

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix - Travail - Patrie

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

CENTRE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES,  
TECHNOLOGIES ET GEOSCIENCES

\*\*\*\*\*

URFD: PHYSIQUE ET APPLICATIONS

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

POSTGRADUATE SCHOOL OF SCIENCE,  
TECHNOLOGY AND GEOSCIENCES

\*\*\*\*\*

URFD: PHYSICS AND APPLICATIONS

\*\*\*\*\*

LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'ENVIRONNEMENT  
TERRESTRE

***APPORT DE LA GEOPHYSIQUE ET DE LA  
TELEDETECTION A L'ETUDE DE LA STRUCTURE  
INTERNE DE LA LOCALITE DE LOGBADJECK  
(LITTORAL – CAMEROUN)***

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de  
Doctorat / PhD en Physique

Par :

***TEPOULE DONGMO Narcisse Gaetan***

***Matricule : 09W0363***

***Master ès Sciences***

***Sous la direction du :***

***TABOD Charles TABOD***

***Professeur***

***UYI***

***Année académique : 2022 - 2023***





**DEPARTEMENT DE PHYSIQUE**  
DEPARTMENT OF PHYSICS

**ATTESTATION DE CORRECTION DE LA THESE DE**  
**DOCTORAT/Ph.D**

Nous, Professeur, **NOUAYOU Robert** et Professeur **VONDOU DERBETINI Appolinaire**, respectivement Président et Membre du jury de soutenance de thèse de Doctorat/Ph.D de Monsieur **TEPOULE DONGMO Narcisse Gaëtan**, Matricule **09W0363**, préparée sous la direction du Professeur **TABOD Charles TABOD**, sur le sujet intitulé : «**Apport de la Géophysique et de la Télédétection à l'étude de la structure interne de la localité de Logbadjeck (Littoral – Cameroun)** », soutenue le **Mercredi 20 Décembre 2023**, en vue de l'obtention du grade de Docteur/Ph.D en Physique, Spécialité **Physique de l'Environnement Terrestre**, option **Géophysique et Géo-exploration**, attestons que toutes les corrections demandées par le Jury de soutenance ont été effectuées.

En foi de quoi, la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yaoundé le **12 JAN 2024**.

Le Membre du Jury

Vondou D.A.

Le Président du Jury



Le Chef de Département de Physique

Le Chef de  
Département

**Jean-Marie Biomon**  
Professeur

# Dédicace

A

*Mon père TEPOULE Joseph ;*

*Ma mère NANDJOU Christine de regrettée mémoire.*

## Remerciements

Le présent travail ne saurait être l'œuvre d'une seule personne, mais le fruit de la contribution de plusieurs à qui il convient d'exprimer ma gratitude.

Je rends tout d'abord grâce au Seigneur Dieu Tout - Puissant qui me guide toujours ;

Au Professeur TABOD Charles TABOD, Professeur à l'Université de Yaoundé I, Directeur de cette thèse, pour les multiples enseignements et conseils dont vous m'avez gratifié non seulement dans le cadre de cette thèse mais aussi dans le cadre socioprofessionnel. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude;

Au Professeur NDJAKA Jean Marie, Chef du Département de Physique de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, et tout le personnel enseignant dudit Département pour ma formation.

Aux Professeurs NOUAYOU Robert, NJANDJOCK NOUCK Philippe, VONDOU Derbetini Appolinaire pour les enseignements, les remarques, les critiques et les suggestions qui ont contribué à l'amélioration de ce travail.

Au Professeur KENFACK Jean Victor pour avoir participé à la campagne de collecte des données géophysiques, défini les objectifs de ce travail et pour ses multiples remarques et suggestions;

Au bureau d'étude technique B E I G 3 pour avoir accepté de mettre à ma disposition son matériel pour l'acquisition des données. Monsieur KOUOKAM Emanuel, Directeur du bureau, trouvera ici l'expression de ma profonde gratitude;

A l'Institut de Recherche Géologique et Minière (IRGM) pour avoir mis à notre disposition des cartes.

Ma profonde gratitude est particulièrement exprimée à mon épouse KEMETIA Emeline et à mes enfants, pour leur tendresse et encouragements.

A mes frères et sœurs NGEUKE Joseph Orphee, AZAFACK Pierre Hegor, DONFACK Christophe Delor, JATSA Laure Viviane, NANVOU Irène Cathy et KENFACK Angeline.

A ma tante GUIATSI Ida, de regrettée mémoire

A mes beaux parents Mme et M. DJOUTSA Moïse

Je remercie tous mes amis camarades du Laboratoire de Physique de l'Environnement Terrestre pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui de près ou de loin ont œuvré pour la réalisation de ce travail, je dis merci.

## Résumé

La géophysique et la télédétection sont fréquemment utilisées pour un grand nombre d'applications. Elles explorent la Terre à l'aide des méthodes indirectes et non-invasives dans le but de déterminer des propriétés physiques du sol. Dans le cadre de cette étude il a été question de caractériser la structure interne de la localité de Logbajeck à travers des images satellitaires et des sondages électriques verticaux. Pour ce faire, un traitement d'images satellitaires (Landsat7 ETM+ et SRTM) a été effectué et une acquisition des données géophysiques s'est faite par utilisation du dispositif de Wenner - Schlumberger. Quarante-vingts sondages électriques verticaux espacés de 50 m les uns des autres ont été réalisés le long de quatorze profils d'environ 250 à 450 m et orientés suivant la direction NE-SW. Les roches identifiées dans cette zone sont les migmatites, les gneiss, les quartzites et les brèches volcaniques. Le traitement des images satellitaires révèle la présence de 285 linéaments dans la région de Dibamba avec des longueurs allant de 0,6 km à 9,5 km. Des structures linéaires de directions majeures N20°-40°, N50°-80° et N100°-140° et celles de directions mineures N0°-20°, N80°-100° et N140°-180° ont été mises en évidence. La cartographie des variations latérales et verticales des résistivités a permis de déduire la structure interne et de déterminer la présence d'aquifères dans la zone d'étude. Les courbes de sondage électrique vertical obtenues sont de type KH, K, H, AK et Q avec des terrains constitués de 3 à 4 couches. La résistivité électrique varie entre 11  $\Omega.m$  et 8131  $\Omega.m$  et diminue avec la profondeur sauf dans les secteurs Nord et Est de la zone d'étude. La conductivité hydraulique varie de 0,1  $m/jour$  à 16  $m/jour$  tandis que la transmissivité varie de 5  $m^2/jour$  à 600  $m^2/jour$ . Les résultats de transmissivité obtenus montrent que la zone d'étude présente un potentiel hydrogéologique faible à modéré. Les résultats de forations situent les aquifères superficiels aux environs de 6 m de profondeur et les aquifères profonds autour de 56 m de profondeur. La conductance longitudinale variant de 0,2  $\Omega^{-1}$  à 1,24  $\Omega^{-1}$  et les secteurs central et Nord – Ouest sont considérés comme étant des zones de capacité de protection d'aquifère moyenne à bonne. Le secteur central apparaît comme étant le secteur le plus conducteur et le plus fracturé de la zone d'étude avec des épaisseurs de stérile allant de 10 m à 19,91 m. La tomographie électrique confirme la présence d'un linéament majeure de largeur variant entre 60 et 140 m et de plus de 50 m profondeur dans la localité de Logbadjeck. Ce linéament long de 9,5 Km possède des gammes de résistivité électrique allant de 27 à 300  $\Omega.m$ .

Mots clés : Logbadjeck, Géophysique, Télédétection, Linéaments, Potentiel hydrogéologique.

## Abstract

Geophysics and remote sensing are frequently used for a large number of applications. They explore the Earth using indirect and non-invasive methods to determine the physical properties of the soil. In the framework of this study, the internal structure of the Logbajeck locality is to be characterised through satellite images and vertical electrical soundings. To this end, satellite images (Landsat7 ETM+ and SRTM) were processed and geophysical data were acquired by combining the trails and electrical soundings with the Schlumberger device. Eighty vertical electrical soundings spaced 50 m from each other were carried out along fourteen profiles approximately 250-450 m long and oriented NE-SW direction. The rocks identified in this area consist of migmatites, gneisses, quartzites, and breccias. Processing of satellite images reveals the presence of 285 lineaments in the Dibamba region with lengths ranging from 0.6 km to 9.5 km. Major linear structures with directions N20°-40°, N50°-80° and N100°-140° and minor ones with directions N0°-20°, N80°-100° and N140°-180° have been highlighted. The mapping of lateral and vertical variations of resistivities permitted the identification of the internal structure and to determine the presence of aquifers in the study area. The vertical electrical sounding curves obtained are of types KH, K, H, AK and Q and the soil consists of 3 and 4 layers. Electrical resistivity generally varies between 11  $\Omega$ .m and 8131  $\Omega$ .m and decreases with depth except in the northern and eastern sectors of the study area. Hydraulic conductivity ranges from 0.1 *m/day* to 16 *m/day* while transmissivity ranges from 5 *m<sup>2</sup>/day* to 600 *m<sup>2</sup>/day* . The transmissivity results obtained show that the study area has a low to moderate hydrogeological potential. The drilling results show that the shallow aquifers are around 6 m deep and the deep aquifers around 56 m deep. The longitudinal conductance varies from 0.2  $\Omega^{-1}$  to 1.24  $\Omega^{-1}$  and the central and north-western sectors are considered to be areas of medium to good aquifer protection capacity. The central sector appears as the most conductive and fractured sector of the study area with Overburden thicknesses ranging from 10 m to 19.91 m. The electrical tomography confirms the presence of a major lineament varying between 60 and 140 m in width and more than 50 m in depth in the locality of Logbajeck. This lineament long for 9.5 km has an electrical resistivity range of 27 to 300  $\Omega$ . m.

Key words: Logbajeck, Geophysics, Remote sensing, Hydrogeological potential.

## Liste des Symboles

<b>Z :</b>	Angle d'inclinaison du rayonnement électromagnétique
<b>A<sub>S</sub> :</b>	Aspect de l'image
<b>R<sub>c</sub> :</b>	Coefficient de réflexion
<b>h :</b>	Conductance longitudinale ( $\Omega^{-1}$ )
<b><math>\sigma</math> :</b>	Conductivité électrique ( $\Omega^{-1}$ )
<b>K :</b>	Conductivité hydraulique (m / jour)
<b>F<sub>c</sub> :</b>	Contraste de fracturation
<b>V :</b>	Différence de potentiel appliquée aux bornes d'un matériau en millivolts (mV)
<b><math>\Delta V</math> :</b>	Différence de potentiel aux bornes d'un dipôle quelconque en millivolt (mV)
<b>A<sub>z</sub> :</b>	Direction du rayonnement électromagnétique
<b>K :</b>	Facteur géométrique en mètre (m)
<b>M (i, j) :</b>	Image d'entrée
<b>M (x, y) :</b>	Image filtrée
<b>I :</b>	Intensité du courant électrique traversant le dipôle en milliampère (mA)
<b>S :</b>	La section du prisme cylindrique (m <sup>2</sup> )
<b>L :</b>	Longueur du câble (m)
<b>I (i, j) :</b>	Masque de convolution
<b><math>\overline{x^j}</math> :</b>	Moyenne des valeurs prises par la variable j
<b>n :</b>	Nombre de bande
<b>Sl :</b>	Pente de terrain
<b>R :</b>	Résistance électrique en ohm ( $\Omega$ )
<b><math>\rho_a</math> :</b>	Résistivité apparente ( $\Omega.m$ )
<b><math>\rho_{n-1}</math> :</b>	Résistivité de la couche recouvrant la nième couche ( $\Omega.m$ )
<b><math>\rho_n</math> :</b>	Résistivité de la nième couche ( $\Omega.m$ )
<b><math>\rho</math> :</b>	Résistivité électrique en Ohm-mètre ( $\Omega.m$ )
<b><math>\chi^2</math> :</b>	Khi 2
<b>Tr :</b>	Transmissivité de l'aquifère ( m <sup>2</sup> /jour )
<b>S<sub>f</sub><sup>2</sup> :</b>	Variance
<b><math>x_i^j</math> :</b>	Vecteur de la bande i associé à la variable j
<b><math>\vec{j}</math> :</b>	Vecteur densité de courant en milliampère par millimètre carré (mA/mm <sup>2</sup> )

**As :** Aspect de l'image

## **Liste des Abréviations**

**ACP :** Analyses en Composantes Principales

**BW :** Bore Well

**BEIG3 :** Bureau d'Etude d'Investigation Géologico-minièrre Géotechnique et Géophysique

**CIEH :** Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

**CVUC :** Commune et Villes Unies du Cameroun

**1D :** Une dimension

**2D :** Deux dimensions

**DC :** Direct current

**ERT :** Electrical Resistivity Tomography

**ETM+ :** Enhanced Thematic Mapper plus

**GPS :** Global Positioning System

**IRGM :** Institut de Recherche Géologique et Minièrre

**Ma :** Million d'années

**REM :** Rayonnement électromagnétique

**RMS:** Root Mean Square

**SZ :** Shear zone

**SRTM :** Shuttle Radar Topographic Mission

**SPT :** Simon Petroleum Technology

**SNH :** Société Nationale des Hydrocarbures

**UTM :** Universal Transverse Mercator

**VES :** Vertical Electrical Sounding

## Table des matières

DÉDICACE.....	II
REMERCIEMENTS .....	III
RÉSUMÉ.....	III
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SYMBOLES .....	VI
TABLE DES MATIERES .....	VIII
LISTE DES FIGURES .....	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PROBLEMATIQUE .....	3
OBJECTIF DE L'ETUDE .....	4
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE ...	5
1.1. HISTORIQUE DE LA GEOLOGIE DU CAMEROUN.....	6
1.2. CADRE NATUREL DE LA ZONE D'ETUDE .....	7
1.2.1. <i>Situation géographique</i> .....	7
1.2.2. <i>Pluviométrie</i> .....	8
1.2.3. <i>Température</i> .....	8
1.2.4. <i>Végétation</i> .....	9
1.2.5. <i>Sols</i> .....	10
1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE .....	10
1.3.1. <i>Formation de couverture</i> .....	10
1.3.2. <i>Tectonique</i> .....	12
1.4. TRAVAUX ANTERIEURS .....	15
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	19
2.1 MATERIEL.....	20
2.1.1. <i>Données pour la cartographie des linéaments</i> .....	20
2.1.2. <i>Matériel d'acquisition des données géophysiques</i> .....	20
2.1.3. <i>Logiciels informatiques utilisés</i> .....	20
2.2. METHODE.....	22
2.2.1. <i>Principe de base de la télédétection</i> .....	22
2.2.2. <i>Traitement des images satellitaires</i> .....	23

2.2.2.1. Relief ombragé de l'image SRTM .....	23
2.2.2.2. Transformée de Hotelling de l'image Landsat7 ETM+ .....	23
2.2.2.3. Combinaison des bandes et Composition colorée de l'image Landsat 7 ETM+ .....	25
2.2.2.4. Filtrage de l'image Landsat 7 ETM+ .....	25
2.2.2.5. Extraction des linéaments et validation .....	26
2.2.2.6. Caractérisation statistique de la géométrie des linéaments.....	27
2.2.2.7. Organigramme de traitement des images Landsat ETM+ et SRTM.....	28
2.2.3. Etude pétrographique et structurale. ....	29
2.2.4. Rappel des notions fondamentales sur la méthode électrique .....	29
2.2.4.1. Principe de la méthode électrique (DC).....	29
2.2.4.2. La loi d'Ohm .....	29
2.2.4.3. La théorie électrique .....	30
2.2.5. Sondages électriques .....	32
2.2.6. Traînée électrique .....	33
2.2.7. Traitement des données de sondage .....	33
2.2.8. Traitement des données de traînées électriques.....	34
2.2.9. Carte de résistivité .....	34
2.2.10. Estimation des propriétés hydrauliques des aquifères.....	35
2.2.11. Origine des données et choix du dispositif et de la direction des profils.....	36
<b>CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>39</b>
3.1. Spatialisation des linéaments de la Dibamba par télédétection.....	40
3.1.1. Filtrage par relief ombragé.....	40
3.1.2. L'analyse en composantes principales de l'image Landsat7 ETM+ .....	41
3.1.3. Filtrage spatial de l'image Landsat7 ETM+ .....	42
3.1.4. Carte de linéaments.....	43
3.1.5. Contrôle et validation de la carte de linéaments .....	43
3.1.6. Distribution de la longueur de linéaments .....	44
3.1.7. Projection des linéaments dans la zone d'étude.....	46
3.2. Analyses pétrographique et structurale .....	48
3.2.1. Analyse pétrographique.....	48
3.2.2. Analyse structurale.....	49
3.3. Analyse des données géoélectriques .....	51
3.3.1 Cartes de résistivité.....	51

3.3.2. <i>Analyse des profils de résistivité</i> .....	53
3.3.3. <i>Inversion 1D</i> .....	57
3.3.4. <i>Inversion 2D</i> .....	58
3.3.5. Carte de répartition des épaisseurs du stérile .....	66
3.3.6. <i>Carte de résistivité du toit du socle</i> .....	67
3.3.7. <i>Évaluation des aquifères</i> .....	68
3.3.8. <i>Coupes lithologiques proposées des sondages électriques verticaux</i> .....	72
3.4. Discussion des résultats .....	73
3.4.1. Validation géophysique du linéament satellitaire .....	73
3.4.2. Corrélation des résultats géoélectrique et de télédétection au contexte géologico-tectonique de la zone d'étude .....	75
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....	77
REFERENCES .....	83
ANNEXES .....	91
ANNEXE1 : GAMME DE RESISTIVITE ET VALEUR TYPIQUE POUR DIFFERENTS MATERIAUX TERRESTRES .....	92
ANNEXE 2 : PROFILS DE RESISTIVITE .....	93
ANNEXE 3 : COURBES DE SONDAGE .....	96
ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUE GEOPHYSIQUE DE LA ZONE D'ETUDE .....	144
ANNEXE 5 : EPAISSEUR DU STERILE (TOIT DU SOCLE).....	150
ANNEXE 6 : SECTION 2D .....	151
ANNEXE 7 : PARAMETRES DE DAR ZARROUK .....	127
ANNEXE 8 : FICHE DE SONDAGE ELECTRIQUE VERTICAL (STATION Ves20).....	155

## Liste des Figures

Figure 1 : Grandes formations géologiques du Cameroun.....	6
Figure 2 : Présentation de la zone d'étude.....	8
Figure 3: Carte géologique du Littoral et localisation de la zone d'étude.....	12
Figure 4: Structure du bassin de Douala..	13
Figure 5: Colonne lithostratigraphique du bassin de Douala/Kribi-Campo.....	16
Figure 6 : Photographie du résistivimètre utilisé pour l'acquisition des données.....	21
Figure 7: Principe de base de la télédétection. ....	22
Figure 8 : Organigramme de traitement des images Landsat ETM+ et SRTM . ....	28
Figure 9 : Principe de mesure de la résistivité apparente – dispositif de Schlumberger . ....	29
Figure 10: Représentation des équipotentielles et des filets de courant par une source ponctuelle dans un sol homogène.....	31
Figure 11: Principe d'inversion des données de sondage électrique vertical..	34
Figure 12: Inversion par méthode itérative en tomographie 2D. ....	34
Figure 13: Carte des profils géoélectriques et des puits de forage . ....	37
Figure 14a: Image SRTM géoréférencée non filtrée . ....	40
Figure 14b: Image SRTM filtrée avec extraction de linéaments.....	41
Figure 15: Première composante principale (PC1) de l'image Landsat7 ETM + . ....	42
Figure 16: Filtre Yesou et al. (2013) appliqué à l'image PC1 de Landsat7 ETM +. ....	42
Figure 17: Carte des linéaments de la Dibamba.....	43
Figure 18: Rosace de fréquences des directions des linéaments issus des images satellitaires . ....	44
Figure 19: Distribution de la longueur de linéaments . ....	45
Figure 20: Ajustement d'un modèle puissance sur la distribution de longueur de linéaments	46
Figure 21: Projection du linéament dans la zone d'étude. ....	47
Figure 22: Pétrographie ; a et b) Migmatites; (c) Gneiss avec alternance de lits clair et sombre; (d) Gneiss sombre couplé au gneiss clair; (e, f) Blocs de quartzite; (g) Veine de quartz dans le granite ;(h) Filon de quartz dans les altérites. (i) Brèches tectonique ; (j) Dalle de brèche ou roche déchiquetée. ....	50
Figure 23:Analyse structurale; (a) Micro cisaillement sénestre; (b) Roche fracturée.....	51
Figure 24: Cartes des résistivités apparentes.....	53
Figure 25: Profils de résistivité géoélectrique A, B, C, G, I, K et N à différentes profondeurs et leurs relations avec l'altitude. ....	56

Figure 26: Distribution des types de courbes .....	57
Figure 27: Courbes de sondage .....	60
Figure 28: Inversion 2D des résistivités apparentes des profils A, B, C, G, I, K, N.....	66
Figure 29: Carte du stérile dans la zone d'étude .....	67
Figure 30 Carte de résistivité du toit du socle: .....	68
Figure 31: Cartes des paramètres hydrauliques des aquifères de la zone d'étude: (a) résistivité de l'aquifère, (b) conductance longitudinale, (c) conductivité hydraulique, (d) transmissivité de l'aquifère (e) coefficient de réflexion et (f) carte de contraste de fracture.....	71
Figure 32: Corrélation des VES 1-D avec les diagraphies de forage à proximité.....	73
Figure 33: Carte de validation du linéament de Logbadjeck sur la carte topographique.....	73
Figure 34: Sections électriques montrant le couloir de fracture.....	74
Figure 35: Coupe géologique le long des profils A, I et N .....	78

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle (mm), Douala (1987-2012)	8
Tableau 2 : Distribution des températures moyennes mensuelles (°C) Douala (1987-2012)	9
Tableau 3 : Matrice de corrélation des bandes landsat ETM+	24
Tableau 4 : Matrices des filtres appliqués	26
Tableau 5 : Tests d'ajustement khi2 et K-S (Kolmogorov-Smirnov) de la longueur de linéaments	45

## **INTRODUCTION GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE**

Lorsque les forces tectoniques qui contrôlent la dynamique interne de notre planète entrent en activité d'une manière intense due à l'accumulation de la chaleur et de la pression, des mouvements tectoniques se créent entre l'asthénosphère et la lithosphère. Ces mouvements entraînent au passage la formation des linéaments qui peuvent être visibles à la surface de la terre (Yatabe et Howarth, 1984). O'Leary et al, (1976) ont défini un linéament comme étant un trait linéaire simple ou composé, décelé en surface, dont les différentes parties, alignées selon une droite ou une courbe, ressortent distinctement de leur entourage et peuvent refléter un phénomène sous-terrain. Ces linéaments sont associés à des éléments structuraux comme des failles, des fractures, des axes de plissements et des contacts lithologiques. L'analyse des linéaments constitue une approche importante dans l'étude de la structure interne du globe en vue de déterminer la stabilité du sol et la présence des matériaux solides (or, gneiss, fer...) et liquides (eau, pétrole...). Le problème d'approvisionnement en eau potable se pose avec acuité dans les villes camerounaises, où les besoins ne sont que très partiellement satisfaits à cause de la faible extension du réseau de distribution et de la forte pression démographique (Nono et al., 2009).

La situation est plus grave dans les zones périurbaines et rurales (cas Logbadjeck ) où les populations recourent aux eaux des pluies, des puits non aménagés, des rivières et des sources mal entretenues pour se ravitailler en eau. Cette qualité d'eau douteuse est à l'origine des maladies hydriques. La cartographie des zones fracturées est un élément capital dans la recherche hydrogéologique et de l'exploration minière (Hicham et al., 2016; Teikeu et al., 2016 ; Enyegue et al., 2020 ). La forte croissance démographique dans le monde avec un taux d'environ 1,2% par an (Larry, 2006) et particulièrement en Afrique donc au Cameroun, entraîne une inadéquation entre l'eau disponible et les besoins dans tous les domaines d'activité.

Par ailleurs, cette forte évolution démographique entraîne la recherche des nouvelles infrastructures. Il revient donc aux chercheurs de fournir aux populations des zones stables ou propices à la réalisation des infrastructures pour palier à la difficulté qui est celle de l'habitat et celle qui en découle à savoir l'approvisionnement en eau potable. Au vu de l'importance de l'eau dans la vie humaine, l'installation de l'homme est fortement conditionnée par la disponibilité de cette denrée et des sites favorables à une installation fiable et durable. La littérature dévoile la présence des zones défavorables à l'édification des ouvrages, d'où l'importance de l'étude dans ce site.

Les problèmes observés sont généralement ceux des affaissements et des effondrements récurrents d'édifices causant d'importants dégâts matériels et humains. Il demeure donc urgent de mener des études de la structure interne de la zone d'étude, afin de pallier à la difficulté liée à l'expansion démographique et aux contingences qui l'accompagnent.

Ce qui précède nous amène à nous poser la question suivante : la nature de la structure interne du sous-sol serait-elle à l'origine de l'instabilité des infrastructures et de l'insuffisance en eau de la zone d'étude ?

## **PROBLEMATIQUE**

Les populations de la localité de Logbadjeck dans la région du littoral Cameroun sont exposées aux maladies hydriques dues d'une part à installation anarchique des populations et d'autre part à la consommation au quotidien des eaux des pluies, des rivières, des sources mal entretenues dont la qualité et la quantité ne sont pas toujours assurées (Tepoule et al., 2021). Les multiples besoin en eau et l'usage dans divers domaines d'activités tels que dans l'agro-industrie et dans les ménages entraînent à une forte demande en source alternative d'approvisionnement en eau potable. La localité de Logbadjeck fait face à ces difficultés et est également confrontée aux problèmes d'affaissement et d'effondrement d'édifices laissant ainsi au passage d'importants dégâts matériels et humains. Les affaissements et effondrements d'infrastructures sont parfois liés à la négligence des épaisseurs de stériles et des zones fracturées lors des travaux de construction (Jae-won Chung et al., 2012 ; Adagunodo et al., 2013 ; Bambang Setiawan et al., 2018 ; Baoqing Tian., 2019). Toute fois la connaissance de l'épaisseur du stérile est un paramètre crucial dans l'ingénierie de construction car elle joue un rôle essentiel dans la stabilité des fondations des bâtiments (Adagunodo et al., 2013). Ces problèmes sus mentionnés dans la localité nécessitent une attention particulière.

De nombreux travaux géophysiques ont été réalisés à l'échelle régionale parmi lesquels ceux de Atéba et al. (1992) qui proposent une extension SSW de la limite géophysique du Craton du Congo en direction de Kribi ; de Koumétio (2004) qui suggèrent que la marge occidentale du Craton du Congo serait située entre Kribi et Edéa et représenterait une zone intéressante pour la prospection minière ; de Ndikum et al. (2014) qui mettent en évidence dans le sous-bassin sédimentaire de Douala un corps intrusif ayant un contraste de densité de  $0,266 \text{ g/cm}^3$ . Bien d'autres signes devraient interpeller d'avantages les chercheurs, malheureusement ce volet reste très peu abordé.

A cet effet nous nous proposons à partir des données géophysiques et de télédétection de mener une étude de la structure interne de la localité de Logbadjeck afin de déduire dans un premier temps la répartition spatiale des eaux souterraines saines (gage de santé des populations riveraines), et dans un second temps de délimiter à la fois les zones à risques et les zones favorables à la réalisation d'infrastructures dans la localité de Logbadjeck.

## **OBJECTIF DE L'ETUDE**

### **Objectif général**

L'objectif général de ce travail est de caractériser la structure interne de la localité de Logbajeck.

Plus spécifiquement il s'agit de :

- Cartographier des linéaments présents dans la zone d'étude,
- Réaliser une caractérisation macroscopique des formations géologiques de la zone d'étude,
- Procéder à une cartographie des résistivités électriques apparentes des sols,
- Identifier les potentielles zones à risque de la localité,
- Mettre en évidence la répartition spatiale des aquifères.

Outre une introduction générale, une conclusion générale et des perspectives suivies d'une bibliographie, le travail se subdivise en trois chapitres :

Le chapitre premier est consacré à la synthèse bibliographique de la géologie du bassin sédimentaire de Douala. Une présentation sommaire des formations, des structures géologiques connues dans le bassin sédimentaire de Douala est faite, ainsi qu'une description sommaire des principaux éléments géologiques et tectoniques rencontrés. Un exposé sur la problématique, et les objectifs de ce travail sont aussi présentés.

Le chapitre deux fait l'inventaire du matériel et expose les méthodes utilisées dans le cadre de cette étude. Un accent particulier est mis sur la présentation des principes de base de ses méthodes et sur la méthodologie d'acquisition et de traitement des données, lesquelles ont permis l'obtention des résultats présentés au chapitre 3.

Le chapitre trois est consacré aux résultats et à la discussion.

## **CHAPITRE1 : REVUE DE LA LITTERATURE**

L'interprétation des données géophysiques et des images satellitaires d'une zone nécessite la connaissance du milieu naturel aussi bien géologique que géographique. Pour cette raison, le présent chapitre donne un aperçu général de la zone d'étude. Il sera question dans ce chapitre de situer le Cameroun dans son contexte géologique et de faire une présentation de la zone d'étude.

### **1.1. HISTORIQUE DE LA GEOLOGIE DU CAMEROUN**

Les études géologiques menées en Afrique Centrale montrent que le Cameroun est constitué essentiellement d'un socle précambrien (Gazel et al., 1956 ; Manistre, 1973 ; Cornachia et Dars, 1983). Le Précambrien est la division chrono-stratigraphique de rang plus élevée, qui comprend deux ères (Archéen et Protérozoïque) (Foucault et Raoult, 2014). Ce socle a été affecté d'un événement thermo tectonique majeur. Kennedy (1964) en se basant sur les résultats de géochimie absolue adopte le terme « Panafricain » qui rend ainsi compte de cet événement dans l'ensemble du continent africain.

Rocci (1965), Clifford et Gass (1970) montrent à la même période que le « Panafricain » ne résultait pas seulement d'un simple phénomène de réactivation et de rajeunissement du socle précambrien, mais correspondait bien à un cycle orogénique complet. De même, Clifford et Gass (1970) ont également montré que certains fragments de socle précambrien n'ont pas été repris par l'orogénèse panafricaine. Compte tenu de la stabilité de cet ensemble depuis l'orogénèse la plus ancienne, on lui donnera le nom de «Craton ». Les roches cristallophylliennes issues de l'orogénèse panafricaine, ainsi que les granitoïdes mis en place à la fin de cette orogénèse, ont été considérés comme correspondant à des zones mobiles.

Les recherches géologiques au Cameroun ont débuté avec les travaux de Korableff (1937) et de Haugou et Koretzky (1943), qui ont conduit à la réalisation d'une carte de reconnaissance au 1/500000. Cette carte a servi de base à Gazel et al. (1956) pour la publication d'une carte géologique de synthèse au 1/100000. A la suite des travaux de Kornprobst et al., (1976), Lasserre et Soba (1976), Lasserre et Soba (1979), Bessoles et Trompette (1980) et Nzenti et al. (1998), le socle précambrien camerounais a été subdivisé en deux grandes unités litho-structurales (Fig.1) : le complexe du Ntem (Craton du Congo) et une ceinture mobile (zone mobile panafricaine d'Afrique Centrale). Au Cameroun, le Craton du Congo est représenté par une large masse sub-circulaire avec une superficie d'environ 5 711 000km<sup>2</sup> qui comprend un socle archéen, une ceinture du Protérozoïque moyen et une couverture post-Protérozoïque (Shang et al., 2007). Le Craton du Congo est représenté au Cameroun par le complexe du Ntem. Les études descriptives des unités lithologiques des formations rocheuses du Sud Cameroun (Lasserre et Soba, 1976, 1979; Soba, 1989; Maurizot et al., 1986; Nédelec

et Nsifa, 1987; Nedelec al., 1993) ont mis en évidence un substratum constitué essentiellement de roches métamorphiques et plutoniques. Le complexe du Ntem a été subdivisé en trois unités en fonction de l'âge et de la lithologie : l'unité du Ntem, l'unité du Nyong et l'unité de l'Ayina. Le reste du pays est considéré comme la zone mobile de l'Afrique Centrale. La zone mobile de l'Afrique Centrale couvre presque les 2/3 du territoire camerounais (Ndouga, 2004). Elle est un domaine du Panafricain (Vail, 1989) constituée de la chaîne Panafricaine et du bassin sédimentaire. Généralement, la zone mobile de l'Afrique Centrale est formée des roches métamorphiques et magmatiques datées de 780 – 500 Ma (Nzenti et al., 1987 ; Toteu et al., 2004) et des roches Méso à Néoprotérozoïques, métamorphiques et magmatiques (1000 – 700 Ma) (Nkoumbou et al., 2014). Au Cameroun trois grands domaines géodynamiques ont été distingués dans la chaîne panafricaine d'Afrique (Nzenti et al., 1998) : le domaine Nord, le domaine Central et le domaine Sud. La chaîne panafricaine se présente comme une zone privilégiée des dépôts miniers (Foster et al., 2002 ; Yandjimain, 2013).

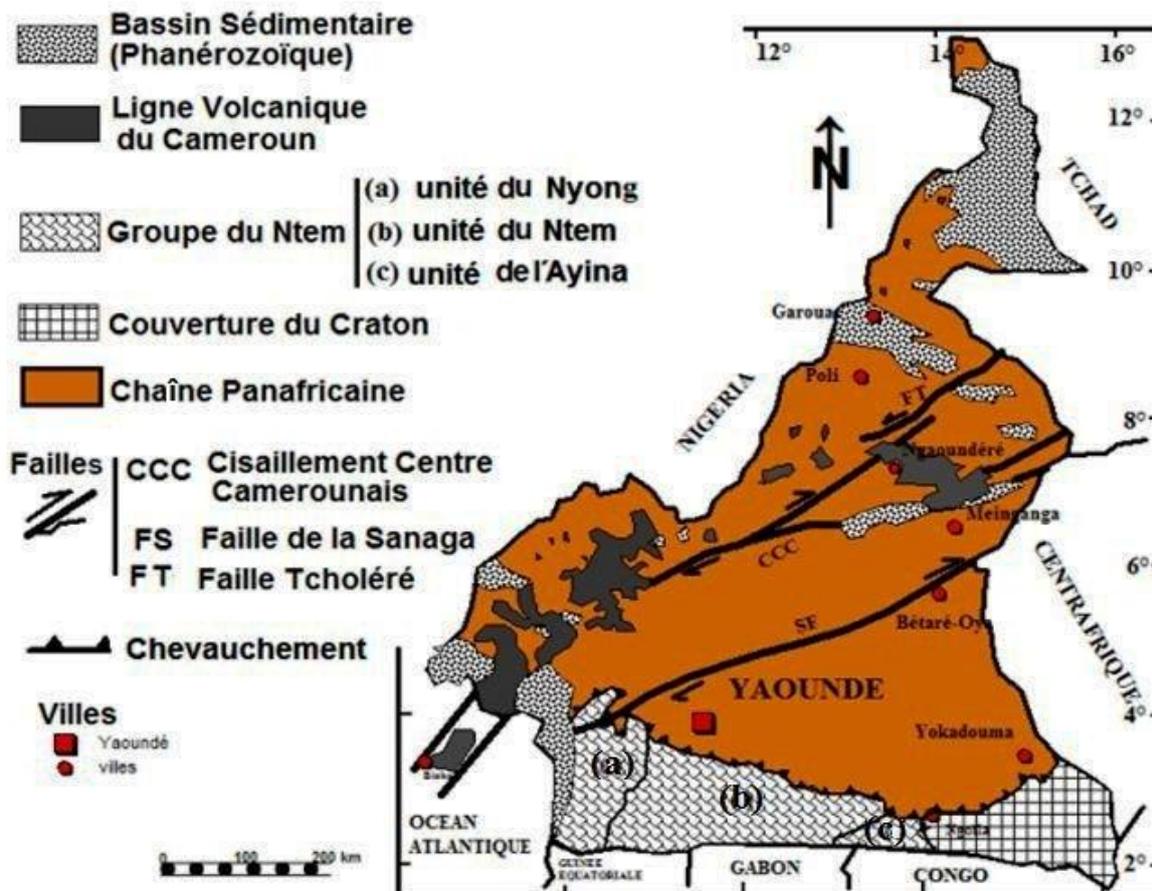


Figure 1: Grandes formations géologiques du Cameroun (modifié d'après Vicat & Bilong, 1998).

## **1.2. CADRE NATUREL DE LA ZONE D'ETUDE**

### **1.2.1. Situation géographique**

Logbadjeck chef-lieu de l'Arrondissement de la Dibamba se trouve dans la région du Littoral Cameroun, plus précisément dans le Département de la Sanaga Maritime. Située dans le Nord-Ouest du Département de la Sanaga Maritime, la zone d'étude se trouve à 15 km d'Edéa, Chef-lieu du Département de la Sanaga Maritime, à 30 km de Douala, Chef-lieu de la Région du Littoral et à 215 km de Yaoundé, capitale du Cameroun (CVUC, 2014). Le site d'étude (Fig.2) est compris entre les latitudes 3°56'20'' et 3°58'50'' Nord et les longitudes 10°3'32'' et 10°5'6'' Est. Elle présente deux domaines d'altitude séparés d'une zone où les altitudes varient entre 56 et 61 m. Le premier domaine observé dans les parties Est, Nord-Est et Sud-Est de la zone d'étude est caractérisé par les altitudes allant de 62 et 82 m tandis que le second domaine observé dans les parties Ouest, Sud-Ouest et Nord – Ouest de la zone d'étude se caractérise par des basses altitudes allant de 34 à 51 m. Le climat de Douala et ses environs à l'image de la côte camerounaise est influencé par l'équateur météorologique qui est le point de convergence des masses d'air issues de l'anticyclone des Açores (Atlantique Nord) et celui de Sainte Hélène (Atlantique Sud) (Suchel, 1987). C'est un climat de type guinéen qui règne dans la zone côtière. Toutefois, le climat du site d'étude est de type tropical humide constitué de deux grandes saisons bien distinctes à savoir une saison sèche qui dure entre 4 et 5 mois (Novembre à Février) et une saison des pluies qui dure généralement de Mars à Octobre . Les températures moyennes mensuelles varient entre 24 et 28°C. Le réseau hydrographique du sous-bassin de Douala fait partie d'un système hydrographique convergeant du bassin atlantique avec les fleuves comme le Wouri (250 km), le Mungo (150 km), la Dibamba (150 km) et la Sanaga (850 km). Le profil général des cours d'eaux est très irrégulier et présente des chutes et des rapides à la limite entre le socle et le sédimentaire. La zone d'étude est principalement arrosée par le fleuve Betalang. A côté de celui-ci, on note la présence de plusieurs rivières et ruisseaux qui arrosent les villages environnants (Ngombé, Welmakoulou, Ybong, Manyo-Manyo, Bibalé, Missolé, Manaté, Mayané, Ossa, Mitotom) regorgeant de ressources halieutiques diversifiées. Le fleuve Dibamba est soumis à l'influence des marées sur plus de 68 km, jusqu'au premier rapide situé en amont de Bonépoupa (Olivry, 1986).

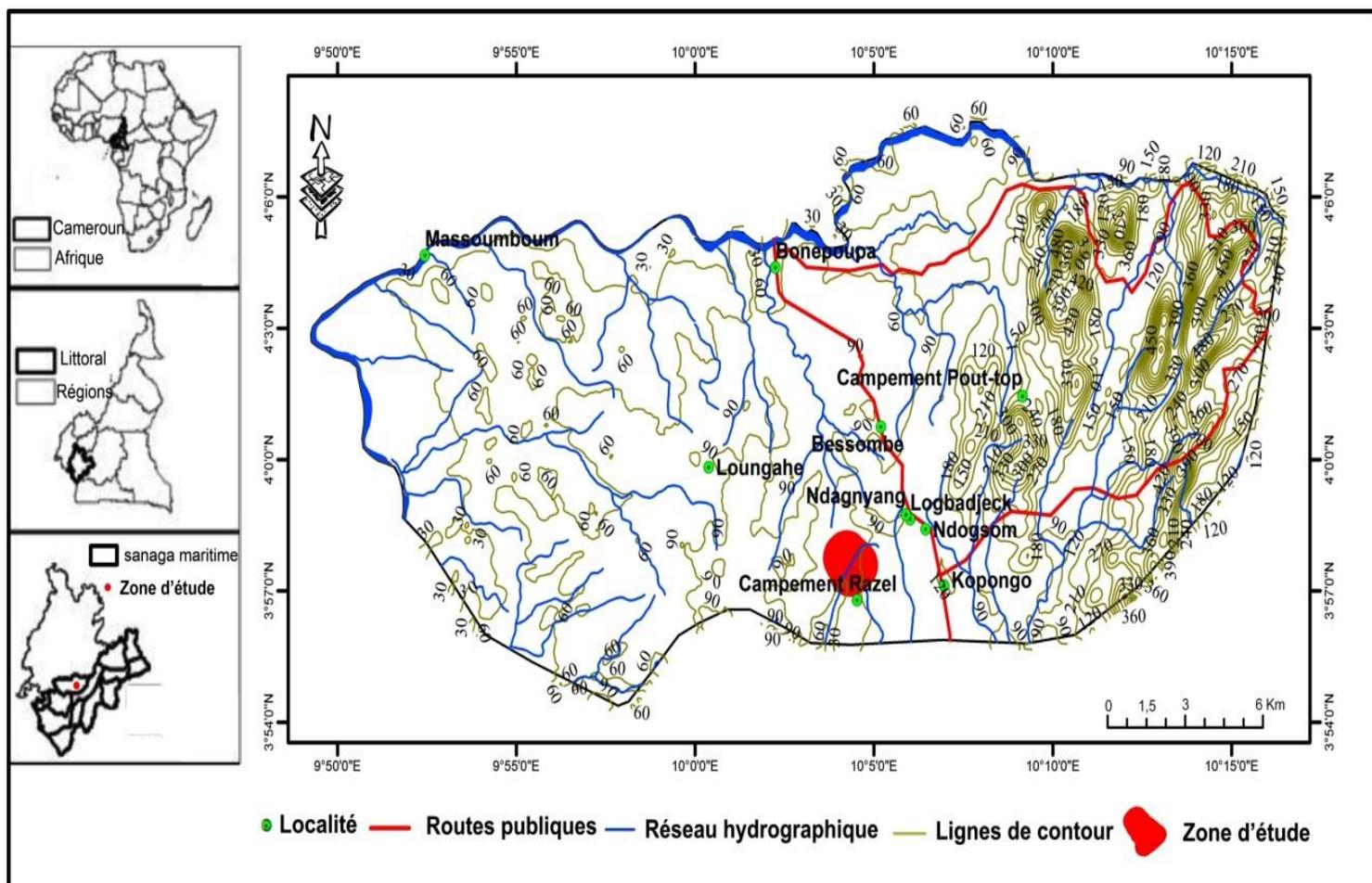


Figure 2 : Présentation de la zone d'étude.

### 1.2.2. Pluviométrie

Les données sur la pluviométrie sont consignées dans le Tableau 1 ci – dessous.

Tableau 1 : Distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle (mm), Douala (1987-2012).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Précipitation (mm)	50,8	81,3	195,6	226,1	307,3	477,5	622,4	627,4	581,7	419,1	154,9	55,9	3812,5

Source : station Météorologique de Douala.

D'après ce tableau, les précipitations sont réparties sur toute l'année avec un total annuel supérieur à 3800 mm. Le mois le plus pluvieux est le mois d'Août et le mois le moins pluvieux est celui de Janvier.

### 1.2.3. Température

Les données sur les températures sont comprises entre 24,7 et 27,6° C et réparties dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Distribution des températures moyennes mensuelles (°C) Douala (1987-2012).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyenne
Température (°C)	27	27,6	27,5	27,3	27,1	26,1	25	24,7	25,3	25,7	26,5	27	26,4

Source : station Météorologique de Douala.

D'après le tableau ci-dessus, les températures sont relativement élevées et constantes avec une moyenne annuelle de 26,4°C. Le mois plus chaud est Février et le plus froid est Août.

### 1.2.4. Végétation

La végétation du bassin de Douala est constituée de deux types de formations:

- La formation végétale sur sol ferme
- La formation de mangrove

a) Formation végétale sur sol ferme

La formation végétale sur sol ferme compte de nombreuses taches de forêt naturelle où s'effectue l'exploitation forestières informelle ou illégale (Letouzey, 1968). A côté de ces taches ou poches forestières, existent des massifs forestiers plus importants concédés soit aux populations locales sous forme de forêt communautaire, soit aux exploitants forestiers sous forme de vente de coupe ou d'unité forestière d'aménagement. La strate arbustive de cette forêt littorale est riche en espèces de la famille des Annonacées, d'Olacacées et Rubiacées et de Sterculiacées.

b) Formation de mangrove

La formation végétale sur sol inondé ou mangrove se développe au-dessus des eaux salées à forte sédimentation. De manière générale, on la rencontre sur la côte littorale notamment en bordure de la mer et de l'estuaire du Wouri et même sur les marais et lagunes de la région. Les mangroves du bassin de Douala reçoivent trois cours d'eau majeures : le Mungo, le Wouri et la Dibamba favorisés par de fortes pluies supérieures à 4000 mm par an qui entraînent des dilutions importantes des eaux côtières, le taux d'évaporation étant très faible. Les mangroves subissent l'influence de l'eau douce et des nutriments provenant de leur bassin hydrographique, ont une influence sur les eaux côtières avoisinantes et les écosystèmes associés comme les récifs coralliens et les marais soumis à l'action des marées (Din Ndongo 2001). La flore des mangroves reste peu diversifiée. Elle est constituée essentiellement de

palétuviers rouges et de palétuviers blancs. A côté des palétuviers, on rencontre des espèces de fougères.

### **1.2.5. Sols**

Les sols de la plaine côtière sont ferralitiques jaunes topomorphes résultant de l'altération des roches sédimentaires ou jaunes et rouges résultant de l'altération du socle granito-gneissique. L'étude morphologique de deux profils latéritiques développés sur argiles sédimentaires, montre que ce sol est constitué d'argiles sédimentaires à intercalations sableuses renfermant quelques rares épisodes calcaires riches en foraminifères (Ndjigui et al., 1999). Dans la zone d'étude, on rencontre généralement des sols ferralitiques de couleur à tendance jaunâtre. Ces sols sont assez riches en concrétions latéritiques à faible profondeur d'où la présence de nombreuses carrières de latérites dans cette zone (CVUC, 2014).

## **1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE**

### **1.3.1. Formation de couverture**

L'histoire géologique du sous-bassin de Douala (Fig.3) est intimement liée au rifting continental et à l'ouverture de l'Atlantique Sud. Sur le plan géologique, les travaux de nombreux auteurs (Njiké Ngaha, 1984 ; Regnault, 1986 ; Ngueutchoua, 1996) mettent en exergue un certain nombre de formations qui affleurent ou qui ont été traversées par des forages pétroliers et/ou reconnues à partir de la sismique. Ainsi, la lithologie du bassin de Douala présente du haut vers le bas plusieurs formations regroupées suivant leurs âges de dépôt (sédiments quaternaires, tertiaires et secondaires).

Les sédiments du Quaternaire sont représentés dans le bassin de Douala par les formations du Wouri. C'est une unité non consolidée, sableuse avec intercalations de silts et d'argiles devenant silteuses en surface. Cette formation repose en discordance sur toutes les séries antérieures qu'elle ravine par endroits. Les dépôts ici sont de type fluviodeltaïque.

Les sables sont grossiers, à litage généralement entrecroisé et fréquemment intercalé de niveaux indurés ferrallitisés (Martin, 1979). Les études de Ngueutchoua (1996) montrent sur le plan minéralogique l'existence des calcaires avec des carbonates de calcium ayant des teneurs augmentant avec la profondeur ainsi que les argiles représentées par la kaolinite, la smectite et l'illite (suivant leur ordre d'abondance de la surface vers la profondeur).

Les sédiments du Tertiaire sont représentés par les formations de Nkapa, de Souellaba et de Matanda. La formation de Matanda date du Miocène et est caractérisée surtout par des dépôts deltaïques avec des lentilles de sable. La stratification est faite d'une prédominance des

sables grossiers à la base et de sables fins au sommet avec intercalations d'argiles bariolées continentales. La formation de Souellaba date de l'Oligocène. Elle est sableuse et en discordance avec la formation de Nkapa. Elle comprend des argiles noires ou brunes avec quelques petits bancs sableux, des sables argileux ainsi que des sables fins et des graviers alternant avec des argiles plastiques. La formation de Nkapa datée de l'Eocène et du Paléocène, comprend deux membres hétérogènes (Bolondo et Dizangué) qui correspondent à une remontée eustatique oscillante sur le socle quasi-pénéplainé. Cette formation est constituée de grès arkosiques montrant occasionnellement des couches de quartz avec des intercalations argilo-calcaires qui deviennent prédominantes vers la surface. Bolondo appartient au domaine franchement marin et Dizangué représente le domaine continental ; les deux sont séparés par les dépôts clastiques littoraux au niveau de la marge du bassin de Douala (Regnault, 1986). Les études de Mfayakouo et al., (2021) montrent que les dépôts de Misolé I datent du Paléocène-Eocène tandis que ceux de la Dibamba datent de l'Oligocène.

Les formations secondaires sont représentées par la formation de Logbaba et celle du Mundeck. La formation de Logbaba date du Cénomanién et elle repose en discordance ou en concordance sur les grès de base selon que la surface d'érosion existe ou non (Dumort, 1968 ; Njiké Ngaha, 1984). Elle est essentiellement constituée de grès, de sables et d'argiles sableuses fossilifères. La formation des grès de base ou du Mundeck date de l'Albo-aptien. Elle est en discordance sur le socle cristallin. Elle est bien exposée dans la partie Nord du bassin de Douala, en particulier près de Mundeck dans la vallée du Mungo où elle affleure sous une faible épaisseur du sol (Njiké Ngaha, 1984). La formation de Logbajack est datée Cénomanién (Njiké Ngaha, 2004)-Campanien (SPT, 1995 ; SNH/UD, 2005). La sédimentation est de type fluviodeltaïque, principalement à la base. La zone de prospection faisant l'objet de cette étude est localisée dans le bassin de Douala plus précisément dans la localité de Logbadjack. La zone d'étude repose principalement sur la série du Nyong. Elle se caractérise par le fait qu'elle est située au voisinage immédiat du contact sédimentaire-cristallin. On y observe une série d'affleurements de petites dimensions formés des marnes, sables, d'alluvions et du calcaire très fossilifère. Elle est en concordance apparente par les grés et argiles continentaux (Ndougssa, 1995). La géologie est dominée ici par des complexes gneissiques, de gneiss à biotite et amphibole, gneiss charnockitique, et d'amphibolites (Toteu, 2008).

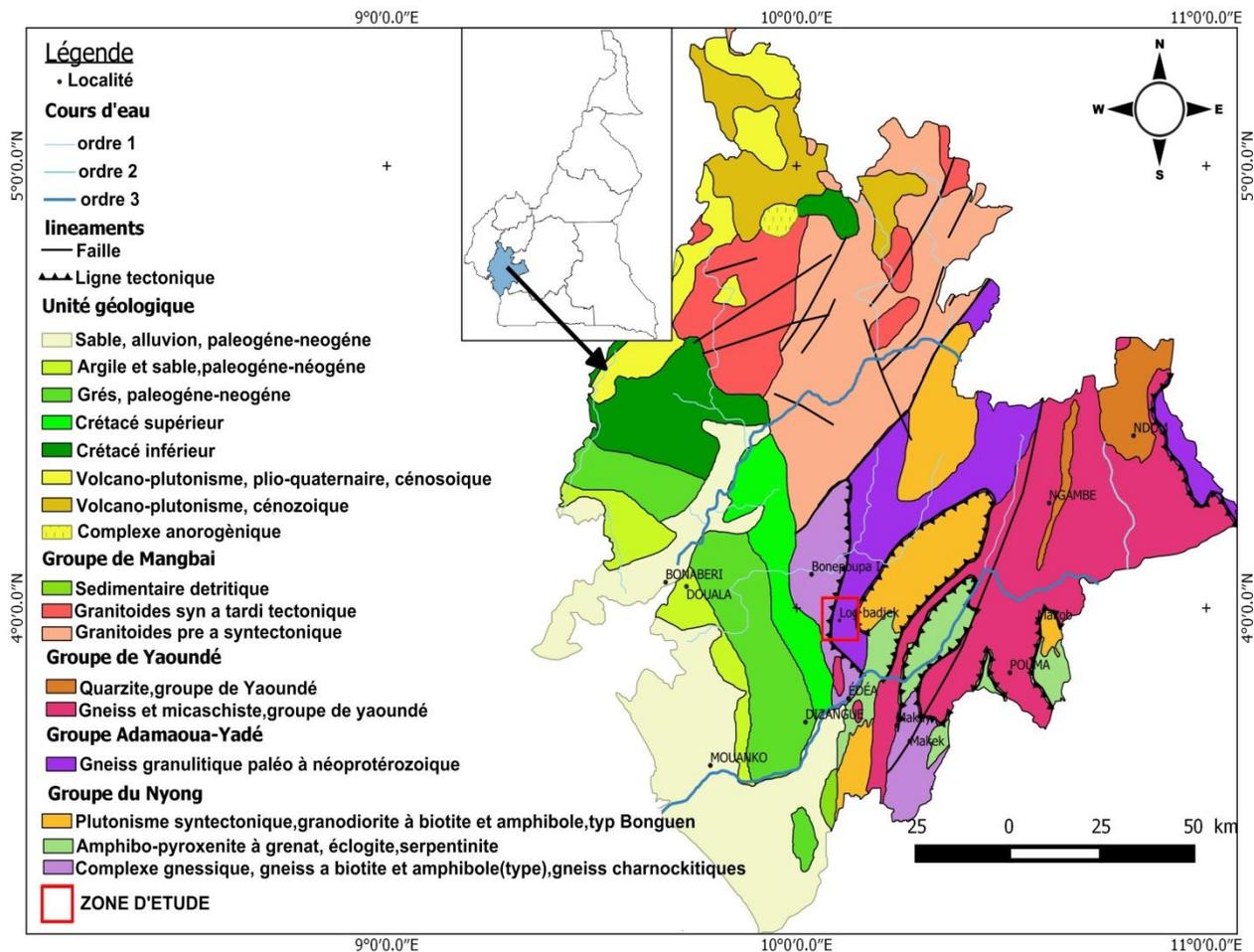


Figure 3: Carte géologique du littoral et localisation de la zone d'étude (Modifié d'après Toteu, 2008).

### 1.3.2. Tectonique

La structure en marches d'escalier héritée lors de l'ouverture de l'Atlantique Sud, engendre une subsidence progressive du bassin côtier dont celui de Douala avec formation des failles. L'histoire tectono-stratigraphique du bassin sédimentaire de Douala se résume en quatre phases (Nguéné et al., 1992) :

- **Phase synrift**

Du Jurassique au Crétacé inférieur, la phase synrift correspond à la phase initiale du rifting et se caractérise par la présence des dépôts lacustres et fluviaux.

- **Phase de transition**

La phase de transition va du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur. Ici, on passe des dépôts continentaux aux dépôts marins peu profonds et la présence des roches salines. Elle correspond à la formation du Mundeck au Cameroun. Elle se termine par la discordance qui va du Cénomaniens au Crétacé supérieur, représentant le passage de la phase rift à la phase de séparation.

- **Phase de séparation I**

La phase de séparation I débute entre le Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur et a continué jusqu'à l'Eocène inférieur. Elle est caractérisée par le développement de la marge passive (Barker et al., 1972 ; Nguéné et al., 1992). Elle est caractérisée par la présence des grès de Logbadjeck (Turonien supérieur-Santonien), l'alternance des grès et argiles de Logbaba, et les argiles de Nkapa.

### - Phase de séparation II

La phase de séparation II est essentiellement associée au volcanisme du Mont Cameroun qui a commencé à l'Oligocène (42 Ma) le long du secteur continental (Marzoli et al., 2000). Cette phase va de l'Eocène inférieur à l'actuel. De l'Oligocène supérieur au Miocène inférieur, la subsidence provoquée par la mise en place du mont Cameroun a entraîné le dépôt de la formation de Souellaba dans le sous-bassin de Douala. Du Miocène à l'actuel, la charge de la ligne volcanique du Cameroun a continué à avoir un effet dans le sous-bassin de Kribi-Campo où il y a eu dépôt des formations de Kribi, Matanda et du Wouri. Le résultat de ces phénomènes géodynamiques est la structure du sous-bassin de Douala qui prend la forme d'un gigantesque escalier aux marches de hauteur très inégales, qui s'enfonce vers l'Ouest et le Sud, avec une flexure continentale d'axe allant de Compina à Edéa. La profondeur du toit varie d'un escalier à un autre (Regnould, 1986).

La structure du sous-bassin de Douala (Fig.4) a été réalisée grâce à l'analyse des forages pétroliers dans ce bassin par les chercheurs tels que Hedberg (1969) ; Baker et al., (1972) ; Regnould (1986) ; Nguéné et al., (1992) ; Abolo et Loulé (1997). Les fractures observées dans la partie Nord de la Sanaga de direction NE-SW sont prédominantes, celles de direction NW-SE sont assez bien représentées et celles de direction N-S sont rares. Ces fractures ont un rejet vers le Sud. Ces failles sont parallèles à la bordure du sous-bassin sédimentaire et marquent la limite socle-sédimentaire. (Njiké Ngaha, 1984).

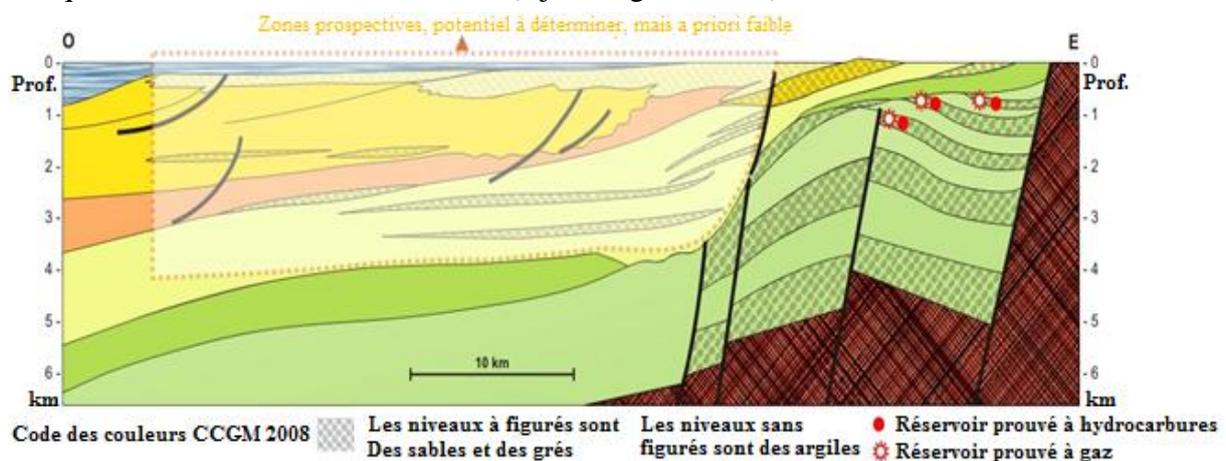


Figure 4 : Structure du sous-bassin de Douala (Lithothèque Cameroun, 2010).

#### 1.4. TRAVAUX ANTERIEURS

La région du Littoral où se trouve la zone d'étude a fait l'objet de nombreuses études. Dans la plupart des cas, ces études ont été menées par des compagnies pétrolières. Une grande partie des données est restée à l'abri du grand public à cause de leur caractère confidentiel. Parmi les travaux antérieurs effectués on peut citer :

À partir de l'alignement des épencentres des secousses sismiques enregistrées de 1987 à 1989 suivant un axe Kribi-Edéa, Atéba et al. (1992) proposent une extension SSW de la limite géophysique du Craton du Congo en direction de Kribi : ce contact craton/chaîne serait à l'origine de la sismicité de cette région.

Koumético (2004), en étudiant les structures profondes de la marge occidentale du Craton du Congo par la méthode gravimétrique suggère que la marge occidentale du Craton du Congo serait située entre Kribi et Edéa et représenterait une zone intéressante pour la prospection minière.

Ndikum et al. (2014) mettent en évidence dans le sous-bassin sédimentaire de Douala à l'aide de la modélisation 2,5 D des données gravimétriques un corps intrusif ayant un contraste de densité de  $0,266 \text{ g/cm}^3$ .

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

Ndougsa Mbarga (1995), grâce à des données audiomagnétotelluriques met en évidence une anomalie structurale (faille) dans la localité de Bonepoupa.

Kopa Njueya et al. (2012) montrent que les études géophysiques (méthode géoélectrique : dispositif Schlumberger) couplées aux résultats de foration, font ressortir la présence de deux principaux aquifères entre 0 et 100 m de profondeur, et qu'on distingue une nappe superficielle exploitée à travers les puits (de 0 à 13 m à Douala 4ème et de 0 à 17 m à Douala 3ème) et une nappe profonde exploitée au moyen des forages (de 38 à 73 m à Douala 4ème et de 20 à 40 m à Douala 3ème). Ils montrent également que dans la localité de Douala 4ème, les aquifères profonds semblent être continus et hétérogènes, pourtant ils semblent ne pas l'être dans la localité de Douala 3ème.

Abolo et Loulé (1997), à la suite de l'interprétation des données des puits et de sismique dans le bassin de Douala, retrouvent les huit unités lithologiques déjà définies par d'autres auteurs, et séparées ou non entre elles par des discordances. Il s'agit de :

- La formation de Mundeck (Barrémien-Aptien), constituée de grès, sable grossier souvent conglomératique et argile ;
- La formation de Logbadjeck (Turonien-Campanien inférieur), constituée des argiles avec de faibles intercalations de sables et de grès ;
- La formation de Logbaba (Santonien-Maestrichtien), dominée par d'épais niveaux d'argile gréseuse et de grès fins à grossiers ;
- La Formation Nkapa (Paléocène-Eocène inférieur), contient principalement des argiles gréseuses calcaires et occasionnellement de niveaux calcaires ;
- La formation de Souellaba (Oligocène- Miocène), constituée d'argiles et de grès ;
- La formation de Matanda (Pliocène supérieur – Pléistocène) ; il s'agit principalement des sables grossiers à fins, des intercalations de grès argileux et des argiles silteuses.

Ntamack et al. (2010) ont utilisé de nouvelles données disponibles dans le bassin de Douala/Kribi-Campo pour délimiter la stratigraphie du bassin comme suit :

- La formation de Mundeck ;
- La formation de Logbadjeck (Turonien supérieur à Campanien inférieur) ;
- La formation de Logbaba (Campanien supérieur –Maastrichtien) ;
- La formation de Nkapa (Paléocène à Eocène inférieur) ;
- La formation de Souellaba (Miocène inférieur et moyen) et de Kribi (Miocène supérieur) ;
- La formation de Matanda (Pliocène supérieur-Pléistocène) ;
- La formation du Wouri (Pléistocène-Holocène) ;

A la suite de la présentation ci-dessus, la stratigraphie qui semble refléter le bassin de Douala/Kribi-Campo est la suivante (figure 5).

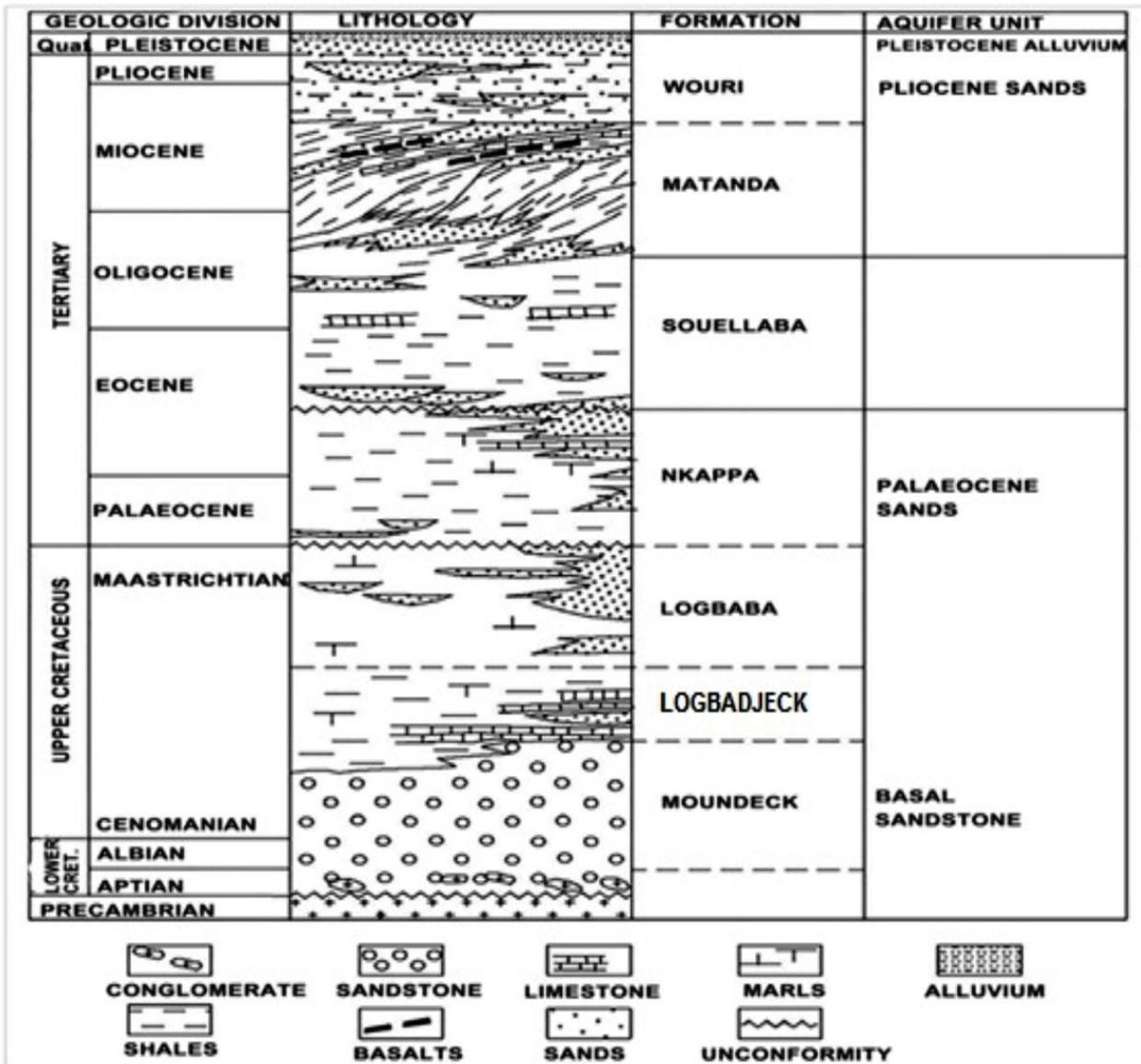


Figure 5: Colonne lithostratigraphique du bassin de Douala/Kribi-Campo (Lithothèque Cameroun, 2010).

Kenfack et al. (2012) n'ont recensé que 16 espèces de dinoflagellés auxquelles ils attribuent une valeur stratigraphique, situant leurs dépôts à la limite Crétacé-Tertiaire.

Njandjock et al. (2013) utilisent les méthodes électriques et géologiques pour mener des études pétrophysiques dans le bassin sédimentaire de Douala le long de la route nationale N°3 Yaoundé-Douala. Cette étude révèle que les roches du bassin sédimentaire de Douala sont principalement composées de grès et d'argile et que les roches du socle d'Edéa et Sikoum sont soumises aux mêmes phases de déformation.

Mbog et al. (2019) utilisent la méthode géoélectrique et les données de puits réalisés à Bomkoul localité située dans le sous-bassin de Douala pour étudier la stratification du sous-sol et l'évaluation de l'épaisseur de chaque couche à travers la variation de la résistivité avec la

profondeur. Ils situent les épaisseurs de la première couche entre 0,2 et 2 m, celle de la deuxième couche entre 2 et 4 m, celle de la troisième couche entre 2 et 4 m et celle des quatrième et cinquième couches respectivement entre 4,0 et 6,0 m et entre 2,0 et 6,0 m.

Mfayakouo et al. (2021), utilisent la palynologie et l'analyse de séquences pour dater les dépôts de Misolé et de la Dibamba. Cette étude révèle que les dépôts de Misolé I datent du Paléocène-Eocène tandis que ceux de la Dibamba datent de l'Oligocène.

Paho et al. (2021), grâce aux études pétrographique, morpho-structurale et géoélectrique localisent sur une étendue de 1871,4 m des formations de quartzite frais et de 1991 m des formations de quartzite légèrement altéré dans la partie centrale de Pouma, Littoral-Cameroun.

## **Conclusion**

Ce chapitre a consisté à présenter d'une façon générale la zone d'étude. Il apparaît que Logbadjeck, localité située à 15 km de la ville d'Edéa, zone d'investigation géophysique est dominée par un relief assez vallonné fait de collines à plateau de pentes (versants des collines) assez faibles. Les études présentent une géologie dominée par des migmatites, de complexes gneissiques, des quartzites et des brèches.

## **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

Ce chapitre consistera à présenter le matériel et la méthodologie utilisée pour mener à bien ce travail. La première partie « matériel » présentera les images satellitaires (SRTM et Landsat 7 ETM+), le dispositif de mesure par courant continu (type Schlumberger) et les logiciels utilisés. La deuxième partie « méthodes » abordera le traitement des images satellitaires (SRTM et Landsat 7 ETM+), la distribution du courant dans le sol et l'inversion des sondages par courant continu.

## **2.1 MATERIEL**

### **2.1.1 Données pour la cartographie des linéaments**

Pour établir la carte des linéaments de la zone d'étude, on a eu recours à plusieurs images satellitaires et cartes offertes par l'Institut de Recherche Géologique et Minière (IRGM) entre autres :

- L'image Landsat 7 ETM+ scène 186 -57 de résolution (surface au sol représentée par un pixel) 30 m x 30 m, acquise le 05/04/2016 pendant la grande saison sèche. Cette image a été téléchargée via le site <http://earthexplorer.usgs.gov>;
- L'image SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) acquise le 20/04/2017 de résolution 90 m x 90 m et disponible sur le site <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.html>;
- La carte topographique à l'échelle 1/500,000 ;
- La carte de géologie structurale ;
- La carte hydrographique ;
- La carte du réseau routier.

De ces images doivent être extraites des informations inutiles (routes bitumées, pistes, ligne de haute tension, layons de délimitation de forêt et surfaces cultivées) pour s'assurer que les linéaments cartographiés ne sont pas de nature anthropique.

### **2.1.2 Matériel d'acquisition des données géophysiques**

Le matériel utilisé pour la réalisation des sondages électriques est constitué des éléments suivants :

- le résistivimètre (fig.6) ;
- un accumulateur d'énergie additionnelle (batterie auto de 12V) ;
- 04 électrodes de 49 cm chacune en acier inoxydable ;
- un ordinateur portable;

- un récepteur GPS (Global Positionning System) et une boussole de visée ;
- des machettes et des gants pour la réalisation des layons ;
- des décamètres non métalliques ;
- des marteaux pour la mise en place des électrodes ;
- du scotch d'électricien ;
- des fiches de mesure ;
- de l'eau pour arroser les électrodes (au cas où).



Figure 6 : Photographie du résistivimètre utilisé pour l'acquisition des données.

### 2.1.3 Logiciels informatiques utilisés

- **Géophysique**

Les logiciels utilisés pour le traitement des données géoélectriques étaient constitués de Surfer qui a permis à la fois de réaliser les cartes de résistivité et les sections géoélectriques, de Jointem pour l'inversion des courbes de sondage, de Microsoft Excel qui a servi à réaliser les profilages, et de Res2Dinv qui a permis de réaliser les sections de résistivité.

- **Téledétection**

Les logiciels utilisés pour le traitement des images satellitaires SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) et Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) étaient constitués de Erdas imagine 2014 qui a permis de réaliser l'analyse en composantes principales, et le filtrage spatial de l' image Landsat 7 ETM+ ; de ArcGis 10.2 qui a servir à réaliser le filtrage par relief ombragé de l'image SRTM, à superposer les différentes couches d'informations, à tracer les différents linéaments et à générer automatiquement le tableau contenant les différentes longueurs de linéaments ; de RockWorks 16 qui a permis de représenter graphiquement la répartition statistique de l'orientation de linéaments ; et du logiciel R à servir de réaliser l'ajustement d'une loi de distribution des différents paramètres.

## 2.2 METHODES

### 2.2.1. Principe de base de la télédétection

La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur (fig.18).

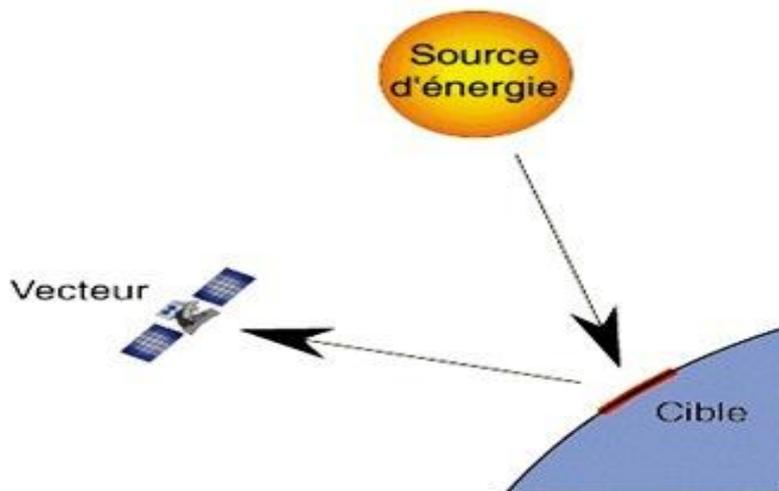


Figure 7 : Principe de base de la télédétection (Bonn et Rochon, 1992).

- La cible est la portion de la surface terrestre observée par le satellite, et dont la taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- La source d'énergie est l'élément qui « éclaire » la cible d'une onde électromagnétique (flux de photons). Il s'agit généralement du soleil, ou de l'énergie solaire stockée et réémise par la cible (considérée dans ce cas comme source d'énergie) sous forme de chaleur (infrarouge thermique). Dans les deux cas, le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de télédétection passive. Toutefois, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite ; ce dernier émet une

onde vers la cible et en mesure l'écho, il devient lui-même source d'énergie, on parle alors de Télédétection active.

- Le vecteur ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des systèmes de collecte et analyse de données. Le vecteur peut-être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres.

La télédétection englobe donc tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.

### **2.2.2. Traitement des images satellitaires**

L'ensemble des procédés de traitement utilise des opérations arithmétiques pour transformer les bandes originales en de nouvelles images composites. Les traitements suivants traduisent les procédés d'amélioration du contraste sur l'image multispectrale Landsat 7 ETM+ et radar SRTM.

#### **2.2.2.1. Relief ombragé de l'image SRTM**

Un relief ombragé est une représentation bidimensionnelle de la topographie d'une zone géographique de la Terre. L'algorithme pour calculer le relief ombragé est donné par l'équation (2.1) ( Teikeu , 2016) suivante :

$$RO = 250 [\cos(Z) \cdot \cos(sl)] + [\sin(Z) \cdot \sin(sl) \cdot \cos(A_z - A_s)] \quad (2.1)$$

où  $sl$  est la pente de terrain,  $A_s$  est l'aspect de l'image,  $A_z$  est l'azimuth ou direction du REM, et  $Z$  est l'angle d'inclinaison du REM.

Dans le cadre de cette étude, des couches de reliefs ombragés ont été effectuées à l'aide de l'outil « Hillshade » présent dans l'extension Spatial Analyst du logiciel ArcGIS 10.2. Les orientations utilisées sont  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$  et  $315^\circ$  avec une inclinaison de la source par rapport à l'horizontal de  $45^\circ$ .

#### **2.2.2.2. Transformée de Hotelling de l'image Landsat7 ETM+**

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une transformation mathématique qui consiste à calculer les valeurs et vecteurs propres de la matrice de variance-covariance calculée à partir d'une série d'images, puis les composantes principales du compte numérique des bandes multispectrales (Bonn et Rochon, 1992). Cette technique s'appuie sur le calcul de la variance réduite donnée par l'expression mathématique l'équation (2.2) suivante :

$$S_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^j - \bar{x}^j)^2 \quad (2.2)$$

avec  $S_j^2$  la variance, n le nombre de bandes,  $x_i^j$  le vecteur de la bande i associé à la variable j

et  $\bar{x}^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^j$  la moyenne des valeurs prises par la variable j.

La première composante est calculée dans la direction de l'espace suivant laquelle la variance est maximale. La seconde obéit à la même règle dans l'espace restant et ainsi de suite. De même, on définit le coefficient de corrélation linéaire entre les variables k et j par l'équation (2.3) ( Teikeu , 2016) suivante:

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^j - \bar{x}^j)(x_i^k - \bar{x}^k)}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i^j - \bar{x}^j)^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (x_i^k - \bar{x}^k)^2 \right]}} \quad (2.3)$$

Ce coefficient exprime le niveau de corrélation (linéaire) entre les variables j et k : plus il est proche de 1, plus les variables sont corrélées. Cette méthode a été appliquée aux sept bandes de l'image Landsat 7 ETM+. L'état de corrélation entre les différentes bandes ETM+ est présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Matrice de corrélation des bandes Landsat ETM+.

<b>Bandes ETM+</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>1,00</b>						
<b>2</b>	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>					
<b>3</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>				
<b>4</b>	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>	<b>0,78</b>	<b>1,00</b>			
<b>5</b>	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>		
<b>6</b>	<b>0,65</b>	<b>0,65</b>	<b>0,63</b>	<b>0,57</b>	<b>0,65</b>	<b>1,00</b>	
<b>7</b>	<b>0,77</b>	<b>0,78</b>	<b>0,90</b>	<b>0,73</b>	<b>0,87</b>	<b>0,74</b>	<b>1,00</b>

Les trois premières composantes contiennent un pourcentage élevé de la variance totale (tableau 3). Ce tableau montre une forte corrélation des bandes du visible (1, 2 et 3) avec des coefficients de 0,9. Il existe également une corrélation de l'ordre de 0,7 dans celles de l'infrarouge. L'utilisation conjointe de ces canaux donne des informations redondantes, car ils renferment des données communes.

### 2.2.2.3. Combinaison des bandes et Composition colorée de l'image Landsat 7 ETM+

Les combinaisons de bandes sont des opérations arithmétiques (addition, soustraction et division) appliquées sur les bandes afin d'améliorer la perception des images. Pour ce qui est de la composition colorée, c'est une image couleur obtenue à partir de trois bandes en attribuant à chacune d'elles une des couleurs: rouge (R), verte (V) et bleue (B). Cependant, il arrive que ces combinaisons soient très corrélables, c'est-à-dire que l'information portée se répète dans plusieurs bandes. Pour échapper à cette répétitivité et choisir les compositions RVB les plus importantes, une étude statistique pour les six bandes de même résolution spatiale (1, 2, 3, 4, 5 et 7) est effectuée. Ainsi, le coefficient de corrélation des six bandes (tableau 3) est calculé. Les meilleures compositions colorées obtenues correspondent aux combinaisons de trois bandes les moins corrélées entre elles. Dans le souci d'optimiser l'analyse visuelle et d'adapter les variations de tonalités au système visuel humain, des compositions colorées sont réalisées à partir des bandes 4, 5 et 7.

### 2.2.2.4. Filtrage de l'image Landsat 7 ETM+

Les filtres directionnels améliorent la perception des linéaments en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image comme si elle était éclairée par une lumière rasante (Marion, 1987). De plus, ce type de filtre permet de rehausser les linéaments qui ne sont pas favorisés par la source d'éclairage (Drury, 1986). Le rehaussement des contours s'effectue par une convolution discrète, dont l'opérateur d'intégration est une simple sommation d'équation (2.4) suivante:

$$M(x, y) = \sum_{i=-T/2}^{i=T/2} \sum_{j=-T/2}^{j=T/2} M(x + i, y + j) * I(i, j) \quad (2.4)$$

où  $M(i, j)$  est l'image d'entrée,  $M(x, y)$  est l'image filtrée et  $I(i, j)$  le masque de convolution.

L'application des filtres directionnels 7x7 de type Sobel et du filtre gradient de Yésou et al. (1993) aux bandes ETM+7, ETM+4 et PC1 permet de rehausser encore mieux les discontinuités correspondant à des linéaments structuraux. Le tableau 4 présente les différents filtres utilisés au cours de cette étude.

Tableau 4 : Matrices des filtres appliqués.

1	1	1	2	1	1	1
1	1	2	3	2	2	1
1	2	3	4	3	3	1
0	0	0	0	0	0	0
-1	-2	-3	-4	-3	-3	-1
-1	-1	-2	-3	-2	-2	-1
-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1

Sobel N-S

-1	-1	-1	0	1	1	1
-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-2	-3	0	3	2	1
-2	-3	-4	0	4	3	2
-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-1	-1	0	1	1	1

Sobel E-O

0	1	1	1	1	1	2
-1	0	2	2	2	3	1
-1	-2	0	3	4	2	1
-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-2	-4	-3	0	2	1
-1	-3	-2	-2	-2	0	1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	0

Sobel NE-SO

2	1	1	1	1	1	0
1	3	2	2	2	0	1
1	2	4	3	0	-2	-1
1	2	3	0	-3	-2	-1
1	2	0	-3	-4	-2	-1
1	0	-2	-2	-2	-3	-1
0	-1	-1	-1	-1	-1	-2

Sobel NO-SE

1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Yésou et al.(1993)

### 2.2.2.5. Extraction des linéaments et validation

Pour cette étude une approche visuelle a été utilisée telle que préconisée par Youan Ta et al. (2008). L'extraction des linéaments a été réalisée d'une part sur les bandes initiales (filtrées ou issues de l'ACP) et d'autre part sur l'image SRTM traitée. Les traitements et filtrages ont eu pour effet d'accentuer et de faciliter la détection des discontinuités, permettant ainsi leur levé par simple observation visuelle. Seuls les linéaments d'origine structurale ont un intérêt dans cette étude. Les linéarités d'origine anthropique préalablement vectorisées (routes bitumées, pistes, ligne de haute tension, layons de délimitation de forêt et surfaces cultivées) ont été identifiés dans l'ensemble des linéaments et éliminés. La vérité terrain est le moyen le plus fiable pour la procédure de validation des cartes linéamentaires (Kouamé et al., 1999). Dans le cas de cette étude, la vérification sur le terrain de tous les linéaments pour prouver leur origine structurale n'a pas été possible. Cependant la vérification d'un linéament

rencontré dans la zone d'étude à l'aide des méthodes géophysiques (géoélectricité) confirme qu'il s'agirait d'un linéament d'origine structurale. La carte géologique et la carte du réseau hydrographique ont également servi de support à la validation de la carte de linéament de la Dibamba.

#### 2.2.2.6. Caractérisation statistique de la géométrie des linéaments

L'analyse géométrique du réseau des linéaments est indispensable pour décrire la structure d'une zone étudiée. Les paramètres géométriques étudiés dans ce travail sont l'orientation et la longueur des fractures. La distribution des longueurs est ici ajustée par plusieurs modèles statistiques, exponentiel, gamma, log-normal, et puissance, puis testée suivant les tests du khi 2 ( $\chi^2$ ) et de Kolmogorov-Smirnov. Les modèles log-normal, gamma et exponentiel ne rendent pas toujours compte de la distribution des linéaments de façon satisfaisante (les seuils de signification sont très faibles). Il est donc préférable de procéder à un ajustement des longueurs de linéaments en utilisant un modèle puissance (Lasm et Razack, 2001). En effet, en reportant dans un diagramme bi-logarithmique l'histogramme de fréquence du paramètre, si les points s'alignent suivant une droite de pente p, la distribution suit alors une loi de puissance d'équation :  $n(x) = a \cdot x^{-p}$  (2.5)

ou :

- $x$  : centre de classe de la variable, par exemple la longueur des fractures ;
- $n$  : fréquence de classe ;
- $a$  : coefficient réel à ajuster ;
- $p$  : exposant réel à ajuster, caractéristique de la loi puissance.

Le test du khi 2 concerne uniquement les lois discrètes, mais on peut l'utiliser aussi pour des échantillons continus regroupés en classes. Lorsque :  $\chi_{cal}^2 \geq \chi_{th}^2$  le test est rejeté. Il est accepté dans le cas contraire.

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test d'ajustement à une loi continue qui prend en compte l'ensemble des quantités. L'idée est de calculer la distance de la norme uniforme (maximale) entre les fonctions de répartition théorique et empirique. Si cette distance dépasse une certaine valeur qu'on lira dans une table en fonction du seuil de signification choisi, on dira que l'échantillon ne peut pas être une réalisation de la loi.

### 2.2.2.7. Organigramme de traitement des images Landsat ETM+ et SRTM.

Les principales tâches réalisées pour le traitement des images satellites sont résumées dans la figure 8. L'extraction manuelle des linéaments a consisté à répertorier ou identifier toutes les structures linéaires de la région sur les images Landsat7 ETM+ et SRTM résultant des différents traitements effectués. Les détails linéaires observés dans les images sont liés à divers phénomènes géologiques tels que des failles, des contacts géologiques, des structures plissées. Ainsi, les discontinuités d'images peuvent être l'expression de frontières entre des formations géologiques, des couloirs de cisaillement ou des vallées.

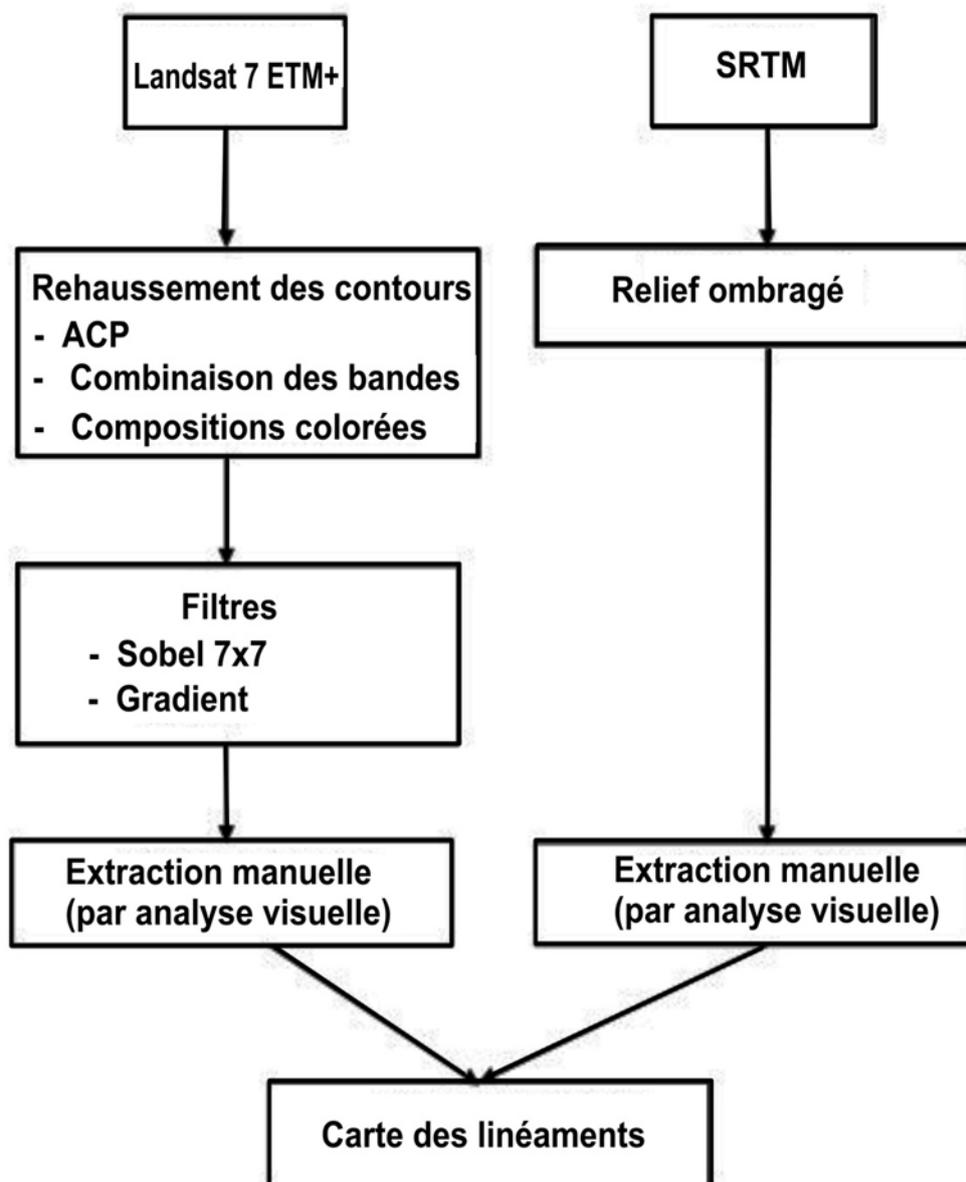


Figure 8: Organigramme de traitement des images Landsat ETM+ et SRTM.

### 2.2.3. Etude pétrographique et structurale

Les analyses pétrographiques et structurales sont basées sur les observations de terrain. Les analyses pétrographiques ont pour but de faire une nomenclature et une description des formations géologiques présentes dans la zone d'étude. Le principe consiste lors des investigations géologiques de mettre en évidence les types lithologiques présents sur le site. Les analyses structurales quant à elles consistent à mettre en relief les marqueurs de la tectonique qui ont affecté et conditionné la zone d'étude.

### 2.2. 4. Rappel des notions fondamentales sur la méthode électrique

#### 2.2.4.1. Principe de la méthode électrique (DC)

Dans cette étude, la méthode utilisée est la méthode électrique à courant continu (DC). Le dispositif Schlumberger (Fig.9) utilisé dans la zone d'étude est basé sur le fait que le courant électrique est injecté dans le sol à travers les deux électrodes de courant (AB) et le potentiel électrique est mesuré à travers deux électrodes de potentiel (MN) dont les distances varient par rapport aux deux premières électrodes. A partir des valeurs mesurées de la différence de tension et du courant, la résistance est calculée et la résistivité électrique apparente qui dépend de la configuration utilisée est déterminée en fonction de la profondeur de pénétration (Anterrieu, 2006). Cette résistivité dépend de divers facteurs tels que la qualité du fluide, la saturation, la porosité ou la température du milieu (Zhdanov et Keller, 1994).

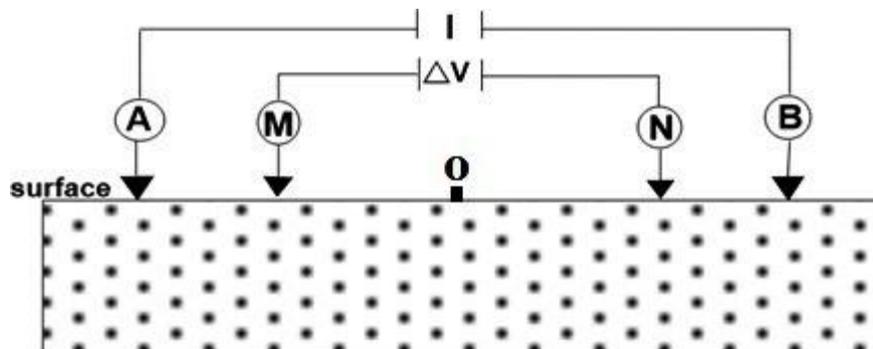


Figure 9 : Principe de mesure de la résistivité apparente – dispositif de Schlumberger (Chapellier, 2001).

#### 2.2.4.2. Loi d'Ohm

La loi d'Ohm décrit les propriétés électriques d'un flux de courant dans un milieu donné. Cette loi simple dit que la différence de potentiel, ou tension,  $\Delta V$  (V) entre deux points est proportionnelle au courant  $I$  (A) traversant ce milieu et à sa résistance  $R$  ( $\Omega$ ). Cette loi est donnée par l'équation 2.6.

$$\Delta V = RI \quad (2.6)$$

La valeur de la résistance ne dépend pas seulement du matériau, mais aussi de la géométrie, donc de la taille de ce milieu. Ainsi, connaissant la résistance R dans un câble de longueur L et de section S, la résistivité  $\rho$  peut être déterminée selon l'équation 2.7.

$$\rho = R \frac{S}{L} = R k \quad (2.7)$$

où k est appelé facteur géométrique, qui a le mètre (m) comme unité. Dans le cas de la terre, ce facteur doit encore être déterminé, puisque le sol ne se comporte pas comme un simple fil. Il dépend alors uniquement de la configuration géométrique des électrodes (Chapellier, 2001).

L'annexe 1 montre quelques valeurs typiques pour différents types de roches. Dans cette annexe 1, certaines valeurs identiques peuvent être trouvées pour divers types de roches. Ainsi, une valeur de résistivité ne peut être directement liée à une roche puisque la porosité, la salinité, la perméabilité et la teneur en eau jouent des rôles importants sur la valeur de cette résistivité. Il est alors impossible d'identifier un type de roche en utilisant uniquement l'abaque.

#### 2.2.4.3. Théorie électrique

Pour expliquer et déterminer le facteur géométrique dans le cas d'une mesure géoélectrique, le flux de courant électrique dans le sol doit être calculé. La théorie complète et le développement des équations sont expliqués par Telford et al. (1990) et basés sur les équations de Maxwell. La forme vectorielle et généralisée de la loi d'Ohm doit être utilisée selon l'équation 2.8.

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = -\frac{1}{\rho} \nabla V \quad (2.8)$$

$\vec{j}$  est la densité de courant,  $\sigma$  la conductivité électrique (l'inverse de la résistivité),  $\rho$  la résistivité électrique et  $\vec{E}$  le champ électrique en (mV/ km). L'unité de la densité de courant est en ( $mA \cdot mm^{-2}$ ). Le dernier terme de cette équation est lié au fait que le champ électrique  $\vec{E}$  est opposé au gradient du potentiel électrique,  $\nabla V$  c'est-à-dire  $\vec{E} = -\overrightarrow{grad} V$

La figure 10 montre les lignes de courant électrique (E) et les lignes d'équipotentiels (V) dans le cas d'un sol homogène.

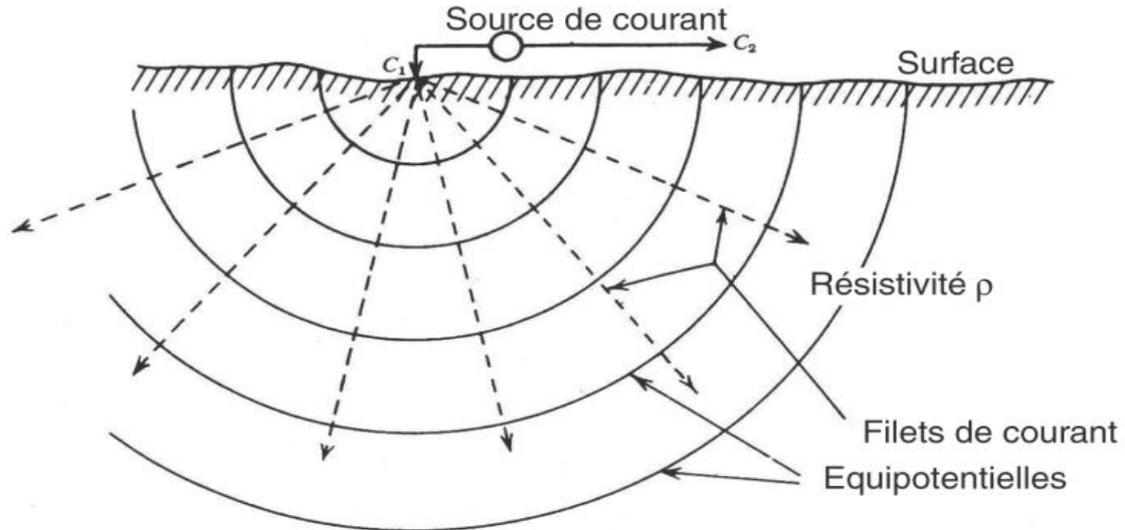


Figure 10 : Représentation des équipotentiels et des filets de courant par une source ponctuelle dans un sol homogène (Chapellier, 2001).

Dans le cas d'une source ponctuelle, la densité de courant est en fait donnée par le courant total  $I$  traversant une demi-sphère virtuelle de rayon  $r$  donné. Ce rayon  $r$  représente la distance à laquelle la densité de courant est calculée par rapport à la source ponctuelle. Cette densité de courant peut facilement être calculée avec l'équation 2.8

C'est-à-dire 
$$\vec{j} = -\frac{1}{\rho} \nabla V = -\sigma \overrightarrow{\text{grad}} V$$

Si dans un milieu matériel la charge est conservée à l'intérieur du volume délimité par une surface  $A$ , nous pouvons donc écrire :  $\int \vec{j} \cdot d\vec{A} = 0$  ( $d\vec{A}$  est une surface orientée)

$d\vec{A} = dA \vec{n}$  où  $\vec{n}$  est la normale à la surface ; or  $\vec{j} = j \vec{e}_r$ . On a donc :

$$\int \vec{j} \cdot d\vec{A} = \int j \vec{e}_r \cdot dA \vec{n} = \int j dA (\vec{e}_r \cdot \vec{n}) = \int j dA \cos\theta \text{ avec } \theta = (\widehat{\vec{e}_r, \vec{n}})$$

Or d'après le théorème de Gauss on a :

$$\int \vec{j} \cdot d\vec{A} = \int \text{div} \vec{j} dv \text{ où } dv \text{ est l'élément de volume}$$

$$\int \vec{j} \cdot d\vec{A} = \int \text{div}(-\sigma \overrightarrow{\text{grad}} V) dv = 0$$

$$\int \vec{j} \cdot d\vec{A} = -\int \sigma \Delta V dv = 0$$

On a donc  $\Delta V = 0$  à condition que  $\sigma$  soit connue. Le potentiel est donc harmonique.

$$\Delta V = 0$$

Cette équation a pour solution la fonction ci-dessous :

$$V(r) = -\frac{K_1}{r} + K_2$$

Lorsque  $r$  tend vers l'infini  $V(\infty) = 0$  on a  $K_2 = 0$  d'où

$$V(r) = -\frac{K_1}{r}$$

Le courant total à travers la surface de la demi- sphère virtuelle de rayon r constant est donné par l'équation 2.9

$$j = \frac{I}{\frac{1}{2}(4\pi r^2)} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.9)$$

Dans le cas homogène où  $\rho$  est identique partout, cette équation a une solution simple à savoir celle de l'équation 2.10

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.10)$$

où r est la distance entre l'électrode et la source et I le courant total injecté dans le milieu.

Le potentiel électrique est mesuré entre deux électrodes notées M et N et les deux électrodes de courant sont notées A et B. Supposant les quatre distances AM, AN, BM et BN, l'équation 2.11 peut être obtenue pour le calcul du potentiel théorique entre M et N.

$$V_{MN} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2.11)$$

En utilisant la loi d'Ohm (équation 2.6 et 2.7), le facteur géométrique k peut être calculé dans le cas général d'un quadripôle par l'équation 2.12

$$k = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)} \quad (2.12)$$

Dans le cas d'un milieu théoriquement homogène et isotrope, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie du matériau, ce qui n'est pas le cas pour des milieux hétérogènes. Dans ce cas, nous faisons appel au concept de résistivité apparente. Ainsi, la valeur de la résistivité apparente en Ohm mètre peut s'obtenir par l'expression de l'équation 2.13 suivante :

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.13)$$

$\rho_a$ : résistivité apparente (en Ohm mètre),

**I**: intensité du courant (en milliampères),

$\Delta v$ : différence de potentiel (en millivolts),

**k**: facteur géométrique (en mètre) qui dépend du dispositif utilisé.

### 2.2.5. Sondages électriques

Lors de l'exécution d'un sondage électrique, on recherche comment varie en un point donné de la surface, la résistivité du sous-sol à la verticale. Pour cela on exécute en un même endroit une succession de mesures, en gardant le centre du dispositif fixe, et en augmentant chaque fois l'écartement entre les électrodes d'injection et de mesure.

On explore à cet endroit une tranche de terrain de plus en plus épaisse et l'on met ainsi en évidence les changements de résistivité suivant la verticale (Chapellier, 2001). Dans le cadre

de cette étude un total de 80 stations de sondage espacé d'un intervalle de 50 m a été réalisé en utilisant le dispositif de Schlumberger. La longueur maximale des fils des électrodes courant AB/2 varie de 1,5 m à 140 m et celle des électrodes potentiel MN/2 varie de 0,5 à 25 m pour une profondeur approximative d'investigation d'environ 56 m obtenus par la relation profondeur égale  $0,2 AB$  (Roy et Apparao, 1971). On fait varier la distance entre les électrodes A et B en maintenant M et N parfois fixe. Les valeurs de résistivités obtenues sont des valeurs de résistivités apparentes, rapportées au centre O du quadripôle ABMN (Fig.9).

### **2.2.6. Traînée électrique**

La traînée électrique est la méthode préliminaire à toute étude géoélectrique et sert de base à l'implantation des autres mises en œuvre électriques (Chapellier, 1981). L'établissement d'une carte des résistivités apparentes permet de mettre rapidement en évidence les anomalies électriques d'un sous-sol initialement considéré homogène. Un quadripôle de dimension constante est « traîné » en surface afin de couvrir le terrain à étudier. Une carte de traînée électrique permet d'imager une tranche de sous-sol de profondeur plus ou moins constante et ainsi de mettre en évidence la répartition dans le plan horizontal de corps de résistivités électriques différentes. Les traînées effectuées dans le cadre de cette étude sont des traînées multiples où un même dipôle MN sert successivement à la mesure de la différence de potentiel entre M et N pour les injections de courant à travers les dipôles AB à des positions différentes. Elles sont exécutées parallèlement et ont été réalisées avec le dispositif de Schlumberger. Le pas de mesures entre deux points de mesures ou stations est de 50 m. Les résistivités apparentes obtenues à chaque station sont ramenées au centre (o) des électrodes M et N (Fig. 9).

### **2.2.7. Traitement des données de sondage**

Dans le cadre de ce travail, l'interprétation des données de sondage électrique a été réalisée avec le logiciel de modélisation d'inversion 1D, Jointem. Le logiciel de modélisation et d'inversion permet de comparer la courbe de sondage calculée à celle mesurée et ainsi de modifier les paramètres du modèle (épaisseur et résistivité des différentes couches) afin de se rapprocher de la courbe mesurée (Fig.11). Cependant, la superposition de la courbe peut être correcte mais les paramètres obtenus ne reflètent pas la réalité du terrain. Il sera donc nécessaire de modifier ces paramètres à partir des informations disponibles à première vue afin d'obtenir une valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMS) aussi petite que possible et une valeur du facteurs d'amortissement (Damp) égale à 1.

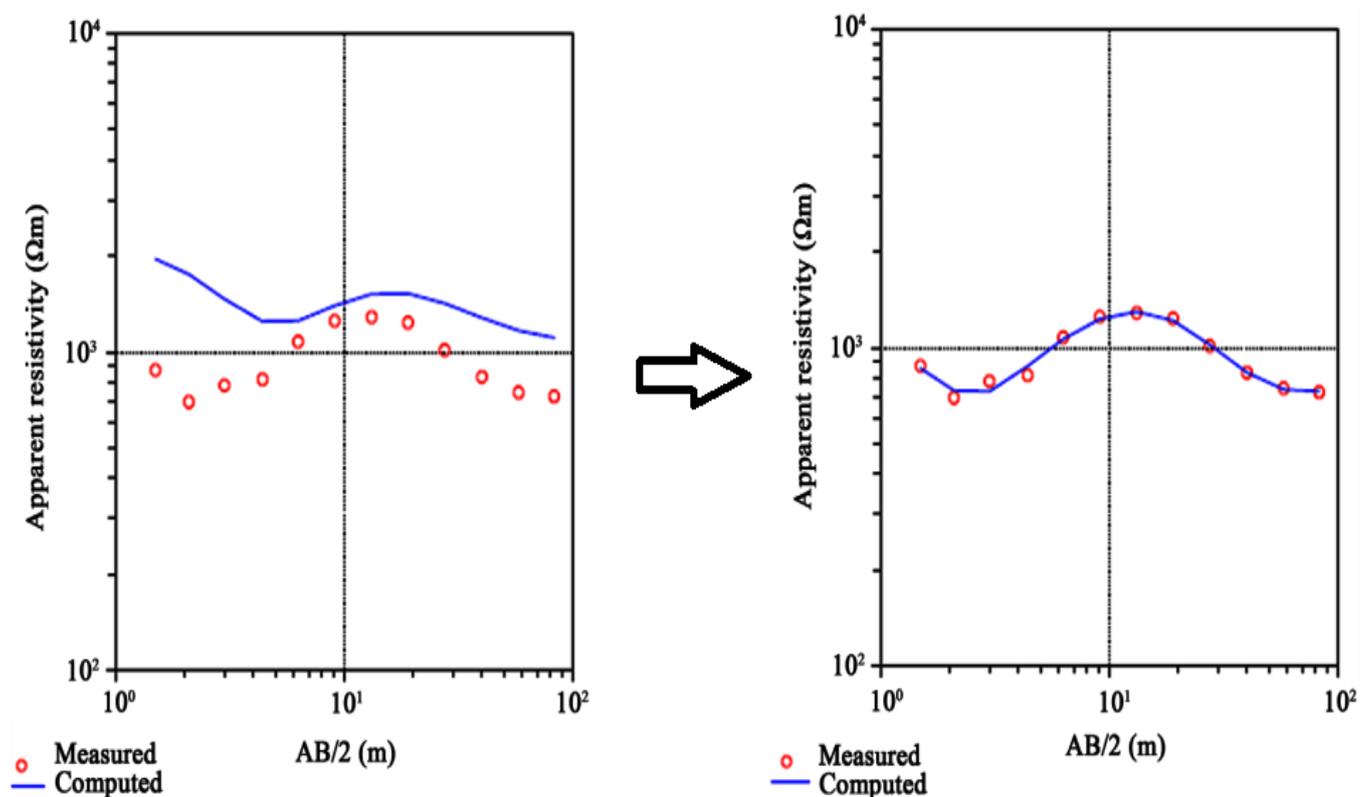


Figure 11: Principe d'inversion des données de sondage électrique vertical.

### 2.2.8. Traitement des données de traînées électriques

Le traitement des données issues des traînées électriques le long des profils s'est effectué en utilisant le logiciel Res2DInv basé sur une méthode itérative de calcul par éléments finis (Loke et Barker, 1996). L'exécution des données dans le logiciel Res2DInv présente respectivement des pseudo-sections de résistivité issues des données mesurées et calculées et d'une section de résistivité présentant le modèle inversé (Fig.12). Le profil calculé peut être comparé au profil mesuré et la différence entre les deux exprimée en %RMS (Root Mean Squared error) que le logiciel s'efforcera de minimiser de façon itérative en ajustant le modèle résistivité vraie en fonction de la profondeur vraie. Une fois le modèle inversé obtenu, une correction topographique est appliquée et une nouvelle section de résistivité présentant le modèle inversé avec correction topographique est obtenue.

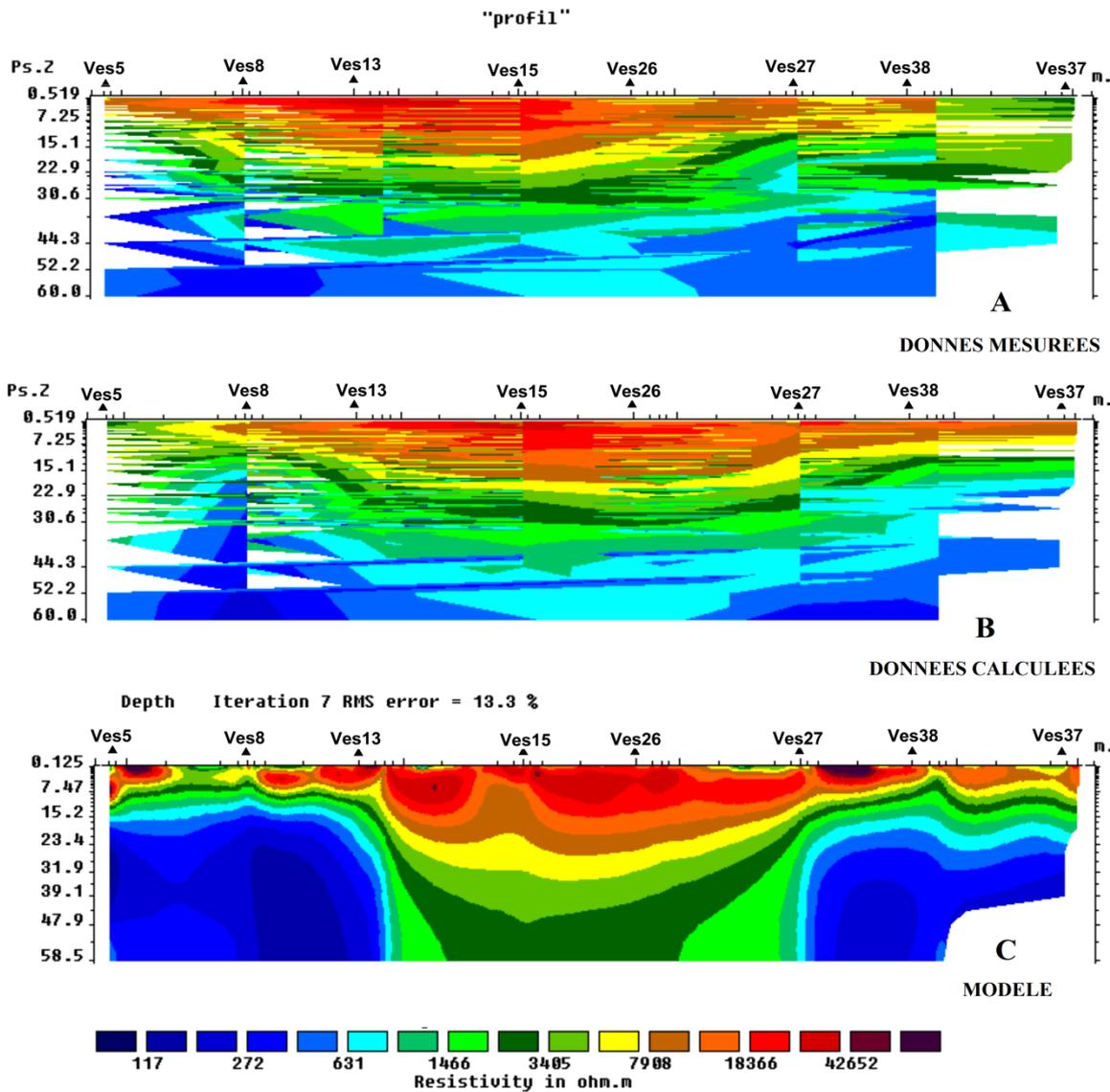


Figure 12: Inversion par méthode itérative en tomographie 2D (D'après le logiciel Res2Dinv, Loke, 1996) A) Données mesurées B) Données calculées C) Modèle.

### 2.2.9. Carte d'iso-résistivité

La carte d'iso-résistivité constitue l'une des représentations la plus utile pour une bonne évaluation quantitative. Celle-ci offre une image des variations latérales de la résistivité apparente à travers des lignes d'iso-résistivité. En effet les résistivités apparentes de la carte reflètent les variations correspondant à la distribution des résistivités vraies dans une tranche de terrain bien déterminée. (Chapellier, 1981).

Elle permet une exploration continue, qui peut être utile pour les études telles que la mise en évidence des zones fracturées, des zones d'anomalies, de localiser des accidents tectoniques. Dans le cadre de cette étude les cartes de résistivité ont été réalisées avec le logiciel surfer 13.

### 2.2.10. Estimation des propriétés hydrauliques des aquifères

Les paramètres de Dar Zarrouk, à savoir la conductance longitudinale (S) et la résistance transversale (T), donnés respectivement par les équations 2.14 et 2.15, sont d'une importance capitale dans le développement de la théorie d'interprétation des données sondages électrique verticaux.

$$S = \frac{h}{\rho} \quad (2.14)$$

$$T = h\rho \quad (2.15)$$

où h est l'épaisseur de la couche en mètres et  $\rho$  est la résistivité électrique de la couche en ohmmètres.

La zone d'étude, présente les mêmes caractéristiques (porosité et perméabilité des roches) que celle étudiée par Heigold et al. (1979). La conductivité hydraulique (K) sera estimée dans ce travail en utilisant la relation 2.16 (Heigold et al., 1979).

$$K = 386.40 \rho_b^{-0.93283} \quad (2.16)$$

où  $\rho_b$  est la résistivité de l'aquifère.

La transmissivité de l'aquifère ( $T_r$ ) est obtenue en utilisant la relation 2.17 (Niwas et Singhal 1981).

$$T_r = K\sigma T = \frac{KS}{\sigma} = Kh \quad (2.17)$$

où  $\sigma$  est la conductivité électrique (inverse de la résistivité), S est la conductance longitudinale et T est la résistance transversale.

Le coefficient de réflexion ( $R_c$ ) et le contraste de fracturation ( $F_c$ ) ont été calculés à l'aide des relations 2.18 et 2.19 respectivement (Obiora et al., 2015).

$$R_c = \frac{\rho_n - \rho_{n-1}}{\rho_n + \rho_{n-1}} \quad (2.18)$$

$$F_c = \frac{\rho_n}{\rho_{n-1}} \quad (2.19)$$

où  $\rho_n$  est la résistivité de la nième couche et  $\rho_{n-1}$  est la résistivité de la couche recouvrant la nième couche.

## 2.2.11. Origine des données et choix du dispositif et de la direction des profils.

Les données de télédétection utilisées dans ce travail sont :

- L'image Landsat 7 ETM+ scène 186-57 de résolution (surface au sol représentée par un pixel 30 m x 30 m, acquise le 05/04/2016 pendant la grande saison sèche. Cette image a été téléchargée via le site <http://earthexplorer.usgs.gov>
- L'image SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) acquise le 20/04/2017 de résolution 90 m x 90 m et disponible sur le site <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.html>

Les données géoélectriques utilisées dans ce travail sont issues d'une étude géophysique de reconnaissance réalisée par le bureau d'étude technique BEIG3. La collecte des données s'est effectuée sur la période allant du 23 Avril au 07 Mai 2017, dans le site Logbadjeck, localité située à 15 km de la ville d'Edéa. Les données géophysiques ont été acquises le long de quatorze profils principalement orientés SW-NE d'environ 250 m et 450 m de long pour un nombre total de quatre-vingt (80) stations espacées de 50 m (Fig.13). Afin d'éviter les inconformités liées aux anisotropies des formations géologiques (Burger et al., 2006), tous les levés géoélectriques ont été réalisés suivant la direction SW-NE jugée perpendiculaire aux structures des formations recherchées. Les mesures ont été prises en combinant les traînées et les sondages électriques c'est-à-dire en utilisant la configuration de Wenner- Schlumberger.

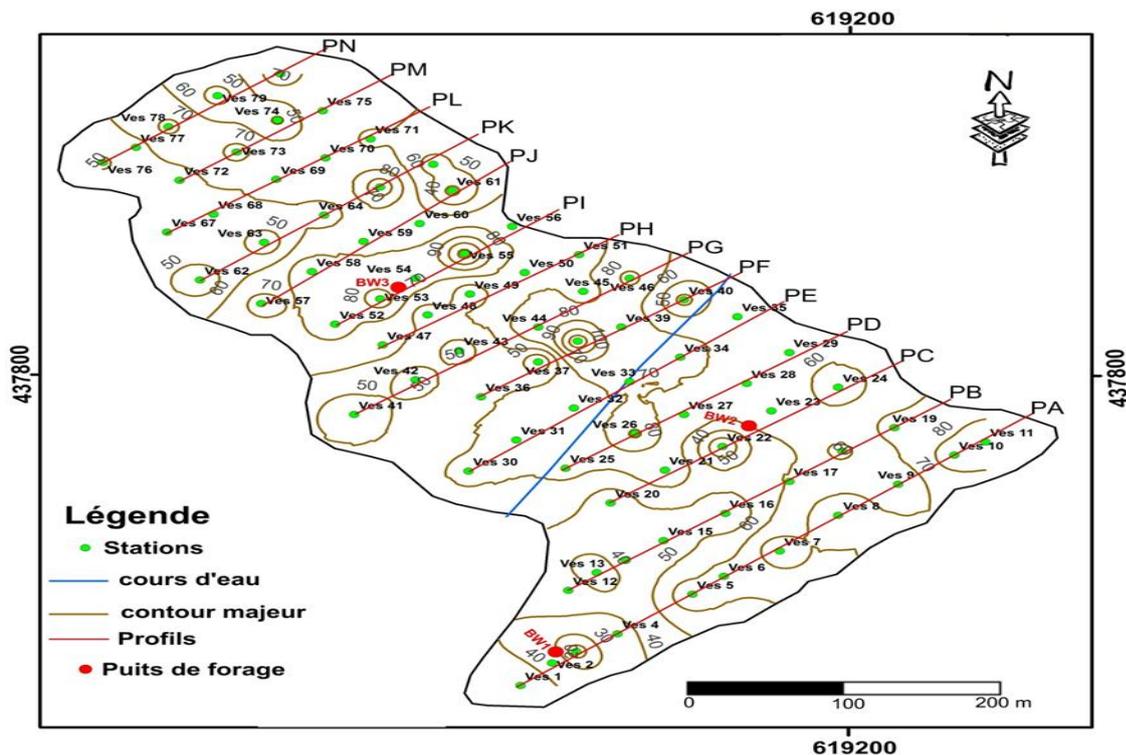


Figure 13 : Carte des profils géoélectriques et des puits de forage.

## **Conclusion**

Ce chapitre a permis de passer en revue la théorie sur les méthodes géoélectriques à courant continu (DC) et la télédétection. Il en ressort que les méthodes géoélectriques à courant continu (tomographie électrique) et télédétection sont respectivement utilisées pour la reconstitution de la structure interne du sous-sol et pour la mise en évidence des accidents tectoniques (linéaments) présents dans une région. L'application de ces méthodes dans le « village Logbadjeck » permettra à la fois de proposer un modèle géoélectrique du sous-sol corrélable avec la géologie et de cartographier les accidents majeurs présents dans la zone d'étude en faisant au passage une corrélation entre les résultats issus de la géoélectricité et de la télédétection.

## **CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION**

Après avoir fait une revue de la littérature et décrit la méthodologie utilisée dans les chapitres précédents, ce chapitre consistera à présenter les différents résultats obtenus et d'en proposer une interprétation sur la base des techniques d'interprétation des données géoélectriques et de télédétection (images Landsat ETM+ et SRTM). Ce chapitre consistera également à discuter les résultats obtenus afin de proposer un modèle du sous-sol tout en mettant en évidence les différents accidents tectoniques rencontrés dans la zone d'étude.

### 3.1. Spatialisation des linéaments de la Dibamba par télédétection

#### 3.1. 1. Filtrage par relief ombragé

La figure 14a est l'image SRTM non filtrée et géoréférencée dans le système de projection UTM (WGS 84 zone 32N). Le relief ombragé a été appliqué à la figure 14a suivant les directions de 0 °, 45 °, 90 °, 135 °, 180 °, 225 °, 270 ° et 315 ° avec une inclinaison de 45 °. La figure 14b est le résultat de l'application du relief ombragé avec un azimut solaire de 135 ° et une inclinaison de 45 °. Seule l'application du relief ombragé avec un azimut solaire de 135° et une inclinaison de 45° sera utilisé dans ce travail car il montre un lissage et une amplification significatifs des éléments linéaires. En général, les linéaments interprétés correspondent à d'étroites vallées dans le socle rocheux ou aux limites entre des dénivellations topographiques.

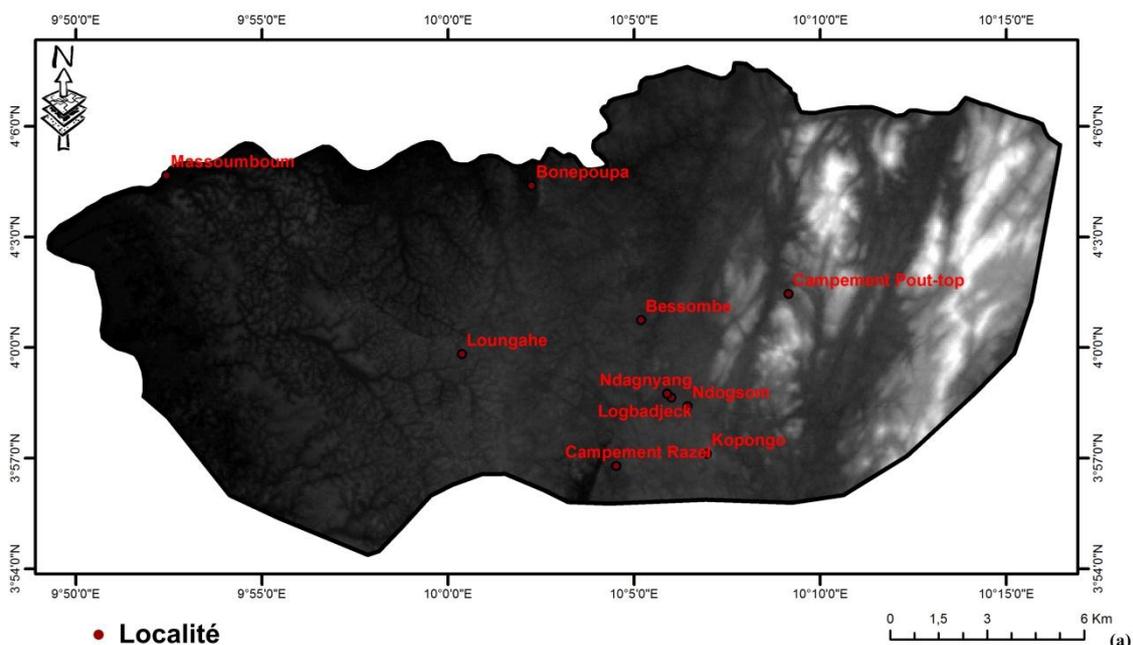


Figure 14a. Image SRTM géoréférencée non filtrée.

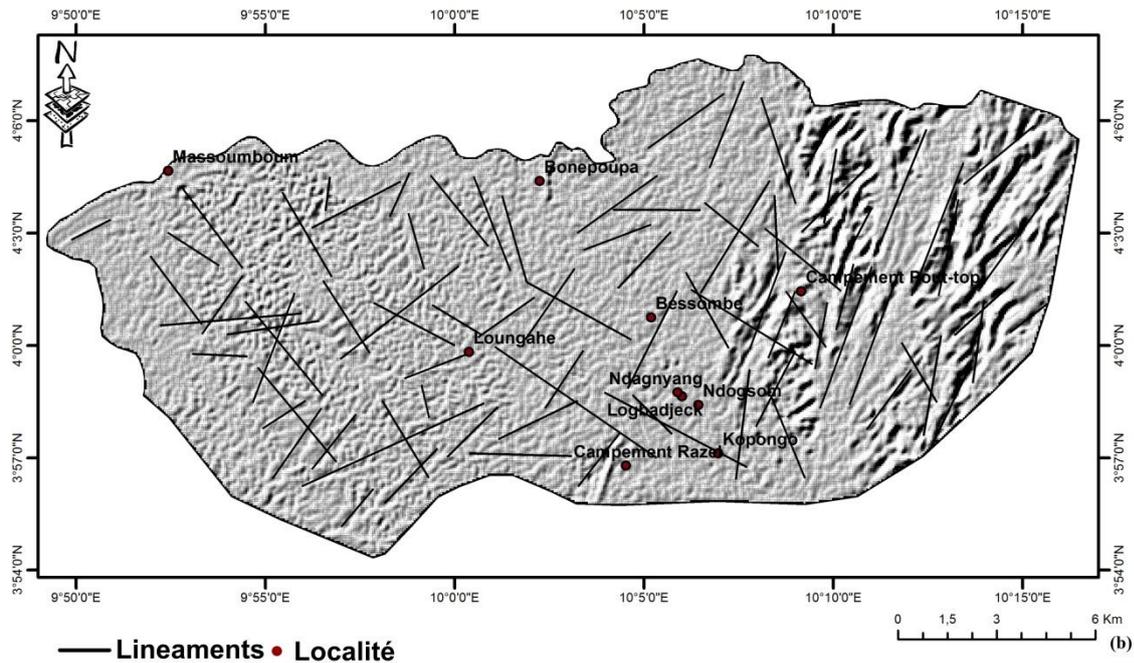


Figure 14b. Image SRTM filtrée avec extraction de linéaments.

### 3.1.2. Analyse en composantes principales de l'image Landsat7 ETM+

La cartographie des linéaments a été possible à travers différents traitements appliqués à l'image brute Landsat 7 ETM + scène 186-57 du 05/04/2016. Le logiciel Erdas imagine 2014, a permis d'appliquer à cette image la technique de traitement qu'est l'analyse en composantes principales. La figure 15 est la première composante en analyse principale (PC1) de l'image Landsat7 ETM +. Le calcul de la variance appliquée aux sept bandes de l'image Landsat7 ETM + révèle que les trois premières composantes contiennent la quasi-totalité (97%) de la variance totale présente dans les sept bandes de l'image Landsat ETM+ exploitée. L'analyse en composante principale est une technique efficace pour améliorer une image multispectrale à des fins d'interprétation géologique. Elle permet de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, parfois hautement corrélées (d'où redondance de l'information) en un nombre plus restreint de composantes. La première composante principale (PC1) concentre la grande majorité des informations contenues dans les bandes, soit plus de 89,5% de la variance exprimée.

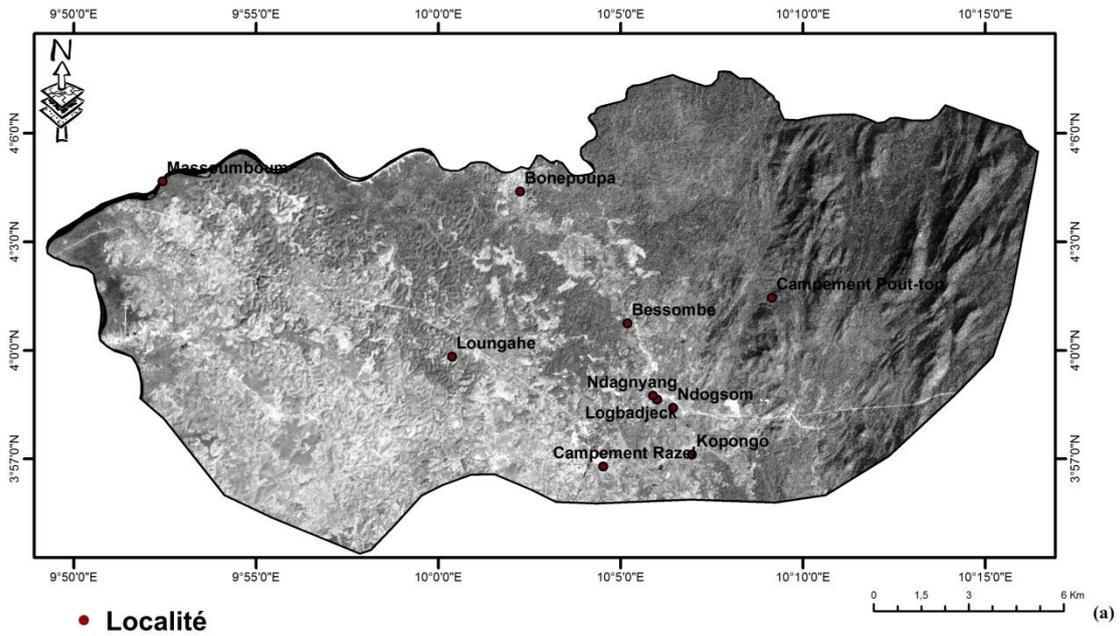


Figure 15. Première composante principale (PC1) de l'image Landsat7 ETM +.

### 3.1.3. Filtrage spatial de l'image Landsat7 ETM+

Différents filtres de Sobel et gradient de Yesou et al. (1993) de dimension 7 x 7 ont été appliqués à l'image PC1. Ces filtres rehaussent toutes les discontinuités assimilables aux linéaments géologiques. La figure 16 est celle du filtre de Yesou et al. (1993) appliqué à l'image PC1 et montrant les linéaments dans toutes les directions.

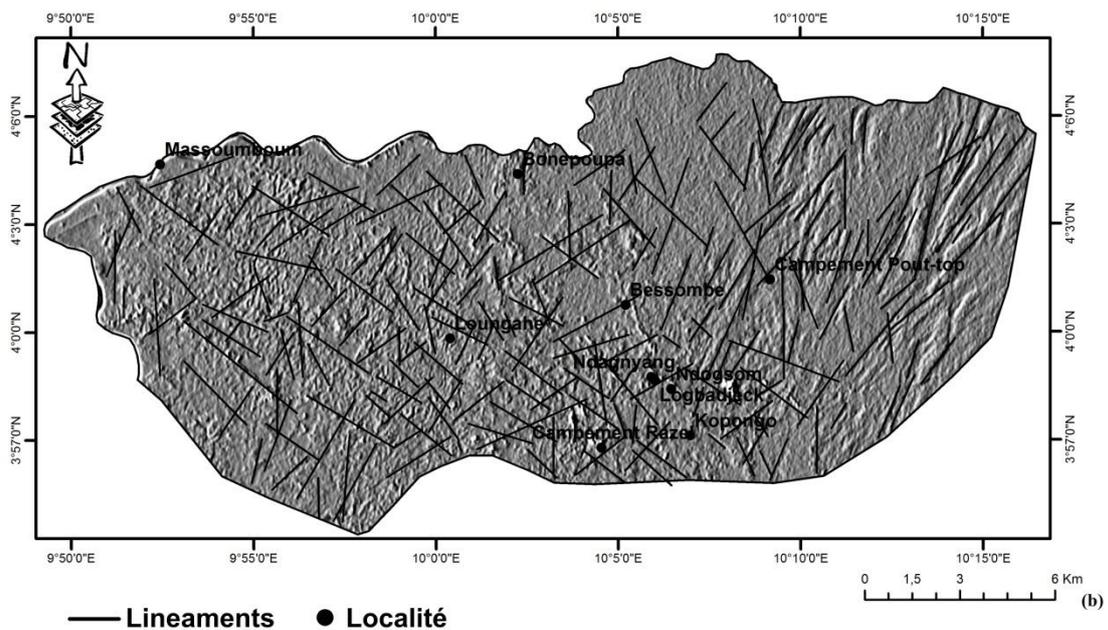


Figure 16. Filtre Yesou et al. (1993) appliqué à l'image PC1 de Landsat7 ETM +.

### 3.1.4. Carte de linéaments

L'extraction manuelle des linéaments a consisté à répertorier ou à identifier toutes les structures linéaires de la région sur l'image Landsat7 ETM+ issues des différents traitements effectués. Les détails linéaires observés sur les images sont liés à des phénomènes géologiques variés tels que les failles, les contacts géologiques, les structures plissées. Ainsi, les linéaments images peuvent être l'expression des limites entre les formations géologiques, des couloirs de cisaillement ou des vallées. Le relevé de tous les linéaments images sur l'ensemble des images traitées (à l'exception des routes bitumées, pistes, lignes de haute tension, layons de délimitation de forêt et surfaces cultivées) a permis de dresser la carte des linéaments détaillés (285 linéaments) de la zone d'étude. Le couplage de la carte des linéaments avec l'hydrogéologie (Fig.17) permet entre autre de valider la méthodologie de cartographie des accidents régionaux.

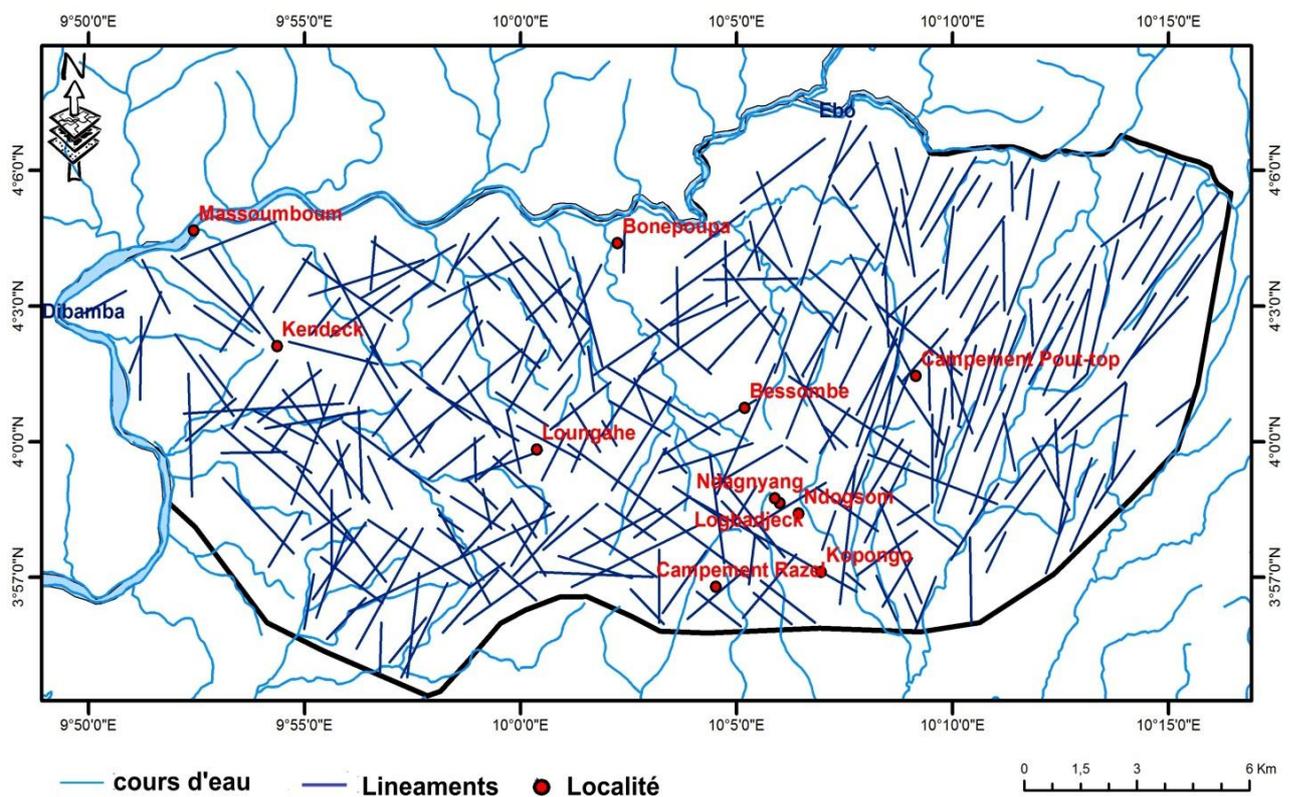


Figure 17. Carte des linéaments de la Dibaba.

### 3.1.5. Contrôle et validation de la carte de linéaments

L'analyse du réseau de 285 linéaments obtenus dans la zone d'étude après traitement des images satellitaires a permis de mettre en évidence l'orientation des linéaments (Fig. 18). La rosace directionnelle des linéaments extraite de la carte des linéaments (Fig.17) montre que certaines familles de directions de linéaments se démarquent des autres; il s'agit des familles

N20°-40°, N50°-80° et N100°-140° qui peuvent être considérées comme de directions majeures, car les fréquences dépassant les 5%. Les autres familles de linéaments dont les fréquences sont inférieures à 5 % peuvent être considérées comme de directions mineures ; ce sont les familles N0°- 20°, N80°- 100° et N140°-180°. L'analyse des photographies aériennes de Douala faite par Kopa Njueya et al. ( 2012) met en évidence un réseau de fractures ayant une direction principale de fracturation qui est de N70°- 80° et une direction secondaire qui est de N30° - 40°. Ces deux directions correspondent respectivement aux directions des grands accidents de la Chaîne Panafricaine d'Afrique Centrale au Cameroun que sont la faille de la Sanaga et le Cisaillement Centre Camerounais. Les familles de fracturation de directions principale (N70°- 80°) et secondaire (N30°- 40°) susmentionnées sont également représentées dans les familles de linéaments de direction majeures obtenues dans la zone d'étude.

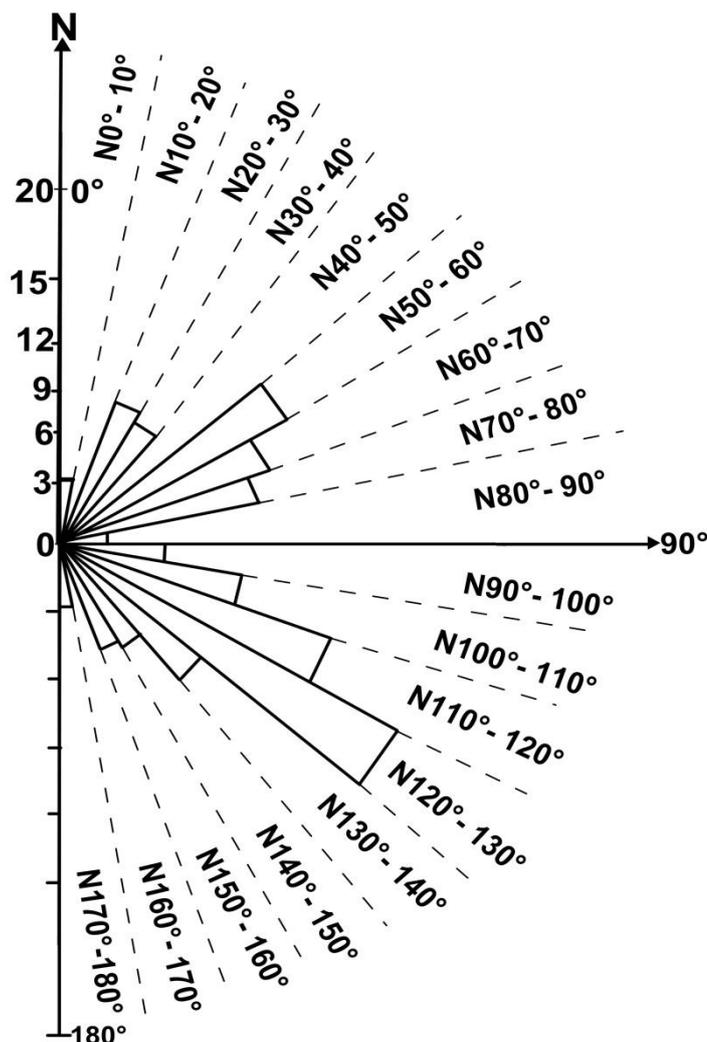


Figure 18. Rosace de fréquences des directions des linéaments issus des images satellitaires.

### 3.1.6. Distribution de la longueur de linéaments

La figure 19 présente des fractures dont la longueur va de quelques centaines de mètres (minimum : 0,6 km) à plusieurs dizaines de kilomètres (maximum : 9.5 km). Les longueurs des 285 fractures cartographiées peuvent être regroupées en trois grandes classes. Une classe principale (66%) qui comprend les fractures dont les longueurs sont comprises entre 0 et 4 Km. Suivie d'une classe moins importante de linéaments (30%) de fractures qui ont des longueurs comprises entre 4 km et 6,6 km et enfin, une classe minoritaire (4%) dont les longueurs sont au-delà de 6,6 km.

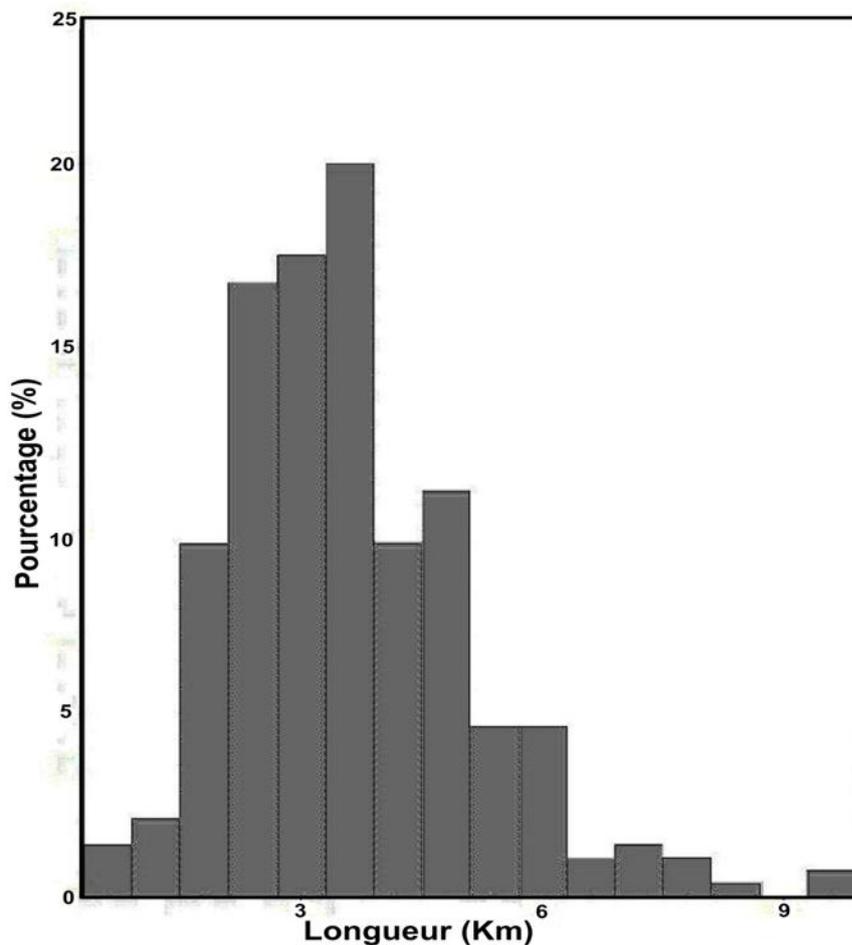


Figure 19. Distribution de la longueur de linéaments.

Les résultats des tests d'ajustement au seuil de signification de 1% par différents modèles sont consignés dans le tableau 5. Bien que la distance de Kolmogorov soit relativement faible pour la loi log-normale, on ne peut pas retenir cet ajustement car les valeurs de khi2 calculées sont supérieures au khi2 théorique. Les lois exponentielles et gamma ne permettent pas non plus de bien décrire statistiquement la longueur des fractures.

Tableau 5. Tests d'ajustement khi2 et K-S (Kolmogorov-Smirnov) de la longueur de linéaments.

Modèle de distribution et ses paramètres	$\chi^2$ Calculé	Degrés de Liberté	$\chi^2$ Théorique ( $\alpha = 1\%$ )	Test de K-S $P < 0,01$
Log-normal ( $\mu=1,08$ ; $\sigma = 0,6$ )	26,78099	4	9,488	0,004
Gamma ( $\varepsilon = 4,2$ ; $\beta = 1,25$ )	160,3151	4	9,488	0,000
Exponentiel ( $\lambda = 0,3$ )	177,5731	4	9,488	0,000

Moyenne ( $\mu$ ), Ecart type ( $\sigma$ ), Paramètre d'échelle ( $\varepsilon$ ), paramètre de forme ( $\beta$ ), paramètre exponentiel ( $\lambda$ ).

La figure 20 présente l'ajustement par la distribution empirique de la longueur avec un pas de 600 m. Seule la partie de la courbe comprise entre 2,45 km et 10 km présente un comportement jugé linéaire ou a été ajusté une loi puissance d'expression :  $n(L) = 525,57L^{-2,391}$ . La valeur de la pente obtenue ( $p = 2,39$ ) est comprise entre 2 et 3, conformément à la théorie pour un réseau 2D connecté au-dessus du seuil de percolation (De Dreuzy, 2000 ; Bonnet et al., 2001). Le coefficient de détermination  $R^2$  est fort (0,83) et le test d'ajustement est concluant. En dessous de 2,45 km, la loi de puissance n'est pas respectée : la rupture de pente met en évidence la limite de résolution de cette technique qui exclue ici 17 % des linéaments en longueur cumulée rapportée au total. En outre, la courbe n'est pas bien définie du fait que de nombreuses valeurs de longueur ne sont pas échantillonnées.

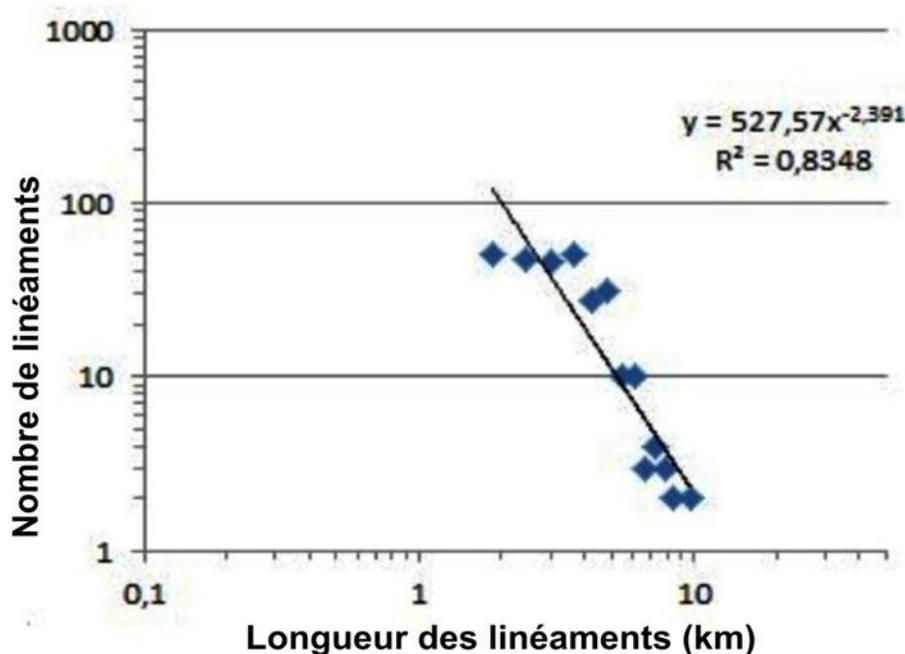


Figure 20. Ajustement d'un modèle puissance sur la distribution de longueur de linéaments.

### 3.1.7 Projection des linéaments dans la zone d'étude

Les figures 21a et 21b présentent respectivement l'identification du linéament de Logbadjeck sur la carte du réseau des linéaments de la Dibamba et la projection de ce linéament sur la carte topographique de la zone d'étude. Ce linéament d'environ 9,5 km de longueur et orienté de direction NW-SE, traverse la quasi-totalité de la zone d'étude.

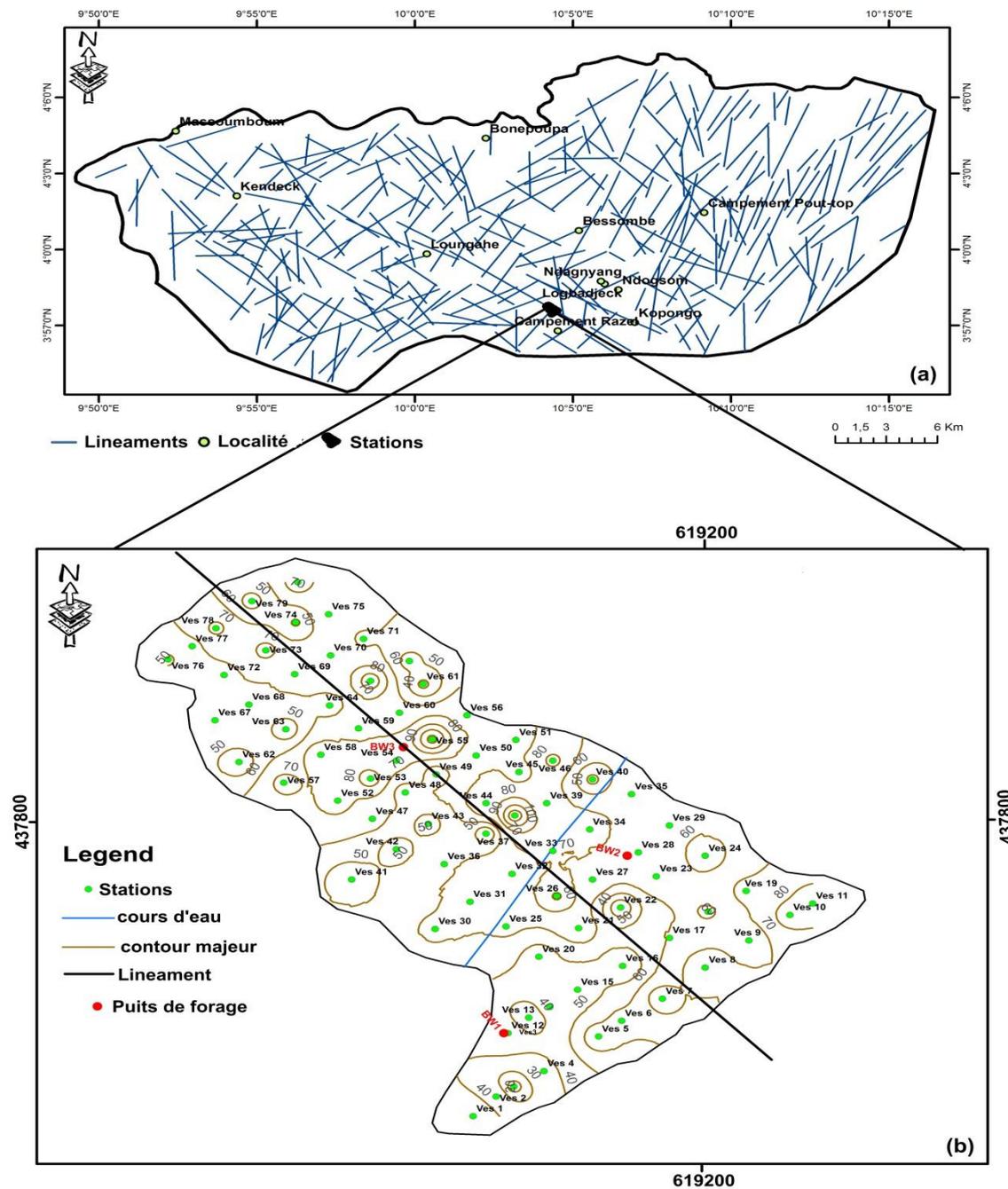


Figure 21. Projection du linéament dans la zone d'étude : (a) Carte détaillée des linéaments de la zone d'étude; (b) Localisation du linéament de Logbadjeck sur la carte topographique.

## 3.2. Analyses pétrographique et structurale

### 3.2.1. Analyse pétrographique

Les investigations géologiques ont permis de mettre en évidence quatre types lithologiques : les **migmatites**, les **gneiss**, les **quartzites** et les **brèches**.

- **Les migmatites**

Ces formations (Fig.22a, b) qui constituent la roche majeure affleurent sous forme de dalles, de dômes et de blocs. Elles sont les plus représentées dans le site (75 %) et occupent en majorité la position haute ou encore les sommets. On distingue des migmatites à grains moyens présentant une alternance de lits roses et sombres, ainsi que des migmatites à grains grossiers non lités. La couleur rose indique la présence de l'orthose (feldspath alcalin).

- **Les gneiss**

Reconnaissables par l'alternance de lits clairs (quartzo-feldspathique) et sombres (ferromagnésien), les gneiss (Fig.22c, d) ne sont pas très représentés (10 %) en surface ont été identifiés en position basse, surtout dans les lits des cours d'eau. Il a été mis en évidence des gneiss avec des lits clairs et sombres épais et des gneiss clairs avec des lits sombres fins.

- **Les quartzites**

Caractérisés par leur couleur blanchâtre et leur dureté, les quartzites (Fig.22 e, f, g, h) affleurent sous forme de blocs isolés, de veines quartzitiques et de filons dans les granites surtout. Ils constituent environ 10 % de la zone d'étude.

- **Les brèches**

Encore appelées brèches tectoniques (Fig.22i, j), ces roches ont la particularité de présenter un aspect déchiqueté, désorganisé, parfois friable et généralement un mixage de roches différentes. Ces formations, caractéristiques des zones de failles, de cisaillement ou encore de frottement affleurent en blocs et en dalle surtout dans le lit des cours d'eau.





Figure 22: Pétrographie; a et b) Migmatites; (c) Gneiss avec alternance de lits clair et sombre; (d) Gneiss sombre couplé au gneiss clair; (e, f) Blocs de quartzite; (g) Veine de quartz dans le granite ; (h) Filon de quartz dans les altérites. (i) Brèches tectoniques ; (j) Dalle de brèche ou roche déchiquetée;

### 3.2.2. Analyse structurale

La zone d'étude a été fortement affectée par une tectonique cassante. Cette tectonique est matérialisée en surface par des fractures majeures (Fig.23 a, b). On observe également des ravins, des roches fragmentées ainsi que des fractures sèches (fissures) et pleines (veines de quartz, filons) et enfin de micro cisaillements identifiés sur les roches. La foliation ici présente une direction qui oscille entre N158°E et N160°E, avec un angle de pendage de 44° à 48° et incliné vers l'WNW.

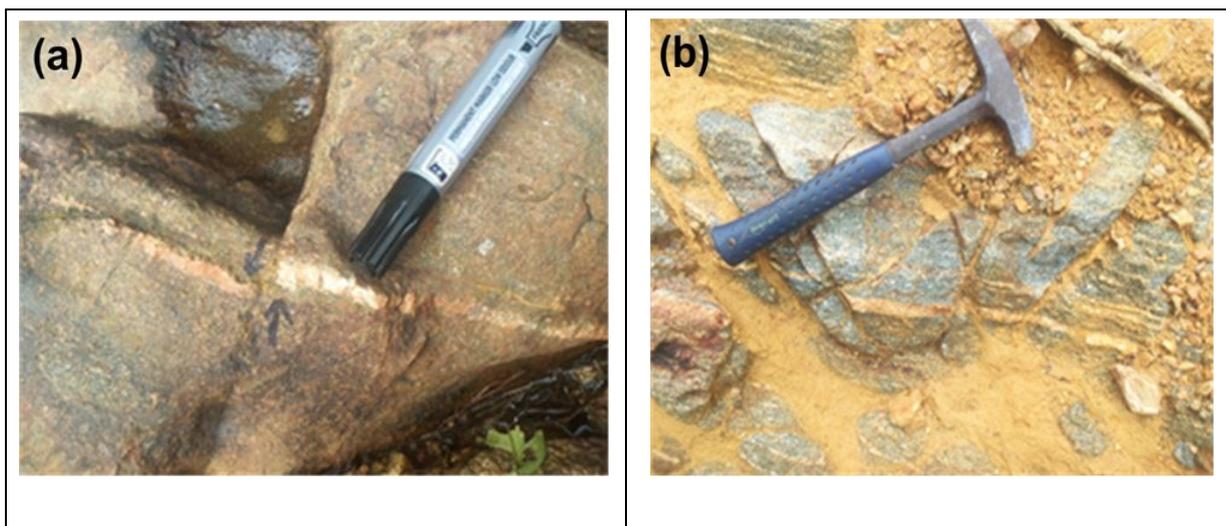


Figure 23: Analyse structurale; (a) Micro cisaillement sénestre; (b) Roche fracturée.

### 3.3. Analyse des données géoelectriques

L'analyse et l'interprétation des données des sondages électriques verticaux ont permis une étude à la fois qualitative et quantitative de la zone d'étude.

#### 3.3.1. Cartes d'iso - résistivité apparente

On se propose ici, des reconstructions visuelles correspondant à la distribution spatiale des résistivités apparentes avec la profondeur pour les valeurs de  $AB / 2 = 4,4 \text{ m}$ ,  $AB / 2 = 50 \text{ m}$  et  $AB/2 = 140 \text{ m}$ . Ces valeurs correspondent respectivement à des profondeurs de 1,76 m; 20 m et 56 m.

A 1,76 m de profondeur (Fig.24a), la carte de résistivités apparentes présente une inégale distribution spatiale de résistivité avec une gamme de résistivités apparentes variant entre 625  $\Omega.m$  et 1540  $\Omega.m$ . Cette carte montre que les couches superficielles de la zone d'étude sont en général très résistantes avec des résistivités  $Rho > 800 \Omega.m$ . Ces zones de résistivités élevées marqueraient la présence de roches affleurantes dans la zone d'étude. On observe également dans le secteur central autour des stations Ves 42, Ves 43, Ves 44 et Ves 47 la présence de zones conductrices avec des résistivités  $Rho < 800 \Omega.m$ , qui pourraient être assimilées à des zones de discontinuité ou des zones altérées dues à l'intrusion de matériaux conducteurs dans une zone de résistivité élevée. Ces zones de discontinuité constitueraient des zones d'accumulation de stérile.

A 20 m de profondeur (Fig.24b), la gamme de résistivités apparentes varie entre 29  $\Omega.m$  et 3101  $\Omega.m$ . La carte présente dans son flan Est (autour de la station Ves 7) un secteur de forte résistivité clairement distinguable de par son contraste de résistivité avec des résistivités  $Rho > 800 \Omega.m$ . La carte présente également les zones de faible résistivité entre autres les secteurs Centre, Nord-Ouest, Ouest et Sud avec des résistivités  $Rho < 800 \Omega.m$ . Cette carte montre clairement que le secteur Est, constitué de résistivité très élevée est séparé des zones de faible résistivité par une zone de gradient dont la résistivité varie entre 300  $\Omega.m$  et 700  $\Omega.m$ . De plus la zone de discontinuité ou zone altérée observée dans le secteur central (autour des stations, Ves42, Ves43, Ves 44, Ves 47) de la carte réalisée à 1,76 m s'élargit progressivement avec la profondeur pour occuper la quasi-totalité des secteurs Centre, Nord-Ouest et Ouest de la carte à 20 m de profondeur.

La carte faite à 56 m (Fig. 24c) montre la présence de deux secteurs très résistants entre autre le secteur Sud-Est et Nord dont les résistivités varient entre 800  $\Omega.m$  et 1828  $\Omega.m$ . En dehors des deux secteurs très résistants sus-cités, la carte présente sur sa majeure partie (secteur central, Nord-ouest, Ouest et Sud) des domaines très conducteurs avec des résistivités  $Rho <$

800  $\Omega$ .m qui se distinguent nettement par leurs contrastes de résistivité. Il apparaît également que la zone très conductrice identifiée dans le secteur Nord tel que décrit à 20 m devient très résistante à 56 m de profondeur ce qui marquerait la présence du socle à cet endroit.

En général, l'analyse des cartes de résistivité (Figs.24a-b-c) montre que les résistivités apparentes diminuent considérablement à mesure que la profondeur augmente, sauf dans le secteur Est de la zone d'étude.

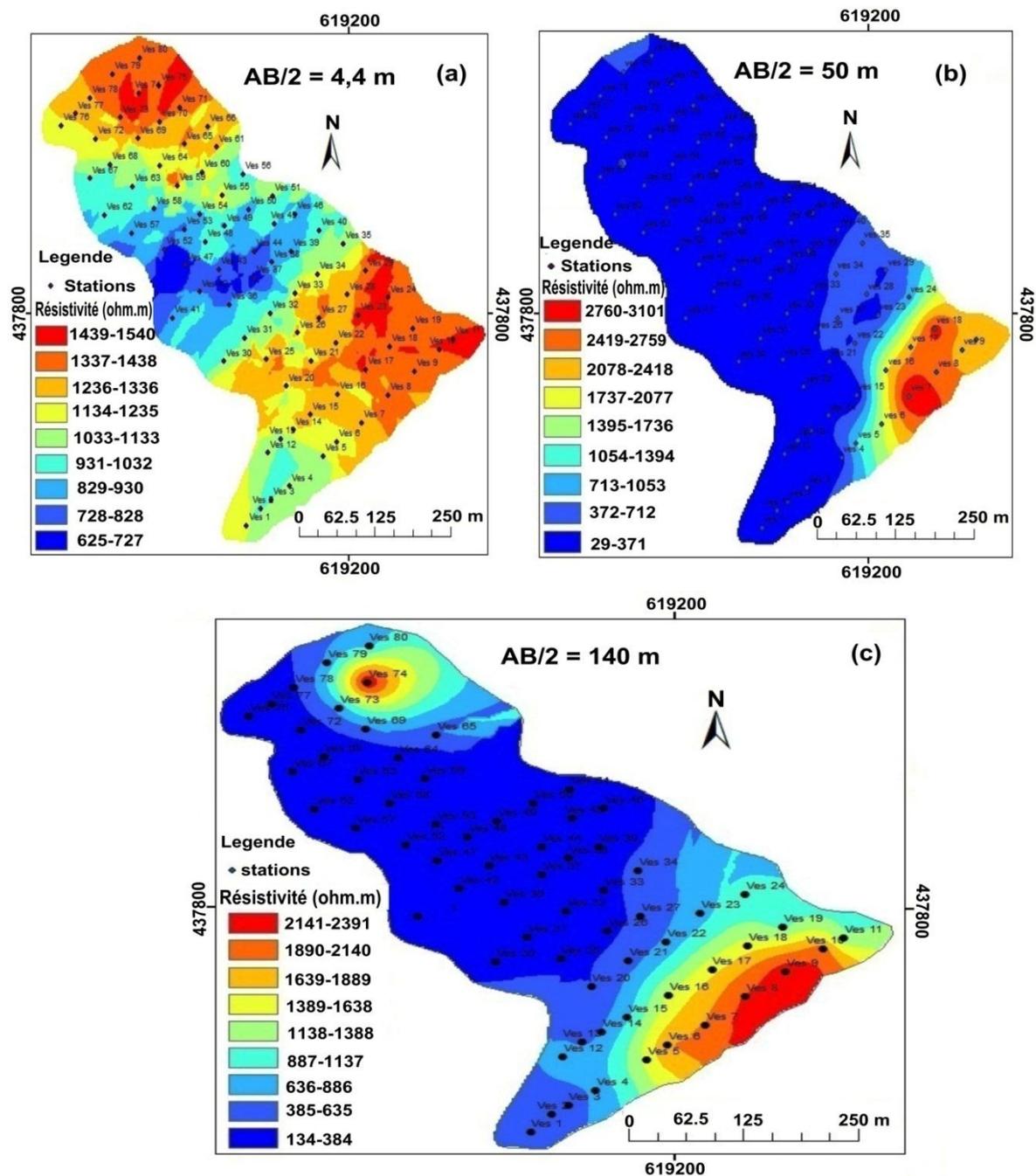


Figure 24 : Carte des résistivités apparentes.

### 3.3.2. Analyse des profils de résistivité

Les profils de résistivité géoélectrique (Fig.25) montrent une diminution progressive des résistivités avec la profondeur. En général, les profils présentent des alternances de valeurs maximales et minimales de résistivité donnant un aspect en dents de scie auxdits profils (annexe 2). Ces formes de profils témoignent d'une stratification des couches et montrent que le sous-sol serait affecté à certains endroits par un processus de chevauchement (Ndougsa Mbarga et al., 2013).

Les profils « A » et « B » (Figs.25a-b) montrent que la quasi-totalité des résistivités respectivement entre A1, A5 et B1, B4 sont inférieures à  $\rho \approx 500 \Omega.m$ . La topographie montre que les anomalies observées notamment autour de A5 et B4 pourraient être identifiées comme étant des zones de gradient caractérisées par une croissance de résistivité atteignant respectivement  $3400 \Omega.m$  en A8 et  $2300 \Omega.m$ , en B5. Cette zone de gradient serait une zone de discontinuité ou une zone d'infiltration d'eau en profondeur. De A5 à A11 et de B4 à B7, on observe une augmentation progressive de résistivité ( $\rho \approx 3500 \Omega.m$ ) indiquant la présence d'une zone très résistante.

Le profil "C" (Fig.25c) présente en proche surface (8 m) une discontinuité caractérisée par une augmentation de résistivité entre C1 et C2 jusqu'à un maximum de  $\rho \approx 600 \Omega.m$ , suivi d'une phase de décroissance progressive de résistivité ( $\rho \approx 200 \Omega.m$ ) entre C2 et C4. En regardant les profondeurs de 24 m et 40 m, on observe une diminution progressive de résistivité entre C3 et C4 à un minimum de  $\rho \approx 300 \Omega.m$ , suivie d'une augmentation progressive de résistivité entre C4 et C5 jusqu'à un maximum de  $\rho \approx 1000 \Omega.m$ . A 56 m, une croissance progressive de la résistivité est observée entre C1 et C4 jusqu'à un pic de  $\rho \approx 1300 \Omega.m$  en C5. La chute des résistivités observées en C4 caractériserait ainsi une zone d'infiltration d'eau en profondeur ou une zone de faiblesse en C4. La topographie observée (altitude < 35 m), montre que l'anomalie observée autour de C4 est à la fois très conductrice pour les structures de surface ( $\rho \approx 200 \Omega.m$ ) que pour les structures profondes ( $\rho \approx 650 \Omega.m$ ).

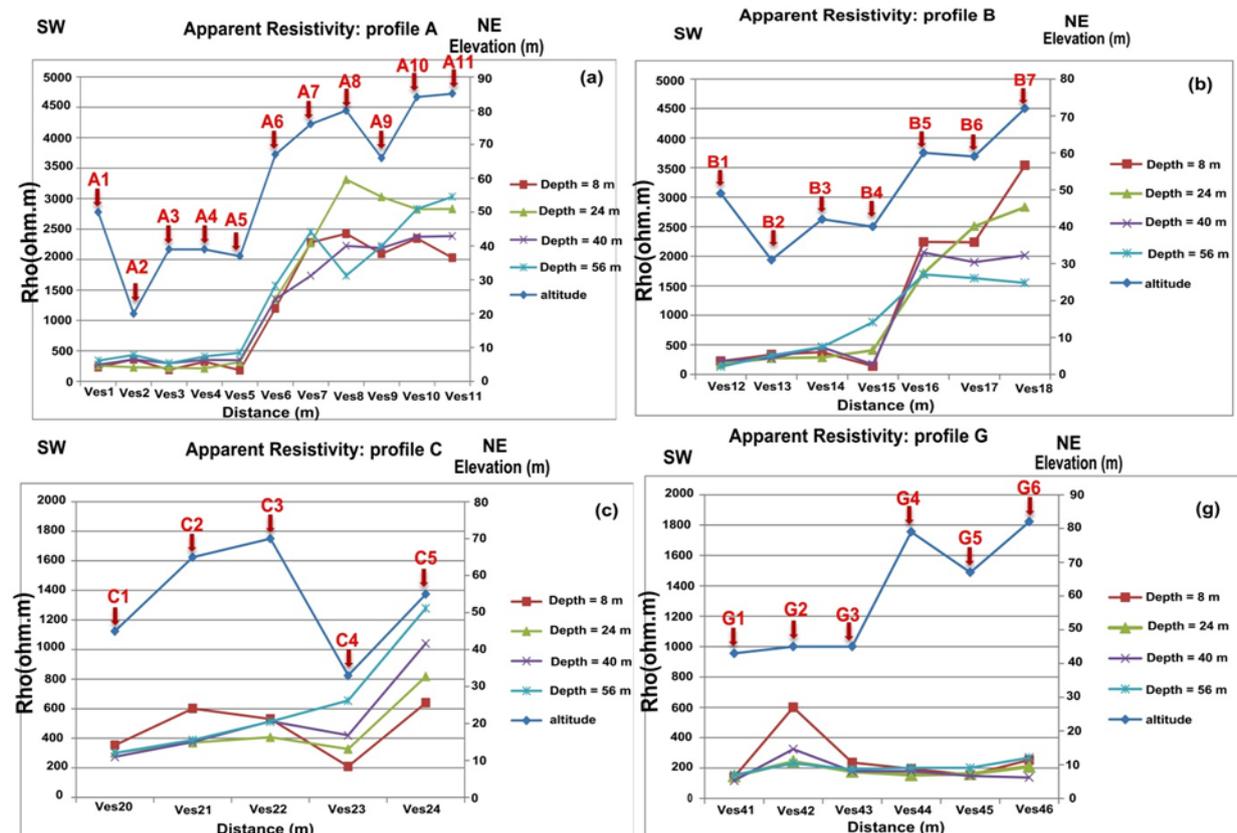
Concernant le profil "I" (Fig.25i), on peut noter en proche-surface, une discontinuité caractérisée par une forte croissance de résistivité entre I1 et I2 jusqu'à un maximum de  $1000 \Omega.m$  suivie d'une phase avec une diminution progressive de la résistivité entre I2 et I3 jusqu'à un minimum de  $500 \Omega.m$ . Enfin, il y a une croissance de résistivité entre I3 et I4. La baisse de résistivité entre I2 et I4 pourrait ainsi caractériser une zone d'infiltration d'eau peu profonde autour de la distance I3 à 8 m de profondeur. Le profil I montre qu'aux des profondeurs de

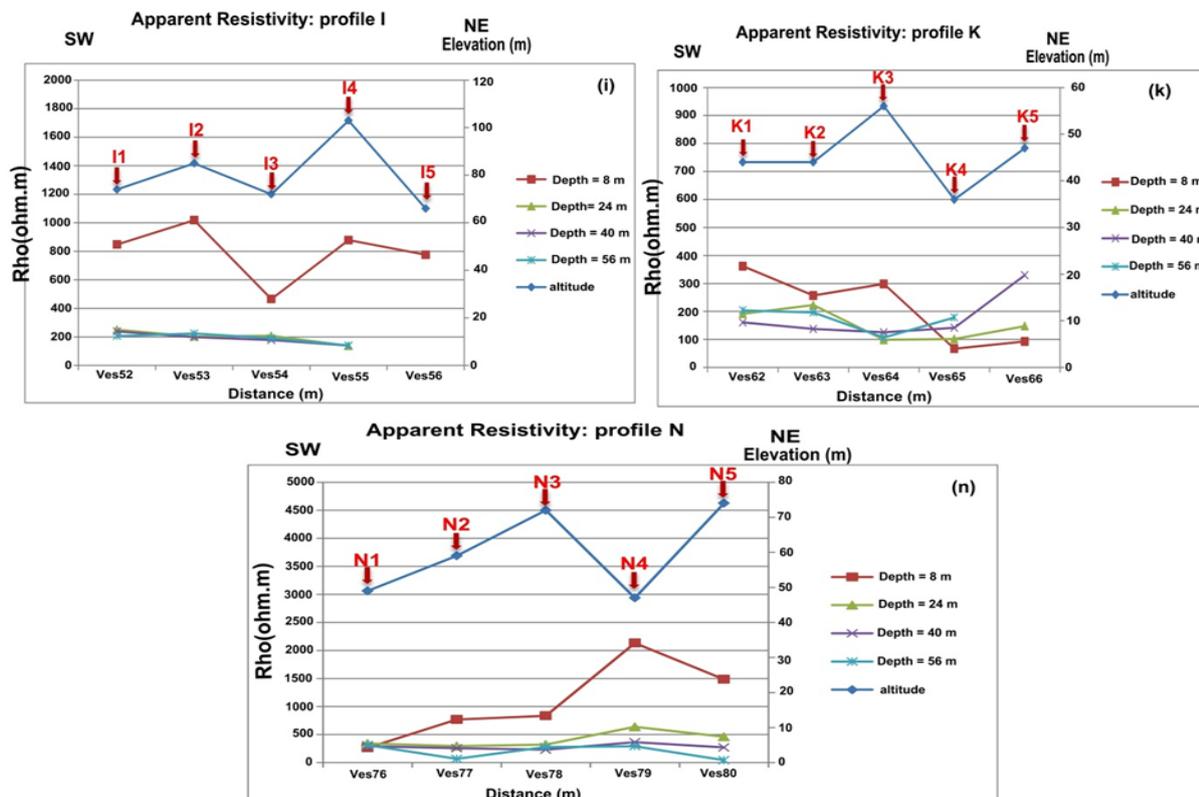
24 m, 40 m et 56 m, il existe des structures à conductivité élevée avec des résistivités autour de 200  $\Omega.m$ .

Les profils « G » «K» (figs.25g-k) montrent que toutes les résistivités comprises entre G1 et G6, K1 et K5 sont inférieures à  $Rho \approx 600 \Omega.m$ . D'après la topographie, les points K4 (altitude  $\approx 35$  m) et G5 (altitude  $\approx 65$  m) se situeraient dans une vallée. On observe en ces points des anomalies très conductrices à la fois pour les structures superficielles et profondes avec des résistivités allant de 100  $\Omega.m$  à 200  $\Omega.m$ . Ces anomalies pourraient être identifiées comme étant des failles ou une zone d'infiltration d'eau à 56 m de profondeur en G5 et K4.

De même le profil N (Fig.25n) résistant en proche surface autour de 8 m est très conducteur en profondeur avec des résistivités inférieures à  $Rho \approx 600 \Omega.m$ . La topographie (altitude  $\approx 50$  m) montre que le point N4 se situerait dans une vallée et présenterait des structures profondes très conductrices avec des résistivités allant de 300  $\Omega.m$  à 600  $\Omega.m$ . Cette zone constituerait une zone d'infiltration d'eau à 56 m de profondeur en N4.

En observant chacun de ces différents profils, on remarque que les lignes des profils s'entrecoupent tout le long du profil. Ces formes de lignes entrecoupées montrent que le sous-sol traversé est victime d'un phénomène de chevauchement des couches et témoignent donc d'une activité tectonique intense dans la région.





**Figure 25 :** Profils de résistivité géoélectrique A, B, C, G, I, K et N à différentes profondeurs et leurs relations avec l'altitude.

### 3.3.3. Inversion 1D

Les sondages électriques verticaux réalisés dans la zone d'étude, ont permis d'établir les courbes de sondage qui sont regroupées en 5 grands types, à savoir les types KH, K, H, AK et Q avec une dominance des courbes du type KH (Fig. 26).

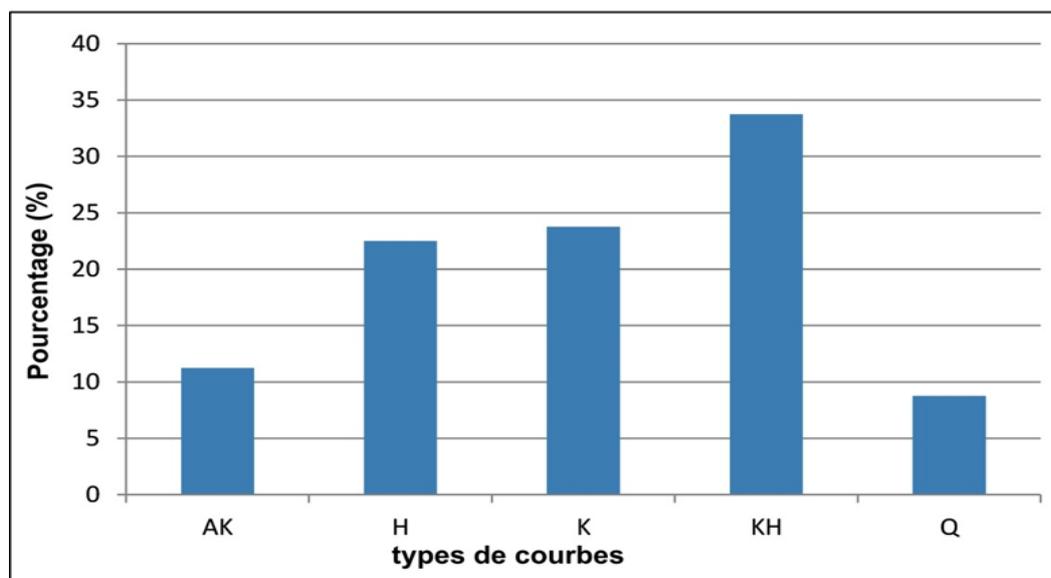


Figure 26 : Distribution des types de courbes.

Les courbes de type KH et H (Fig. 27a-27c) caractérisent généralement l'existence de méga-fractures au sein des formations du socle, celles-ci constitueraient de potentiels pièges aquifères souterrains. Les types Q (Fig. 27e) sont caractérisés par une diminution progressive de résistivité avec la profondeur, celle-ci indiquerait la présence de stérile (argile). Les types K et AK (Fig. 27b-27d) quant à eux sont caractérisés par une augmentation progressive de la résistivité avec la profondeur, celle-ci indiquerait la présence de roche dure (gneiss). De ceux-ci, il apparaît que la zone d'étude, en général est constituée de terrains à 3, 4 et 5 couches compte tenu de la profondeur maximale de l'étude. Ces courbes de sondage mettent en évidence la présence d'argile avec des résistivités comprises entre 200 et 400  $\Omega.m$  sur une grande partie du site, ceci expliquerait le caractère conducteur du sous-sol de la zone d'étude.

Les sondages électriques réalisés ont permis d'identifier cinq (05) types de courbes. L'interprétation de ces courbes de sondages a permis de déterminer les épaisseurs, les valeurs des résistivités des différentes couches de terrain traversées et les profondeurs du toit de socle pour chaque sondage réalisé (annexe 4).

#### ❖ Courbe de sondage de type KH

La courbe ci-dessous (Fig.27a) est une courbe de type KH obtenue avec une erreur quadratique moyenne (RMS) égale à 0,03904, et un facteur Damp de 1. Le modèle géologique présenté ici est un modèle à cinq couches. La première couche possède une épaisseur de 1,7 m avec une résistivité de 1134  $\Omega.m$  et correspondrait aux migmatites. La deuxième couche correspondrait à une arène gneissique d'épaisseur 2,76 m et de résistivité 2517  $\Omega.m$ . La troisième couche avec une épaisseur de 4,67 m et une résistivité de 416  $\Omega.m$ , serait constituée d'un mélange argilo-sableux. La quatrième couche possède une épaisseur de 40 m qui correspondrait à une formation altérée très conductrice avec une résistivité de 400  $\Omega.m$ . Enfin la dernière couche représenterait un socle gneissique fissuré et altéré avec une résistivité de 1250  $\Omega.m$ .

#### ❖ Courbe de sondage de type K

La courbe de type K est obtenue avec une erreur quadratique moyenne (RMS) égale à 0,02833 et un facteur Damp de 1 (Fig.27b) . Le modèle géologique présenté ici est à quatre couches. La première couche a une épaisseur de 1,024 m et une résistivité de 1325  $\Omega.m$  qui correspondrait aux migmatites. La seconde couche de terrain plus résistante que la précédente possède une épaisseur de 6,56 m et une résistivité de 3288  $\Omega.m$  qui correspondrait à une arène de gneissique. La troisième couche traduirait la présence d'un

mélange argilo-sableux de 47 m d'épaisseur et de 178  $\Omega$ .m de résistivité. La dernière couche, de résistivité 229  $\Omega$ .m correspondrait à du gneiss fissuré et altéré.

#### ❖ Courbe de sondage de type H

La courbe de type H représentée par la figure 27c est obtenue avec une erreur quadratique moyenne (RMS) égale à 0,3887, et un facteur Damp de 1. Le modèle géologique présenté est à quatre couches. La première couche a une épaisseur de 1,42 m et une résistivité de 1646  $\Omega$ .m. Cette couche serait un mélange de quartzites et altérites. La seconde couche de terrain très conductrice avec une résistivité de 72  $\Omega$ .m et une épaisseur de 20 m serait un mélange argilo-sableux. La troisième couche a une épaisseur de 35 m pour une résistivité de 120  $\Omega$ .m. Cette couche correspondrait à la présence de formations altérées. La dernière couche très conductrice avec une résistivité de 188  $\Omega$ .m pourrait correspondre au gneiss fissuré et altéré.

#### ❖ Courbe de sondage de type AK

La courbe ci-dessous (Fig.27d) est une courbe de type AK obtenue avec une erreur quadratique moyenne (RMS) égale à 0,2217, et un facteur Damp de 1. Le modèle géologique présenté ici est à quatre couches. La première couche ayant une épaisseur de 2,15 m et une résistivité de 742  $\Omega$ .m traduirait la présence d'un mélange de quartzites et altérites. La deuxième couche très résistante avec une résistivité de 6400  $\Omega$ .m et une épaisseur de 25 m serait du gneiss sain. La troisième couche ayant une épaisseur de 30 m pour une résistivité de 3376  $\Omega$ .m, correspondrait à la présence de gneiss altérées. Enfin la dernière couche de résistivité de 716  $\Omega$ .m pourrait être du gneiss fissuré.

#### ❖ Courbe de sondage de type Q

Le modèle géologique illustré à cette station est à quatre couches et traduit un terrain de type Q (Fig.27e). Il est obtenu avec une erreur quadratique moyenne (RMS) de 0,03359, et un facteur Damp de 1. La première couche épaisse de 0,24 m et de résistivité 5528  $\Omega$ .m pourrait être assimilé à une arène gneissique. La deuxième couche d'épaisseur 6,36 m et de résistivité de 1525  $\Omega$ .m serait de la migmatite. La troisième couche très conductrice de résistivité 365  $\Omega$ .m et d'épaisseur 47,71 m correspondrait à un mélange argilo-sableux. Enfin la dernière couche de résistivité de 101  $\Omega$ .m serait du gneiss fissuré et altéré. De façon générale les formations géologiques identifiées à l'aide des courbes de sondage 1D corrélerent avec les données de litho-log obtenues sur le terrain. L'épaisseur du stérile et la résistivité du

toit du substrat rocheux pour chaque station de mesure ont été définies à l'aide des courbes de sondage (annexe 5). En observant les résultats obtenus on remarque l'absence du stérile dans certaines stations où le substrat rocheux affleure. La valeur maximale de l'épaisseur du stérile dans la zone d'étude est d'environ 19 m et peut être observée dans la station VES 43.

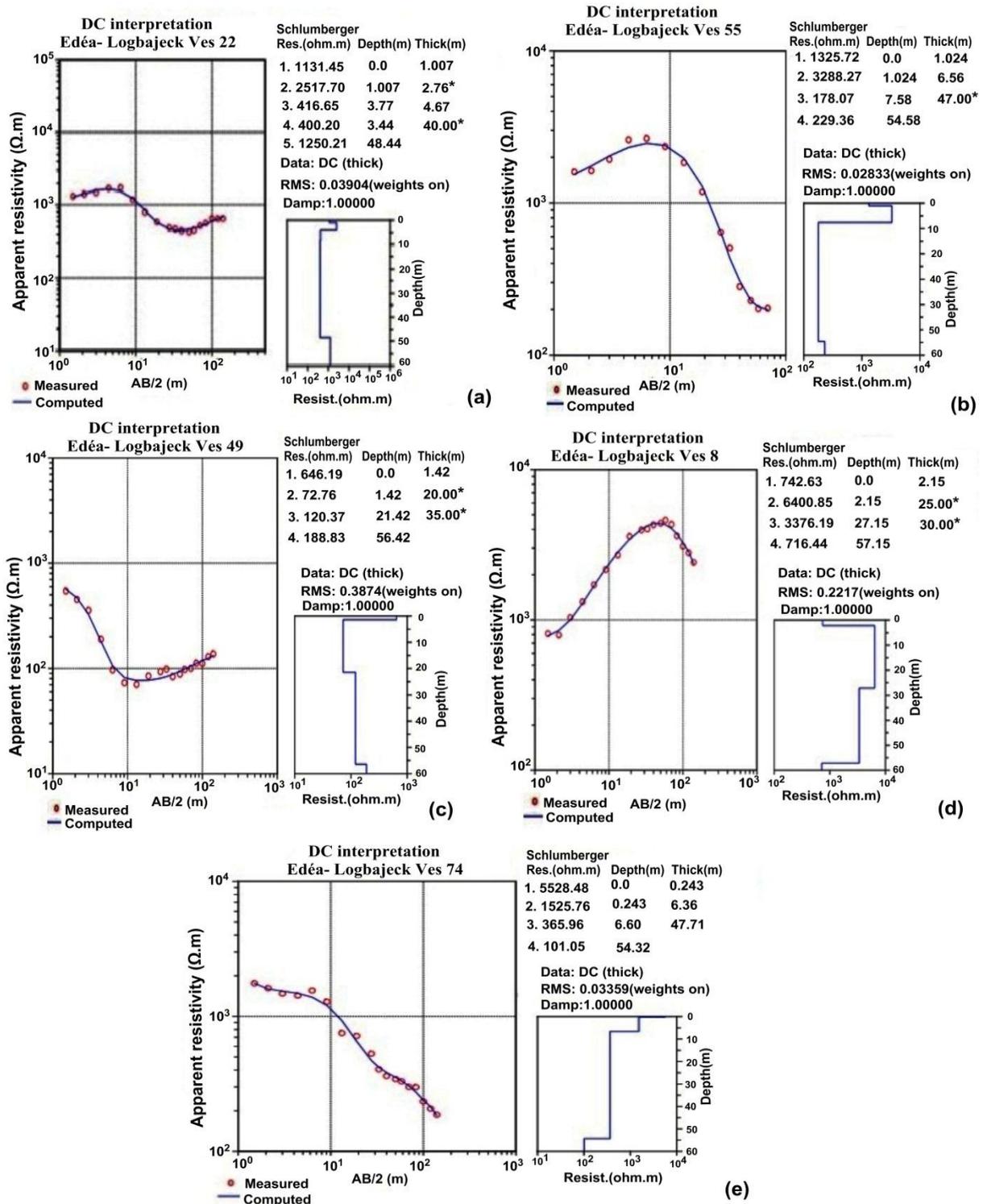


Figure 27 : Courbes de sondage

### 3.3.4. Inversion 2D

L'inversion 2D du profil A (Fig.28a) met en évidence la présence de deux principales zones : l'une constituée de faibles valeurs de résistivité allant de 100  $\Omega$ .m à 500  $\Omega$ .m, située entre les stations Ves1 et Ves6. L'autre constituée de valeurs de résistivité élevées allant de 1034  $\Omega$ .m à 2700  $\Omega$ .m, est localisée entre les stations Ves6 et Ves11 et s'enfonce jusqu'à la profondeur maximale du profil. En examinant attentivement cette section, on observe une zone de gradient située entre les stations Ves5 et Ves6 séparant ainsi les deux principales zones sus mentionnées. Cette zone de gradient représente la zone de transition entre les structures conductrices et celles résistantes. Cette zone de transition est constituée de fissures remplies de quartz dans les altérites. La zone aux valeurs de résistivités élevées située autour des stations Ves7, Ves8, Ves9, Ves10, Ves11 constitue une zone au substratum rocheux sain assimilée à une vaste étendue de gneiss sain. Le secteur de faible résistivité et la zone de transition évoqués autour des stations Ves1, Ves2, Ves3, Ves4, Ves5, Ves6 sont considérées comme étant des zones à risque pour la réalisation d'ouvrage de grande envergure ceci en raison de la forte épaisseur de stérile et des fractures rencontrées dans ce secteur. Dans la zone de faible résistivité, une anomalie structurelle très conductrice est observée entre les stations Ves1 et Ves5 avec des valeurs de résistivité allant de 35 à 200  $\Omega$ .m. Cette structure très conductrice s'enfonce à partir de 3 m de profondeur jusqu'à la profondeur maximale du profil. Elle correspond aux gneiss altérés indiquant ainsi une cible potentielle des eaux souterraines. Deux probables fractures à tendance verticale de direction N-S (lignes pointillées rouges) ont également été identifiées. Afin de valider les résultats interprétés, un puits de forage (BW1) a été réalisé à une distance de 45 m du début du profil. Le puits de forage pénètre dans la formation altérée jusqu'à 20 m de profondeur. Ce puits de forage révèle la présence de formations telles que migmatites, argiles sableuses, et gneiss fissurés sur ce profil.

Tout comme le profil A, le profil B (Fig.28b) est constitué également d'un secteur très conducteur et d'un autre très résistant. L'anomalie très conductrice profonde ci-dessus identifiée au profil A évolue progressivement vers la direction SE-NW au profil B entre les stations Ves12 et Ves17 et est plus superficielle à partir de 3 m de profondeur. La zone aux valeurs de résistivités élevées située autour des stations Ves17, Ves18, et Ves19 constitue une zone au substratum rocheux sain assimilée à une vaste étendue de gneiss sain. Par contre, le secteur très conducteur observé autour des stations Ves12, Ves13, Ves14, et Ves15 constitue une zone à risque pour la réalisation de grands ouvrages ceci en raison de la forte épaisseur de stérile sous-jacent à cet endroit.

Le long du profil C (Fig.28c), on note la présence d'une structure très résistante en surface avec une valeur de résistivité élevée allant de 1147 à 8131  $\Omega$ .m, et une épaisseur décroissante

d'environ 7 m autour de la station Ves21 à 2 m d'épaisseur à la fin du profil. Le profil C révèle également la présence d'une anomalie structurale hautement conductrice située entre les stations Ves21 et Ves23 avec une valeur de résistivité allant de 35 à 200 Ohm.m, et s'enfonçant de 8 m de profondeur jusqu'à la profondeur finale du profil. Cette anomalie structurale pourrait être considérée comme une zone importante pour la prospection des eaux souterraines. D'un point de vue structural, deux probables fractures verticales de direction N-S (lignes pointillées rouges) sont observées et délimitées sur le profil C. Afin de valider les résultats interprétés, un puits de forage (BW2) a été réalisé dans la zone fracturée autour de la station Ves22 à une profondeur de 20 m. Ce puits de forage révèle la présence de formations telles que migmatites, gneiss, argile sableuse, formation altérée et fissures de gneiss sur ce profil (Tépoule et al., 2021). Toutefois le profil C de façon générale constitue une zone à risque pour la réalisation d'ouvrages de grande envergure en raison du caractère très conducteur du sous-sol qui serait constitué de grande épaisseur de stérile.

De façon générale, la section 2D inversée du profil G (Fig.28g) présente un caractère très conducteur avec une résistivité  $\rho < 500 \Omega.m$  nettement distinguable de par le contraste de résistivité. Ce profil situé dans le domaine central de la zone d'étude présenterait des formations géologiques très conductrices telles que les argiles sableuses et les formations altérées. On observe également en surface autour de la station Ves42 un corps très résistant avec des résistivités allant de 1000  $\Omega.m$  à 2100  $\Omega.m$  et s'enfonçant jusqu'à 8 m de profondeur. Ce corps très résistant pourrait être assimilé à un bloc de gneiss. En somme, le profil G constituerait une zone à risque pour la réalisation de grands ouvrages à cause des fortes épaisseurs de stérile rencontré le long de ce profil.

Le profil I, (Figs.28i) présente une diminution progressive de résistivité en fonction de la profondeur. A partir de 10 m de profondeur jusqu'à la profondeur finale, s'étale du début à la fin du profil une structure très conductrice de résistivité  $\rho < 400 \Omega.m$ . Cette vaste et épaisse structure conductrice serait assimilée à des formations géologiques très conductrices telles que des argiles sableuses et des formations altérées. On observe également en surface autour des stations Ves53 et Ves55 la présence de deux pôles très résistants de résistivité allant de 1000  $\Omega.m$  à 3000  $\Omega.m$  et s'enfonçant jusqu'à 8 m de profondeur. Ces pôles très résistants seraient assimilés à des blocs de gneiss présent à ces endroits. En général le profil I, situé dans le domaine central de la zone d'étude, constituerait une zone à risque à la réalisation d'ouvrage de grande envergure à cause de la forte épaisseur du stérile rencontré en profondeur de ce profil. Afin de valider les résultats interprétés, un puits de forage (BW3) de 20 m de profondeur a été réalisé autour de la station Ves54 à travers une zone de fracture. Le

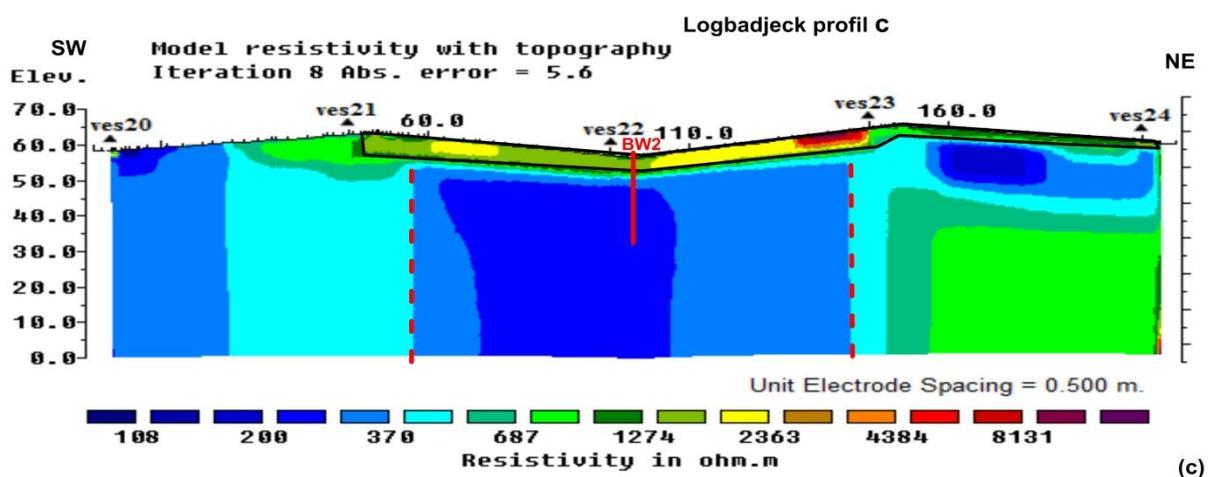
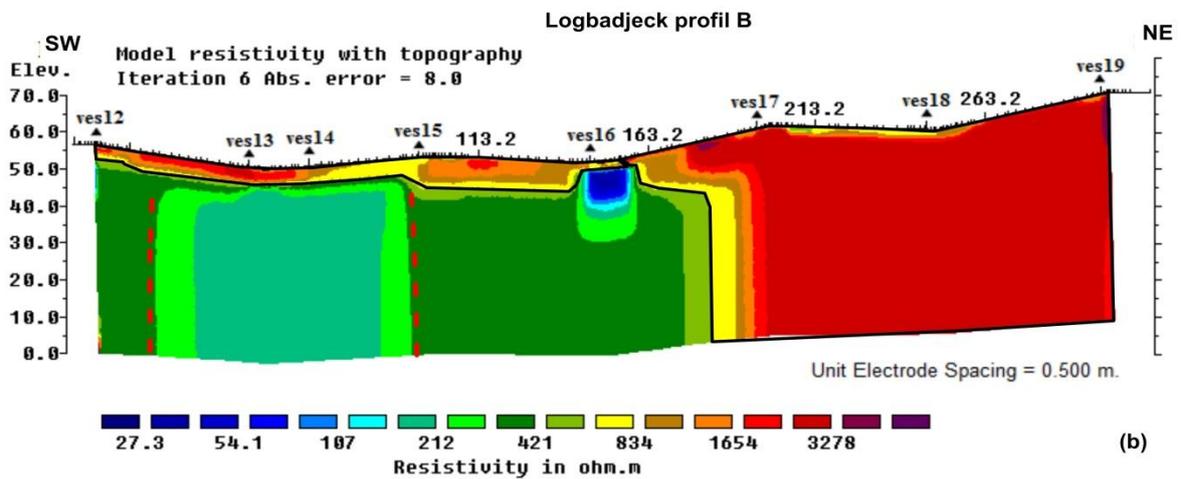
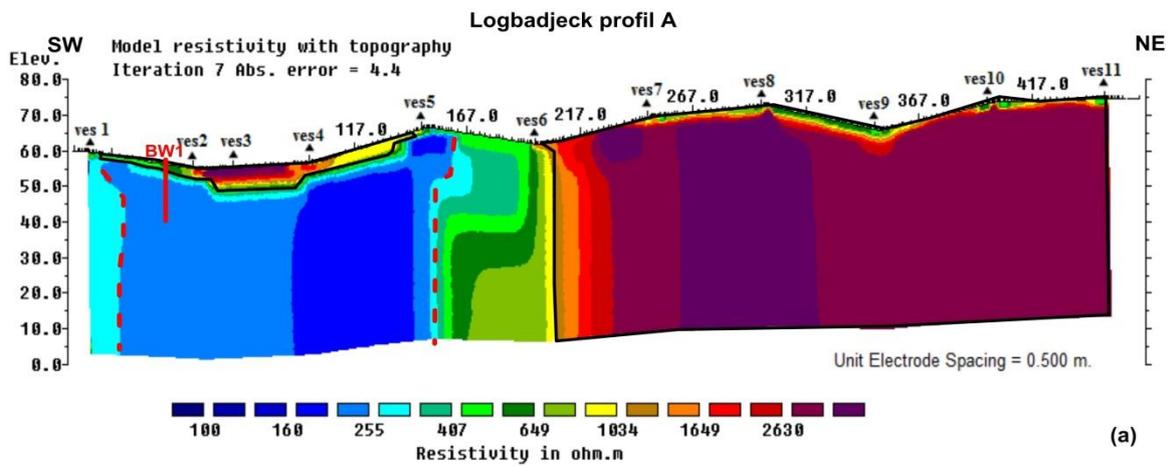
puits de forage met en évidence la présence de migmatites, d'argile sableuses, de formations rocheuses altérées et de gneiss fissuré sur ce profil.

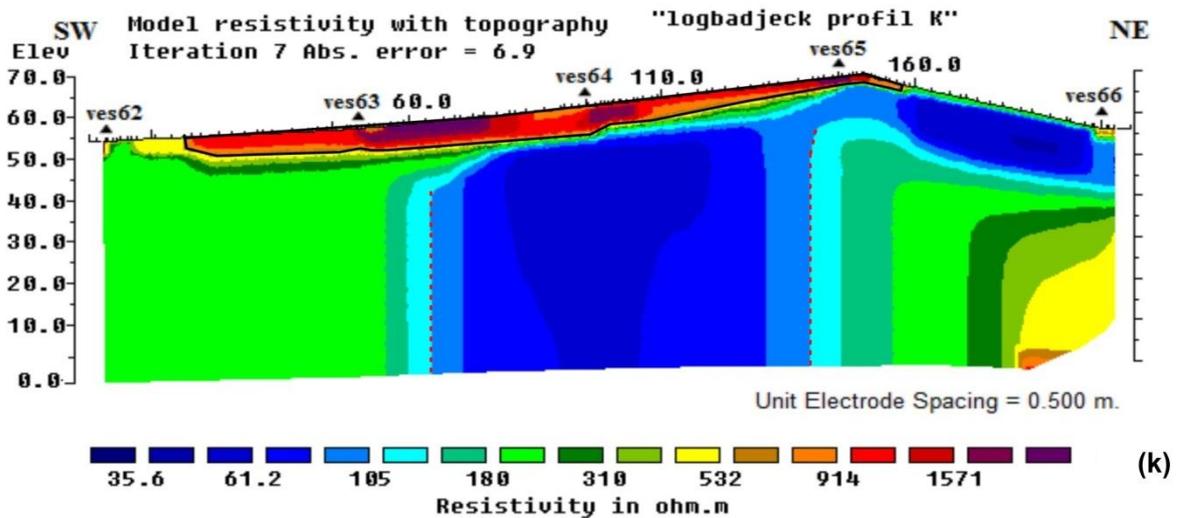
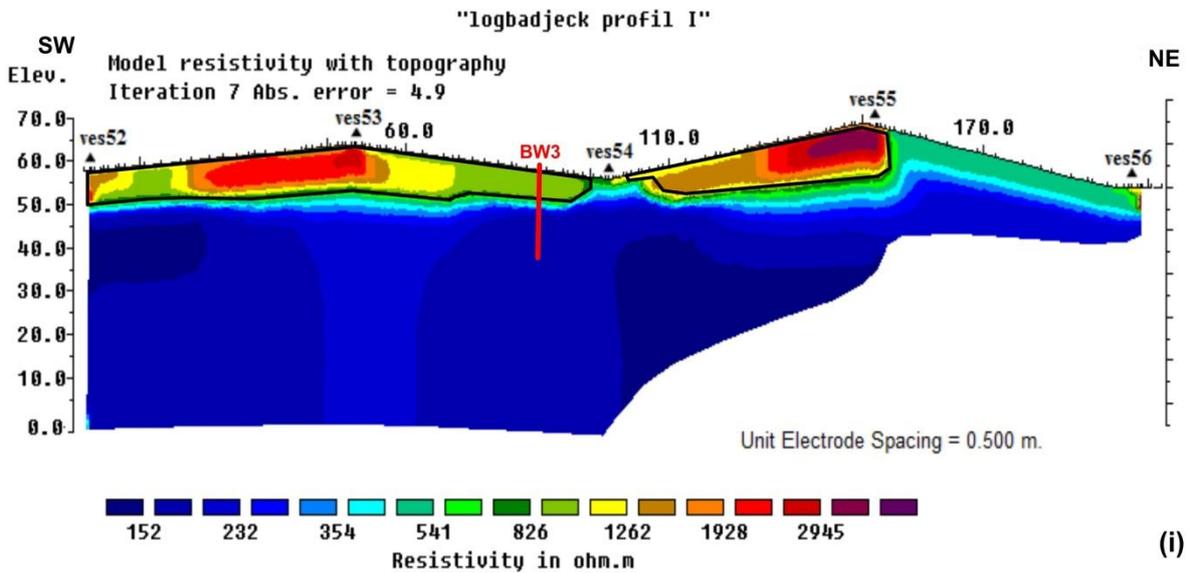
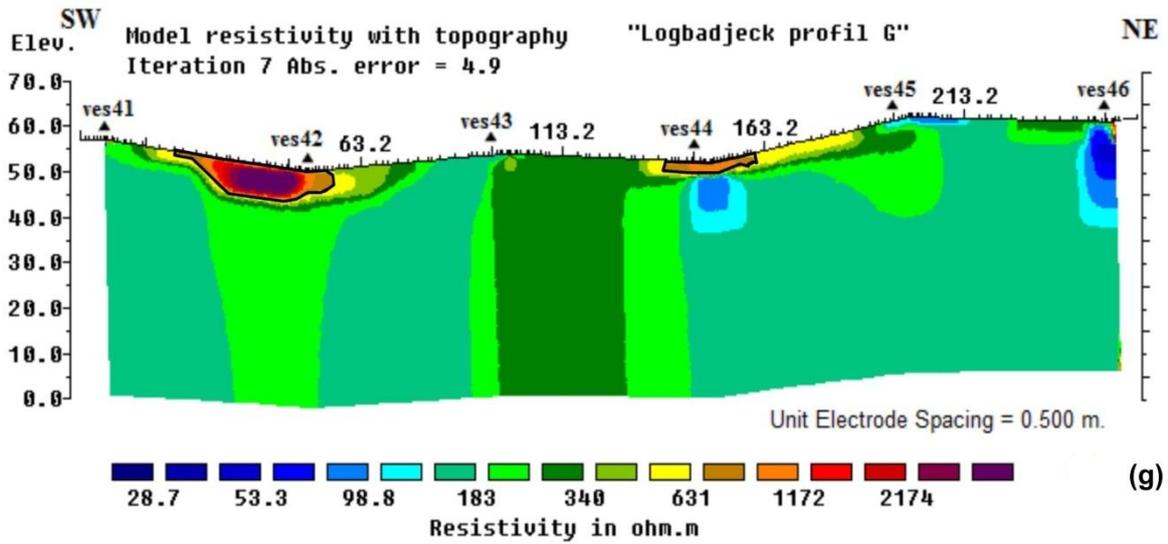
De même que le profil I, le profil K (Figs.28k) présente une diminution progressive de résistivité en fonction de la profondeur. On observe à la surface de ce profil entre les stations Ves62 et Ves65 la présence d'une couche très résistante avec des résistivités allant de 1000  $\Omega.m$  à 2000  $\Omega.m$  et s'enfonçant jusqu'à 5 m de profondeur. Cette couche très résistante correspondrait à une formation géologique très résistante telle que le gneiss. En dessous de cette couche, on observe entre les stations Ves63 et Ves65 une anomalie très conductrice avec des résistivités  $\rho < 200 \Omega.m$  s'enfonçant jusqu'à la profondeur finale du profil. Cette anomalie hautement conductrice pourrait être considérée comme étant une zone de cisaillement ou de failles NS. Cette anomalie très conductrice pourrait être assimilée aux formations aux argilo-sableuses ou aux formations rocheuses altérées. Le profil K, situé dans le domaine central de la zone d'étude, constituerait une zone à risque à la réalisation d'ouvrages de grande envergure. Ceci en raison de la forte épaisseur du stérile rencontré en profondeur de ce profil.

Le profil N, (Figs.28n) présente une diminution progressive de résistivité en fonction de la profondeur. On observe à la surface de ce profil entre les stations Ves76 et Ves80, la présence d'une couche résistante avec des résistivités allant de 1000  $\Omega.m$  à 3000  $\Omega.m$  et s'enfonçant de 5 m au début du profil jusqu'à 12 m à la fin du profil. Cette couche résistante serait assimilée à une formation géologique résistante telle que le gneiss. En dessous de cette couche, on observe entre les stations Ves76 et Ves80 une structure conductrice avec des résistivités  $\rho < 700 \Omega.m$  et s'enfonçant jusqu'à la profondeur finale du profil. Cette structure conductrice pourrait être assimilée aux formations géologiques très conductrices telles que les argiles sableuses.

Les sections 2D des profils PG, PI et PK situées dans le domaine central de la zone d'étude présentent de façon générale des structures souterraines très conductrices qui correspondraient aux formations géologiques conductrices. Les puits de forage réalisés dans le domaine central de la zone d'étude mettent en évidence la présence des formations géologiques conductrices telles que, les argiles sableuses, les formations rocheuses altérées et du gneiss fissuré. Ces formations géologiques conductrices confirment à la fois la forte épaisseur de stérile et le caractère fracturé rencontrés dans le domaine central de la zone d'étude tel que le présentent les sections 2D des profils PG, PI et PK. Les structures très conductrices observées sur les

profils (annexe 6) constitueraient des zones importantes pour la prospection des eaux souterraines.





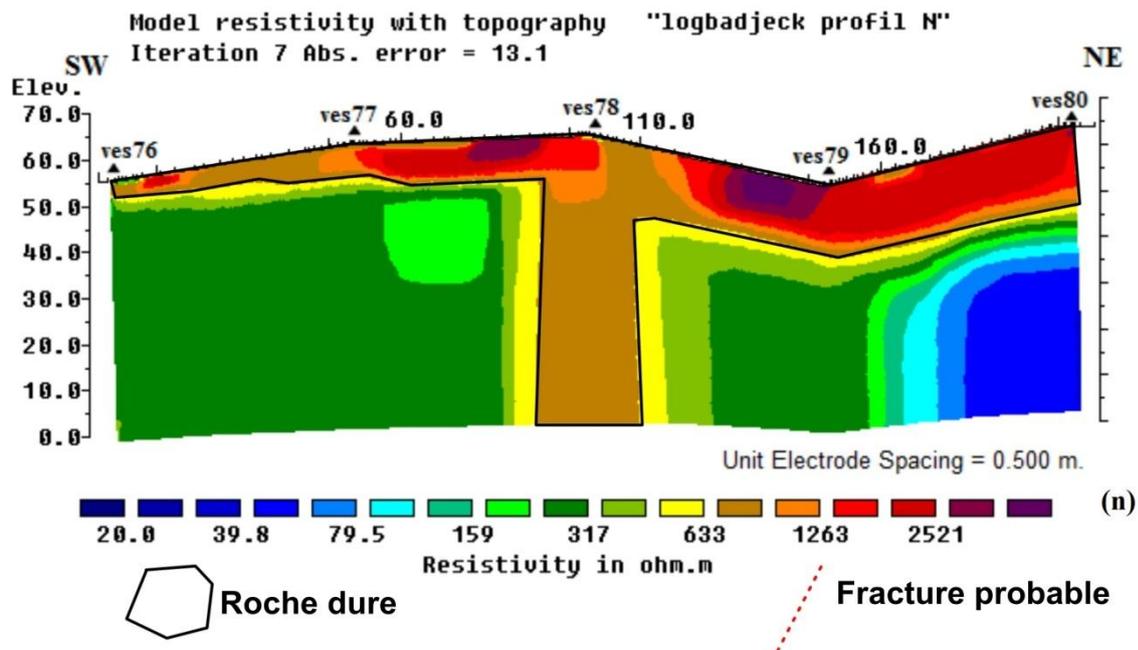


Figure 28. Inversion 2D des résistivités apparentes des profils A, B, C, G, I, K, N.

### 3.3.5. Carte de répartition des épaisseurs du stérile

La carte du stérile (Fig.29) obtenue à partir des données de l'annexe 5 montre la répartition spatiale du stérile dans la zone d'étude. De façon générale, l'épaisseur du stérile dans la zone d'étude varie de 0 à 19,9 m. Suivant la segmentation des épaisseurs du stérile selon Olayinka et al. (1997), la zone d'étude est segmentée en deux grands secteurs à savoir: le secteur à épaisseur de stérile mince et le secteur à épaisseur de stérile épaisses. La carte montre clairement que la zone où l'épaisseur du stérile est inférieure à 5 m se situe dans les secteurs Est, Nord, Nord-Ouest et Sud respectivement autour des stations Ves23, Ves75, Ves67 et Ves1. Les épaisseurs de stérile allant de 5 m à 10 m sont observées dans le secteur central autour de la station Ves42, le secteur Sud autour la station Ves4, le secteur Ouest autour de la station Ves62 et le secteur Nord autour la station Ves66. Ces secteurs sus mentionnés sont considérés comme des secteurs à épaisseurs de stérile minces. Dans le secteur central autour des stations Ves43, Ves48, Ves54 et Ves57 et sud autour de la station Ves15, l'épaisseur du stérile varie de 10 m à 20 m. Ces secteurs sont considérées comme des secteurs à épaisseur de stérile épaisse à extrêmement épaisse. Ces secteurs seraient des zones moins stables pour les constructions des ouvrages de grande envergure en raison des grandes épaisseurs de stérile rencontrées à cet endroit.

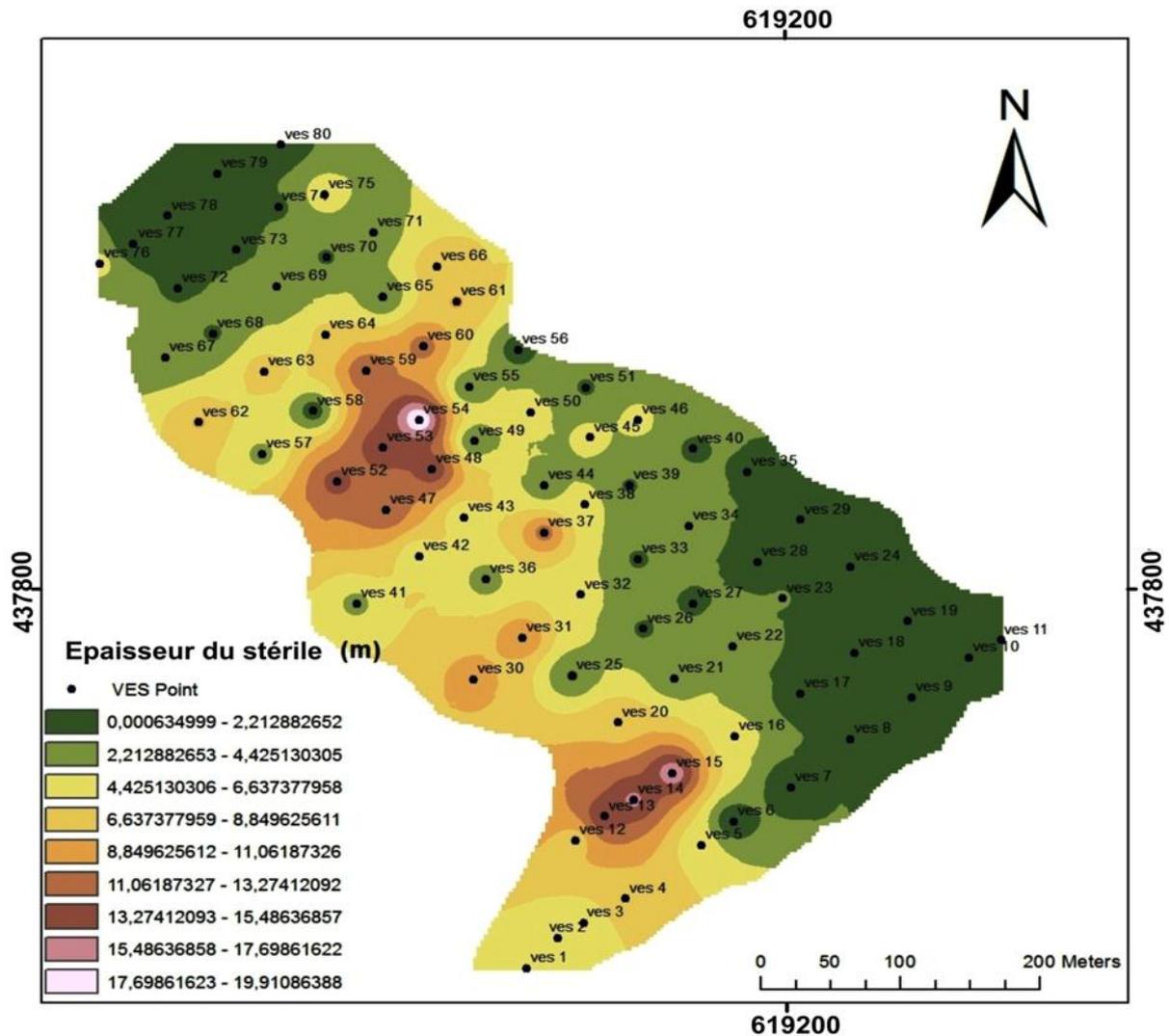


Figure 29. Carte du stérile dans la zone d'étude.

### 3.3.6. Carte de résistivité du toit du socle

La carte de résistivité du toit du socle (Fig.30) obtenue à partir des données de l'annexe 5 montre que la majeure partie de la zone centrale autour des stations Ves53, Ves43 est conductrice avec une plage de résistivité  $\rho < 1000 \text{ Ohm.m}$ . En dehors du domaine central conducteur, tous les autres domaines de la carte sont résistants avec une résistivité  $\rho > 1000 \text{ Ohm.m}$ . Les résultats des études de Olayinka et Olorunfemi (1992) ont montré que le substratum rocheux sain possède une résistivité  $\rho > 1000 \text{ Ohm.m}$  tandis le substratum rocheux fracturé possède une résistivité  $\rho < 1000 \text{ Ohm.m}$ . Suivant cette logique, le secteur central de la zone d'étude autour des stations Ves43, Ves48, Ves54 et Ves57 aurait un substratum rocheux fracturé tandis que le reste de la zone d'étude aurait un substratum rocheux sain. Ceci montre que le secteur central autour des stations Ves43, Ves48, Ves54 et Ves57 de la zone d'étude ne serait pas indiqué pour la réalisation de grands ouvrages en raison du caractère fracturé du toit du socle à cet endroit.

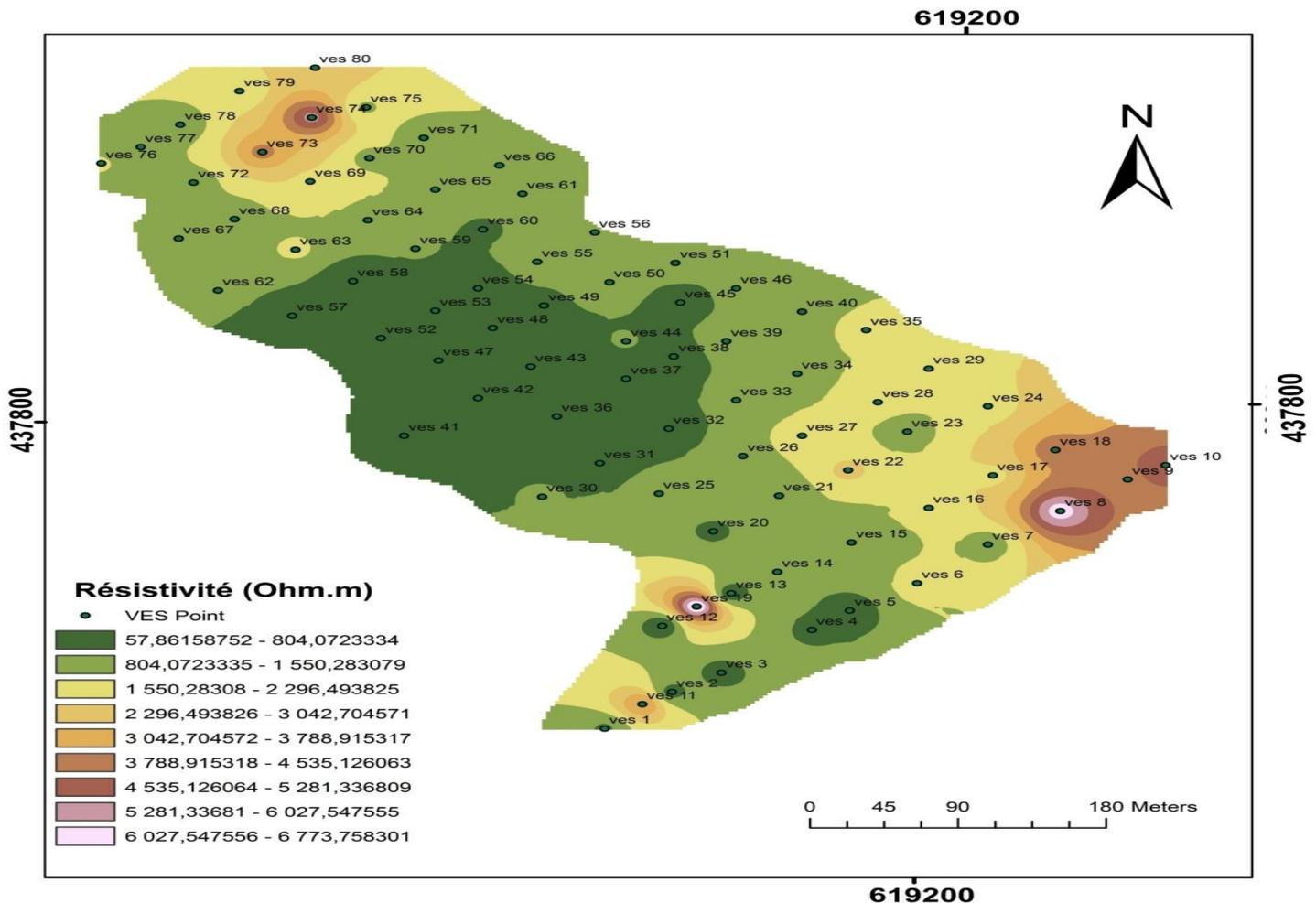


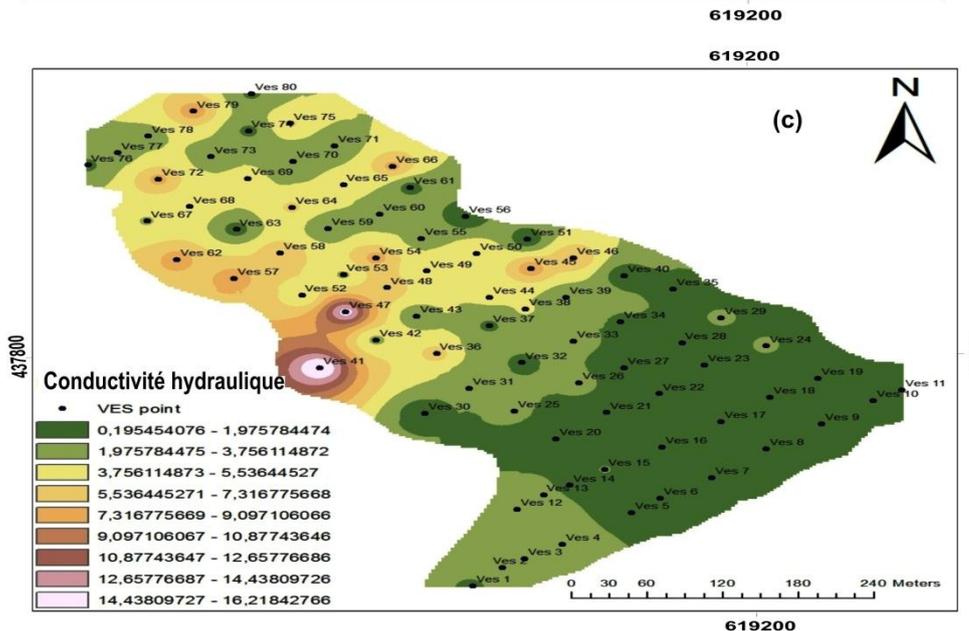
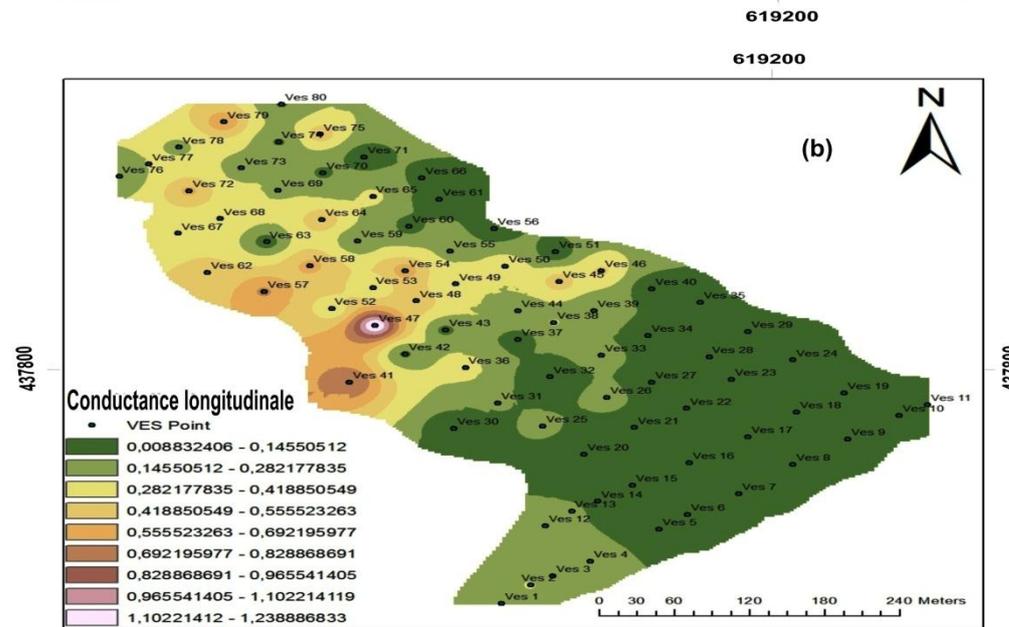
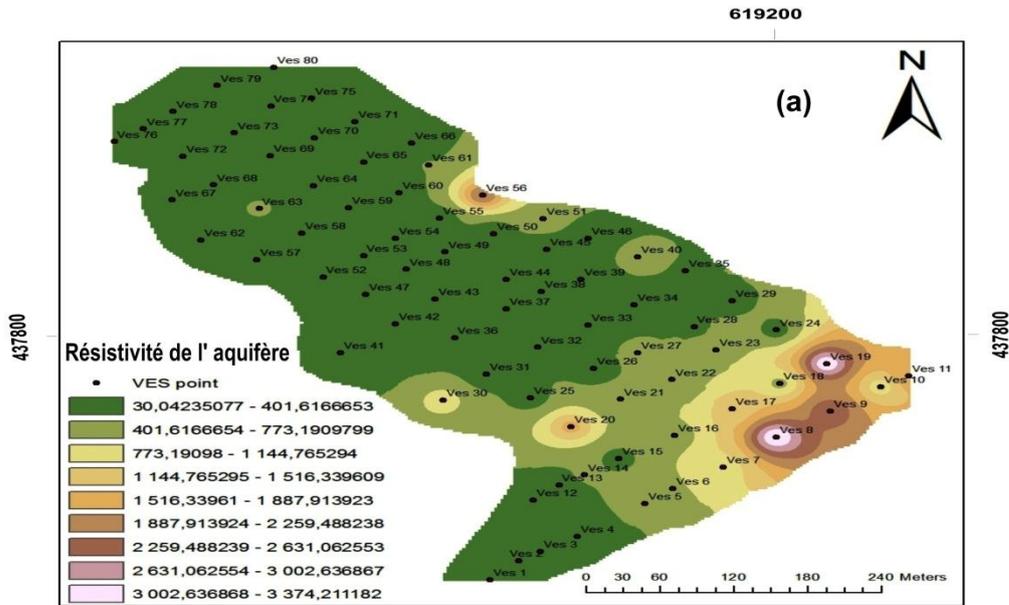
Figure 30. Carte de résistivité du toit du socle.

De façon générale, les courbes de sondage 1D, les sections 2D, la carte du stérile et la carte de résistivité du toit du socle mettent en évidence le caractère fracturé et la puissance conductrice des formations profondes dans le domaine central de la zone d'étude. Il est donc recommandé en raison de son caractère fracturé et de sa forte épaisseur de stérile de ne pas réaliser des ouvrages de grande envergure dans le domaine central de la zone d'étude car cette zone constituerait une zone à risque ou instable pour la construction des grands ouvrages.

### 3.3.7. Évaluation des aquifères

Les paramètres de Dar Zarrouk obtenus à partir des résultats issus des paramètres de couche interprétés (annexe 7) ont permis de réaliser la carte des paramètres hydrauliques des aquifères dans la zone d'étude (Fig.31). La variation des valeurs de résistivité de l'aquifère (Fig.31a) montre que la majeure partie de la zone d'étude est caractérisée par de faibles valeurs de résistivité de l'aquifère  $\rho < 500 \Omega.m$ . Les zones de faible résistivité comprise entre  $30 \Omega.m$  et  $500 \Omega.m$  indiquent la présence de formations altérées ou de formations

argilo-sableuses, ce qui indique de bonnes formations d'aquifère. Le secteur Est de la zone d'étude quant à lui est constitué de valeurs de résistivités élevées. La distribution spatiale (Fig.31b) de la conductance longitudinale de l'aquifère (S) dans la zone d'étude révèle que les valeurs vont de  $0,01 \Omega^{-1}$  dans le secteur Est autour de la station Ves18 à  $1,24 \Omega^{-1}$  dans le secteur central autour de la station Ves47. Selon la classification de Henriot (1976), les secteurs Est autour de la station Ves18, Sud autour de la station Ves13 et Nord autour de la station Ves71 constituent des zones à faible capacité de protection aquifère, c'est-à-dire plus vulnérable à la contamination par infiltration des lixiviats ou eaux usées car la valeur de la conductance longitudinale de l'aquifère est inférieure à  $0,2 \Omega^{-1}$ . Le secteur central autour des stations Ves41, Ves45, Ves47 et Ves57 et le secteur nord-ouest autour des stations Ves62 et Ves72 sont considérés comme étant des zones à moyenne et bonne capacité de protection d'aquifère, c'est-à-dire moins vulnérable à la contamination par infiltration de lixiviat ou eaux usées car la valeur de la conductance longitudinale de l'aquifère dans ces secteurs varie de  $0,2 \Omega^{-1}$  et  $1,24 \Omega^{-1}$  (Oladapo et Akintorinwa, 2007). La conductivité hydraulique (K) de l'aquifère (Fig.31c) varie de 0,2 à 16,2 m / jour. Les principales zones de faible conductivité hydraulique sont situées dans les secteurs Sud et Est avec des valeurs de conductivité hydraulique comprises entre 0,2 et 3,76 m / jour. Le secteur central autour de la station Ves41 et le secteur NW autour de la station Ves67 avec des valeurs de conductivité hydraulique élevées comprises entre 3,77 et 16,22 m / jour indiquent la facilité avec laquelle un fluide passera à travers ces secteurs (Heigold et al., 1979). Les zones de haute conductivité hydraulique coïncident avec les zones de haute transmissivité ( $Tr > 139 m^2/jour$ ) (Fig.31d), traduisant ainsi le fait que ces zones peuvent être identifiées comme des zones à fort potentiel aquifère. De même, les secteurs Sud et Est de faible conductivité hydraulique coïncident avec les secteurs de faible transmissivité ( $Tr < 139 m^2/jour$ ), traduisant ainsi le fait que ces zones peuvent être identifiées comme des zones à faible potentiel aquifère. Les valeurs du coefficient de réflexion (Rc) (Fig.31e) vont de -0,92 à 0,70 tandis que les valeurs de contraste de fracture (Fig.31f) vont de 0,03 à 5,79. Les valeurs élevées du coefficient de réflexion et du contraste de fracture se trouvent dans le secteur Est autour des stations Ves16 et Ves23. En général, la zone d'étude se compose de fractures remplies d'eau, car la valeur du coefficient de réflexion inférieure à 0,9 et le contraste de fracture inférieur à 19 indiquent une densité élevée de fractures remplies d'eau (Olayinka et al., 2000).



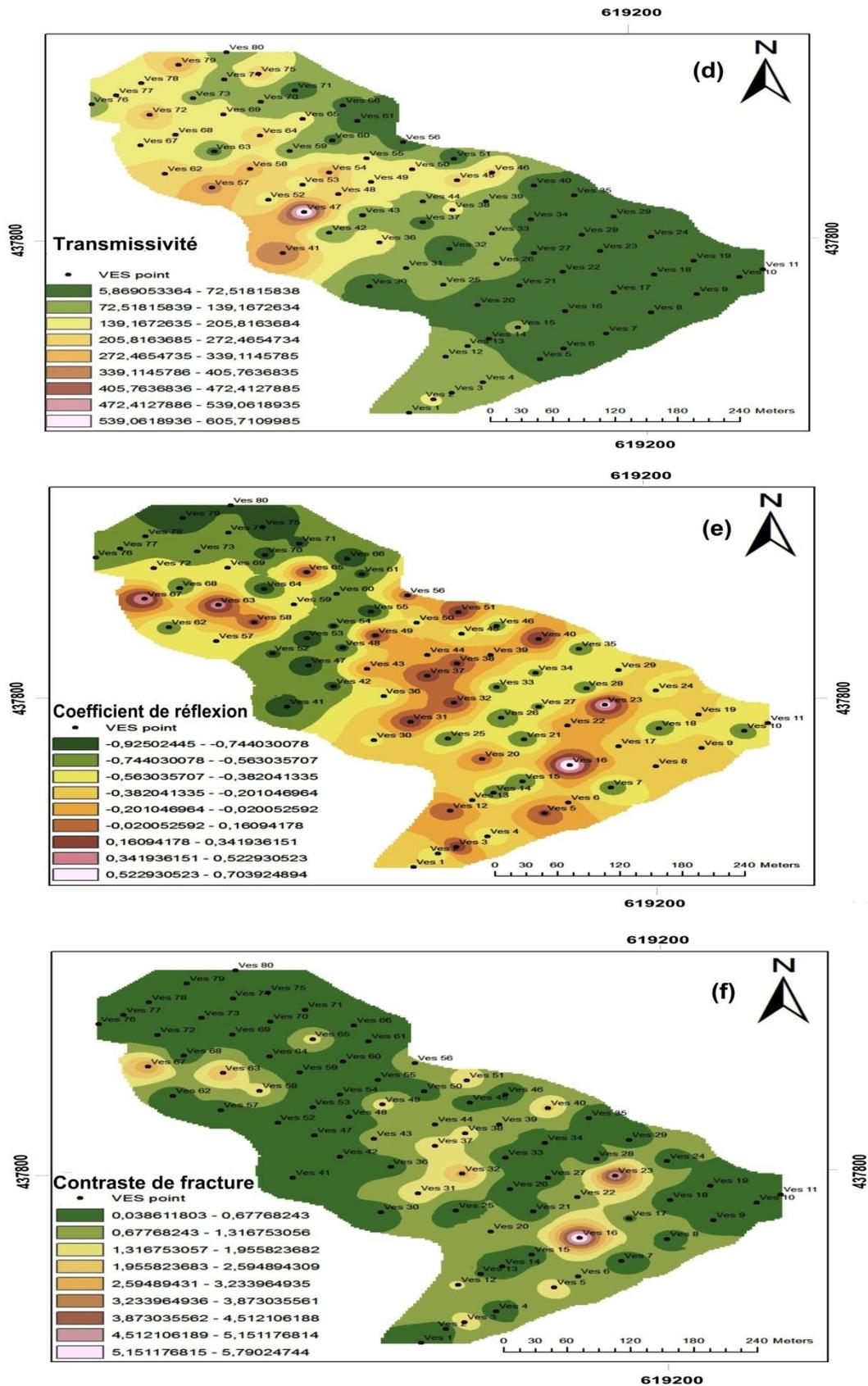


Figure.31. Cartes des paramètres hydrauliques des aquifères de la zone d'étude: (a) Résistivité de l'aquifère, (b) Conductance longitudinale, (c) Conductivité hydraulique, (d) Transmissivité de l'aquifère (e) Coefficient de réflexion et (f) Contraste de fracture.

### 3.3.8. Logs lithologiques proposés des sondages électriques verticaux

Les logs lithologiques des sondages électriques verticaux de la zone d'étude (Fig.32) mettent en évidence cinq couches distinctes à savoir : migmatites, argiles sableuses, argiles, gneiss fissuré et gneiss (Tepoule et al., 2021). La première couche lithologique est constituée de migmatites avec une valeur de résistivité apparente allant de 50 à 2325  $\Omega\text{m}$ , tandis que son épaisseur varie entre 0,5 et 3,6 m. La deuxième couche est constituée d'argiles sableuses et de gneiss. La résistivité de l'argile sableuse varie de 65 à 544  $\Omega\text{m}$  avec une épaisseur de 2,7 à 16 m tandis que le gneiss a une résistivité de 2517  $\Omega\text{m}$ . Les troisième et quatrième couches lithologiques représentent l'unité aquifère de la zone d'étude. La résistivité de la troisième et de la quatrième couche respectivement constituées d'argiles et de gneiss fissuré varie de 63 à 400  $\Omega\text{m}$  avec une épaisseur allant de 4,6 à 43 m. La cinquième couche est constituée de gneiss avec des valeurs de résistivité allant de 2000 à 7800  $\Omega\text{m}$  traduisant le socle de la zone d'étude. Les litho-logs ont été comparés aux coupes lithologiques proposées des sondages électriques verticaux proches des points de forage. La corrélation était basée sur le fait que lorsque les limites du litho-log ne coïncident pas avec les limites de différentes résistivités, le litho-log diffère de la coupe lithologique proposée. Globalement, les résistivités obtenues par les sondages électriques correspondent à des formations conductrices dans presque tous les sites. Ainsi, les résultats de forations ont mis en évidence des aquifères superficiels aux environs de 6 m de profondeur et des aquifères profonds autour 20 m à 56 m de profondeur.

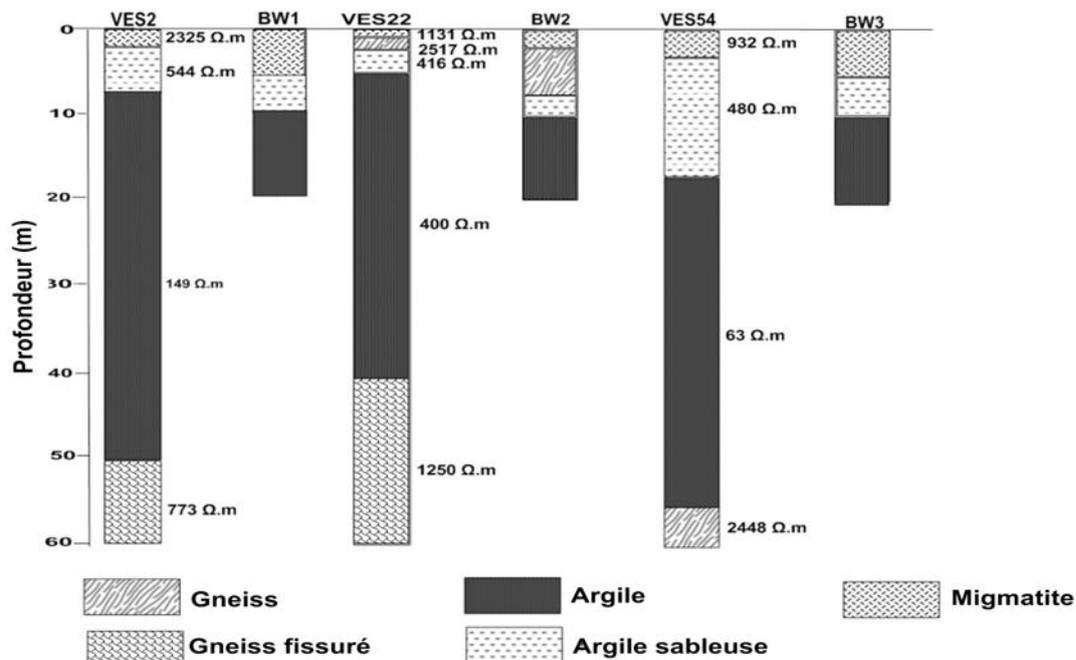


Figure. 32. Corrélation des VES 1-D avec les diagraphies de forage à proximité.

### 3.4. Discussion des résultats

#### 3.4.1. Validation géophysique du linéament satellitaire

Pour la validation du linéament issu du traitement des images satellitaires, trois profils géoélectriques (PA, PF, PK) de direction SW-NE (perpendiculaire au linéament) et espacés de 250 m les uns des autres ont été choisis tel que le montre la figure 33.

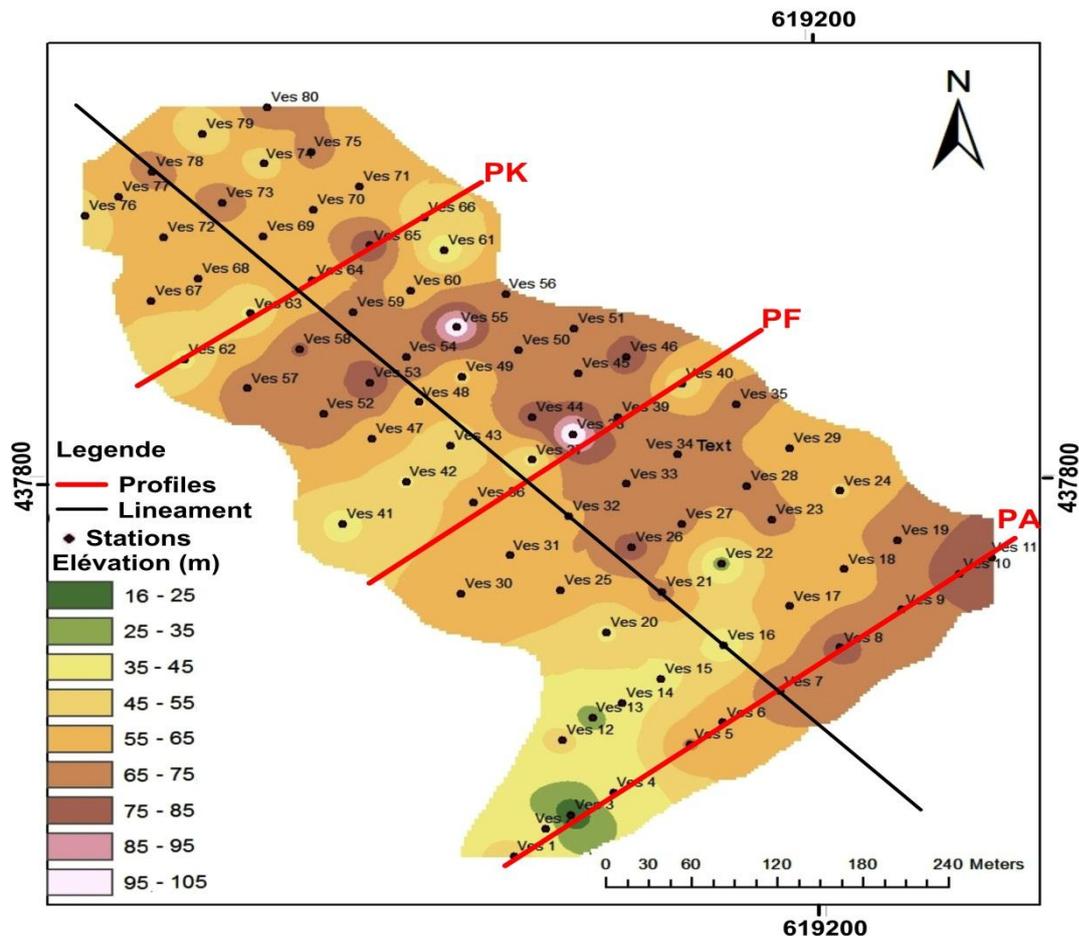
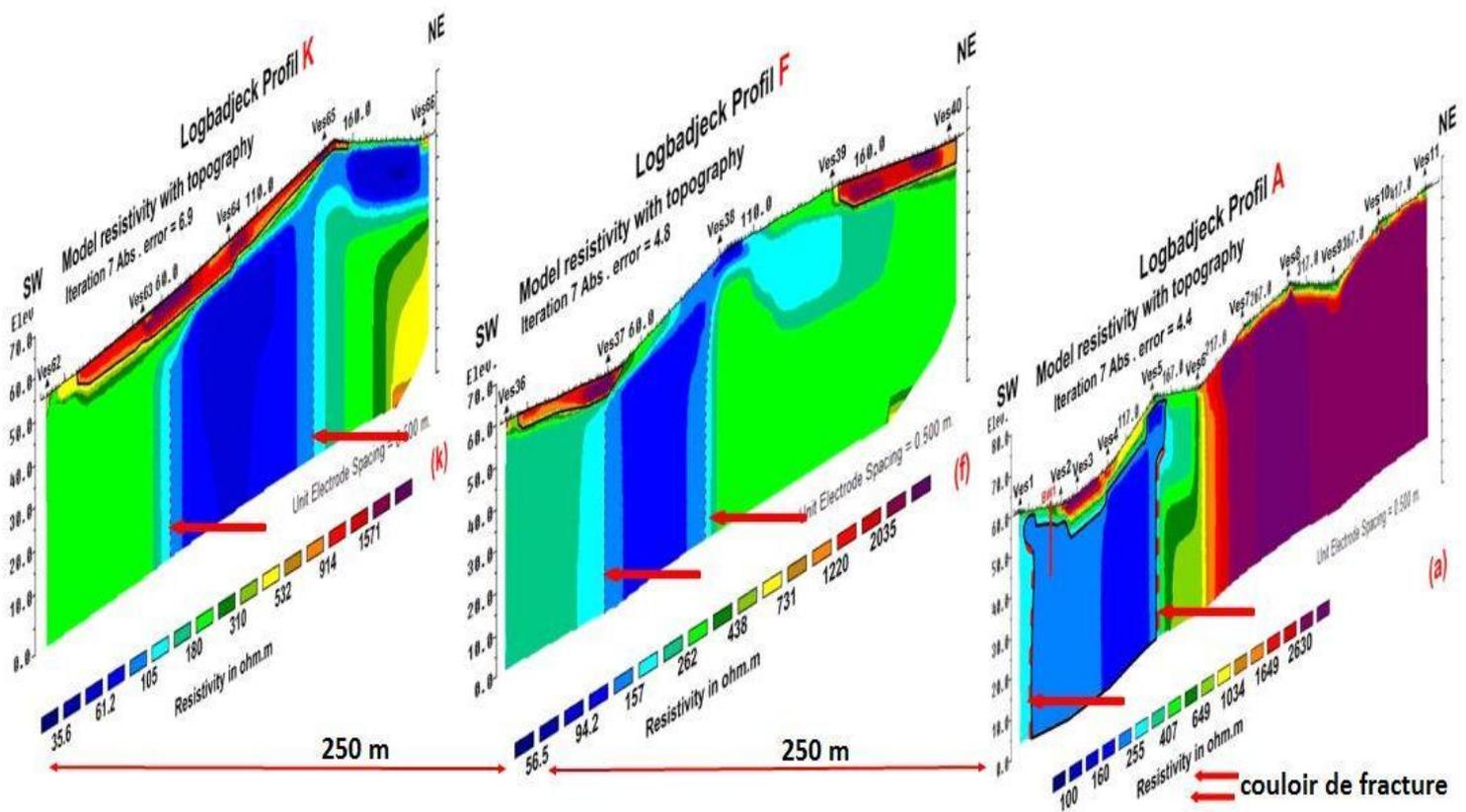


Figure.33. Carte de validation du linéament de Logbadjeck sur la carte topographique.

Les sections électriques des profils A, F, K, (Fig.34) montrent des anomalies structurales hautement conductrices avec des valeurs de résistivités allant de  $27 \Omega.m$  à  $300 \Omega.m$  et situées respectivement entre les stations Ves1 et Ves5 ; Ves37 et Ves38, puis Ves63 et Ves65 suivant chaque profil. Ces anomalies s'enfoncent de 3 m jusqu'à la profondeur finale pour le profil A puis de 5 m jusqu'à la profondeur finale du profil pour les profils F, K. Les anomalies structurales hautement conductrices mentionnées ci-dessus pourraient être considérées comme des zones de cisaillement et constitueraient une zone importante pour la prospection des eaux souterraines. De façon générale, l'imagerie au sol des profils, montre que la structuration géologique de la zone d'étude semble être la même. La structure très

conductrice retrouvée sur toutes les sections électriques représenterait sans doute la zone de cisaillement (SZ). Toutefois, en faisant une superposition des profils, un couloir de fracture très conducteur (zones délimitées en flèches rouges) avec des résistivités allant de 27  $\Omega.m$  à 300  $\Omega.m$  et perpendiculaire aux profils est observé en profondeur de la zone d'étude. Ce couloir de fracture a une largeur qui varie de 60 à 140 m avec une profondeur de plus de 50 m. En effet, c'est le couloir de fracture observé en profondeur qui serait matérialisé par le linéament majeur observé en surface à l'issue du traitement des images satellitaires. Les linéaments extraits des images satellitaires correspondraient donc aux fractures sur le terrain. Ce linéament observé sur la zone d'étude corrèle avec les travaux de Ndougsa Mbarga (1995) qui grâce à des données audio magnétotelluriques mettait en évidence une faille à Bonépoupa localité proche de la zone d'étude.



**Figure 34 :** Sections électriques montrant le couloir de fracture.

### 3.4.2. Corrélation des résultats géoélectrique et de télédétection au contexte géologique-tectonique de la zone d'étude

Un travail scientifique doit être vu sous l'angle de corroboration avec d'autres travaux réalisés en utilisant d'autres méthodes. Les différentes techniques de traitement spécifique appliquées aux images satellitaires SRTM et Landsat 7 ETM+, à savoir l'ACP et les techniques de

filtrage spatial directionnel des linéaments, ont conduit à l'élaboration de la carte des linéaments de Dibamba, Littoral Cameroun. Ces linéaments présentent des familles de directions majeures à savoir N20°- 40°, N50°- 80° et N100°- 140° et des familles de directions mineures N0 ° - 20 °, N80 ° - 100 °, et N140 ° - 180 ° (Fig.18). Des résultats similaires ont été obtenus par Kopa Njueya et al. (2012) qui, à l'aide de l'analyse des photographies aériennes de Douala, montrent un réseau de fractures ayant une direction principale de fracturation allant de N70° à N80°E et une direction secondaire non négligeable à savoir N30° à N40°E. La pente obtenue dans cette étude en appliquant la loi de puissance à notre champ de fracturation donne une valeur de  $p = 2,39$  (Fig.20). Cette valeur se rapproche des observations faites par Bodin et Razack (1999) et Lasm et Razak (2001) qui, pour une étude analogue ont trouvé les valeurs de la pente respectivement  $p = 2,68$  et  $p = 2,91$ . La petite valeur de la pente obtenue dans cette étude pourrait s'expliquer par le fait que la carte des linéaments obtenue révèle un certain nombre d'accidents dont l'extension dépasse le cadre de la zone étudiée. Les filtres directionnels utilisés dans cette étude ont révélé de nombreuses structures linéaires dans la zone d'étude parmi lesquelles le linéament de Logbadjeck. Ce linéament de Logbajeck d'environ 9,5 Km de long était jusqu'à présent mal connu car n'ayant jamais été cartographié dans les études précédentes. Des travaux de terrain pour la validation du linéament de Logbadjeck à l'aide de profils géoélectriques ont été réalisés dans trois (3) secteurs de la zone d'étude (Fig.33). Ces secteurs ont été choisis en fonction des formations géologiques rencontrées (filon de quartz dans les altérites, roches fracturées). Les sections de résistivité montrent que la structuration géologique de la zone d'étude semble être la même. Les anomalies structurales très conductrices de résistivités comprises entre 27  $\Omega.m$  et 300  $\Omega.m$  rencontrées sur les sections constitueraient des failles (Tepoule et al., 2021). En effet, ces failles rencontrées sur les sections de résistivité constitueraient un couloir de fracture en profondeur (Fig.34). Ce couloir est clairement matérialisé par le linéament en surface issu du traitement des images satellitaires. La largeur de ce linéament varie entre 60 et 140 m avec une profondeur de plus de 50 m. Ce linéament constitue un emplacement favorable pour les campagnes de prospection géophysique (localisation des futurs forages). Ainsi, avec l'apport combiné de la télédétection et de la géophysique (géoélectricité), la localisation des corridors de fractures devient plus facile et plus sûre. Cette approche serait plus fiable pour augmenter la probabilité de réussite des forages. Connaissant les caractéristiques et la géométrie de la fracture, le forage sera idéalement situé dans le lit de fracture (Youan Ta et al., 2014).

Les analyses des contrastes de résistivité à travers les différents profils ont apporté des informations qualitatives sur la conductivité électrique du sous-sol de la zone d'étude. Au cours des dites analyses, une diminution progressive de la résistivité avec la profondeur (Fig.24; Fig.25; Fig.28; Fig.32) a été observée. Les sections de résistivité montrent que la zone d'étude aurait connu une intense activité tectonique, marquée par la formation des anomalies structurales entre autre les fissures et les failles. Sur le profil A, (Figures 25a et 28a) la zone d'infiltration d'eau souterraine observée autour de A5 (Fig.25a) correspond à l'anomalie conductrice profonde ( $\approx 200 \Omega.m$ ) située entre les stations Ves1 et Ves4 de la section inversée A (Fig.28a). Sur le profil B (Figures 25b et 28b), la zone d'infiltration d'eau qui est observée autour de B4 (Fig.25b) correspond à l'anomalie conductrice située entre les stations Ves13 et Ves15 de la section inversée B (Fig. 28b). La zone d'infiltration d'eau observée autour de I3 (Fig.25c) correspond à l'anomalie conductrice située entre les stations Ves53 et Ves55 de la section inversée I (Fig.28i). La comparaison de ces résultats géophysiques révèle une cohérence entre les zones d'infiltration d'eau recensées sur les profils de résistivité géoélectrique (Fig.25) et les anomalies conductrices observées sur les sections inversées (Fig.28). De plus, les valeurs du coefficient de réflexion inférieures à 0,9 et du contraste de fracture inférieur à 19 indiquent une densité élevée de fractures remplies d'eau. De façon générale, les résultats de foration (Fig.32) ont mis en évidence des aquifères superficiels et profonds dans la zone d'étude. Ces résultats corrént avec les résultats obtenus par Kopa Njueya et al. (2012) qui grâce à la méthode géoélectrique couplée aux résultats de foration mettaient en évidence la présence de deux principaux aquifères entre 0 et 100 m de profondeur à savoir les aquifères superficiels entre 0 et 17 m et les aquifères profonds entre 20 et 73 m à Douala.

La carte de conductance longitudinale (Fig.31b) considère les secteurs central et nord -ouest comme des zones avec une capacité de protection moyenne à bonne de l'aquifère c'est-à-dire moins vulnérable à la contamination par infiltration de lixiviat ou eaux usées. Ceci se justifie par le fait que la valeur des gammes de conductance longitudinale de l'aquifère dans ces secteurs varie entre 0,2 et  $1,24 \Omega^{-1}$ . Cette gamme de conductance longitudinale corréle avec la classification des auteurs tels que Oladapo et Akintorinwa (2007), Obiora et al. (2015), Anosike et al. (2019) qui à la suite de leurs travaux classent les gammes de conductance longitudinale de moyenne à bonne entre 0,2 et  $4,9 \Omega^{-1}$ , de très bonne à excellente entre 5 et  $10 \Omega^{-1}$  ou supérieure à  $10 \Omega^{-1}$ .

Les cartes de résistivité apparente (Figs.24a-b-c), l'inversion 1D, 2D (Figs.27a-b-c-d-e ; Fig.28), la carte du stérile (Fig.29), la carte de résistivité du toit du socle (Fig.30), montrent le caractère très conducteur des structures profondes dans le secteur central (autour des stations Ves43, Ves48, Ves54 et Ves57). Ce secteur apparaît comme étant le secteur le plus fracturé de la zone d'étude en raison de la forte conductivité ( $Rho < 1000 \Omega. m$ ) du toit du socle et des fortes épaisseurs de stérile rencontrées à cet endroit. Ce type d'emplacement constituerait une zone à risque d'effondrement ou d'affaissement de grands édifices. Les résultats obtenus dans la zone d'étude corrélerent avec ceux obtenu par Adagunodo et al. (2013) qui, utilisant la méthode électrique à Adumasun localité située au sud-ouest du Nigéria, démontraient que les zones au toit du socle fracturé ( $Rho < 1000 \Omega. m$ ) et à forte épaisseur de stérile constituent des zones à risque d'effondrement ou d'affaissement de grands ouvrages.

La corrélation entre les sections électriques 2D, les litho-log et les données pétrographiques recueillies sur le terrain a permis de réaliser un modèle géologique de la zone d'étude (Fig.35). Ce modèle géologique montre que le socle rocheux de la zone d'étude est gneissique et affleure par endroits en surface. Ce modèle géologique révèle également la présence de certaines autres roches telles que des migmatites altérés et des filons de quartz dans les altérites. Le modèle géologique divise la zone d'étude en trois grandes parties à savoir :

- une zone Est comportant une arène de gneiss allant de la surface à la profondeur maximale étudiée,
- une zone Nord comportant en surface des couches de gneiss d'épaisseurs comprises entre 10 et 20 m,
- une zone centrale fracturée présentant des épais couches de stérile.

Ce modèle proposé se rapproche aux résultats des travaux de Paho et al. (2021) qui grâce aux études pétrographiques, morpho-structurales et géoélectriques mettaient en évidence la présence des formations telles que les quartzites, les migmatites et les failles dans la localité de Pouma située proche de la zone d'étude.

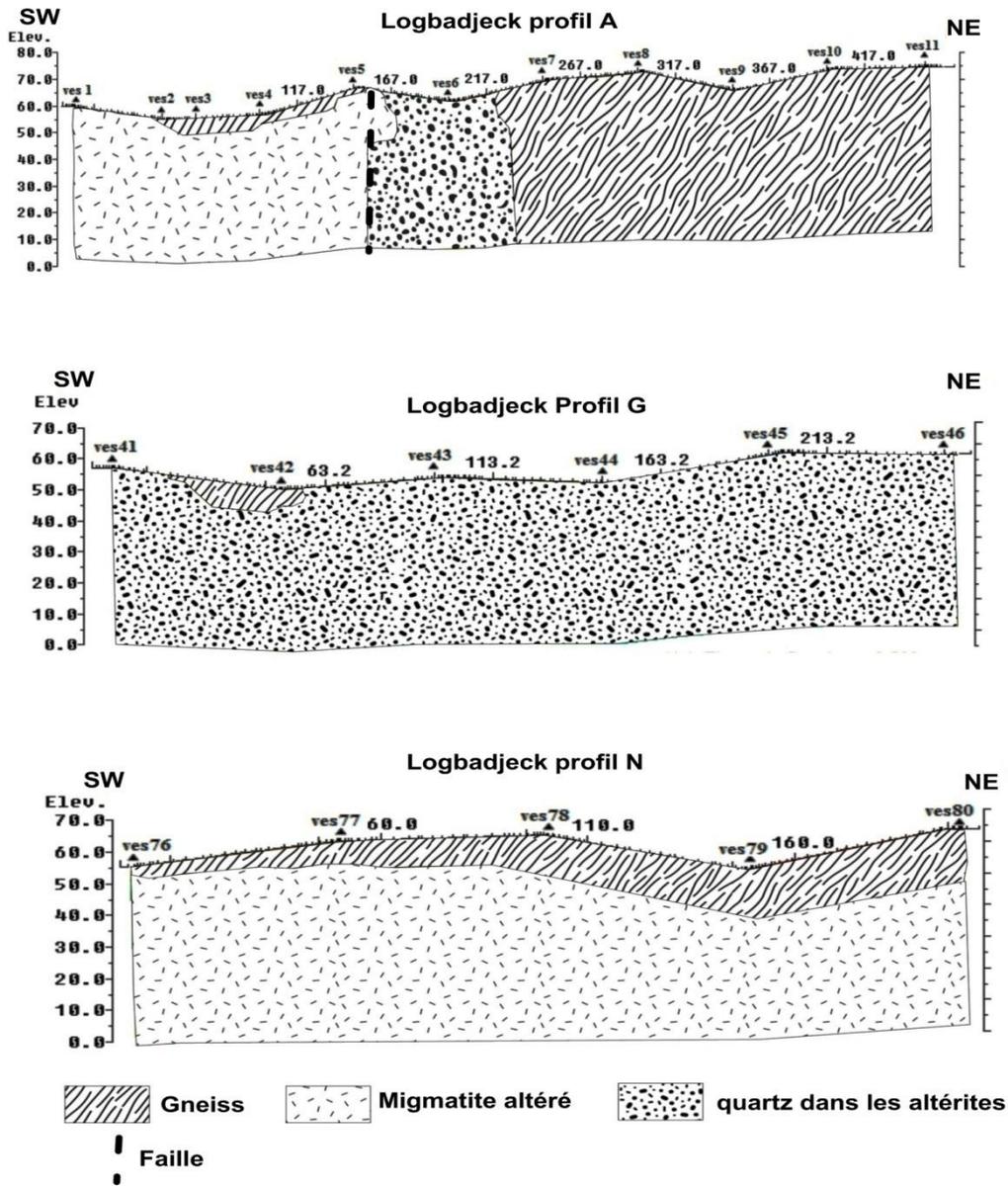


Figure 35 : Coupe géologique le long des profils A, G et N.

## **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

Ce travail avait pour objectif de caractériser la structure interne de la localité de Logbadjeck située dans la région du Littoral Cameroun à partir des images satellitaires et des sondages électriques verticaux. Le traitement des images satellitaires (SRTM et Landsat7 ETM+) a permis de dresser la carte détaillée des linéaments (285 linéaments) de la Dibamba. Ces linéaments présentent des familles de directions majeures à savoir N20°- 40°, N50°- 80° et N100°- 140° et des familles de directions mineures N0° - 20°, N80° - 100°, et N140° - 180°. Les investigations géologiques ont permis de mettre en évidence quatre types pétrographiques: les migmatites, les gneiss, les quartzites et les brèches. L'analyse et l'interprétation des données géoélectriques de la zone d'étude mettent en évidence le caractère hautement conducteur des structures profondes ( $\rho < 800 \Omega.m$ ). De manière générale, les profils montrent une évolution décroissante de la résistivité vers les structures profondes sauf dans les secteurs Est et Nord de la zone d'étude. Ces profils mettent également en évidence la présence de zones d'infiltration des eaux souterraines. La zone d'étude est dominée par des courbes du type KH qui caractérisent l'existence de méga fractures. Les sections de résistivité mettent en évidence en profondeur (de 8 m jusqu'à la profondeur maximale) des anomalies structurales (failles) orientées NS. Le bilan hydraulique met en évidence la présence d'un potentiel aquifère modéré à élever dans la zone d'étude. Le secteur central autour des stations Ves41, Ves45, Ves47 et Ves57 et Nord-Ouest autour des stations Ves62 et Ves72 sont considérés comme étant des zones ayant une moyenne à bonne capacité de protection d'aquifère. Le secteur central (autour des stations ves53, ves43) apparaît comme étant le secteur le plus fracturé de la zone d'étude ceci en raison de la forte conductivité ( $\rho < 1000 \Omega.m$ ) du toit du socle et des fortes épaisseurs de stérile rencontrées à cet endroit. Les secteurs Est et Nord de la zone d'étude quant à eux présentent un substratum rocheux sain. L'analyse et l'interprétation des données de télédétection couplées à la tomographie électrique ont permis de valider le linéament présent dans la zone d'étude. Il ressort des analyses que ce linéament de longueur 9,4 km possède une largeur qui varie de 60 à 140 m avec une profondeur de plus de 50 m. De façon générale, l'étude de la structure interne de la zone d'étude a mis en évidence la présence de deux principaux aquifères à savoir des aquifères superficiels aux environs de 6 m de profondeur et des aquifères profonds aux environs de 56 m de profondeur. Elle a également permis de délimiter les sites considérés à risque pour la réalisation des grands ouvrages. Enfin elle a permis de mettre en évidence le linéament de Logbadjeck qui traverse la zone d'étude.

Au terme de cette étude, il serait mis en perspective pour plus d'efficacité :

- Une étude géologique approfondit du linéament de Logbadjeck qui traverse la zone d'étude car il constituerait une potentielle zone de minéralisation,
- Un calcul du volume de gneiss rencontré dans la zone d'étude afin d'évaluer la quantité de ressource exploitable présente sur ce site.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**Abolo, M.G., and Loulé, J.P., 1997.** Cretaceous correlation of the Kribi /Campo sub-basin in Cameroon. Abstract. 119p.

**Adagunodo, T.A., Sunmonu, A., Oladejo, O.P and Ojoawo, I.A., 2013.** Vertical Electrical Sounding to determine fracture distribution at Adumasun area, Oniye, Southwestern Nigeria. IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics. Volume 1, Issue 3, PP 10-22.

**Anosike, S., Ibuot, J.C., Obiora D.N and Ugbor, D.O., 2019.** Geophysical and physicochemical investigation of groundwater repositories in Njaba LGA of Imo State, eastern Nigeria. Int J Environ Sci Technol. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02366-8>

**Anterrieu, O., 2006.** Caractérisation géophysique de la structure interne d'une halde à stériles. Mémoire de Maîtrise, Ecole Polytechnique de Montréal, 161p.

**Atéba, B., Ntepe, N., Ekodek, G.E., Soba, D., and Fairhead, J.D., 1992.** The recent earthquakes of Cameroon and their possible relationship with main geological features of Central Africa. Journal African Earth Sciences, Vol. 4, No3, Pp.365-369.

**Baker, B.H., Mohr, P.A and Williams, L.A.J., 1972.** The geology of eastern rift system of Africa. Amer. Geol. Soc. Spec. pap., 136p.

**Bambang Setiawan, Jaksa, M, Griffith, M and Love, D., 2018.** Estimating bedrock depth in the case of regolith sites using ambient noise analysis. Engineering Geology 243, 145–159.

**Baoqing Tian., Yanan Du., Zhiwei You., and Ruohan Zhang., 2019.** Measuring the sediment thickness in urban areas using revised H/V spectral ratio method. Engineering Geology 260, 105223.

**Bessoles, B et Lasserre, M., 1977.** Le complexe de base du Cameroun. Bulletin de la Société géologique de France, 7: 1085-1092.

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

**Bodin, J. et Razack, M., 1999.** L'analyse d'images appliquée au traitement automatique de champs de fractures. Propriétés géométriques et lois d'échelles. Bulletin de la société géologique de France, tome 170, n°4, p. 579-593.

**Bonn, F., et Rochon, G., 1992.** Précis de télédétection, Volume1, Principes et méthodes. Presses de l'Université du Québec, 486 p.

**Bonnet, E., Bour, O., Odling, N.E., Davy, P., Main, I., Cowie, P and Berkowitz, B., 2001.** Scaling of fracture systems in geological media. *Rev. Geophys.*, vol. 39(3), pp. 347-383.

**Burger, R. H., Sheehan, F. A., and Jones, C.H., 2006.** Introduction to applied geophysics: Exploring the shallow subsurface. w. w. Norton & Company, Inc., 500 Fifth Avenue, New York. pp 265-347.

**Chapellier, D., 1981.** De l'importance des cartes de résistivités. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 74, pp.651-660.

**Chapellier, D., 2001.** Prospection électrique de surface. Cours Online de Géophysique. Université de Lausanne, 96p.

**CIEH, 1981.** Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest. *Géohydraulique*, 38, 100 p.

**Clifford, T.N. and Gass, I.G., 1970.** African magnetism and Tectonics. Oliver and Byods, Edinburgh. pp. 1-26.

**Communes et villes unies du Cameroun (CVUC). 2014.**

**Cornachia, M. et Dars, R., 1983.** Un trait majeur du continent africain. Les Linéaments centrafricains du Cameroun au Golfe d'Aden. *Bull. Soc. Géol. France*, Vol 7, tome 27(1), 102-109.

**De Dreuzy, J-R., 2000.** Analyse des propriétés hydrauliques des réseaux de fractures. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes, 217 p.

**Din Ndong, 2001.** Mangroves du Cameroun, Statut écologique et Perspectives de gestion durable. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences ; Option Ecologie Végétale. Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, 252p.

**Drury, S.A., 1986.** Image Interpretation in Geology. Allen & Unwin, London, 243 pp.

**Dumort, J.C., 1968.** Carte géologique de reconnaissance de la République Fédérale du Cameroun au 1/500000. Direction des mines et de la géologie, feuille NB 32 SE 028.

**Enyegue, A.N., Eyike, A., Ngouokouo, T.A. and Bounoung, C.P., 2020.** Assessment and characterization of groundwater quality under domestic distribution using hydrochemical and multivariate statistical methods in Bafia, Cameroon. *Groundwater for Sustainable Development*. DOI:10.1016/j.gsd.2020.100347

**Foster, R. P., Lealy, K., Hunns, S. R., Pelham, D. A., Lawrence, S. R., and Harrison, A. E., 2002.** Pan-African terranes: realizing the metal potential J. Afr. Earth Sci.

**Foucault, A. et Raoult, J.F., 2014.** Dictionnaire de Géologie – 7<sup>ème</sup> édition. Dunod. Paris. 416p.

**Gazel, J., Hourq, V. et Nikcles, M., 1956.** Carte géologique du Cameroun au 1/1 000 000 avec notice explicative. Bulletin de la Direction des Mines et de la Géologie, Yaoundé, Cameroun : 62p.

**Haugou, P. et Koretzky, N., 1943.** Carte géologique du Cameroun N°3 à 1/1500.000 avec notice explicative. Serv. Mines Cameroun, Yaoundé, 60: 926-1028.

**Hedberg, J.D., 1969.** A geological analysis of Cameroun trend. University Microfilms International, USA and England. Princeton University, Ph.D, geology, 188p.

**Heigold, P.C., Gilkeson, R.H., Cartwright, K. and Reed, P.C., 1979.** Aquifer transmissivity from surfacial electrical methods. Gr Water 17(4):Pp338–345.

**Henriet, J.P., 1976.** Direct application of Dar Zarrouk parameters in groundwater survey. Geophys Prospect 24:344–353.

**Hicham, S.I, Mohammed, R. et Mostafa, O., 2016.** Utilisation de la Télédétection dans la Cartographie Automatique des Linéaments Géologiques du Granitoïde de Tichka (Haut Atlas Occidental). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X / 1450-202X Vol. 142 No 4 October, 2016, pp.321-333

**Jae-won Chung. and David Rogers, J., 2012.** Estimating the position and variability of buried bedrock surfaces in the St. Louis metro area Engineering Geology 126, 37–45.

**Kenfack, P.L., Njike Ngaha, P.R. and Ekodeck, G.E., 2012.** Palynological Studies and age assessment of Sediments from Nkappa formation in the northern border of the Douala sedimentary sub-basin (South-West Cameroon) and its Palaeoenvironmental Interpretations. Abstract Int. Pal.Cong.Tokyo.

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

**Kopa Njueya, A., Likeng, J.D.H. et Nono, A., 2012.** Hydrodynamique et qualité des eaux souterraines dans le bassin sédimentaire de Douala (Cameroun) : cas des aquifères sur formations Quaternaires et Tertiaires. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4): Pp 1874-1894.

**Korableff, 1937.** Carte géologique, Cameroun Oubangui Chari à 1/400 000. *Chronique des Mines Paris*, 60: 926-1028.

**Kornprobst, J., Lasserre, M., Rollet, M. et Soba, D., 1976.** Existence au Cameroun d'un magmatisme alcalin Panafricain ou plus ancien : la syénite néphélinique de Nkonglong . Comparaison avec les roches alcalines connues dans la même région. *Bulletin de la société Géologique de France XVIII*: 1295-1305.

**Kouamé, F., Gioan, P., Biemi, J. et Affian, K., 1999.** Méthodes de cartographie des discontinuités–images extraites d'images satellitales: exemple de la région semi-montagneuse à l'ouest de la côte d'Ivoire. *Revue de Télédétection*, 1 (2): 139–156.

**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 de Doctorat 3e cycle, Université de Yaoundé I. 110P.

**Larry, R., 2006.** Tendances de la population mondiale.

[http://www.albacharia.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/30984/0732Tendances de la population mondiale.pdf?sequence=1](http://www.albacharia.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/30984/0732Tendances%20de%20la%20population%20mondiale.pdf?sequence=1)

**Lasm, T. et Razack, M., 2001.** Lois d'échelle dans la fracturation de roches dures cristallines et dans le réseau hydrographique. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences, Series IIA - Earth and Planetary Science*, vol. 333, n°4, pp. 225-232.

**Lasserre, M. et Soba, D., 1976.** Age libérien des granitoïdes et des gneiss à pyroxène du Cameroun méridional. *Bulletin du B.R.G.M.* 2: 17-32

**Lasserre, M. et Soba, D., 1979.** Migmatization d'âge Panafricain au sein des formations Camerounaises appartenant à la zone mobile d'Afrique Centrale. *C. R. Sommaire Société Géologique de France* 2: 64-68.

**Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1994.** *Remote Sensing and Image Interpretation*, Chapter 7, John Wiley and Sons, Inc, New York, N.Y., 750 p.

**Lithothèque Cameroun, 2010.** Le bassin pétrolifère camerounais et la tectonique des plaques. 119p.

**Letouzey, R., 1968.** Etude phytogéographique du Cameroun. Ed. P. Lechevalier, Paris. 511p.

**Loke, M.H., 1994.** The Inversion of Two Dimensional Resistivity Data. Ph.D. Thesis, University of Birmingham, 122p.

**Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996.** Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections by a Quasi-Newton Method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x>

**Manistre, B.E., 1973.** Etudes photo géologiques sur certaines régions de la République Unie du Cameroun. Kenting Explorations Services, ACDI Toronto, Canada, 185p.

**Marescot, L., 2008.** Imagerie électrique pour géologues acquisition : traitement, interprétation version 2008a. 67p.

**Marion, A., 1987.** Introduction aux techniques de traitement d'images. Eyrolles, Paris, 278 pp

**Martin, G., 1979.** Alimentation de la ville de Douala à partir des eaux souterraines. Etudes et Travaux BRGM, 143p.

**Marzoli, A., Piccirillo, E. M., Renne, P.R., Bellieni, G., Iacunin, M., Nyobe, J.P. and Tongwa, A.T., 2000.** The Cameroon volcanic line revisited: Petrogenesis of continental basaltic magmas from lithospheric and asthenospheric mantle sources, *Journal of Petrology*, volume 4, N°1. Pp. 87-109.

**Maurizot, P., Abessolo, A., Feybesse, J. L., Johan, V. et Lecomte, P., 1986.** Etude et prospection minière du sud-ouest Cameroun. Synthèse des travaux de 1978 à 1985. BRGM. Report 85 CMR 066, 24p.

**Mbog, M. B., Kenfack, J. V., Ngon, G. F. N., Tassongwa, B., Bayiga, E. C. and Etame, J., 2019.** Morpho-Structural Mapping Constraints from Geophysical and Test Pit Investigations: Case Study of the Bomkoul Locality in Douala Sedimentary Basin, Cameroon, Central Africa. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7, 136-153.  
<https://doi.org/10.4236/gep.2019.710011>

**Meying, A., 2011.** Investigations crustales profondes et superficielles par méthode audio magnétotellurique (AMT) dans la région Ayos-Nguelmendouka (Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD de l'Université de Yaoundé I, pp.139.

**Mfayakouo, B.C., Ngaha, P.R.N. and Bitom, 2021.** Age and paleo-environmental evolution of the Douala Basin (Cameroon) during the Cenozoic: insights from palynology and sequence analysis. *Heliyon* Volume 7, Issue 12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08514>.

**Ndikum, N., Tabod, C.T., Essimbi, B.Z., Koumetio, F. and Noutchogwe Tatchum, C., 2014.** Gravity Model for an Anomalous Body Located in the NW Portion of the Douala Sedimentary Sub-Basin, Cameroon (Central Africa). *Open Journal of Geology*, 2014, 4, 524-541.

**Ndjigui, P.D., Bilong, P., Eno Belinga, S.M., Vicat, J.P. et Gérard, M., 1999.** Etude morphologique, minéralogique et géochimique de deux profils dans la plaine côtière de Douala (Cameroun). In *géosciences au Cameroun*; Vicat et Bilong ed. GEOCAM, 2/1999, press. Univ. Yaoundé I. pp. 189-201.

**Ndougsa Mbarga, T., 1995.** Etude des données Audio magnétotelluriques de la région de Bonpoupa. (Bassin de Douala). Mémoire DEA, science géophysique. Université de Yaoundé1, 60 p.

**Ndougsa Mbarga, T., 2004.** Etude géophysique, par méthode gravimétrique des structures profondes et superficielles de la région de Mamfé. Thèse de Doct/Ph.D Université de Yaoundé I. 265p.

**Ndougsa Mbarga, T., Gouet, D.H., Njandjock Nouck, P., Meying, A. and Manguelle-Dicoum, E., 2013.** Preliminary evaluation of limestone and barren stratum layers thicknesses using audiomagnetotelluric soundings in the Bi--Mintom area, southern East of Cameroon. *Disaster Advances*, Vol. 6 (2), 66-92

**Nedelec, A. et Nsifa, E., 1987.** Le complexe du Ntem (Sud Cameroun); une série tonalito-trondhjémitique archéenne typique. In: Matheis, G., Schandelmeier, H. (Eds.), *Current research in African Earth Sciences* Balkema. 14th colloquium of African Geology, Rotterdam, Netherlands: 3-6.

**Nedelec, A., Minyem, D. and Barbey, P., 1993.** High-P-high-T anatexis of Archaen tonalitic grey gneisses: the Eseka Migmatites, Cameroon. *Precambrian Research*, 62: 191- 205.

**Ngako, V., Affaton, P., Nnange, J.M. and Njanko, T., 2003.** Pan-African tectonic evolution in the central and the southern Cameroon: transpression and transtension during sinistral shear movements. *J. Afr. Earth Sci.*, 36: 207-214.

**Ngueutchoua, G., 1996.** Etude des faciès et environnements sédimentaires du Quaternaire supérieur du plateau continental camerounais. Thèse de Doctorat Univ. Perpignan 4, Perpignan, 288p.

- Nguéné, F.R., Tamfu, S.F., Loule, J.P. and Ngassa, C., 1992.** Palaeoenvironments of the Douala and Kribi/Campo sub-basins, in Cameroon, West Africa. In: Curnelle R. (Ed), Géologie Africaine, premier Colloque de Stratigraphie et de Paleogéographie des Bassins Sédimentaires Ouest Africains, deuxième Colloque Africain de Micropaléontologie, Libreville, Gabon, Recueil des Communications: Boussens, Elf Aquitaine, Pp.129-139.
- Niwas, S. and Singhal, D.C., 1981.** Estimation of aquifer transmissivity from Dar Zarrouk parameters in porous media. *Hydrology* 50:393–399.
- Njandjock, P., Miyem, D., Binyam-bi-Mpeck, A., Yene, A. and Ngos, S., 2013.** Electrical and Geological Investigations to Conduct Petrophysical Study in Douala-Cameroon Sedimentary Basin. *Open Journal of Geology*, 2013, 3, 273-277. <https://doi:10.4236/ojg.2013.34031>
- Njiké Ngaha, P.R., 1984.** Contribution à l'étude géologique, stratigraphique et structurale de la bordure des bassins atlantiques du Cameroun. Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Yaoundé , 259 p.
- Njiké Ngaha, P.R., 2004.** Palynostratigraphie et Reconstitution des Paléoenvironnements du Crétacé de l'Est du bassin Sédimentaire de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Yaoundé I, 258 p.
- Nkoumbou, C., Barbey, P., Yonta-Ngouné, C., Paquette, J.L. and Villiéras, F., 2014.** Precollisional geodynamic context of the southern margin of the Panafrican fold belt in Cameroon. *J. Afr. Earth Sci.* Vol. 99, pp. 245–260
- Nono, A., Likeng, J.D.H., Wabo, H., Tabue, Y.G. et Biaya, S., 2009.** Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité et la dynamique des eaux souterraines dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(2): 218-239.
- Ntamack, N., Bourquin, S., Makong, J.C., Baudin, F., Mpesse, J.E., Ngouem, C., Komguem, P.B. and Abolo, G.M., 2010.** Sedimentology and Sequence Stratigraphy from Outcrops of the Kribi-Campo Sud-Bassin: Lower Mundeck Formation (Lower Cretaceous, Southern Cameroon). *Journal of Earth Science*, Vol. 58, No. 1, PP. 1-18.
- Nzenti, J. P., 1987.** Pétrogenèse des migmatites de Yaoundé (Cameroun). Eléments pour un modèle géo - dynamique de la chaîne Panafricaine Nord-Equatoriale. Thèse de Doctorat (Université de Nancy I). 147 pages.

**Nzenti, J.P., 1998.** Neoproterozoic alkaline meta-igneous rocks from the Pan-African North Equatorial Fold Belt (Yaoundé, Cameroon): biotites and magnetite rich pyroxenites, *J. Afr. Earth Sci.*, Vol. 26, pp. 37-47.

**Obiora, D.N., Ibuot, J.C. and George, N.J., 2015.** Evaluation of aquifer potential, geoelectric and hydraulic parameters in Ezza North, southeastern Nigeria, using geoelectric sounding. *Int J Environ Sci Technol.* DOI 10.1007/s13762-015-0886-y

**Oladapo, M.I. and Akintorinwa, O.J., 2007.** Hydrogeophysical study of Ogbese, Southwestern, Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Science*, 13(1): 55-61.

**Olayinka, A.I. and Olorunfemi, M.O., 1992.** Determination of geoelectrical characteristics in Okene area and implications for borehole siting. *J. Mining Geol.* 2(28): 403-412.

**Olayinka, A.I., Akpan, E.J. and Magbagbeola, O.A., 1997.** Geoelectric sounding for estimating aquifer potential in the crystalline basement area around Shaki, southwestern Nigeria. *Water Resources- Journal of NAH.* 8 (1 & 2): 71-81.

**Olayinka, A.I., Obere, F.O. and David, L.M., 2000.** Estimation of longitudinal resistivity from Schlumberger sounding curves. *J Min Geol.* 36(2): 225–242.

**Olivry, J.C., 1986.** Alimentation en eau de la Ville de Douala, doc. ORSTOM, Paris, 20p.

**O'Leary, D.W., Frieddman, J.D. and Pohn, H.A., 1976.** Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old temis. *Geological Society of Arnenca Bulletin*, vol. 87, pp.1463-1469.

**Paho, N.J., Kenfack, J.V., Wotchoko, P., Njoh, O.A., Makem, E.A., Demanou, M.R. and Tabod, C.T., 2021.** Petrographic, morpho-structural and geophysical study of the quartzite deposit in the central part of Pouma, Littoral-Cameroon. *Results in Geophysical Sciences.* <https://doi.org/10.1016/j.ringps.2021.100019>.

**Poudjom, D.Y.H., Nnange, J.M., Diament, M., Ebinger, C. J. and Fairhead, J.D., 1995.** Effective Elastic Thickness and Crustal Thickness Variation in West Central Africa Inferred from Gravity Data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, No. B11, PP. 22047-22070.

**Regnault, J.M., 1986.** Synthèse géologique du Cameroun. publ. dir. mines et géo. ; Cameroun, 119p.

**Rocci, G., 1965.** Essai d'interprétation de mesures géochronologiques. La structure de l'Ouest africain. *Colloque International de Géochronologie*, Nancy, Sciences de la Terre, X, pp. 461 -478.

**Roy, A. and Apparao, A., 1971.** Depth of Investigation in Direct Current Methods. *Geophysics*, 36, pp. 943-959.

- Shang, C.K., Satir, M., Nsifa, E.N., Liegeois, J.P., Siebel, W. and Taubald, H., 2007.** Archean high-K granitoids produced by remelting of earlier Tonalite Trondhjemite Graondiorite (TTG) in the Sangmélina region of the Ntem complex of the Congo craton, southern Cameroon. *International Journal of Earth Science (Geol Rundsch)* 96: 817-841.
- Simon Petroleum Technology (SPT). 1995.** Petroleum Geology and Hydrocarbon Potential of the Douala Basin, Cameroon Unpubl. Non-exclusive report.
- SNH/UD., 2005.** Stratigraphie séquentielle et tectonique des dépôts mésozoïques syn-rifts du bassin de Kribi/Campo (134 p.). Rapport non publié.
- Soba, D., 1989.** La série du Lom: étude géologique et géochronologique d'un bassin volcano-sédimentaire de la chaîne panafricaine à l'est du Cameroun. Thèse de Doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris 6, 198p.
- Suchel, J.B., 1987.** Les climats du Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Bordeaux III, 4 volumes. 188p.
- Teikeu Assatse, W., Njandjock Nouck, P., Tabod, C.T, Akame J.M., Nshagali Biringanine., G 2016.** Hydrogeological activity of lineaments in Yaounde Cameroon region using remote sensing and GIS techniques. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 19, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.006>.
- Teikeu Assatse, W., 2016.** Investigation statistique et par courant continu des aquifères de la ville de Yaoundé, Cameroun. Thèse de Doct/PhD Université de Yaoundé I. 231p.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., 1990.** Applied Geophysics. *2th edition Cambridge University press, Cambridge, G B, pp.770*.
- Tepoule, N., Kenfack, J.V., Ndikum Ndoh, E., Koumetio, F. and Tabod, C., 2021.** Delineation of groundwater potential zones in Logbadjeck, Cameroon: an integrated geophysical and geospatial study approach. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03259-5>
- Toteu, S.F., Penaye, J. and Poudjom Djomani, Y., 2004.** Geodynamic Evolution of the Pan-African Belt in Central Africa with Special Reference to Cameroon. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 41, pp. 73-85. <https://doi.org/10.1139/e03-079>
- Toteu, S.F., 2008.** Carte géologique et des ressources minières du Cameroun, atlas forestier N°3. pp. 71- 87.
- Vail, J.R., 1989.** Ring complexes and related rocks in Africa. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 8 N°1, pp. 19-40.

**Vicat, J. P. & Bilong, P., 1998.** Esquisse géologique du Cameroun. Collection GEOCAM, Presses Universitaires Yaoundé, pp. 3-11.

**Yandjimain, J., 2013.** Identification des cibles minières par la méthode géoélectrique dans la zone de Nkambé ( Nord-Ouest Cameroun ). Mémoire de master II, UY I. 64p.

**Yatabe, S. and Howarth, P.H., 1984.** Lineament enhancement and interpretation in northern Ontario from airborne, multispectral scanner data. Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing, 3d thematic conference, Remote Sensing for exploration Geology, pp. 1-8

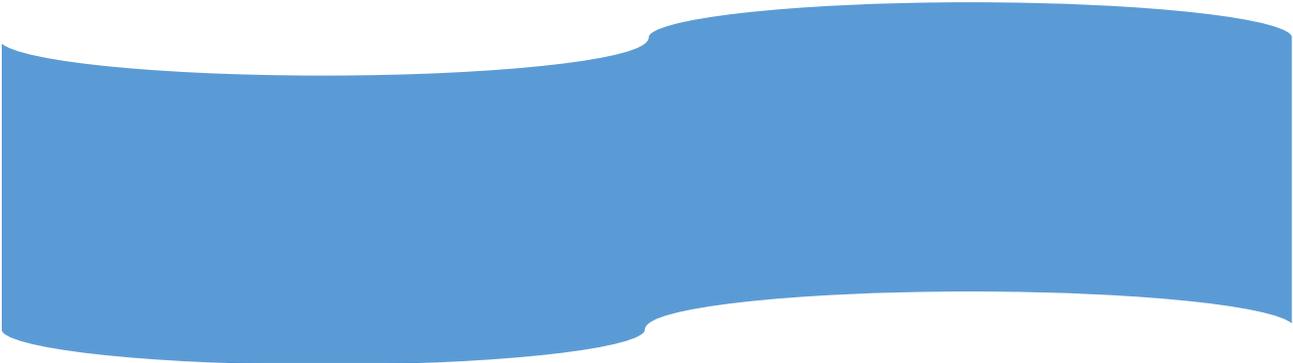
**Yesou, H., Poin, J.C., Besnus, Y. et Saint Jean, R., 1993.** Amélioration des données SPOT pour la cartographie structurale en milieu tropical. In: Exemple de la région des chapeaux de fer de Pagala (Togo). Illeme jour. Scient. Res. Télédéct. UREF, Toulouse, 13–16 Novembre 1990, Outils microinformatiques et télédétection de l'évolution des milieux, Presse Univ. Québec, Canada (Ed. PUQ/ AUPELF URE), pp. 143–164.

**Youan Ta, M., Lasm, T., Jourda, J.P., Kouamé, K.F. et Razack, M., 2008.** Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (nord-est de la Côte d'Ivoire), Télédétection, 8(2): 119–135.

**Youan Ta, M., Kouame, K.F., Koudou, A., Adja, M.G., Baka, D., Lasm, T., Lasme, D.O., Jourda, J.P. et Biemi, J., 2014.** Apport de la Cartographie lithostructurale par imagerie satellitaire Landsat 7 à la connaissance des aquifères du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies. Vol. 7 n°. 3 Aug. 2014, 892-910 p.

**Zhdanov, M.S. and Keller, G.V., 1994.** The geoelectrical methods in geophysical exploration, Amsterdam: Elsevier, 873p.

**ANNEXES**



## Annexe1 : Gamme de résistivité et valeur typique pour différents matériaux terrestres

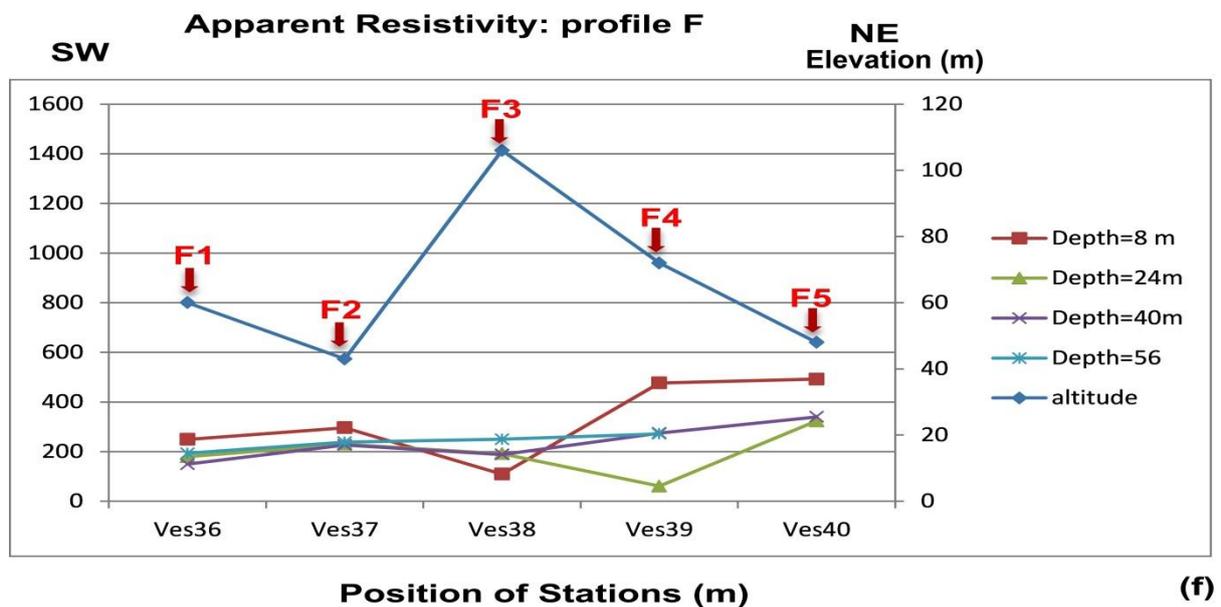
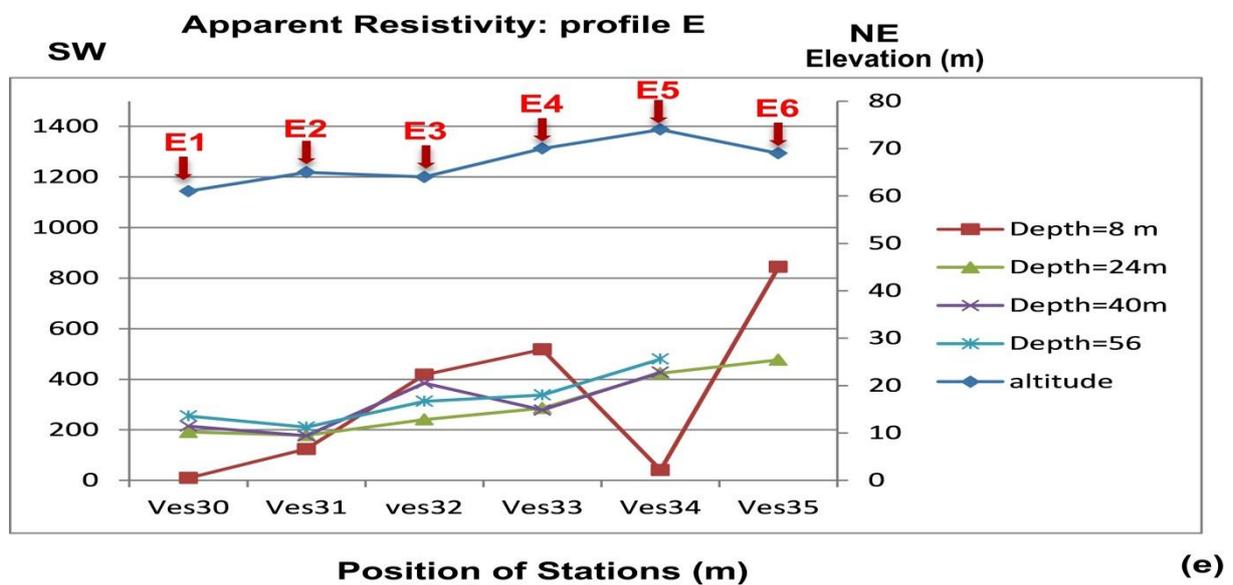
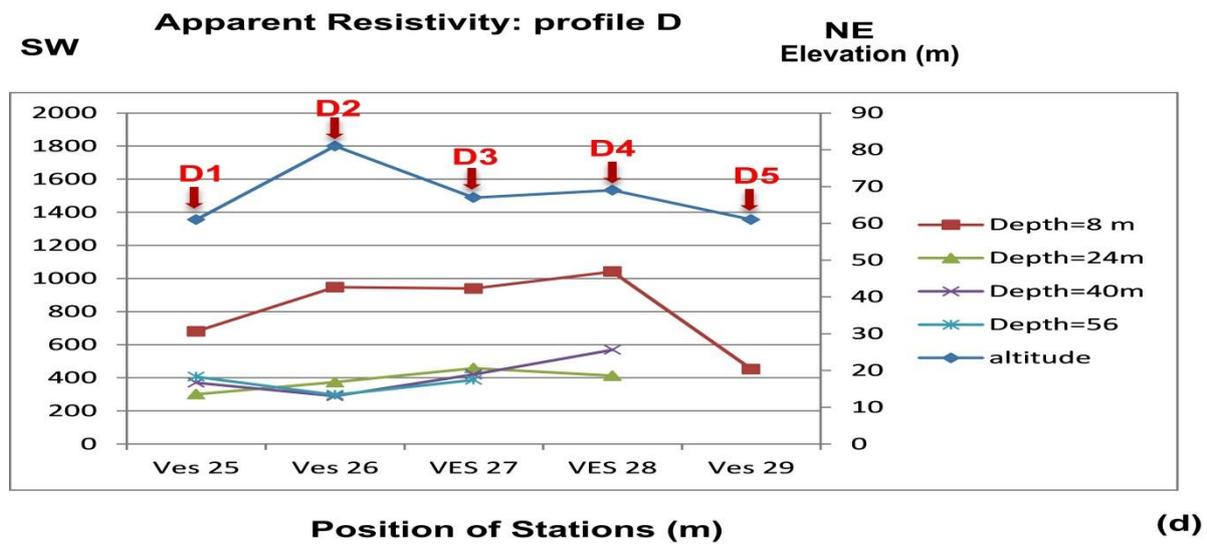
Tableau 1. Porosité, perméabilité et résistivité des différentes roches (Chapellier, 2001)

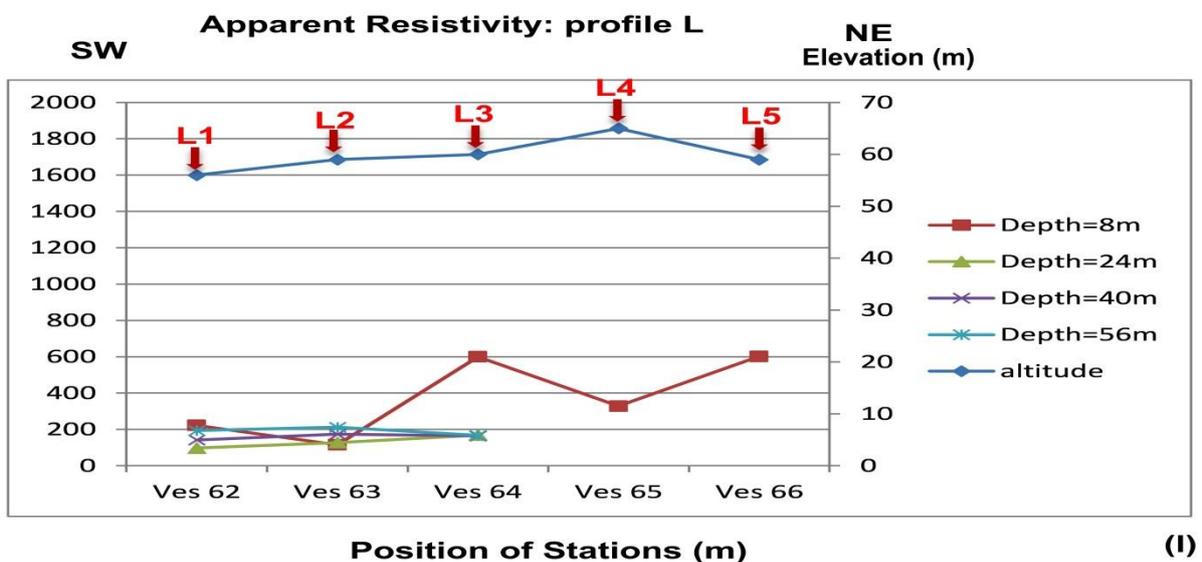
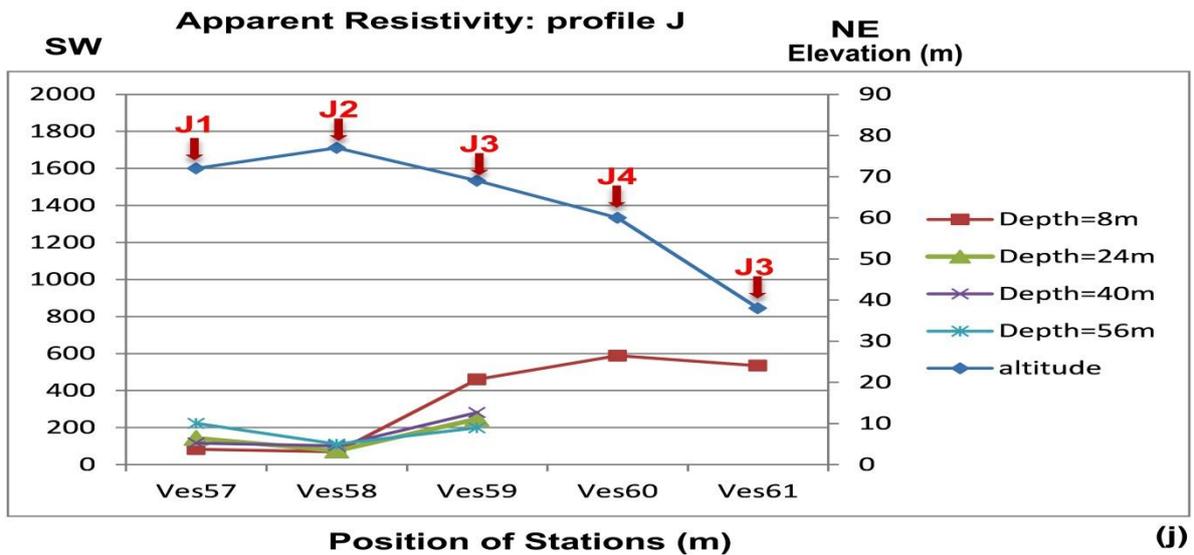
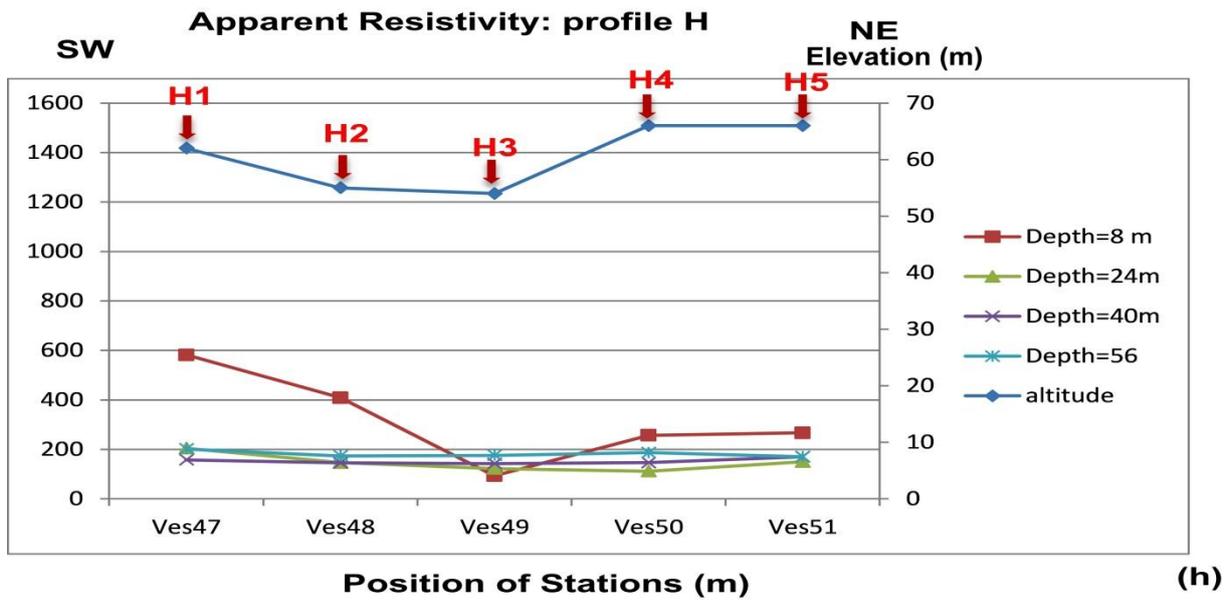
Roches	Porosité totale (%)	Perméabilité (cm/s)	Résistivité ( $\Omega.m$ )
Argilite	35	$10^{-8} - 10^{-9}$	70 à 200
Craie	35	$10^{-5}$	30 à 300
Tuf volcanique	32	$10^{-5}$	20 à 300
Marnes	27	$10^{-7} - 10^{-9}$	20 à 100
Grès	3 à 35	$10^{-3} - 10^{-9}$	30 à 800
Dolomite	1 à 12	$10^{-5} - 10^{-7}$	200 à 10000
Calcaires	3	$10^{-10} - 10^{-12}$	200 à 10000
Micaschistes	2,5	$10^{-4} - 10^{-9}$	300 à 800
Gneiss	1,5	$10^{-8}$	1000 à 20000
Quartzite	<1	$10^{-10}$	1000 à 10000
Granite	1	$10^{-9} - 10^{-10}$	1000 à 15000
Gabbro	1 à 3	$10^{-4} - 10^{-9}$	6000 à 10000
Basalte	1,5	$10^{-6} - 10^{-8}$	800 à 15000

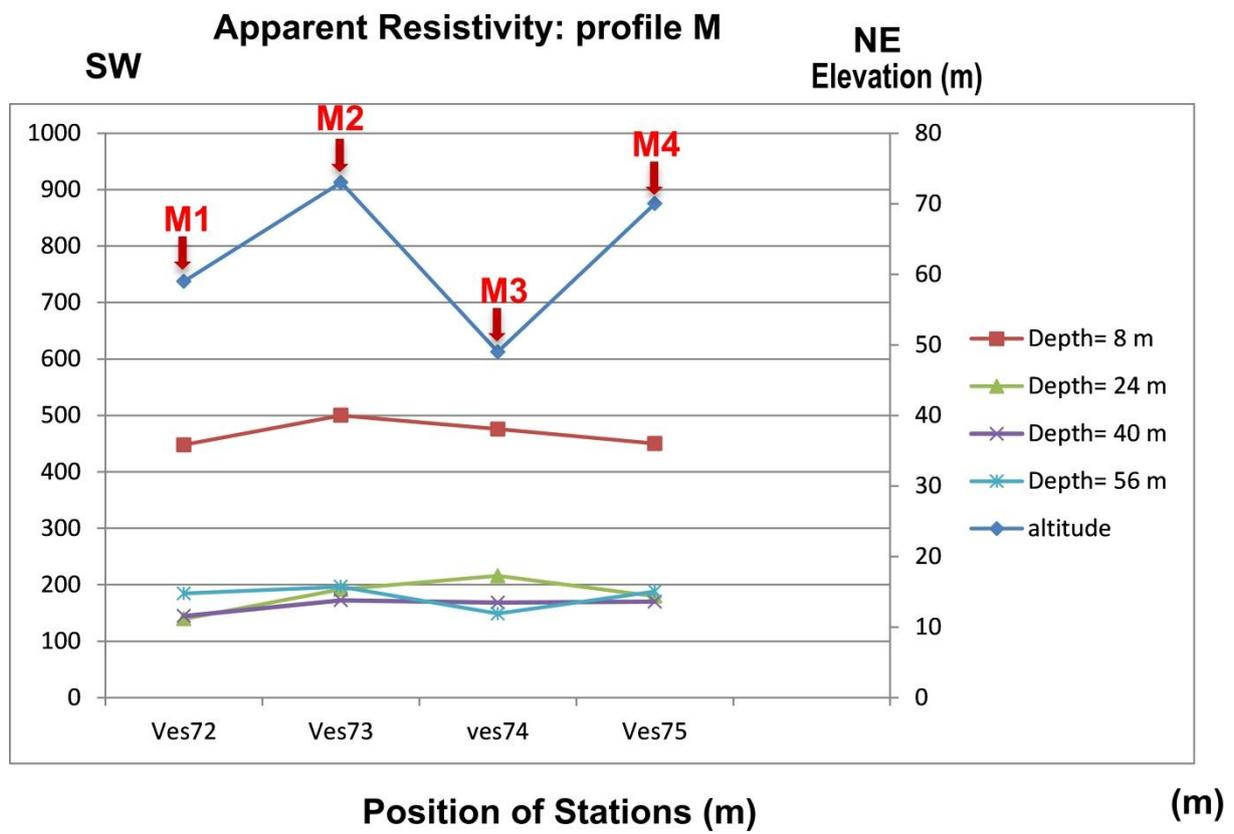
Tableau 2. Résistivités des roches (Dubois *et al*, 2011)

Type de roche	Gamme de résistivité ( $\Omega.m$ )
Eau de nappes alluviales	10 à 30
Eau de source	5 à 100
Sables et graviers secs	1000 à 10 000
Sables et graviers à eau douce	10 à 500
Argiles	1 à 100
Argilites	10 à 800
Schistes sains	300 à 3000
Schistes altérés	100 à 300
Gneiss sains	1000 à 10 000
Gneiss altérés	100 à 1 000

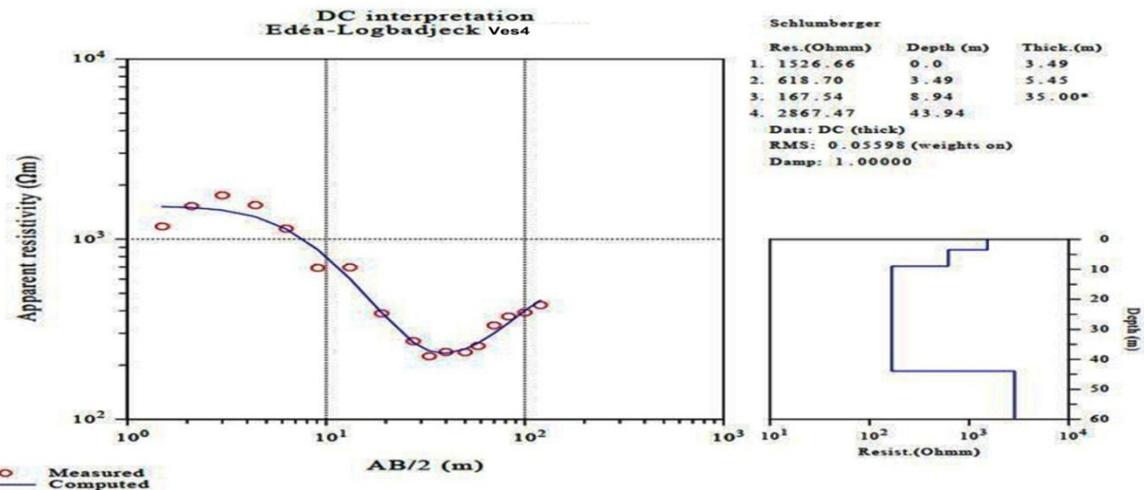
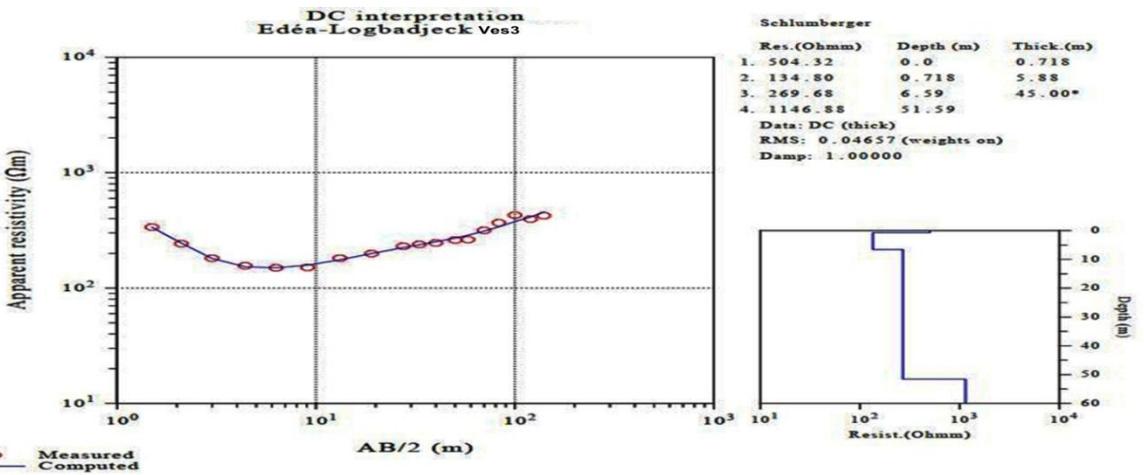
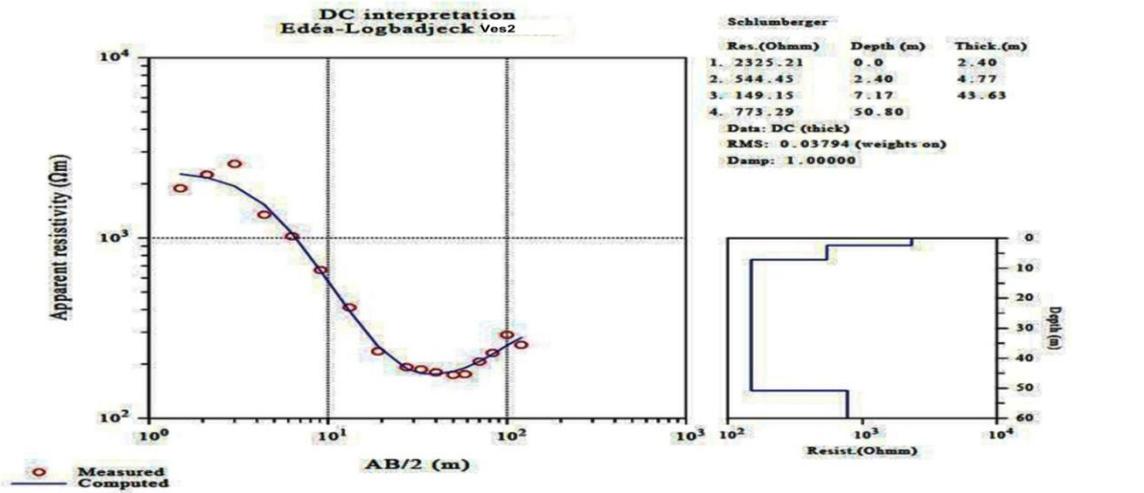
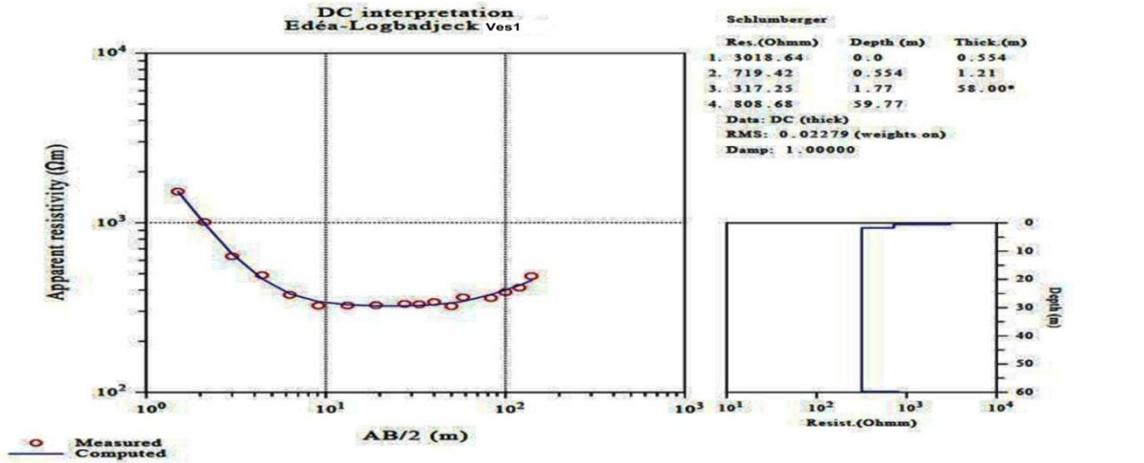
## Annexe 2 : Profils de résistivité

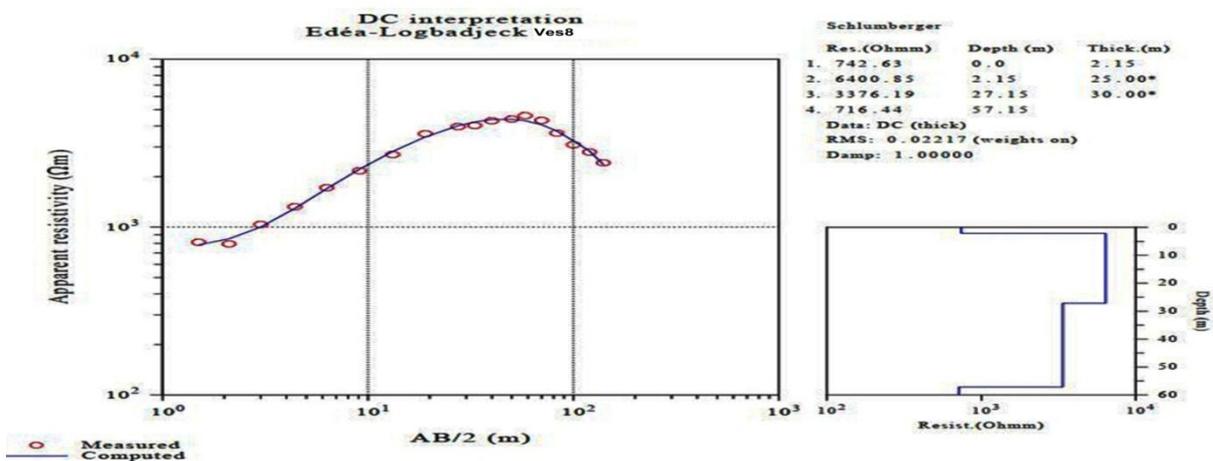
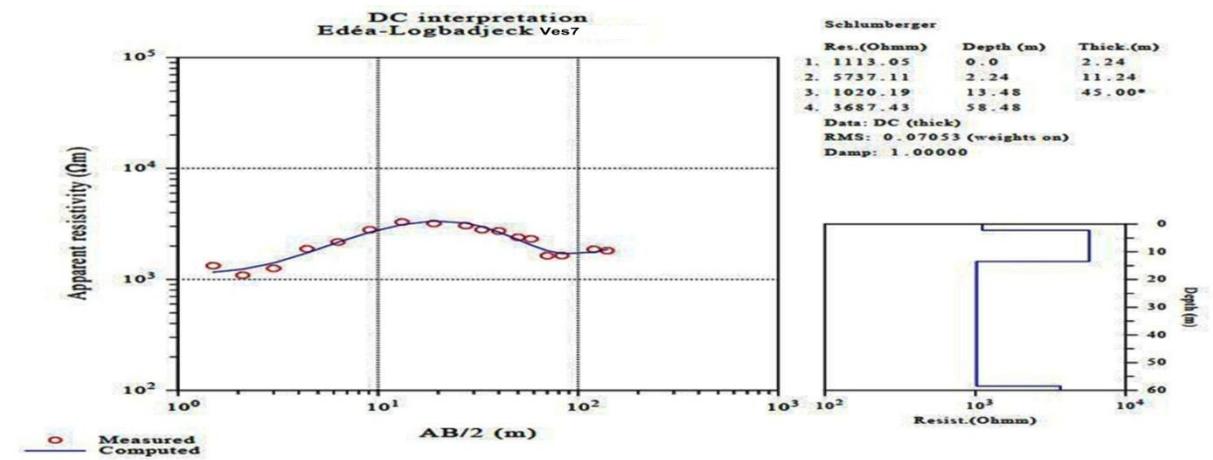
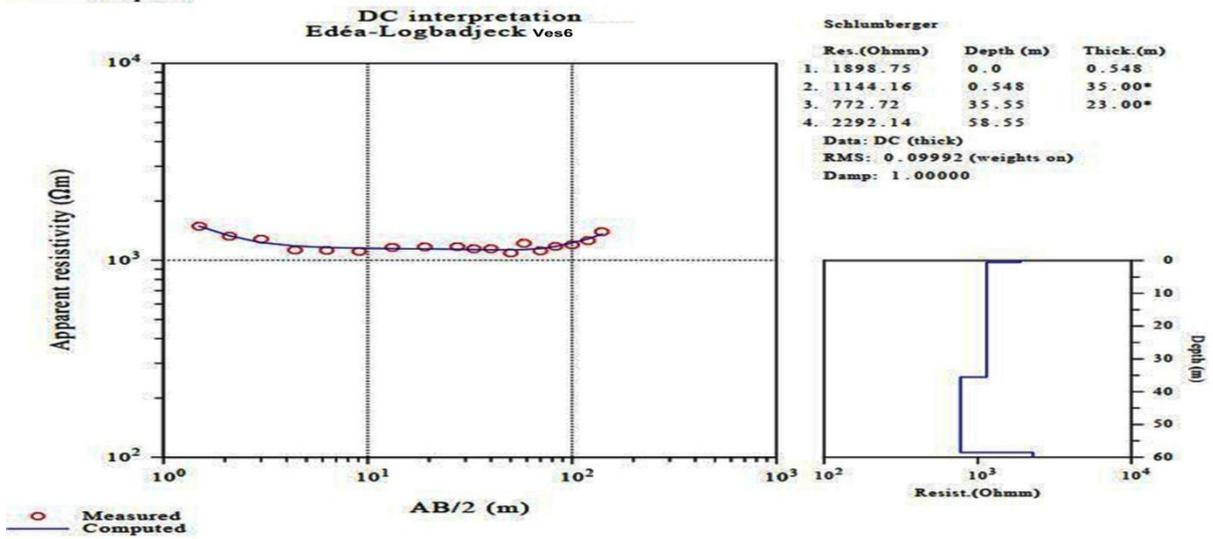
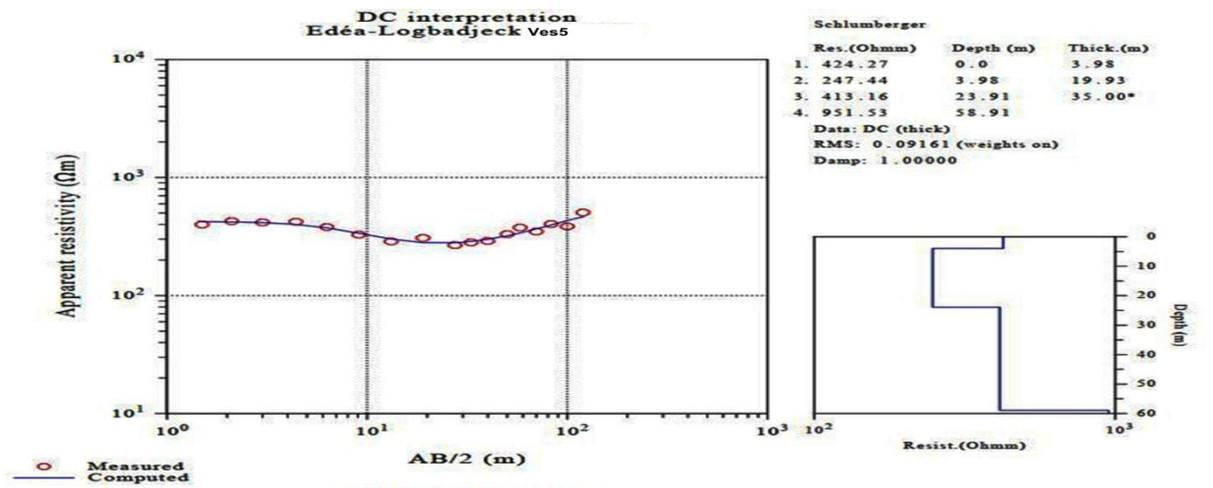


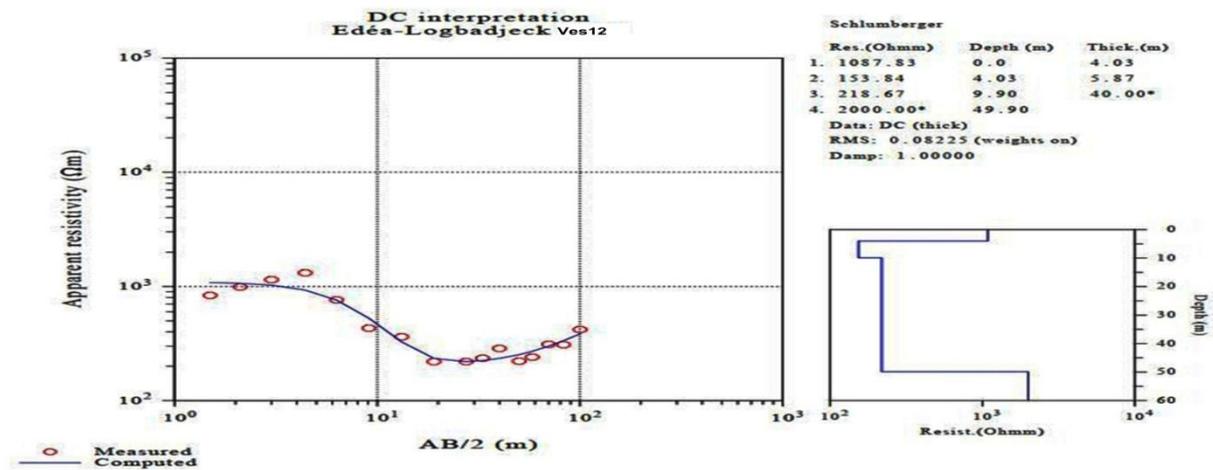
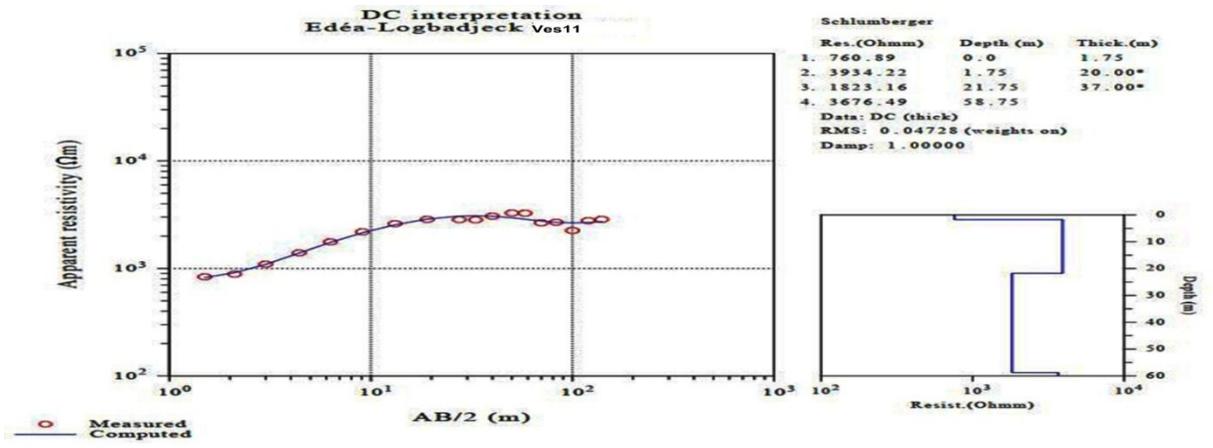
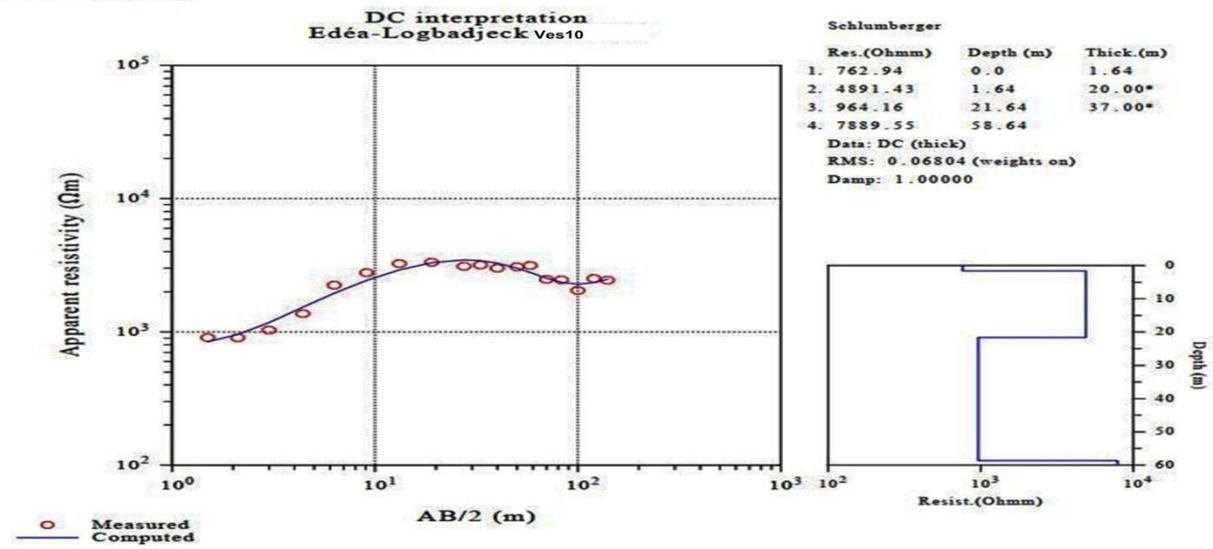
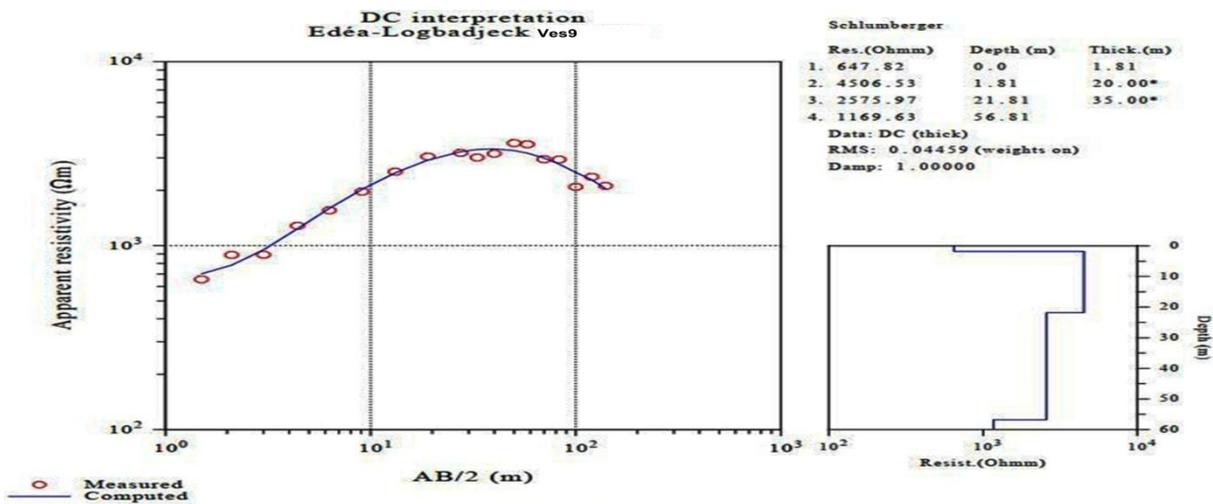


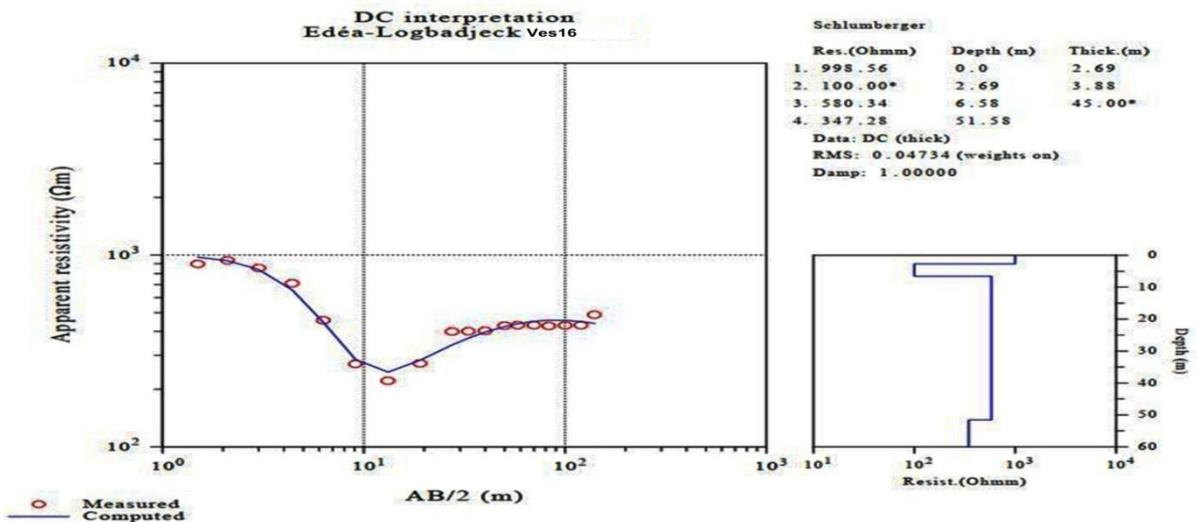
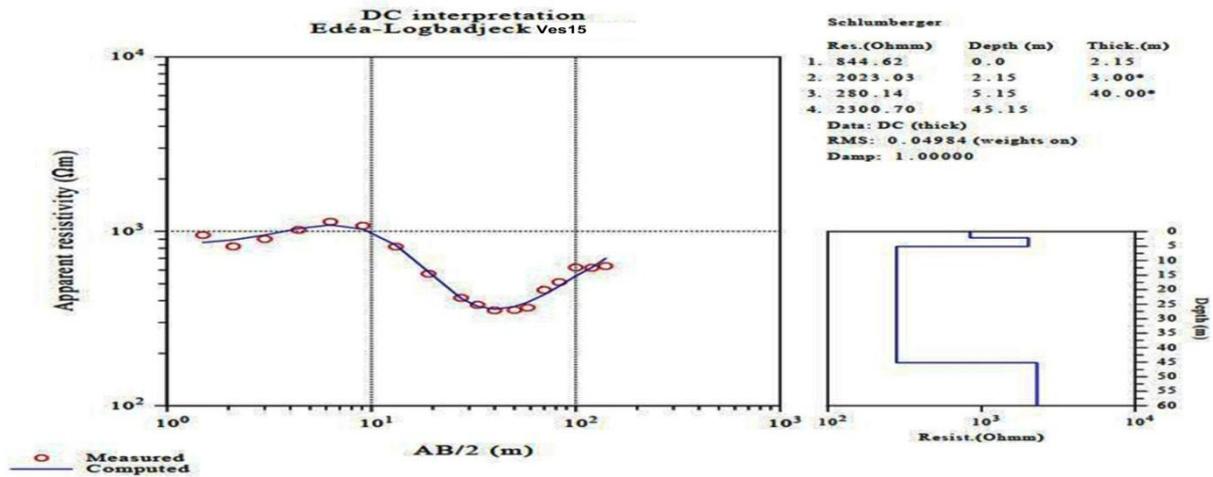
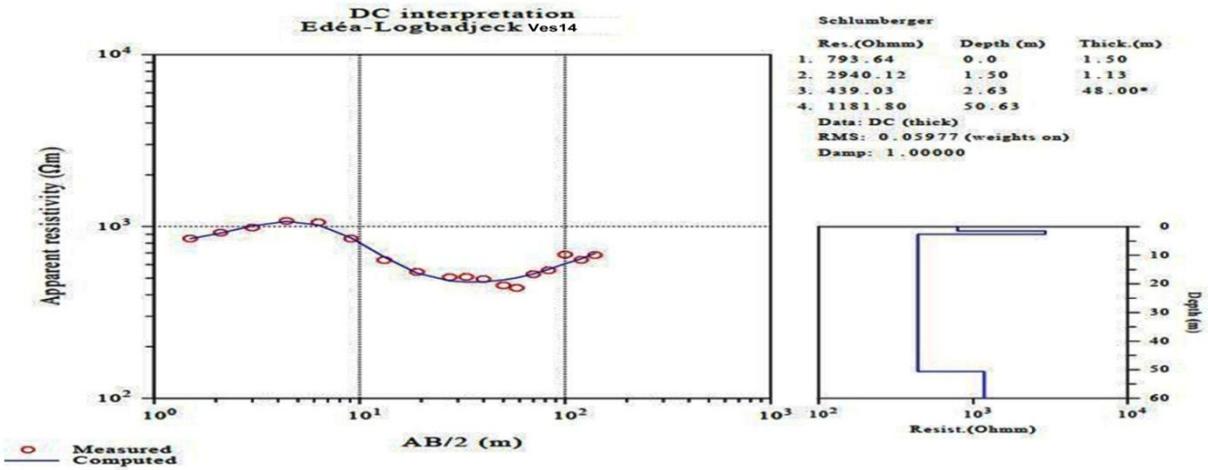
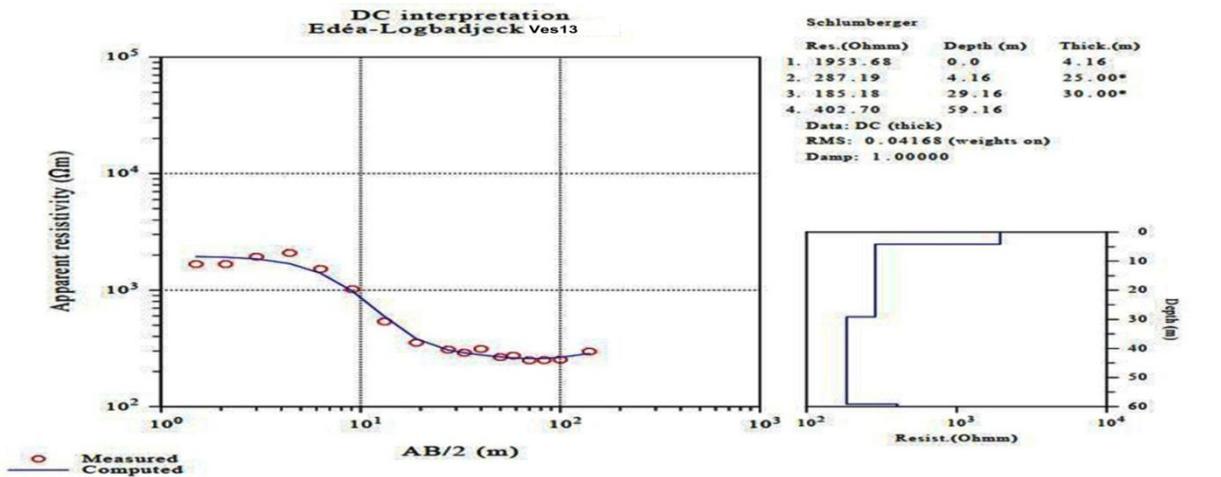


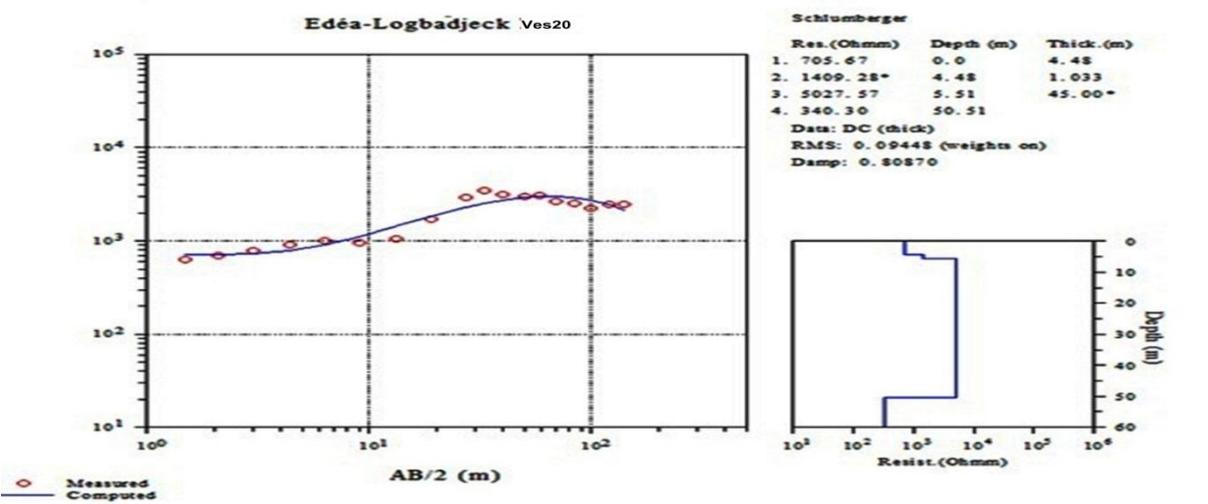
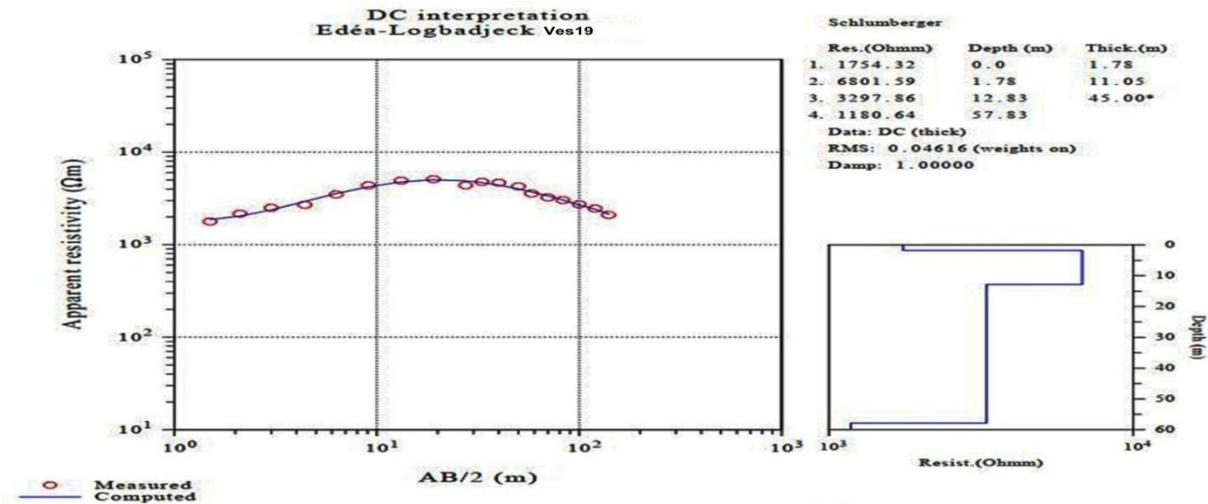
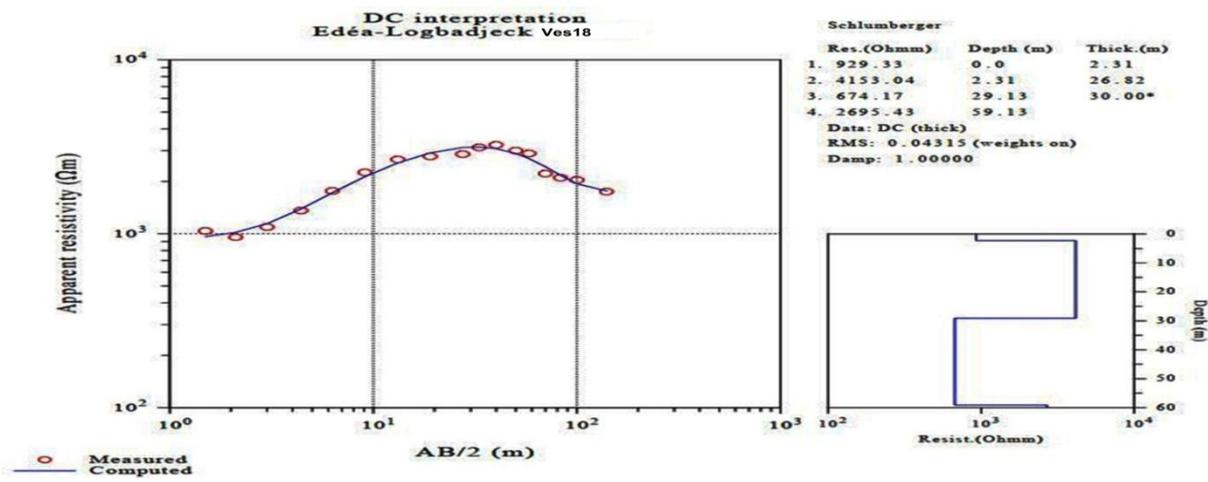
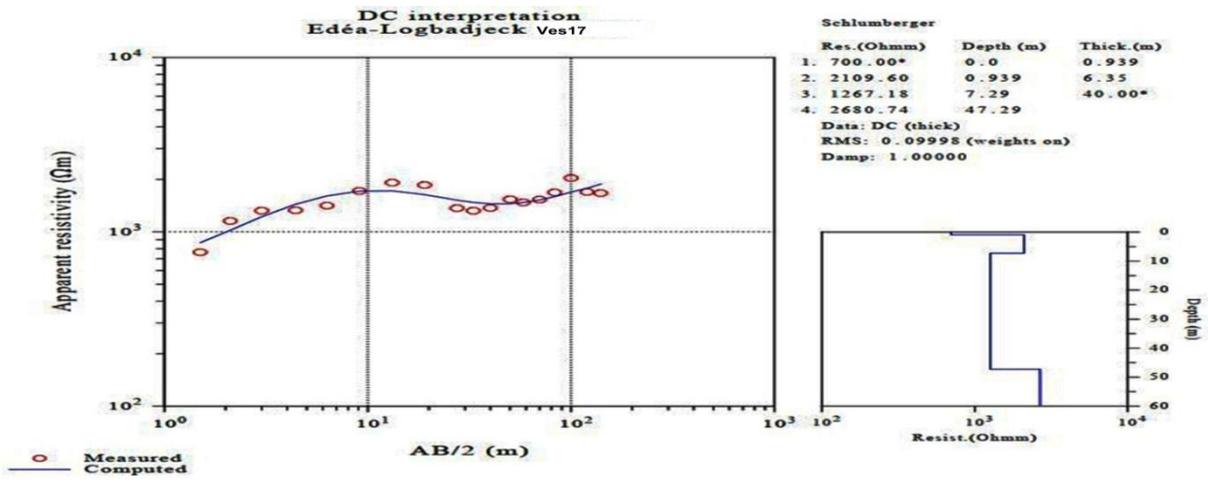
**Annexe 3 : courbes de sondage**



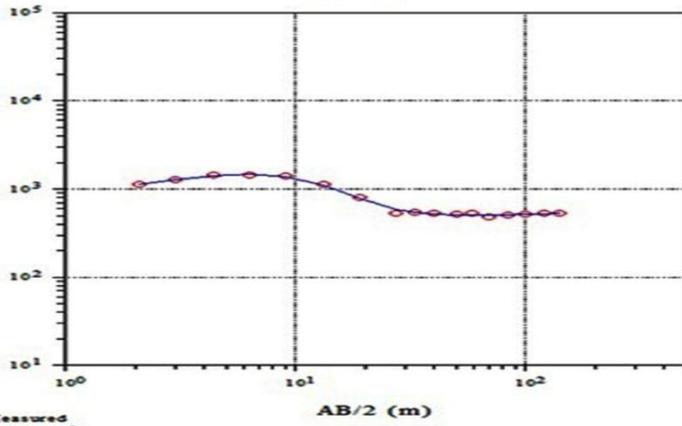








**Edéa-Logbadjeck Ves21**

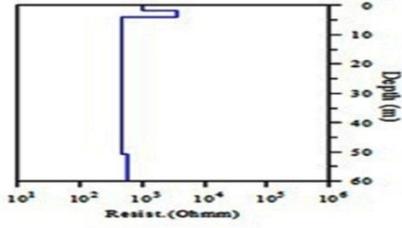


Measured  
Computed

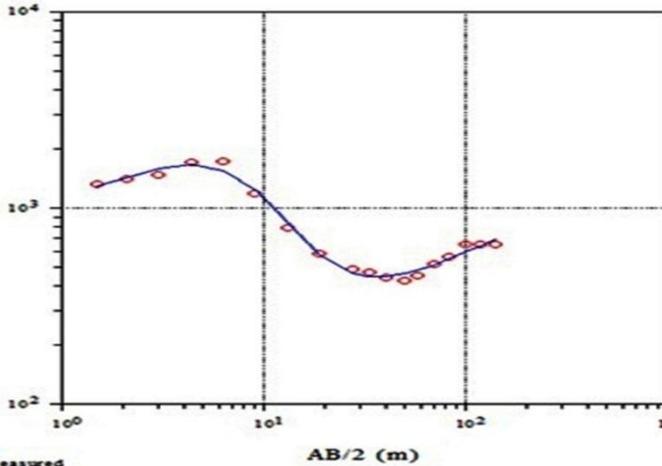
**Schlumberger**

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1013.31	0.0	1.80
2. 3550.77	1.80	2.11
3. 469.43	3.90	46.80*
4. 594.34	50.70	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03196 (weights on)  
Damp: 0.93083



**Edéa-Logbadjeck Ves22**

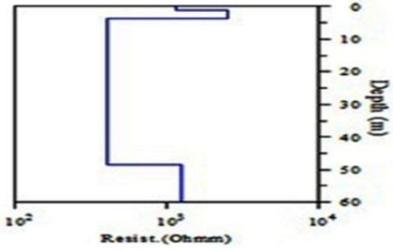


Measured  
Computed

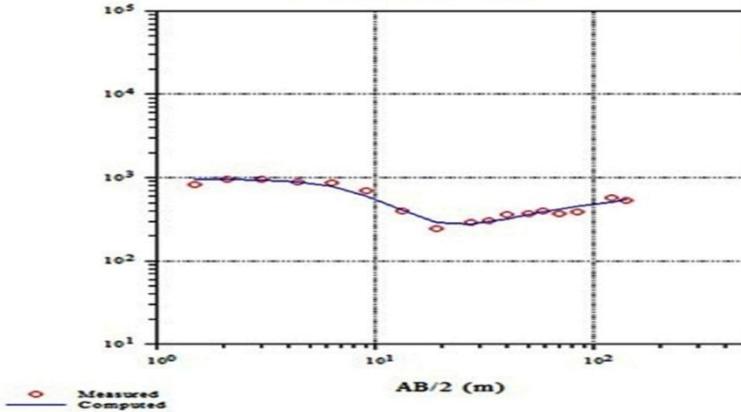
**Schlumberger**

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1134.26	0.0	1.019
2. 2531.14	1.019	2.76*
3. 405.10	3.78	4.75
4. 401.47	8.53	40.00*
5. 1248.12	48.53	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03906 (weights on)  
Damp: 1.00000



**Edéa-Logbadjeck Ves23**

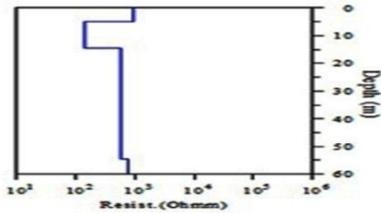


Measured  
Computed

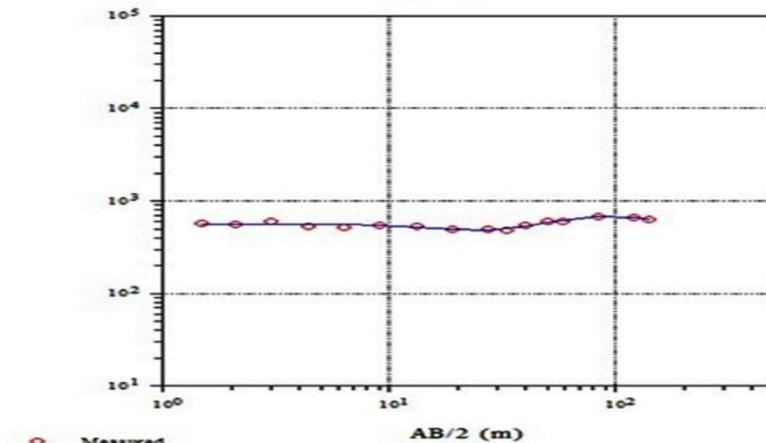
**Schlumberger**

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 964.86	0.0	5.07
2. 142.46	5.07	9.45*
3. 568.20	14.55	40.04*
4. 748.21	54.59	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.06974 (weights on)  
Damp: 1.00000



**Edéa-Logbadjeck Ves24**

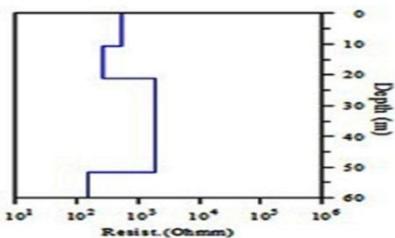


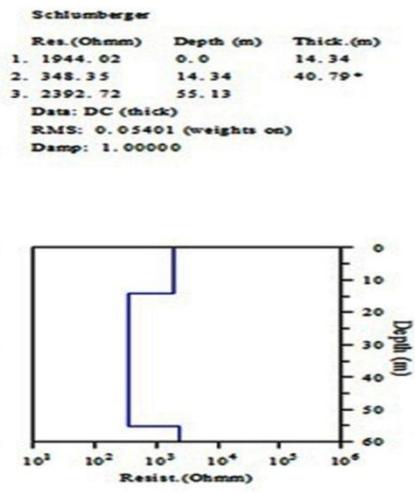
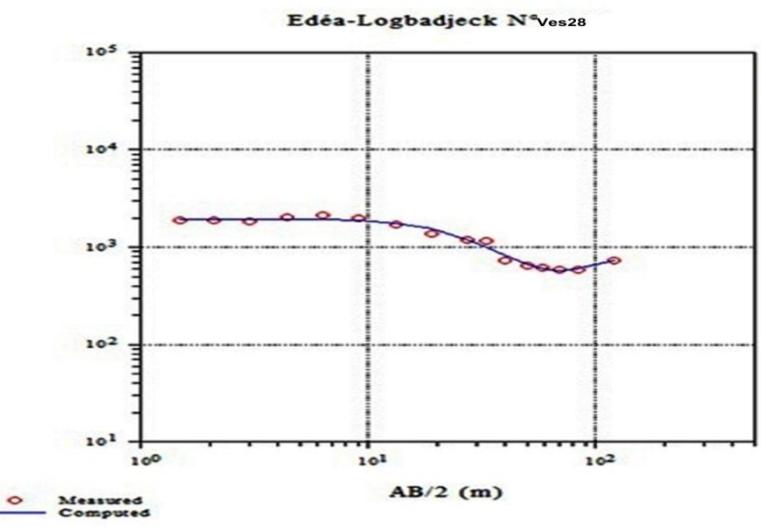
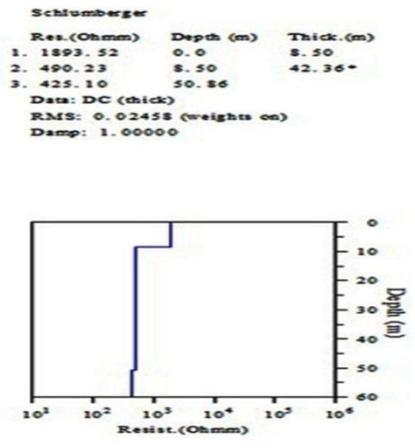
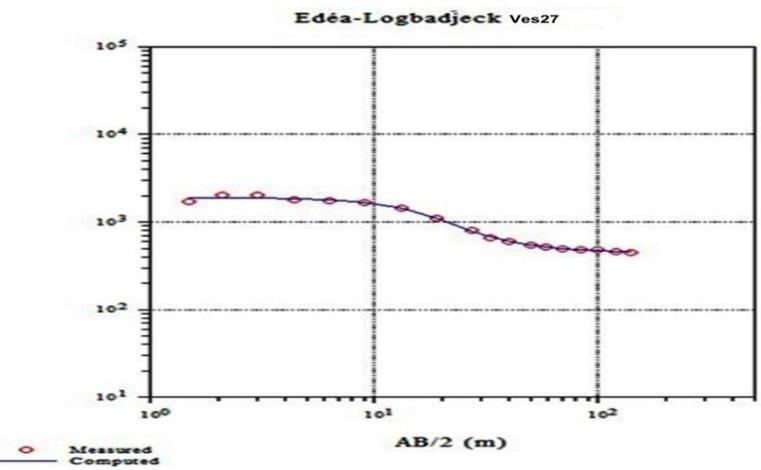
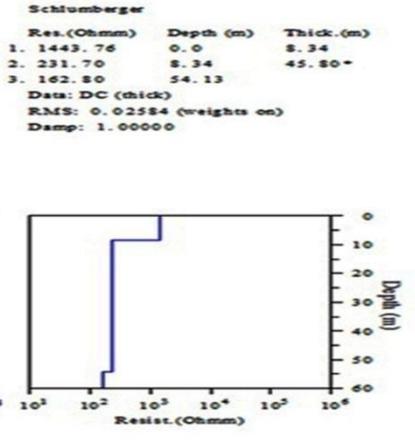
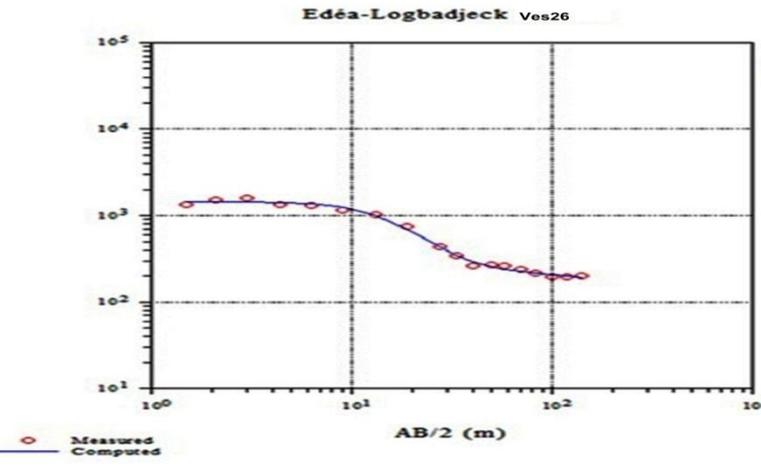
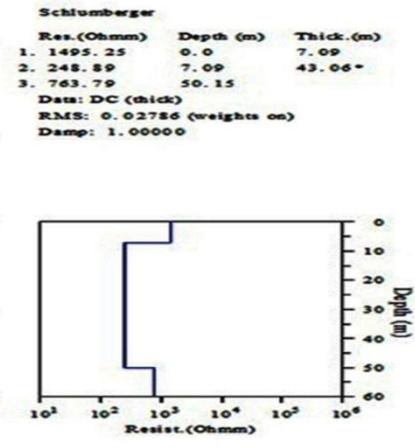
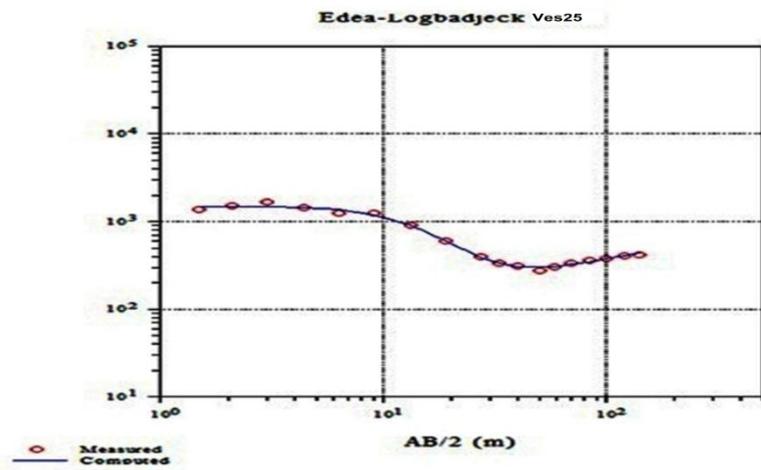
Measured  
Computed

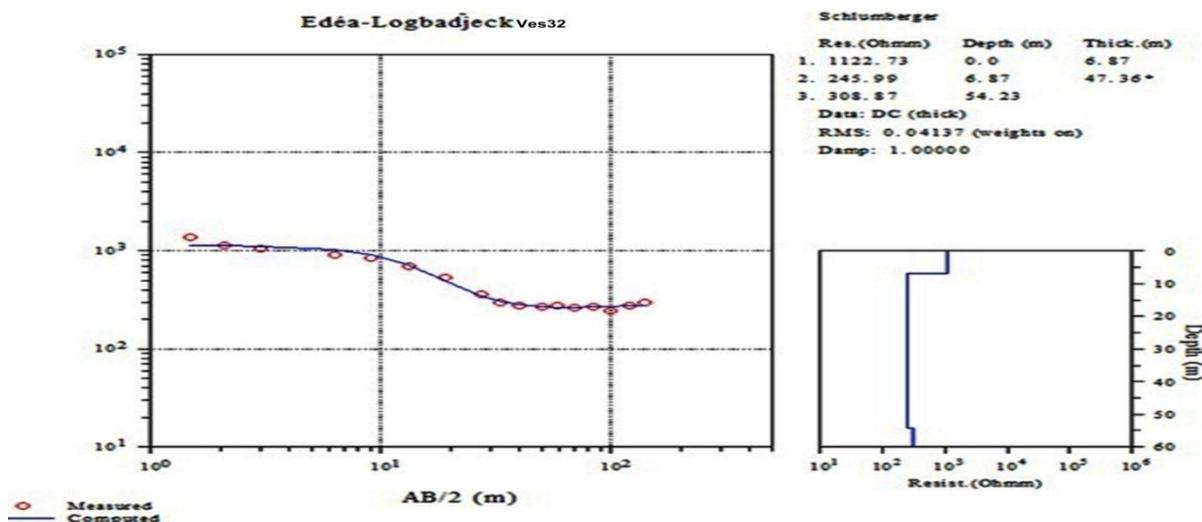
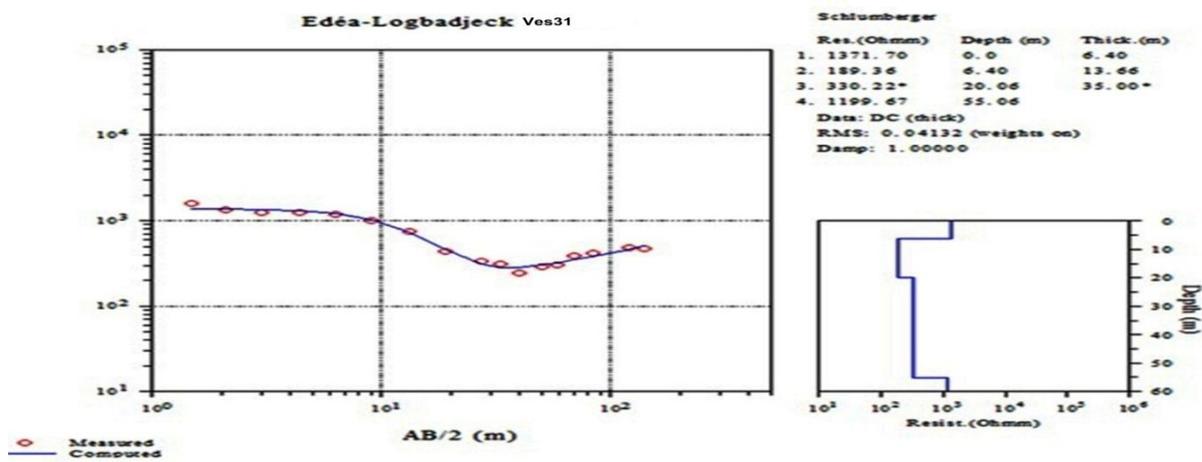
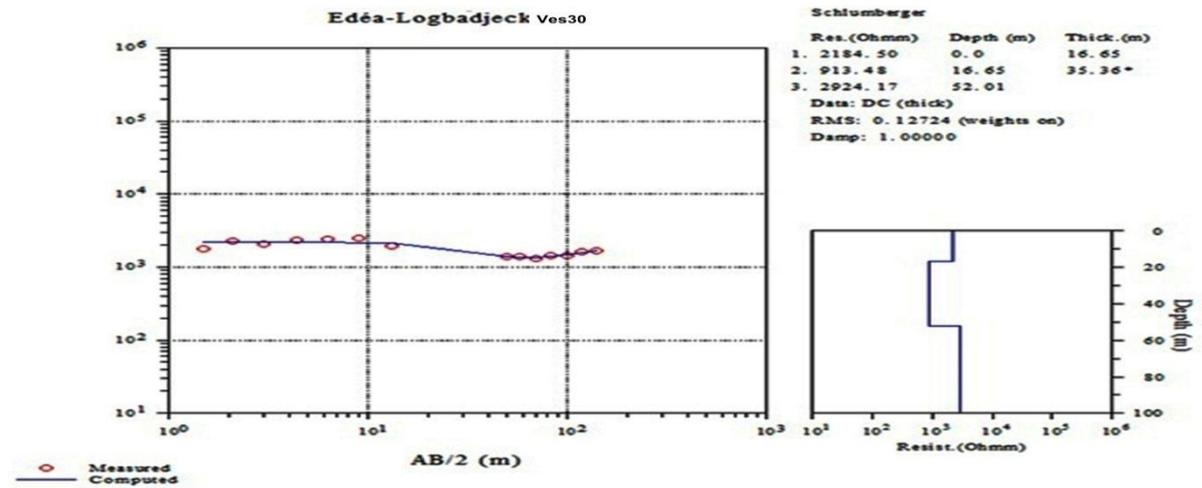
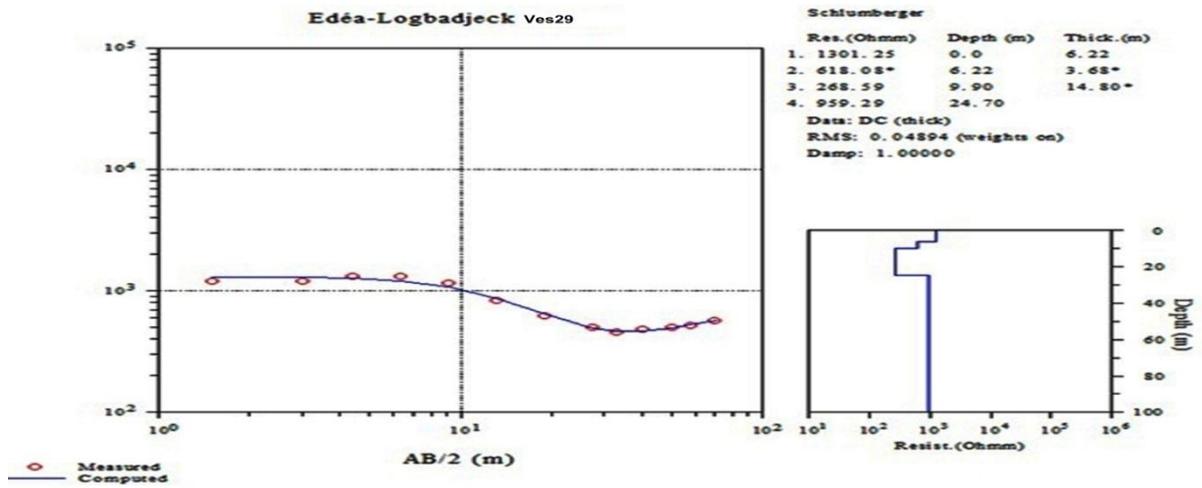
**Schlumberger**

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 558.77	0.0	10.63*
2. 261.57	10.63	10.49
3. 1966.90	21.12	30.45*
4. 156.00	51.57	

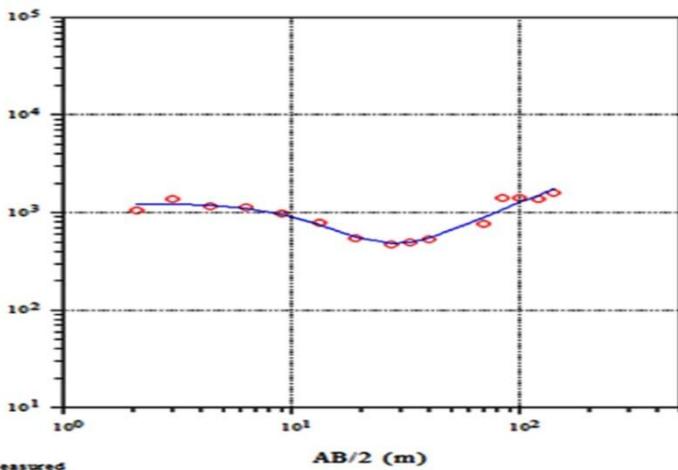
Data: DC (thick)  
RMS: 0.09179 (weights on)  
Damp: 1.00000



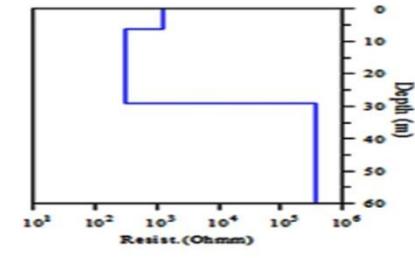




**Edéa-Logbadjeck Ves33**

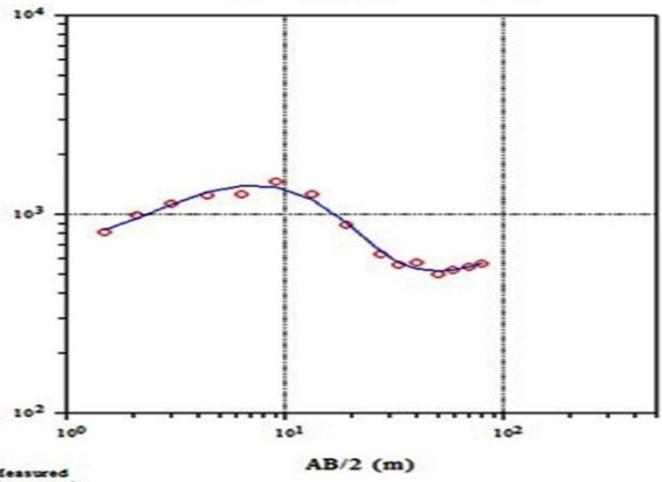


Schlumberger  
 Res.(Ohmm) Depth (m) Thick.(m)  
 1. 1227.97 0.0 6.24  
 2. 311.32 6.24 22.76\*  
 3. 369195.53 29.00  
 Data: DC (thick)  
 RMS: 0.08854 (weights on)  
 Damp: 1.00000

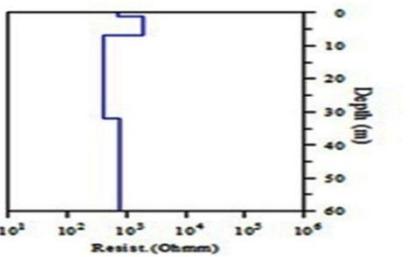


○ Measured  
 — Computed

**Edéa-Logbadjeck Ves34**

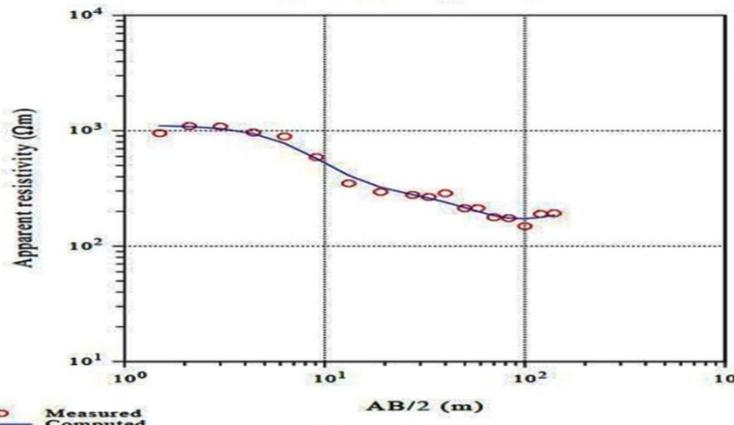


Schlumberger  
 Res.(Ohmm) Depth (m) Thick.(m)  
 1. 704.68 0.0 1.017  
 2. 1877.13 1.017 5.75  
 3. 395.55 6.77 25.08\*  
 4. 750.22 31.85  
 Data: DC (thick)  
 RMS: 0.04117 (weights on)  
 Damp: 1.00000

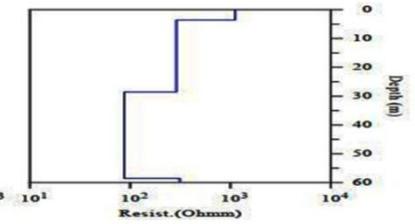


○ Measured  
 — Computed

**DC interpretation Edéa-Logbadjeck Ves35**

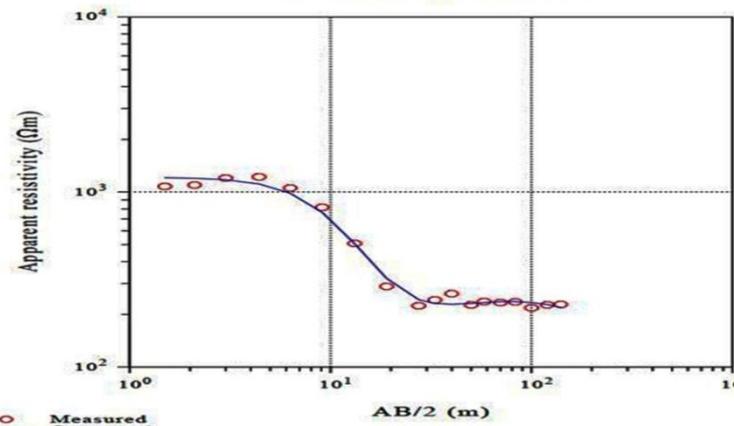


Schlumberger  
 Res.(Ohmm) Depth (m) Thick.(m)  
 1. 1114.02 0.0 3.57  
 2. 288.98 3.57 25.00\*  
 3. 87.51 28.57 30.00\*  
 4. 312.59 58.57  
 Data: DC (thick)  
 RMS: 0.04427 (weights on)  
 Damp: 1.00000

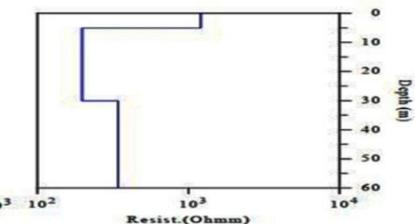


○ Measured  
 — Computed

**DC interpretation Edéa-Logbadjeck Ves36**

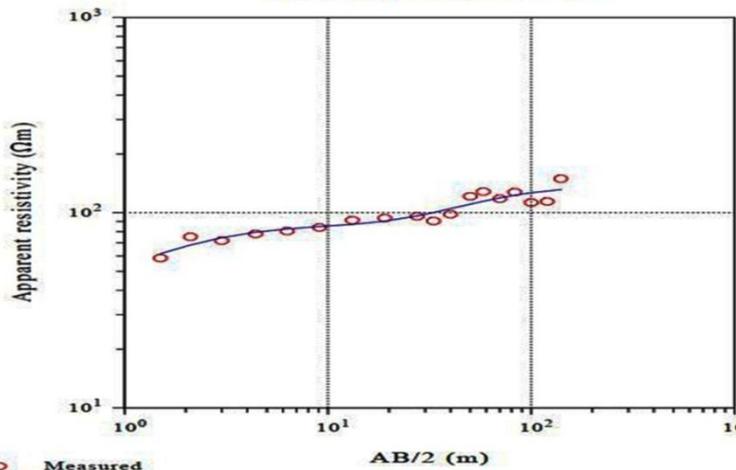


Schlumberger  
 Res.(Ohmm) Depth (m) Thick.(m)  
 1. 1210.29 0.0 5.07  
 2. 197.87 5.07 25.00\*  
 3. 342.68 30.07 30.00\*  
 4. 154.93 60.07  
 Data: DC (thick)  
 RMS: 0.03983 (weights on)  
 Damp: 1.00000



○ Measured  
 — Computed

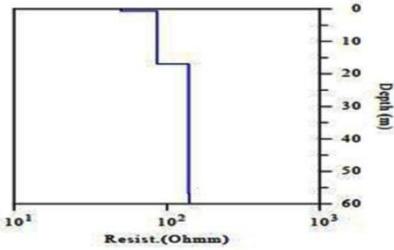
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves37



Schlumberger

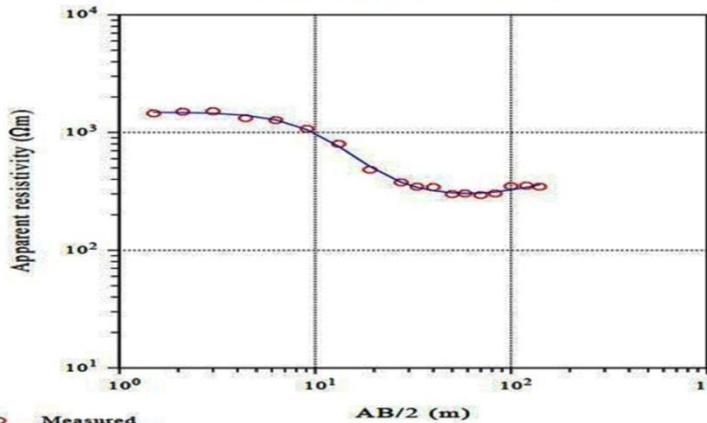
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick. (m)
1. 50.00*	0.0	0.624
2. 86.35	0.624	16.29
3. 138.75	16.91	40.00*
4. 140.43	56.91	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.07963 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

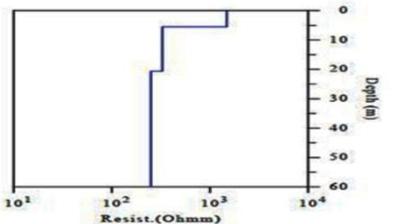
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves38



Schlumberger

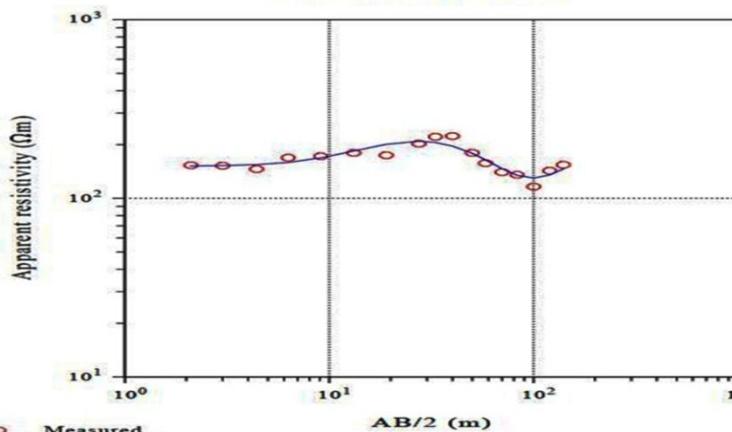
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick. (m)
1. 1488.38	0.0	5.52
2. 327.51	5.52	15.11
3. 250.33	20.62	40.00*
4. 545.00	60.62	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02392 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

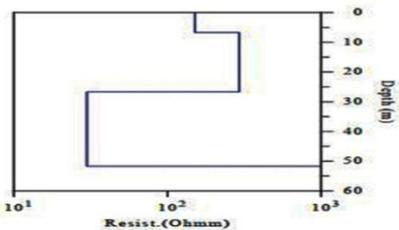
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves39



Schlumberger

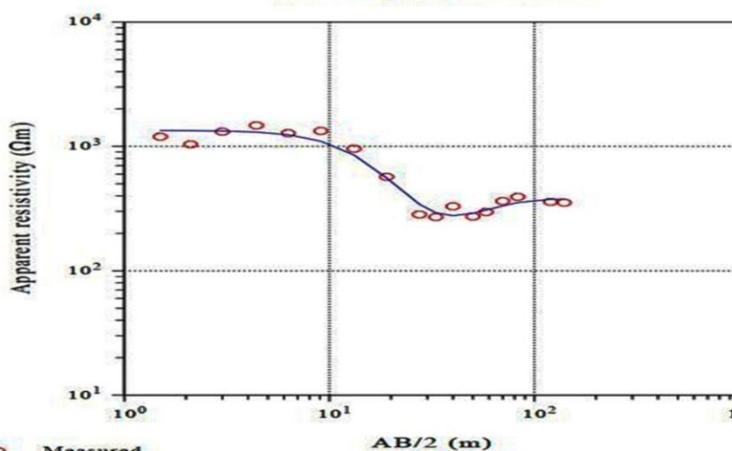
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick. (m)
1. 151.40	0.0	6.69
2. 293.71	6.69	20.00*
3. 29.92	26.69	25.00*
4. 3000.00*	51.69	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.09990 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

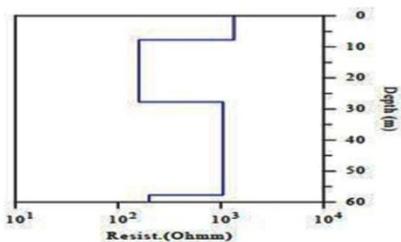
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves40



Schlumberger

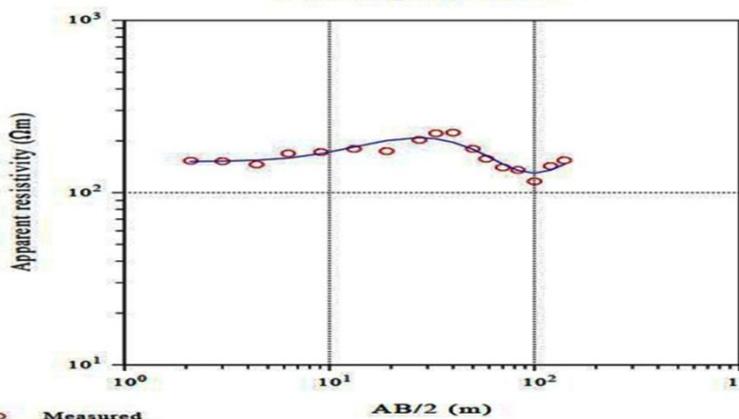
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick. (m)
1. 1341.94	0.0	7.75
2. 159.72	7.75	20.00*
3. 1053.18	27.75	30.00*
4. 200.00*	57.75	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.07069 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves41

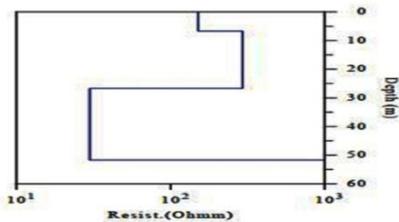


○ Measured  
— Computed

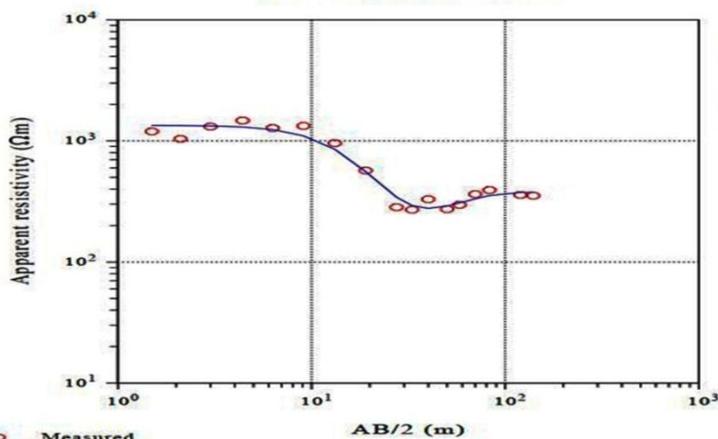
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 151.40	0.0	6.69
2. 293.71	6.69	20.00*
3. 29.92	26.69	25.00*
4. 3000.00*	51.69	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.09990 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves42

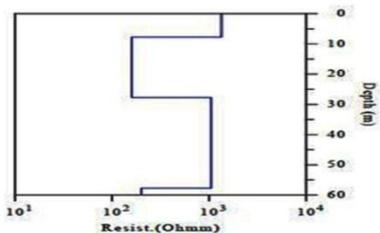


○ Measured  
— Computed

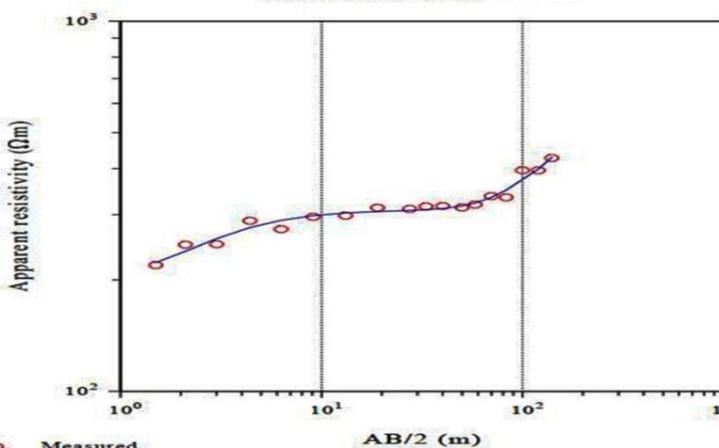
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1341.94	0.0	7.75
2. 159.72	7.75	20.00*
3. 1053.18	27.75	30.00*
4. 200.00*	57.75	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.07069 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves43

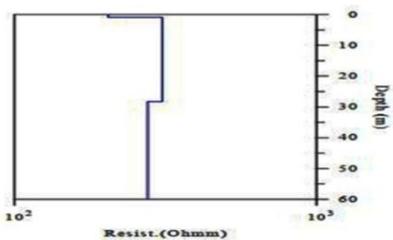


○ Measured  
— Computed

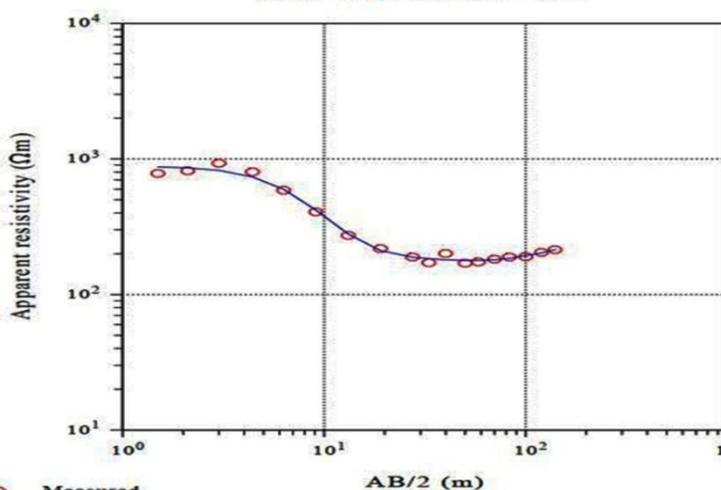
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 204.41	0.0	0.935
2. 308.66	0.935	27.32
3. 276.40	28.25	32.00*
4. 843.41	60.25	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.04348 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves44

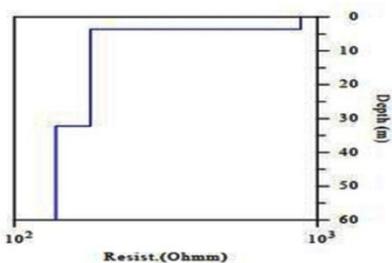


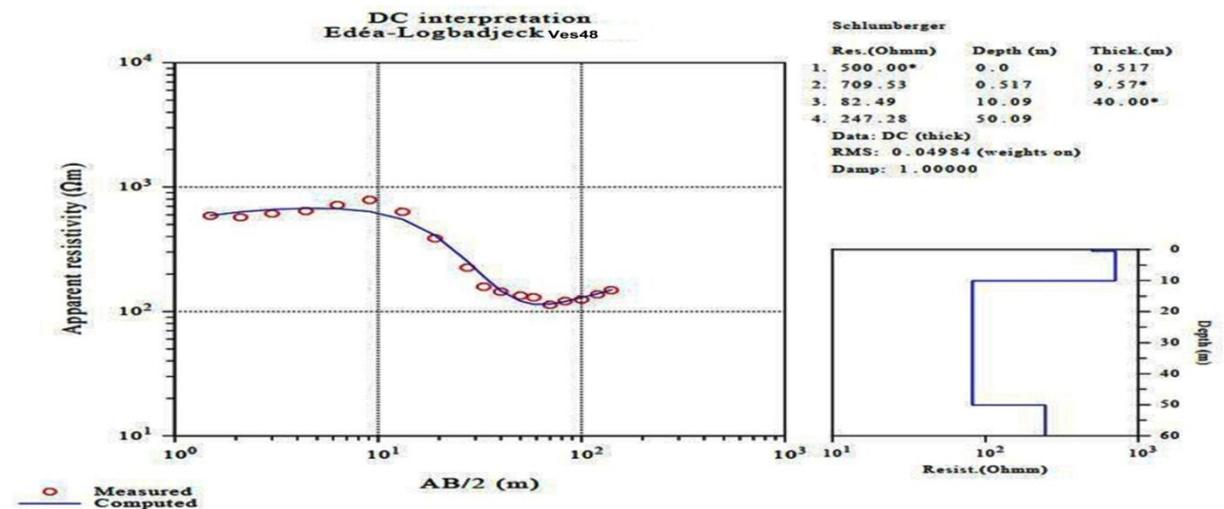
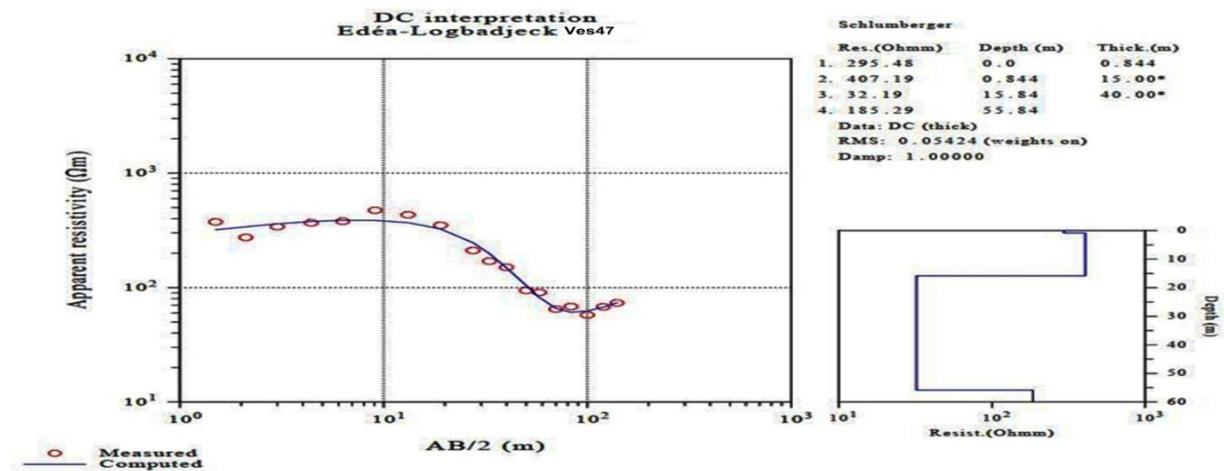
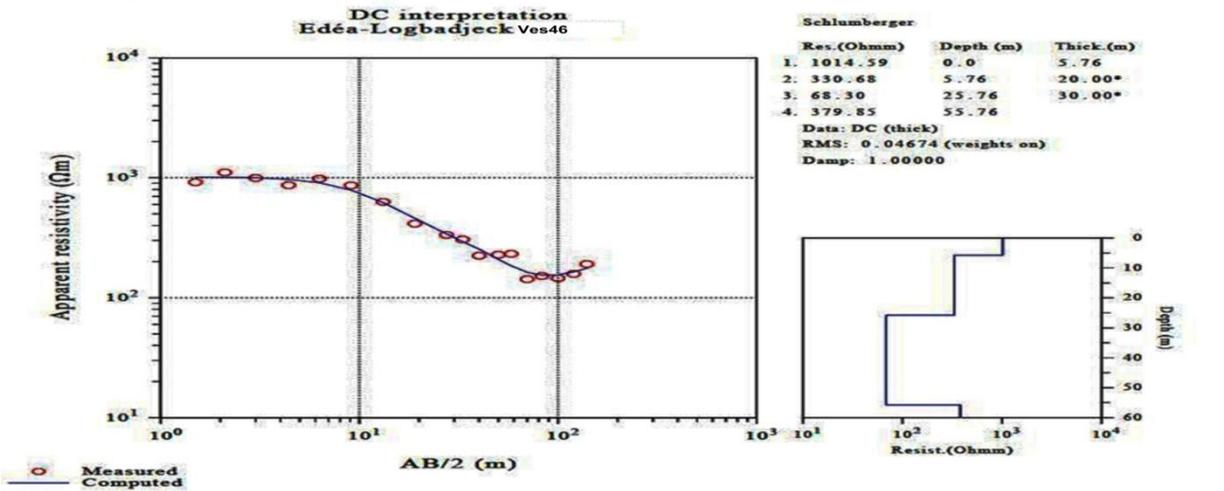
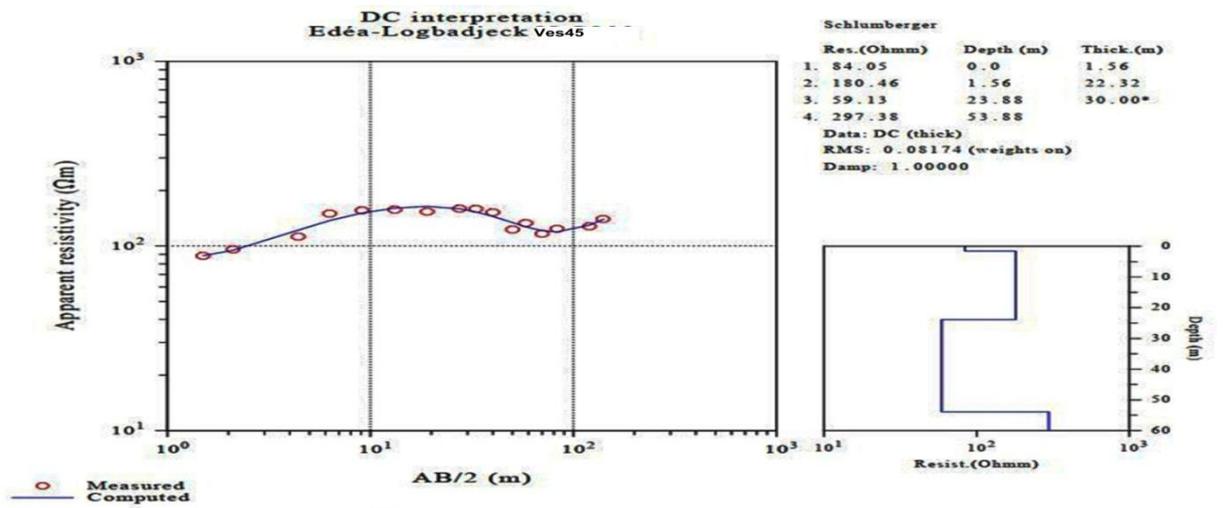
○ Measured  
— Computed

Schlumberger

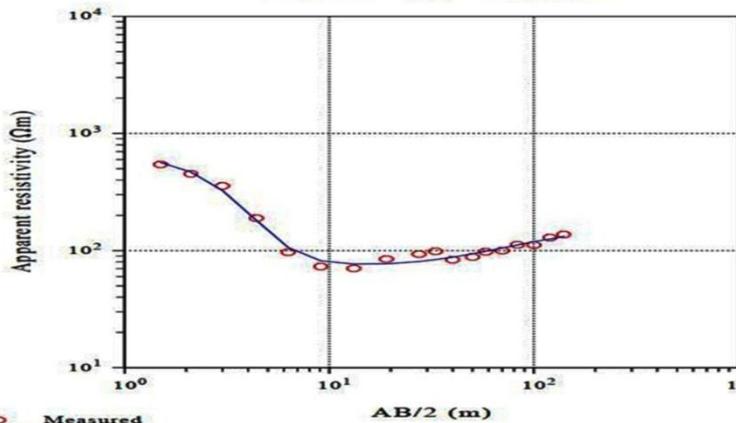
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 881.31	0.0	3.65
2. 178.50	3.65	28.61
3. 137.13	32.25	29.00*
4. 349.42	61.25	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03389 (weights on)  
Damp: 1.00000





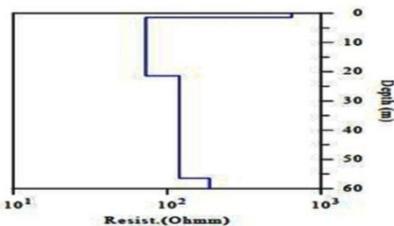
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves49



Schlumberger

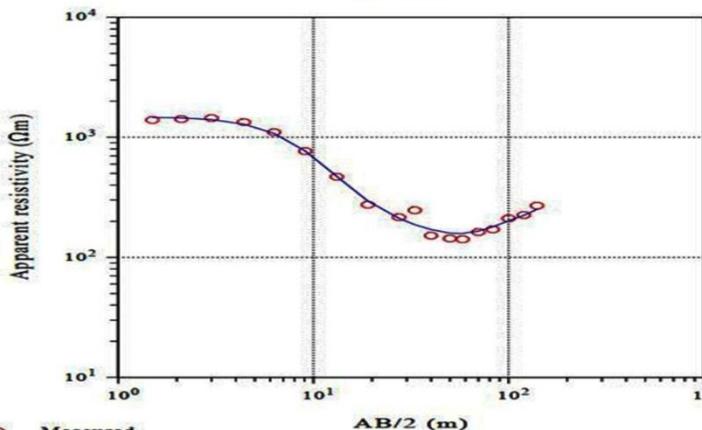
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 646.19	0.0	1.42
2. 72.76	1.42	20.00*
3. 120.37	21.42	35.00*
4. 188.83	56.42	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03874 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

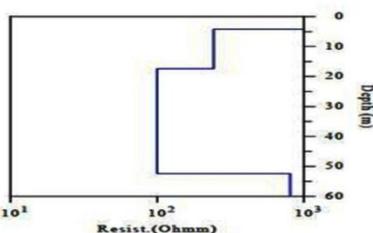
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves50



Schlumberger

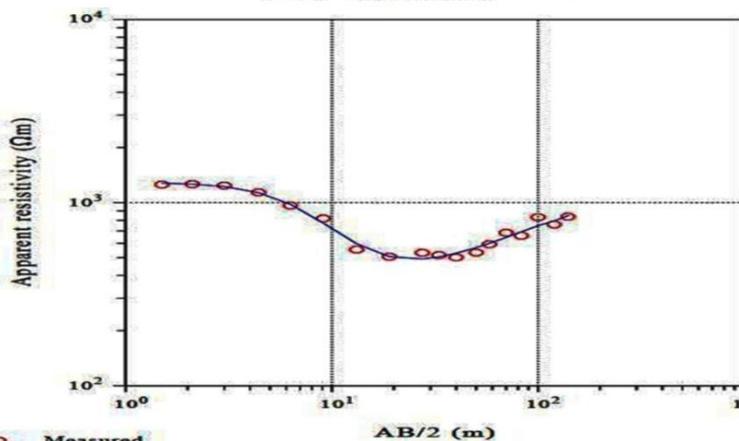
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1476.81	0.0	4.21
2. 242.96	4.21	13.19
3. 100.00*	17.39	35.00*
4. 807.62	52.39	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03721 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

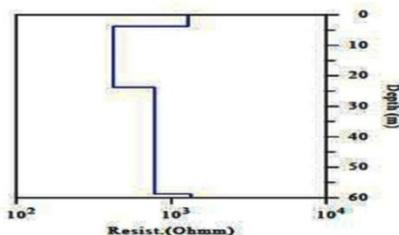
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves51



Schlumberger

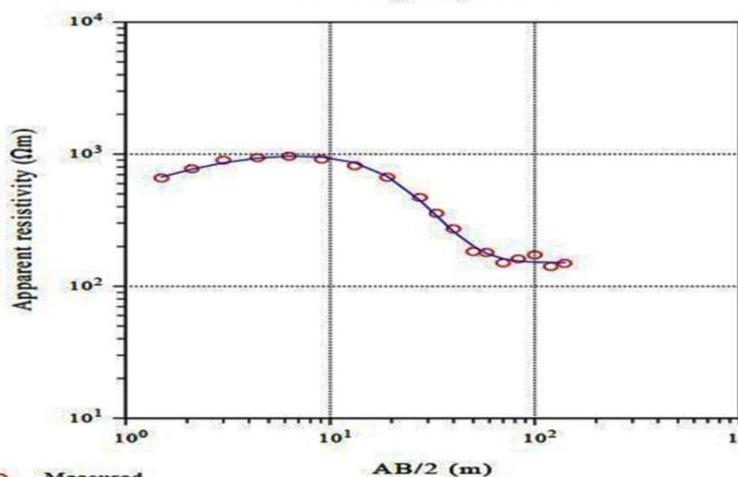
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1284.12	0.0	3.77
2. 421.86	3.77	20.00*
3. 780.28	23.77	35.00*
4. 1341.38	58.77	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.05178 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

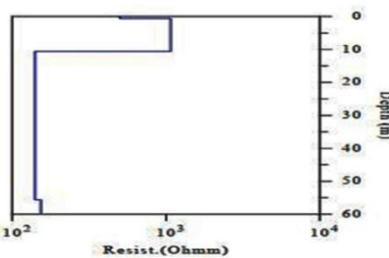
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves52



Schlumberger

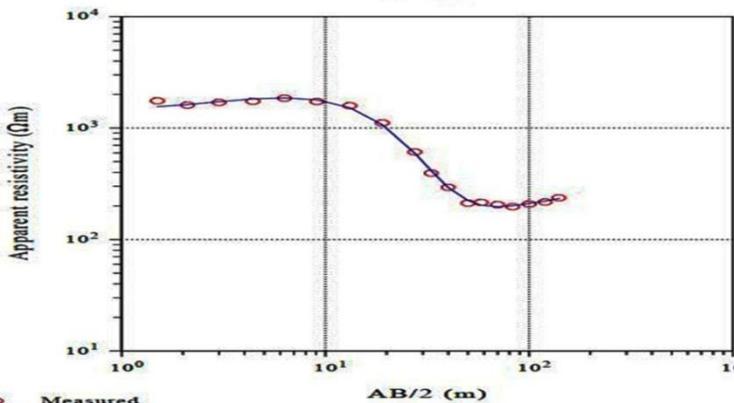
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 500.34	0.0	0.605
2. 1074.02	0.605	10.00*
3. 141.09	10.61	45.00*
4. 153.71	55.61	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02753 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

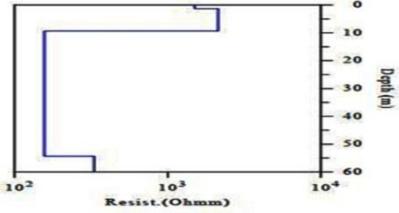
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves53



Schlumberger

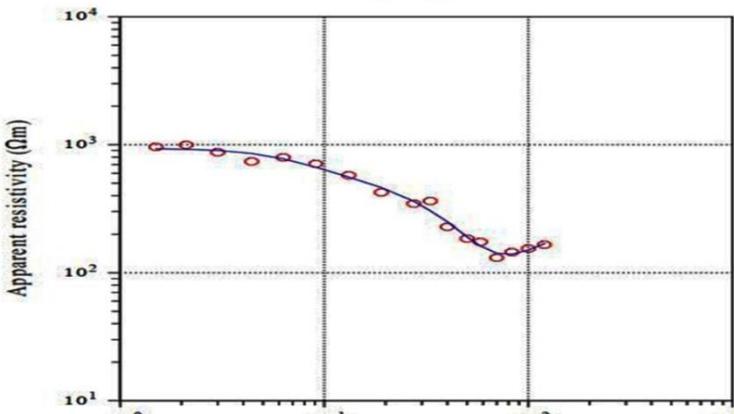
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1500.00*	0.0	1.29
2. 2136.67	1.29	8.05
3. 156.82	9.34	45.00*
4. 331.21	54.34	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.01939 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

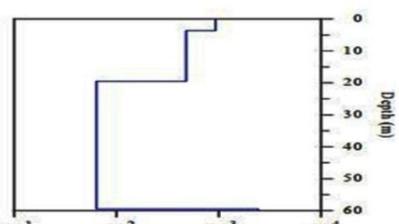
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves54



Schlumberger

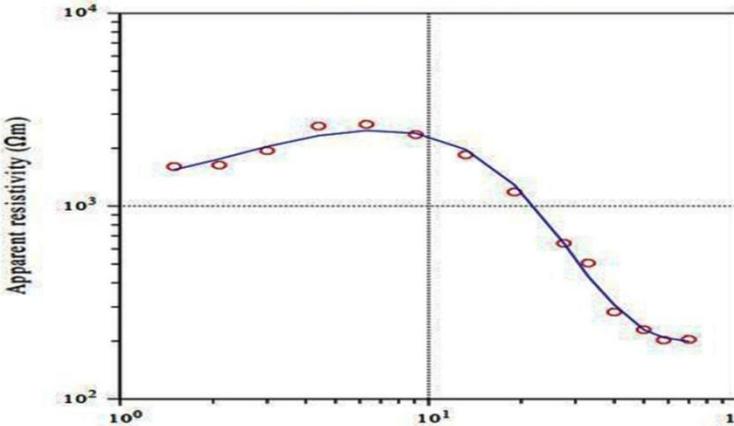
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 932.88	0.0	3.67
2. 480.43	3.67	15.81
3. 63.94	19.48	40.00*
4. 2448.09	59.48	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03745 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

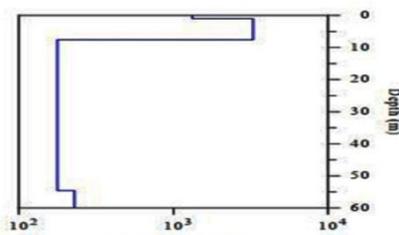
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves55



Schlumberger

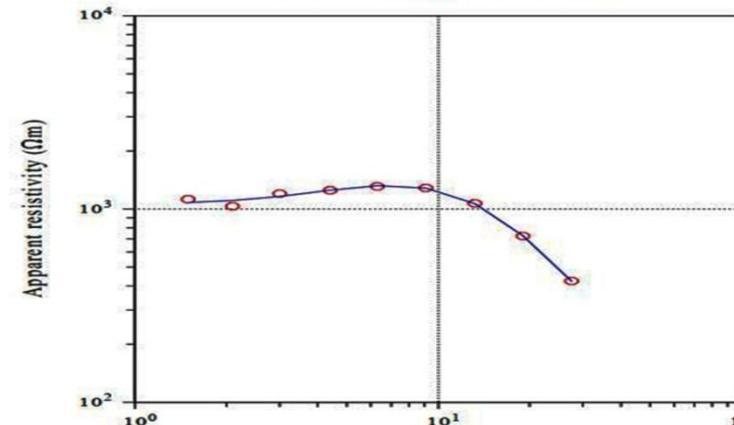
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1325.72	0.0	1.024
2. 3288.27	1.024	6.56
3. 178.07	7.58	47.00*
4. 229.36	54.58	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02833 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

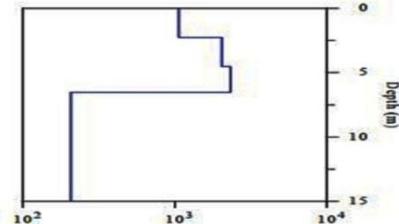
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves56



Schlumberger

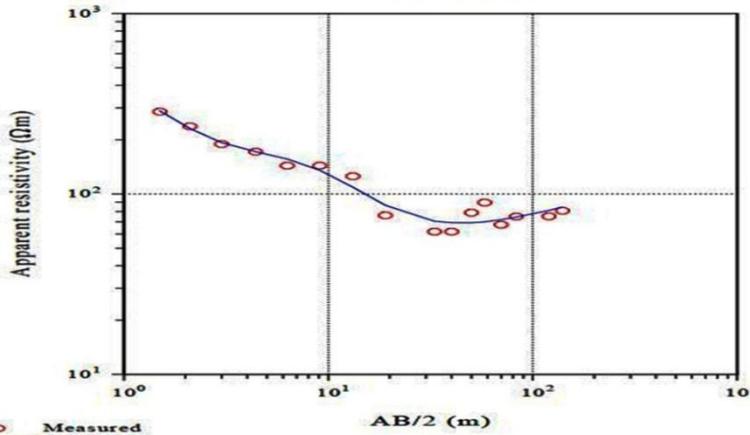
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1064.86	0.0	2.27
2. 2039.70	2.27	2.26
3. 2326.14	4.53	2.00*
4. 207.56	6.53	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02493 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves57

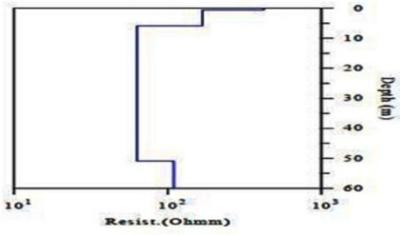


○ Measured  
— Computed

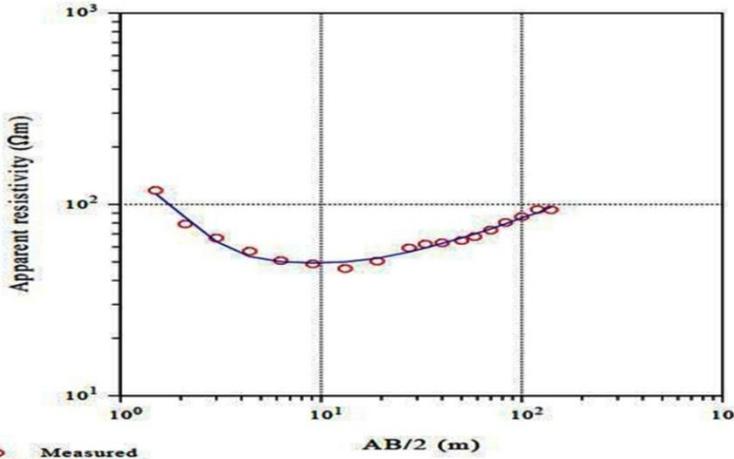
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 423.16	0.0	0.608
2. 168.84	0.608	5.27
3. 63.39	5.88	45.00*
4. 109.87	50.88	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.06691 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves58

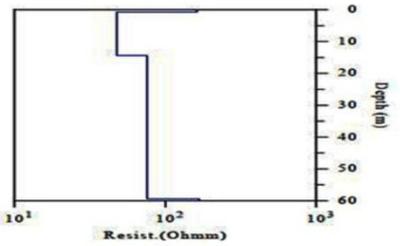


○ Measured  
— Computed

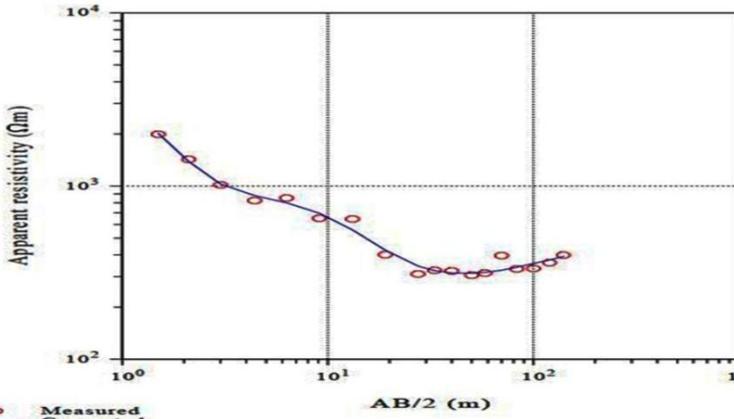
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 162.17	0.0	0.749
2. 47.79	0.749	13.64
3. 75.88	14.39	45.00*
4. 168.45	59.39	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.04470 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves59

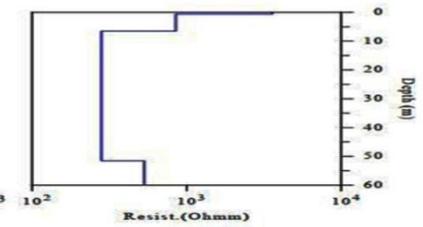


○ Measured  
— Computed

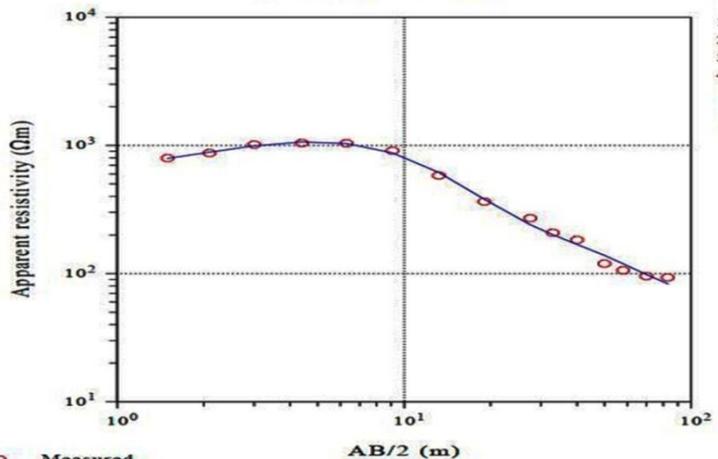
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 3590.15	0.0	0.603
2. 851.43	0.603	5.93
3. 281.62	6.53	45.00*
4. 533.63	51.53	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03901 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves60

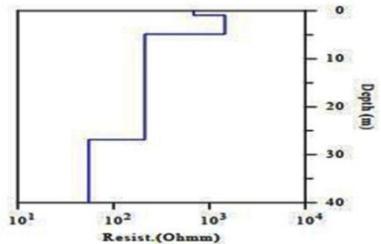


○ Measured  
— Computed

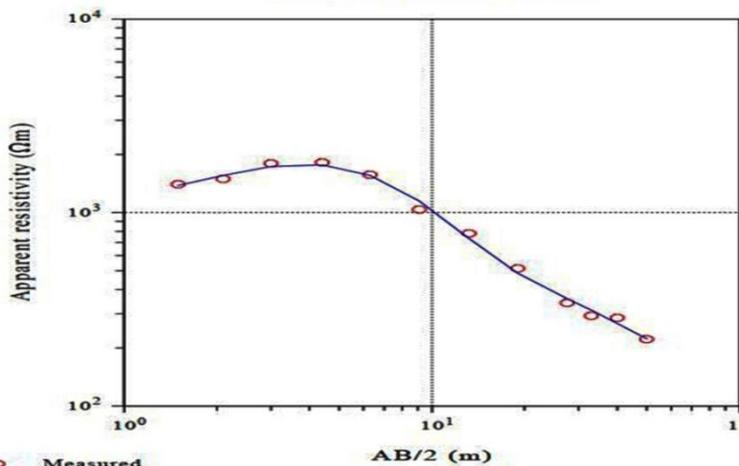
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 684.84	0.0	0.941
2. 1452.15	0.941	3.93
3. 212.12	4.87	22.00*
4. 55.12	26.87	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02980 (weights on)  
Damp: 1.00000



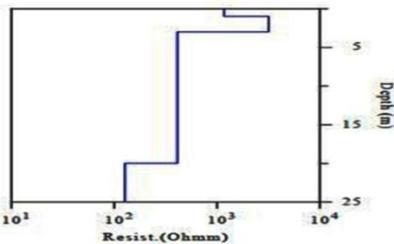
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves61



Schlumberger

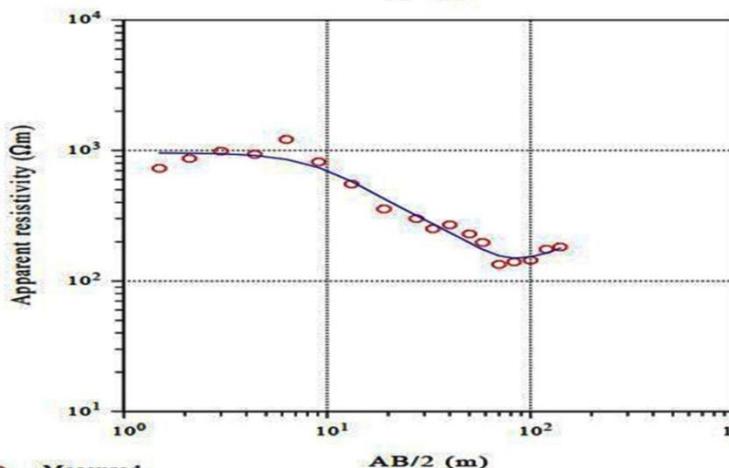
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1171.36	0.0	0.970
2. 3181.67	0.970	2.01
3. 411.47	2.98	17.00*
4. 127.33	19.98	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02464 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

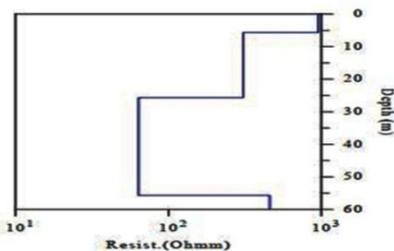
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves62



Schlumberger

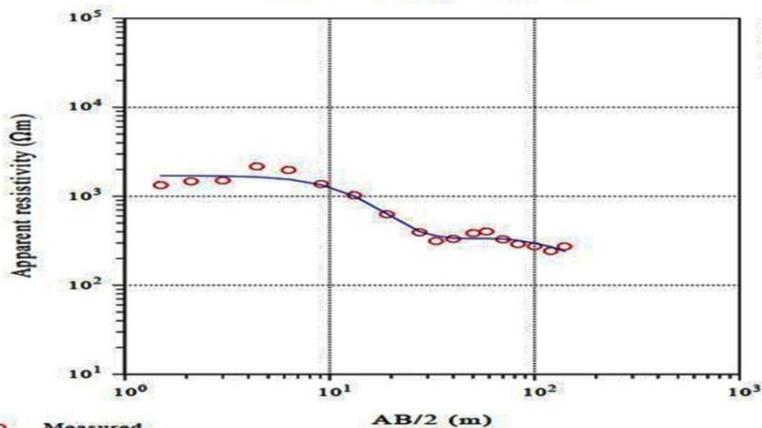
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 959.32	0.0	5.69
2. 309.58	5.69	20.00*
3. 63.91	25.69	30.00*
4. 460.72	55.69	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.06396 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

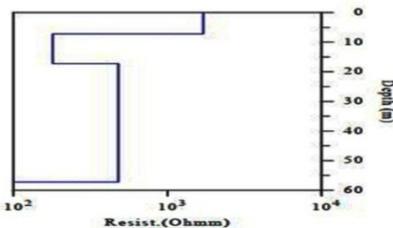
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves63



Schlumberger

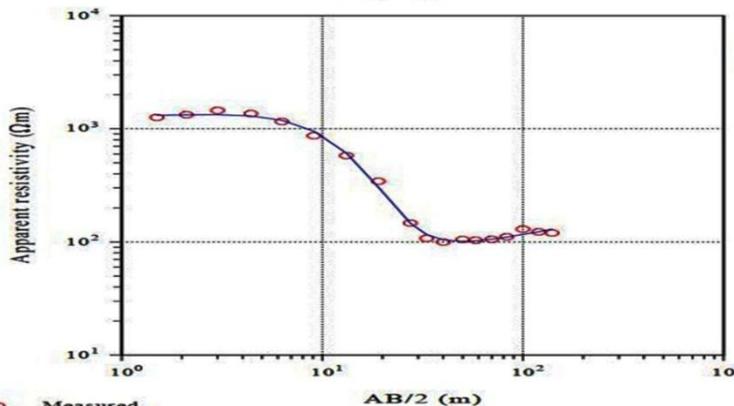
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1709.70	0.0	7.21
2. 180.18	7.21	10.00*
3. 481.44	17.21	40.00*
4. 100.14	57.21	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.06254 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

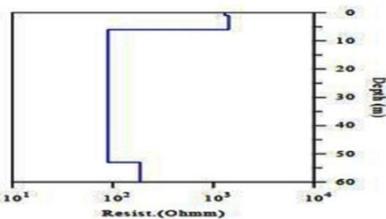
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves64



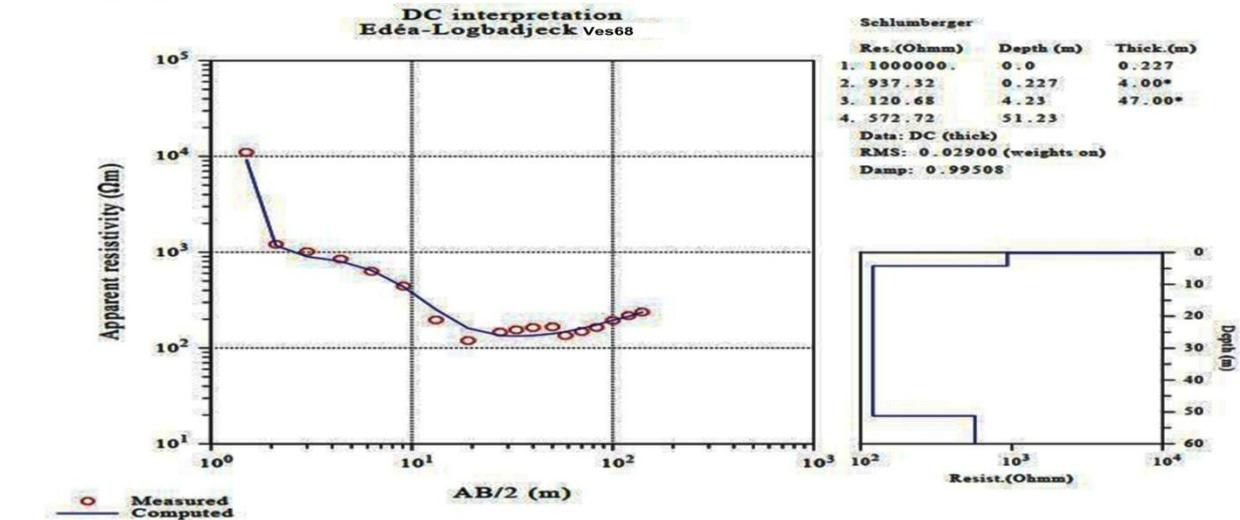
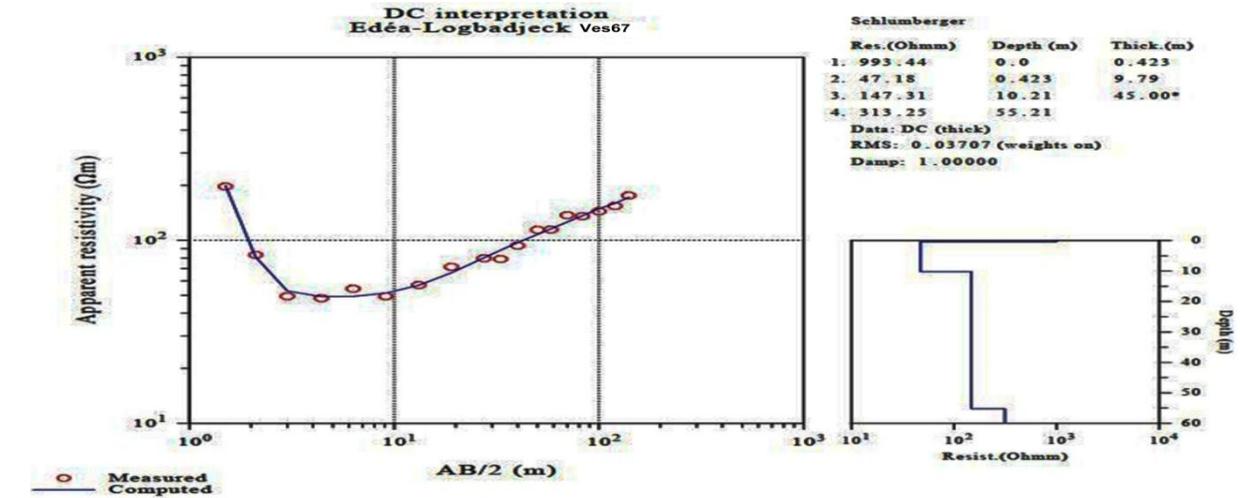
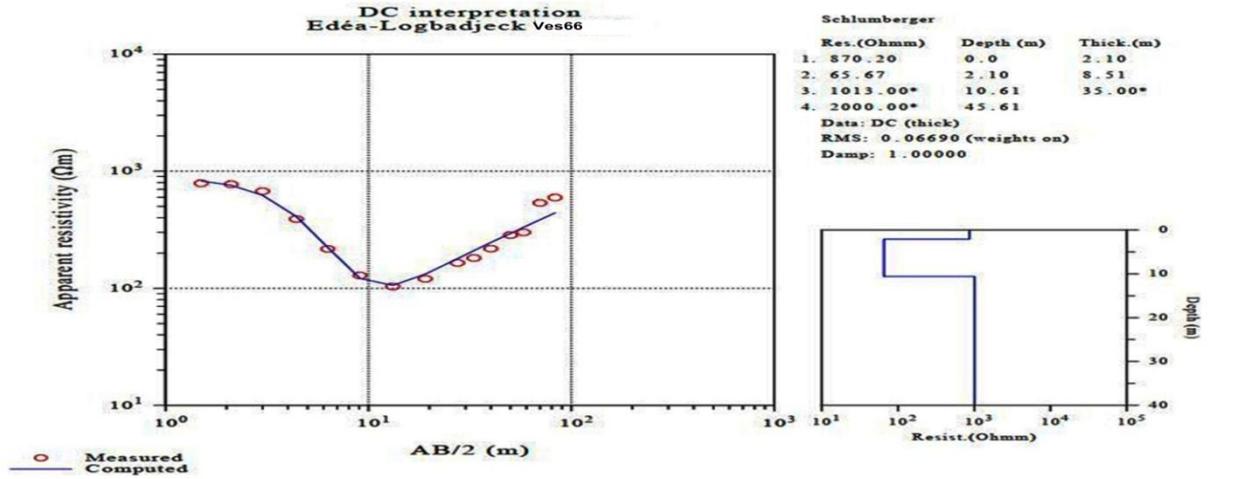
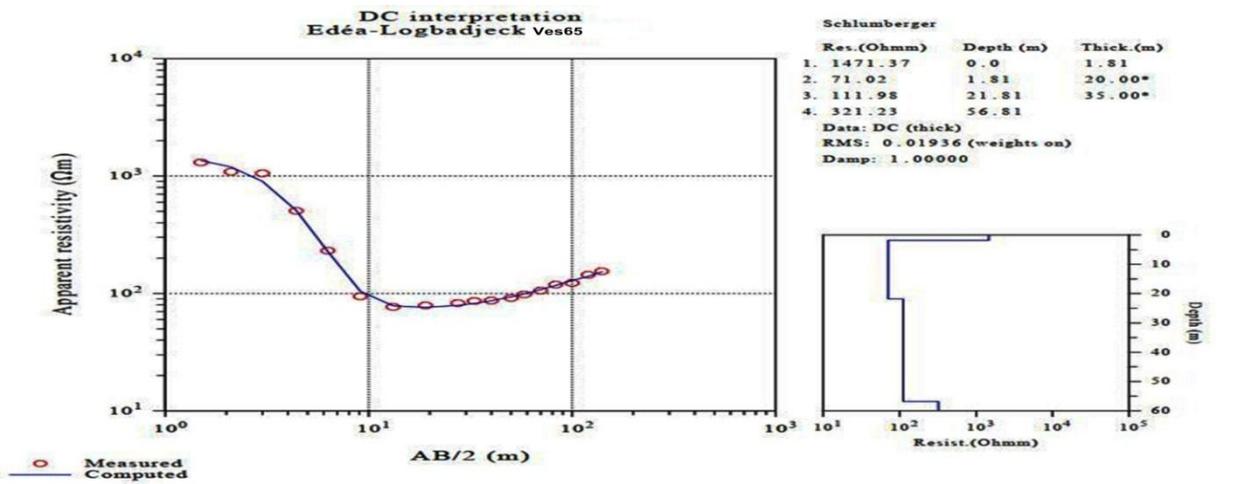
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1299.62	0.0	1.024
2. 1419.88	1.024	5.00*
3. 89.41	6.02	47.00*
4. 186.92	53.02	

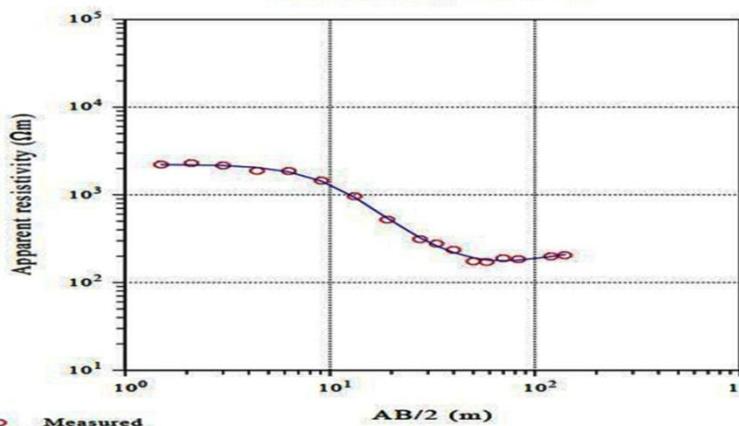
Data: DC (thick)  
RMS: 0.02223 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed



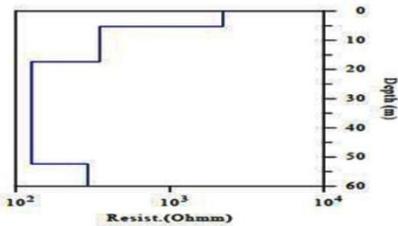
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves69



Schlumberger

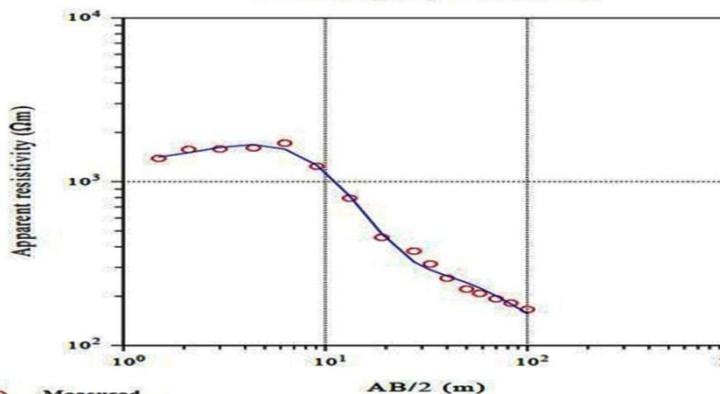
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 2218.55	0.0	5.27
2. 351.53	5.27	12.09
3. 126.89	17.36	35.00*
4. 294.27	52.36	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.01844 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

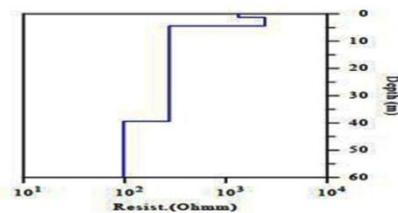
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves70



Schlumberger

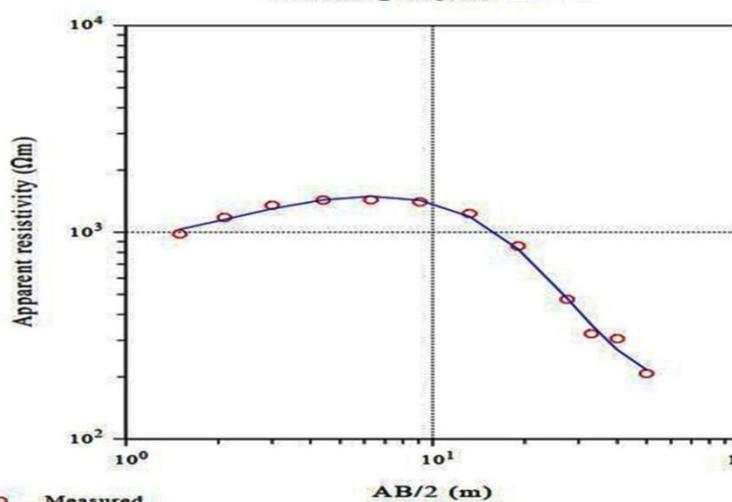
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1331.15	0.0	1.27
2. 2432.59	1.27	3.14
3. 276.26	4.41	35.00*
4. 97.79	39.41	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02760 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

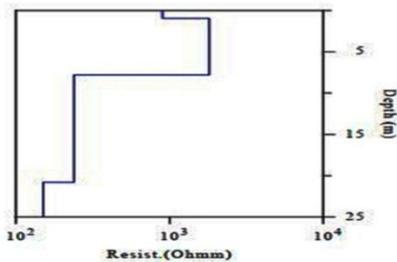
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves71



Schlumberger

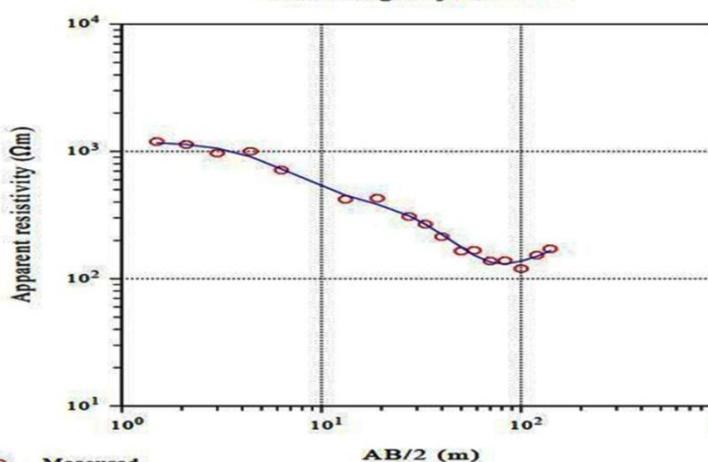
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 900.00*	0.0	0.952
2. 1818.88	0.952	6.85
3. 238.81	7.80	13.00*
4. 150.82	20.80	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02805 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

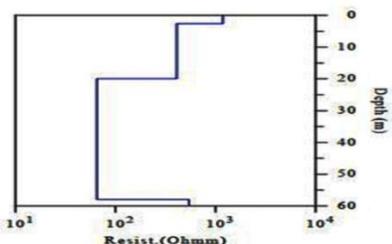
DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves72



Schlumberger

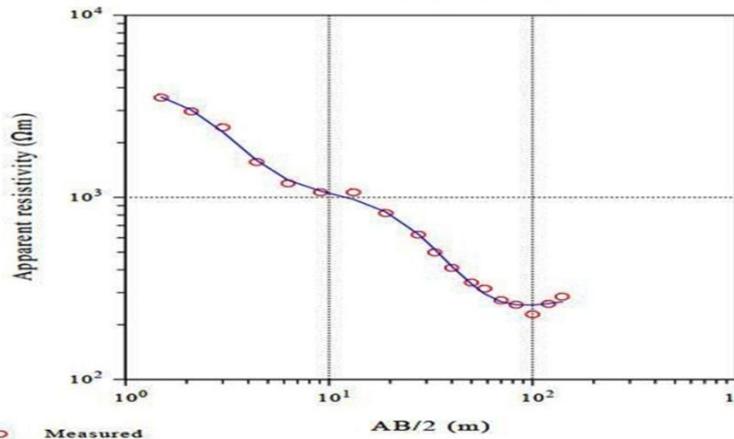
Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 1186.80	0.0	2.62
2. 410.05	2.62	17.33
3. 65.14	19.95	38.00*
4. 542.80	57.95	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02817 (weights on)  
Damp: 1.00000



○ Measured  
— Computed

DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves73

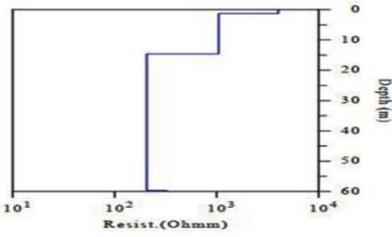


○ Measured  
— Computed

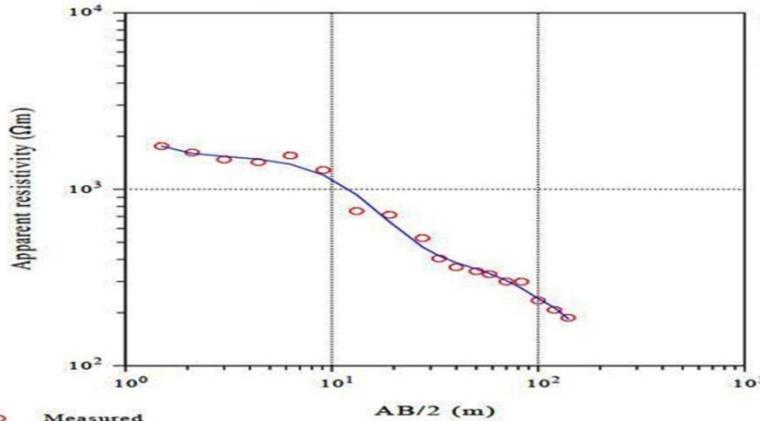
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 4041.58	0.0	1.28
2. 1048.56	1.28	13.35
3. 206.18	14.62	45.00*
4. 324.60	59.62	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.01695 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves74

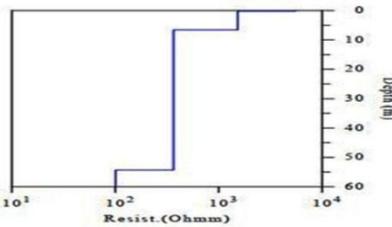


○ Measured  
— Computed

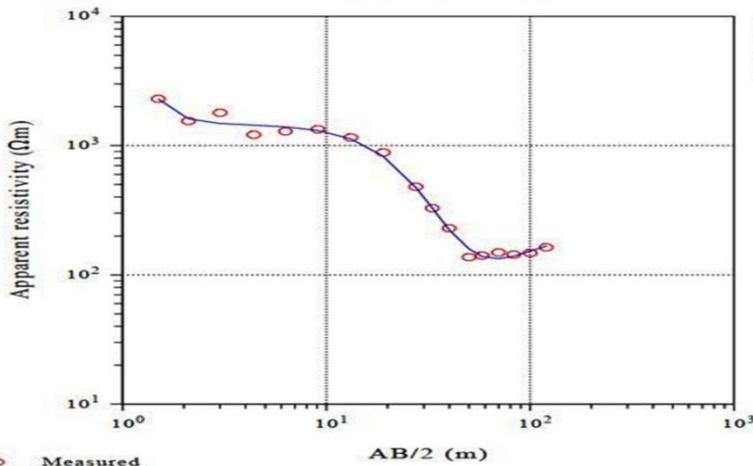
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 5528.48	0.0	0.243
2. 1525.76	0.243	6.36
3. 365.96	6.60	47.71
4. 101.05	54.32	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.03359 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves75

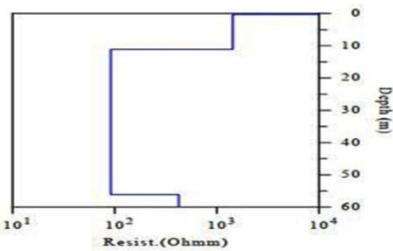


○ Measured  
— Computed

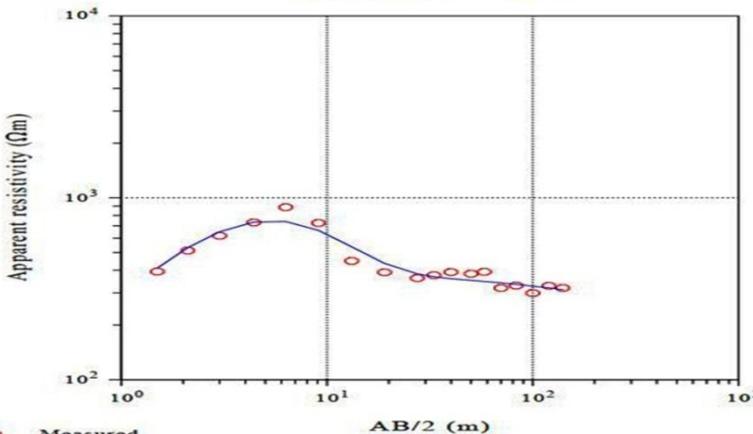
Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 14959.	0.0	0.304
2. 1434.95	0.304	10.80
3. 91.57	11.11	45.00*
4. 423.90	56.11	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.02943 (weights on)  
Damp: 1.00000



DC interpretation  
Edéa-Logbadjeck Ves76

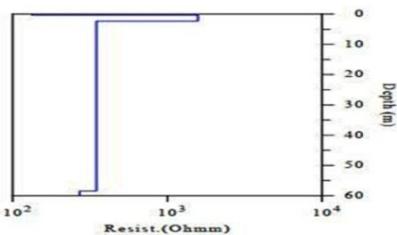


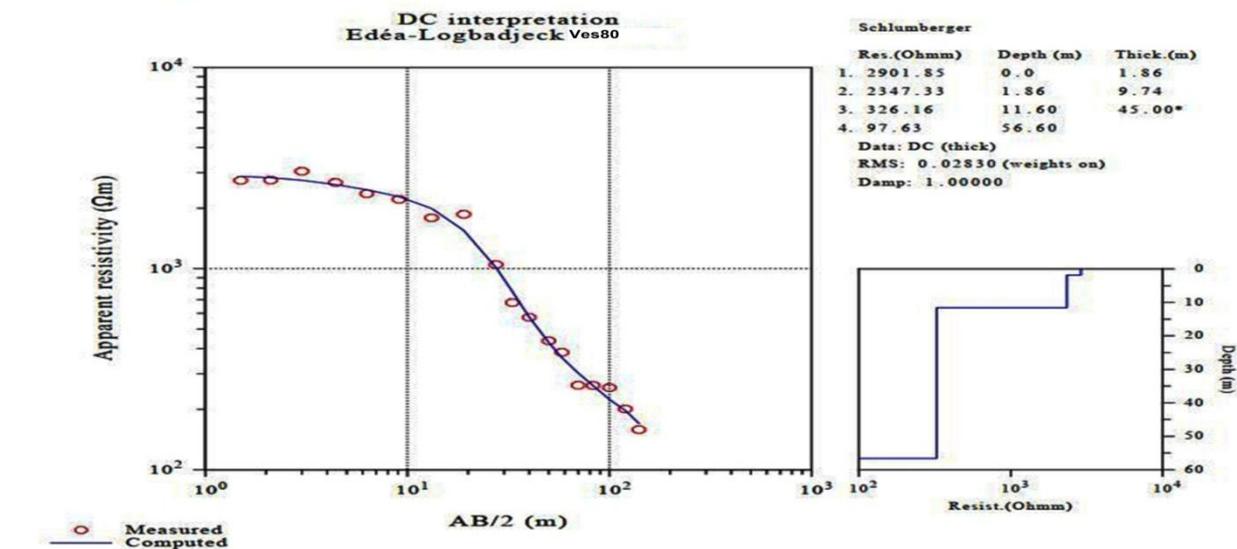
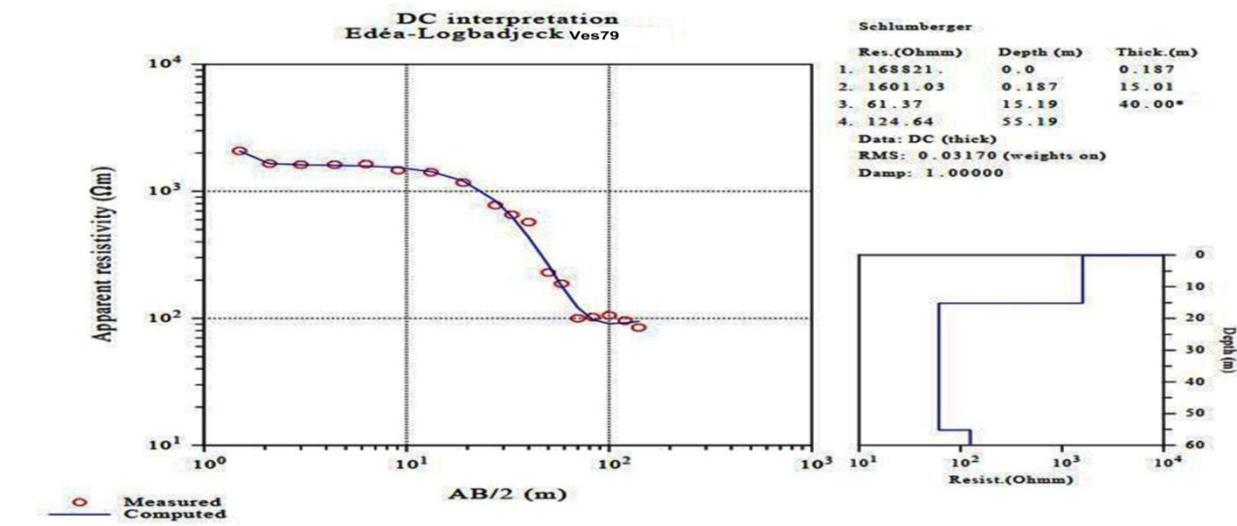
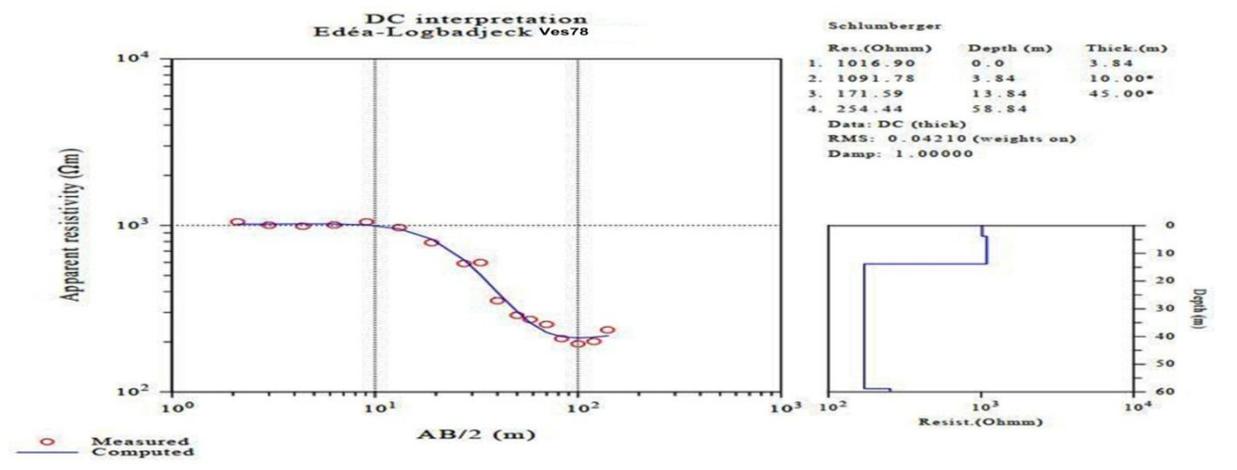
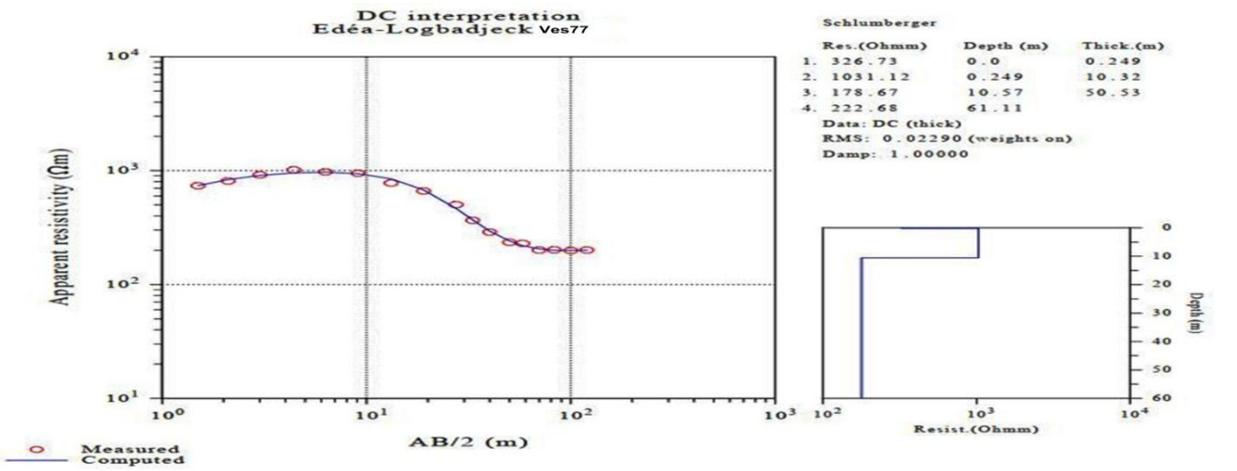
○ Measured  
— Computed

Schlumberger

Res.(Ohmm)	Depth (m)	Thick.(m)
1. 133.15	0.0	0.337
2. 1577.57	0.337	2.00*
3. 348.31	2.34	56.13*
4. 270.99	58.46	

Data: DC (thick)  
RMS: 0.08041 (weights on)  
Damp: 1.00000





## Annexe 4 : Caractéristique géophysique de la zone d'étude

Tableau 3 : caractéristiques de chaque sondage électrique vertical

VES	Curve type	Number of layers	Resistivity ( $\rho_1/\rho_2.../\rho_n$ ) ( $\Omega \cdot m$ )	Thickness ( $h_1/h_2.../h_n$ ) (m)	Depth ( $p_1/p_2...p_n$ ) (m)	Rock type
VES1	H	04	3018.64/719.12/317.25/808.68	0.55/1.21/58	0.55/1.77/59.77	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES2	KH	04	2325.51/544.45/149.15/773.29	2.40/4.77/43.63	2.40/7.17/50.80	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES3	H	04	504.32/134.80/269.68/1146.88	0.71/5.88/45	0.71/6.59/51.59	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / gneiss
VES4	KH	04	1526.66/618.70/167.56/2867.47	3.49/5.45/35	3.49/8.94/13.94	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / gneiss
VES 5	H	04	424.27/247.44/413.16/951.53	3.98/19.93/35	3.98/23.91/58.91	Quazites and alterites / sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES6	H	04	1898.75/1144.16/772.72/2292.14	0.54/35/23	0.54/35.55/58.55	Gneiss / migmatites / Weathered formation / gneiss
VES7	AK	04	1113.05/5737.11/1020.19/3687.43	2.24/11.24/45	2.24/13.48/58.48	Quazites and alterites / gneiss / Weathered formation / gneiss
VES8	AK	04	742.63/6400.85/3376.19/716.44	2.15/25/30	2.15/27.15/57.15	Quazites and alterites / gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES9	AK	04	647.82/4506.53/2575.97/1169.63	1.81/20/35	1.81/21.81/56.81	Quazites and alterites / gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES10	AK	04	762.94/4891.43/964.16/7889.55	1.64/20/37	1.64/21.64/58.64	Quazites and alterites / gneiss / Weathered formation / gneiss
VES11	AK	04	760.89/3934.22/1823.16/3676.49	1.75/20/37	1.75/21.75/58.75	

						Quazites and alterites / gneiss / Weathered formation / gneiss
VES12	KH	04	1087.83/153.84/218.67/2000	4.03/5.87/40	4.03/9.90/49.90	Migmatites /sandy clay /Weathered formation / gneiss
VES13	KH	04	1953.68/287.19/185.18/402.70	4.16/25/30	4.16/29.16/59.16	Migmatites/ gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES14	KH	04	793.64/2940.12/439.03/1181.80	1.50/1.13/48	1.50/2.63/50.63	Quazites and alterites /gneiss / Weathered formation / gneiss
VES15	KH	04	844.62/2023.03/280.14/2300.70	2.15/3/40	2.15/5.15/45.15	Quazites and alterites /gneiss / Weathered formation / gneiss
VES16	H	04	998.56/100/580.34/347.28	2.69/3.88/45	2.69/6.58/51.58	Migmatites /sandy clay / Weathered formation /crack gneiss
VES17	K	04	700/2109.60/1267.18/2680.74	0.93/6.35/40	0.93/7.29/47.29	Quazites and alterites / gneiss / Weathered formation / gneiss
VES18	K	04	929.33/4153.04/674.17/2695.43	2.31/26.82/30	2.31/29.13/59.13	migmatites / Gneiss / Weathered formation / gneiss
VES19	K	04	1754.32/6801.59/3297.86/1180.64	1.78/11.05/45	1.78/12.83/57.83	migmatites/ gneiss / Weathered formation / gneiss
VES20	AK	04	653/1409/1660/717	2.28/5.05/45	2.28 / 7.33/ 52.33	Quazites and alterites / migmatites / Weathered formation /crack gneiss
VES21	KH	04	1014/2905/468/595	1.71/2.64/46.80	1.7/ 4.35/ 51.15	Migmatites / gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES22	KH	05	1131/2517/416/400/1250	1.007/2.76/4.67/40	1.007/ 3.77 /8.44/ 48.44	Migmatites / gneiss /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES23	KH	04	964/142/568/748	5.07/9.48/40.04	5.07/ 14.55/ 54.59	Quazites and alterites / sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES24	AK	04	558/261/1967/155	10.63/10.49/30.45	10.63/21.21/51.57	Quazites and alterites / Weathered formation / gneiss / crack gneiss

VES25	KH	03	1495/249/764	7.09/43.06	7.09/50.15	Migmatites / Weathered formation / crack gneiss
VES26	K	03	1444/232/163	8.34/45.80	8.34/54.14	Migmatites / Weathered formation / crack gneiss
VES27	KH	03	1891/490/425	8.50/42.36	8.50/50.86	Migmatites / Weathered formation / crack gneiss
VES28	KH	03	1944/348/2391	14.34/40.79	14.34/55.13	Migmatites / Weathered formation / gneiss
VES29	KH	04	1301/618/269/959	6.22/3.68/14.80	6.22/9.90/24.70	Migmatites / Quazites and alterites // Weathered formation / crack gneiss.
VES30	KH	03	2178/916/2910	16.61/35.36	16.61/51.91	Migmatites / Weathered formation / gneiss
VES31	H	03	126/237/247	14.86/35.50	14.86/50.36	Quazites and alterites / Weathered formation / crack gneiss.
VES32	KH	04	1371/188/330/1197	6.40/13.60/35	6.40/20/55	Migmatites / sandy clay / Weathered formation / crack gneiss.
VES33	KH	03	1122/245/308	6.87/47.36	6.87/54.23	Migmatites / Weathered formation / crack gneiss.
VES34	H	03	1228/313/674156	6.22/23	6.22/29.22	Migmatites / Weathered formation / gneiss
VES35	KH	04	705/1877/395/750	1.017/5.75/25,08	1.017/6.77/31.85	Quazites and alterites /Migmatites / Weathered formation / crack gneiss.
VES36	Q	04	1114.02/288.98/87.51/312.59	3.57/25/30	3.57/28.57/58.57	Migmatites/sandy clay/

						Weathered formation /crack gneiss.
VES37	K	04	1210.29/197.87/342.68/154.93	5.07/25/30	5.07/30.07/60.07	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES38	AK	04	50/86.37/138.75/140.43	0.62/16.29/40	0.62/16.91/56.91	Quazites and alterites /sand clay / Weathered formation / crack gneiss.
VES39	K	04	1488.38/327.51/250.33/545	5.52/15.11/40	5.52/20.62/60.62	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES40	K	04	1275.07/283.07/597.30/273.48	7.07/20/30	7.07/27.07/57.07	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES41	H	04	151.40/293.71/29.92/3000	6.69/20/25	6.69/26.69/51.69	Quazites and alterites /sandy clay / Weathered formation / gneiss
VES42	KH	04	1341.94/159.72/1053.18/200	7.75/20/30	7.75/27.75/57.75	Migmatites / Weathered formation / gneiss/ crack gneiss
VES43	Q	04	204.41/308.66/276.40/843.41	0.93/27.32/32	0.93/28.25/60.25	Quazites and alterites /sandy clay / Weathered formation /crack gneiss
VES44	KH	04	881.31/178.50/137.13/349.42	3.65/28.61/29	3.65/32.25/61.25	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES45	AK	04	84.05/180.46/59.13/297.38	1.56/22.32/30	1.56/23.88/53.88	Quazites and alterites / sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES46	K	04	1014.59/330.68/68.30/379.85	5.76/20/30	5.76/25.76/55.76	migmatites /sand clay / Weathered formation / crack gneiss
VES47	KH	04	295.48/407.19/32.19/185.29	0.87/15/40	0.84/15.84/55.84	Quazites and alterites /sand clay / Weathered formation / crack gneiss
VES48	KH	04	500/709.53/82.49/247.28	0.517/9.57/40	0.517/10.09/50.9	Quazites and alterites /migmatites / Weathered formation / crack gneiss

VES49	H	04	646.19/72.76/120.37/188.83	1.42/20/35	1.42/21.42/56.42	Quazites and alterites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES50	KH	04	1476.81/242.96/100/807.62	4.21/13.19/35	4.21/17.39/52.39	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES51	H	04	1284.12/421.86/780.28/1341.38	3.77/20/35	3.77/23.77/58.77	Migmatites/ clay/ Weathered formation /gneiss
VES52	K	04	500.34/1074.02/141.09/153.71	0.605/10/45	0.605/10.61/55.61	Quazites and alterites /gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES53	KH	04	1500/2136.67/156.82/331.12	1.29/8.05/45	1.29/9.34/54.34	Migmatites/gneiss/ Weathered formation /crack gneiss.
VES54	KH	04	932.88/480.43/63.94/2448.09	3.67/15.81/40	3.67/19.48/59.48	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /gneiss.
VE55	K	04	1325.72/3288.27/178.08/229.36	1.024/6.56/47	1.024/7.58/54.58	Migmatites/gneiss/ Weathered formation /crack gneiss.
VES56	K	04	1064.86/2039.70/2326.14/207.56	2.27/2.26/20	2.27/4.53/6.53	Migmatites/gneiss/ Weathered formation /crack gneiss.
VES57	H	04	423.16/168.84/63.39/109.87	0.60/5.27/45	0.60/5.88/50.88	Quazites and alterites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES58	H	04	162.17/47.79/75.88/168.45	0.749/13.64/45	0.749/14.39/59.39	Quazites and alterites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES59	H	04	3590.15/851.43/281.62/533.63	0.60/5.93/45	0.60/6.53/51.53	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES60	K	04	684.84/1452.15/212.12/55.12	0.941/3.93/22	0.94/4.87/26.87	Quazites and alterites /gneiss / Weathered formation /crack gneiss
VES61	K	04	1171.36/3181.67/411.47/127.33	0.97/2.01/17	0.97/2.98/19.98	Migmatites /gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES62	KH	04	959.32/309.58/63.91/460.72	5.69/20/30	5.69/25.69/55.69	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES63	K	04	1709.70/180/481.44/100.14	7.21/10/40	7.21/17.21/57.21	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES64	H	04	1299.62/1419.88/89.41/186.92	1.024/5/47	1.024/6.02/53.02	Quazites and alterites

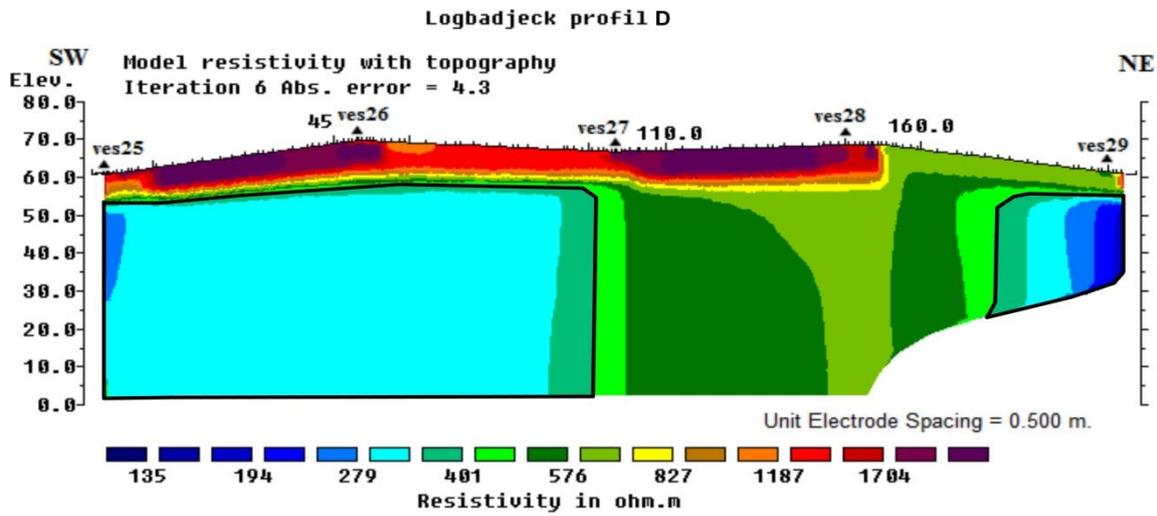
						/Migmatites / Weathered formation / crack gneiss
VES65	H	04	1471.31/71.02/111.98/321.23	1.81/20/35	1.81/21.81/56.81	Quazites and alterites /Migmatites / Weathered formation / crack gneiss
VES66	H	04	870.20/65.67/1013/2000	2.10/8.51/35	2.10/10.61/45.61	Quazites and alterites /Migmatites / Weathered formation / crack gneiss
VES67	H	04	993.44/47.18/147.31/313.25	0.42/9.79/45	0.42/10.21/55.21	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES68	H	04	10000/937.32/120.68/572.72	0.22/4/47	0.22/4.33/51.23	gneiss /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES69	K	04	2218.55/351.53/126.89/294.27	5.27/12.09/35	5.27/17.36/52.36	gneiss /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES70	K	04	1331.15/2432.59/276.26/97.79	1.27/3.14/35	1.27/4.41/39.41	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / gneiss
VES71	K	04	900/1818.88/238.81/150.82	0.95/6.85/13	0.95/7.80/20.80	Migmatites /gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES72	Q	04	1186.80/210.05/65.14/542.80	2.62/17.33/38	2.62/19.95/57.95	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation /crack gneiss.
VES73	Q	04	4041.58/1048.56/206.18/324.60	1.28/13.35/45	1.28/14.62/59.62	Gneiss/Migmatites/ Weathered formation /crack gneiss.
VES74	Q	04	5528.48/1525.76/365.96/101.05	0.24/6.36/47.71	0.24/6.6/54.32	Gneiss/Migmatites/ Weathered formation /crack gneiss.
VES75	KH	04	14959/1434.85/91.57/423.90	0.304/10.80/45	0.30/11.11/56.11	Migmatites/gneiss/ Weathered formation /crack gneiss.
VES76	K	04	133.15/1577.57/348.31/270.99	0.33/2/56.13	0.33/2.34/58.46	Quazites and alterites /gneiss / Weathered formation / crack gneiss
VES77	K	04	326.73/1031.12/178.67/222.68	0.249/10.32/50.53	0.249/10.57/61.11	Quazites and alterites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES78	KH	04	1016.90/1091.78/171.59/254.44	3.84/10/45	3.84/13.84/58.84	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES79	Q	04	168821/1601.03/61.37/124.64	0.187/15.01/40	0.187/15.19/55.19	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / crack gneiss
VES80	Q	04	2901.85/2347.33/326.16/97.63	1.86/9.74/45	1.86/11.60/56.60	Migmatites / gneiss / Weathered formation / crack gneiss

## Annexe 5 : Epaisseur du stérile et Résistivité du toit du socle

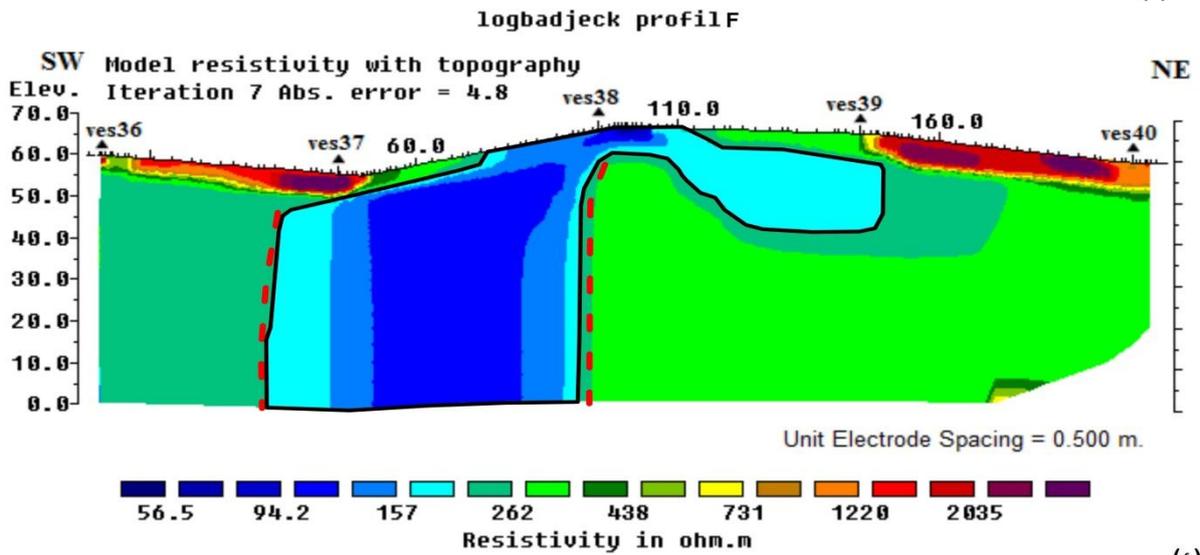
Tableau 4 : Epaisseur du stérile et Résistivité du toit du socle

Stations	Y Latitude (UTM32N)	X Longitude (UTM32N)	Epaisseur du Stérile (m)	Résistivité du toit du socle ( $\Omega$ .m)	Stations	Y Latitude (UTM32 N)	X Longitude (UTM32N)	Epaisseur du Stérile (m)	Résistivité du toit du socle ( $\Omega$ .m)
VES1	437506	619031	2	719	VES41	437794	618909	2	151
VES2	437546	619062	2	544	VES42	437830	618927	9	159
VES3	437556	619027	2	504	VES43	437862	618987	19	276
VES4	437561	619102	3,98	618	VES44	437887	619044	2,49	881
VES5	437604	619130	2,02	424	VES45	437929	619127	5	180
VES6	437628	619175	0	1898	VES46	437939	619111	8,61	1014
VES7	437649	619221	0	1113	VES47	437868	618930	2	295
VES8	437687	619264	2	6400	VES48	437865	618953	2	500
VES9	437725	619309	1,78	4506	VES49	437909	619011	1,45	646
VES10	437751	619349	2	4891	VES50	437952	619041	5,14	1476
VES11	437765	619372	1,11	3934	VES51	437964	619074	0	1284
VES12	437607	619066	2	153	VES52	437890	618895	0,75	500
VES13	437644	619106	2,15	287	VES53	437898	618914	0	156
VES14	437642	619081	5	793	VES54	437932	618910	11,3	63
VES15	437660	619136	0	844	VES55	437984	618991	2,01	1325
VES16	437701	619174	5	1600	VES56	437998	619036	0	1064
VES17	437716	619232	0,75	2109	VES57	437912	618841	3,84	423
VES18	437741	619266	1,66	4153	VES58	437948	618878	0,75	162
VES19	437780	619305	0	6801	VES59	437970	618906	3,84	851
VES20	437700	619097	1,65	653	VES60	438011	618968	0,75	684
VES21	437725	619141	0	1014	VES61	438021	619011	0	1117
VES22	437760	619179	3,22	2517	VES62	437937	618796	0	959
VES23	437789	619222	1,26	1010	VES63	437975	618853	0	1709
VES24	437823	619264	0	1967	VES64	438000	618893	0	1299
VES25	437737	619064	0	1495	VES65	438038	618942	0	1472
VES26	437775	619116	0	1444	VES66	438060	618967	2	993
VES27	437794	619151	0	1891	VES67	437999	618769	1	993
VES28	437822	619203	0	1944	VES68	438007	618806	0	937
VES29	437846	619238	0	1601	VES69	438047	618849	0,75	2218
VES30	437734	618993	2	916	VES70	438067	618888	0	1330
VES31	437761	619034	2	126	VES71	438087	618921	0,75	1018
VES32	437774	619055	6,54	188	VES72	438052	618778	0	1188
VES33	437815	619115	0	1122	VES73	438073	618823	0	4041
VES34	437835	619159	0,75	1228	VES74	438090	618859	0	5528
VES35	437879	619196	0	1877	VES75	438117	618886	0	1434
VES36	437813	619002	3,31	288	VES76	438062	618725	1	1577
VES37	437830	619035	2	197	VES77	438078	618749	0	1031
VES38	437873	619099	8,17	50	VES78	438100	618773	0,75	1016
VES39	437887	619105	0	1488	VES79	438122	618826	0	1601
VES40	437916	619151	0	1275	VES80	438156	618855	0	2901

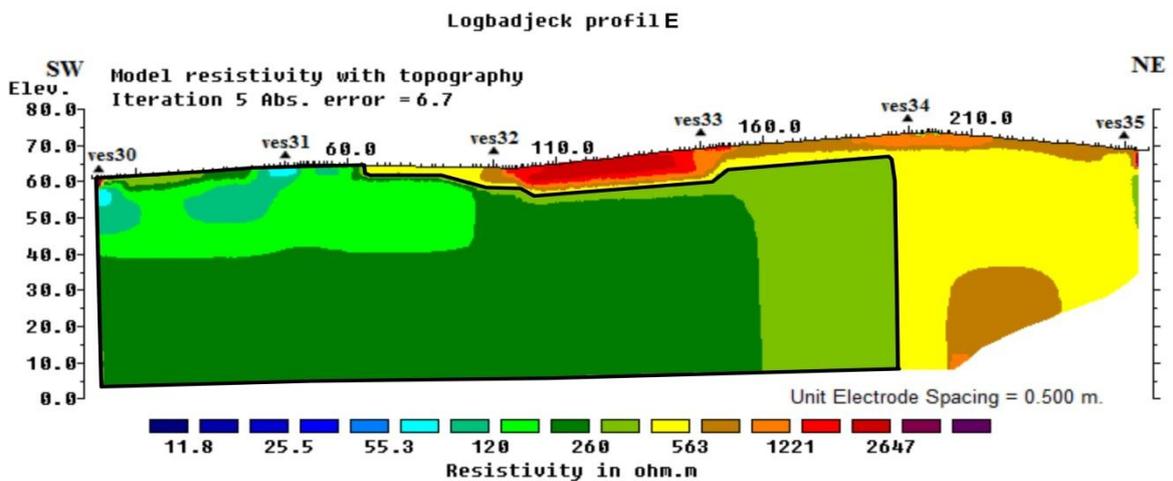
Annexe 6 : Section 2D



(d)

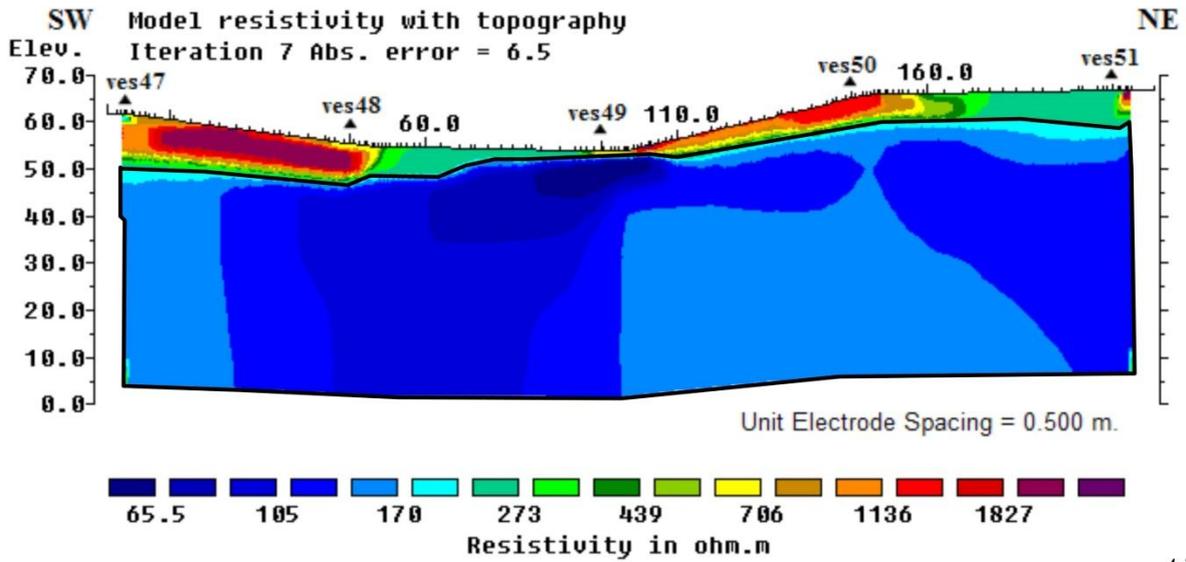


(f)



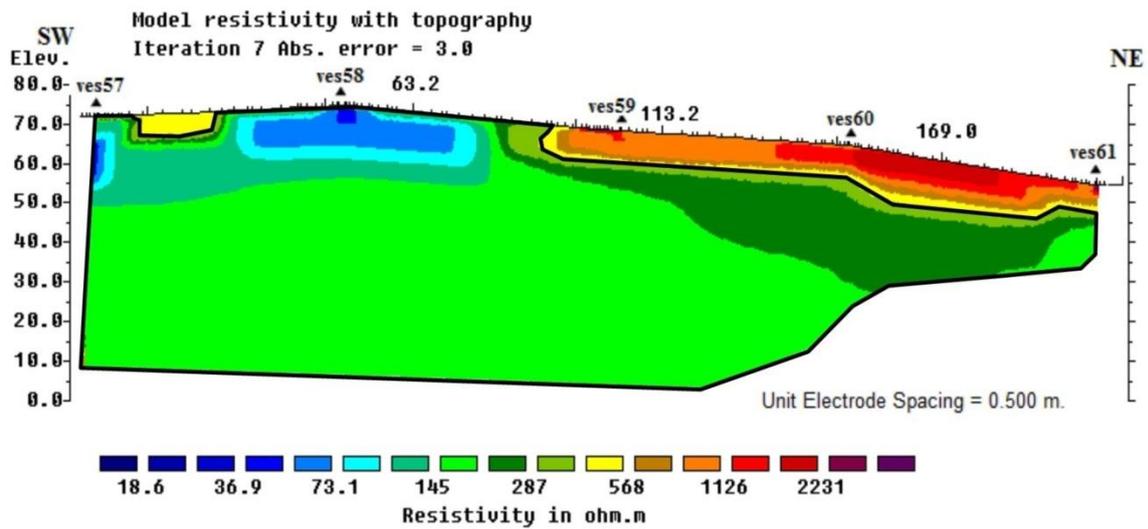
(e)

logbadjeck profil H



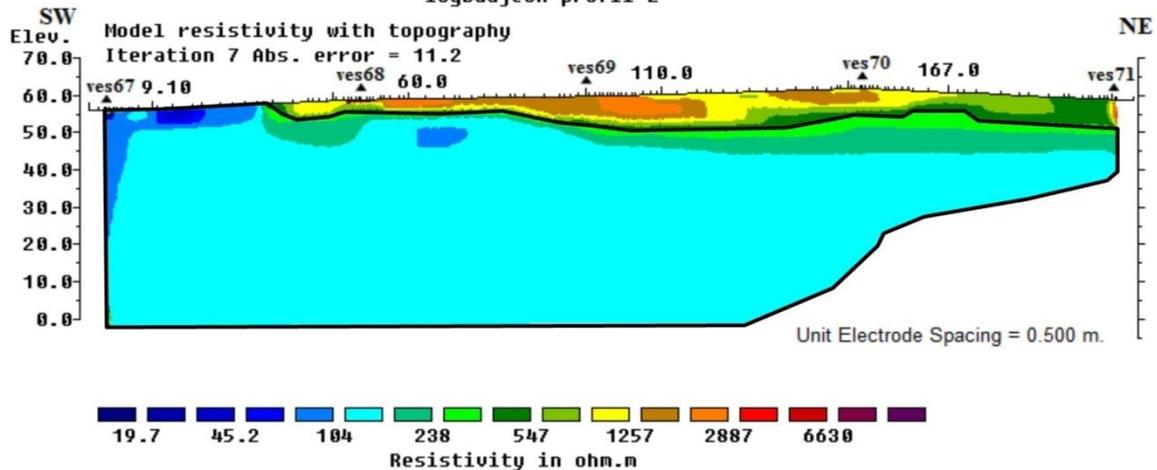
(h)

"logbadjeck profil J"



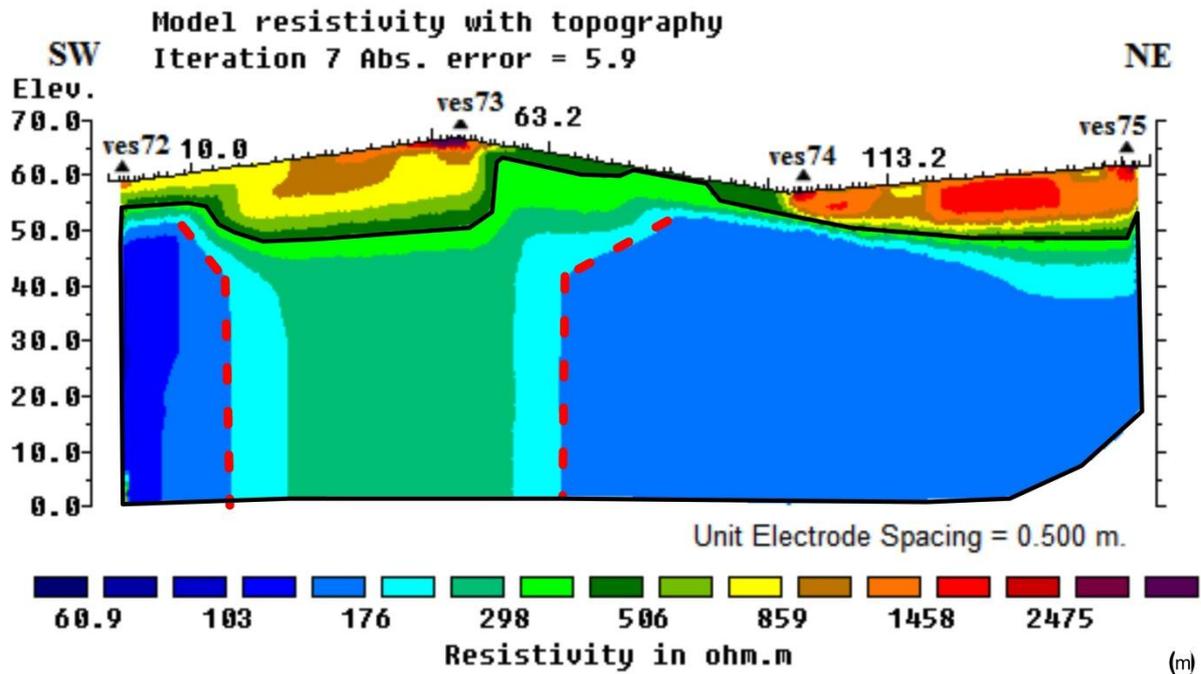
(j)

"logbadjeck profil L"



(l)

### logbadjeck profil M



### Annexe 7 : paramètres de Dar Zarrouk

Tableau 5 : Résumé des paramètres électriques et hydrauliques de l'aquifère

VES	$\rho_b$ ( $\Omega.m$ )	h(m)	S ( $\Omega^{-1}$ )	T ( $\Omega m^2$ )	K (m/day)	$T_r$ ( $m^2/day$ )	Rc	Fc
VES1	317,25	58	0,1828	18400,5	1,793	103,994	-0,387	0,441
VES2	149,15	43.63	0,2925	6507,4	3,625	158,158	-0,569	0,273
VES3	269,68	45	0,1668	12135,6	2,086	93,87	0,333	2
VES4	167,56	35	0,2088	5864,6	3,252	113,82	-0,573	0,27
VES5	413,16	35	0,0847	14459,5	1,401	49,035	0,210	1,669
VES6	772,72	23	0,0297	17772,5	0,781	17,963	-0,193	0,675
VES7	1020	45	0,0441	45900	0,603	27,135	-0,698	0,177
VES8	3376,19	30	0,0088	101285,7	0,195	5,85	-0,309	0,527
VES9	2575,9	35	0,0135	90156,5	0,254	8,89	-0,272	0,571
VES10	964,16	37	0,0383	35673,92	0,635	23,495	-0,670	0,197
VES11	1823,16	37	0,0202	67456,92	0,350	12,95	-0,366	0,463
VES12	218,67	40	0,1829	8745,6	2,537	101,48	0,174	1,421
VES13	185,18	30	0,1620	5554,5	2,963	88,89	-0,215	0,644
VES14	439,03	48	0,1093	21073,4	1,324	63,552	-0,740	0,1493
VES15	280,14	40	0,1427	11205,6	2,013	80,52	-0,756	0,138
VES16	580,34	45	0,0775	26115,3	1,020	45,9	0,706	5,80
VES17	1267,18	40	0,0315	50687,2	0,492	19,68	-0,249	0,6
VES18	674,17	30	0,0444	20225,1	0,887	26,61	-0,720	0,162
VES19	3297,86	45	0,0136	148403,7	0,201	9,045	-0,346	0,484
VES20	1660	45	0,0271	74700	0,380	17,1	0,081	1,178
VES21	468	46.80	0,1	21902,4	1,247	58,359	-0,722	0,161

VES22	400	40	0,1	16000	1,444	57,76	-0,019	0,961
VES23	568	40,04	0,0704	22742,72	1,041	41,681	0,6	5
VES24	261	10,49	0,0401	2737,89	2,15	22,553	-0,417	0,467
VES25	249	43,06	0,1729	10721,9	2,247	96,755	-0,714	0,166
VES26	232	45,80	0,1974	10625,6	2,401	109,965	-0,723	0,160
VES27	490	42,36	0,0864	20756,4	1,195	50,620	-0,588	0,259
VES28	348	40,79	0,1172	14194,92	1,645	67,099	-0,696	0,179
VES29	269	14,80	0,0550	3981,2	2,091	30,946	-0,393	0,435
VES30	916	35,36	0,0386	32389,76	0,666	23,549	-0,407	0,420
VES31	237	35,50	0,1497	8413,5	2,353	83,531	0,305	1,88
VES32	330	13,60	0,0412	4488	1,728	23,50	0,274	2,796
VES33	245	47,36	0,1933	11595,8	2,282	108,075	-0,641	0,218
VES34	313	23	0,0734	7199	1,816	41,768	-0,593	0,254
VES35	395	25,08	0,0653	9906,6	1,461	36641	-0,652	0,210
VES36	87,51	30	0,3428	2625,3	5,962	178,86	-0,535	0,30
VES37	342,68	30	0,0875	10280,4	1,668	50,04	0,267	1,731
VES38	138,75	40	0,2882	5550	3,878	155,12	0,232	1,60
VES39	250,33	40	0,1597	10013,2	2,236	89,44	-0,133	0,76
VES40	597,30	30	0,0522	17919	0,993	29,79	0,356	2,11
VES41	29,92	25	0,8355	748	16,226	405,65	-0,815	0,101
VES42	159,72	20	0,1252	3194,4	3,401	68,02	-0,787	0,119
VES43	276,40	32	0,1157	8844,8	2,039	65,248	-0,055	0,895
VES44	137,13	29	0,2114	3976,77	3,921	113,70	-0,131	0,768
VES45	59,13	30	0,5073	1773,9	8,594	257,82	-0,506	0,327
VES46	68,30	30	0,4392	2049	7,514	225,42	-0,657	0,206
VES47	32,19	40	1,24	1287,6	15,156	606,24	-0,853	0,079
VES48	82,49	40	0,4849	3299,6	6,300	252	-0,791	0,116
VES49	120,37	35	0,2907	4212,95	4,314	150,99	0,246	1,654
VES50	100	35	0,35	3500	5,264	184,24	-0,416	0,411
VES51	780,28	35	0,0448	27309,8	0,774	27,09	0,298	1,849
VES52	141,09	45	0,3189	6349,05	3,818	171,81	-0,767	0,131
VES53	156,82	45	0,2869	7056,9	3,490	157,05	-0,863	0,073
VES54	63,94	40	0,6255	2557,6	7,99	319,6	-0,765	0,133
VES55	178,08	47	0,2639	8369,76	3,0745	144,501	-0,897	0,054
VES56	2326,14	20	0,0085	46522,8	0,279	5,58	0,065	1,140
VES57	63,39	45	0,7098	2852,55	8,054	362,43	-0,454	0,375
VES58	75,88	45	0,5930	3414,6	6,810	306,45	0,227	1,588
VES59	281,62	45	0,1597	12672,9	2,004	90,18	-0,502	0,330
VES60	212,12	22	0,1037	4666,64	2,610	57,42	-0,745	0,146
VES61	411,47	17	0,0413	6994,99	1,407	23,919	-0,77	0,129
VES62	63,91	30	0,4694	1917,3	7,993	239,79	-0,657	0,206
VES63	481,44	40	0,0830	19257,6	1,215	48,6	0,455	2,674
VES64	89,41	47	0,5256	4202,27	5,844	274,66	-0,881	0,062
VES65	111,98	35	0,3125	3919,3	4,737	165,79	0,223	1,576
VES66	65,67	8.51	0,1295	558,8	7,793	66,31	-0,859	0,075
VES67	147,31	45	0,3054	6628,95	3,668	165,06	0,514	3,122
VES68	120,68	47	0,3894	5671,96	4,417	207,59	-0,771	0,128
VES69	126,89	35	0,2758	4441,15	4,215	147,52	-0,469	0,360
VES70	276,26	35	0,1266	9669,1	2,040	71,4	-0,796	0,113
VES71	238,81	13	0,0544	3104,53	2,337	30,381	-0,767	0,131
VES72	65,14	38	0,5833	2475,32	7,852	298,376	-0,52	0,310

VES73	206.18	45	0.2203	9278.1	2.680	120.6	-0.671	0.196
VES74	365.96	47.71	0.1303	17459.9	1.569	74.856	-0.613	0.239
VES75	91.57	45	0.4914	4120.6	5.715	257.17	-0.88	0.063
VES76	348.31	56.13	0.1611	19550.64	1.643	92.221	-0.638	0.220
VES77	178.67	50.53	0.2828	9028.1	3.181	160.735	-0.704	0.173
VES78	171.59	45	0.2622	7721.5	3.181	143.145	-0.728	0.157
VES79	61.37	40	0.6517	2454.8	8.301	332.04	-0.926	0.038
VES80	326.16	45	0.1379	14677.2	1.7475	78.637	-0.756	0.138

**Annexe 8 : Fiche de sondage électrique vertical (station Ves20)**

# BEIG3

**SONDAGE GEO-ÉLECTRIQUE TYPE  
SCHLUMBERGER**

SITE:	Edéa-Lochajock		Latitude(UTM)	32N0619097
DATE:	28/04/2017		Longitude(UTM)	437700
LAYON N°:	C		Altitude (m)	45
SONDAGE N°:	Ves20			
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)		
1,5	0,5	624		
2,1	0,5	693		
3	0,5	783		
4,4	0,5	912		
6,3	0,5	999		
9,1	0,5	948		
13,2	0,5	1043		
19	0,5	850		
27,5	0,5	1471		
33	0,5	1736		
40	0,5	1578		
13,2	5	520		
19	5	353		
27,5	5	338		
33	5	307		
40	5	287		
50	5	294		
58	5	301		
70	5	284		

83	5	276			
100	5	275			
58	25	336			
83	25	313			
120	25	301			
140	25	300			



# Delineation of groundwater potential zones in Logbadjeck, Cameroun: an integrated geophysical and geospatial study approach

N. Tepoule<sup>1</sup> · J. V. Kenfack<sup>2</sup> · E. Ndikum Ndoh<sup>3</sup> · F. Koumetio<sup>4</sup> · C. Tabod Tabod<sup>1,5</sup>

Received: 2 January 2020 / Revised: 27 January 2021 / Accepted: 6 March 2021  
© Islamic Azad University (IAU) 2021

## Abstract

The locality of Logbadjeck, located in the littoral region of Cameroon, has been investigated using the vertical electrical soundings with a Schlumberger configuration. Eighty vertical electric soundings have been carried out along fourteen profiles oriented in the southwest-northeast direction. The lateral and vertical variations of resistivity in the area were mapping and made it possible to infer the internal structure and determine the presence of aquifers in order to solve the problem of drinking water in the study area. Resistivity maps highlighted the conducting properties of the subsoil. This zone is made up of 3 to 5 layers and the Vertical Electrical Sounding curves obtained were of the KH, K, H, AK and Q types. The resistivity generally varied between 11  $\Omega\cdot\text{m}$  and 8131  $\Omega\cdot\text{m}$  and decrease with increasing depth. In addition, areas with discontinuities which can be associated to a fracture, a zone of water infiltration or a very conducting body were also identified and could be potential zones for groundwater prospecting. The very resistive bodies observed in the study area suggest the presence of gneiss. The subsoil of the study area, in turn, highlights the presence of two principal aquifers: shallow aquifers at depths of approximately 6 m and deep aquifers lying between 28 and 56 m of depth. Hydraulic conductivity ranges from 0.1 m/day to 16 m/day while transmissivity ranges from 5  $\text{m}^2/\text{day}$  to 600  $\text{m}^2/\text{day}$ . The transmissivity results obtained show that the study area is rated low to moderate groundwater potentials. The longitudinal conductance ranging from 0.2  $\Omega^{-1}$  to 1.24  $\Omega^{-1}$  enabled the protective capacity of the aquifer to be classified as moderate to good. The estimated aquifer, protective capacity and the various constructed contour maps, will serve as a useful guide for groundwater exploration and development in the study area.

**Keywords** Logbadjeck · Delineation · Groundwater · Vertical Electrical Soundings · Hydraulic parameter

## Introduction

The problem of potable water supply shortage in the cities of Cameroon as well as those in some African countries is due to the poor water distribution network, strong demographic explosion and the high cost of water. Logbadjeck also faces this situation of poor accessibility to water resources (Nono et al. 2009). The inhabitants here generally resort to rain-water, unmanaged and poorly maintained wells, rivers and springs which are limited in both quality and quantity and are not always guaranteed. Indeed, the current hydraulic structures have low flows and are unevenly distributed.

Inhabitants of logbadjeck practice agriculture which results in population increase and places much demand on limited water supply, a situation that requires an urgent attention. One solution is to properly identify and delineate aquifers in the area through geophysical and geological approaches. Kopa Njueya et al. (2012) used the geoelectric method with a Schlumberger array coupled with drilling to

---

Editorial Responsibility: Parveen Fatemeh Rupani.

---

✉ J. V. Kenfack  
victor.kenfack@univ-dschang.org

<sup>1</sup> Department of Physics, Faculty of Science, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon

<sup>2</sup> Department of Earth Science, Faculty of Science, University of Dschang, P.O. Box.67, Dschang, Cameroon

<sup>3</sup> Department of Fundamental Sciences, Higher Technical Teacher Training College (HTTTC) Bambili, The University of Bamenda, Bamenda, Cameroon

<sup>4</sup> Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Dschang, P.O. Box.67, Dschang, Cameroon

<sup>5</sup> Department of Physics, Faculty of Science, The University of Bamenda, Bamenda, Cameroon



highlight the presence of two main aquifers in the locality of Douala. They identified a superficial aquifer which is exploited through wells and a deep aquifer exploited by means of boreholes.

Other authors also used the geoelectric method to search for groundwater resources (Teikeu et al. 2012; Keleko Anan-fack et al. 2013; Obiora et al. 2015; Obiora et al. 2017b, a; Meying et al. 2018; Anosike et al. 2019; Kana Idriss et al. 2019). However, none has carried out any detail study in Logbadjeck as the studies were localized and site specific. Therefore, this work is targeted to assess the spatial distribution of aquifers in the study area based on vertical electrical sounding data, in order to reduce the number of unproductive boreholes.

## Geologic and tectonic settings

### Regional geology

The area is within the Douala basin (Fig. 1) and lies between latitudes 437,600 and 438,200 north and longitudes 618,800 and 619,400 East using the UTM 32 WGS 84 system. Douala basin has three main formations made up of quaternary, tertiary and secondary sediments. Quaternary sediments are

represented by the Wouri Formation. It consist of an unconsolidated sandy unit with intercalations of silts and clays which becomes silty towards the surface in a fluviodeltaic deposit. The sands are coarse grained and sandwiched by ferralitic undurated layers (Martin 1979). Mineralogically, it is characterized by calcium carbonates and clay minerals (Ngueutchoua 1996).

The Tertiary sediments are represented by the Nkapa, Souellaba and Matanda formations. The Matanda Formation of Miocene age is characterized by deltaic deposits. The Souellaba Formation of Oligocene age is composed of black or brown clays with intercalations of clay, sand and gravels. The Nkapa Formation of Eocene and Paleocene age includes two heterogeneous members, Bolondo and Dizangué. This formation consists of arkosic sandstones occasionally showing quartz layers with clay–limestone intercalations which become predominant towards the surface. Bolondo member belongs to the frankly marine domain and Dizangué member represents the continental domain whereby both are separated by the littoral clastic deposits at the margin of the Douala Basin (Regnault 1986).

The secondary formation is represented by the Logbaba, Logbadjeck and Mundeck Formations. The Logbaba formation of Cenomanian age rests unconformable or concordantly on the basal sandstones depending on whether the

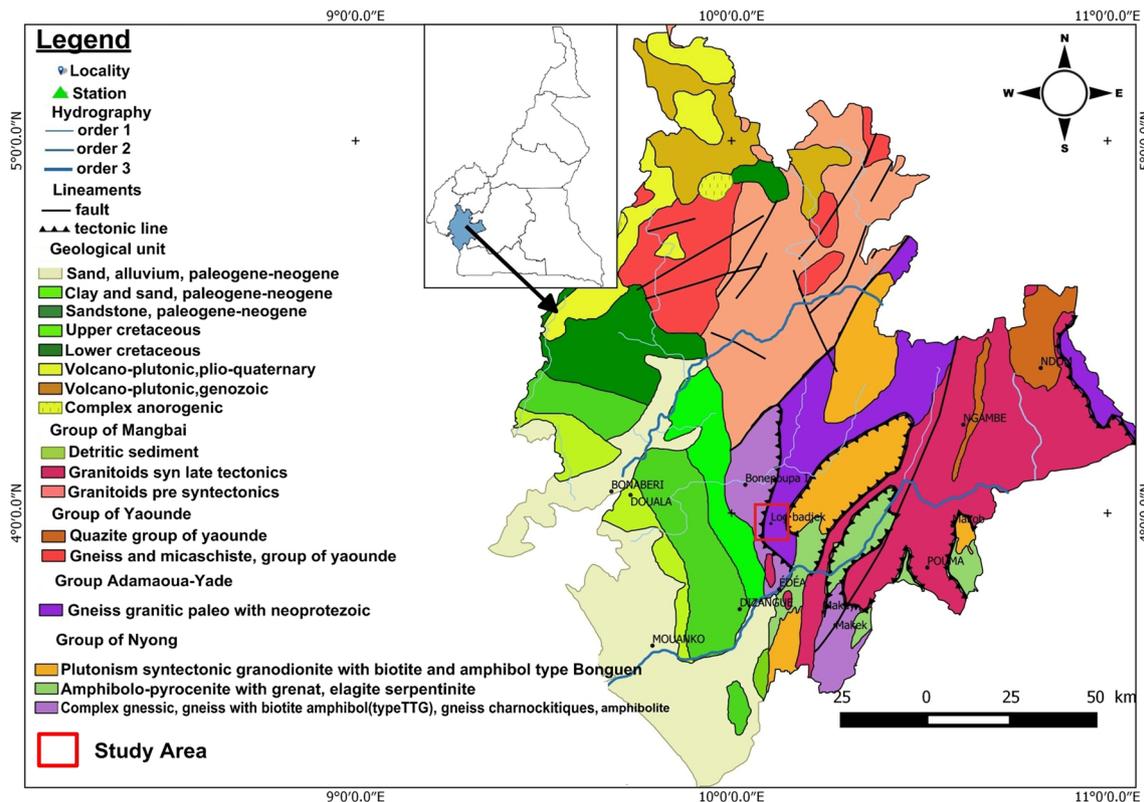


Fig. 1 Geologic map of the coastline and location of the study area (Toteu 2008)

erosional surface exists or not (Dumort 1968; Njiké Ngaha 1984). It consists essentially of sandstone, sand and fossiliferous sandy clays. The basal Mundeck Formation of Albo-Aptian age, lies discordantly on the crystalline basement. It is well exposed in the northern part of the Douala Basin, particularly near Mundeck in the Mungo Valley (Njiké Ngaha 1984). The Logbadjeck Formation, which underlies the other formations, is made up of clays with intercalations of sand and sandstone (Njiké Ngaha 2004; Ntamack Nida et al. 2010). Local geology of the study area is constituted of metamorphic rock namely Migmatite, Gneiss, Quartzite and Braches formations.

## Climate and hydrology

The climate of the study area is a humid tropical climate. It consists of two distinct seasons: a dry season that lasts between November to February and a rainy season which generally lasts from March to October. Average monthly temperatures vary between 24 and 28 °C (Suchel 1987; Feumba et al. 2011). The study area is mainly watered by the Betalang River. Next to it, there is the presence of several rivers and streams that water the surrounding villages.

## Materials and methods

### Data acquisition and interpretation

Geoelectrical data were acquired along fourteen predominantly NE-SW oriented profiles of approximately between 250 and 450 m comprising a total number of 80 stations at 50 m intervals. The Schlumberger array was used. The technique involves injecting electric current into the ground through two current electrodes (AB) in order to measure electric potential between two potential electrodes (MN) whose distances vary with respect to AB. From the measured voltage difference and the current, the resistance is calculated and the apparent electrical resistivity which depends on the configuration used is determined as a function of the depth of penetration (Anterrieu 2006). The resistivity depends on various factors such as fluid quality, saturation, porosity or the temperature of the medium (Zhdanov and 1994). The maximum length of the wires was 280 m and MN was 25 m. This gave an approximate depths of investigation of about 56 m (Roy and Apparao 1971; Banton and Bangoy 1997). The fieldwork was done using the DC resistivimeter Passi. The processing and modeling of geoelectrical data was realized with Res2dinv (2010) software of Geotomo which provides inverse sections of resistivity that reflect the “true” resistivity of the subsurface characteristics of the area (Loke 1994; Loke and Barker 1996). The sounding curves were plotted using Jointem software, version 1.4 (Markku Pirttijärvi 2010). The resistivity maps were produced

to show the spatial variation of resistivities at various depths over the area (Chapellier 2001). Some resistivity measurements were made area existing boreholes to guide the final interpretation.

The resistivity of structures is calculated by applying Eqs. (1) and (2):

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

where

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)}$$

with I, the current injected between the electrodes A and B (in milliamperes),  $\Delta V$  the potential difference between M and N electrodes (in millivolts), k the geometric factor and  $\rho_a$  the apparent resistivity (in Ohm meter). The spatial distribution of Vertical Electrical Sounding (VES) stations and bore well points used in the study area are presented in Fig. 2. A total of three bore wells were drilled at a depth of 20 m.

### Estimating aquifer hydraulic properties

Longitudinal conductance (S) and transverse resistance (T), given, respectively, by Eqs. (3) and (4) are of prime significance in the development of interpretation theory for VES data. The hydraulic conductivity (K) was estimated using Eq. 5 (Heigold et al. 1979). The aquifer transmissivity (Tr) is obtained using Eq. 6 (Niwas and Singhal 1981). The reflection coefficient (Rc) and fractured contrast (Fc) were calculated using Eqs. 7 and 8, respectively (Obiora et al. 2015).

$$S = \frac{h}{\rho} \quad (3)$$

$$T = h\rho \quad (4)$$

$$K = 386.40 \rho_b^{-.93283} \quad (5)$$

$$T_r = K\sigma T = \frac{KS}{\sigma} = Kh \quad (6)$$

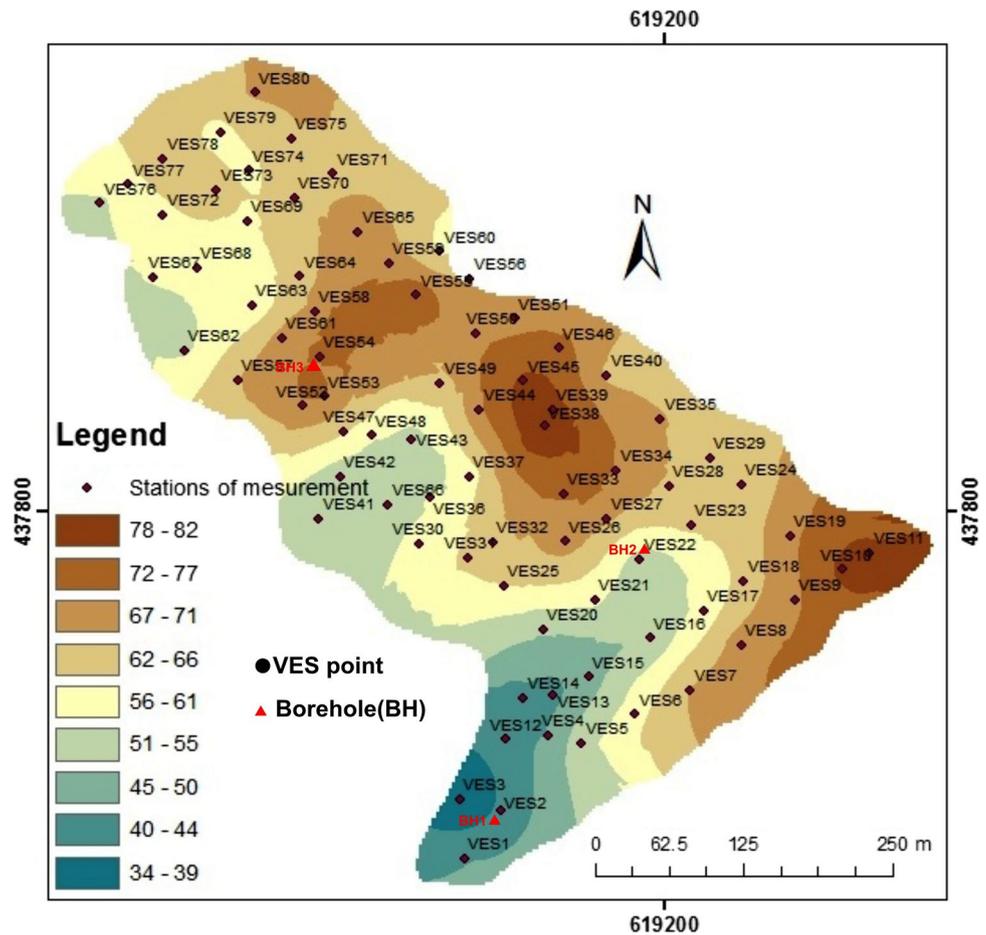
$$R_C = \frac{\rho_n - \rho_{n-1}}{\rho_n + \rho_{n-1}} \quad (7)$$

$$F_C = \frac{\rho_n}{\rho_{n-1}} \quad (8)$$

,where  $h$  is the layer thickness in meters,  $\rho$  is the electrical resistivity of the layer in ohmmeters,  $\rho_b$  is the aquifer



**Fig. 2** Topographic map showing eighty stations of measurement for Vertical Electrical Sounding (VES) and borehole points (BH)



resistivity,  $\sigma$  is the electrical conductivity,  $S$  is the longitudinal conductance,  $T$  is the transverse resistance,  $\rho_n$  is the resistivity of the  $n$ th layer and  $\rho_{n-1}$  is the layer resistivity overlying the  $n$ th layer.

## Results and discussion

### Results

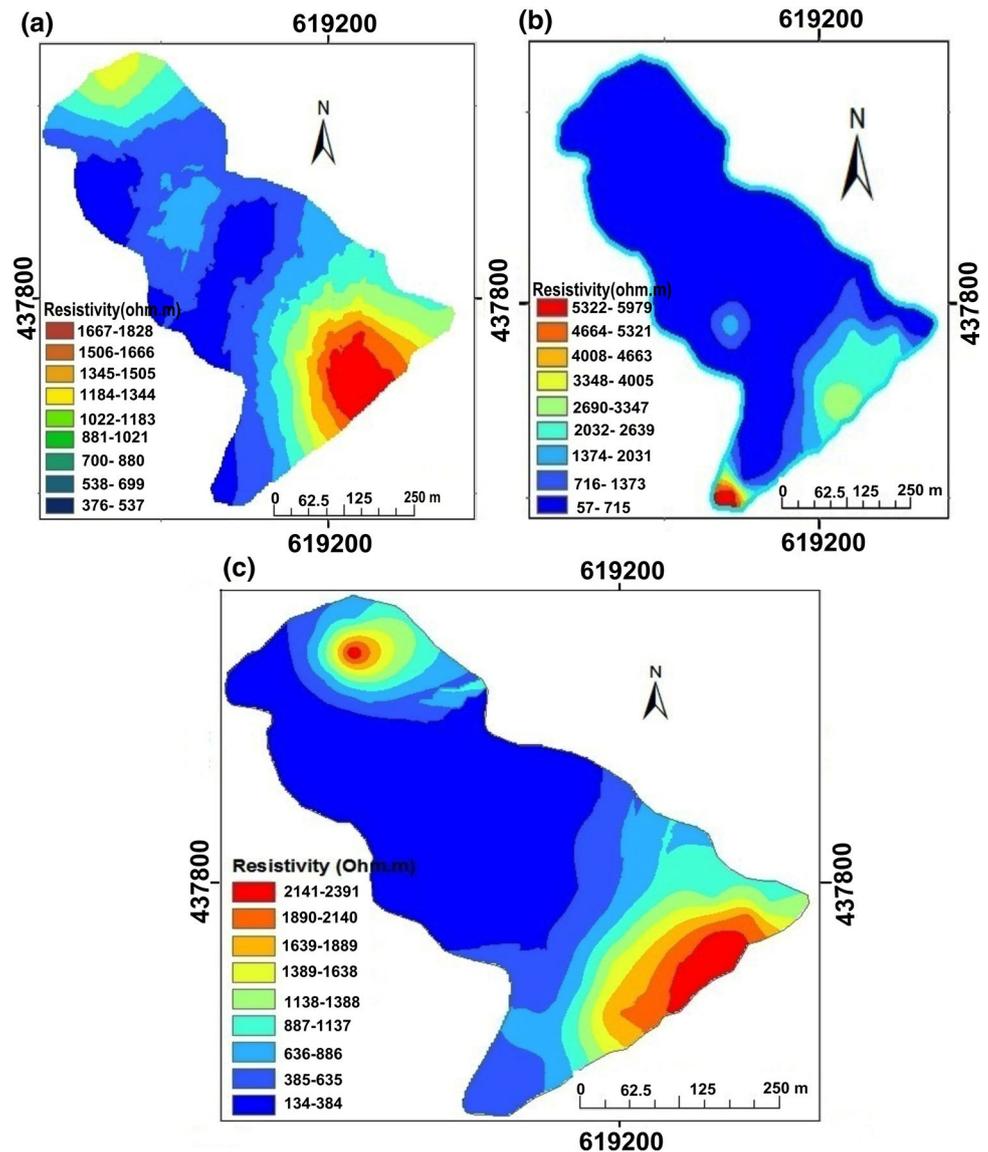
#### Resistivity map

The resistivity maps (Fig. 3) show in general the variation in resistivity at different depths in the study area. At the depth of 5.28 m, apparent resistivity ranges between 376 and 1828  $\Omega \cdot m$  (Fig. 3a) with an unequal spatial distribution. The presence of two resistive bodies is distinguished mainly towards the NW and SE sectors. However, amongst the mentioned bodies of high resistivity, the presence of low resistivity is observed in the Central Sector and could be assimilated to an area of discontinuity. This discontinuity

could be due to the intrusion of material in an area of high resistivity or to a potential superficial aquifer zone which could be exploited through bore wells. At the depth of 28 m (Fig. 3b), the apparent resistivity varies between 57 and 5979  $\Omega \cdot m$ . Central, western and NW sectors of study area is distinguishable with a resistivity that translate very conductive area with resistivity below than 700  $\Omega \cdot m$ , clearly in contrast with the South and South-East sectors of the map which is marked by the presence of a very high resistivity that varies between 1374 and 5979  $\Omega \cdot m$ . In general, at 28 m of depth, resistivity decreases from the South and South-East sectors towards the central, western and NW area that may show the direction of flow and accumulation of fluids or liquids. It also appears that the conductive zones, also seen at the depth of 5.28 m, widens progressively with depth to occupy almost the entire central, western and NW areas at the depth of 28 m. Similarly, the South sector which is very conductive at the depth of 5.28 m becomes very resistive at the depth of 28 m. Figure 3c shows the presence of two major resistant sectors to the South-East and N whose resistivities vary between 800 and 1828  $\Omega \cdot m$ . Apart from the two above-mentioned resistive poles, the map presents on its major part a very conductive domain which is clearly



**Fig.3** Spatial variations of apparent resistivity in the study area. **a** Resistivity maps at 5.28 m of depth, **b** resistivity maps at 28 m of depth, **c** resistivity maps at 56 m of depth



distinguishable by its contrast. It also appears that the very resistant pole identified in the South sector as described at 28 m becomes very conductive at 56 m of depth. This may indicate the presence of a potentially deep aquifer zone which could be exploited through drilling. From the apparent resistivity maps at depths of 5.28 m, 28 m and 56 m, it appears that there is a resistivity range greater than or equal to 5979  $\Omega$  m for maps with depths of 28 m and 56 m and greater than or equal to 1828  $\Omega$  m for those with a depth of 5.28 m. The peak of resistivity is then located at the depths of 28 m and 56 m.

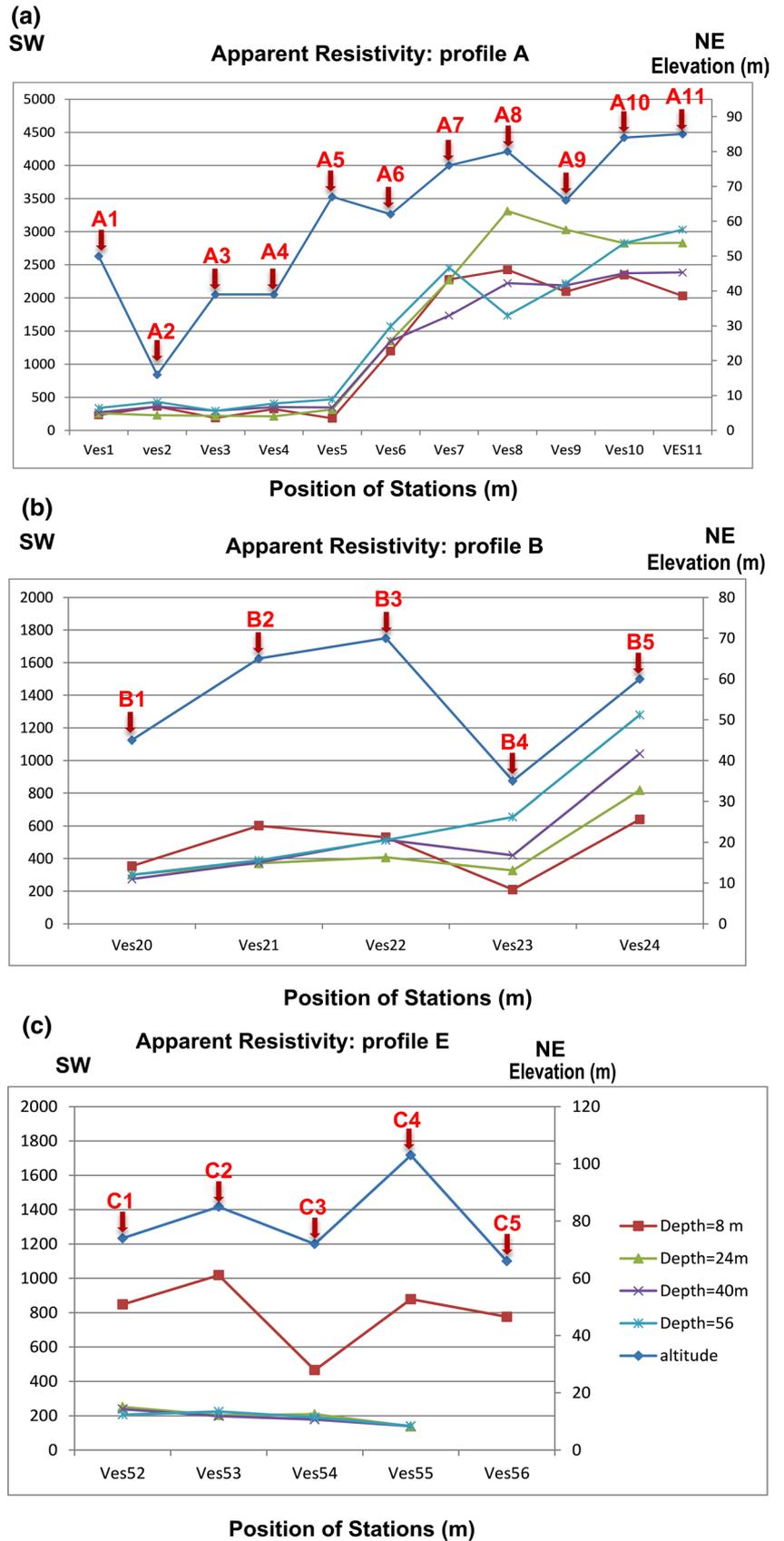
### Analysis of apparent resistivity profiles

The geoelectric resistivity profiles (Fig. 4) show a decreasing evolution of the resistivity towards the deeper structures.

In general, the profiles have alternations of maximum and minimum values of resistivity giving a saw tooth appearance to the said profiles. These forms of profiles show a stratification of the layers and show that the subsoil is affected in some places by an overlapping process (Ndougsa-Mbarga et al. 2013).

The profile "A" (Fig. 4a) shows that almost all the resistivities between A1 and A5 are below 500  $\Omega$  m. This is a proof that the near-surface is stratified with different structures and at depth, the structures are very conductive. The topography with altitude around 200 m shows that the anomaly observed particularly around A5 could be identified to a gradient zone characterized by a resistivity growth reaching 3400  $\Omega$  m in A8. This gradient zone would be a deeper zone of water infiltration at a depth of 56 m. From A5 to A11, there is a gradual increase in resistivity up to

**Fig. 4** Geoelectric resistivity profiles A, B and C at different depth and their relations with altitude



3400  $\Omega$  m which indicates the presence of a very resistant zone. From A5 to A11 there is a gradual increase in resistivity up to 3400  $\Omega$  m which indicates the presence of a very resistant zone.

The profile "B" (Fig. 4b) presents in the near-surface below than 8 m of depth, a discontinuity characterized by an increase of resistivity between B1 and B2 to a maximum of 600  $\Omega$  m, followed by a phase with a progressive decrease of resistivity to 200  $\Omega$  m between B2 and B4. Looking at the depths of 24 m and 40 m, there is a slight increase in resistivity between B1 and B3, followed by a decrease in resistivity between B3 and B4 to a minimum of 300  $\Omega$  m, and an increase between B4 and B5 to a maximum of 1000  $\Omega$  m. At 48 m depth, a progressive resistivity growth is observed between B1 and B4 to a peak of 1300  $\Omega$  m in B5. The drop in resistivity between B3 and B5 could thus characterize a zone of water infiltration at a depth of 56 m in B4. The topography observed with altitude below than 35 m shows that the anomaly observed around B4 is highly conductive for surface structures with resistivities around 200  $\Omega$  m and for deep structures with resistivities around 650  $\Omega$  m. It could identify with a drop zone or a potential aquifer accumulation zone.

Regarding the profile "C" (Fig. 4c), one can noted in the near-surface, a discontinuity characterized by a high resistivity growth between C1 and C2 to a maximum of 1000  $\Omega$  m; followed by a phase with a gradual decrease in resistivity between C2 and C3 to a minimum of 500  $\Omega$  m. Finally, there is a resistivity growth between C3 and C4. The drop in resistivity between C2 and G4 could thus characterize shallow zone of water infiltration around G3 distance at 8 m depth. Profile C clearly shows that at depths of 24 m, 40 m and 56 m, there are highly conductivity structures with resistivities around 200  $\Omega$  m.

## 1D Inversion

Eighty Vertical Electrical Sounding carried out in the study area, made it possible to establish 80 sounding curves (Table 1) which are grouped into 5 major types, namely the KH, K, H, AK and Q types with a dominance of KH. The KH types curves generally characterize the existence of mega-fractures. From these, it appears that the study area, in general, has 3, 4 and 5 layers considering the depth of investigation. These curves in general, highlight the presence of clay with resistivities between 200 and 400  $\Omega$  m on almost the entire site which would probably explain the conductive nature of the subsoil of the study area.

The geoelectrical section in the study area (Fig. 5) shows five distinct layers namely Migmatites, sandy clay, Weathered formation, crack gneiss, gneiss. The first geoelectric layer is made up of Quazites and alterites and Migmatites with apparent resistivity value ranging from 50 to 2325  $\Omega$ m,

while its thickness varies between 0.5 and 3.6 m. The second layer is made up of sandy clay and gneiss. The resistivity of sandy clay overburden range from 65 to 544  $\Omega$ m with thickness range of 2.7–16 m while the gneiss material has resistivity of 2517  $\Omega$ m. The third and fourth geoelectrical layers represent the aquifer unit of the study area. The resistivity of the third layer which is weathered formation range from 63 to 400  $\Omega$ m with thickness ranging from 4.6 to 43 m. The fifth layer is made up of gneiss with resistivity values ranging from 2000 to 7800  $\Omega$ m. These layers were interpreted as bedrock. The litho-logs were compared with the geoelectric sections for areas close to borehole points. The correlation was based on the fact that when the boundaries of the litho-log do not coincide with the boundaries of different resistivity the litho-log differs from a geoelectric log. Globally, The resistivities obtained by the electrical soundings correspond to conductive formations in almost all the sites.

## 2D Inversion of resistivity

Profile A (Fig. 6a) revealed the presence of two main areas: one is made of low resistivity values ranging from 100  $\Omega$  m to 500  $\Omega$  m, located at electrodes position lying from 0 to 200 m. The second is made of high resistivity values ranging from 1034  $\Omega$  m to 2700  $\Omega$  m, localized between 200 and 450 m of electrodes distance. This high resistivity area is associated to gneiss blocks that constitute the bedrock formation. A close look over this section shows a gradient zone lying from 150 to 200 m of electrodes distance separating these two main areas. It represent the transition zone between conductive and resistive structures. This transition zone is constituted with quartz filled cracks in the laterite. Within the low resistivity area, highly conductive structural anomaly is observed lying between electrodes position of 10 to 160 m and resistivity values ranging from 35 to 200  $\Omega$  m. These conductive structures sink from 3 m below the sub-surface to 60 m depth. They correspond to the weathered and saturated gneiss indicating a potential groundwater target. Two probable fractures with a vertical or N-S general tend red dashed lines are identified. In order to validate the interpreted results, a bore well (BW1) was drilled at a distance of 45 m from the starting point of the profile. The bore well penetrates the weathered formation and reaches up to 20 m depth. This bore well reveals the presence of formation such as migmatites, sandy clay, weathered formation and crack gneiss on this profile.

Profile B (Fig. 6b) clearly shows a layer of resistive materials at near-surface with high resistivity value ranging from 1147 to 8131  $\Omega$  m. One can also observe the presence of two highly conductive structures: an outcrops conductive body lying between electrodes position of 0 to 20 m with resistivity value ranging from 108 to 300  $\Omega$  m, sinking to the final depth and a highly conductive core lying between



**Table 1** Characteristics of each Vertical Electrical Sounding

VES	Curve type	Number of layers	Resistivity ( $\rho_1/\rho_2.../\rho_n$ )( $\Omega.m$ )	Thickness ( $h_1/h_2.../h_n$ ) (m)	Depth ( $p_1/p_2.../p_n$ ) (m)	Rock type
VES1	H	04	3018.64/719.12/317.25/808.68	0.55/1.21/58	0.55/1.77/59.77	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES2	KH	04	2325.51/544.45/149.15/773.29	2.40/4.77/43.63	2.40/7.17/50.80	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES3	H	04	504.32/134.80/269.68/1146.88	0.71/5.88/45	0.71/6.59/51.59	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation / gneiss
VES4	KH	04	1526.66/618.70/167.56/2867.47	3.49/5.45/35	3.49/8.94/13.94	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation / gneiss
VES 5	H	04	424.27/247.44/413.16/951.53	3.98/19.93/35	3.98/23.91/58.91	Quazites and alterites/ sandy clay/Weathered formation/crack gneiss
VES6	H	04	1898.75/1144.16/772.72/2292.14	0.54/35/23	0.54/35.55/58.55	Gneiss/migmatites/ Weathered formation/ gneiss
VES7	AK	04	1113.05/5737.11/1020.19/3687.43	2.24/11.24/45	2.24/13.48/58.48	Quazites and alterites/ gneiss /Weathered formation/ gneiss
VES8	AK	04	742.63/6400.85/3376.19/716.44	2.15/25/30	2.15/27.15/57.15	Quazites and alterites/ gneiss/Weathered for- mation /crack gneiss
VES9	AK	04	647.82/4506.53/2575.97/1169.63	1.81/20/35	1.81/21.81/56.81	Quazites and alterites/ gneiss/Weathered for- mation/crack gneiss
VES10	AK	04	762.94/4891.43/964.16/7889.55	1.64/20/37	1.64/21.64/58.64	Quazites and alterites/ gneiss/Weathered formation/gneiss
VES11	AK	04	760.89/3934.22/1823.16/3676.49	1.75/20/37	1.75/21.75/58.75	Quazites and alterites/ gneiss/Weathered formation /gneiss
VES12	KH	04	1087.83/153.84/218.67/2000	4.03/5.87/40	4.03/9.90/49.90	Migmatites /sandy clay / Weathered formation / gneiss
VES13	KH	04	1953.68/287.19/185.18/402.70	4.16/25/30	4.16/29.16/59.16	Migmatites/ gneiss/ Weathered formation / crack gneiss
VES14	KH	04	793.64/2940.12/439.03/1181.80	1.50/1.13/48	1.50/2.63/50.63	Quazites and alterites /gneiss/Weathered formation/gneiss
VES15	KH	04	844.62/2023.03/280.14/2300.70	2.15/3/40	2.15/5.15/45.15	Quazites and alterites /gneiss/Weathered formation/gneiss
VES16	H	04	998.56/100/580.34/347.28	2.69/3.88/45	2.69/6.58/51.58	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES17	AH	04	700/2109.60/1267.18/2680.74	0.93/6.35/40	0.93/7.29/47.29	Quazites and alterites/ gneiss/Weathered formation/gneiss
VES18	K	04	929.33/4153.04/674.17/2695.43	2.31/26.82/30	2.31/29.13/59.13	migmatites/Gneiss/ Weathered formation/ gneiss



**Table 1** (continued)

VES	Curve type	Number of layers	Resistivity ( $\rho_1/\rho_2.../\rho_n$ )( $\Omega.m$ )	Thickness ( $h_1/h_2.../h_n$ ) (m)	Depth ( $p_1/p_2.../p_n$ ) (m)	Rock type
VES19	K	04	1754.32/6801.59/3297.86/1180.64	1.78/11.05/45	1.78/12.83/57.83	migmatites/ gneiss / Weathered formation / gneiss
VES20	AK	04	653/1409/1660/717	2.28/5.05/45	2.28/7.33/ 52.33	Quazites and alterites/ migmatites/Weathered formation /crack gneiss
VES21	KH	04	1014/2905/468/595	1.71/2.64/46.80	1.7/ 4.35/ 51.15	Migmatites/gneiss/ Weathered formation/ crack gneiss
VES22	KH	05	1131/2517/416/400/1250	1.007/2.76/4.67/40	1 .007/ 3.77 /8.44/ 48.44	Migmatites/gneiss / sandy clay/Weathered formation/crack gneiss
VES23	KH	04	964/142/568/748	5.07/9.48/40.04	5 .07/ 14.55/ 54.59	Quazites and alterites/ sandy clay/Weathered formation/crack gneiss
VES24	AK	04	558/261/1967/155	10.63/10.49/30.45	10.63/21.21/51.57	Quazites and alterites/ Weathered formation/ gneiss/crack gneiss
VES25	KH	03	1495/249/764	7.09/43.06	7.09/50.15	Migmatites/Weathered formation /crack gneiss
VES26	K	03	1444/232/163	8.34/45.80	8.34/54.14	Migmatites/Weathered formation/crack gneiss
VES27	KH	03	1891/490/425	8.50/42.36	8.50/50.86	Migmatites/Weathered formation /crack gneiss
VES28	KH	03	1944/348/2391	14.34/40.79	14.34/55.13	Migmatites/Weathered formation/gneiss
VES29	KH	04	1301/618/269/959	6.22/3.68/14.80	6.22/9.90/24.70	Migmatites/Quazites and alterites// Weathered formation /crack gneiss
VES30	KH	03	2178/916/2910	16.61/35.36	16.61/51.91	Migmatites/Weathered formation/gneiss
VES31	H	03	126/237/247	14.86/35.50	14.86/50.36	Quazites and alterites/ Weathered formation / crack gneiss
VES32	KH	04	1371/188/330/1197	6.40/13.60/35	6.40/20/55	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES33	KH	03	1122/245/308	6.87/47.36	6.87/54.23	Migmatites/Weathered formation /crack gneiss
VES34	H	03	1228/313/674,156	6.22/23	6.22/29.22	Migmatites/Weathered formation /gneiss
VES35	KH	04	705/1877/395/750	1.017/5.75/25,08	1.017/6.77/31.85	Quazites and alterites / Migmatites/Weathered formation/crack gneiss
VES36	Q	04	1114.02/288.98/87.51/312.59	3.57/25/30	3.57/28.57/58.57	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES37	K	04	1210.29/197.87/342.68/154.93	5.07/25/30	5.07/30.07/60.07	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss



Table 1 (continued)

VES	Curve type	Number of layers	Resistivity ( $\rho_1/\rho_2.../\rho_n$ )( $\Omega.m$ )	Thickness ( $h_1/h_2.../h_n$ ) (m)	Depth ( $p_1/p_2.../p_n$ ) (m)	Rock type
VES38	AK	04	50/86.37/138.75/140.43	0.62/16.29/40	0.62/16.91/56.91	Quazites and alterites / sand clay/Weathered formation/crack gneiss
VES39	K	04	1488.38/327.51/250.33/545	5.52/15.11/40	5.52/20.62/60.62	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES40	K	04	1275.07/283.07/597.30/273.48	7.07/20/30	7.07/27.07/57.07	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES41	KA	04	151.40/293.71/29.92/3000	6.69/20/25	6.69/26.69/51.69	Quazites and alterites / sandy clay/Weathered formation/gneiss
VES42	KH	04	1341.94/159.72/1053.18/200	7.75/20/30	7.75/27.75/57.75	Migmatites /Weathered formation /gneiss/ crack gneiss
VES43	A	04	204.41/308.66/276.40/843.41	0.93/27.32/32	0.93/28.25/60.25	Quazites and alterites / sandy clay/Weath-ered formation /crack gneiss
VES44	KH	04	881.31/178.50/137.13/349.42	3.65/28.61/29	3.65/32.25/61.25	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES45	AK	04	84.05/180.46/59.13/297.38	1.56/22.32/30	1.56/23.88/53.88	Quazites and alterites/ sandy clay/Weathered formation/crack gneiss
VES46	K	04	1014.59/330.68/68.30/379.85	5.76/20/30	5.76/25.76/55.76	migmatites /sand clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES47	KH	04	295.48/407.19/32.19/185.29	0.87/15/40	0.84/15.84/55.84	Quazites and alterites / sand clay/Weathered formation/crack gneiss
VES48	KH	04	500/709.53/82.49/247.28	0.517/9.57/40	0.517/10.09/50.9	Quazites and alterites / migmatites/Weath-ered formation /crack gneiss
VES49	H	04	646.19/72.76/120.37/188.83	1.42/20/35	1.42/21.42/56.42	Quazites and alterites / sand clay/Weathered formation/crack gneiss
VES50	KH	04	1476.81/242.96/100/807.62	4.21/13.19/35	4.21/17.39/52.39	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES51	H	04	1284.12/421.86/780.28/1341.38	3.77/20/35	3.77/23.77/58.77	Migmatites/ clay/ Weathered formation / gneiss
VES52	K	04	500.34/1074.02/141.09/153.71	0.605/10/45	0.605/10.61/55.61	Quazites and alterites / gneiss/Weathered for- mation/crack gneiss
VES53	KH	04	1500/2136.67/156.82/331.12	1.29/8.05/45	1.29/9.34/54.34	Migmatites/gneiss/ Weathered formation / crack gneiss
VES54	KH	04	932.88/480.43/63.94/2448.09	3.67/15.81/40	3.67/19.48/59.48	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / gneiss
VES55	K	04	1325.72/3288.27/178.08/229.36	1.024/6.56/47	1.024/7.58/54.58	Migmatites/gneiss/ Weathered formation / crack gneiss



**Table 1** (continued)

VES	Curve type	Number of layers	Resistivity ( $\rho_1/\rho_2 \dots / \rho_n$ ) ( $\Omega.m$ )	Thickness ( $h_1/h_2 \dots / h_n$ ) (m)	Depth ( $p_1/p_2 \dots / p_n$ ) (m)	Rock type
VES56	K	04	1064.86/2039.70/2326.14/207.56	2.27/2.26/20	2.27/4.53/6.53	Migmatites/gneiss/ Weathered formation / crack gneiss
VES57	H	04	423.16/168.84/63.39/109.87	0.60/5.27/45	0.60/5.88/50.88	Quazites and alterites / sandy clay/Weathered formation/crack gneiss
VES58	H	04	162.17/47.79/75.88/168.45	0.749/13.64/45	0.749/14.39/59.39	Quazites and alterites / sandy clay/Weath- ered formation /crack gneiss
VES59	H	04	3590.15/851.43/281.62/533.63	0.60/5.93/45	0.60/6.53/51.53	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES60	K	04	684.84/1452.15/212.12/55.12	0.941/3.93/22	0.94/4.87/26.87	Quazites and alterites / gneiss/Weathered for- mation /crack gneiss
VES61	K	04	1171.36/3181.67/411.47/127.33	0.97/2.01/17	0.97/2.98/19.98	Migmatites /gneiss/ Weathered formation/ crack gneiss
VES62	KH	04	959.32/309.58/63.91/460.72	5.69/20/30	5.69/25.69/55.69	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES63	K	04	1709.70/180/481.44/100.14	7.21/10/40	7.21/17.21/57.21	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES64	H	04	1299.62/1419.88/89.41/186.92	1.024/5/47	1.024/6.02/53.02	Quazites and alterites / Migmatites/Weathered formation/crack gneiss
VES65	H	04	1471.31/71.02/111.98/321.23	1.81/20/35	1.81/21.81/56.81	Quazites and alterites / Migmatites/Weathered formation/crack gneiss
VES66	H	04	870.20/65.67/1013/2000	2.10/8.51/35	2.10/10.61/45.61	Quazites and alterites / Migmatites / Weathered formation/ crack gneiss
VES67	H	04	993.44/47.18/147.31/313.25	0.42/9.79/45	0.42/10.21/55.21	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES68	H	04	10,000/937.32/120.68/572.72	0.22/4/47	0.22/4.33/51.23	gneiss /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES69	K	04	2218.55/351.53/126.89/294.27	5.27/12.09/35	5.27/17.36/52.36	gneiss /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES70	K	04	1331.15/2432.59/276.26/97.79	1.27/3.14/35	1.27/4.41/39.41	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ gneiss
VES71	K	04	900/1818.88/238.81/150.82	0.95/6.85/13	0.95/7.80/20.80	Migmatites /gneiss/ Weathered formation/ crack gneiss
VES72	Q	04	1186.80/210.05/65.14/542.80	2.62/17.33/38	2.62/19.95/57.95	Migmatites/sandy clay/ Weathered formation / crack gneiss
VES73	Q	04	4041.58/1048.56/206.18/324.60	1.28/13.35/45	1.28/14.62/59.62	Gneiss/Migmatites/ Weathered formation / crack gneiss



**Table 1** (continued)

VES	Curve type	Number of layers	Resistivity ( $\rho_1/\rho_2.../\rho_n$ )( $\Omega.m$ )	Thickness ( $h_1/h_2.../h_n$ ) (m)	Depth ( $p_1/p_2.../p_n$ ) (m)	Rock type
VES74	Q	04	5528.48/1525.76/365.96/101.05	0.24/6.36/47.71	0.24/6.6/54.32	Gneiss/Migmatites/ Weathered formation / crack gneiss
VES75	KH	04	14,959/1434.85/91.57/423.90	0.304/10.80/45	0.30/11.11/56.11	Migmatites/gneiss/ Weathered formation / crack gneiss
VES76	K	04	133.15/1577.57/348.31/270.99	0.33/2/56.13	0.33/2.34/58.46	Quazites and alterites / gneiss/Weathered for- mation/crack gneiss
VES77	K	04	326.73/1031.12/178.67/222.68	0.249/10.32/50.53	0.249/10.57/61.11	Quazites and alterites / sandy clay/Weathered formation/crack gneiss
VES78	KH	04	1016.90/1091.78/171.59/254.44	3.84/10/45	3.84/13.84/58.84	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES79	Q	04	168,821/1601.03/61.37/124.64	0.187/15.01/40	0.187/15.19/55.19	Migmatites /sandy clay/ Weathered formation/ crack gneiss
VES80	Q	04	2901.85/2347.33/326.16/97.63	1.86/9.74/45	1.86/11.60/56.60	Migmatites/gneiss/ Weathered formation/ crack gneiss

electrodes position of 150–197 m having resistivity value ranging from 100  $\Omega$  m to 350  $\Omega$  m appearing at a depth between 4 to 16 m. Another highly conductive structural anomaly located between electrodes position of 55–140 m and resistivity value ranging from 35 to 200  $\Omega.m$ , sink from 8 m below the surface to the final depth of the profile. It could be considered as an important area for groundwater prospecting. From a structural point of view, two probable fractures with a vertical or N-S general tend (red dashed lines) are delineated. The bore well (BW2) reveals the presence of formation such as migmatites, gneiss, sandy clay, weathered formation and crack gneiss on this profile.

Profile C (Fig. 6c) highlight the presence of two highly resistant structures with resistivity value ranging from 800 to 3000  $\Omega$  m, lying between electrodes position of 0 to 95 m and 100 to 150 m, and at depths of 10 and 8 m, respectively. These high resistivity structures are associated to gneiss. The major part of the inverted section depth of this profile is highly conductive with resistivity value ranging from 150 to 350  $\Omega$  m which spreads from the beginning to the end of the profile. This conductive structure would be an important area for groundwater prospecting (black line on the inverted section). Bore well (BW3) was drilled at distance 90 m up to 20 m depth through a fracture zone. The bore well highlights the presence of migmatites, sandy clay, weathered formation and crack gneiss on this profile.

## Aquifer evaluation

The Dar Zarrouk parameters obtained from the results of interpreted layer parameters (Table 2) have made it possible to realize Fig. 7. The variation in aquifer resistivity  $\rho_b$  values (Fig. 7a) shows that the major part of the study area is characterized by low aquifer resistivity values below than 500  $\Omega$  m. The low resistivity zones ( $30 \Omega \text{ m} < \text{Rho} < 500 \Omega \text{ m}$ ) indicates the presence of Weathered formation or sandy clay formation, and this an indication of good aquifer formation. The East sector of the Study Area has high resistivity. The isopach contour map (Fig. 7b) shows the variation of aquifer thicknesses (h) ranging from 8.5 to 57.9 m. Thick aquifer zones are observed in the south sector around station Ves 21, central sector around station Ves 43, and NW sector around station 73. The spatial distribution (Fig. 7c) of the aquifer longitudinal conductance (S) in the study area reveal that values range from  $0.01 \Omega^{-1}$  in the east sector around Ves 18 to  $1.24 \Omega^{-1}$  in the central sector around Ves 47. According to Henriet (1976) classification, the East around Ves 18, South around Ves 13 and North around Ves 71 sectors constitute zones with low aquifer protection capacity, i.e. more vulnerable to contamination from leachate infiltration because the value of aquifer longitudinal conductance is less than  $0.2 \Omega^{-1}$ . The central sector around Ves47 and NW around Ves 72 are considered as zones with medium and good aquifer protection capacity, i.e. less vulnerable to contamination from leachate infiltration because of the value of aquifer



**Table 2** Aquifer electrical and hydraulic parameters

VES	$\rho_b$ ( $\Omega$ m)	h (m)	S ( $\Omega^{-1}$ )	T ( $\Omega$ m <sup>2</sup> )	K (m/day)	$T_r$ (m <sup>2</sup> /day)	Rc	Fc
VES1	317.25	58	0.1828	18,400.5	1.793	103.994	-0.387	0.441
VES2	149.15	43.63	0.2925	6507.4	3.625	158.158	-0.569	0.273
VES3	269.68	45	0.1668	12,135.6	2.086	93.87	0.333	2
VES4	167.56	35	0.2088	5864.6	3.252	113.82	-0.573	0.27
VES5	413.16	35	0.0847	14,459.5	1.401	49.035	0.210	1.669
VES6	772.72	23	0.0297	17,772.5	0.781	17.963	-0.193	0.675
VES7	1020	45	0.0441	45,900	0.603	27.135	-0.698	0.177
VES8	3376.19	30	0.0088	101,285.7	0.195	5.85	-0.309	0.527
VES9	2575.9	35	0.0135	90,156.5	0.254	8.89	-0.272	0.571
VES10	964.16	37	0.0383	35,673.92	0.635	23.495	-0.670	0.197
VES11	1823.16	37	0.0202	67,456.92	0.350	12.95	-0.366	0.463
VES12	218.67	40	0.1829	8745.6	2.537	101.48	0.174	1.421
VES13	185.18	30	0.1620	5554.5	2.963	88.89	-0.215	0.644
VES14	439.03	48	0.1093	21,073.4	1.324	63.552	-0.740	0.1493
VES15	280.14	40	0.1427	11,205.6	2.013	80.52	-0.756	0.138
VES16	580.34	45	0.0775	26,115.3	1.020	45.9	0.706	5.80
VES17	1267.18	40	0.0315	50,687.2	0.492	19.68	-0.249	0.6
VES18	674.17	30	0.0444	20,225.1	0.887	26.61	-0.720	0.162
VES19	3297.86	45	0.0136	148,403.7	0.201	9.045	-0.346	0.484
VES20	1660	45	0.0271	74,700	0.380	17.1	0.081	1.178
VES21	468	46.80	0.1	21,902.4	1.247	58.359	-0.722	0.161
VES22	400	40	0.1	16,000	1.444	57.76	-0.019	0.961
VES23	568	40.04	0.0704	22,742.72	1.041	41.681	0.6	5
VES24	261	10.49	0.0401	2737.89	2.15	22.553	-0.417	0.467
VES25	249	43.06	0.1729	10,721.9	2.247	96.755	-0.714	0.166
VES26	232	45.80	0.1974	10,625.6	2.401	109.965	-0.723	0.160
VES27	490	42.36	0.0864	20,756.4	1.195	50.620	-0.588	0.259
VES28	348	40.79	0.1172	14,194.92	1.645	67.099	-0.696	0.179
VES29	269	14.80	0.0550	3981.2	2.091	30.946	-0.393	0.435
VES30	916	35.36	0.0386	32,389.76	0.666	23.549	-0.407	0.420
VES31	237	35.50	0.1497	8413.5	2.353	83.531	0.305	1.88
VES32	330	13.60	0.0412	4488	1.728	23.50	0.274	2.796
VES33	245	47.36	0.1933	11,595.8	2.282	108.075	-0.641	0.218
VES34	313	23	0.0734	7199	1.816	41.768	-0.593	0.254
VES35	395	25.08	0.0653	9906.6	1.461	36.641	-0.652	0.210
VES36	87.51	30	0.3428	2625.3	5.962	178.86	-0.535	0.30
VES37	342.68	30	0.0875	10,280.4	1.668	50.04	0.267	1.731
VES38	138.75	40	0.2882	5550	3.878	155.12	0.232	1.60
VES39	250.33	40	0.1597	10,013.2	2.236	89.44	-0.133	0.76
VES40	597.30	30	0.0522	17,919	0.993	29.79	0.356	2.11
VES41	29.92	25	0.8355	748	16.226	405.65	-0.815	0.101
VES42	159.72	20	0.1252	3194.4	3.401	68.02	-0.787	0.119
VES43	276.40	32	0.1157	8844.8	2.039	65.248	-0.055	0.895
VES44	137.13	29	0.2114	3976.77	3.921	113.70	-0.131	0.768
VES45	59.13	30	0.5073	1773.9	8.594	257.82	-0.506	0.327
VES46	68.30	30	0.4392	2049	7.514	225.42	-0.657	0.206
VES47	32.19	40	1.24	1287.6	15.156	606.24	-0.853	0.079
VES48	82.49	40	0.4849	3299.6	6.300	252	-0.791	0.116
VES49	120.37	35	0.2907	4212.95	4.314	150.99	0.246	1.654
VES50	100	35	0.35	3500	5.264	184.24	-0.416	0.411
VES51	780.28	35	0.0448	27,309.8	0.774	27.09	0.298	1.849



Table 2 (continued)

VES	$\rho b$ ( $\Omega$ m)	h (m)	S ( $\Omega^{-1}$ )	T ( $\Omega m^2$ )	K (m/day)	$T_r$ ( $m^2/day$ )	Rc	Fc
VES52	141.09	45	0.3189	6349.05	3.818	171.81	-0.767	0.131
VES53	156.82	45	0.2869	7056.9	3.490	157.05	-0.863	0.073
VES54	63.94	40	0.6255	2557.6	7.99	319.6	-0.765	0.133
VES55	178.08	47	0.2639	8369.76	3.0745	144.501	-0.897	0.054
VES56	2326.14	20	0.0085	46,522.8	0.279	5.58	0.065	1.140
VES57	63.39	45	0.7098	2852.55	8.054	362.43	-0.454	0.375
VES58	75.88	45	0.5930	3414.6	6.810	306.45	0.227	1.588
VES59	281.62	45	0.1597	12,672.9	2.004	90.18	-0.502	0.330
VES60	212.12	22	0.1037	4666.64	2.610	57.42	-0.745	0.146
VES61	411.47	17	0.0413	6994.99	1.407	23.919	-0.77	0.129
VES62	63.91	30	0.4694	1917.3	7.993	239.79	-0.657	0.206
VES63	481.44	40	0.0830	19,257.6	1.215	48.6	0.455	2.674
VES64	89.41	47	0.5256	4202.27	5.844	274.66	-0.881	0.062
VES65	111.98	35	0.3125	3919.3	4.737	165.79	0.223	1.576
VES66	65.67	8.51	0.1295	558.8	7.793	66.31	-0.859	0.075
VES67	147.31	45	0.3054	6628.95	3.668	165.06	0.514	3.122
VES68	120.68	47	0.3894	5671.96	4.417	207.59	-0.771	0.128
VES69	126.89	35	0.2758	4441.15	4.215	147.52	-0.469	0.360
VES70	276.26	35	0.1266	9669.1	2.040	71.4	-0.796	0.113
VES71	238.81	13	0.0544	3104.53	2.337	30.381	-0.767	0.131
VES72	65.14	38	0.5833	2475.32	7.852	298.376	-0.52	0.310
VES73	206.18	45	0.2203	9278.1	2.680	120.6	-0.671	0.196
VES74	365.96	47.71	0.1303	17,459.9	1.569	74.856	-0.613	0.239
VES75	91.57	45	0.4914	4120.6	5.715	257.17	-0.88	0.063
VES76	348.31	56.13	0.1611	19,550.64	1.643	92.221	-0.638	0.220
VES77	178.67	50.53	0.2828	9028.1	3.181	160.735	-0.704	0.173
VES78	171.59	45	0.2622	7721.5	3.181	143.145	-0.728	0.157
VES79	61.37	40	0.6517	2454.8	8.301	332.04	-0.926	0.038
VES80	326.16	45	0.1379	14,677.2	1.7475	78.637	-0.756	0.138

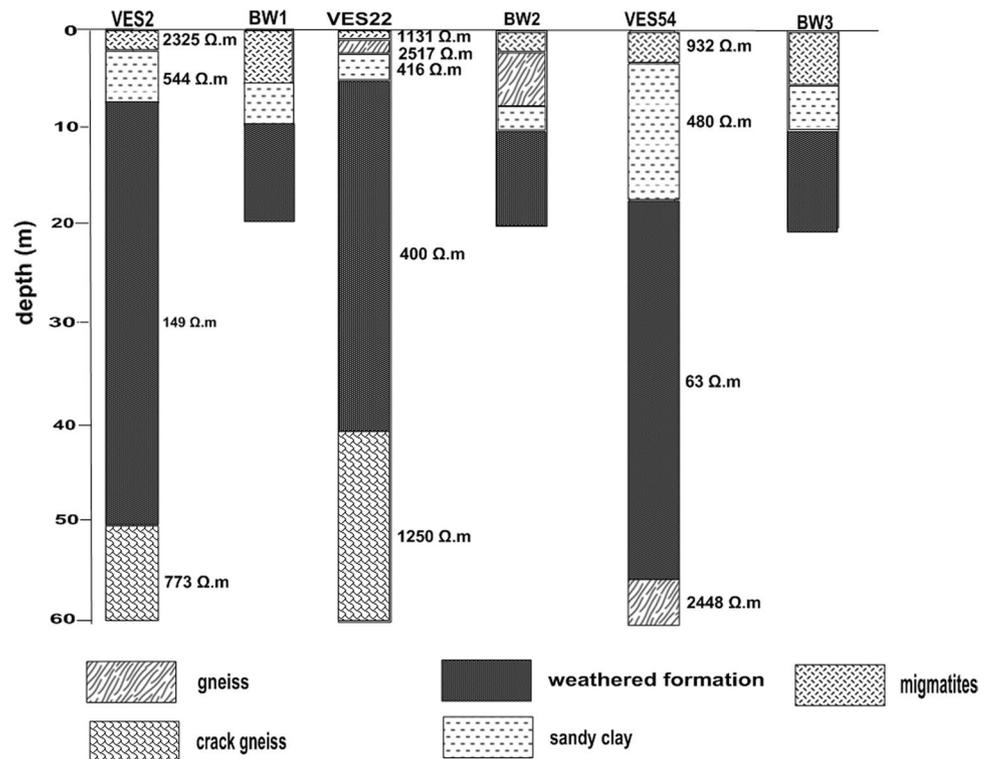
longitudinal conductance varies between 0.2 and  $1.24 \Omega^{-1}$  (Oladapo and Akintorinwa 2007).

The transverse resistance (T) (Fig. 7d) range from 593 to  $148,358 \Omega m^2$ . Only the East sector of the study area has very high transverse resistance values. The hydraulic conductivity (K) of the aquifer (Fig. 7e) range from 0.2 to 16.2 m/day. The main areas of low hydraulic conductivity are located in the South and East sectors with hydraulic conductivity values between 0.2 and 3.76 m/day. The central sector around Ves 41 and NW sector around Ves 67 with high hydraulic conductivity values ranging between 3.77 and 16.22 m/day indicate the ease with which a fluid will pass through these sectors (Heigold et al. 1979). The areas of high hydraulic conductivity (Fig. 7e) coincide with the areas of high

transmissivity ( $Tr$ )  $> 139 m^2/day$  (Fig. 7f), reflecting the fact that these areas can be identified as areas of high aquifer potential. Likewise, the South and East sectors of low hydraulic conductivity (Fig. 7e) coincide with the sectors of low transmissivity  $< 139 m^2/day$  (Fig. 7f), which reflects the fact that these areas can be identified as areas of low aquifer potential. Reflection coefficient (Rc) (Fig. 7g) values range from -0.92 to 0.70 while fracture contrast (Fig. 7h) values range from 0.03 to 5.79. The high values of reflection coefficient and fracture contrast are in the East sector around stations Ves16 and Ves23. In general, the study area consists of water-filled fractures as the lower reflection coefficient value of 0.9 and the lower fracture contrast 19 indicates a high density of water-filled fractures (Olayinka et al. 2000).



**Fig. 5** Correlation of 1-D VES lithology with nearby borehole logs



## Discussions

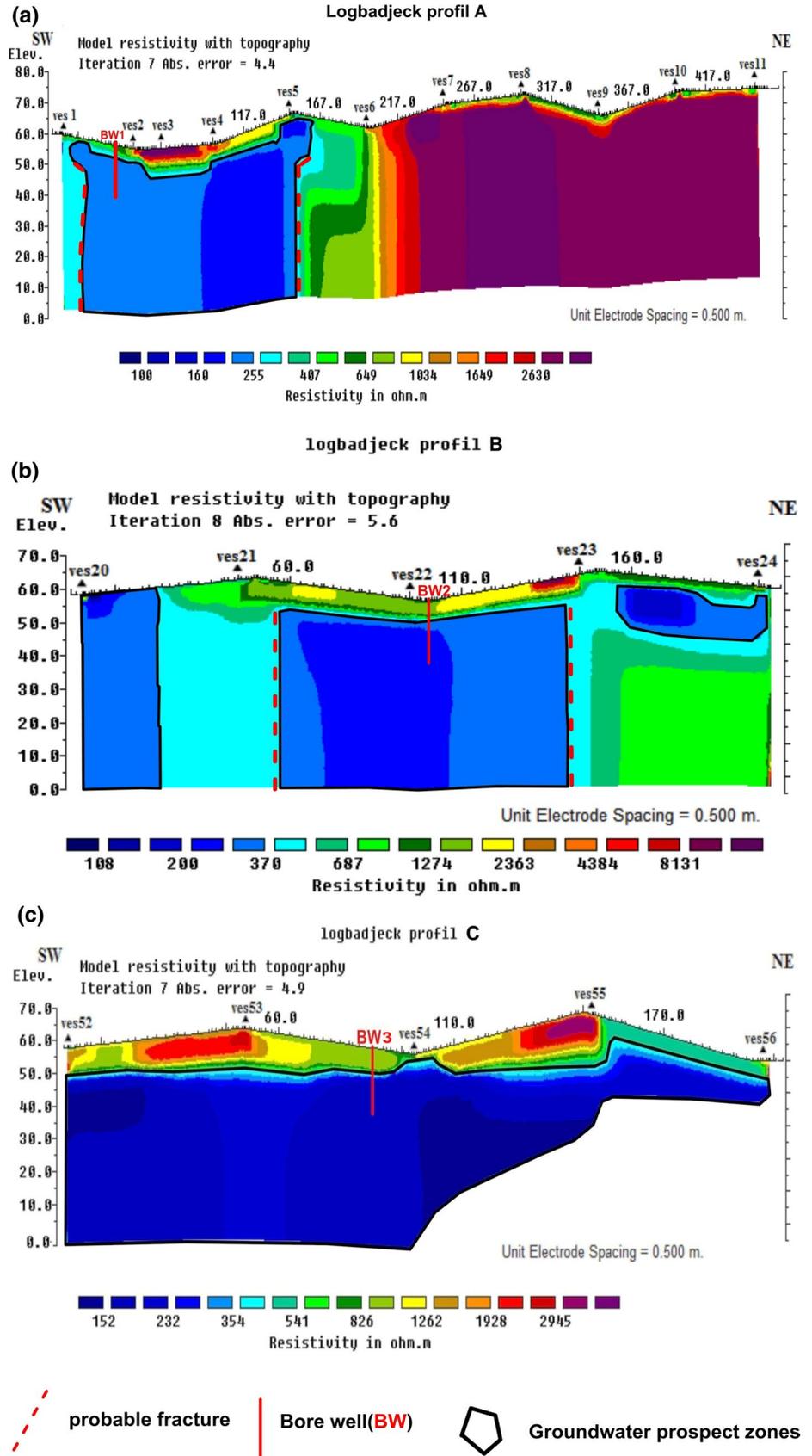
The progressive decrease in resistivity with depth (Figs. 3, 4, 5, 6, 7) is observed in the study area. On profile A (Figs. 4a and 6a) the zone of water infiltration that is observed around A5 (Fig. 4a) corresponds to the deeper conductive anomaly with resistivities around  $200 \Omega \text{ m}$ . On profile B (Figs. 4b and 6b), the water infiltration zone that is observed around B4 (Fig. 4b) corresponds to the conductive anomaly located between electrodes position 55 to 140 m. The water infiltration zone that is observed around C3 (Fig. 4c) corresponds to the conductive anomaly on the 2D Inversion of resistivity Profile C (Fig. 6c). In addition, the groundwater prospect zones (Fig. 6) would be located towards the sector of great aquifer thickness as the Isopach map (Fig. 7b) shows. The comparison of these geophysical results reveals clear coherence between the water infiltration zone that is observed on the geoelectric resistivity profiles (Fig. 4) and conductive anomalies on the 2D Inversion of resistivity Profiles (Fig. 6). The conductive character of the resistivity maps (Fig. 3) would justify the altered character on the geoelectric sections (Fig. 5) of the study area. The geoelectric sections

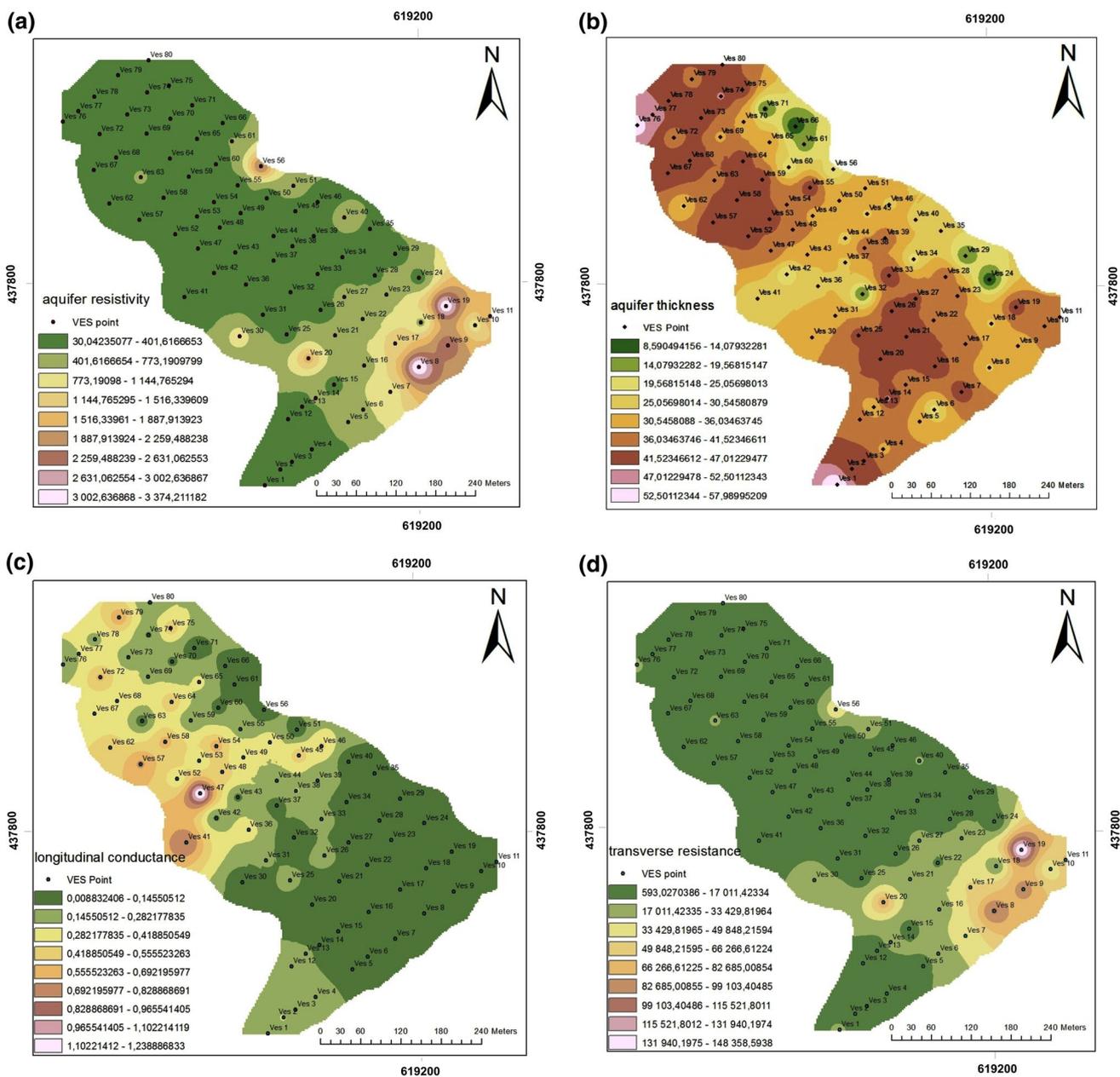
(Fig. 5) show that almost all stations are of great hydrogeological interest due to weathered and fractured formations of great thicknesses, as weathered layers are known to have a very good water storage function (CIEH 1981). The interpretation carried out on vertical electrical sounding curves corroborates with lithological data from boreholes in the area. The areas of high hydraulic conductivity (Fig. 7e) correlate with the areas of high transmissivity (Fig. 7f). This reflecting the fact that these areas can be identified as areas of high aquifer potential. The longitudinal conductance map consider the central and NW sectors as areas with medium to good aquifer protection capacity because of the value of aquifer longitudinal conductance range varies between  $0.2$  and  $1.24 \Omega^{-1}$ .

## Conclusion

Analysis and interpretation of data from the study area highlight the highly conductive nature of the deep structures, marked here by low deep resistivity values ( $< 800 \Omega \text{ m}$ ). Generally, the profiles show a decreasing evolution of the

**Fig.6** 2D Inversion of resistivity  
Profile A, B, C





**Fig. 7** Image maps of the study area: **a** aquifer resistivity **b** Isopach contour, **c** Longitudinal conductance, **d** transverse resistance, **e** Hydraulic conductivity **f** Aquifer transmissivity, **g** reflection coefficient and **h** fracture contrast map

resistivity toward the deeper structures and the presence of groundwater infiltration zones (sites of groundwater recharging) in the study area. The study area is dominated by H and KH type curves, which characterize the existence of mega fractures. The sections show with depth (from 8 m up to the maximum depth) structural anomalies (fracture)

oriented NS on profiles which represent areas of groundwater prospecting. A highly conductive nucleus that indicates a potential zone of accumulation of groundwater was also identified on profile "B" at a depth between 4 to 16 m. The hydraulic assessment shows the presence of a moderate to high aquifer potential in the study area. This makes it possible to highlight the presence of two main aquifer zones,

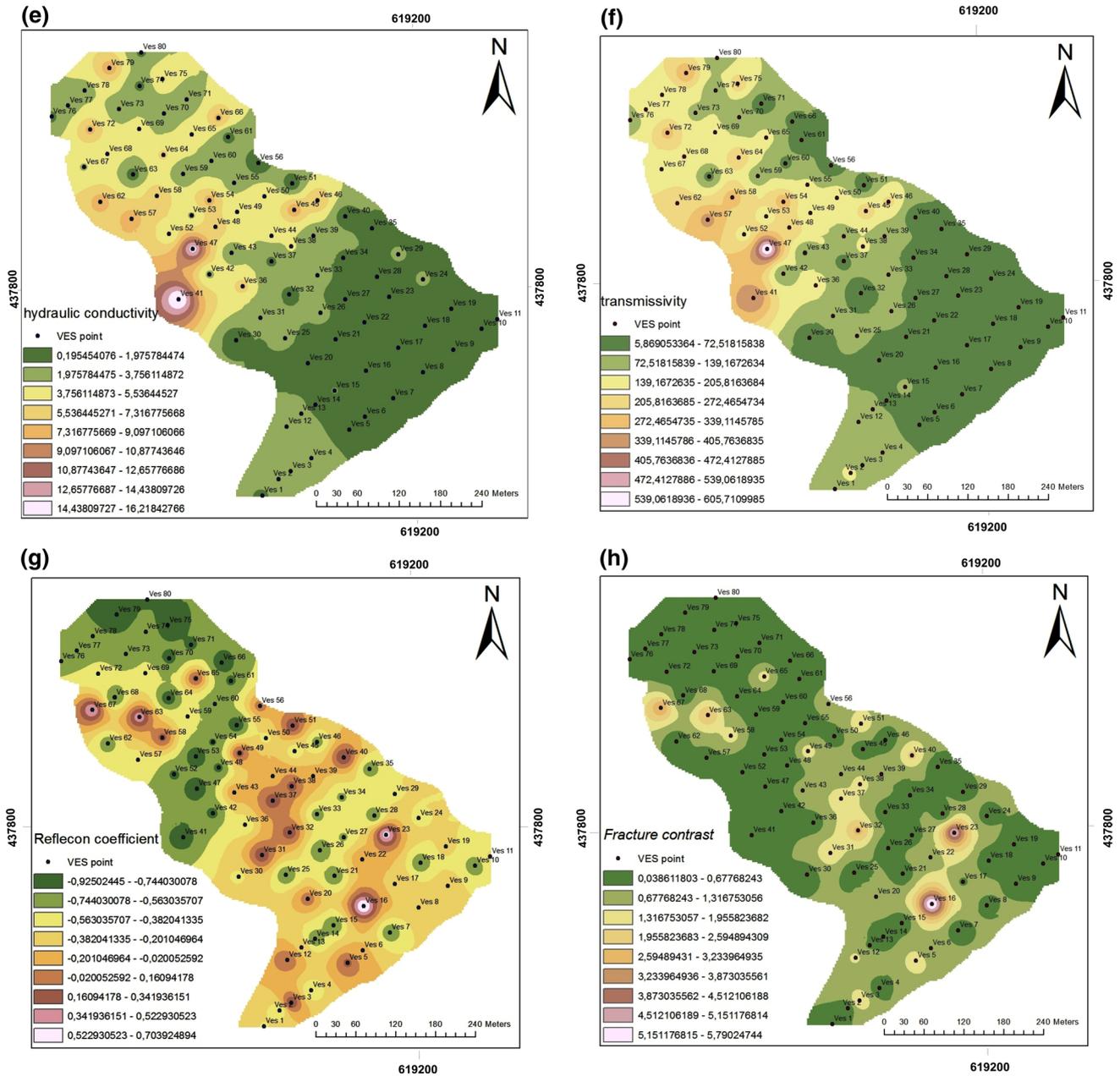


Fig. 7 (continued)

such as shallow aquifers at a depth of about 6 m that can be exploited through wells and deep aquifers between depths of 28 m and 56 m that can be exploited by drilling.

**Acknowledgments** The authors are grateful to BEIG3 Laboratory for giving them the opportunity to participate in the collection of data. The authors also thank the reviewers for their comments that improved the quality of this paper.

## References

Anosike S, Ibuot JC, Obiora DN, Ugbor DO (2019) Geophysical and physicochemical investigation of groundwater repositories in Njaba LGA of Imo State, eastern Nigeria. *Int J Environ Sci Technol*. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02366-8>

Anterrieu O (2006) Caractérisation géophysique de la structure interne d'une halde à stériles. Mémoire de Maitrise, Ecole Polytechnique de Montréal, p 161p

Banton O, Bangoy LM (1997). *Hydrogéologie multiscience environnementale des eau souterraines* (p. 460).

- Chapellier D (2001) Prospection électrique de surface. Université de Lausanne, Cours Online de Géophysique, p 96p
- CIEH (1981) Méthodes d'étude et de recherché de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest. Géohydraulique, 38, 100 p.
- Dumort JC (1968) Carte géologique de reconnaissance de la République Fédérale du Cameroun au 1/500000. Direction des mines et de la géologie, feuille NB 32 SE 028.
- Feumba R, Ngounou Ngatcha B, Tabué Youmbi J, Ekodeck G (2011) Relationship between climate and Groundwater Recharge in Besseke Watershed (Douala Cameroon). *J Water Resource Protection*. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2011.38070.3>, pp.607-619
- Heigold PC, Gilkeson RH, Cartwright K, Reed PC (1979) Aquifer transmissivity from surficial electrical methods. *Gr Water* 17(4):338–345
- Henriet JP (1976) Direct application of Dar Zarrouk parameters in groundwater survey. *Geophys Prospect* 24:344–353
- Kana Idriss T, Pokam Kengni H, Ndikum Eric Ndo, Pokam Gounou P, Tabod Charles T (2019) Characterization of Pan-African Aquifer Layers by the Least Squares Inversion Method Applied on Geoelectric Data. *Int J Geosci* 10:845–859. <https://www.scirp.org/journal/ijg>
- Keleko Ananack TD, Tadjou JMK, Tabod CT, Feumoe Sieyapdjie AN, Kenfack JV (2013) Groundwater investigation using Geoelectrical method: a case study of the Western Region of Cameroon. *J Water Resource Protection* 5:633–641
- Kopa Njueya A, Likeng JDH, Nono A (2012) Hydrodynamique et qualité des eaux souterraines dans le bassin sédimentaire de Douala (Cameroun): cas des aquifères sur formations Quaternaires et Tertiaires. *Int J Biol Chem Sci* 6(4):1874–1894
- Loke MH (1994) The Inversion of Two Dimensional Resistivity Data. PhD Thesis, University of Birmingham, 122p.
- Loke MH, Barker RD (1996) Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a Quasi-Newton method. *Geophys Prospect* 44:131–152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x>
- Martin G (1979) Alimentation de la ville de Douala à partir des eaux souterraines. *Etudes et Travaux BRGM*, 143p.
- Meying A, Bidichael WWE, Gouet D, Ndougsa MT, Kuate K, Ngho JD (2018) Hydrogeophysical Investigation for Groundwater Resources from Electrical Resistivity Tomography and Self-Potential Data in the Méiganga Area, Adamawa, Cameroon. *Hindawi Int J Geophys*, Article ID: 2697585. <https://doi.org/10.1155/2018/2697585>
- Ndougsa-Mbarga T, Gouet DH, Njandjock-Nouck P, Meying A, Manguelle-Dicoum E (2013) Preliminary evaluation of limestone and barren stratum layers thicknesses using audiomagnetotelluric soundings in the Bi-Mintom area, southern East of Cameroon. *Disaster Advances* 6(2):66–92
- Ngueutchoua G (1996) Etude des faciès et environnements sédimentaires du quaternaire supérieur du plateau continental camerounais. Thèse de Doctorat Univ. Perpignan4, Perpignan, 288p.
- Niwas S, Singhal DC (1981) Estimation of aquifer transmissivity from Dar Zarrouk parameters in porous media. *Hydrology* 50:393–399
- Njiké Ngaha PR (1984) Contribution à l'étude géologique, stratigraphique et structurale de la bordure des bassins atlantiques du Cameroun. Thèse de doctorat 3e cycle, Univ. Yaoundé 1, 259 p.
- Njiké Ngaha PR (2004) Palynostratigraphie et Reconstitution des Paléoenvironnements du Crétacé de l'Est du bassin Sédimentaire de Douala (Cameroun). Thèse de doctorat d'Etat, Université de Yaoundé 1:258p
- Nono A, Wabo JDH, Tabué H, Biaya S (2009) Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité et la dynamique des eaux souterraines dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun. *Int J Biol Chem Sci* 3(2):218–239
- Ntamack Nida MJ, Bourquin S, Makong JC, Baudin F, Mpesse JE, Ngouem C, Komguem PB, Abolo GM (2010) Sedimentology and Sequence Stratigraphy from Outcrops of the Kribi-Campo Sud-Bassin: Lower Mundeck Formation (Lower Cretaceous, Southern Cameroon). *J Earth Sci* 58(1):1–18
- Obiora DN, Ibuot JC, George NJ (2015) Evaluation of aquifer potential, geoelectric and hydraulic parameters in Ezza North, southeastern Nigeria, using geoelectric sounding. *Int J Environ Sci Technol*. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0886-y>
- Obiora DN, Ibuot JC, Alhassan UD, Okeke FN (2017a) Study of aquifer characteristics in northern Paiko, Niger State, Nigeria, using geoelectric resistivity method. *J Environ Sci Technol Int*. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1612-8>
- Obiora DN, Ibuot JC, Alhassan UD, Okeke FN (2017b) Study of aquifer characteristics in northern Paiko, Niger State, Nigeria, using geoelectric resistivity method. *Int J Environ Sci Technol*. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1612-8>
- Oladapo MI, Akintorinwa OJ (2007) Hydrogeophysical study of Ogbese, Southwestern, Nigeria. *Global J Pure Appl Sci* 13(1):55–61



- Olayinka AI, Obere FO, David LM (2000) Estimation of longitudinal resistivity from Schlumberger sounding curves. *J Min Geol* 36(2):225–242
- Pirttijärvi M (2010) Joint interpretation of electromagnetic and geoelectrical soundings using 1-D layered earth model. User's guide to version 1:4
- Regnoul JM (1986) Synthèse géologique du Cameroun. publ. dir. mimes et géo. ; Cameroun, 119p.
- Res2Dinv ver. 3.59 for Windows XP/Vista/7 (2010) Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least squares method. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. GEOTOMO Software, Malaysia
- Roy A, Apparao A (1971) Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics* 36:943–959
- Suchel JB (1987) Les climats du Cameroun. Thèse Doctorat d'Etat, Univ.Saint- Etienne, 1188p
- Teikeu AW, Njandjock NP, Ndougsa MT, Tabod TC (2012) Geoelectric investigation for groundwater exploration in Yaounde area, Cameroon. *Int J Geosci* 3:640–649. <https://doi.org/10.4236/ijg.2012.33064>
- Toteu (2008) Carte géologique et des ressources minières du Cameroun, atlas forestier No..3. pp. 71- 87.
- Zhdanov MS, Keller GV (1994) The geoelectrical methods in geophysical exploration. Elsevier, Amsterdam, p 873

