

PROSPECTION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA LOCALITÉ DE BONDOUKOU (NORD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE) : APPORT DE LA MÉTHODE ÉLECTRIQUE

Kouamé Gbèlè Hermann LOUKOU^{1*}, Kouassi Eric Germain KOUAKOU^{1,2}, Loukou Nicolas KOUAMÉ¹ et Boko Célestin SOMBO¹

¹ *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*

² *Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, Unité de Formation et de Recherche des Sciences biologiques, Département de Géosciences, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, e-mail : loukou90@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les besoins en eau potable des populations de la localité de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire), ont conduit à plusieurs opérations d'implantation de forages en s'appuyant sur les études géophysiques en milieu cristallophyllien fissuré. L'objectif de ce travail est de déterminer des sites favorables à l'implantation de forages à gros débit (au moins 10 m³/h). Pour ce faire, une analyse des facteurs de productivité des forages existants suivie d'une étude prospective par résistivité électrique ont été entreprises. En effet, les épaisseurs d'altération de la localité de Bondoukou, comprises entre 10 et 30 m s'avèrent les plus productives. L'étude géophysique a, quant à elle, permis d'identifier non seulement des fractures orientées préférentiellement autour des directions N162°, N43°, N55°, et N171° mais aussi de différencier les terrains en mettant ainsi en évidence les zones aquifères potentielles. Vingt (20) sites d'implantation de forage ont été proposés, parmi lesquels, quatre (04) ont été forés avec un débit horaire minimum de 16 m³/h.

Mots-clés : *forage, géophysique, débit, aquifère, Bondoukou.*

ABSTRACT**Groundwater prospecting in the locality of Bondoukou (Northeast of Ivory Coast) : contribution of electrical method**

The drinking water requirements of the populations in Bondoukou locality (North-East of Ivory Coast), led to several drilling operations based on geophysical studies in fissured crystallophyllian environment. The objective of this work is to determine favorable sites for the implantation of boreholes (at least 10 m³/h). To do this, an analysis of the productivity factors of existing drilling followed by a prospective study by electrical resistivity were undertaken. Indeed, the thicknesses of alteration of the locality of Bondoukou, between 10 and 30 m are the most productive. The geophysical study has allowed to identify not only fractures oriented preferentially around the directions N162°, N43°, N55°, and N171° but also to differentiate the lands thus highlighting the potential aquifer zones. Twenty (20) drilling sites were proposed, of which four (04) were drilled with a minimum hourly flow of 16 m³/h.

Keywords : *drilling, geophysics, flow, aquifer, Bondoukou*

I - INTRODUCTION

La localité de Bondoukou, du fait de sa démographie galopante et de la modernisation, est confrontée à un problème d'approvisionnement en eau potable. En effet, le déficit de ladite localité est estimé à 60 m³/h, malgré les 07 forages débitant au moins 10 m³/h chacun. Dans un tel contexte, la recherche de nappe d'eau souterraine nécessite une meilleure connaissance des ouvrages antérieurs et une méthodologie appropriée. Ce travail se propose à travers l'usage des techniques de la géophysique (méthode de résistivité électrique) de déterminer avec une bonne précision le positionnement des discontinuités tectoniques, de localiser les zones d'intérêt et de proposer des sites de forage susceptibles de fournir des débits d'au moins 10 m³/h dans la localité de Bondoukou.

II - PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

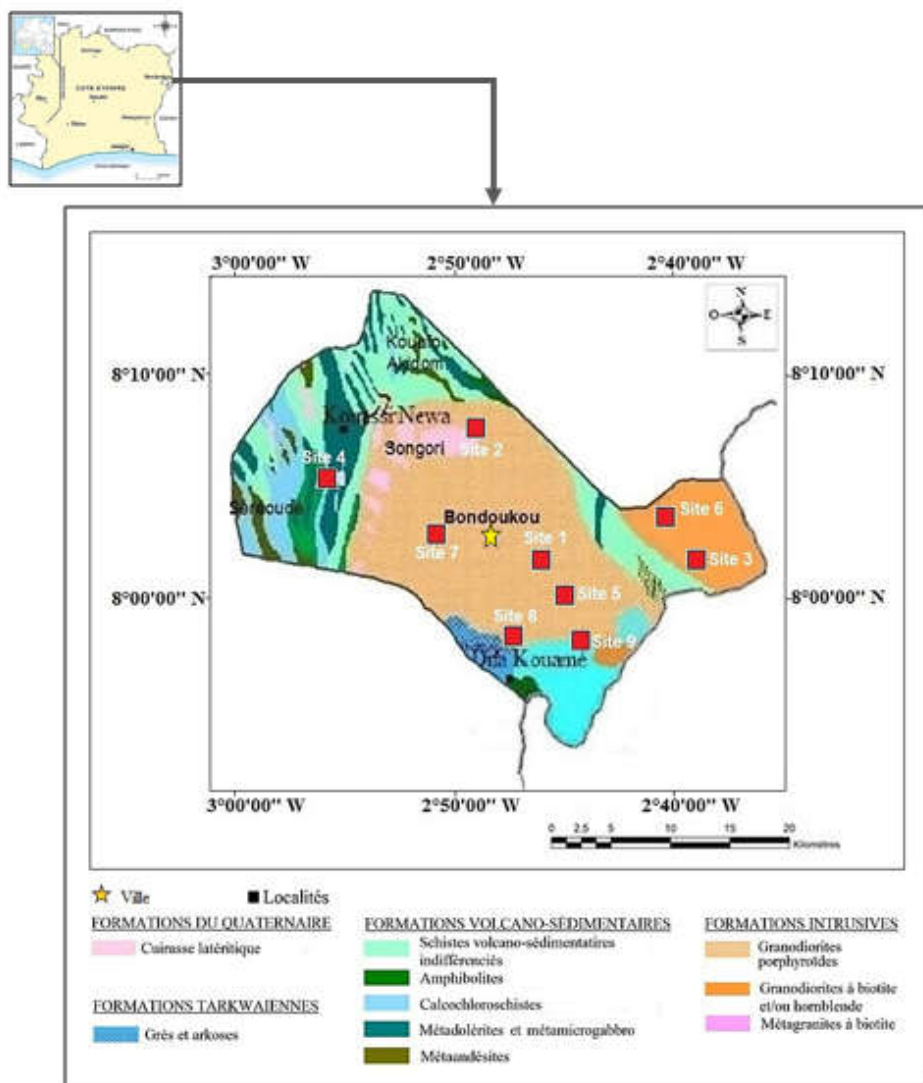


Figure 1 : Carte géologique de la zone d'étude [3]

La zone soumise à cette étude appartenant au département de Bondoukou est située entre les latitudes 7°89 N et 8°23 N et les longitudes 2°60 W et 3°00 W (Figure 1). Elle présente une topographie variée entre relief très accidenté d'une part et relief monotone d'autre part. La végétation du secteur d'étude est essentiellement constituée de savane arborée et arbustive. On y rencontre aussi des îlots forestiers sur les plateaux et des forêts galeries liées au réseau hydrographique dans la partie ouest de la zone d'étude. Dans la partie est, on

retrouve également des forêts galeries qui suivent les cours d'eau, mais surtout de vastes étendues de savanes arborées. Du point de vue géologique, deux (02) grands ensembles lithologiques sont rencontrés dans la région de Bondoukou (**Figure 1**). Toute sa partie centrale est occupée par des formations intrusives notamment par des granodiorites porphyroïdes, qu'on retrouve également à l'ouest du département sous un autre type (granodiorites à biotite et/ou hornblende) ; alors que le reste de la région est occupé par des formations volcano-sédimentaires. Au plan hydrogéologique, les aquifères de fractures peuvent constituer d'importants réservoirs d'eaux souterraines dans le socle précambrien de la zone d'étude. L'approvisionnement en eau potable de la ville de Bondoukou est assuré par les forages captant la nappe du socle fracturé. Les forages utilisés pour l'hydraulique urbaine ont des débits moyens allant de 13 m³/h à plus de 20 m³/h. En zones rurales, l'approvisionnement en eau est parfois assuré par des forages à productivité généralement moyenne. Les altérites couvrent généralement la roche saine sous-jacente dans la région de Bondoukou. Lorsque la roche saine est constituée de schistes, l'épaisseur d'altération varie de 30 à 50 m, mais celle-ci peut atteindre par endroits plus de 90 m. Les altérites sur les schistes fournissent une importante réserve d'eau souterraine exploitable. Le profil d'altération sur les granitoïdes est généralement moins développé que sur les schistes [1 - 3].

III - MATÉRIEL ET MÉTHODES

La collecte des données de résistivité a été effectuée à partir d'un résistivimètre de type SYSCAL junior, muni de tous ses accessoires. Le principe de la méthode consiste à injecter du courant continu à partir de deux (02) électrodes dites de courant (A et B) et à mesurer la différence de potentiel résultante grâce à deux (02) autres électrodes appelées électrodes de potentiel (M et N). Deux (02) techniques de prospection électrique ont été mises en place : le traîné et le sondage électriques. L'objectif du traîné électrique est de mettre en évidence une variation latérale de faciès caractérisant des éléments structuraux (joints et failles) ou des anomalies conductrices favorables à la mise en place d'un réservoir d'eau. A l'aplomb de chacune des anomalies conductrices, il est exécuté un sondage électrique (SE) qui permet de dresser les coupes géoélectriques des sites étudiés, c'est-à-dire déterminer les résistivités vraies et les profondeurs des différents terrains. Pour les présents travaux, neuf (09) sites ont été explorés (**Figure 2**). Les traînés électriques ont été effectués selon le dispositif Schlumberger avec les caractéristiques géométriques suivantes : AB = 200 et MN = 20 m. Les sondages électriques ont été effectués également selon le dispositif Schlumberger, au droit des anomalies de résistivité apparente déterminées par traîné électrique. Au total, 5160 m repartis en 28

lignes ont été parcourues par le traîné électrique et 33 sondages ont été exécutés. Les données issues des levés des traînés et des sondages électriques ont été traitées respectivement grâce au tableur Excel 2016 et au logiciel ipi2win 2.1.

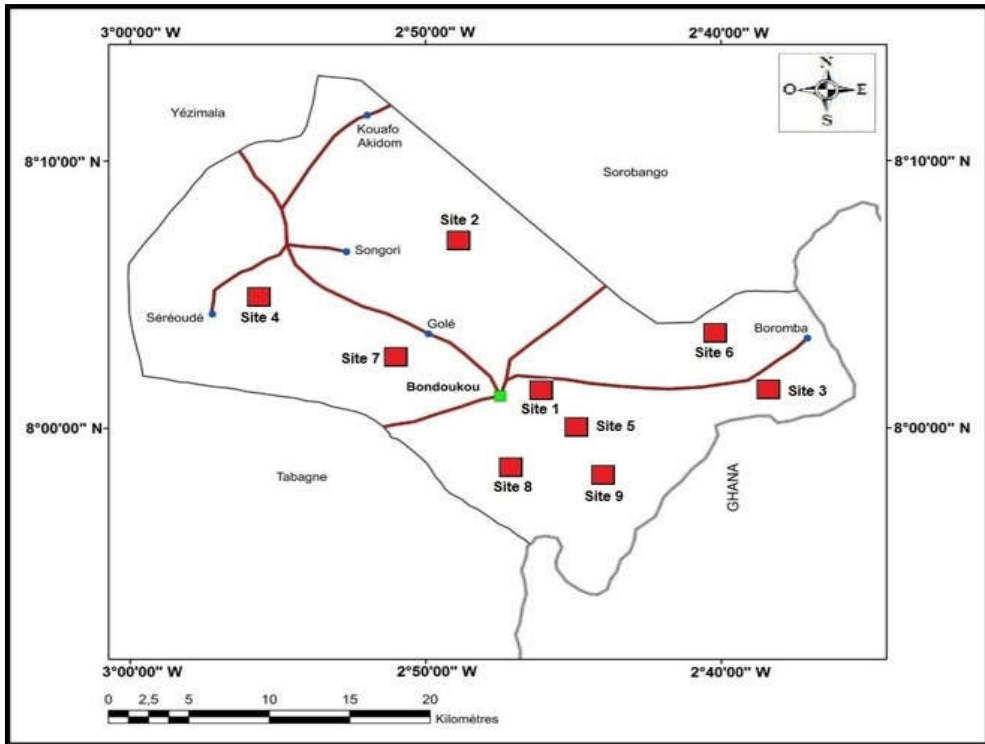


Figure 2 : Carte de localisation des sites d'étude

IV - RÉSULTATS

IV-1. Analyse de la productivité des forages existants

Les débits d'exploitation des forages existants dans le département de Bondoukou ont été représentés sous forme d'histogramme afin d'évaluer les facteurs de productivité de ces ouvrages (*Figure 3*). L'analyse de cet histogramme révèle que 78,61 % des forages ont un faible débit, contre seulement 10,86 % de forages à débit moyen et 10,53 % à fort débit.

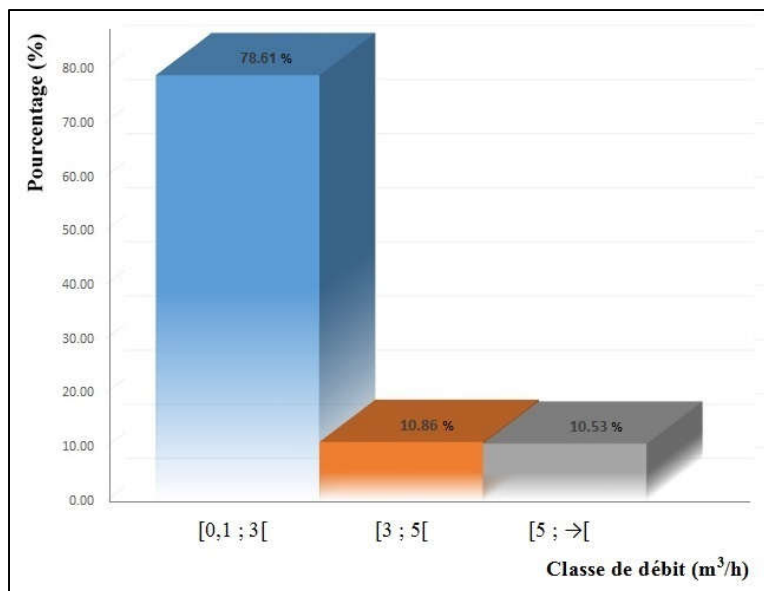


Figure 3 : Histogramme des débits de forages existants

IV-1-1. Relation entre épaisseur d'altération et débit

Une étude corrélative entre épaisseur d'altération et débit est présentée à travers le diagramme de la **Figure 4**. Il ressort de cette analyse que le débit à Bondoukou est fort entre 10 et 30 m d'épaisseur d'altération.

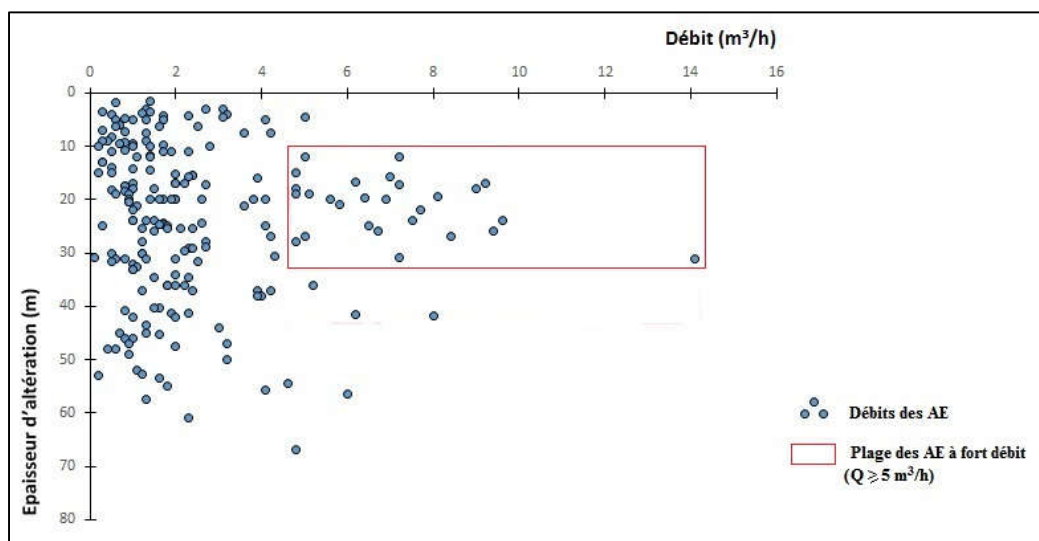


Figure 4 : Relation entre épaisseurs d'altération et débits

IV-1-2. Relation entre arrivée d'eau et débit

La **Figure 5** présente le rapport débit - arrivée d'eau. On constate que les arrivées d'eau comprises entre 20 et 50 m de profondeur présentent les plus forts débits de la localité de Bondoukou. Cependant au-delà de cette marge, il existe de rares arrivées d'eau à gros débits.

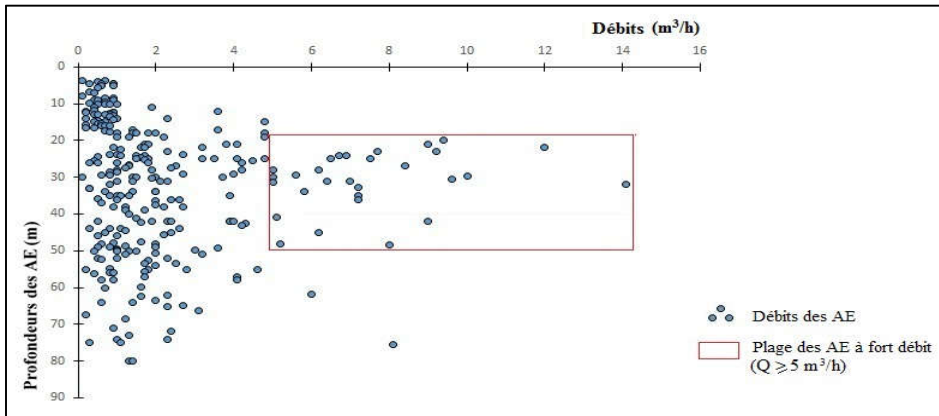


Figure 5 : Distribution des débits des arrivées d'eau avec la profondeur

IV-2. Identification des zones de discontinuité

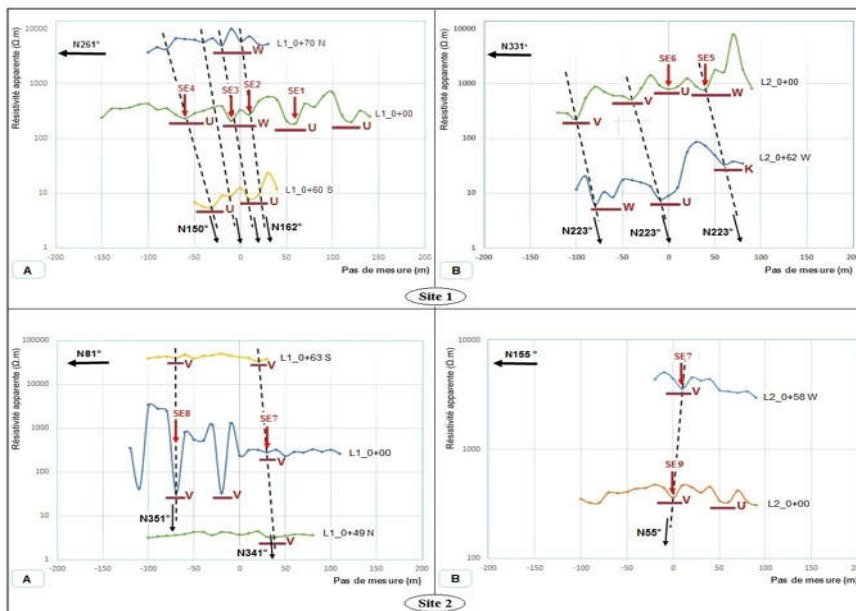


Figure 6 : Quelques profils de résistivité électrique de Bondoukou

Les traînées électriques ont permis de détecter des zones de discontinuité sur l'ensemble des sites étudiés. Ainsi les fractures identifiées s'orientent préférentiellement autour des directions NW-SE (N150°, N162°), N-S (N351°, N341°) et NE-SW (N223°, N55°) (**Figure 6**).

IV-3. Différentiation des couches par sondage électrique

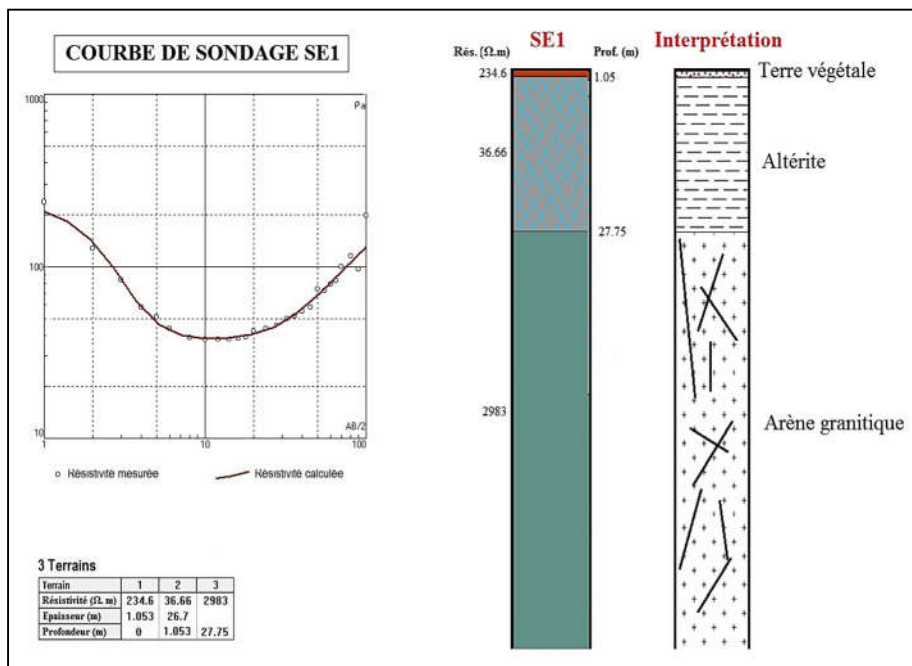


Figure 7 : Courbe en "fond de bateau" obtenue sur une anomalie en U du profil L1_0+00 réalisé dans le secteur du forage de sodeci (Site1) de Bondoukou

Dans un contexte géologique aussi complexe, comme celui de la localité de Bondoukou, les résultats des sondages électriques sont difficiles à exploiter (effets latéraux, équivalence et suppression). Cependant, les résultats obtenus, bien que sujet à caution, ont d'une part, permis de caractériser d'un point de vue géoélectrique les formations sous-jacentes, et d'autre part, d'avoir une idée sur la structure de l'aquifère. L'interprétation des courbes de sondage permet de dégager quatre (04) groupes selon leur allure. On a en effet une prédominance de courbes en "fond de bateau" ou de type H ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$). En général, ces courbes présentent trois (03) couches (Cas des sondages SE1, SE2, SE5 et SE6 dans le secteur du forage de sodeci ; SE10, SE11, SE12, SE13 et SE14 à Wélékéhi, SE15 et SE16 à Baya ; SE21 près du camp de gendarmerie et SE32 dans le secteur de la scierie). La première correspond à un

recouvrement superficiel faiblement résistant (100 - 1800 Ω .m) d'épaisseur variant entre 0,5 et 3 m. Il s'agit de la cuirasse latéritique. Sous celle-ci s'étend l'horizon argilo-sableux qui présente une résistivité faible (3 - 40 Ω .m) avec une épaisseur pouvant atteindre 50 m. A la base, se trouve un niveau résistant (600 - 15000 Ω .m) correspondant au socle sain relativement fissuré (**Figure 7**).

Dans certains cas, les sondages ont révélé l'existence d'un quatrième terrain (Exemple du sondage SE23) qui correspondrait au granite sain avec des résistivités supérieures à 7000 Ω .m. L'analyse des courbes de sondages a par ailleurs, dévoilé l'existence d'un groupe de courbes en "cloche" puis en "fond de bateau" (**Figure 8**). Il se compose des sondages SE8, SE9, SE22, SE27, SE28 et SE31. Quatre (04) terrains peuvent être distingués. La couche superficielle est représentée par un recouvrement arable sableux, avec des résistivités qui varient entre 300 et 900 Ω .m et des épaisseurs faibles (0,25 m à 1,25 m). Les autres terrains sous-jacents sont les mêmes que ceux définis plus haut (sondage à trois couches).

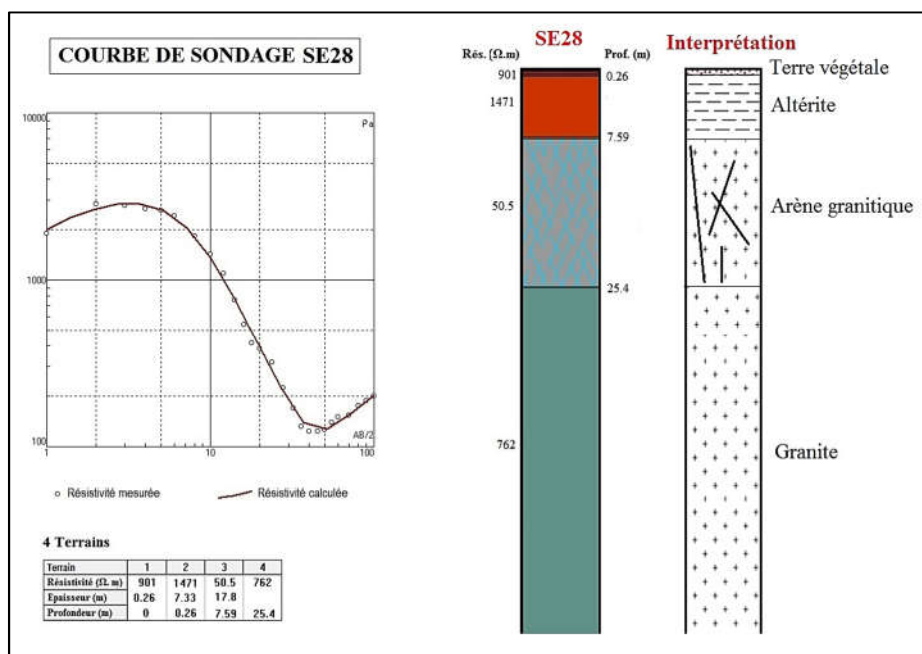


Figure 8 : Courbe en "cloche" puis en "fond de bateau" obtenue sur une anomalie en U du profil L3_0+00 réalisé sur le site 8 de Bondoukou

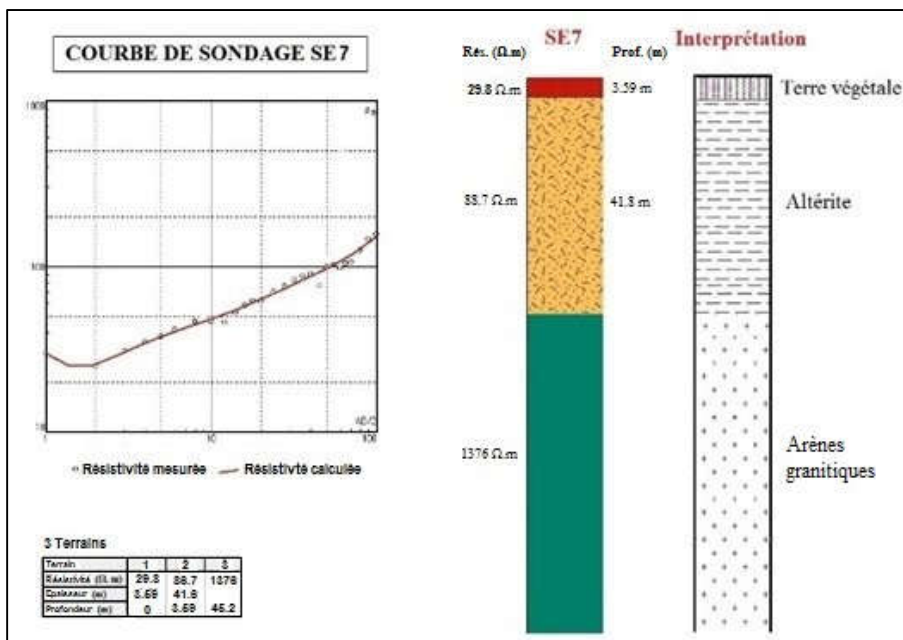


Figure 9 : Courbe à une seule branche montante obtenue sur une anomalie en V du profil L1_0+00 réalisé sur le site 2 de Bondoukou

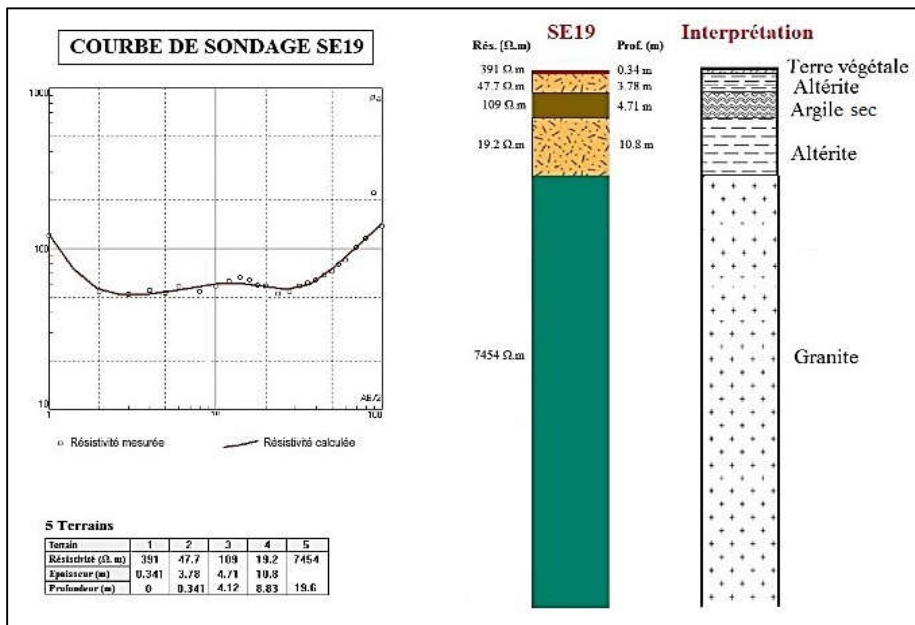


Figure 10 : Courbe en "cloche" dans un "fond de bateau" obtenue sur une anomalie en U du profil L6_0+00 réalisé sur le site 5 de Bondoukou

A ces deux (02) familles, s'ajoutent les courbes à une seule branche montante (**Figure 9**) et les courbes en "cloche" dans un "fond de bateau" (**Figure 10**). La courbe en "cloche" dans le "fond de bateau" est une variante de la courbe en "fond de bateau". Cette modification de la courbe est souvent liée à la présence d'un horizon argileux sec ou d'argiles gravillonnaires dans le complexe conducteur. Ce type de courbe de sondage électrique est rencontré dans les bas-fonds actuels ou anciens (exemple du site 5 : secteur de l'église baptiste). Ce cas de figure traduit la présence d'aquifères alluviaux dont la pérennité est liée à l'alimentation par les eaux de la rivière.

IV-4. Implantation des forages

Le but de cette étude étant de fournir des débits d'au moins 10 m³/h, une étude multicritère basée sur les paramètres géophysiques, comme indiquée dans le **Tableau 1**, a permis de proposer des points de forage. L'analyse de ce tableau montre que le point de sondage SE15 a enregistré le meilleur débit horaire d'une valeur de 30 m³. Le plus faible débit chiffré à 16 m³/h a quant à lui, été observé au point de sondage SE26. On perçoit avec ces chiffres que les débits obtenus sont très satisfaisants. Toutefois on note une incohérence entre débit obtenu et ordre de foration.

Tableau 1 : *Quelques points de forage proposés et leurs caractéristiques géophysiques*

SONDAGE	INDICE DE FRACTURATION (IF)	EPAISSEUR D'ALTERATION (m)	FORME D'ANOMALIE	TYPE D'ANOMALIE	TYPE DE SONDAGE	ORDRE DE FORATION	DEBIT OBTENU (m ³ /h)
SE15 (Site 4)	0,1	18	U	PC	Fond de bateau	4 ^e	30
SE17 (Site 5)	1	53	V	CCE	Fond de bateau	3 ^e	27
SE22 (Site 5)	1,3	44	W	CCE	Cloche puis en fond de bateau	2 ^e	20
SE26 (Site 7)	1,3	55	U	CCE	Fond de bateau	1 ^{er}	16

De tous les paramètres géophysiques utilisés, on remarque une grande proportionnalité entre le débit obtenu et l'indice de fracturation. En effet,

contrairement à l'ordre de foration, le débit est élevé quand l'indice de fracturation est faible. Un grand indice de fracturation signifie pourtant que les fractures sont grandement ouvertes ; offrant alors des possibilités d'obtenir des quantités importantes d'eau. Alors que les résultats des forages obtenus dans ce travail en témoignent le contraire. Bien que les fractures soient grandement ouvertes, celles-ci sont faiblement alimentées. C'est ce qui justifierait ces débits relativement faibles, contrairement aux points à faible indice de fracturation, où sont enregistrés de forts débits. En outre, d'autres facteurs comme le mauvais positionnement des forages sur les fractures et aussi leur orientation vis-à-vis des contraintes de déformations régionales (NW-SE), seraient des paramètres qui pourraient influencer la productivité des ouvrages de captage.

IV-5. Comparaison entre les coupes électriques et les coupes lithostratigraphiques de forages

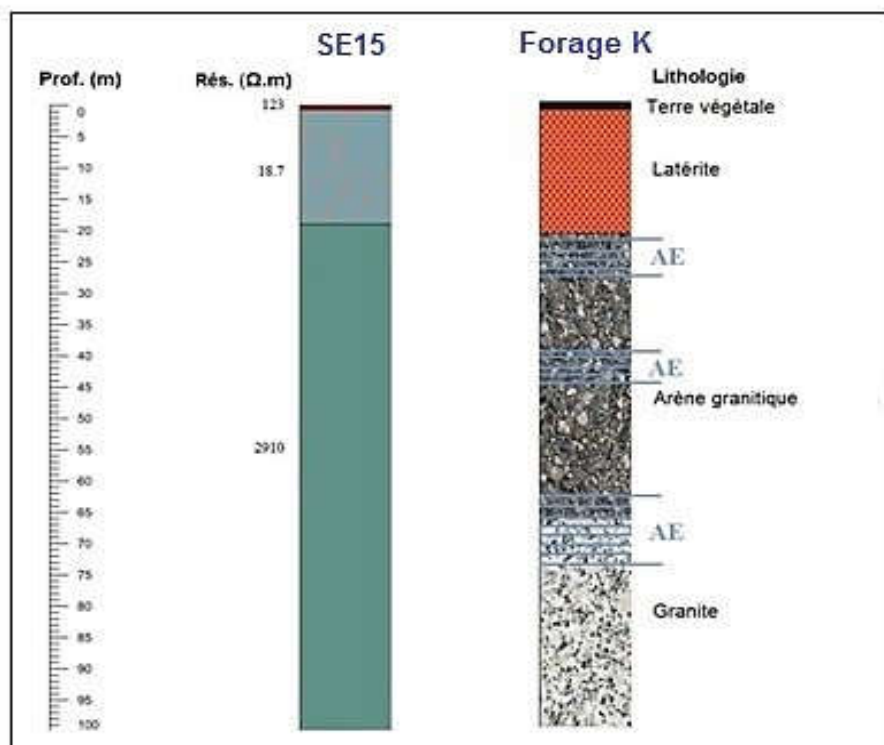


Figure 11 : Cohérence entre la coupe géoélectrique de SE15 et la coupe lithologique correspondante

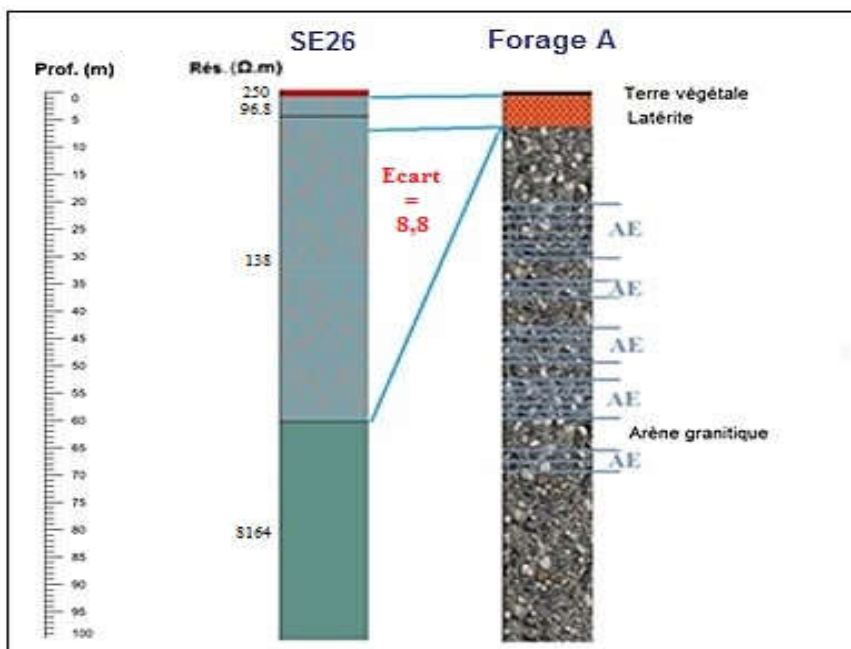


Figure 12 : Incohérence entre la coupe géoélectrique en SE26 et sa coupe lithologique correspondante

Une bonne corrélation a été faite entre la coupe électrique du sondage SE15 et la coupe lithologique du forage correspondant ; mais sur la coupe électrique les niveaux d'arène granitique et du granite sont combinés en un seul terrain (**Figure 11**). En effet, l'arène granitique et le granite de nature proche ont sûrement des résistivités très voisines et sont perçus comme un seul terrain selon la courbe de sondage. Par contre, au niveau du sondage SE26 par exemple, on observe une surestimation de l'épaisseur d'altération (**Figure 12**). Elle s'explique par la présence d'horizon fissuré intercalé (55 m) entre le socle et les altérites.

V - DISCUSSION

Plusieurs travaux ont ainsi abordé le problème de captage des eaux souterraines allant de l'utilisation de la télédétection et des SIG [3 - 6] à l'utilisation de la géophysique à partir des méthodes électriques [7 - 9]. Pour l'apport de la télédétection et des SIG, [3] révèle que les classes directionnelles jugées responsables de la productivité des forages dans le département de Bondoukou sont les directions NE-SW et NW-SE. Cette thèse est confirmée par les résultats de ce travail de trainé électrique qui montrent des fractures orientées préférentiellement dans les mêmes directions (NE-SW et NW-SE). Les

milieux fracturés sont des milieux particulièrement hétérogènes où l'eau s'écoule facilement. Ils sont donc la cible de la prospection hydrogéologique. Par ailleurs, des études antérieures menées par [1] au Marahoué, [5] à Korhogo et [10] dans la vallée du Bandama, ont montré que les fractures proches des directions éburnéennes (NE-SW) sont les plus productives. Cela nous a favorisé le choix des points de sondage SE3, SE6 et SE7. La plupart des courbes de sondage obtenus des différents sites étudiés à l'exception du site 8, sont des courbes en "fond de bateau". En effet, selon [7], ces courbes de sondages électriques (courbes de type H : $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$) caractérisent les régions à cuirasses latéritiques (ou à carapace latéritique) et en général, ce type de courbe ne donne aucun indicateur permettant de dégager la présence de fracture. Cette assertion sur la lithologie corrobore les résultats des travaux de [3], qui dévoilent que les formations superficielles du département de Bondoukou comprennent des cuirasses latéritiques. De nos résultats, ressortent une dissimilitude entre coupes géoélectriques et coupes lithologiques correspondantes. Ces discordances ont également été observées par de nombreux auteurs comme [11] qui ont travaillé pour la reconnaissance des formations de socle au Burkina Faso et [12] qui ont réfléchi sur l'optimisation de l'implantation de forage au Burkina Faso. Ces incohérences seraient dues à la présence de nombreuses fractures gorgées d'eau comme en témoignent les arrivées d'eau marquées sur les coupes lithologiques.

Alors que pour [11], cela est dû à l'influence des altérites sablo-argileuses. Quant à [12], c'est la présence d'argile qui serait responsable de cette dissimilitude. De toutes ces observations, il convient de déduire que les discordances entre coupes géoélectriques et coupes lithologiques sont vraisemblablement liées à l'existence d'un corps conducteur intercalé au sein du substratum rocheux, donnant alors l'impression d'une forte épaisseur d'altération. Concernant l'analyse relationnelle entre profondeur totale des forages et débits, aucune relation mathématique entre la profondeur atteinte et le débit optimum des forages n'a été définie. Elle permet néanmoins de défendre que les fractures les plus productives de la région de Bondoukou se rencontrent entre 30 et 60 m de profondeur. Ces résultats sont en accord avec les études de [1, 5, 12] fixant la limite inférieure d'existence de fissures ouvertes à 50-70 m de profondeur. De plus, on constate que les meilleurs débits dans la région de Bondoukou se situent au niveau des 30 premiers mètres dans le socle. Ces observations corroborent les travaux antérieurs effectués par différents auteurs tels que [2, 3, 5, 12]. Cette zone correspond à la zone de nombreuses fractures ouvertes et productives. A de grandes profondeurs (au-delà de 60-90 m), les fractures ont tendance à se refermer vers le bas. Toutefois, de rares méga fractures beaucoup plus profondes peuvent être rencontrées et fournir de gros débits.

VI - CONCLUSION

La méthode électrique (trainé et sondage électrique) utilisée pour la recherche et la prospection des eaux souterraines dans le département de Bondoukou s'est avérée concluante. Elle a notamment permis de détecter des anomalies conductrices qui ont mises en évidence des fractures orientées autour des directions N162°, N43°, N55° et N171°. En outre, elle a permis d'obtenir des coupes géoélectriques qui ont servi à évaluer l'épaisseur du complexe conducteur. Toutes ces démarches ont guidé le choix pour l'implantation de forage dans le département de Bondoukou. Au total, vingt (20) points de forage ont été proposés sur l'ensemble des neuf (09) sites parcourus. Ainsi des débits horaires de 30 m³, 27 m³, 20 m³ et 16 m³ ont été obtenus respectivement en SE15, SE17, SE22 et SE26.

RÉFÉRENCES

- [1] - J. BIEMI, Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse d'Etat ès Sciences, Université d'Abidjan, (1992) 493 p.
- [2] - T. LASM, Hydrogéologie des réservoirs fractures de socle : Analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques, Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France, (2000) 233 p.
- [3] - M. YOUAN TA, Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'ouest : cas de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody – Abidjan, (2008) 237 p.
- [4] - I. SAVANE, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle d'Odienné (Nord-Ouest de Côte d'Ivoire) : Apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à références spatiales (SIHRS). Thèse d'Etat ès Sciences naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (1997) 398 p.
- [5] - 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 d'Etat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2005) 430 p.
- [6] - T. LASM, R. M. FOSSOU, Z. O. ONETIE, D. BAKA, M. YOUAN TA, M. S. OGA et N. SORO, Contribution hydrogéologique à la connaissance des aquifères discontinus du département de Ferkéssédougou (Nord de la

- Côte d'Ivoire), pour une meilleure alimentation en eau potable. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 19 (2012) 114 - 135
- [7] - A. P. SOMBO, F. W. KOUASSI, B. C. SOMBO, L. N. KOUAME et K. G. E. KOUAKOU, Contribution de la prospection électrique à l'identification et à la caractérisation des aquifères de socle du département de Sikensi (Sud de la Côte d'Ivoire). *European journal of scientific research*, Vol. 64, N°2 (2011) 206 - 219
- [8] - K. E. G. KOUAKOU, B. C. SOMBO, Z. B. DIGBEHI, F. W. KOUASSI, A. P. SOMBO et L. N. KOUAME, Utilisation de la prospection géophysique par résistivité électrique pour la recherche d'eau souterraine dans le département de Tanda (Est de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 83, N° 2 (2012) 230 - 244
- [9] - K. E. G. KOUAKOU, L. DOSSO, L. N. KOUAME, B. C. SOMBO et A. P. SOMBO, Contribution des méthodes de résistivité électrique à la recherche d'eau en milieu cristallin : cas de Yakassé-Attobrou et d'Abié, région de la Mé, Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 26 (2015) 194 - 211
- [10] - K. E. G. 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, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, (2012) 193 p.
- [11] - Y. KOUSSOUBE, S. NAKOLENDOUSSE, P. BAZIE et 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
- [12] - B. DIENG, A. H. KOUASSI et B. A. BAKYONO, Optimisation de l'implantation géophysique des forages en zone de socle au Nord du Burkina Faso. *Sud Sciences & Technologies*, Vol. 12, (2004) 24 - 26
- [13] - J. P. FAILLAT, Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). Thèse d'Etat, Univ. Languedoc (Montpellier), (1986) 534 p.
- [14] - A. CARLSSON et T. OLSSON, Caractéristiques de fracture et propriétés hydrauliques d'une région au sous-sol cristallin en Suède. *Bull. B.R.G.M., Sect. III*, N°3 (1981) 215 - 233