

## **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**

**Kouassi Eric - Germain KOUAKOU<sup>1\*</sup>, Loukou Nicolas KOUAME<sup>2</sup>, Abé Parfait SOMBO<sup>3</sup>,  
Simon Pierre DJROH<sup>2</sup> et Boko Célestin SOMBO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, Unité de Formation et de Recherche des Sciences biologiques, Département de Géosciences, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*

<sup>2</sup> *Université Félix Houphouët Boigny Cocody, Unité de Formation et de Recherches des Sciences de la Terre, Laboratoire de Géophysique Appliquée, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

<sup>3</sup> *Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, Unité de Formations et de Recherche en Environnement*

---

\* Correspondance, courriel : [ericgermainkouassi@gmail.com](mailto:ericgermainkouassi@gmail.com)

### **Résumé**

Les besoins en eau potable des populations de Bendiekomenankro et Kouakoussekro, dans le département de Daoukro, ont conduit à une opération d'implantation de forages en s'appuyant sur des études géophysiques et géomorphologiques en milieu cristallophyllien fissuré. L'objectif de ce travail est de déterminer les sites favorables à l'implantation de forages à bon débits en utilisant des critères de sélections basés sur des paramètres géophysiques, géomorphologiques et hydrogéologiques. Les paramètres prépondérants, indices de fracturation ( $IF > 1$ ), orientation des structures, forte épaisseur du complexe conducteur ( $> 30$  m), présence de végétation dense, de filons de quartz et de marigot pérenne ont permis d'identifier plusieurs fractures dont celles orientées  $N120^\circ$  et  $N140^\circ$  s'avèrent très productives. Deux forages ont été réalisés à Bendiekomenankro et Kouakoussekro avec un débit horaire minimum de  $12 \text{ m}^3$  chacun. L'usage du paramètre résistivité a permis de caractériser les zones de fracturations (épaisseur d'altération, horizon fissuré) favorables à la présence d'aquifères et à l'implantation de forages d'exploitation d'eau. Les résultats obtenus dans cette étude sont importants et contribuent à une meilleure identification des aquifères discontinus des localités concernées.

**Mots-clés :** *fracture, forage, aquifère de socle, étude géophysique, Bendiekomenankro, Kouakoussekro.*

### **Abstract**

**Electrical resistivity and geomorphology : identification of basement aquifers and criteria for the choice of sites for drilling in the department of Daoukro, Southeast Côte d'Ivoire**

The drinking water requirements of the populations of Bendiekomenankro and Kouakoussekro in the department of Daoukro, led to a drillings operation based on geophysical and geomorphological studies in a fissured crystallophyllian environment. The aim of this study is to identify cracks aquifers for the choice of

high-flowrate drill sites by using selection criteria based on parameters geophysics, geomorphological and hydrogeologic. The dominating parameters, indices of fracturing ( $IF > 1$ ), orientation of the structures, strong thickness of the conducting complex ( $> 30$  m), presence of vegetation dense, seams of quartz and perennial backwater made it possible to identify several fractures of which those directed  $N120^\circ$  and  $N140^\circ$  prove very productive. Two drillings were carried out in Bendiékomenankro and Kouakoussekro with a minimum rate per hour of  $12 \text{ m}^3$  each. The use of the parameter resistivity made it possible to characterize the zones of fracturings (thickness of deterioration, fissured horizon) favorable to the presence of aquifers and the establishment of drillings of water exploitation. The results got in this study are important and contribute to a better identification of the aquifers discontinuous of the localities concerned.

**Keywords :** *fracture, drilling, basement aquifer, geophysical study, Bendiékomenankro, Kouakoussekro.*

## 1. Introduction

Dans le cadre du Programme Présidentiel d'Urgence (PPU), Pour combler, le déficit en eau potable des populations de Kouakoussekro et Bendiékomenankro (Région Iffou), il est recherché des forages produisant au moins  $10 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Pour résoudre ce problème. Il est impératif de localiser des fractures productives. Cela passe par une meilleur connaissance des systèmes aquifères [1 - 4] et nécessairement par l'usage de la géophysique à travers la méthode de résistivité électrique. Face aux résultats insatisfaisants (Bendiékomenankro ( $Q = 2 \text{ m}^3 / \text{h}$ ), Kouakoussekro ( $Q = 5 \text{ m}^3 / \text{h}$ )), la cellule de géophysique de l'Office National de l'eau potable a été sollicitée afin d'identifier les aquifères de fissures et de proposer des sites de forages. Ce travail est un condensé des investigations entreprises et vise à préciser la structuration du système aquifère (la nature et épaisseurs des zones altérées ; zones fissurées altérées, zones de fracturées au niveau du socle sain) dans les différentes localités, dans une optique d'exploitation intense de ces aquifères. A cet effet, l'utilisation de la méthode de résistivités électrique [5 - 7], alliée à la géomorphologie [8], apparaît comme une solution pertinente, étant donnée la précision nécessaire et l'importance des débits recherchés.

## 2. Contexte géographique et géologique du département de Daoukro

Situées au Centre-Est de la Côte d'Ivoire, les localités étudiées se trouvent dans le département de Daoukro qui est compris entre les longitudes  $3^\circ 29'$  et  $4^\circ 33'$  Ouest et les latitudes  $6^\circ 57'$  et  $7^\circ 31'$  Nord (*Figure 1*). La pluviométrie moyenne annuelle de 1940 à 2005 est de  $1174,5 \text{ mm}$  [9]. Le département est drainé par la Comoé, ses affluents et les petits cours d'eau dérivés du N'Zi. Les formations géologiques du département de Daoukro sont essentiellement schisteuses avec quelques intrusions granitiques par endroits. Dans le socle schisteux de Daoukro, les granitoïdes sont constitués essentiellement de granites à biotite, granite à deux micas et de granites intrusifs [10, 11]. Les localités de Bendiékomenankro et Kouakoussekro sont situées dans une zone essentiellement schisteuse. Du point de vue structural, l'interprétation photogéologique indique que la direction prédominante des fractures est NW-SE à WNW-ESE, la direction NE-SW est moins fréquente. Des fractures N-S sont observées de façon sporadique [11]. Les schistes et grauwackes présentent une fracturation dense avec une schistosité plus marquée. Du point de vue hydrogéologique, on retrouve la superposition classique d'un réservoir poreux superficiel (alluvions, colluvions et altérites) sur un aquifère discontinu hébergé par les fractures du socle (aquifère de fissure). De façon générale, les altérations diffèrent d'une formation géologique à l'autre. Ainsi sur les schistes birimiens les altérations sont argileuses et épaisses de  $33 \text{ m}$  en moyenne et peut atteindre  $60 \text{ m}$  alors qu'elles sont arénisées et épaisses de  $20 \text{ m}$  en moyenne sur les granites [10, 11]. Concernant les localités étudiées, l'épaisseur d'altération des ouvrages

existants à Bendiekomenankro (4 forages) varie de 18 à 40 m, avec des débits variant de 2 à 8 m<sup>3</sup> / h. Le niveau statique se trouve à 32 m de profondeur. A Kouakoussekro, les six (6) ouvrages existants présentent une épaisseur d'altération variant entre 6 et 60 m avec des débits allant de 0,4 à 6 m<sup>3</sup> / h et un niveau statique qui se situe à des profondeurs compris entre 7 et 30 m. L'extrême variabilité des débits obtenus pour des forages parfois voisins, souligne le caractère très discontinu de ces aquifères qui se développent avec les fracturations induites par les contacts entre les matériaux intrusifs et encaissants, ou suivant 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 la géométrie des réservoirs aquifères [12].

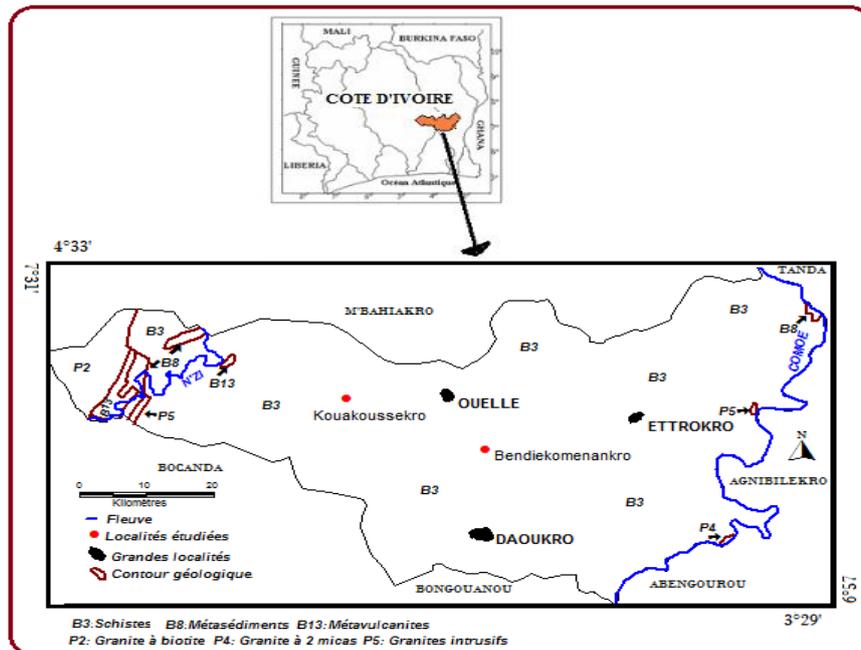


Figure 1 : Carte géologique du département de Daoukro [10, 11]

### 3. Méthodologie

Cette étude a nécessité l'utilisation des données de résistivités électriques apparentes et des cartes géologiques et topographiques des degrés carrés de M'Bahiakro et Agnibilékrou (Kouame-N'dari) à l'échelle 1 / 200 000, réalisées respectivement par la Direction centrale de l'hydraulique et le Centre de Cartographie et de Télédétection de Côte d'Ivoire (CCT). L'appareil de mesure pour l'obtention des données de résistivités apparentes fut le Syscal junior. La méthode de résistivité électrique selon les techniques de traîné et sondage électriques a été utilisée pour ce travail. Le traîné électrique est la méthode préliminaire à toute étude géoélectrique et sert de base à l'implantation des autres mises en œuvre électriques. Les levés de traînés électriques permettent une investigation latérale en vue de déterminer les discontinuités dans le socle. La technique de sondage électrique permet quant à elle, 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 d'investiguer des terrains plus profonds. On peut estimer, en approche simplifiée, la profondeur d'investigation d'AB/4 à AB/10 en fonction des résistivités [13]. A Bendiekomenankro, trois (3) sites ont fait l'objet d'étude. Sur ces sites, cinq (05) profils suivant les directions N 40°, N 50°, N 60°, N 90° et N 150° et trois (03) sondages électriques avec

une longueur maximale de ligne AB de 200 m, ont été réalisés. A Kouakoussekro, deux (2) sites ont été investigués, avec trois (3) profils orientés suivant diverses directions (N 170°, N195° et N 240°) et trois (3) sondages électriques de longueur maximale AB 200 m, ont été réalisés. Pour les présents 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 conductrices déterminées par le traîné électrique. Les données acquises par le traîné électrique sont visualisées et traitées grâce au tableur Microsoft Excel. Une attention particulière sera mise sur la forme, la largeur ou puissance, l'amplitude des anomalies observées sur les profils électriques, ainsi que l'indice de fracturation. La forme de l'anomalie est indispensable dans le positionnement des points de sondage et de forage en zone de socle [6, 12]. On dénombre sept (7) formes d'anomalies au total :

- V, U, anomalie respectivement pointue et arrondie, isolée sur un profil ;
- W, anomalie en général large dont la partie conductrice est perturbée par un ou plusieurs résistants ;
- M, anomalie qui peut être en forme de "V" ou de "U" mais qui est encadrée par d'autres anomalies conductrices ;
- K, anomalie de contact géologique montrant un ou plusieurs conducteurs en contact ;
- C, anomalie de contact ne montrant pas de conducteurs en contact ;
- H, anomalie à très fort contraste présentant un compartiment conducteur très tranché et de résistivité peu perturbée (*Figure 2*).

La puissance est une valeur positive et s'exprime en mètre (m). Les Auteurs de [14] distinguent trois (3) types de puissances. La faible puissance, pour les valeurs comprises entre 0 et 40 m ( $0 \leq P \leq 40$ ), la puissance moyenne correspondant à celles comprises entre 40 et 80 m ( $40 < P \leq 80$ ) et enfin la puissance élevée, au-delà de 80 m ( $P > 80$ ). L'Amplitude de l'anomalie (A) est définie par la valeur absolue de la différence entre la valeur de résistivité la plus faible ( $\rho_{a\min}$ ) et la plus élevée ( $\rho_{a\max}$ ). Elle est subdivisée en trois (3) types que sont les amplitudes faibles ( $0 \leq A \leq 100$ ), les amplitudes moyennes ( $100 < A \leq 500$ ) et les amplitudes élevées ( $500 < A$ ). L'indice de fracturation IF (*Figure 3*) selon [6] est défini par *l'Équation 1* :

$$IF = \frac{H}{L+100} \text{ avec } H = (\rho_a \text{Max})H - \rho_a \text{Min}; L = P, (\rho_a \text{Max})H = \rho_a \text{Moy} \quad (1)$$

L'indice de fracturation est un paramètre qui renseigne sur le degré de fracture d'une roche. Son utilisation paraît plus délicate que les autres paramètres mais d'une manière générale, selon [6], il demeure prépondérant lorsque sa valeur est supérieure à 2. Les données acquises par les sondages électriques sont visualisées et traitées par le logiciel IX1Dv2 en vue de procéder à l'interprétation.

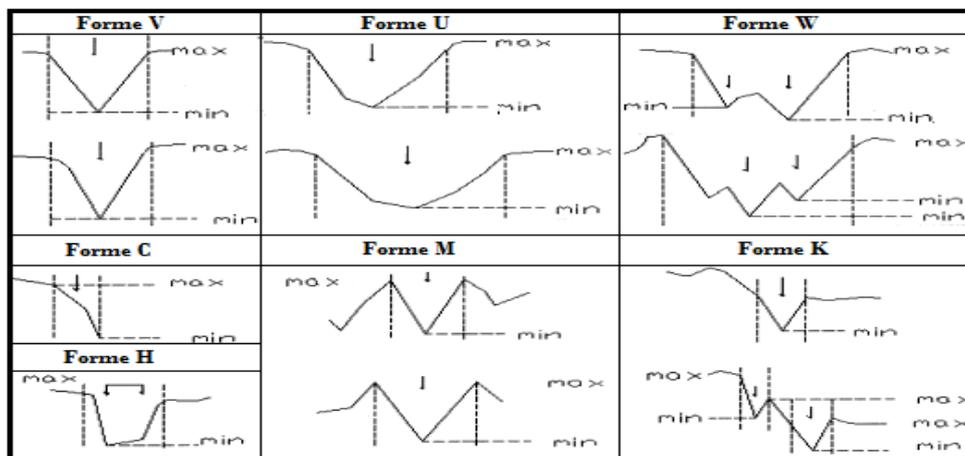


Figure 2 : Les différentes formes d'anomalies

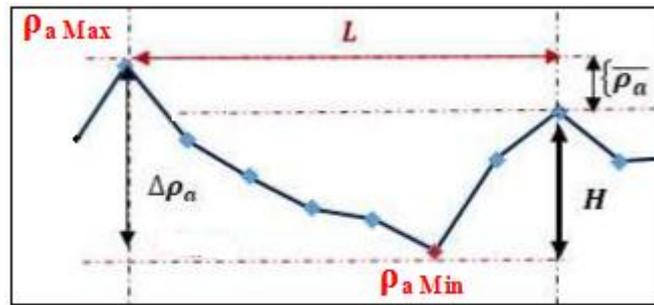


Figure 3 : Modèle de calcul d'IF[14]

## 4. Résultats

### 4-1. Identification et caractérisation des zones de discontinuités issues des TE

Les résultats obtenus dans les secteurs de Bendiekomenankro et Kouakoussekro sont présentés par les **Figures 4 et 5**. Les profils de résistivité présentent des paliers de faibles résistivités par rapport à la moyenne. Ces niveaux correspondant à des zones d'anomalies conductrices seraient associés à des approfondissements locaux de l'altération qui pourraient être liés à des zones de discontinuités (zone de contacts lithologiques, filons, diaclases, fractures, etc.). Les traînés électriques des différents sites ont mis en évidence deux (2) directions de fractures soulignées à la surface du sol par des filons de quartz orientés N120° et N140°.

- Cas de Bendiekomenankro

L'analyse des profils de traîné met en évidence divers anomalies électriques correspondant probablement à des niveaux de fracturation de la roche saine ou à sa partie altérée. Selon le degré d'ouverture de ces anomalies on constate divers types d'anomalies de caractéristiques diverses (**Figure 4 et Tableau 1**).

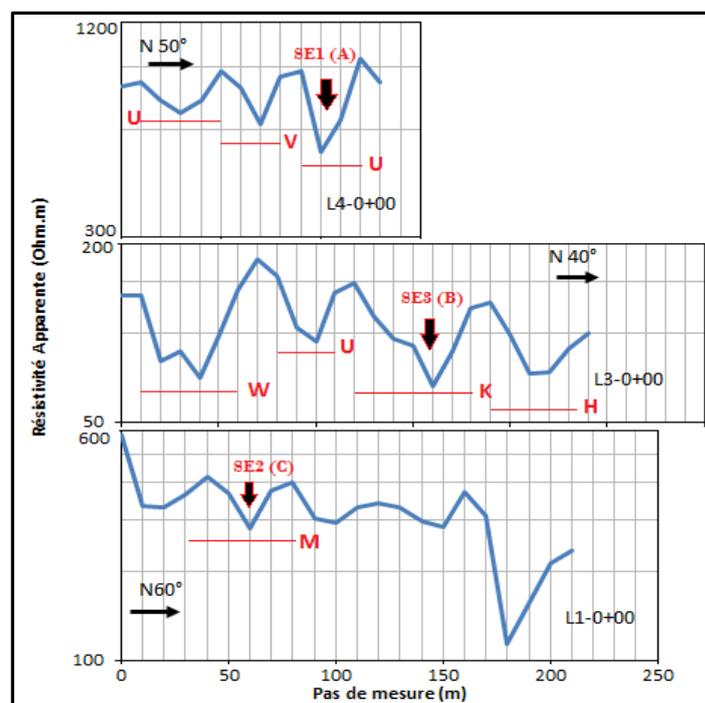


Figure 4 : Quelques profils électriques de Bendiekomenankro

**Tableau 1 : Caractéristiques des anomalies électriques de Bendiekomenankro**

Localité	Sites	Traîné électrique					
		Profils	Direction de fracture (°)	Largeur (m)	Forme (m)	Amplitude (Ω.m)	IF (%)
BENDIEKOMENANKRO	1	L1-0+00	N 140°	40	M	160	0,78
				60	W	107	0,82
	2	L3-0+00	N 120°	50	U	94	0,9
				60	K	82	0,6
				50	H	54	0,56
				40	U	212	0,36
	3	L4-0+00	N 140°	30	V	256	0,86
				30	U	432	1,45

Le profil L1-0 + 00 présente une discontinuité de type "M" de direction N 140° avec une faible puissance (40 m), une amplitude moyenne et un indice de fracturation faible (0,78). Cette anomalie est soulignée par un alignement d'arbres hydrophiles de direction N140°. Le profil L3-0 + 00 met en évidence des anomalies de forme différentes (W, U, K, H), de puissance moyenne (entre 50 et 60 m), d'amplitude faible dans l'ensemble (< 100 Ω.m) et d'indice de fracturation faible (< 1). Les discontinuités "K" et "H" ont une direction N120° qui est marquée par la présence des arbres hydrophiles en contact avec un marigot pérenne. Concernant le profil L4-0 + 00, les anomalies identifiées sont de deux formes ("V" et "U"), elles sont caractérisées par une faible puissance ( $\leq 40$  m), une amplitude moyenne comprise entre 200 et 430 Ohm.m et un indice de fracturation faible (< 1). On observe cependant que l'anomalie située à X = 100 m et orientée N140° présente l'indice de fracturation le plus élevé de la zone d'étude, soit 1,45. Un alignement de termitières épigées de direction N140° conforte bien cette anomalie identifiée à X = 100 m. En outre, la géologie de surface montre des filons de quartz orientés N120° et N140°. C'est sur les anomalies présentant des signes extérieurs de fracturation que sont effectués les sondages électriques.

- Cas de Kouakoussekro

Plusieurs anomalies de forme, puissance, amplitude et d'indice de fractures diverses ont été identifiées sur les différents sites d'étude de Kouakoussekro (*Figure 5, Tableau 2*). Sur le profil L2-0 + 00, deux anomalies de forme "U" et "H", ayant une puissance moyenne (60 à 70 m), une faible amplitude (< 65 Ohm.m) et un indice de fracturation faible (< 0,8) ont été mises en évidence. Le forage réalisé pour l'hydraulique villageoise améliorée se trouve sur une fracture de direction N130°, caractérisée par une anomalie de type U sur ce profil. Le profil L3-0 + 00 présente quatre (04) anomalies de formes "U", "W" et "K", de faible amplitude (< 81 Ohm.m) avec des largeurs moyennes exceptée l'anomalie "U" qui se situe entre les abscisses 130 et 160 m. Concernant l'indice de fracturation, seule l'anomalie "U", se trouvant en fin de profil offre un IF supérieur à 1. Les profils ont mis en évidence deux directions de fracturation à savoir N120° et N130° sur lesquelles ont été effectués trois (3) sondages électriques en tenant aussi compte de l'état de surface (zone humide et végétation dense).

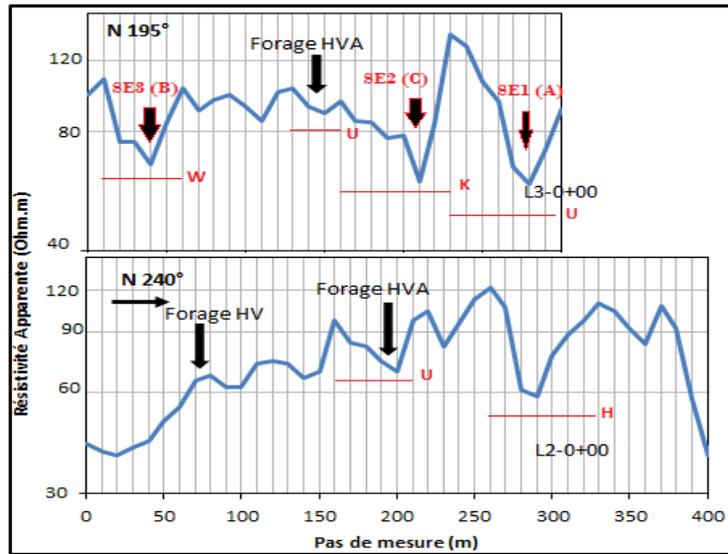


Figure 5 : Quelques profils électriques de Kouakoussékro

Tableau 2 : Caractéristiques des anomalies électriques de Kouakoussékro

Localité	Sites	Profils	Trainé électrique				
			Direction de fracture (°)	Largeur (m)	Anomalie Forme (m)	Amplitude (Ω.m)	IF (%)
KOUAKOUSSEKRO	1	L2-0+00	N 130°	60	U	29	0,43
				70	H	65	0,8
				50	W	42	0,58
	2	L3-0+00		30	U	14	0,21
			N 120°	70	K	80	0,66
			N120°	70	U	81	1,03

4-2. Identifications des différents horizons par sondages électriques

A Bendiekomenankro, les trois sondages électriques, exécutés sur les différents sites montrent trois (3) à quatre (4) terrains. Le premier sondage (SE1), que l'on a réalisé au niveau de L4-0 + 00 sur une structure de direction N140° a révélé l'existence de trois terrains (Figure 6). On identifie un premier terrain avec 3 m comme épaisseur et une résistivité de 686,6 Ω.m. Il s'agit probablement d'une couche d'argile latéritique indurée. Un deuxième terrain, situé sous le précédent, donne une résistivité plus élevée (1197.8 Ω.m). Il est associé à une couche d'argile graveleuse sèche. Les deux niveaux sous-jacents de résistivité variant de 412 à 691 forme un même terrain et serait associé à un horizon altéré et fissuré. Le contact horizon altéré et fissuré n'est pas net, il est estimé néanmoins à 30 m de profondeur.

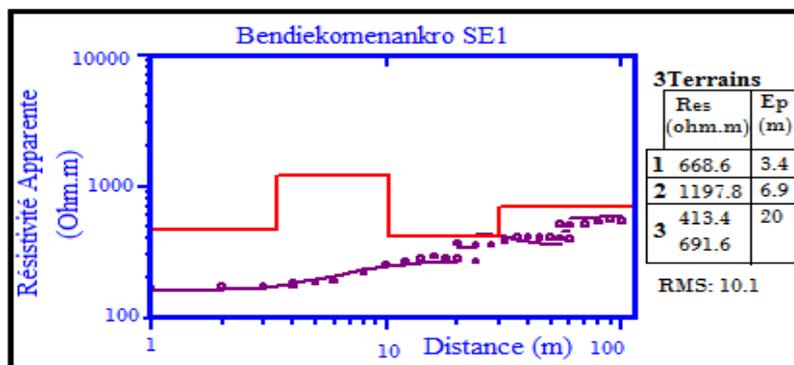
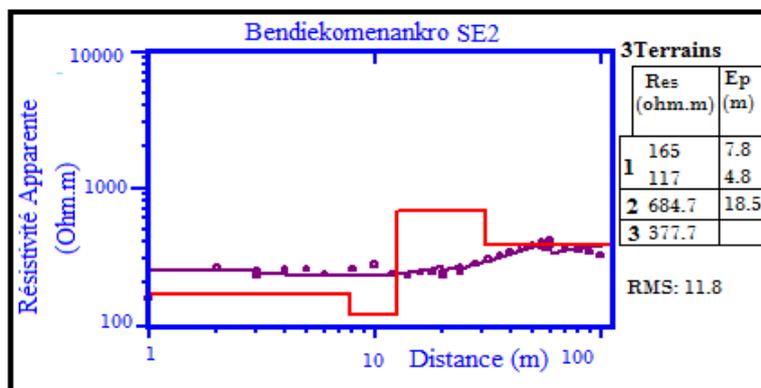
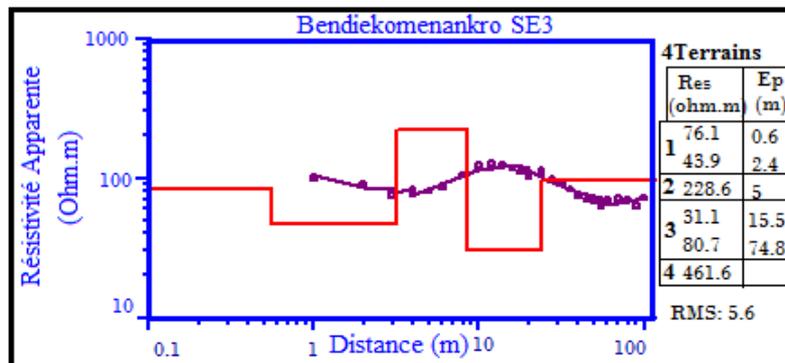


Figure 6 : Modèle obtenu pour le sondage (SE1) de Bendiekomenankro

Le deuxième sondage (SE2), exécuté sur un autre site, a révélé, comme le premier sondage, la présence de trois terrains avec cependant des légères variations (**Figure 7**). On observe un premier terrain comprenant deux niveaux de résistivité d'une centaine d'ohm.mètre. Il est assimilé à un horizon d'argile latéritique avec une variation de teneur en eau et / ou en argile et une dureté progressivement faible. En dessous, se trouve une couche plus résistante d'environ 684  $\Omega$ .m, qui correspond certainement à la couche d'argile graveleuse sèche. L'horizon fissuré (377,7  $\Omega$ .m) serait estimé à 31 m de profondeur. Enfin, le troisième sondage (SE3), que l'on a réalisé en zone de méandre caractérisée par des faibles résistivités, donne quatre terrains (**Figure 8**). Les deux premiers niveaux de faible résistivité (43 - 76  $\Omega$ .m) sont associés à des alluvions à teneur variable en sable et / ou d'argile. Ce terrain surmonte un horizon caractérisé par une résistivité de 228,6  $\Omega$ .m qui serait argileux latéritique. Les deux couches sous-jacentes de faibles résistivités (31,1-80,7  $\Omega$ .m) correspondent à l'horizon argilo-sableux humide. Enfin le dernier niveau correspond à l'horizon fissuré (461  $\Omega$ .m) est estimé à 98 m de profondeur.



**Figure 7 :** Modèle obtenu pour le sondage (SE2) de Bendiekomenankro



**Figure 8 :** Modèle obtenu pour le premier sondage (SE3) de Bendiekomenankro

A Kouakoussekro, l'interprétation des résultats de trois sondages électriques donne aussi trois (3) à quatre (4) terrains. Le premier sondage (SE1), que l'on a réalisé au niveau du talweg a révélé l'existence de trois terrains (3) (**Figure 9**). La couche superficielle, d'une épaisseur d'environ 0,8 m, présente une résistivité d'une trentaine d'ohm.mètre, il s'agit probablement d'une couche alluvionnaire. En dessous se trouve un terrain épais de 28 m, qui est constitué de trois couches assimilées certainement au niveau sablo-argileux avec intercalation graveleuse. Le dernier terrain résistant (3457  $\Omega$ .m) se trouvant à 29 m de profondeur correspond à l'horizon sain relativement fissuré. Ce sondage présente les plus faibles valeurs de résistivités apparentes de la zone d'étude.

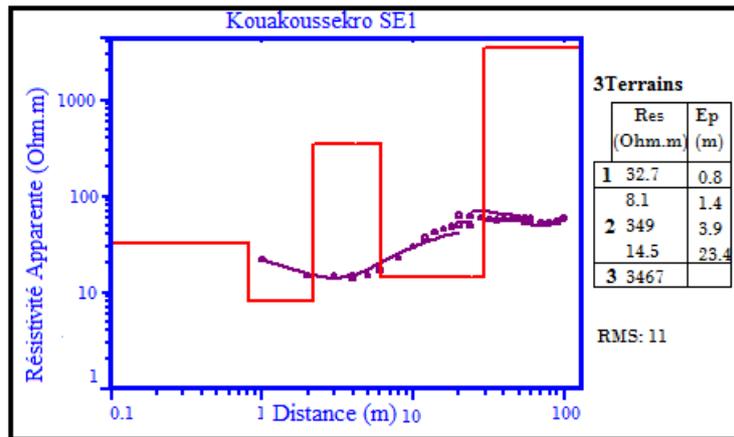


Figure 9 : Modèle obtenu pour le sondage (SE1) de Kouakoussekro

Les deux derniers sondages (SE2 et SE3) montrent une succession de quatre (4) terrains (Figure 10). Un premier terrain alluvionnaire de faible résistivité (22 à 44 Ω.m), un deuxième terrain avec une résistivité allant de 130 à 460 Ω.m surmonte un terrain épais (20 à 36 m) et de faible résistivité (14 à 23 Ω.m) ; ces terrains correspondent à des niveaux sablo-argileux sec à humide. Le substratum sain relativement fissuré se trouve à 25 m (SE2) et 62 m (SE3) de profondeur.

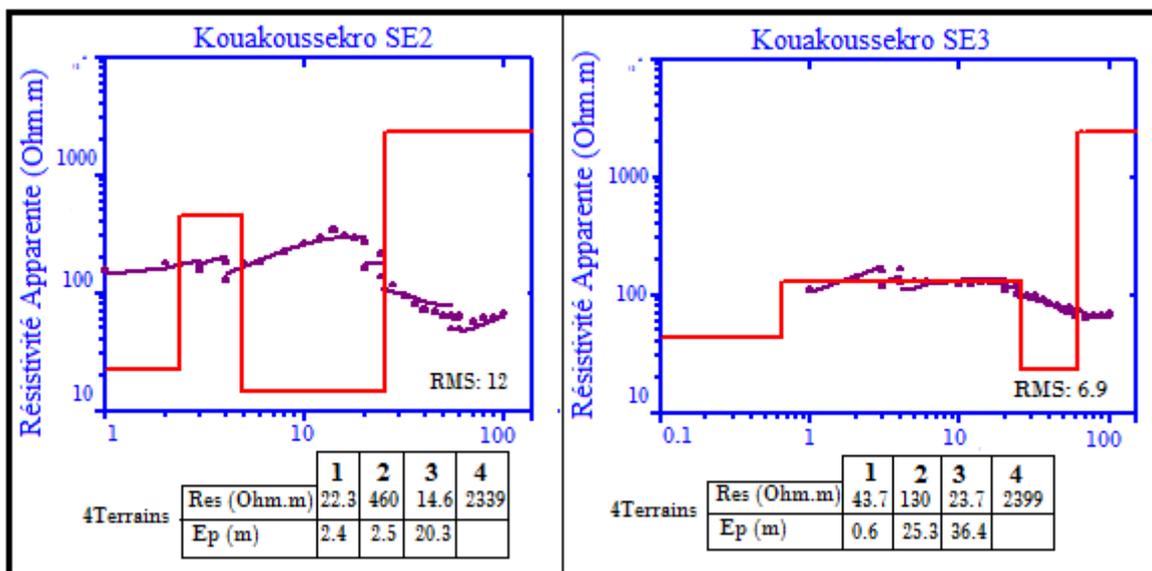


Figure 10 : Modèle obtenu pour le sondage (SE2) et (SE3) de Kouakoussekro

### 4-3. Critères d'implantation

L'objectif de l'étude étant de satisfaire à un besoin en eau de la population de Bendiékomenankro et Kouakoussekro, plusieurs critères ont orienté le choix pour l'implantation de forage. Pour un pourcentage de réussite élevé, ils se basent sur la convergence de plusieurs facteurs issus des études géophysique, structurale (orientation des fractures, présence de filons de quartz etc.) et géomorphologique (altération épaisse et saturée, niveau d'eau peu profond, alignement de termitière et arbres hydrophiles, marigot pérenne etc.).

**4-3-1. Points d'implantation A et B à Bendiekomenankro et Kouakoussekro**

A Bendiekomenankro, le profilage électrique confirme la présence effective de fracture de direction N 140° marquée en surface par un bel alignement de termitières et sur le profil électrique par une anomalie de forme "U". L'indice de fracturation est le plus élevé (1,45). Dans cette zone, les fractures peuvent être productives dans la mesure où il existe un forage de 8 m<sup>3</sup> / h. Le sondage SE1, exécuté sur la fracture orientée N140°, indique la présence d'une formation de résistivité intermédiaire (691 Ω.m) à 30 m de profondeur. Cette couche pourrait constituer un horizon fissuré du substratum schisteux puisque le sondage a l'allure d'une courbe à remontée traînante très marquée (Figure 11). Le sondage SE3, réalisé dans la même localité, sur une fracture de direction N120°, présente les résistivités apparentes les plus faibles de la zone d'étude, ce qui serait un indice de l'intense fracturation sous-jacente. En plus son positionnement dans une zone de méandre peut assurer une bonne productivité (Figure 12). Cependant, l'indice de fracturation, calculé sur l'anomalie K présentée par cette fracture, est inférieur à 1 (0,6) et les anciens forages existant dans cette zone ont un débit horaire inférieur à 3 m<sup>3</sup>.

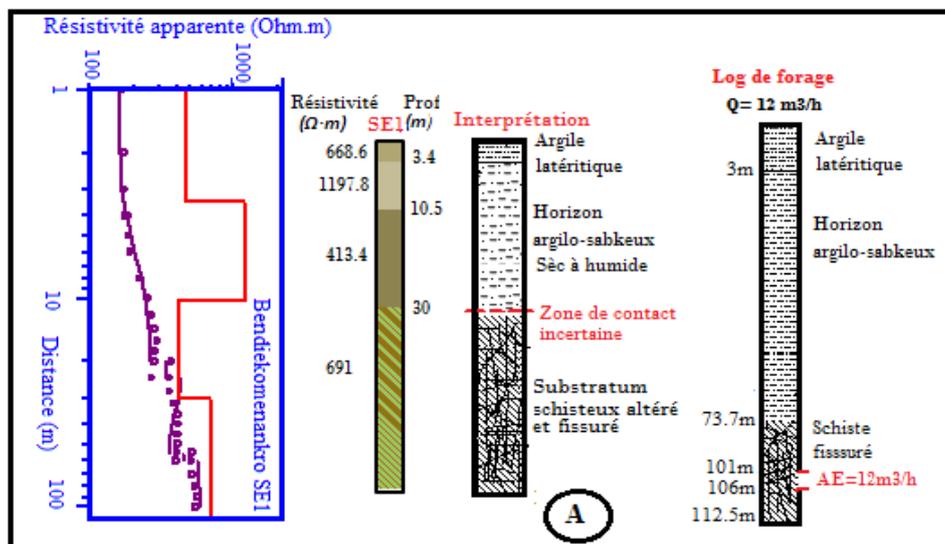


Figure 11 : Interprétation du sondage SE1 (A) de Bendiekomenankro et coupe lithologique

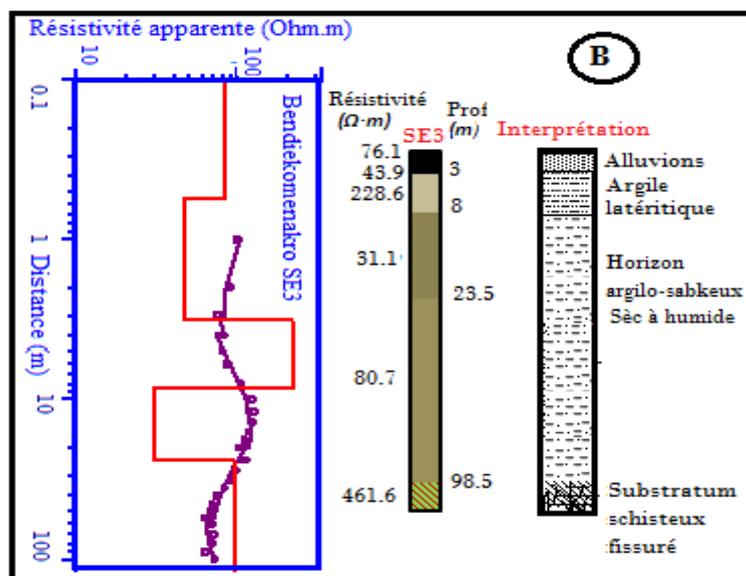


Figure 12 : Interprétation du sondage SE3 (B) de Bendiekomenankro

Pour Kouakoussekro, l'analyse des profils électriques a mis en évidence la présence de fracture orientée N120°. L'indice de fracturation (1.06) de l'anomalie "U" est le plus élevé du site d'étudié. Cette anomalie se situe dans une zone à niveau d'eau peu profond avec présence de marigot pérenne et végétation dense qui sont de bons indicateurs de la présence d'eau souterraine. Le sondage SE1, effectué à l'aplomb de cette anomalie, présente une remontée traînante caractérisée par un palier (3467 Ω.m) apparaissant à 29 m de profondeur (Figure 13). Le sondage SE3 effectué sur l'anomalie "W", présente une grande épaisseur du complexe conducteur (61 m) (Figure 14). Il est situé à proximité des rigoles et est souligné par un alignement d'arbres hydrophiles.

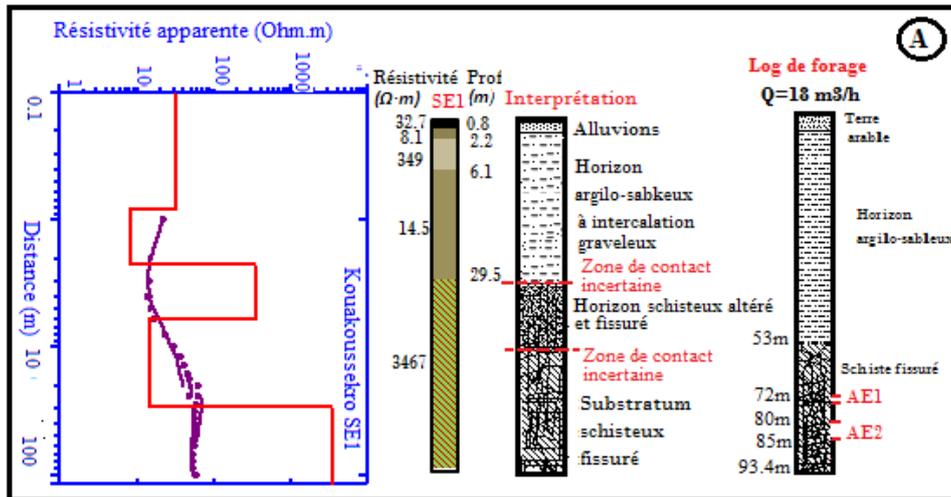


Figure 13 : Interprétation du sondage S1 (A) de Kouakoussekro et coupe lithologique

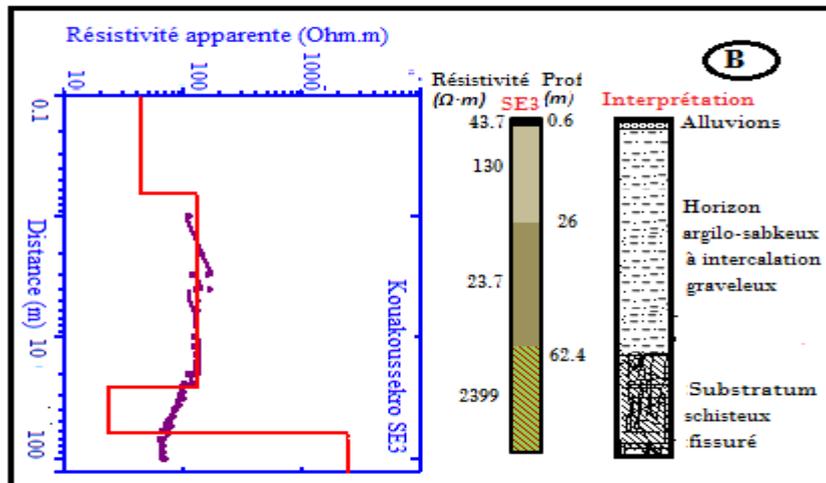


Figure 14 : Interprétation du sondage S3 (B) de Kouakoussekro

Tous ces critères ont permis de proposer des points d'implantation par ordre de priorité pour chaque site d'étude (Tableau 3).

Tableau 3 : Ordre de priorité de réalisation des forages

		LOCALITES	
		Bendiekomenankro	Kouakoussekro
Ordre de priorité	A	SE1	SE1
	B	SE3	SE3

#### 4-3-2. Point d'implantation C à Bendiékomenankro et Kouakoussekro

A Bendiékomenankro, le point d'implantation C est situé à mi-pente dans une zone marquée par un alignement d'arbres hydrophiles de direction  $N140^\circ$  et la présence de filons de quartz orientés  $N120^\circ$  et  $N40^\circ$ . Le profilage électrique a mis en évidence dans cette zone, une anomalie "M", avec un indice de fracturation estimé à 0,78. Le sondage SE2, réalisé sur cette anomalie, présente une courbe à remontée traînante indiquant un horizon fissuré et altéré (377  $\Omega.m$ ) qui apparaît à partir de 31 m de profondeur (**Figure 15 C1**). Concernant Kouakoussekro, le point C a été choisi sur l'anomalie "K", d'indice de fracturation 0,66, située à 60 m d'un forage en exploitation débitant à  $6 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Cette anomalie, est confirmée par une fracture de direction  $N120^\circ$ . Le sondage SE2, réalisé sur l'anomalie en question présente un horizon argilo-sableux de 25 m d'épaisseur (**Figure 15 C2**).

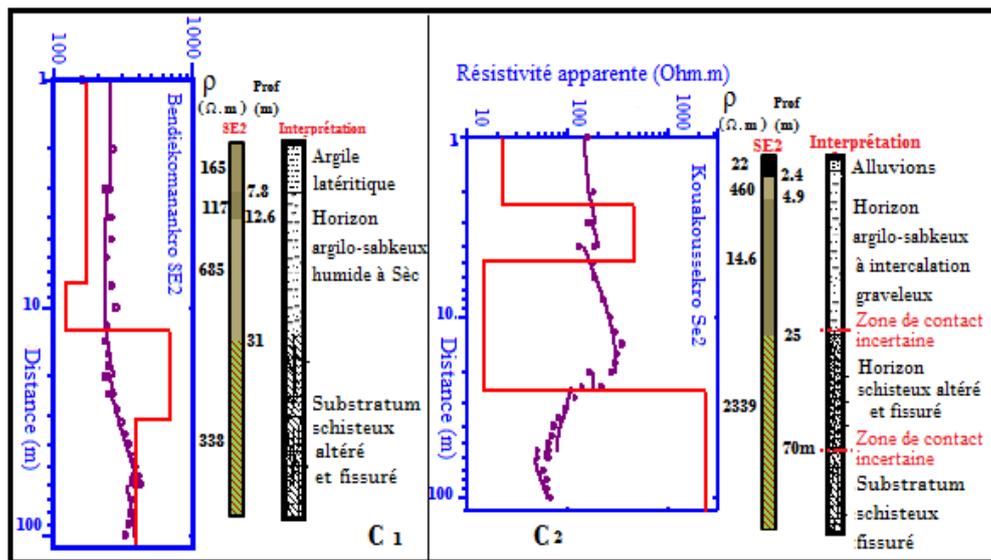


Figure 15 : Interprétation du sondage SE2 de Bendiékomenankro (C1) et Kouakoussekro(C2)

Les forages implantés à l'aplomb des points sus-désignés, ont donné un débit horaire à Bendiékomenankro de  $12 \text{ m}^3$  sur le point A, avec une épaisseur d'altération de 73,7 m et les arrivées d'eau comprises entre 101 et 106 m de profondeur. Quant à Kouakoussekro, le forage réalisé sur le point A, a donné  $18 \text{ m}^3 / \text{h}$ , l'épaisseur d'altération étant de 53,05 m et des arrivées d'eau à 78 m et entre 80 et 85 m.

## 5. Discussion

L'identification à partir de la surface des épaisseurs d'altération et de l'horizon fissurés, zones reconnues pour leur propriété de stockage et de conduite de flux et plus profondément les systèmes de fractures est l'objectif du géophysicien [15] pour cela, les traînés et les sondages électriques sont réalisées. La présence, au long du traîné de déflexions plus conductrices est interprétée comme étant la marque de la présence de « fractures » produisant un épaissement de la zone d'altération et de la zone fissurée-altérée, et / ou la marque d'une zone de fractures profondes. Contrairement au Benin où, le critère de choix des déflexions intéressantes est basé prioritairement sur le rapport de résistivité apparente de 1,5 entre les valeurs qui encadrent la déflexion et sa valeur minimale, Les zones dignes d'intérêt dans cette étude sont basées sur certaines formes d'anomalies, leur orientation et l'indice de fracturation défini par Dieng. Ainsi les points d'implantations prioritaires de forage se situent sur les anomalies de forme "U", de plus fort indice de

fracturation ((Bendiekomenankro, 1,45); (Kouakoussekro, IF = 1,06)), situé sur des zones de déflexions d'orientation N140° et N120° respectivement à Bendiekomenankro et Kouakoussekro. En outre plusieurs indices de fracturations tels que la remontée traînante (SEI Kouakoussekro) et la présence de palier sur la remontée (SEI Bendiekomenankro) comme observés dans les références [6, 7, 12, 16, 17] ont été identifiés sur les sondages électriques. Les potentialités hydrauliques sont définies par la pluviométrie de la région, les conditions morphologiques locales et l'existence de milieux poreux saturés. L'existence d'un horizon altéré saturé est un bon facteur de réussite. Cette condition est souvent réunie dans les zones humides. L'isohyète 1000 mm est une limite caractéristique. Au-delà de 1000 mm de pluie, la réalimentation des aquifères ne pose pas de problèmes [18]. C'est le cas du département de Daoukro, où le bilan hydrologique calculé par les auteurs de [1] montre une précipitation moyenne de 1179,8 mm et une quantité d'infiltration d'eau de 305,2. Du point de vue géomorphologique et hydrogéologique, la présence des zones d'écoulement (les sources ou les marigots), des versants et bas-fonds (le potentiel morphologique), d'indices biologiques (alignement de termitières épigées et d'arbres hydrophiles) et structuraux (les fions de quartz) indique des zones favorables à l'existence de nappes d'eaux souterraines comme observé par les auteurs de [8].

Dans les différentes localités étudiées, les choix de point de forage, fonction des paramètres géophysiques, géomorphologiques et hydrogéologiques ont donné respectivement à Bendiekomenankro et Kouakoussekro un débit horaire à la fin du forage de 12 m<sup>3</sup> et 18 m<sup>3</sup>. La comparaison des résultats de forages et de sondages électriques montre qu'il existe quelques dissemblances surtout au niveau de l'épaisseur d'altération des sondages SEI de Bendiekomenankro et Kouakoussekro. Cette dissemblance est imputable au couple résistivité / épaisseur de l'horizon fissuré compris entre les altérites et le socle sain et aussi à la variation latérale lithologique (ou l'anisotropie) des différents horizons. En effet selon [19], les altérites sont subdivisées en allotérites et isaltérites. Sur les terrains schisteux, les allotérites correspondent à de l'argile imperméable avec la disparition de la texture initiale de la roche saine donc très conductrice alors que les isaltérites (silt-argileuse), conservant le volume et la texture initiale, sont plus résistants. De son côté, l'horizon fissuré altéré du fait de nombreuses fissures et de la perméabilité élevée offre une résistivité moyenne, voisine à celle des isaltérites. C'est ce qui rend difficile l'indication précise de la limite entre eux. Malgré cette insuffisance, les courbes à palier sur la remontée finale présente dans la majeure partie des cas des arrivées d'eau dans la zone de contact altérites-horizons fissurés [20, 21].

Les familles de discontinuités se définissent par leur orientation, ouverture, abondance ainsi que leur origine géologique [22]. Dans ce travail, les fractures de directions N140° et N120° captées successivement par les forages réalisés à Bendiekomenankro et Kouakoussekro sont productives et donc ouvertes. Ces résultats corroborent ceux de [23] qui stipulent que les familles de fractures orientées NW-SE dans le département de Daoukro font partie des directions majoritaires et productives. Les résultats de forages des deux localités ont montrés, à l'instar des travaux de [24] que les zones les plus productives se situent au niveau des 30 premiers mètres sous la couche des altérites du fait de la forte densité de fissures et des fractures ouvertes correspondant à l'horizon fissuré. En plus, ceux du forage de Bendiekomenankro où l'épaisseur d'altération est de 73,7 m pour un débit de 12 m<sup>3</sup> / h, montrent qu'au-delà de 60 m d'épaisseur d'altérite, des débits intéressants peuvent être trouvés contrairement aux travaux de [16]. Cela corrobore les travaux de [25] qui soutiennent que la possibilité d'obtenir des fractures productives est réellement accrue à de grandes profondeurs. Ce résultat est d'une portée pratique importante : la résistivité est capable de discriminer les différents compartiments intéressants l'hydrogéologue et permettre, si l'on y ajoute la géomorphologie d'identifier des nappes souterraines de bonne productivité.

## 6. Conclusion

Un forage doit être implanté sur une fracture choisie essentiellement pour son action drainante. Celle-ci doit être le collecteur principal des différents réseaux de fissures qui sont autant de drains secondaires de la masse altérée située au-dessus. La pratique de la prospection électrique 1D (trainé + sondage électrique 1D) couplé à la géomorphologie est favorable à l'implantation de forages de bonne productivité. Les résultats obtenus montrent bien que la prise en compte de la forme "U" de l'anomalie, du paramètre de fracturation supérieur à 1 et de l'orientation des structures N140° et N120° souligné respectivement par un alignement de termitières et une zone à niveau d'eau peu profond avec présence de marigot pérenne et végétation dense est prépondérante. En outre les estimations de l'épaisseur de l'horizon argilo-sableux et la localisation des niveaux altérés et fissuré dans le substratum bien qu'elle soit entachée de quelques marges d'incertitudes a fait suite à une implantation de deux forages de débit air-lift 12 m<sup>3</sup> / h à Bendiekomenankro et 18 m<sup>3</sup> / h à Kouakoussekro. La méthode de résistivité électrique, si elle converge avec les facteurs favorables (altération épaisse et saturée, niveau d'eau peu profond, pluviométrie abondante, marigot pérenne) permet d'obtenir des débits et un pourcentage de réussite élevés.

## Remerciements

*Les Auteurs voudraient remercier l'Office National de l'Eau Potable de Côte d'Ivoire et GEO-EXPERTISE qui ont permis la réalisation de ce projet. Ils remercient également tous les instructeurs anonymes pour leurs remarques et critiques permettant d'améliorer ce présent article.*

## Références

- [1] - B. DEWANDEI, P. LACHASSAGNE, F. K. ZAIDI, S. CHANDRA, A conceptual hydrodynamic model of a geological discontinuity in hard rock aquifers: example of a quartz reef in granitic terrain in South India. *J. Hydrol*, 405 (2011) 474 - 487
- [2] - P. LACHASSAGNE, R. WYNS, B. DEWANDEL, The fracture permeability of Hard Rock Aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23 (2011) 145 - 161
- [3] - T. LASM, Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : Analyse statistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen), *Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France*, (2000) 274 p.
- [4] - M. KOITA, Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)", *Thèse de doctorat, Université Montpellier II*, (2010) 220 p.
- [5] - Y. KOUSSOUBE, A. SAVADOGO, S. NAKOLENDOUSSE, Les différentes signatures de fractures de socle cristallin en zone sahélo-soudanienne du Burkina Faso (Bassin versant de Bidi, province de yatenga). *Revue de Télédétection*, 03 (5) (2003) 419 - 427
- [6] - 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 et Technologie*, 12 (2004) 21 - 30
- [7] - E. G. K. 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
- [8] - A. K. NJUEYA, L. KENGNI, M. F. FONTEH, A. K. DONGMO, R. N. NTANKOUO, D. G. NKOATHIO, C. TAZO, Apport des Sondages Électriques Verticaux à la Localisation et la Caractérisation des Aquifères en zone Volcanique au Cameroun : Cas d'Ebonye et ses Environs. *European Journal of Scientific Research*, 131 (1) (2016) 54 - 65

- [9] - O. L. BLE, T. SORO, E. G. AKE, E. K. AHOUSI, M. S. OGA, J. BIEMI et D. AKOSSI, Productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Rev. Sci. Technol.*, 30 (2015) 70 - 76
- [10] - GEOMINE, Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de M'Bahiakro, cahier, 13 (1982a) 20 p.
- [11] - GEOMINE, Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de d'Agnibilekro, cahier, 20 (1982b) 20 p.
- [12] - P. SOMBO, F. W. KOUASSI, B. C. SOMBO, L. N. KOUAME et E. G. K. 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
- [13] - L. MARESCOT, Cours bloc : Géophysique appliquée à l'archéologie, Université Fribourg, (2007)
- [14] - K. L. KOUADIO, Etude statistique des paramètres des anomalies conductrices et conception d'un modèle de débit de forage en milieu du socle : cas des régions du Bélier, Iffou, Gbeke et Bagoué. *Mémoire de Master, Université Félix Houphouët Boigny*, (2015) 75 p.
- [15] - C. ALLE, M. DESCLOITRES, J. M. VOULLAMOZ, N. YALO, F. M. A. LAWSON, C. ADIHOU, Caractérisation des aquifères de socle par la résistivité électrique. Pratique de l'implantation des forages et perspectives d'amélioration au Bénin. « *Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles* » *La Roche-sur-Yon*, (2015)
- [16] - 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, Univ. Cheikh Anta Diop (Dakar)*, (1999) 87 p.
- [17] - E. G. K. KOUAKOU, B. C. SOMBO, E. K. KOUADIO, F. W. KOUASSI, D. KEITA, A. P. SOMBO et 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*, 94 (3) (2013) 355 - 372
- [18] - CIEH, Méthodes d'études et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest, *Atlas de photo-interprétation*, 3 (1981) 143 p.
- [19] - B. MOUGUIN, E. THOMAS, R. WYNS, R. BLANCHIN et F. MATHIEU, Comportement hydrodynamique des roches altérées de la surface sur le bassin versant de la rade de Brest (Finistère). *Rapport-final-BRGM/RP-52656-FR*, (2003) 54 p.
- [20] - 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.
- [21] - E. G. K. KOUAKOU, A. P. SOMBO, G. R. BIE, E. AKA, L. N. KOUAME, Etude comparative de résultats de sondages électriques et des coupes lithostratigraphiques de forages en région de socle (Nord de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 25 (2016) 101 - 119
- [22] - F. REY, "Ressources en eau souterraine dans les chaînons béarnais. Géométrie et fonctionnement hydrogéologique de quatre aquifères carbonatés", *Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1*, (2007) 178 p.
- [23] - F. KANOHN, S. M. Bachir, G. E. AKE, et I. SAVANE, Apport de la télédétection et des SIG dans l'identification des ressources en eau souterraine dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 01 (1) (2012) 35 - 53
- [24] - E. A. ASSEMIAN, F. K. KOUAME, MAHAMAN BACHIR SALEY, K. AFFIAN, M. YOUAN TA, J. P. JOURDA et J. BIEMI, Etude de la productivité d'un aquifère de socle et approche statistique pour la détermination des tranches de profondeurs potentiellement productives : cas de la région de Bongouanou, Est de la Côte d'Ivoire, *revues des sciences de l'eau*, Vol. 27, 1 (2014) 81 - 97
- [25] - Y. A. N'GO, D. L. GONE, I. SAVANE, M. GOBLE, Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) : caractérisation hydroclimatique et physique. *Afrique Science*, 01 (1) (2005) 127 - 144