Rev. Ivoir. Sci. Technol., 26 (2015) 194 - 211
ISSN 1813-3290, http://www.revist.ci

CONTRIBUTION DES MÉTHODES DE RESISTIVITÉ ÉLECTRIQUE A LA RECHERCHE D'EAU EN MILIEU CRISTALLIN : CAS DE YAKASSÉ-ATTOBROU ET D'ABIÉ, RÉGION DE LA MÉ, CÔTE D'IVOIRE

Kouassi Eric Germain KOUAKOU [1,2*], Lacina DOSSO [1], Loukou Nicolas KOUAME [1], Abé Parfait SOMBO [3] et Boko Célestin SOMBO [1]

[1] *Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, Unité de Formation et de Recherche des Sciences biologiques, Département de Géosciences, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*
[2] *Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Laboratoire de Géophysique Appliquée, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*
[3] *Département des Sciences de la Terre Géosciences, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire*

*Correspondance, e-mail : *ericgermainkouassi@gmail.com*

RÉSUMÉ

Une étude sur l'approvisionnement en eau potable de Yakassé-Attobrou et Abié (région de la Mé) a été entreprise par l'ONEP, l'Office National de l'Eau Potable de Côte d'Ivoire. Les méthodes géophysiques utilisant les techniques de traîné électrique (TE) et de sondage électrique (SE) ont été mises en œuvre sous forme de profilage électrique pour les TE et des courbes de sondages électriques et de coupe géoélectriques 1D pour le SE. Les travaux ont permis l'identification de nombreuses fractures dont celle orientée autour des directions N178°, N140° et N160° s'avèrent très productives. Quatre forages ont été réalisés avec un débit horaire minimum de 5 m^3. Le paramètre « résistivité » utilisé est lié au contexte géologique (nature des formations rencontrées) et hydrogéologique (circulation, stockage) et a permis de caractériser les zones de fracturations favorables à la présence d'aquifères et à l'implantation de forages d'exploitation d'eau.

Mots-clés : *fracture, aquifère de socle, traîné électrique, sondage électrique, forage.*

ABSTRACT

Contribution of Electrical resistivity methods to Water research in cristalline environment : case of Yakassé-Attobrou and Abié

A study on drinking water supply of Yakassé-Attobrou and Abie (Region of Mé) was undertaken by ONEP, the National office of Drinking water of Côte d'Ivoire. A study on drinking water supply of Yakassé-Attobrou and Abie (Region of Mé) was undertaken by ONEP, the National office of Drinking water of Côte d'Ivoire. Electrical methods using lateral and vertical investigation have been implemented in the form of electrical profiling and electrical sounding. The Work allowed the identification of many fault of which that directed around the directions N178°, N140° and N160° prove very productive. Four drillings were carried out with a minimum rate per hour of 5 m^3. The parameter "resistivity" used is related to the geological context (natural formations met) and hydrogeologic (circulation, storage) and made it possible to characterize the zones of fracturings favorable to the presence of aquifers and the establishment of drillings of water exploitation.

Keywords : *fracture, basement aquifer, electrical profiling, electrical sounding, drilling.*

I - INTRODUCTION

L'eau joue un rôle important dans l'évolution des sociétés humaines. Pour vivre, l'homme a toujours besoin d'eau. Ainsi, tous les pays doivent faire face au problème d'eau et trouver des solutions plus rationnelles pour l'exploitation et la répartition de la totalité des ressources en eau. Cependant, en Côte d'Ivoire, la répartition de l'eau potable est inégale; en plus, face à l'augmentation démographique, la demande en eau dépasse fortement l'offre. C'est sous cette pression d'approvisionnement en eau potable des populations, que la Côte d'Ivoire s'est orientée depuis plusieurs décennies vers la recherche d'eaux souterraines. Depuis quelques temps, des déficits de 20 m^3/h et de 10 m^3/h d'eau sont estimés respectivement à Yakassé-Attobrou et Abié. C'est pour répondre aux besoins des populations qu'a été initié ce projet de recherche piloté par l'ONEP. L'objectif de ce travail est d'identifier les aquifères de fissures, à partir de la résistivité électrique des roches, afin de proposer des sites de forage, en vue d'obtenir des débits d'au moins 10 m^3/h d'eau à Yakassé-Attobrou et à Abié. A cet effet, il s'agit de mettre en évidence la variation de la résistivité géoélectrique des zones d'étude, d'étudier la fracturation pour l'identification des structures associées à la présence d'eau souterraine et de caractériser les aquifères existant dans les zones investiguées.

II - CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE DU DÉPARTEMENT DE DABAKALA

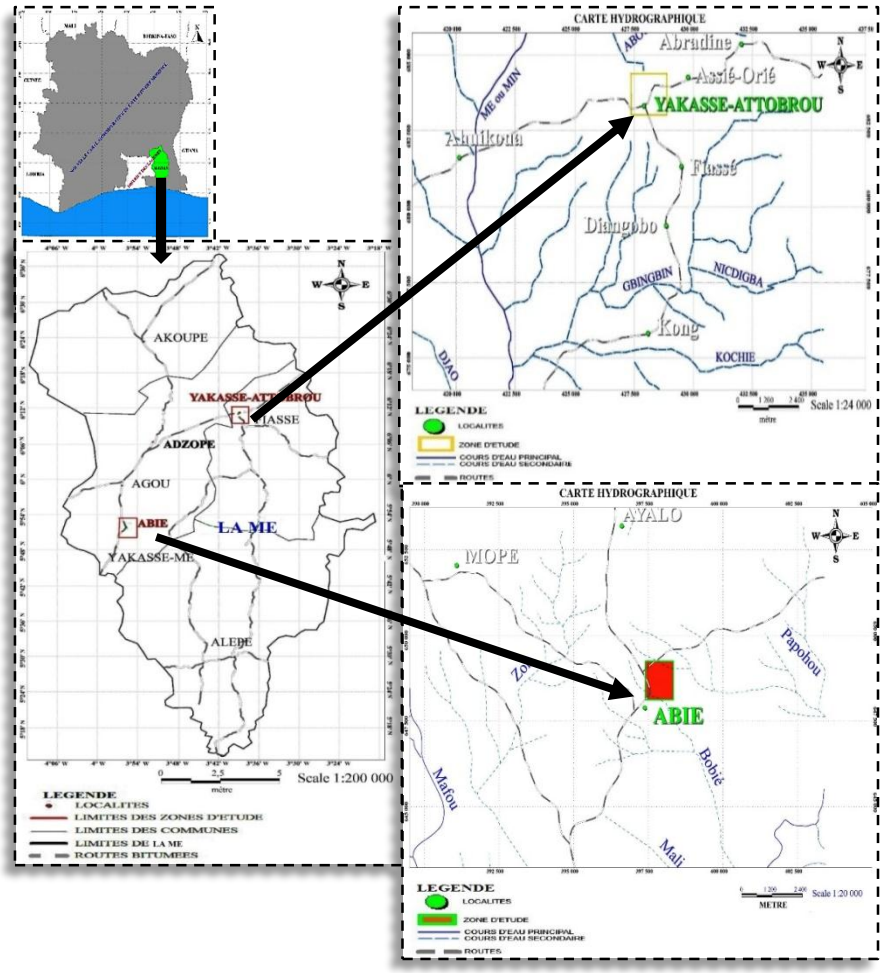

Figure 1 : *Situation géographique et hydrographique des zones d'étude dans la région de la Mé*

Les localités soumises à cette étude, appartiennent à la région de la Mé au Sud-Est de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 05°11'15'' et 06°41'15'' Nord et les longitudes 3°15' et 4°11'15''Ouest. Il s'agit de Yakassé-Attobrou, situé au Nord-Est du chef-lieu de région Adzopé, entre les Latitudes 06°06 et 06.18° N et les longitudes 03°30 et 03°42 Ouest; d'Abié, située au Sud-Ouest d'Adzopé, entre les latitudes 05°48 et 05°54 Nord et les longitudes 03°48 et 04°00 Ouest.

La région de la Mé, est drainée par un réseau hydrographique de type parallèle à sub-rectangulaire, avec un régime hydrologique de type équatorial de transition [1]. Ainsi, à l'échelle locale, le réseau hydrographique de Yakassé-Attobrou ainsi que celui d'Abie est de type dendritique à sub-parallèle et constitué du Nord au Sud, de petites ***(Figure 1).*** À l'échelle du secteur d'étude de Yakassé-Attobrou, deux grands ensembles lithologiques se distinguent :

- un ensemble sédimentaire et détritique, constitué de métaarénites dominant sur les métasiltites ou vice versa [2] ;
- un ensemble intrusif constitué essentiellement de grand massif de granodiorites à biotites et/ou hornblende entouré de gneiss fin à biotite et amphibole, de massifs intrusifs eo-eburneen ou tardi-eburneens (granitoïdes) et des métamonzongranites et métagranite à muscovite qui sont des granites sensu lato leucocrates, localement en abondance pegmatitique ; les métamonzonites et métagranite à biotite et / ou hornblende ***(Figure 2).***

La localité d'ABIE comporte seulement des métasédiments et des séries gréso-pélitiques. On distingue un massif sigmoïdal de métaarénites dominant sur métasiltites; les métasilites dominant sur les métaarénites de couleur gris-verdâtre et généralement associés aux arénites, entourant le massif sigmoïdal ***(Figure 3).***

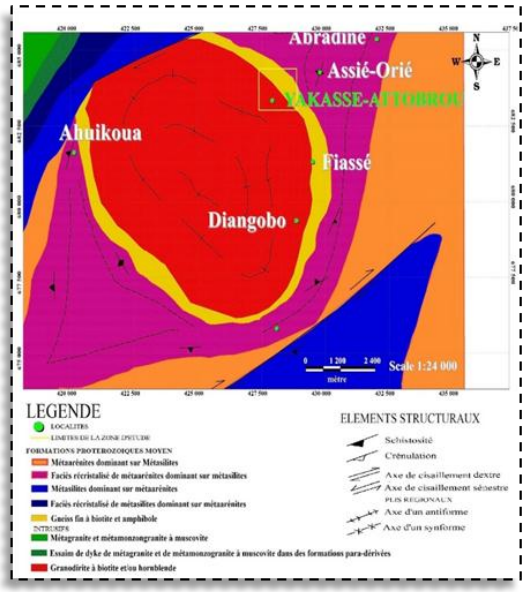

Figure 2 : *Carte lithologique et structurale de YAKASSE-ATTOBROU [2]*

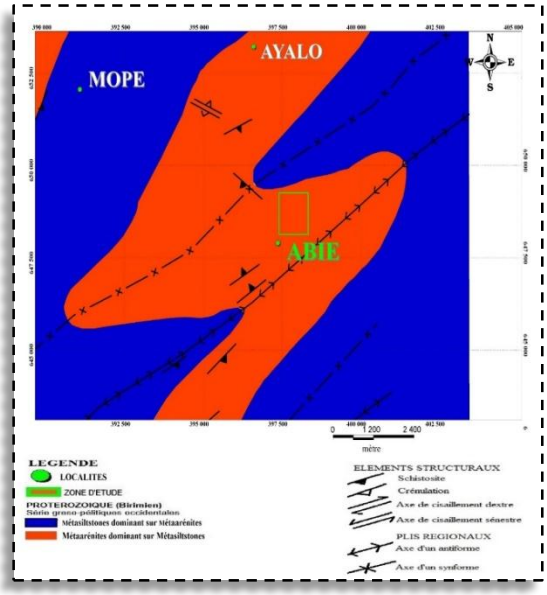

Figure 3 : *Carte lithologique et structurale d'ABIE [1]*

Du point de vue hydrogéologique, on retrouve la superposition classique d'un réservoir poreux superficiel (alluvions, colluvions et altérites) et d'un aquifère discontinu hébergé par les fractures du socle (aquifère de fissure). L'épaisseur d'altération des ouvrages existant à Yakassé-attobrou (2 ouvrages) varie entre 26 et 28 m avec des débits variant de 8 à 12 m^3/h. Quant à Abié, à partir des huit (08) ouvrages existant, on remarque que l'épaisseur d'altération varie entre 18 et 44 m avec des débits inférieurs à 15 m^3/h. L'extrême variabilité des débits obtenus pour des forages parfois voisins, souligne le caractère très discontinu de ces aquifères. Ceux-ci se développent avec les fracturations, induites par les contacts entre les matériaux intrusifs et encaissants, ou suivants des failles. L'étude des systèmes aquifères en milieu de socle cristallophyllien est donc fondamentale et indispensable pour la détermination des aires de captage des eaux souterraines, le transfert de soluté étant conditionné par l'organisation de la géométrie des réservoirs aquifères [3].

III - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Lors de la campagne un résistivimètre électrique Syscal Junior avec ses accessoires a été utilisé. Une méthode de prospection géophysique a été réalisée lors de cette étude à travers ses composantes que sont la méthode de traîné électrique et la seconde, celle du sondage électrique vertical (SEV).

La méthode électrique est une méthode traditionnelle pour la recherche d'aquifère. Elle consiste à injecter du courant continu dans le sol à l'aide d'électrode A et B et à en mesurer la différence de potentiel entre deux points MN compris entre A et B [4, 5]. Le traîné électrique est la méthode préliminaire à toute étude géoélectrique et sert de base à l'implantation des autres mises en œuvre électriques [6, 7]. Les levés de traîné électriques permettent une investigation latérale en vue de déterminer les discontinuités dans le socle. La technique du sondage électrique permet d'obtenir des informations quantitatives sur les variations de la résistivité avec la profondeur, en différents points. Sa mise en œuvre nécessite l'emploi de quatre électrodes qui sont régulièrement écartées du point central (centre du sondage) afin de prendre en compte de plus en plus de terrains. On peut estimer en approche simplifiée, la profondeur d'investigation comprise entre AB/4 à AB/10 en fonction des résistivités [4].

A Yakassé-Attobrou, trois (3) sites ont fait l'objet d'étude, onze (11) profils selon divers direction (N 40°, N 70°, N 130° et N 160°) et quinze (15) sondages électriques de longueur de ligne 200 m ont été réalisés. Pour Abié, pendant les travaux, deux (2) sites ont été investigués. Quatre (4) profils selon deux directions (N 60° et N 150°) et huit (8) sondages électriques de longueur de ligne 200 m ont été réalisés. Pour les présent travaux, les traînés électriques ont été effectués selon le dispositif Schlumberger avec les caractéristiques géométriques suivantes : AB = 200, MN = 20 m. Les sondages électriques ont été effectués selon le dispositif Schlumberger, au droit des anomalies de résistivité apparente déterminé par traîné électrique. Les modélisations des données de sondage ont été réalisées à l'aide du logiciel Ipi2win et Qwseln. Il s'agit d'une interprétation itérative utilisant un modèle géoélectrique 1D (milieu stratifié horizontalement) et aboutissant à l'établissement de modèles comprenant plusieurs terrains dont la résistivité et l'épaisseur sont déterminées.

IV - RÉSULTATS

IV-1. Identification des zones de discontinuité et leur orientation

Les résultats obtenus dans les secteurs de Yakassé-Attobrou et Abié sont présentés sur les ***Figures 4 et 5***.Les profils de résistivité présentent des paliers de faibles valeurs de résistivité par rapport à la moyenne ***(Figure 4 et 5)***. Ces niveaux correspondant à des zones d'anomalies conductrices seraient associés à des zones de discontinuités (zone de contacts, failles, fractures etc.).

Au total douze (12) fractures correspondant à divers types d'anomalie de largeurs diverses ont été identifiées sur les différents sites des localités ***(Tableau 1)***. On observe à l'analyse du tableau I, que sur les différents secteurs d'étude de Yakassé-Attobrou, les discontinuités observées s'orientent préférentiellement autour des directions NS (N 178°), E-W (N 79°), NE-SW (N 66°) et NW-SE (N 130°). Quant aux différents secteurs d'Abié, ils ont permis d'avoir de nombreuses discontinuités (08), cependant suivants trois directions à savoir NS (N 3°), NE-SW (N60°) et NW-SE (N 140°, N 159°, N 163°).

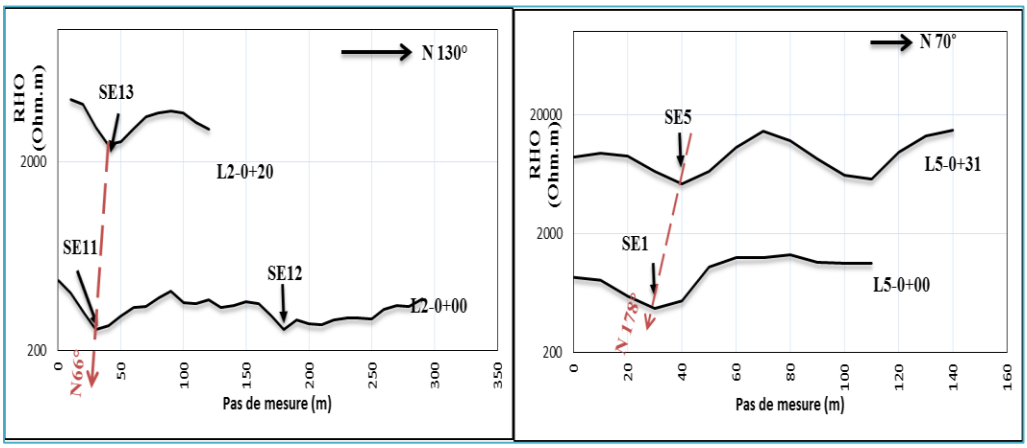

Figure 4 : *Exemple de profil de résistivité électrique de Yakassé-Attobrou*

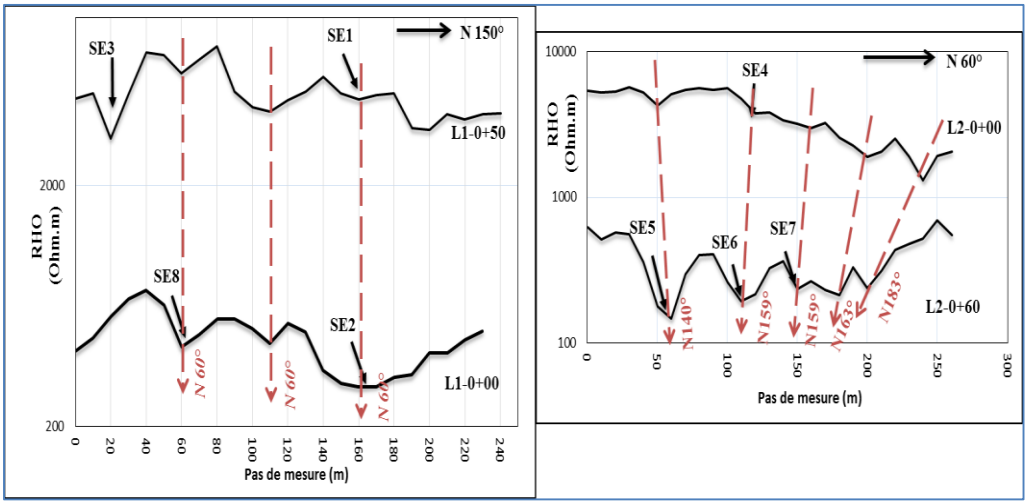

Figure 5 : *Exemple de profil de résistivité électrique de Yakassé-Attobrou*

Tableau 1 : *Différentes directions de fractures des localités étudiées*

Localites	Traînés électriques Direction de fracture (nombre)
Yakassé-Attobrou	N66°, N79°, N130°, N178°
Abié	N60° (3), N140°, N159° (2), N163°, N3°

IV-2. Différenciation des couches par sondage électrique

Vingt-trois sondages électriques en configuration Schlumberger ont été réalisés. L'inversion des données d'un sondage électrique permet d'avoir un diagramme des variations de la résistivité électrique en fonction de la profondeur. L'interprétation des courbes de sondage permet de dégager cinq groupes selon le nombre de couches et en se basant sur les critères énumérés par [8]. Il s'agit des type H ($\rho1 > \rho2 < \rho3$), KH ($\rho1 < \rho2 > \rho3 < \rho4$), 2P, HKH ($\rho1 > \rho2 < \rho3 > \rho4 < \rho5$). Le premier groupe inclut les sondages SE1, SE3, SE4, SE8, SE12, SE13 et SE14 à Yakassé-Attobrou et un seul à Abié (SE7). Trois couches sont mises en évidence : un recouvrement superficiel faiblement résistant (122 - 709 Ω.m), les arènes conductrices (11 - 30 Ω.m), enfin un substratum résistant (791 - 66831 Ω.m) sain relativement fissuré par endroit ***(Figure 6)***. Il s'agit des courbes en "fond de bateau".

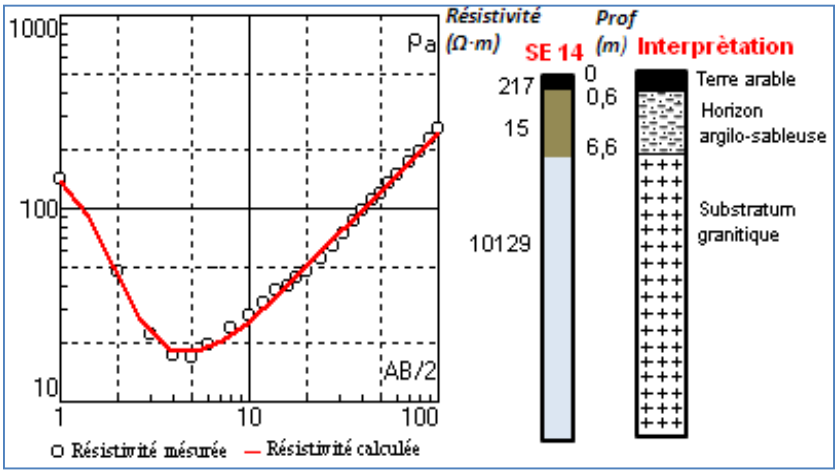

Figure 6 : *Exemple de courbe en fond de bateau (Type H)*

Le deuxième groupe quant à lui inclus d'une part les sondages SE5, SE6, SE7, SE9, SE10 et SE11 de Yakassé-Attobrou et d'autre part les sondages SE1 et SE2 d'Abié ***(Figure 7)***. Quatre couches sont mises évidence sur ceux-ci. L'interprétation de ce genre de courbe montre la présence d'un horizon graveleux résistant entre la terre arable et le complexe conducteur. Dans notre zone d'étude cette courbe présente trois variantes selon que l'horizon argilo-sableux est très conducteur ***(Figure 7a)*** ou selon qu'il est moins conducteur et plus épais ***(Figure 7b)***. Il s'agit des courbes en "cloche puis en fond de bateau".

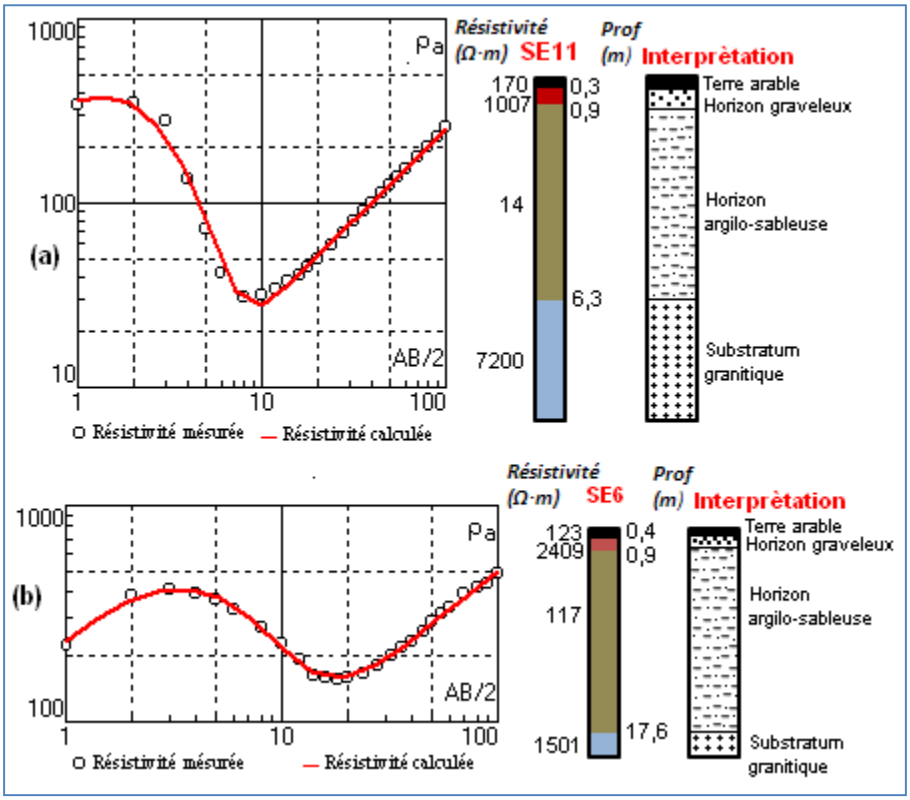

Figure 7 : *Exemple de courbe de type KH dénommée courbe en "cloche puis en fond de bateau"*

En troisième groupe, une autre variante du précédent est observée uniquement à Abié sur métaarénites dominants sur métasiltites (SE3 et SE8). Ce type de courbe présente une deuxième couche de résistivité plus élevée que la précédente ($\rho 2 > 269$ Ω.m), il correspondrait à un horizon argilo-sableux sec. Cette couche surmonte un horizon épais ($h > 10$ m) de résistivité relativement faible ($\rho 3 < 80$ Ω.m). Cette allure est illustrée à la ***Figure 8*** et correspond à une courbe à "remontée traînante".

Le quatrième groupe uniquement observé à Yakassé-Attobrou, inclus les sondages SE2 et SE15. Il indique des formations superficielles présentant deux terrains ***(Figure 9)***. Un premier terrain formé par des argiles sableuses ou des sables argileux dont la résistivité s'échelonne entre 49 et 129 Ω.m du fait des variations de teneur en argile ou en sable. La seconde couche de terrain correspond au socle résistant sub-affleurant. Il s'agit des courbes à une "seule branche montante".

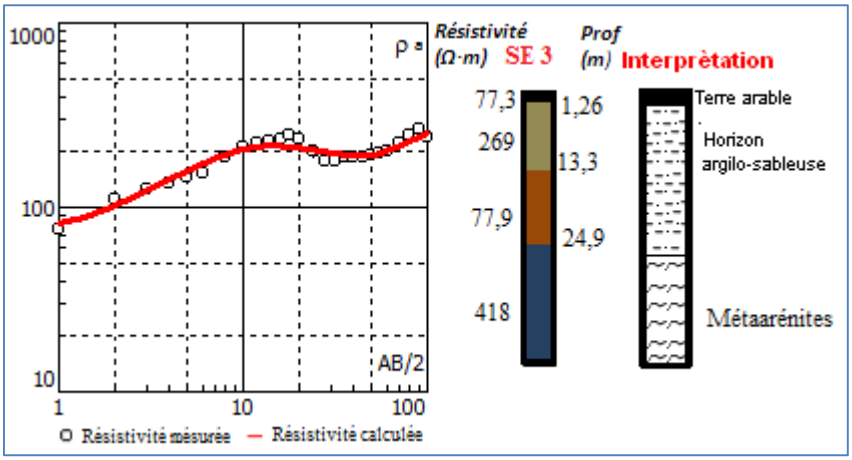

Figure 8 : *Exemple de courbe de type KH dénommée courbe à "remontée traînante"*

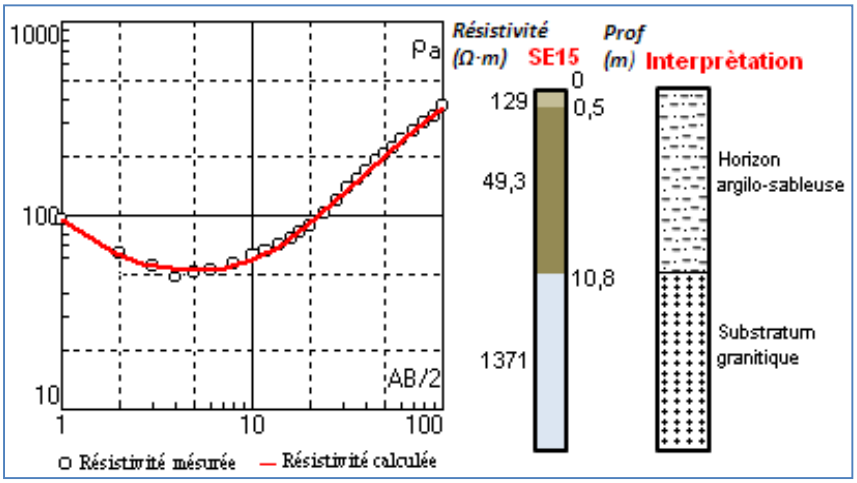

Figure 9 : *Exemple de courbe à une seule branche montante (Type 2P)*

Le dernier groupe a été observé seulement à Abié. Il inclut les sondages SE4, SE5 et SE6. Il se singularise des autres par un palier (intermédiaire en descente) entre le premier niveau résistant et le niveau conducteur au sein de l'horizon superficiel ***(Figure 10)***. Les résistivités de ce palier vont de 110 à 225 Ω.m. il prend le nom de type HKH ou courbe avec "une première branche à escalier descendant".

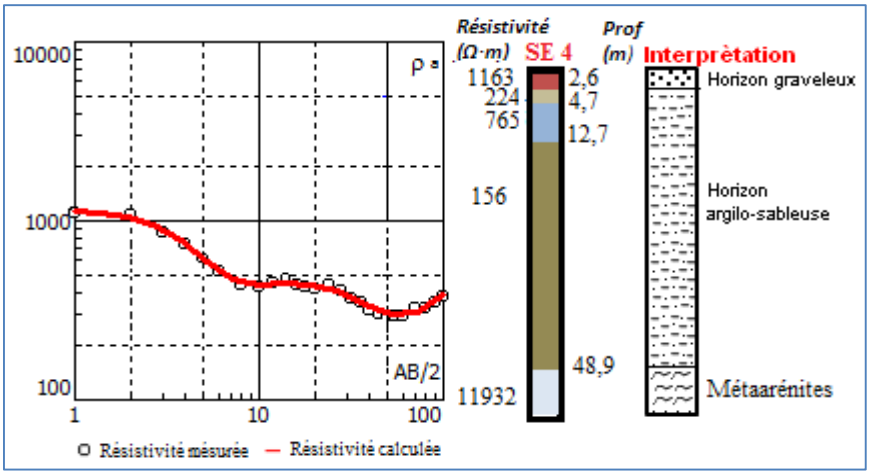

Figure 10 : *Exemple de courbe avec "une première branche à escalier descendant" (Type HKH)*

IV-3. Critères d'Implantation

L'objectif de l'étude étant de satisfaire à un besoin en eau de la population de Yakassé-Attobrou et Abié, plusieurs critères ont orienté notre choix pour l'implantation de forage.

IV-3-1. Point d'implantation A et B à Yakassé-Attobrou et Abié

A Yakassé-Attobrou, le profilage électrique confirme la présence effective de fracture de direction N 178° signalée par un alignement d'espèces végétales arborées d'interfluves. Ces structures représentent donc des couloirs où le stock hydrique permet la bonne croissance d'espèces végétales. Le sondage SE5 élaboré sur la fracture de direction N178° présente entre l'horizon conducteur et le substratum résistant (3396 Ω.m), une formation de résistivité intermédiaire (418 Ω.m) de 42 m d'épaisseur. Cette couche pourrait constituer un horizon fissuré du substratum granitique ***(Figure 11)***. Le sondage SE13 élaboré dans la même localité, sur la fracture de direction N 66° présente les résistivités apparentes les plus faibles de la zone d'étude, ce qui pourrait être un indice de l'intense fracturation sous-jacente. En plus son positionnement en aval d'un bassin versant pourrait assurer une bonne production ***(Figure 11)***.

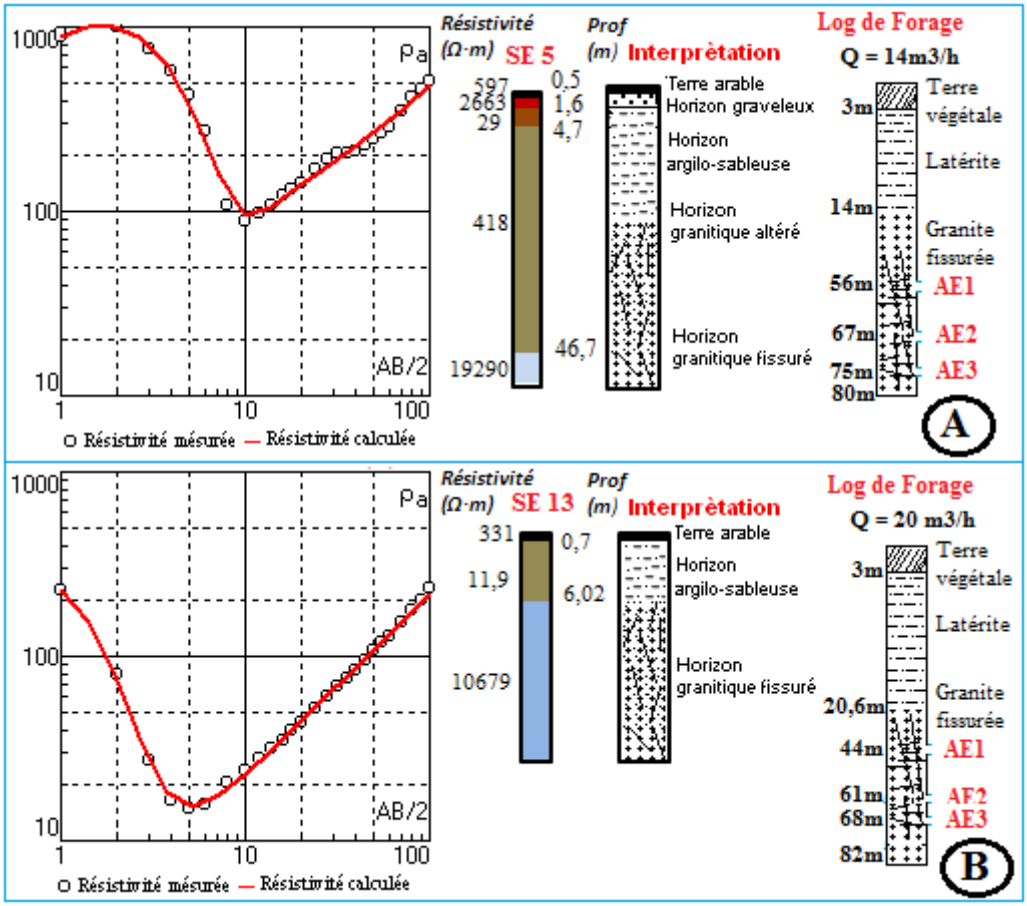

Figure 11 : *Interprétation des sondages SE5 (A) et SE13 (B) de Yakassé-Attobrou*

A Abié, l'analyse des profils électriques a mis en évidence la présence de fracture de direction N140° soulignée par des filons de quartz et la présence de végétation active. Ces structures sont de bon indicateur de la présence d'eau souterraine. Le sondage SE5 effectué à l'aplomb de cette anomalie présente une remontée traînante caractérisée par un niveau de faible résistivité (317 Ω.m) ***(Figure 12)***. Le sondage SE2 effectué sur une fracture de direction N 60° présente une forte épaisseur du complexe conducteur (70 m). Il est situé à l'amont d'un thalweg et est souligné par un alignement de termitières épigées. Tous ces facteurs sont des indicateurs de la présence d'eau souterraine ***(Figure 12)***. La conjugaison de ces différents critères nous a conforté dans le choix à, Yakassé-Attobrou des sondages SE5 (A) et SE13 (B) et à Abié des sondages SE5 (A) et SE2 (B).

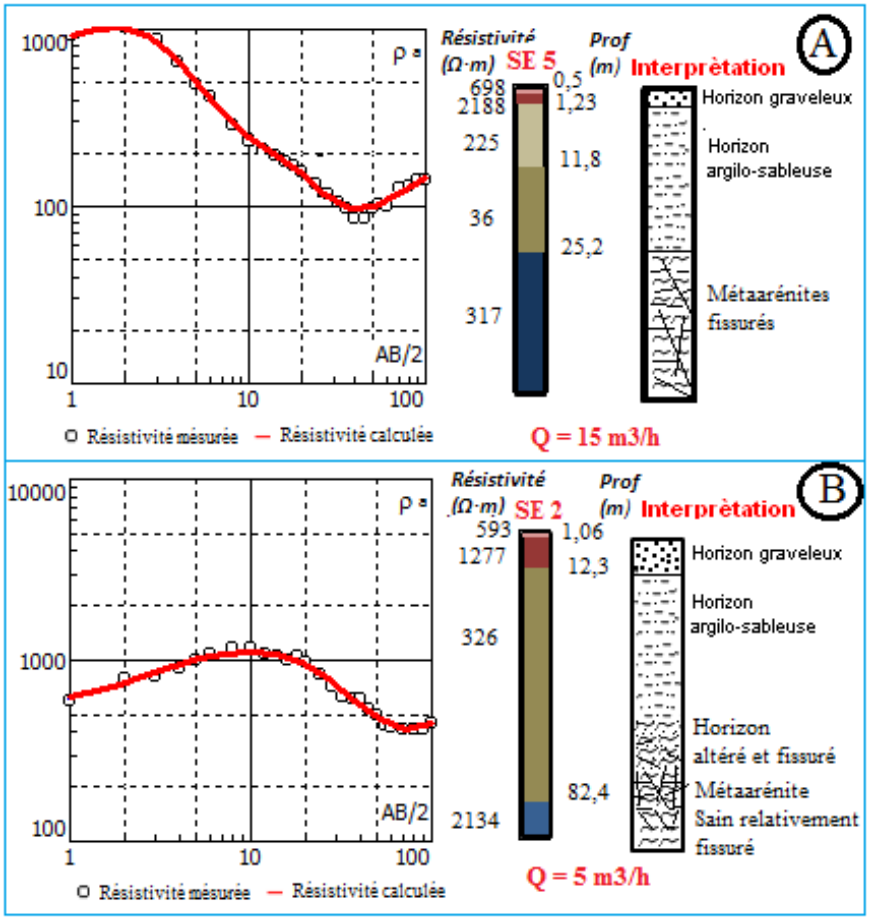

Figure 12 : *Interprétation des sondages SE5 (A) et SE2 (B) d'Abié*

IV-3-2. Point d'implantation C et D

Le profilage électrique indique la présence de zone de discontinuité en contact avec la zone de convergence du réseau de drainage, ce qui favorise une recharge éventuelle de l'aquifère. Les sondages électriques SE7 et SE9 élaborés à l'aplomb de ces anomalies montrent concernant le sondage SE9, un fond de bateau évasé dû à une forte épaisseur du complexe conducteur (29 m) que nous savons être un indice de fracturation du niveau sous-jacent et pour le sondage SE7, un niveau de grande importance hydrogéologique (99,6 Ω.m) à 34,6 m de profondeur ***(Figure 13)***. Ces différents constats nous ont confortés dans le choix du sondage SE9 et SE7 comme troisième et quatrième point à forer.

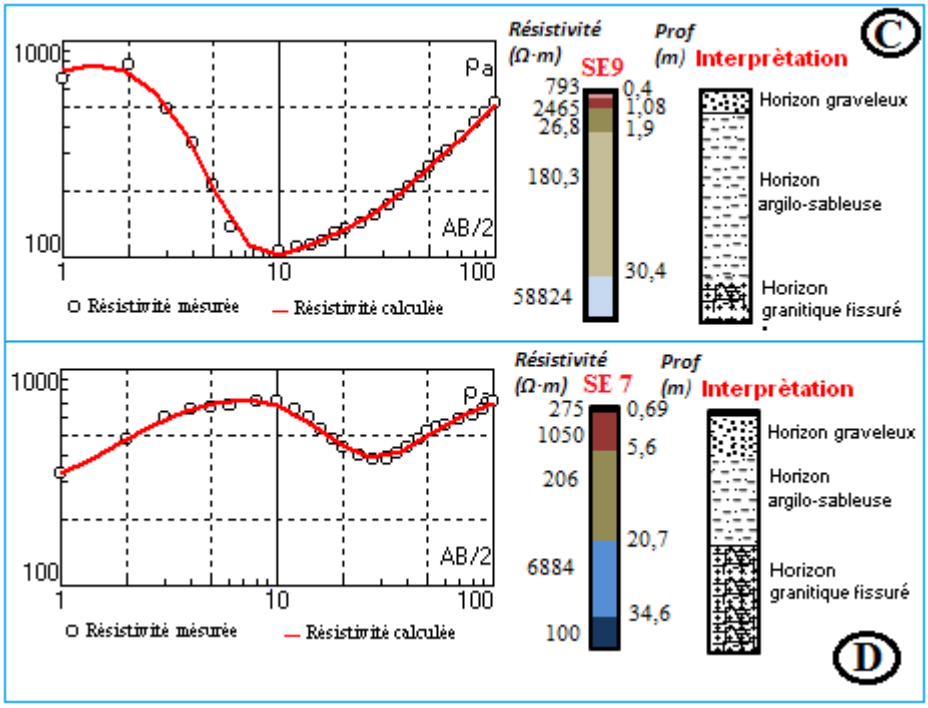

Figure 13 : *Interprétation des sondages SE9 (C) et SE7 (D) de Yakassé-Attobrou*

Les forages élaborés à l'aplomb des points désignés ont donné des débits horaires à Yakassé-Attobrou de 14 m^3 pour le point A et 20 m^3 pour le point B avec une zone broyé et fissurée comprise entre 44 et 75 m de profondeur. Quant à Abié le forage réalisé sur le point A a donné 15 m^3/h et 5 m^3/h sur le point B. Les données de forages (coupes lithologiques) ne concordent pas avec les modèles électriques obtenus surtout au niveau de la détermination de l'épaisseur d'altération.

V - DISCUSSION

Pour [9], si des ressources hydriques existent, elles seront toujours dans des conditions géologiques très particulières (zones de fractures, niveaux drainants etc.). Ainsi, les choix de point de forage ont été fonction de la conjugaison de paramètres géophysiques, géomorphologiques et hydrogéologiques. Concernant les paramètres géophysiques, les profils électriques parallèles ont mis en évidences des fractures de diverses directions dont le choix pour la réalisation de forage est fonction de leur orientation (filons de quartz de direction N 145° et N 40°.

Des études antérieures [10-12] ont montré que les fractures parallèles à la direction des contraintes de compression sont ouvertes, alors que celles qui sont orthogonales aux contraintes tectoniques sont fermées. Les directions de fractures ont donc une qualité hydraulique discutable car certaines sont ouvertes et d'autres sont fermées. Celles qui sont ouvertes sont susceptibles d'emmagasiner de l'eau donc favorables à la productivité des ouvrages, tandis que celles qui sont fermées ne peuvent pas jouer un rôle hydrogéologique. Les fractures proches du NE (direction éburnéennes) sont considérées comme des fractures de tension. D'autre part, les fractures d'orientation NW étant orthogonales aux contraintes de compression sont dans les plans de cisaillement et ainsi elles sont étanches. Les fractures d'orientation NS appartienne à la contrainte de compression des séries précambriennes, donc considérées comme des fractures de tension et ainsi être prometteuses pour des investigations des eaux souterraines. Par contre, l'orientation E-W étant perpendiculaire à la contrainte d'orientation NS, serait donc étanche.

Les résultats des forages réalisés sur des fractures de direction N 178° (14 m^3/h) et N 66° (20 m^3/h) concernant Yakassé-Attobrou et N 140° (15 m^3/h) et N 60° (5 m^3/h) à Abié viennent corroborer cette thèse. La productivité de ces directions n'est plus à démontrer car des résultats similaires ont été obtenus par [13] dans la Marahoué, par [11] dans le Denguélé, par [14] dans la région de Korhogo, par [15] dans la région de Bondoukou et par [16] dans la vallée du Bandama. En plus du critère d'orientation des fractures, les sondages électriques présentent des indices de présences de fracturation [17 – 20, 3, 21] : remontée traînante (Abié SE3), changement d'inflexion sur la remontée finale (SE9,) forte épaisseur du complexe conducteur (Abié SE2 ; Yakassé-Attobrou SE7), Du point de vu géomorphologique et hydrogéologique, on a le potentiel morphologique (les dépressions, les escarpements, les versants et les bas-fonds) et les zones d'écoulements (les sources ou les marigots, les dépôts alluviaux, les alignements dans la végétation. Les indicateurs de l'existence d'eau souterraine près de la surface sont données par la croissance de la végétation près des points de décharge ou ayant des racines qui tirent l'eau d'un aquifère.

VI - CONCLUSION

L'utilisation de la méthode de résistivité électrique (traînés et sondages électriques) dans la recherche et la prospection des eaux souterraines de certaines localités de la région de la Mé a permis de déterminer avec une bonne précision la position exacte des anomalies conductrices et plusieurs fractures orientées autour des directions N60° (4), N78°, NS (2), N160° (3), N140° (2).

En outre elle a permis une estimation de l'épaisseur de l'horizon argilo-sableux et la localisation des niveaux altérés dans le substratum faisant suite à une implantation de quatre forages de débits supérieur à 5 m^3/h. La méthode de résistivité électrique, si elle tient compte du potentiel morphologique et hydrogéologique est un outil indéniable et hautement appréciable pour l'approvisionnement en eau des populations.

RÉFÉRENCES

[1] - Y. SIMEON, C. DELOR, Z. ZEADE, Y. KONE, B. YAO, M. VIDAL, I. DIABY, G. KONAN, B. I. DJE, D. N'DA, A. DOMMANGET, J. P. CAUTRU, C. GUERROT et J-C CHIRON, *Notice explicative de la carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000*, feuille d'Abengourou, Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie de la Côte d'Ivoire, n°4 Abidjan, Côte d'Ivoire (1992).

[2] - Y. SIMEON, C. DELOR, Z. ZEADE, Y. KONE, B. YAO, M. VIDAL, I. DIABY, G. KONAN, B. I. DJE, D. N'DA, A. DOMMANGET, J. P. CAUTRU, C. GUERROT et J-C CHIRON, *Notice explicative de la carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000,* feuille d'Abengourou, Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie de la Côte d'Ivoire, n°7 Abidjan, Côte d'Ivoire (1995).

[3] - A. P. SOMBO, F. W. KOUASSI, B. C. SOMBO, L. N. KOUAME, E. G. K. KOUAKOU, Contribution de la prospection électrique à l'identification et à la caractérisaton des aquifères du socle du département de Sikensi (Sud de la Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, Vol. 64, N° 2 (2011) 206-219.

[4] - L. MARESCOT, *Cours bloc* : Géophysique appliquée à l'archéologie, Université Fribourg (2007).

[5] - S. BAKKALI S. and M. AMRANI, Un modèle 3D des "perturbations" des séries phosphatées basé sur l'optimisation des réponses du signal analytique des données de résistivité électrique, *African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering* Séries, Vol. 7, No. 1 (2006) 121-131.

[6] - D. CHAPELLIER, *Cours online de géophysique* : Prospection électrique de surface, Université Lausanne (2000).

[7] - J. M. OUILLAMOZ, "Caractérisation des aquifères par une méthode non invasive : le sondage par résonance magnétique protonique". Thèse, Université Paris VI (2003).

[8] - A. C. LAVOIE, Application de la méthode des sondages électriques à la caractérisation des aquifères et des dépôts meubles, Basses-Terres de Saint Laurent, région Nord de Montréal Mémoire de maîtrise, Université. Montréal (1998).

[9] - A BOUDOUKHA, Identification des aquifères profonds par la prospection électrique, application à l'est algérien. Université de Batna Algérie *sciences & technologie a* – n°28 décembre (2008) 47-52.

[10] - M. ENGALENC, J.C. GRILLOT, J.C. LACHAUD, *Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches de l'Afrique de l'Ouest.* Edition Géohydraulique, Vol. 2 (1979).

[11] - I. SAVANE, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire (1997).

[12] - E. KOUADIO, I. SAVANE, T. LASM and J. BIEMI, Hydrogeology Prospecting in Crystalline and Metamorphic Area by Spatial Analysis of Productivity Potential, *European Journal of Scientific Research*, 22(3): (2008) 373-390.

[13] - J. BIEMI, Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Sub-sahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse d'Etat Université Nationale de Côte d'Ivoire (1992).

[14] - J. P. JOURDA, Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'Hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire, Thèse de doctorat *ès* Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire (2005).

[15] - M. YOUAN TA, T. LASM, J. P. JOURDA, K. F. KOUAME and M. RAZACK, Cartographie structurale par imagerie satellitaire ETM+ de Landsat-7 et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Télédétection*, 8(2), (2008) 119-135.

[16] - E. G. K. KOUAKOU, Contribution de la géophysique à l'étude structurale et à la connaissance des ressources en eau souterraine du district de la vallée du Bandama (côte d'ivoire), Thèse de doctorat géophysique appliquée, Université Félix Houphouët Boigny, UFR STRM, Abidjan Côte d'Ivoire (2012).

[17] - A. N. SAVADOGO, Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du Bassin versant de la Sissil, Thèses de doctorat, Université de Grenoble 1, Institut Dolomieu (1984).

[18] - D. SAME, Hydrogéologie en milieu de socle cristallin et cristallophyllien du Sénégal oriental : Application de la méthode électrique 1D et 2D à la localisation et à la caractérisation des aquifères du batholite de Saraya et ses environs", Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université Cheikh Anta Diop (Dakar)(1999).

[19] - Y. KOUSSOUBE, A. SAVADOGO and S. NAKOLENDOUSSE, Les différentes signatures de fractures de socle cristallin en zone sahélo-soudanienne du Burkina Faso (Bassin versant de Bidi, province de yatenga)", *Télédétection*, 3 (5) (2003) 419-427.

[20] - Y. KOUSSOUBE, S. NAKOLENDOUSSE, P. BAZIE, A. N. SAVADOGO, Typologie des courbes de sondages électriques verticaux pour la reconnaissance des formations superficielles et leur indice en hydrogéologie du socle cristallin du Burkina Faso, *Sud sciences et technologie* n°10, (2003) 26-34.

[21] - E. G. K. KOUAKOU, B. C. SOMBO, E. K. KOUADIO, F. W. KOUASSI, D. KEITA, A. P. SOMBO and L. N. KOUAME, Sondage et Profilage Électrique dans le District de la Vallée du Bandama (Côte D'ivoire): Corrélation des Résultats Électriques et Sondages Mécaniques, Typologie et Modèles des Courbes Géoélectriques", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 94, N° 3, (2013) 355-372.