

CARACTÉRISATION GÉOÉLECTRIQUE DU SYSTÈME AQUIFÈRE DU DÉPARTEMENT DE DABAKALA, CÔTE D'IVOIRE

**Abé Parfait SOMBO^{1*}, Kouassi Eric - Germain KOUAKOU²
et Goha René BIÉ¹**

¹ *Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, UFR Environnement,
Laboratoire des Sciences et Technologiques de l'Environnement,
BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

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

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

RÉSUMÉ

Cette étude porte sur la caractérisation géoélectrique du système aquifère du département de Dabakala, au Nord de la Côte d'Ivoire. La méthodologie adoptée est basé sur la cartographie du système aquifère par des techniques géophysiques de résistivité (trainé et sondage électrique). Dans la pratique, les trainés multiples et parallèles sont exécutés pour déterminer les fractures qui affectent la roche mère. Les sondages électriques sont exécutés pour étudier le profil d'altération de la roche mère. Les résultats montrent que les fractures qui affectent le sous-sol de la zone d'étude n'ont pas une orientation préférentielle. Ces fractures sont le plus souvent matérialisées sur les courbes de sondages électriques par des changements brusques de la pente de la courbe. Le sous-sol est composé de trois à quatre horizons géoélectriques distincts. À partir, de la surface on rencontre : i) le recouvrement superficiel correspondant à la terre arable et/ou de la latérite ; ii) le complexe conducteur constitué d'argile sableuse et de la frange altérée et fracturée du socle ; iii) le socle cristallin sain. Ces résultats permettent une compréhension de la géométrie du sous-sol, afin de permettre une implantation positive des forages hydrauliques dans la région de Dabakala.

Mots-clés : *géophysique, trainé et sondage électriques, hydrogéologie, Côte d'Ivoire.*

ABSTRACT**Geoelectric characterization of the aquifer system of the department of Dabakala, Côte d'Ivoire**

This study about on the geoelectric characterization of the aquifer system of the department of Dabakala, in north Côte d'Ivoire. The adopted methodology is based on mapping the aquifer system by geophysical resistivity techniques (electrical profiling and sounding). In practice, multiple and parallel profiles are executed to determine the fractures that affect the rock. Electrical soundings are performed to study the weathering profile of the rock. The results show that fractures affecting the basement of the study area do not have a preferential orientation. These fractures are most often materialized on the curves of electrical soundings by abrupt changes in the slope of the curve. The subsoil is composed of three to four distinct geoelectric horizons. From the surface, there are: i) the surface covering corresponding to the arable land and / or laterite; (ii) the conductive complex of sandy clay and the altered and fractured fringe of the base; iii) healthy crystalline subsoil. These results make it possible to understand the geometry of the subsoil, in order to allow a positive implantation of hydraulic drilling in the region of Dabakala.

Keywords : *geophysical, profile and sounding electrical, Hydrogeology, Côte d'Ivoire.*

I - INTRODUCTION

L'eau souterraine constitue l'une des sources d'approvisionnement la plus abordable en raison de sa proximité avec le lieu de consommation, de sa qualité répondant généralement aux normes internationales de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et de son faible coût de traitement [1]. En milieu de socle, la recherche de l'eau souterraine s'avère très délicate, à cause de l'hétérogénéité et la complexité du milieu souterrain. En effet, le sous-sol est composé de deux aquifères superposés (aquifère d'altérites et aquifère de fractures), composites, fonctionnant comme un seul [2]. La géométrie de ces aquifères conditionne la circulation et l'accumulation des eaux souterraines. En environnement de socle, l'identification des caractéristiques lithologiques et structurales du système aquifère est fondamentale pour la détermination des aires de captage des eaux souterraines. Le repérage des fractures, qui affectent le socle cristallin est fondamental pour la recherche des ressources en eau souterraine. Le département de Dabakala (Nord de la Côte d'Ivoire) fait partie des régions de socle ivoirien. La cartographie des accidents tectoniques et l'étude du profil d'altération de ce département, pour la mise en évidence de sites

d'implantation de forages productifs, la caractérisation géoélectrique du sous-sol. L'étude des discontinuités géologiques dans le socle, la description du profil d'altération des formations le surmontant et l'amélioration de la connaissance du potentiel hydrique des aquifères, ont nécessité l'application de techniques géophysiques. Les méthodes géophysiques de résistivité électrique (trainés et sondages électriques) sont mises à contribution dans ce département. Ces techniques géophysiques constituent des outils efficaces pour la détermination des fractures pouvant drainer ou stocker de l'eau souterraine. Elles sont efficaces pour identifier les caractéristiques du système aquifère en milieu de socle [3]. À partir de mesure à la surface et de propriété physique (résistivité) liée à la constitution du sous-sol, ces méthodes permettent de détecter, localement, les accidents géologiques majeurs du substratum rocheux et décrire le profil d'altération de la roche mère. L'objectif visé par cette étude est de caractériser le système aquifère du département de Dabakala, à partir de modèles géoélectriques.

II - CADRE NATUREL DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le département de Dabakala est situé au Nord de la Côte d'Ivoire, dans le district de la Vallée du Bandama. Il appartient précisément à la région du Hambol, où il occupe la partie Est de cette région (*Figure 1*). Il est limité par les départements de Katiola à l'Ouest, Bouaké et M'Bahiakro au Sud, Boudoukou et Bouna à l'Est et Ferkessedougou au Nord. Les formations géologiques du département de Dabakala appartiennent au domaine paléoprotérozoïque. Elles sont structurées pendant l'orogénèse éburnéenne. On rencontre des roches magmatiques (granites et granodiorite), métamorphiques (migmatites et schistes) et de roches volcano-sédimentaires (métavulcanites). La Vallée du Bandama, au quelle appartient la zone d'étude a été le siège de trois déformations majeures senestres d'orientation N-S pour les deux premières et ONO-ESE pour la dernière [4, 5]. On enregistre aussi localement la présence de zones de cisaillement dextre de direction NE-SO. Le cadre hydrogéologique du département de Dabakala correspond à celui des régions de socle ivoirien. On distingue un réservoir d'altérites en contact avec la surface et soumis aux fluctuations saisonnières. L'aquifère d'altérites est superficiel et est le produit de l'altération de la roche mère. En dessous, on rencontre l'aquifère de fissures moins influencé par les saisons. L'aquifère de fissures, plus profonds, sont mis en place à la faveur d'évènements tectoniques. Ces deux aquifères correspondent à un aquifère composite.

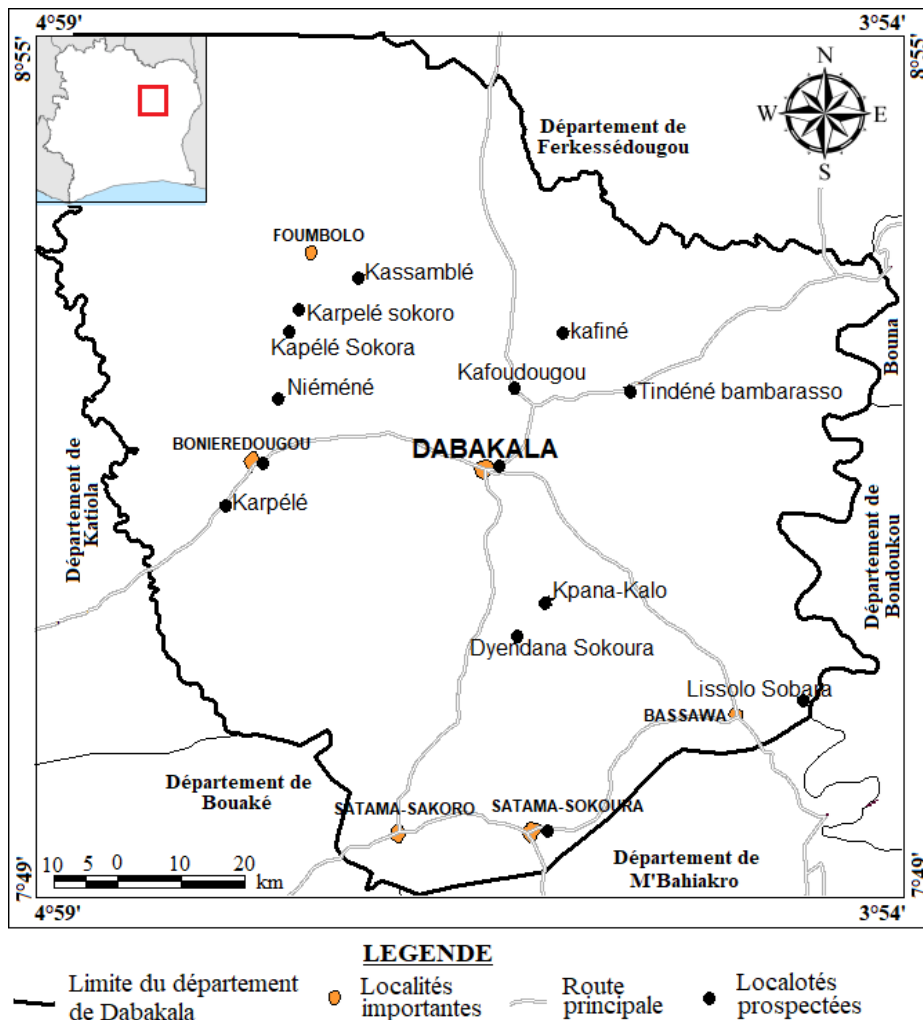


Figure 1 : Localisation du département de Dabakala et des localités prospectées

III - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans le cadre de cette étude, les données sont constituées principalement de données de résistivité collectées pendant les campagnes géophysiques menés par l'Office National de l'Eau Potable (ONEP), en collaboration avec la Direction de l'Hydraulique Villageoise de Côte d'Ivoire. Ces données sont acquises, à partir des techniques de trainé et sondage électrique mises en œuvre, à l'aide du résistivimètre de type Syscal junior d'IRIS Instrument. Les trainés électriques sont exécutés pour déterminer les factures qui affectent la roche mère, à partir de l'examen de la variation latérale de la résistivité du sous-sol. Dans la pratique, ce sont des trainés multiples et parallèles qui sont

exécutés, suivant le dispositif Schlumberger ($AB = 200$ m et $MN = 20$ m) ou gradient rectangle ($AB = 400$ m ; $MN = 20$ m). Les pas de mesure sont de 10 m. En fonction de la structure à cartographiée, la longueur des lignes de trainé électrique varie entre 70 et 300 m. Les trainés électriques multiples correspondent à des trainés réalisés sur le même profil, avec des lignes d'envoi de courant électrique AB différentes. Dans notre cas, $AB1 = 200$ m et $AB2 = 400$ m. Chaque ligne d'envoi de courant correspond à une profondeur d'investigation donnée. Plus AB est grand, plus cette profondeur est importante. Les données de trainés électrique sont représentées sous forme de profils de résistivité, à partir de Microsoft ExcelTM.

Par les sondages électriques, on mesure les variations de la résistivité du sous-sol avec la profondeur, en un point donné. Les sondages électriques sont effectués, selon le dispositif Schlumberger, au niveau des anomalies conductrices observées sur les profils de résistivité. Les données de sondages sont représentées sous formes de courbes de sondages. L'interprétation de ces courbes est faite, à partir du logiciel Ipi2win. Cette interprétation tient compte non seulement de la variation de résistivité mais aussi des informations issues fiches techniques de forages antérieurs réalisés dans la zone étudiée.

IV - RÉSULTATS

IV-1. Caractérisation géoélectrique par trainés électriques

IV-1-1. Profils électriques simples

Les profils de résistivité mettent en évidence des anomalies conductrices, correspondant à des fractures, qui affectent la roche mère. Ces fractures ont des largeurs très variables car les anomalies qui leurs sont associées, présentent des paliers conducteurs de tailles variées. La **Figure 2** montre quelques exemples pour les localités de BoniféréDougou et Niéméné. Les anomalies de type « H et V » ont des compartiments conducteurs étroits (CCE) qui atteignent localement 30 m de large. Les anomalies de type « U, W, M, K et C » présentent des compartiments conducteurs larges (CCL) et atteignent, respectivement, 150 m de large.

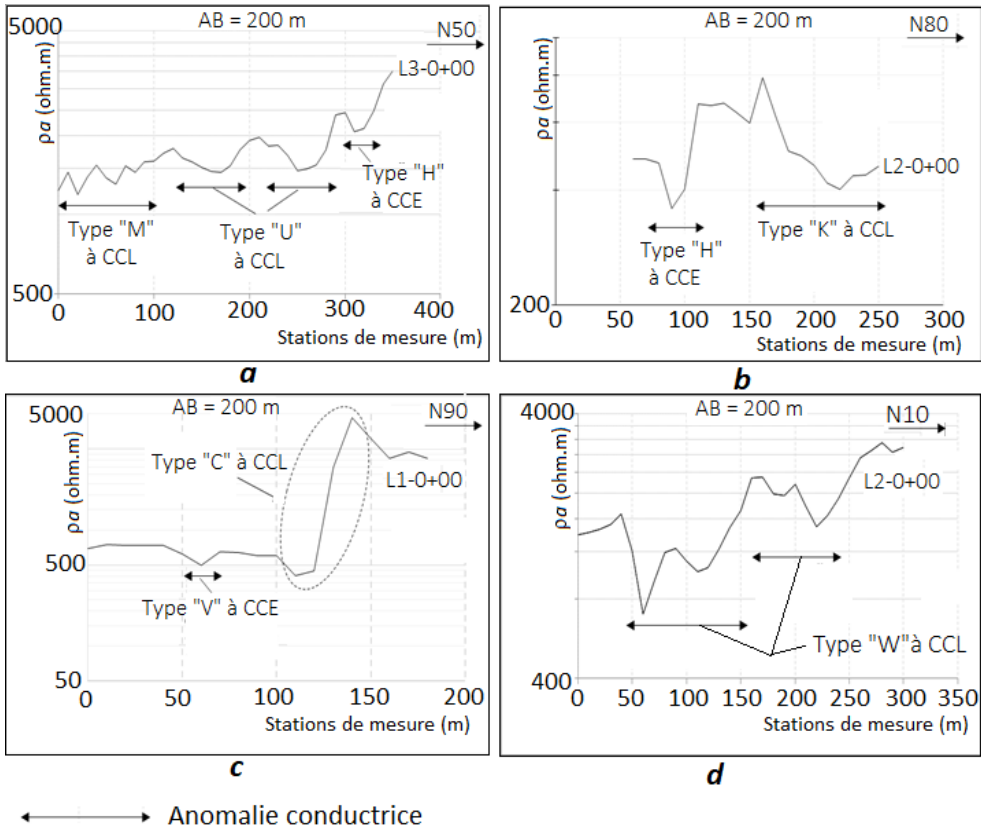


Figure 2 : Profils de résistivité, avec des anomalies conductrices de types « V, U, W, M, K, H et C » à Boniférédougou (a) et (d), Niéméné (b) et (c)

IV-1-2. Profils électriques multiples

Les profils de résistivité réalisés, pour chaque ligne d'envoi de courant $AB_1 = 200$ m et $AB_2 = 400$ m, mettent en évidence des anomalies conductrices, caractéristiques de fractures dans le sous-sol. Ces anomalies sont donc observées à différentes profondeurs, car AB_1 et AB_2 correspondent respectivement à des profondeurs d'investigation différentes. La roche mère est donc fracturée à différentes profondeurs. La **Figure 3** présente des anomalies conductrices observées sur des profils multiples réalisés à Niéméné.

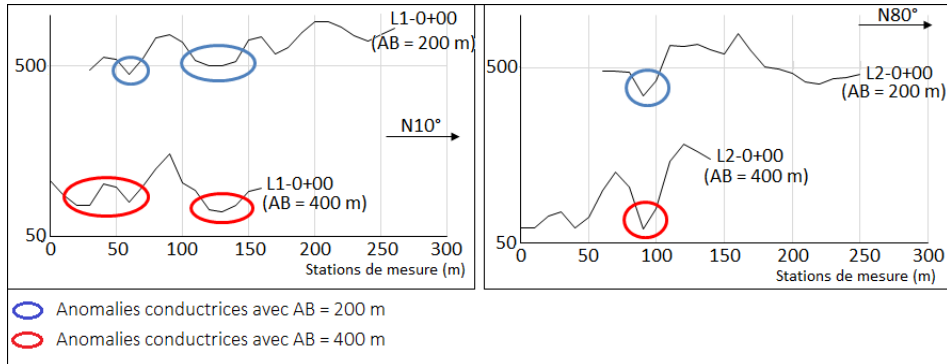


Figure 3 : Anomalies conductrices sur des profils multiples à Niéméné

IV-1-3. Profils électriques parallèles

Les profils parallèles de résistivités permettent de déterminer l’extension et l’orientation des fractures matérialisées par les anomalies conductrices. Sur les profils de résistivités, l’orientation et l’extension des fractures correspondent aux alignements d’anomalies conductrices. La **Figure 4** présente l’exemple de quelques fractures identifiées à Satama Sokoura (N94° et N107°) et Niéméné (N11°, N142°, N170°). Sur cette figure, les fractures sont matérialisées par des alignements d’anomalies conductrices de types « U », à compartiments conducteurs larges (50 à 150 m) et de types « V », à compartiment conducteur étroit (moins de 30 m). On observe, également des fractures identifiées, à partir de l’alignement entre les anomalies « U » et « V ».

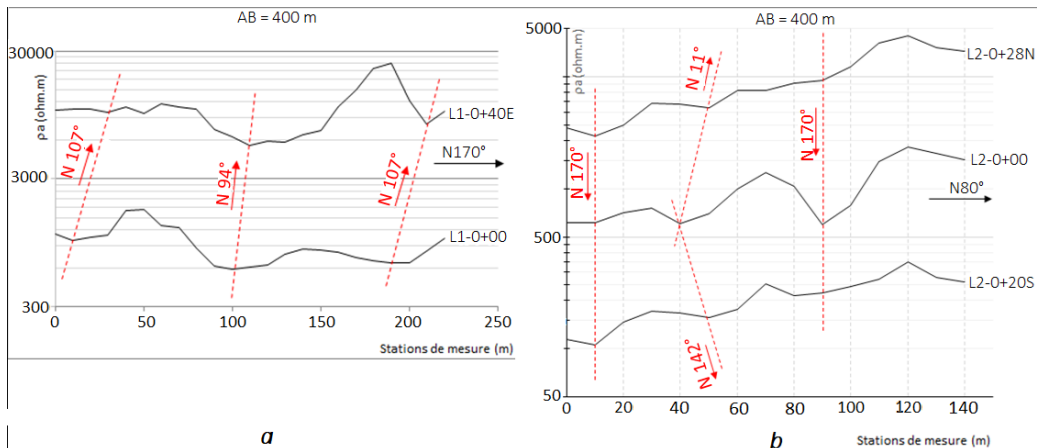


Figure 4 : Exemples de fractures identifiées à Satama Sokoura (a) et Niéméné (b)

Les trainés électriques parallèles ont permis d'identifier un réseau local de fractures interconnectées. Ces fractures suivent des orientations diverses. Le **Tableau 1** présente les différentes orientations de fractures géoélectriques mises en évidence au cours de cette étude. Ce sont les discontinuités géoélectriques N-S (N0°, N9°, N11°, N170°, N170°, N171°), E-O (N82°, N94°, N98°, N100°, N107°, N110°, N115, N117°) et NE-SO (N20°, N30°, N50°, N58°, N68°, N25°, N51°) et NO-SE (N127°, N132°, N142°, N153°, N159°, N160°, N165°).

Tableau 1 : Orientations de fractures identifiées par trainés parallèles

| N-S | E-O | NE-SO | NO-SE |
|---|---|---|--|
| N0°, N9°, N11°, N170°, N170°, N171° | N82°, N94°, N98°, N100°, N107°, N110°, N115, N117° | N20°, N30°, N50°, N58°, N68° N25°, N51° | N127°, N132°, N142°, N153°, N159°, N160°, N165° |

IV-2. Caractérisation géoélectrique par sondages électriques

IV-2-1. Courbes de sondage électrique et profil d'altération

Diverses courbes de sondages sont obtenues, au cours de cette étude. Leur allure est caractéristique des formations géologiques en milieu de socle. L'analyse et l'interprétation de ces courbes montrent que le sous-sol de la zone d'étude est composé de trois (03) à quatre (04) horizons superposés. Les formations à trois (03) horizons géologiques sont matérialisées par les courbes de sondages de type « A » et « H ». Les courbes de type « A » sont caractérisées par des valeurs de résistivité qui croissent avec la profondeur. Elles présentent une seule branche ascendante. Dans notre cas, on observe de légers changements de pente sur la branche ascendante. Ce qui matérialise un changement de couches dans le sous-sol. La courbe de sondage électrique SE9 obtenu à Boniféré Dougou illustre bien les courbes de sondage de type « A » enregistrées au cours de cette étude (**Figure 5a**). L'interprétation de SE9 permet de mettre en évidence une zone conductrice (87 à 343 ohm.m) de 23 m d'épaisseur. Il s'agit, en surface, de l'argile latéritique de 2,27 m d'épaisseur et du sable argileux épais de 21 m. Contrairement au type « A », les courbes de type « H » présentent deux branches. La première branche est descendante et la deuxième ascendante. Entre ces deux branches on observe une dépression des valeurs de résistivité. La courbe SE2 obtenue à Kpana kalo est présentée en exemple à la **Figure 5b**. L'interprétation de cette courbe montre que la première couche, correspondant au début de la courbe, est un horizon géologique de très faible épaisseur (0,75 m). Il s'agit d'un recouvrement superficiel constitué de terre arable. En dessous, on trouve un complexe conducteur (77,4 Ohm.m), correspondant à environ 6 m d'argile.

Sur la courbe, ce complexe conducteur est matérialisé par la partie descendante de la courbe. Les deux premières couches sont superposées au socle cristallin très résistant, qui correspond à la zone ascendante de la courbe de sondage.

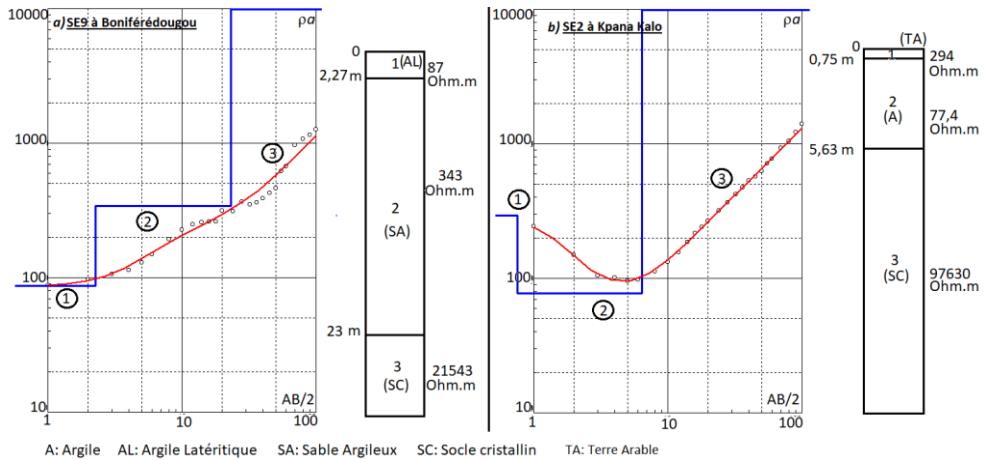


Figure 5 : Courbes de sondage électrique de type a) « A », b) « H »

Les formations à quatre horizons sont principalement identifiées avec les courbes de sondages électriques de type « KH ». Ce type de courbe présente trois parties. La première et la troisième partie sont des branches ascendantes et la deuxième partie une branche descendante. La courbe de sondage SE3 obtenue dans la ville de Dabakala est présentée en exemple (**Figure 6**). Le premier horizon, de faible épaisseur (moins de 1 m), est dans notre cas un recouvrement superficiel constitué de terre arable. Il est matérialisé sur la courbe par la première branche ascendante. À Dabakala, elle est de l'ordre de 0,5 m, avec une faible résistivité (112 Ohm.m). Le deuxième terrain, matérialisé par le reste de la première branche ascendante, a une résistivité plus élevée (435 Ohm.m) que le premier terrain. Il s'agit d'une couche latéritique de faible épaisseur (0,82 m). Le troisième horizon correspond la partie descendante de la courbe SE3. C'est un complexe conducteur (73,3 Ohm.m), constitué de formations argileuses d'environ 28 m d'épaisseur. Le socle cristallin résistant, qui constitue le quatrième horizon, est matérialisé par la deuxième branche montante.

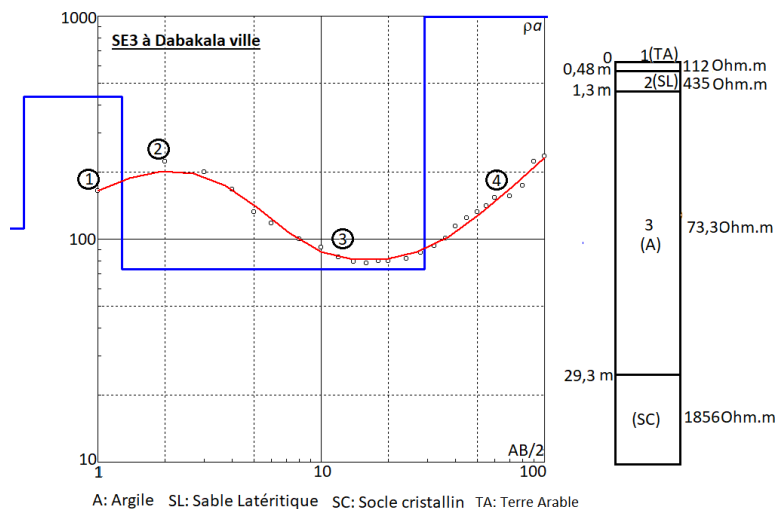


Figure 6 : Courbes de sondage électrique de type « KH »

IV-2-2. Courbes de sondage électrique et fracturation

A l'instar des trainés électriques, les sondages réalisés dans le département de Dabakala permettent d'identifier, à partir de l'allure de la courbe de sondage, les zones fracturées du sous-sol. La **Figure 7** présente deux exemples de courbes de sondage où les zones fracturées sont matérialisées sur la courbe de sondages. Ce sont celles des sondages SE1 de Karpélé et SE2 de Kafiné. Ces courbes de sondage sont caractérisées par d'importants changements de pente sur leur branche ascendante, correspondant au socle cristallin. Ces variations brusques de la pente de la courbe marquent la présence de zones très fracturées. On passe d'une pente forte (supérieure ou égale à 45°) à une pente négative ou faible (faible inférieure à 45°). La présence de fracture est aussi matérialisée par une remontée trainante de la courbe lorsque le courant traverse la roche mère fracturée. Dans ce cas, la pente reste inférieure à 45° sur la branche ascendante. La présence de fractures est confirmée par des arrivées d'eau dans les forages réalisés au niveau des sondages SE1 et SE2 respectivement à Karpélé et Kafiné. Ces fractures se situent dans la partie altérée et fissurée du socle cristallin. Certaines courbes de sondage électrique obtenues, dans le cadre de cette étude, ne présente pas changements de pente sur la branche ascendante. Mais les forages réalisés au niveau de ces sondages montrent que le sous-sol est très fracturé. C'est le cas du sondage électrique SE2 à Kassembélé, où l'on obtient une courbe de type « H » (**Figure 8**). On remarque sur le forage correspondant à SE2 une épaisse couche de socle granitique altérée et fracturée (entre 9 et 50 m d'épaisseur). Plusieurs arrivées d'eau sont observées dans cette partie du sous-sol (entre 25 et 50 m de profondeur). Pourtant la courbe SE2 ne présente pas de

changements de pente sur la branche ascendante correspondant à cette partie du sous-sol. Sûrement la forte épaisseur de la frange altérée et fracturée du socle granitique, couplée à faible valeur de résistivité ont masqué l'influence de la fracturation sur la courbe de sondage. Les nombreuses fractures observées dans le forage engendrent une remontée trainante de la branche ascendante de la courbe de sondage.

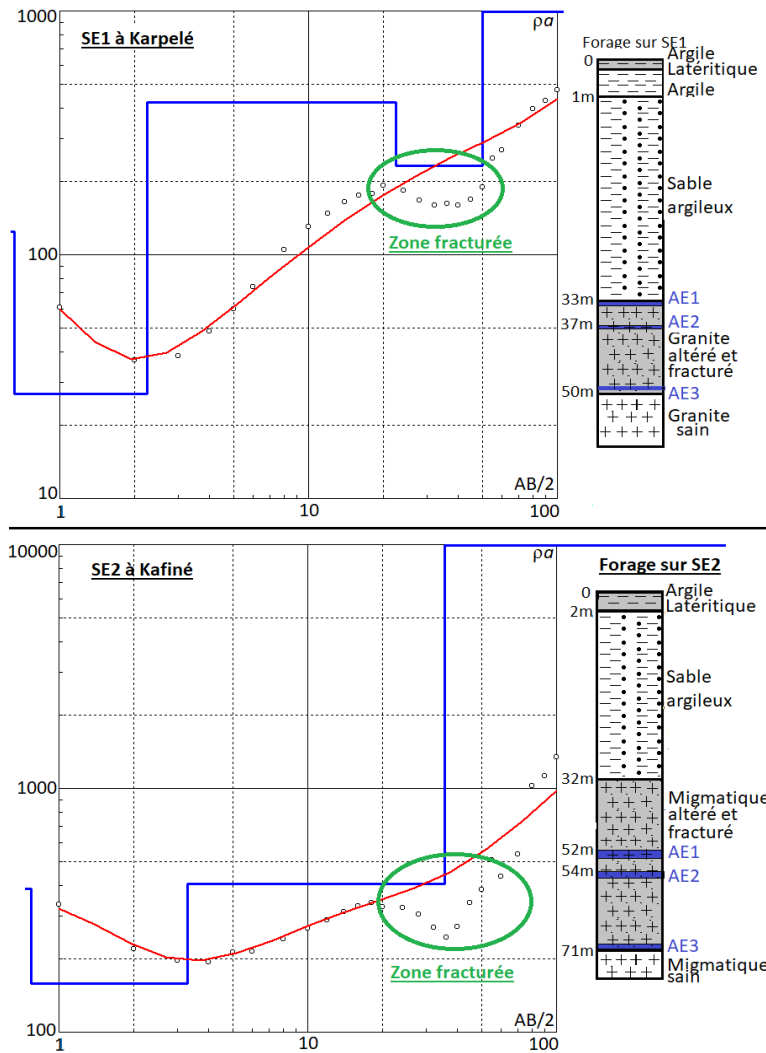


Figure 7 : courbes de sondage électrique matérialisant la zone fracturée

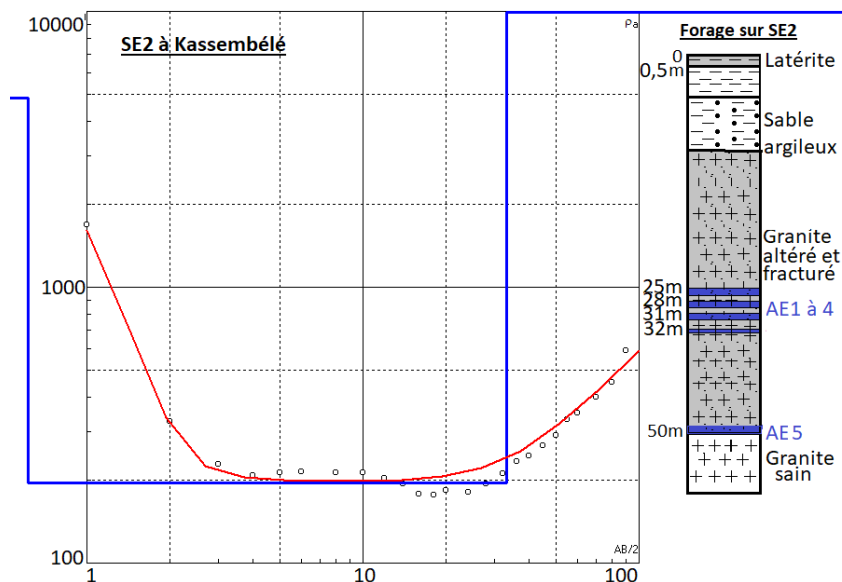


Figure 8 : *Courbe de sondage ne présentant pas des indices de fracturation*

V - DISCUSSION

La prospection géophysique constitue un outil de reconnaissance indirecte et indispensable à la cartographie des formations géologiques souterraines. Son usage en milieu de socle, à travers les méthodes de résistivités électriques (trainé et sondage électriques) permet une caractérisation géoélectrique du système aquifère. Le trainé électrique permet de mettre en évidence le système de fracturation du sous-sol, à partir des zones de faibles résistivités (anomalies conductrices) sur les profils de résistivité. Plusieurs types d'anomalies conductrices sont mis en évidence, dans le cadre de cette étude. Ce sont des anomalies de types « C, H, K, M, U, V et W ». Ces anomalies sont également observées dans plusieurs travaux de recherche en Côte d'Ivoire, qui ont nécessité la prospection géophysique par trainé électrique. Ces travaux visent à identifier les accidents géologiques qui affectent le socle cristallin. C'est le cas, dans les départements de Sikensi et Tiassalé au Sud de la Côte d'Ivoire [3, 7] et dans la Vallée du Bandama au Nord de la Côte d'Ivoire [6]. Dans ces localités appartenant au socle cristallin ivoirien, la mise en évidence du trainé électrique a permis d'identifier des fractures. Ces fractures sont matérialisées sur les profils de résistivité par les mêmes types d'anomalies conductrices. Le trainé électrique, joue un rôle important dans la recherche hydrogéologique. Les anomalies conductrices mises en évidence, sur les profils de résistivités, permettent une implantation de forages producteurs [8 - 13]. Pour les auteurs de la référence [13] les études réalisées

à Daoukro, ont montré que ce sont les anomalies de type « U » qui sont productrices. À Sikensi, un forage implanté sur une anomalie conductrice de type « V » a produit un débit de 60 m³/h [7]. Dans le cadre de cette étude, les forages exécutés au droit des anomalies conductrices mises en évidence ont tous donnés des débits moyens à forts (supérieurs à 2,5 m³/h). A l'instar de la caractérisation hydrogéologique, le trainé électrique joue un rôle important dans la recherche de carrière rocheuse. Il contribue à délimiter les zones exploitables, en discriminant la roche altérée et fracturée de la roche saine exploitable dans les localités d'Ayamé, Bouaké et Ferkessédougou respectivement à l'Est, au centre et au Nord de la Côte d'Ivoire [14, 15]. L'investigation verticale (sondage électrique) réalisée à l'aplomb de certaines anomalies conductrices a permis de mettre en évidence des courbes de sondages de type « A », « H » et « HK ». Ces formes de courbes sont également obtenues dans de nombreux travaux de prospection géophysique par sondage électrique. Dans les localités de la Marahoué [1], des sikensi et de Tiassalé [3] et de la vallée du Bandama [6] les mêmes types d'anomalies sont mis en évidence. Sur ces courbes on identifie des zones fracturées du socle cristallin, matérialisées par des changements de pentes.

On passe d'une pente forte à une pente faible. Toutefois, sur certaines de ces courbes la fracturation n'est pas matérialisée. À ce propos, une remarque est faite par les auteurs des références [1, 16]. Ils pensent que le défaut le plus regrettable de ces courbes réside dans le fait qu'elles ne donnent pas d'indications sur la zone fissurée ou broyée au toit du socle sous-jacent dont l'importance hydrogéologique est admise par tous les spécialistes en Afrique de l'Ouest. Ils pensent aussi que cet horizon fissuré dont les traces n'apparaissent nulle part sur certaines courbes est généralement présente. La fracturation est le plus souvent masquée à la base des altérites argilo-sableuses ou confondue au socle. La faible épaisseur de ces fractures, à des profondeurs importantes dans le sous-sol, rendent ces fractures indétectables. Dans notre cas, c'est la faible résistivité et la forte épaisseur des horizons altérés qui masquent l'influence de la fracturation sur les courbes de sondages électriques. De plus, dans les diagrammes de sondages électriques, plus une couche est mince et profonde, plus elle aura tendance à disparaître dans le diagramme [1]. Aussi, cette insuffisance que présentent certaines courbes de sondage électrique, est loin d'être un handicap, car dans la majorité des cas étudiés la fracturation et l'altération sont étroitement liées et à toute zone d'altération importante de faible résistivité correspond une zone de fracturation importante souvent gorgée d'eau [1].

VI - CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de caractériser le système aquifère du département de Dabakala, à partir de modèles géoélectriques. La méthodologie adoptée s'appuie sur la cartographie du sous-sol par des techniques géophysiques (trainé et sondage électrique). La caractérisation géoélectrique du sous-sol par les trainés électriques a permis d'identifier des fractures dans le socle. Ces fractures n'ont pas une direction préférentielle. Le sondage électrique a permis de déterminer un profil d'altération composé de trois à quatre horizons géoélectriques distincts. De haut en bas, on a : i) la terre arable ; ii) la latérite parfois cuirassée ; iii) le complexe conducteur constitué d'argile sableuse et de la frange altérée et fracturée de la roche mère ; iv) le socle cristallin sain. Certaines courbes de sondage électrique permettent de discriminer la frange fracturée du socle. Le plus souvent situé dans la zone altérée du socle cristallin. Ces résultats peuvent servir d'outils de base pour une bonne interprétation des données de trainé et sondage électriques, dans le cadre d'une implantation hydro-géophysique, en milieu de socle.

RÉFÉRENCES

- [1] - J. BIÉMI, "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'État Université Nationale de Côte d'Ivoire, (1992) 480 p.
- [2] - B. DEWANDEL, P. LACHASSAGNE, R. WYNS, J-C. MARECHAL ET N. S. KRISHNAMURTHY, A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering, *Journal of Hydrology*, Vol. 330, N°1-2 (2006) 260 - 284
- [3] - A. P. SOMBO, "Application des méthodes de résistivités électriques dans la détermination et la caractérisation des aquifères de socle en Côte d'Ivoire. Cas des départements de Sikensi et de Tiassale (Sud de la Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), (2012) 203 p.
- [4] - S. DOUMBIA, "Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimiennes de Katiola-Marabadiassa (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, (1997) 158 p.
- [5] - D. GASQUET, P. BARBEY, M. ADOUA and J. L. PAQUET, Structure, Sr-Nd isotope geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire): evidence for a 2.3 Ga crustal growth event in the Palaeoproterozoic of West Africa, *Precambrian Res.*, 127 (2003) 329 - 354

- [6] - 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) 199 p.
- [7] - A. P. SOMBO, F. W. KOUASSI, B. C. SOMBO, L. N. KOUAME et K. E-G. KOUAKOU, Contribution de la prospection électrique à l'identification et à la caractérisation des aquifères du socle du département de Sikensi (Sud de la Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, 64 (2) (2011) 206 - 219
- [8] - K. E-G. KOUAKOU, B. C. SOMBO, Z. B. DIGBEHI, F. W. KOUASSI, A. P. SOMBO et L. N. KOUAMÉ, 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° 3 (2012) 230 - 244
- [9] - K. E-G. KOUAKOU, B. C. SOMBO, K. E. KOUADIO, F. W. WILLIAMS, D. KEITA, A. P. SOMBO et L. N. KOUAMÉ, 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
- [10] - C. ALLE, M. DESCLOITRES, J. M. VOUILLAMOZ, N. YALO, F. M. A. LAWSON, C. ADIHO, Caractérisation des aquifères de socle par la résistivité électrique. Pratique de l'implantation des forages et perspectives d'amélioration au Bénin, Vingtièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues, (2015) 1 - 8
- [11] - K. E-G. KOUAKOU, A. P. SOMBO, L. N. KOUAME, B. C. SOMBO, Electrical resistivity and geomorphology for groundwater exploration in hard rock areas: application to Kongoti (South-East of Côte d'Ivoire), *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 8, Issue 5 (2017) 1320 1325
- [12] - K. E-G. KOUAKOU, L. DOSSO, L. N. KOUAME, A. P. SOMBO et B. C. 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
- [13] - K. E-G. KOUAKOU, L. N. KOUAME, A. P. SOMBO, S. P. DJROH et B. C. SOMBO, Résistivité électrique et géomorphologie : identification des aquifères de socle et critères pour le choix des points d'implantations des forages dans le département de Daoukro, Sud-Est Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE*, 13 (3) (2017) 98 - 112
- [14] - A. K. KOUAKOU, N. L. KOUAMÉ, S. P. DJROH, L. K. KOUADIO et C. B. SOMBO, Utilisation de la méthode de résistivité électrique pour la recherche de carrières granitiques et estimation du tonnage rocheux sur trois sites : Ayamé, Bouaké et Ferkessédougou (Côte d'Ivoire), *International Journal of Technical Research and*

- Applications*, Vol. 5, Issue 5 (2017) 40 - 46
- [15] - A. YAPO, A. P. SOMBO and K. F. TANO, Lithostructural mapping by geophysical imagery of a granite deposit at Gbamakro in the department of Bouaké (Central Côte d'Ivoire) *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*.Vol. 7, Issue 5 Ser. I (2019) 10 - 18
- [16] - A. N. SAVADOGO, "Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de haute volta : Étude régionale du bassin versant de la Sissili" Thèse Doctorat ès sciences naturelles, Université de Grenoble, (1984) 350 p.