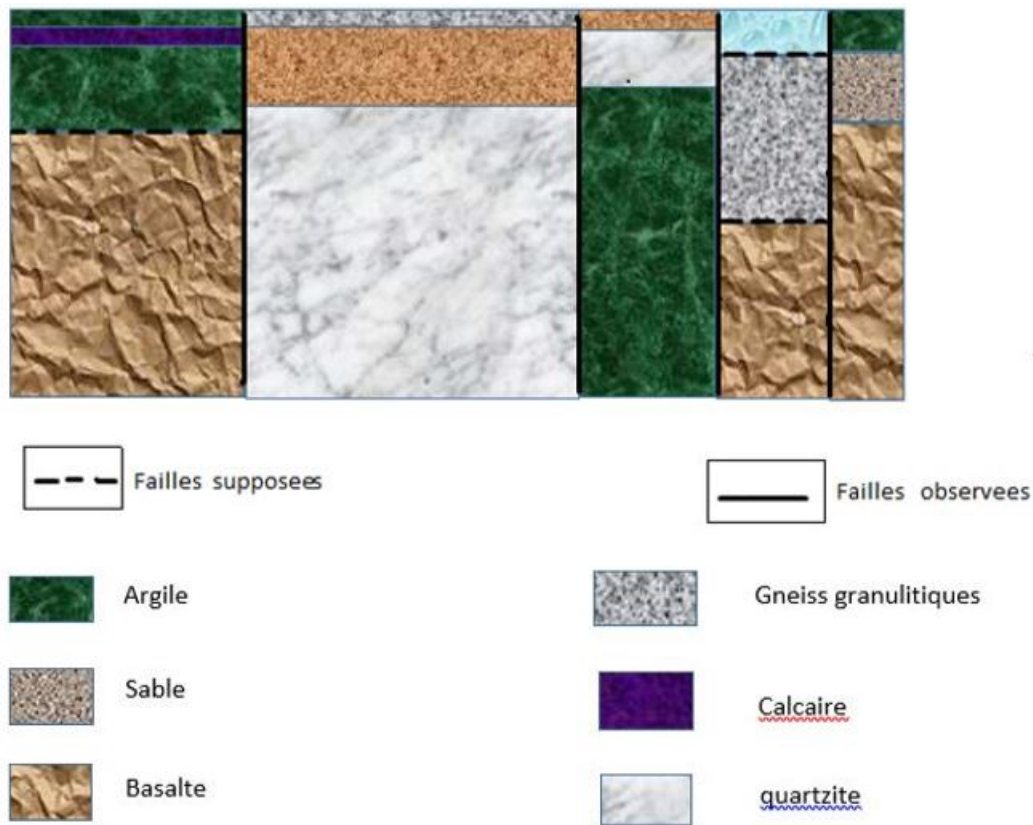


Figure 3.10 – Modèle géologique proposé

Ce modèle géologique est constitué de plusieurs formations parmi lesquelles : les gneiss granulitiques, les alluvions, l'argile, le basalte, calcaire (albien-sénonien), le gravier, le quartzite, le sable, les gouttelettes d'eau, le calcaire. La station Y1 repose sur l'argile, le calcaire et le basalte. La station Y2 repose sur les gneiss granulitiques, les grès et le quartzite. Y3 sur les grès, le quartzite et l'argile. La station Y4 quant à elle repose sur les nappes d'eau en surface, les gneiss granulitiques et le basalte. Y5 repose sur l'argile, le sable et le basalte. Les grès des stations Y2 et Y3, le calcaire de la station Y1 correspondent d'après la carte géologique du profil étudié au bassin sédimentaire de Douala. Nous remarquons également que la station Y1 est la plus affectée par le socle puisqu'en cette station on observe une remontée brusque de la valeur de la résistivité lorsqu'on passe de la couche 3 à la couche 4 (de 1,66  $\Omega.m$  à 626  $\Omega.m$ ). Notre profil est également entrecoupé de quatre failles intra-sédimentaires.

## 3.2 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Il est avant tout important de préciser que la validité de nos résultats dépend énormément des points suivants :

- L'analyse des courbes de sondage présente chacune un certain nombre de couche pour chaque station et chacune d'entre elles possède des résistivités qui varient en fonction de la profondeur. Notons que les faibles résistivités représentent les couches les moins résistantes. De plus, les différentes valeurs de la RMS étant faibles nous pouvons dire que les résultats obtenus sont en accord avec les résultats attendus : RMS inférieure a 4
- L'analyse des profils de résistivités nous permet de distinguer quatre zones d'anomalies. La première située entre les stations Y1 et Y2, la deuxième située entre Y2 et Y3, la troisième entre

Y3 et Y4, la dernière entre Y4 et Y5. Chacune de ces anomalies est matérialisée par une variation latérale des valeurs de la résistivité lorsqu'on passe d'une station à une autre. De plus, nous constatons des discontinuités entre ces différentes stations. Le croisement des courbes de résistivités au niveau de la station Y2 nous ramène à penser que la zone de contact entre les formations sédimentaires et métamorphiques recherchée dans le cadre de travail se trouve à cette station.

- La pseudo section met en évidence trois fossés géologiques : deux situées entre les stations Y1 et Y2, l'autre au niveau de la station Y4. Ces fossés géologiques se matérialisent au niveau de la section géoelectrique par les discontinuités observées en dessous des stations Y2 et Y4. En effet la présence des sédiments en dessous de ces stations peut s'expliquer par une ouverture qui se serait produite en ce lieu pendant la phase d'extension du bassin et qui avec le temps, a été comblée par les sédiments en provenance d'autres stations.
- Le modèle géologie est constitué de huit roches parmi lesquelles : l'Argile, le calcaire, le basalte, grès, gneiss granulitiques, sable, quartzite et la formation du socle. Il présente aussi l'existence des failles issues de la courbe de profilage et de la section géoelectrique. Notons que ces roches sont bien en accord avec les différentes roches trouvées dans cette région.
- La quantité et la qualité des valeurs des données, en multipliant les mesures des valeurs de résistivité pour une même valeur de la fréquence et d'effectuer la moyenne géométrique de ces résistivités afin de réduire les erreurs. Malgré cela, il est à noter des valeurs de résistivités très faibles en général malgré la profondeur de pénétration du champ électromagnétique à des fréquences faibles.
- La méthode de traitement des données ou avec le logiciel ipi2win(MT) :

il y a eu des corrections importantes des points de mesure qui s'écartaient de la courbe théorique superposée à la courbe expérimentale. Néanmoins la superposition des courbes théoriques et expérimentales ont été relativement acceptables pour les courbes de sondage. Quant à Excel, on peut s'interroger sur la courbe de profilage qui est sensée présenter des résistivités plus grandes et marquer la profondeur importante pour les petites fréquences par rapport aux grandes fréquences qui marquent les couches superficielles.

### Introduction

La pédagogie est la branche de l'éducation qui s'appuie sur les méthodes d'enseignement. Dans les chapitres précédents, nous avons exposé comment il est possible de ressortir le modèle géologique d'une zone précise à travers l'AMT et le processus d'inversion ipi2Win(MT). La constitution du sol et du sous-sol a toujours été l'objet d'une curiosité profonde chez un bon nombre de personnes. Connaître la nature exacte du sous-sol d'une région pourrait s'avérer être très bénéfique pour un ensemble de domaines d'application tels l'agriculture, Le génie civil, L'exploitation linière, La géologie etc. Compte tenu que ce travail nous familiarise avec le sol et par conséquent les roches, il serait intéressant de présenter la notion aux élèves du secondaire avec plus de détails de précision. De ce fait l'enseignant devra user d'un ensemble de stratégies variées pour faciliter l'assimilation du savoir à dispenser aux apprenants tout en tenant compte du développement individuel de ces derniers. La finalité étant d'assurer une ouverture harmonisée au monde extérieur et une bonne visibilité du sujet. Il sera question de présenter dans ce chapitre :

- L'intérêt didactique,
- L'apport chez l'enseignant,
- L'apport chez l'élève.

### 4.1 Intérêt didactique

La didactique d'une matière s'intéresse à la qualité des contenus et aux difficultés que pose l'enseignement de ces dits contenus. Pour mieux comprendre la didactique de notre sujet, quelques concepts de base seront définis ; nous mettrons en exergue les objectifs de notre étude et sa méthodologie.

### 4.2 Définition des concepts

**Profil** : c'est le chemin suivant lequel est effectuée un ensemble de mesures géophysiques.

**Socle** : c'est ce sur quoi repose des formations sédimentaires et (ou volcaniques).

**Résistivité** : c'est la capacité qu'a une roche à se laisser pénétrer difficilement.

**Roches** : matériau constructif de l'écorce terrestre formé en général d'un ensemble de minéraux.

**Accident tectonique** : dénivellation ou déformation brutale des couches de terrain.

### 4.3 Objectif d'étude

L'objectif général de cette étude était de modéliser le sous-sol de notre profil. Pour y parvenir, il nous est indispensable de passer par les objectifs spécifiques suivants :

- présenter les différentes formations géologiques de notre région au fil des années passées
- décrire le mécanisme de ces formations géologiques ;
  - définir et décrire succinctement la méthode de prospection utilisée ;
  - recueillir les données les exploiter à l'aide de matériel adéquat.
  - Traiter ces données à l'aide de logiciels appropriés,
  - modéliser le phénomène via des analyses et interprétations faites sur les courbes issues de ces données.

### *Méthodologie*

Dans travail, à l'aide de du logiciel ipi2Win(MT) nous avons inverser les données relevées sur le terrain afin d'avoir une idée approximative du sous-sol du profil. Le modèle géologique proposé pourra nous amener à penser ou à réviser certains contenus des manuels scolaires en matière (géologique, de sédimentation de certaines couches rocheuses et de localisation des accidents tectoniques dans certains livres au programme pour la discipline science de la vie et de la terre.

En ce qui concerne la discipline de physique chimie technologie au secondaire on peut noter que l'identification et la connaissance de la structure chimique de certains minéraux tels l'alumine, la silice et les oxydes de soufre renfermés dans les roches pourrait permettre la fabrication de certain objets ou substances qui pourrait s'avérer utiles en salle de laboratoire. Cette étude réalisée à partir de l'AMT apporte beaucoup plus Willu.snari011 en SVT qu'en physique chimie et technologique

### 4.4 Apports chez les enseignants

L'enseignement a toujours été l'un des métiers les plus nobles car il participe à sa manière à une construction d'une société plus consciente et dynamique et ceci passe par la prise de conscience de l'environnement immédiat dans le lequel nous nous trouvons. L'enseignant se trouvant dans ce maillage a donc certaines responsabilités et devoirs. Il n'est plus question pour ce dernier de construire des notions essentiellement focalisées sur la théorie comme jadis mais amener l'apprenant dans une approche plus objective mais basée sur le savoir-faire. Pour ce fait, ce présent travail permettra à l'enseignant de physique, chimie et technologie ou de SVT de faire un lien entre ses enseignements et les phénomènes quotidiens de l'environnement de l'élève. L'enseignant l'utilisera pour captiver l'attention des élèves et de les rendre compétent et aptes à la résolution l'explication des phénomènes naturels qui nous entourent par exemple les tremblements de terre les volcanismes. La stratification des couches de terrain avec par exemple une bouteille plastique transparente remplie de plusieurs couleurs de sable...

## 4.5 Apports chez les élèves

La prise de conscience et l'amélioration des procédés d'enseignements influent sur la perception du jeune apprenant. Toute fois l'enseignement doit tenir compte des variations dans les acquis élèves qui sont essentiellement dues à leur bagage, à leur entrée à l'école, leurs capacités et attitude ainsi que leur milieu familial et social. L'analyse fait dans les chapitres précédents permettra aux élèves de consolider les acquis reçus par les connaissances et l'ouverture à l'environnement Cette étude donnera aux élèves des outils nécessaires à la conduite des activités d'intégration concernant la nature du sous-sol et sa constitution, En résumé, cet analyse didactique réalisée sur notre mémoire laisse entrevoir que ce travail est un outil pouvant, mettre en place les nouvelles approches d'enseignements centrées sur l'approche par les compétences.

### conclusion

Au terme de ce chapitre, il était question pour nous de relever l'implication didactique de notre sujet dans le système éducatif et il en ressort que l'enseignant à de lourdes responsabilités vis-à-vis des apprenants. Donc doit être à pied d'œuvre tout le temps pour toujours trouver des stratégies permettant de faciliter l'acquisition des savoirs et des savoir-faire par les apprenants.

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

---

Tout au long de notre travail, il a été question de faire une analyse et interprétation des données Audio magnétotellurique le long du profil Bonépoupa situé dans le littoral Cameroun. Les objectifs visés dans cette étude consistaient à étudier le comportement de la zone de contact entre les formations sédimentaires et métamorphiques dans cette localité. Pour se faire nous avons procédé à la modélisation de la répartition des résistivités des roches tant en surface qu'en profondeur via les profils de résistivité, les courbes de sondage, les pseudo-sections de résistivité et les sections géoélectriques ; afin de proposer un modèle géologique du profil étudié. Il advient après analyse et interprétation des différentes courbes que :

- Malgré certaines valeurs incompréhensibles des résistivités. Les phénomènes de superposition et de chevauchement des couches à certains endroits de notre profil d'étude laissent penser à cette zone de contact entre les formations sédimentaires et métamorphiques.
- Le constat faible des valeurs de résistivités peut mettre en évidence les matériaux conducteurs situés en dessous des formations de la zone mobile.
- Notre profil repose en majeure partie sur les formations sédimentaires grâce aux valeurs très faibles de la plupart des résistivités apparentes des couches souterraines et une infime partie sur les formations métamorphiques justifiant quelques résistivités aux valeurs moyennes.
- Le modèle géologique obtenu nous montre que l'unité de la Dibamba serait parsemée de failles.

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail ne nous permettent pas de nous prononcer avec exactitude sur la géologie du profil et bien détecter cette zone de contact entre formations sédimentaires et métamorphiques ; cause du nombre trop faible des stations de mesure, peut-être de la méthode utilisée AMT scalaire et éventuellement du type de logiciel sollicité (ipi2winMT). Les considérations suivantes pourraient être envisagées afin d'améliorer nos résultats.

- Un nombre important de stations de mesure et de l'écart assez réduit entre celles-ci ;
- Utilisation des données AMT tensorielles sur un profil plus étendu afin d'avoir une idée plus précise sur le comportement géologico-tectonique à grande échelle de la localité ;
- Opter pour d'autres méthodes d'investigation géophysique à l'instar de la gravimétrie, le ferromagnétisme, la géoélectrique, la méthode magnétique et bien d'autre ;
- En utilisant le stratagème EH4, on pourra avoir des données plus fiables à cause de sa précision sur les mesures.
- L'utilisation des fréquences inférieures à 4,1 Hz qui permettront d'explorer les profondeurs plus importantes et ici on sera dans le domaine de l'héliomagnétotellurie.

---

## Bibliographie

---

- [1] Cornchia, M. et Dars, R., 1983. Un trait structural majeur du continent africain : Les linéaments centrafricains du Cameroun au golfe d'Aden. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 25 : 101-109.
- [2] Ngako, V., Jegouzo, P. and Nzenti, J. P., 1991. Le cisaillement centre camerounais. Role structural et géodynamique dans l'orogénèse panafricaine. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 313 (II), P. 457-463
- [3] Penaye, J., Toteu, S. F., Van chmus, W. R. and Nzenti, J. P., 1993. U-Pb and Sm-Nd preliminary geochronologic data on the Yaoundé series, Cameroun.
- [4] Bessoles, B. et Lasserre, M., 1977. Le complexe de base du Cameroun. *Bull. Soc. Géol. France*, Vol 19, N5, 1085-1092.
- [5] Bessoles, B. et Trompette, R., 1980. La chaîne panafricaine zone mobile d'Afrique centrale (partie-Sud) et zone mobile soudanaise. *Mémoire du BRGM*, 92, 396p.
- [6] Genick, G.J., 1992. Regional framework, structural and petroleum aspect of rifts basins in Niger, Chad and Central Republic. *Tectonophysics*, 213, 459-481.
- [7] SNH, 2005. Synthèse sur le Bassin du Rio Del Rey et sur le bassin de Douala/Kribi-Campo. Rapport interne : 14 p.
- [8] Poidevin, J. L., 1985. Le protérozoïque supérieur de la République centrafricaine. *Geologische wetenschappelijke serie in-8*, 91, 75 p.
- [9] Rolin, P., 1995. La zone de décrochements panafricains des Oubanguides en République centrafricaine. *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris*, série 320, 63-69.
- [10] Rolin, P., 1992. Présence d'un chevauchement ductile majeur d'âge panafricain dans la partie centrale de la République Centrafricaine : résultats préliminaires. *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris*, 313, Série II, 467-470.
- [11] Nzenti, J.P., Barbey, P., Macaudière, J. et Soba, D., 1988. Origin and evolution of the late Precambrian high-grade Yaounde gneisses (Cameroon). *Precambrian Research* 38, PP.91-109.
- [12] Toteu, S.F., Penaye, J., and Poudjom Djomani, Y.H., 2004. Geodynamic evolution of the Pan-African belt in central Africa with special reference to Cameroon. *Can. J. Earth sci.*, t., 41, 73-85.
- [13] Njike Ngaha, P. R., 1984. Contribution à l'étude géologique, stratigraphique et structurale de la bordure du bassin atlantique du Cameroun. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. De Yaoundé, 131 p.
- [14] Nguene, F.R., Tamfu, S. Loule, J.P. Ngassa, C., 1992. Palaeoenvironments of the Douala and Kribi-Campo Sub-Basins in Cameroon, West Africa. In : Curnelle, R. (ed); *Géologie Africaine. Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*; Mem.13 :129-139.
- [15] Olivry, U.K. 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. *MESCES – ORSTOM*.



- [16] Regnault, J.M., 1986. Synthèse Géologique du Cameroun. Ministère des Mines et de l'Énergie, Yaoundé, 119 p.
- [17] Tadjou, J. M., Nouayou, R., Kamguia, J. Kande, H. L., and Manguelle-Dicoum, E., (2009). Gravity analysis of the boundary between the Congo craton and the Pan -African belt of Cameroon Austrian Journal of Earth Sciences, 102, pp.71-79.
- [18] Tadjou, J.M., (2004). Apport de la gravimétrie à l'interprétation géophysique de la bordure septentrionale du craton du Congo (Sud-Cameroun). thèse Doctorat (PhD, Université de Yaoundé I, 1 78p.
- [19] Tchameni, R. (1997). Géochimie et géochronologie des formations de l'Archéen et du paleoprotozoïque du Sud Cameroun (Groupe du Ntem, Craton du Congo). PHD thesis, Thèses de Doctorat/ Ph.D, Univ. Yaoundé I, 183 pages.
- [20] Reyre, D., 1959. Bassins sédimentaires côtiers. Dans notice explicative sur la feuille Yaounde-Ouest, carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500 000. Pp. 9-14
- [21] Reyre, D., 1966. Histoire géologique du bassin de Douala. Symposium, bassins sédimentaires côtiers post-Cambrien de l'Afrique de l'Ouest. 22ème int. Géol. Congo. New-Dehli, 1964 –Assoc. Serv. Géologique Africain- pp. 143-161
- [22] Dumort, J. C., 1968. Carte géologique de reconnaissance du Cameroun au 1/500 000. Feuille de Douala ouest avec notice explicative (1/500 000). Dir. Mines. Géol., Yaoundé. Imp. Nat., Cameroun, 69 p.
- [23] Marchesini, E. et Frasson, B. 1952. Rapport sur la campagne de reconnaissance géologique au Cameroun français, décembre 1951 – mars 1952. Standard oil c (New-jersey). 14 P
- [24] Hourcq, V. 1955 a. les recherches françaises de pétrole en Afrique noire (Cameroun, Afrique équatoriale française, Madagascar), I.F.P. Centre d'études supérieures de prospection et d'exploitation des gisements. Réf, 99 p.
- [25] Prudot d'Avigny, J.P. 1957. Les grès de base ; département de géologie de la SEREPCA, JPP a/gg, 19p. Note interne.
- [26] Cagniard, Ia., (1953). Basic theory of the magneto telluric method of geophysical prospecting. Geophysics, 18, pp. 605—635
- [27] Bostick, F. X., (1977). A simple almost exact method of MT analysis. Workshop on Electrical Methods in Geothermal Exploration, U.S. Geol. Surv., Contract No. 1408000-8359, 10 p.
- [28] Cady, J.W. (1980). Calculation of gravity and Magnetic anomalies of finite length right polygonal prism. Journal of Geophysical Research, 45, pp. 1507-1512.
- [29] Mbom Abamé, S. (1997). Investigation géophysique en bordure du craton du Congo et implications Structural. PI-ID thesis, Theses de Doctorat, Université de Yaoundé I, (Cameroun), 180P.
- [30] Ndjeng, E., Belinga, S. E. and Ngos. III. S., (2001). Le secondaire ou Mésozoïque. In : Histoire Géologique du Cameroun. (Ed.), Sci. S. E. Belinga. Les Classiques Camerounais, 69-80 pp.
- [31] Niang, M. F. K., (1995). Interprétation de données géophysiques sur la structure profonde du bassin sédimentaire sénégalais et sur la zone de socle au Sénégal oriental. Thèse de Doctorat 3e Cycle, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal. 77p.
- [32] Nange, J. M., (1991). The crustal structure of the Cameroon volcanic line and the Fouban hear zone based on gravity and aeromagnetic data. Ph. D. thèses, Univ. Leeds, England, 242 p.

- [33] Noutchogwe, T. C., (2004). Apport de la gravimétrie à l'étude de la bordure méridionale du plateau de l'Adamaoua (Cameroun). Thèse de Doctorat 3e Cycle, Université de Yaoundé I, 127 p. + annexes.
- [34] Noutchogwe, T. C., (2010). Investigation géophysique dans la région de l'Adamaoua par les méthodes gravimétriques et magnétiques : implications structurales et hydrogéologiques. Thèse de Doctorat/PhD, Université de Yaoundé I.
- [35] Olhoeft, G. R., 1985. Low-Frequency electrical properties. *Geophysics*, 50, pp 2498-2503.
- [36] Owona, M.L.C., (2012). Investigation géophysique de la zone de transition entre le sous-bassin sédimentaire de Kribi-campo et la bordure nord-ouest du craton du Congo .thèse de Doctorat/phD, Université de Yaoundé I, 120p
- [37] Nédélec, A. J., Macaudiere, Nzenti, J. P., et Barbey, P., (1986). Evolution structurale et métamorphique des schistes de Mbalmayo (Cameroun). Informations pour la structure de la zone mobile panafricaine d'Afrique Centrale au contact du craton du Congo. *Compte Rendus Académie des sciences, Paris*, tome 303, II, pp.75-80.
- [38] Tikhonov, A.N., (1950). On determination of the electrical characteristics of deep layers of the Earth's crust. *Dokl. Acad. Nauk SSSR*, 73, pp. 275-297
- [39] Marquis, G., (2004). Cours d'électromagnétisme. Institut de physique de Globe de Strasbourg, 85 p.
- [40] Nnange, J.M., Ngako, V., Fairhead, J.D. and Ebinger, C.J., 2000. Depths to density discontinuities-beaneath the Adamawa plateau region, central Africa, from spectral analysis of new and existing gravity data *journal of african Earth of sciences*. Vol 30 pp 887-901.
- [41] Delhal, . et Ledent, L. (1975). Données géochronologiques sur le complexe caciomagnésien du sud Cameroun, Musée Royal d'Afrique Centrale, Rapport annuel, pp. 71-75.
- [42] Dorbath, (1984). Approche sismologique de la structure de la lithosphère en de l'Ouest. Thèse Doct. D'État, Université Pierre et Marie Curie, 307
- [43] Dumont, J • F (1987). Etude Structurale des bordures Nord et Sud du Plateau de l'Adamaoua : Influence du Contexte Atlantique. *Géodynamique*, Vol. 2, No. 1, pp. 55-68
- [44] Eloumala, O. P. N., Mouzong, p. M. and ATEBA, B., (2014). Crustal structure and seismogenic zone Of Cameroon : Integrated seismic, geological and geophysical data. *Open Journal of Earthquake Research*, 3, pp. 152 -161
- [45] Fairhead, J. D., Okereke, C. S. and Nnange, J. M., 1991. Crustal structure of the
- [46] Gazel, J. and (1956). Carte géologique du Cameroun à 1/1000000, Atlas du Cameroun, ORSTOM, Yaoundé. 1p.
- [47] Guiraudie, C., (1955). Carte géologique de reconnaissance à 1/500.000 avec notice explicative, feuille N'Gaoundéré-Ouest. Dir. Mines et Géol. du Cameroun, Yaoundé, 23 p.
- [48] Kande, H. L. (2008). Etude géophysique de la structure de la croûte le long du fossé tectonique de la Mbéré (Sud Adamaoua — Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD, Université de Yaoundé I, 120 p.
- [49] Kande, H. L, Kamala, J., Tadjou, J. M. and Nouayou, R. , (2013). Geoelectric Structure of the Crust along the Mbéré Trough (South Adamawa) from Audio-Magneto telluric Data. *International Journal of Géosciences*, 4, pp. 1215-1227
- [50] Koumetio, F., (2004). Contribution géophysique par la méthode gravimétrique à l'étude des structures profondes de la marge occidentale du craton du Congo dans la région de Kribi(Cameroun). Thèse Doctorat 3e cycle. Université de Yaoundé I. 110p.

- [51] Pierik Falco, 2006. Introduction à la géologie et à la méthode magnétotellurique. Conférence à la SNA du 19 mai 2006. 32p.
- [52] Ritz, M. (1982). Etude régionale magnétotellurique de la structure de la conductivité électrique sur la bordure occidentale du craton ouest africain en république du senegal. *Canadien journal of Earth Sciences*, 19 (7) :1408-1416.
- [53] Manguellé-Dicoum., 1988. Etude géophysique des structures superficielles et profondes de la région de Mbalmayo. Thèse de Doctorat ès-sciences (Géophysique), université de Yaoundé I. 202p.
- [54] Vicat, J.P., et Bilong, P. (1998). Géologie et environnement au cameroun. Presses universitaires de Yaoundé I.
- [55] Vicat, J.P., Pouclet, A., Koumbou, C. et Semé Mouangué, A. (1997). Le volcanisme fissural néo protérozoïque des series du Dja inférieur, de Yokadouma (Cameroun) et de Nola (RCA)- Signification géotectonique. *C.R. Acad. Sci. Paris* 325, pp. 671-677.
- [56] Benderitte. R. Y., (1982). Interprétation des Mesures Obtenues avec un Résistivimètre Eca. Notice U Utilisation du Résistivimètre Eca, CNRS, CRG, Garchy. 578p.
- [57] Koziar, A. and Strangway, D. (1978). Shallow crustal sounding in the Superior province by audio frequency magnetotellurics *Canadien Journal of Earth Sciences*, 15(1 1) : 1701-1711.
- [58] Newman, G. A., and Alumbaugh, D. L, (2000). Three-dimensional magneto telluric inversion using non-linear conjugate gradients. *Geophysical Journal International*, 140, pp.
- [59] Marescot, L., (2003) • Un algorithme d'inversion par moindres carrés pondérés : application aux données géophysiques par méthodes électromagnétiques en domaine fréquence. *Bulletin de Géologie de l'Université de Lausanne*, 357, 24 p,

### Annexe 1.1 : Appareillage et accessoires AMT.



**Légende :** 1. Parasols ; 2. Bobine de câbles électriques ; 3. Sac de sel ; 4. Éponge plus niveau d'eau ; 5. Pèle ; 6. Marteau géologue et marteau maçon ; 7. Electrodes ; 8. Pioche ; 9. Magnétomètre ; 10. Résistivimètre ECA ; 11. Décamètres ; 12. Câbles de connexion

## Annexe 1.2 : Résistivité de quelques roches d'après Telford et Al; 1976

<b>Rocks</b>	<b>Gap of resistivity (<math>\Omega.m</math>)</b>
<b>Argilites</b>	$10 - 8 \times 10^2$
<b>Grès</b>	$1 - 6.4 \times 10^8$
<b>Syenites</b>	$10^2 - 10^6$
<b>Micachistes</b>	$20 - 10^4$
<b>Quartz Diorite</b>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$
<b>Gniess</b>	$6.8 \times 10^4(wet) - 3 \times 10^6(dry)$
<b>Granite</b>	$4.5 \times 10^3(wet) - 1.3 \times 10^6(dry)$
<b>Conglomerate</b>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<b>Calcaire</b>	$50 - 10^7$
<b>Quartzites</b>	$10 - 2 \times 10^8$
<b>Basalte</b>	$10 - 1.3 \times 10^7(dry)$