

Apport de la méthode géoélectrique classique à la caractérisation des aquifères de socle, application dans le secteur Nord de la ville de Yaoundé, Olembe

Dieudonné BISSO^{1,3*}, **Samuel Erick MEYOMESSE**^{1,2}, **J. Quentin YENE ATANGANA**¹,
Serge Parfait KOAH NA LEBOGO¹ et **Philippe NOUANGA**²

¹ *Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, BP 812 Yaoundé, Cameroun*

² *Laboratoire National de Génie Civil (LABOGENIE), BP 349 Yaoundé, Cameroun*

³ *Projet Hydroélectrique de Menve'ele, BP 6883 Yaoundé, Cameroun*

* Correspondance, courriel : dbisso2002@yahoo.fr

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de montrer la fiabilité de la méthode géoélectrique à la caractérisation des aquifères de socle afin d'augmenter le taux de succès des campagnes de forage d'eau potable dans le secteur Nord de la ville de Yaoundé (région du Centre Cameroun). La méthodologie de travail consiste à faire une analyse comparative entre les données géophysiques et les diagraphies de forages. L'analyse de ces résultats montre une bonne corrélation entre l'épaisseur du manteau d'altération, les profondeurs des venues d'eau obtenues lors des études géophysiques et pendant la foration. A des profondeurs supérieures à 20 mètres il faut un certain coefficient ($\frac{1}{3} \times AB$) pour estimer la profondeur exacte d'une structure. Du point de vue structural, l'orientation préférentielle de circulation des eaux souterraines varie de N120E à N140E avec des débits allant de 5 à 10 m³/h. Les débits les plus faibles sont enregistrés suivant l'orientation N00E à N10E pour des débits inférieurs à 1 m³/h.

Mots-clés : *région du Centre, secteur Nord de Yaoundé, aquifères de socle, caractérisation, méthode géoélectrique.*

Abstract

Contribution of the classic geoelectric method has the characterization of the aquifers of base, application in the north sector of the city of Yaoundé, Olembe

The main objective of this study is to show dependability of geoelectrical methods in the characterization of aquifers in order to increase the success rate of regional center field drill campaigns in area of Yaounde. The methodology of work consists to do comparative analysis between geophysical investigations and borehole data. The interpretation of these results show a good correlation between thicker weathered zone and depth of aquifers, obtained at the time of geophysical studies and during the execution of drilling. From 20 to 60 m depth, to have to use one ratio ($\frac{1}{3} \times AB$) to estimate the exactly depth of aquifers structures. The main orientation of these structures is from N120 to N140°E with a discharge of 5 to 10 m³/h while the second direction N0-20°E produce a lower discharge to 1 m³/h.

Keywords : *regional Center, northeast of Yaoundé, aquifers basement, characterization, geoelectrical methods.*

1. Introduction

Le Programme des Nations Unies pour le Développement (P.N.U.E) dans son magazine en 2003 pointait déjà la problématique de l'eau comme étant le plus grand frein au développement en Afrique, en limitant notamment l'industrie et l'agriculture. Au Cameroun, l'eau douce et potable est une matière première rare. Dans la capitale politique, l'eau est distribuée dans de nombreux quartiers de la ville à une fréquence irrégulière et les désagréments se poursuivent. Dans certains quartiers comme Olembé, les populations ont droit à l'eau quatre (04) jours sur sept (07) et d'autres, sont dépourvus de réseau de distribution en eau. Soit un pourcentage de recouvrement du réseau Cameroon Water Utilities Corporation (CAMWATER) de moins de 50 %. Cette situation amène bon nombre de personnes à recourir au forage. Cependant, les taux d'échecs sont très élevés. La plus part des ouvrages construits par des programmes tarissent ou ne satisfont pas les populations sur l'ensemble du territoire national [1]. Certains opérateurs avisés pensent que cela est dû à la qualité médiocre des études géophysique d'implantation de ces ouvrages. C'est pourquoi, l'on a été amené à réaliser une étude comparative entre données de forage et les résultats des études géophysiques d'implantation pour essayer de dégager la fiabilité de la méthode classique de prospection géophysique (trainé et sondage géo-électrique).

2. Zone d'étude

Olembé, le site de cette étude se trouve au Nord de Yaoundé, capitale du Cameroun et chef-lieu de la région du Centre. Cette localité est située entre $03^{\circ}55'$ à $04^{\circ}00'$ de latitude Nord et $11^{\circ}30'$ à $11^{\circ}35'$ de longitude Est (**Figure 1**). Olembé est limité au Sud par Nkol-bong et Tsinga-village, au Nord par le quartier Nkozoa, au Sud-Est par Etoudi et à l'Ouest par Nkolfoulou [2].

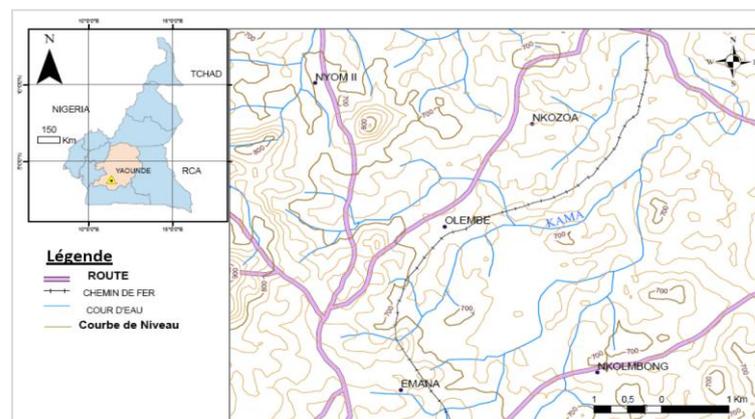


Figure 1 : Situation de la zone d'étude

Le substratum de la zone d'étude fait partie de la chaîne panafricaine. Cette dernière est la zone située entre le craton Ouest africain au Nord-Ouest et le craton du Congo au Sud. Les roches appartenant à ce domaine sont celles qui ont été soumises à la tectonique panafricaine, dont les âges montrent un rajeunissement à 500 - 600 Ma. La chaîne panafricaine est représentée par les séries d'Ayos Mbalmayo Bengbis, de Yokadouma et de Yaoundé. Cependant, la série de Yaoundé qui constitue la totalité du substratum, est formée de gneiss et de migmatites à grenats provenant d'anciens sédiments granitisés et métamorphisés dans le faciès des granulites de haute pression [3, 4].

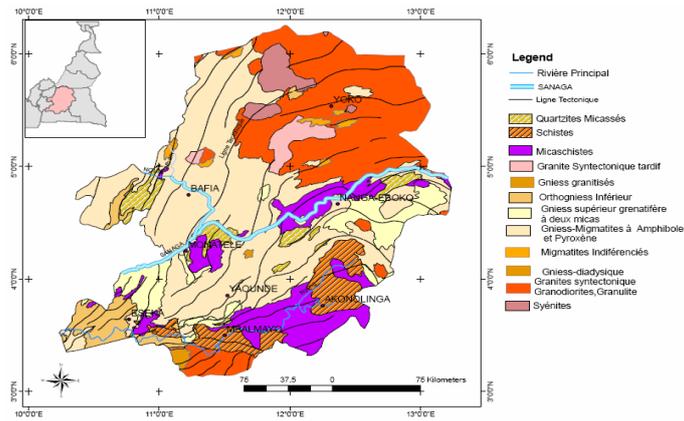


Figure 2 : Carte géologique de la région du centre Cameroun (d'après [5])

3. Données et méthodes

Plusieurs types de données ont été utilisés dans cette étude : une carte de linéament du socle à l'échelle 1/10000 commandé auprès des géomatics du Ministère de l'Énergie et de l'Eau (MINEE) ; des sondages géoélectriques à des profondeurs d'investigation comprise entre 40 et 100 m réalisés pendant les campagnes de prospection géophysique du Laboratoire National de Génie Civil (LABOGENIE); des coupes techniques de forage réalisé en ses points de sondage y compris les débits des ouvrages à l'exploitation. Les données de forage proviennent des campagnes de constructions d'ouvrages exécutés par LABOGENIE auprès des Maitres d'Ouvrage. La méthodologie utilisée passe par la qualité de la mise en œuvre d'une campagne d'étude géophysique à la comparaison des caractéristiques recueillies à la fin des travaux pour mettre en évidence la véracité des prescriptions des études réalisées [6]. Les campagnes d'études géophysiques réalisées pendant ces travaux ont débuté par une visite de site au cours de laquelle les éléments ci-après ont été relevés : les coordonnées géographiques du site et un relevé hydrostructural. Ces données ont été couplées à une étude de télédétection permettant ainsi de relever sur le site tout linéament majeur visible. La validation des linéaments s'est faite par des observations de terrains [7] et d'une analyse fréquentielle où les directions principales ont été comparées à celles des accidents relevés sur la carte photogéologique [8, 9]. Cette étude a conduit à l'élaboration du plan de prospection géophysique.

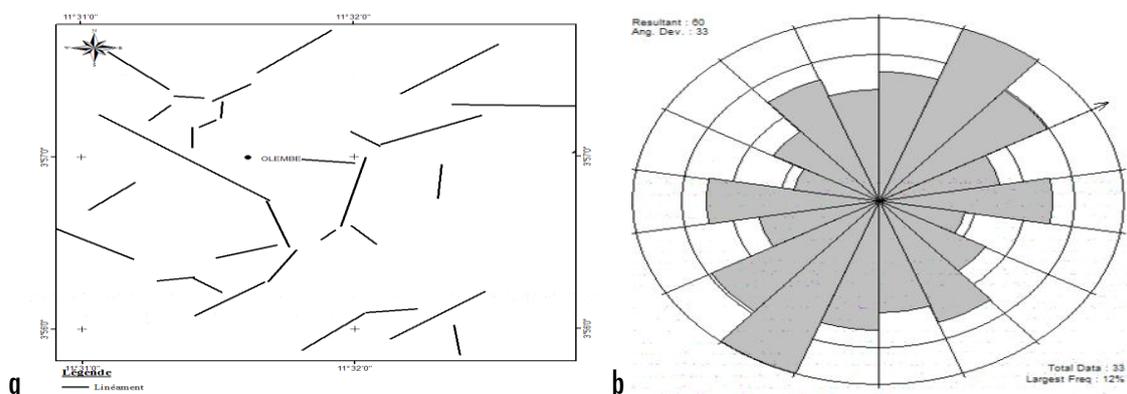


Figure 3 : (a) Carte des linéaments de la zone d'étude (b) diagramme de distribution des azimuts des linéaments

L'élaboration de cette carte de linéament a permis de dresser le plan de prospection géophysique ci-après :

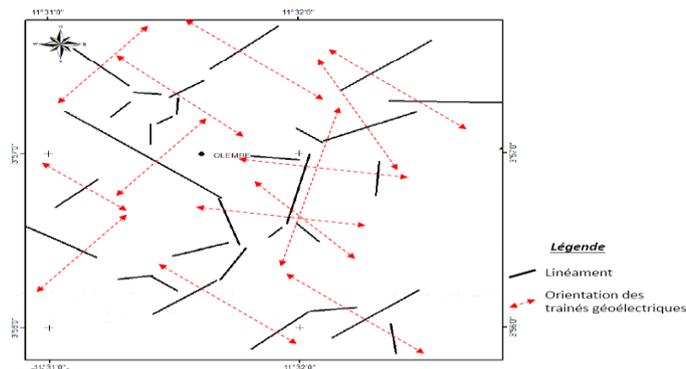


Figure 4 : Plan de prospection géophysique

La campagne de prospection géophysique s'est déroulée du 12 mars 2015 au 26 avril 2015 et les campagnes de forage ont débuté le 28 avril 2015 et ont continué jusqu'au mois de juin. A la suite des travaux de forage, les données ont été dépouillées et traitées dans un système d'information géographique. La base de données produite a permis à la fin de faire des comparaisons entre les paramètres des ouvrages avant la foration et après la foration. Cet exercice a conduit à un ensemble de constats que l'on voudrait mettre à la disposition des opérateurs de ce secteur d'activité.

4. Résultats et discussion

Pour avoir les résultats satisfaisants dans cette campagne de prospection géophysique, les étapes suivantes ont été nécessaires : la préparation de la campagne ; les travaux d'acquisition des données ; l'implantation du forage avant le contrôle et le suivi de construction du forage. Les travaux de [10] présentent des phases similaires pour le déroulement d'une campagne de géophysique. Les travaux de télédétection ont conduit à la mise en évidence de quatre familles de fracture consignée dans le **Tableau** ci-après :

Tableau 1 : Récapitulatif des quatre familles de fractures

Famille de fracture	Azimut	Nombres	Forages	Débit d'exploitation
N° 1	N45	10	0	0
N° 2	N135	5	3	F1= 4.5 ; F2= 10
N° 3	N10	6	1	F4= 0.7
N° 4	N 90	2	0	0

Cette étude a permis de reconnaître des structures linéaires sur des grandes distances. Les structures sur de faibles distances n'étant pas visibles, elles ne sont pas représentées sur la carte de linéaments du socle ci-dessus. Chacune des familles ci-dessus regroupe un certains nombres de linéaments couvertes par la bande du diagramme circulaire sur un angle de 12° mais, la direction N45 est la plus présente sur le site étudié. En plus des orientations moyenne caractéristique des familles, les structures suivante sont identifiées sur ce site : N150 ; N140 ; N170 ; N160 ; N110 ; N120 ; N20 ; N30 ; N60 ; N45 ; N135 ; N10 ; N90 ; N40 et N80. La comparaison de ces données aux dispositions des différents accidents marquants l'évolution de la zone mobile du Cameroun suivant les travaux de [11] laisse apercevoir une certaine similitude de direction.

Trois des forages réalisés sur ces structures ont fait l'objet d'une comparaison de données pour évaluer la précision des études géophysiques. Les trainés types Schlumberger mis en œuvre dans le cadre de cette campagne ont permis d'éliminer le maximum de zones stériles et d'identifier les bandes de socle à fracture potentielle.

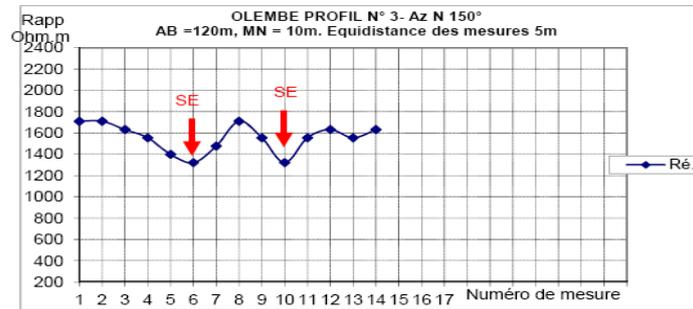


Figure 5 : Trainé de type Schlumberger

En générale, les profils obtenus sont en dents de scie montrant ainsi les variations latérales du proche sous-sol à des profondeurs d'investigations prédéfinies. Des résultats analogues ont été trouvés par [12] dans un contexte de socle cristallin et cristallophyllien en Afrique de l'Ouest. L'imagerie verticale 1D suivant le protocole Schlumberger a permis de mettre en évidence la variation en profondeur de chaque linéament. Les signatures obtenues se présentent de quatre manières : les courbes en marche d'escalier, en cloches, en fond de bateau et en une seule branche.

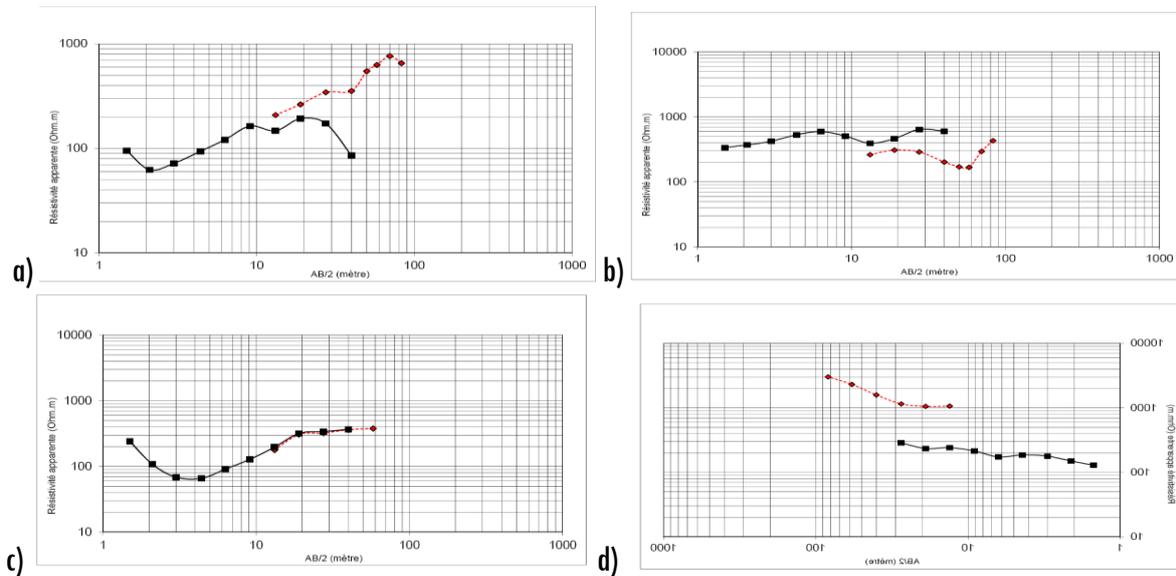


Figure 6 : Types de signatures obtenues. a) courbes en marche d'escalier ; b) courbes en cloche ; c) courbes en fond de bateau ; d) courbes en une seule branche

Dans l'ensemble, le sous-sol est composé d'un manteau d'altération, et d'un substratum rocheux gneissique à grenat et disthène. Les niveaux conducteurs sont soit au contact (nappe phréatique) à 12 mètres de profondeur (*Forage 1*), soit au sein du rocher à 20 ; 33 ; 42 et 54 mètres (aquifères de socle). Dans le cadre d'une étude statistique des profondeurs de forage effectuée au Sud-ouest du Gabon en 1982, il y a concordance de débit et de profondeur [13]. De même, une grande partie de ces profondeurs se retrouvent dans l'intervalle de profondeur publié par [14]. Le **Tableau** suivant fait le rapprochement entre prescriptions de la géophysique et données de forage.

Tableau 2 : Comparaison des données obtenues

Forage	GÉOPHYSIQUE				FORAGE			
	Toit du socle(m)	% succès	Venue d'eau (m)	Profondeur (m)	Toit du socle(m)	Débit m ³ /h	Profondeur (m)	Venue d'eau
Forage 1	12 m	80 %	12 m ; 32-60 m	60 m	12 m	4.5	42	12 ; 20 ; 32
Forage 2	21 m	100 %	20m ; 42 et 52 - 60 m	60 m	22.60 m	10	60	32 ; 42 ; 54
Forage 3	9 m	55 %	16 m ; 32-42 m ; 60 m	60 m	9 m	0.7	60	12 ; 54

Le rapprochement ci-dessus réalisés sur les données collectées dans trois ouvrages montre une parfaite corrélation des informations à moins de 20 mètres de profondeur. Chaque structure cartographier par le sondage géoélectrique est exactement à la profondeur prescrite par la prospection géophysique (AB/2 par rapport au dispositif utilisé (a)- illustration ci-dessous).

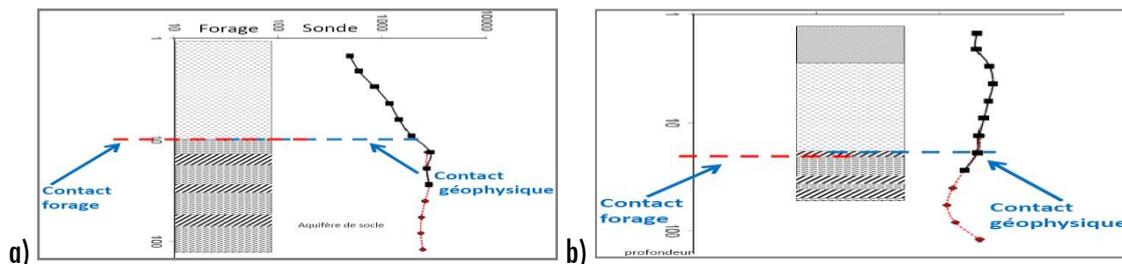


Figure 7 : Corrélation entre diaggraphie de forage et profil géoélectrique

Cependant, à plus de 20 mètres de profondeur (b), l'on enregistre un petit décalage sur la précision de l'estimation AB/2 donnée. Ce décalage augmente en fonction de la profondeur et, le rapprochement des écarts laisse paraître un coefficient. La récurrence dans les écarts peut permettre de conclure que, à moins de 20 mètres de profondeur, l'on peut diviser la longueur du dispositif par deux soit : AB/2. De 20 à 80 mètres environ, le calcul de la profondeur d'investigation peut se faire par l'AB/3 et ainsi de suite. Cette corrélation entre les données obtenues par la géoélectrique classique et les logs lithostratigraphiques des forages amène à croire à la fiabilité des études géoélectriques pour la recherche d'eau souterraine. Des résultats similaires ont été obtenus dans la zone de Badioula (Sénégal) [12]. Au regard de l'ensemble des linéaments exploités et des débits de forage obtenus, il apparaît clair que l'orientation N135 produit de grand débit. Ce qui traduirait l'importance de la porosité et de la perméabilité au sein des aquifères ayant cette orientation dans le secteur Nord de la ville de Yaoundé. En conséquence, l'on peut se permettre de promouvoir cette orientation privilégié de circulation des eaux souterraines au Nord de Yaoundé.

5. Conclusion

La présente étude menée dans le contexte de socle du secteur Nord de la ville de Yaoundé visait principalement à montrer la crédibilité de la prospection géoélectrique classique en vue de l'implantation des forages d'eau productifs. De l'analyse des travaux réalisés, il ressort que la méthode géoélectrique est fiable pour les travaux d'implantation de forage.

Cependant, la mise en œuvre des campagnes d'études et l'interprétation des données recueillies influencent considérablement les résultats attendus. Egalement, cette méthode ne permet pas une parfaite visibilité du proche sous-sol pour faciliter la décision de l'opérateur sur le point de forage le plus productif avec estimation des quantités et des profondeurs. Il est de ce fait nécessaire de développer dans ce secteur d'activité des méthodes plus performantes comme l'imagerie 2D ou 3D pour plus de visibilité.

Références

- [1] - G. SORO, N. SORO, K.E. AHOUSI, T. LASM, F. K. KOUAME, T. D. SORO, J. BIEMI, Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristallines et métamorphiques dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire), (2010)
- [2] - FEUWO, Contribution de la géophysique à la caractérisation des formations superficielles du secteur Nord de Yaoundé : cas la zone sportive d'Olembé, (2010) 74 p.
- [3] - J. P. NZENTI, P. BARBEY, P. JEGOUZO et C. MOREAU, Un nouvel exemple de ceinture granulitique dans la chaîne protérozoïque de collision : les granulites de Yaoundé au Cameroun, C.R acad. Sc. Fr., 299, série II n°17, (1984).
- [4] - A. NEDELEC, J. MACAUDIERE, J. P. NZENTI et P. BARBEY, Evolution structurale et métamorphique des schistes de Mbalmayo (Cameroun). Informations pour la structure de la zone mobile panafricaine d'Afrique Centrale au contact du craton du Congo. Compte Rendu Académie des Sciences, Paris, tome 303, II (1986) 75 - 80.
- [5] - BRGM - Cameroun, Carte géologique de la région du centre Cameroun, (2008).
- [6] - J. HOAREAU, Utilisation d'une approche couplée hydrogéophysique pour l'étude des aquifères Applications aux contextes de socle et côtier sableux. Thèse de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1, France, (2009) 208 p.
- [7] - J. M. AKAME, J. MVONDO ONDOA, J. B. OLINGA, J. ESSONO et MBIH P. KEMENG, Utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) SRTM pour la cartographie des linéaments structuraux : Application à l'Archéen de Mezesse à l'est de Sangmélina (Sud-Cameroun). Geo-Eco-Trop, 37, 1 (2013) 71 - 80.
- [8] - K. T. YAO, O. FOUCHE-GROBLA, O. M. YEI & T. V. ASSOMA, Extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaires, et estimation des biais induits, en milieu de socle précambrien métamorphisé. Revue Télédétection, 10, 4 (2012) 161 - 178.
- [9] - C. NKONO, O. FEMENIAS, A. LESNE, J. C. MERCIER, D. DEMAIFFE, "Fractal analysis of lineaments in Equatorial Africa: Insights on lithospheric structure", Open Journal of Geology, 3 (2013) 157 - 168.
- [10] - RICHARD LAGABRIELLE, Techniques de l'Ingénieur, traité Construction, (2007).
- [11] - MBIDA YEM, Caractérisation par imagerie géophysique de la couverture sédimentaire des bassins offshore profond du Nord de la Cyrénaïque et de Douala-Kribi- Campo : Eléments de géologie pétrolière. Thèse doctorat PhD. Univ. Yaoundé, I (2012).
- [12] - SAME DIOUF, Hydrogéologie en zone de socle Cristallin et Cristalloyphyllien du Sénégal Oriental. Thèse de 3ème Cycle en Géologie Appliquée, Université Cheikh Anta Diop de DAKAR, Sénégal, (1999) 159 PP.
- [13] - M. DETAY, Analyse statistique des paramètres hydrogéologiques de la première campagne de forage dans le sud-ouest Gabonais, Bull. C.I.E.H, n°60 (1985).
- [14] - MEZILI, Application de la méthode des résistivités électriques à la recherche des eaux souterraines du secteur sud-ouest de la région de Yaoundé, Mém. DEA. Fac-sc., Univ. Yaoundé, I (2005) 70 p.