

## **Contribution de la télédétection et de la géophysique à l'implantation de forage d'eau à Kong, Nord-Est, Côte d'Ivoire**

**Kouassi Eric - Germain KOUAKOU<sup>1\*</sup>, Abe Parfait SOMBO<sup>2</sup> et Diaratou KEITA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, UFR des Sciences Biologiques, Département de Géosciences, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*

<sup>2</sup> *Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

<sup>3</sup> *Office National de l'Eau Potable, 04 BP 42 Abidjan 04, Côte d'Ivoire*

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

### **Résumé**

Ce travail porte sur le renforcement de l'approvisionnement en potable de la localité de Kong par la réalisation d'un forage débitant au moins 10m<sup>3</sup>/h suite à une étude prospective. La méthodologie de prospection utilisée combine la télédétection, la géomorphologie et la géophysique pour l'étude structurale et la sélection de site favorables à travers la cartographie des linéaments assimilables aux failles affectant le substratum, l'analyse de l'état de surface des sites présélectionnés et la caractérisation géoélectrique de ceux-ci. Ainsi les principales directions linéamentaires ont été identifiées et sont, par ordre d'importance, N130-140, N50-60 et N30-40. Les couloirs de fracturation N50°, N126° et N70° identifiées par la géophysique sont favorables à la présence d'aquifères de fissures. Le forage réalisé sur la fracture N50° a donné un débit air-lit de 16 m<sup>3</sup>/h avec des fractures productives respectivement à 24, 25, 28, 69, et 71 de profondeur résorbant ainsi le problème d'approvisionnement en eau de Kong. Ce résultat probant incite à la valorisation de cette étude par son utilisation systématique dans les zones difficiles.

**Mots-clés :** *fracture, télédétection, forage, linéaments, géophysique, Kong.*

### **Abstract**

#### **Contribution of remote sensing and geophysics to water-drilling in Kong, northeast Côte d'Ivoire**

This task consists in reinforcing the supply of drinking water in the region of Kong; through a water drilling of at least 10 m<sup>3</sup>/h in depth according to a prospective analysis. The survey methodology used for the structural study, combines remote sensing, geomorphology, and geophysics. And there is a selection of potential sites through cartography of assimilable lineaments to faults affecting substratum, the analysis about the state of chosen sites and the geoelectric specification of those areas. Thus, the principal lineamentary directions are identified according to the level of significance: N130-140, N50-60 and N30-40. The fracturing corridors, N50°, N126° and N70° identified by geophysics are favorable to a presence of crack aquifers. Water drilling made on fracturing corridor N50° showed a air lit speed of 16 m<sup>3</sup>/h with productive fracturing respectively : 24, 25, 28, 69, and 71 l depth. So it solves the issue concerning drinking water supply in Kong. The compelling result leads to value this study by its systematic use in critical areas.

**Keywords :** *fracture, remote sensing, drilling, lineaments, geophysics, Kong.*

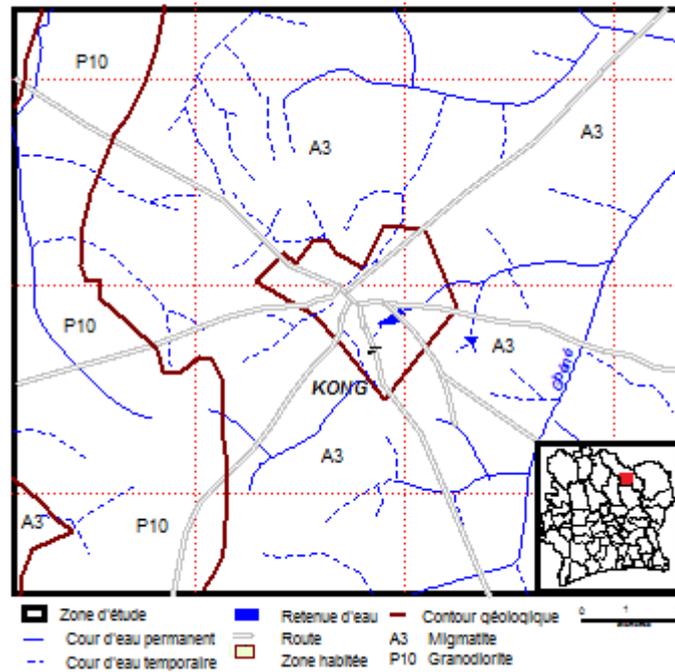
## 1. Introduction

Pour renforcer les besoins en eau potable des populations de Kong assuré par l'eau souterraine grâce aux forages, l'état de Côte d'Ivoire par le truchement de l'office national de l'eau potable (ONEP) désire réaliser un forage. Les besoins étant évalués à un 10 m<sup>3</sup>/h, une prospection hydrogéologique et géophysique en contexte de socle est lancée en 2016. En milieu de socle, les ressources en eau souterraines sont conditionnées par des réseaux de fractures [1 - 3]. Il en résulte un aquifère composite dont l'horizon fracturé assure la fonction transmissive et les altérites meubles sus-jacentes, avec des porosités efficaces pouvant dépasser 5 %, la fonction capacitive [4, 5]. Pour l'hydrogéologue, ce sont les zones d'altération (ZA) et « fissurées-altérées » (ZFA) épaisses qui sont recherchées, respectivement pour leurs propriétés de stock et de conduite du flux. Plus profondément, au sein du socle sain (S), les zones comportant des systèmes de fracture (ZSF) sont aussi recherchées [6, 7]. Pour le géophysicien, il s'agit donc de repérer, depuis la surface, la nature et les épaisseurs de ZA et ZFA, et tenter de détecter les ZSF. A Kong, les études géophysiques antérieures basées sur la résistivité électrique, avec la réalisation de traînés de résistivité apparente d'une seule longueur de ligne et des sondages sur les anomalies identifiés se sont heurtées à des résultats insatisfaisants (trois (3) forages de débits inférieurs à 3 m<sup>3</sup>/h). Par conséquent, une étude combinant à la fois, la télédétection, la géomorphologie et la résistivité électrique (traînés multiples, cartographie électrique et sondages électriques) est adoptées dans ce travail. Ces méthodes constituent des outils efficaces pour la conduite d'un programme de recherche hydrogéologique ; aussi bien pour identifier de nouvelles ressources que pour améliorer la connaissance d'un gisement [3, 8 - 10]. L'objectif de cette étude est identifier les zones propices à l'implantation de forages productifs par l'identification des aquifères de fissures.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

La zone d'étude est située au Nord-Est de la Côte d'Ivoire, à proximité du parc national de la Comoé. Elle est comprise entre les longitudes 4°33' à 4°40' W et les latitudes 9°4' à 9°12'N (*Figure 1*). La végétation est de type savane arborée et arbustive très dégradée. La localité est drainée par la Comoé et ses affluents dont le Gbéné. Le relief est constitué d'un système de glacis démantelé dont l'altitude est souvent inférieure à 300 m [11]. Les précipitations annuelles au cours de ces trois décennies varient entre 800 et 1500 mm avec une moyenne de 1300 mm [12]. Le sous-sol est constitué de roches magmatiques (granodiorite), métamorphiques (migmatites). Les limites entre les différentes unités géologiques indiquent comme direction structurale principale NNE-SSW. Les failles orientées WNW-ESE prédominent [11]. Du point de vue hydrogéologique, deux niveaux d'aquifères superposés sont identifiables : les aquifères d'altérites issus de l'altération physico chimique de la roche mère et les aquifères de fractures créés à la faveur d'évènements tectoniques. Les formations altérites et les horizons fissurés constituent un aquifère composite qui fonctionne comme un seul aquifère. La présence d'un aquifère de socle est donc subordonnée à l'existence d'une fissuration et/ou d'une altération. Autrement dit l'emmagasinement d'eau n'est possible que si les roches ont été soumises à des transformations postérieures à leurs genèses qui sont d'ordre météorique ou tectonique [13].



**Figure 1 : Cadre géographique et géologique de Kong [14]**

## 2-2. Données et matériels

Dans le cadre de cette étude, les données utilisées sont de plusieurs types, il s'agit d'une carte linéamentaire de la localité de Kong réalisée par [14], de données cartographiques (carte topographique et géologique au 1/20000), de données techniques de forage, et de données de résistivités électriques. Le matériel d'étude est de deux types, un matériel d'acquisition de données et un matériel de traitement. Celui d'acquisition est constitué du Syscal Pro Switch 48 qui est un appareil de mesure de résistivités électriques conçu par Iris instrument et ces accessoires (Un jeu d'électrodes avec des câbles de connections, une batterie de 12 Volts pour le courant d'injection), et un GPS, outil de positionnement qui a généré l'ensemble des coordonnées géographiques qui accompagnent les points de mesures. Quant au matériel de transfert ou de traitement des données, il se compose essentiellement de supports informatiques : un ordinateur, des logiciels et programmes (ENVI 4.1, MAPINFO 7.5, GEOSOFT 6.4.2, IX1Dv2, IPI2WIN+IP (2008), et un câble de transfert.

## 2-3. Méthodologie

En raison des nombreux échecs dans cette localité, nous avons adopté une stratégie de prospection scindée en plusieurs étapes en opérant suivant le cas quelques réajustements.

### 2-3-1. Cartographie linéamentaire

Dans le socle cristallin, un forage doit être implanté sur une fracture choisie essentiellement pour son action drainante, elle doit être le collecteur principal des différents réseaux de fissures qui sont autant de drains secondaires de la masse altérée située au-dessus [15]. La technique de télédétection a beaucoup été utilisée pour la cartographie des fractures en milieu de socle. Il est un moyen rapide pour le levé et le choix des fractures. La carte linéamentaire réalisée par [14] a servi de base pour la présélection de sites potentiels de prospection géophysique. Un accent particulier a été mis sur la densité, les nœuds de linéaments, les zones de convergence du réseau hydrographique et la densité de la végétation.

### **2-3-2. Géomorphologie**

Elle a consisté à l'identification des sites prédéfinis par le système Go To et à l'analyse de leur état de surface. Il s'agit de rechercher des indices favorables à l'existence des nappes d'eaux souterraines tel que les alignements de végétation, alignement de termitières épigées, réseau hydrographique, thalweg, filons, fractures dans les affleurements, etc. [8, 9, 16]. C'est sur les sites ainsi définis que les implantations géophysiques sont réalisées.

### **2-3-3. Prospection géophysique**

Dans les techniques de géophysique, les variations de la résistivité électrique des terrains sont utilisées pour en déduire celles de la lithologie, de l'altération et de la fracturation. Dans ce contexte, plus les résistivités sont élevées, plus les terrains sont massifs. Au contraire, plus les valeurs sont basses, plus les terrains sont fracturés, argilisés et/ou aquifères. L'implantation géophysique s'est faite en deux étapes, que sont la prospection horizontale (traîné électrique) et la prospection verticale (sondage électrique).

#### **2-3-3-1. Étude de la variabilité latérale des matériaux par traîné électrique**

Le traîné électrique permet de déterminer les variations latérales des résistivités à une profondeur constante. Il a pour but de détecter les discontinuités dans le socle. Au cours de cette campagne, il s'est fait suivant deux dispositifs. Le dispositif Schlumberger a été utilisé avec  $AB = 200$  m,  $MN = 20$  m, pour une profondeur d'investigation variant entre 38 à 50 m [17]. L'objectif est d'identifier les zones anormales sur lesquelles, un dispositif gradient rectangle de plus grande longueur de ligne ( $AB = 600$  m ;  $MN = 10$  m) est déployé pour une plus grande profondeur d'investigation (76 m) et la réalisation de profils parallèles, cela dans l'optique d'identifier les fractures et leur orientation. Pour bien identifier le couloir de fracturation, bien distinguer ce qui est anormal de l'encaissant, et mettre en évidence des nœuds de fractures, il est nécessaire d'avoir une vue en plan d'où l'usage de la cartographie électrique.

#### **2-3-3-2. Étude de la variabilité verticale des matériaux par sondage électrique**

Les sondages électriques servent à déterminer la succession des différentes couches sur la base des résistivités et des épaisseurs. Pour notre étude, six sondages électriques suivant le dispositif Schlumberger ont été réalisés, sur les zones anormales, en faisant varier l'écartement des électrodes ( $a$ ) de 1 m à 200 m. La modélisation des couples de valeurs résistivité apparente ( $\rho_a$ )-écartement entre électrodes ( $a$ ) par Ip2win/IX1D permet de déterminer la résistivité et l'épaisseur des différentes couches.

## **3. Résultats**

### **3-1. Analyse des linéaments**

Le traitement des images satellitaires Landsat ETM+ a permis de tracer la carte des linéaments observables sur la zone d'étude (**Figure 2**). Celle-ci met en évidence un réseau constitué de 89 linéaments. La rosace directionnelle qui en découle montre une répartition hétérogène des linéaments. Les familles directionnelles N130-140 (14,6 %), N50-60 (12,4 %) et N30-40 (12,4 %) sont majoritaires. Les directions secondaires sont orientées autour du N140-150 (10,1 %), N20-30 (7,8 %) et N40-50 (7,8 %) (**Figure 2**). Trois zones d'intérêt majeures ont été mises en œuvre pour la poursuite des travaux (**Figure 3**).

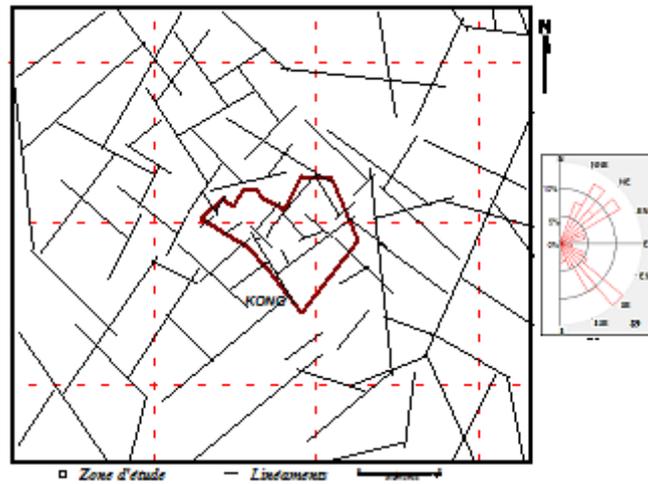


Figure 2 : Carte des linéaments de Kong [14]

### 3-2. Analyse de l'état de surface

Le positionnement des forages antérieurs et des points géophysiques sur la trame linéamentaire montre que la plupart sont sur des linéaments (Figure 3). Deux zones favorables ont été identifiées, le site 1 est dans une zone humide présentant une végétation luxuriante et est le lieu de rencontre de 3 linéaments de direction N147°, N34° et N77°. Le site 3 contient un nœud de linéaments de direction N147° et N53°, est dans une zone humide à proximité d'un thalweg, avec la présence d'un alignement d'arbres hydrophiles de direction N110° (Figure 3).

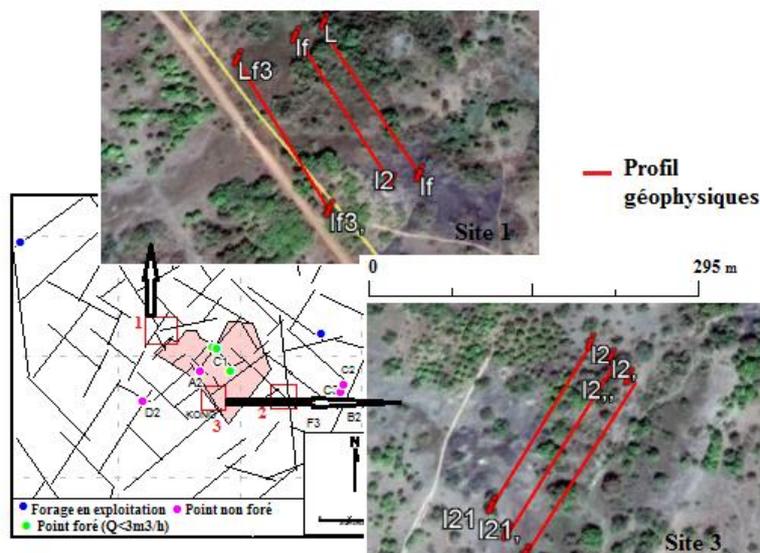


Figure 3 : Localisation des sites retenus pour géophysiques

### 3-3. Identification et caractérisation des zones de discontinuité

L'allure de la courbe de mesure le long d'un profil dépend naturellement des zones traversées. Les profils L1+00 et L2+00 illustrent les mesures prises au niveau des différents sites et sur lesquels on peut distinguer certaines variations spatiales courantes (Figure 4). Le cas 1 présente des successions de valeurs de résistivités faibles et quasi identiques sur plusieurs dizaines de mètres caractéristiques des grandes zones

conductrices. Le *cas 2* correspond à des valeurs ponctuelles en pics qui tranchent avec l'ensemble des valeurs observées et qui traduisent la réponse de zones résistantes très circonscrites. Le *cas 3* est une variation brusque et parfois alternées de la zone conductrice, d'épaisseur et d'amplitude faible.

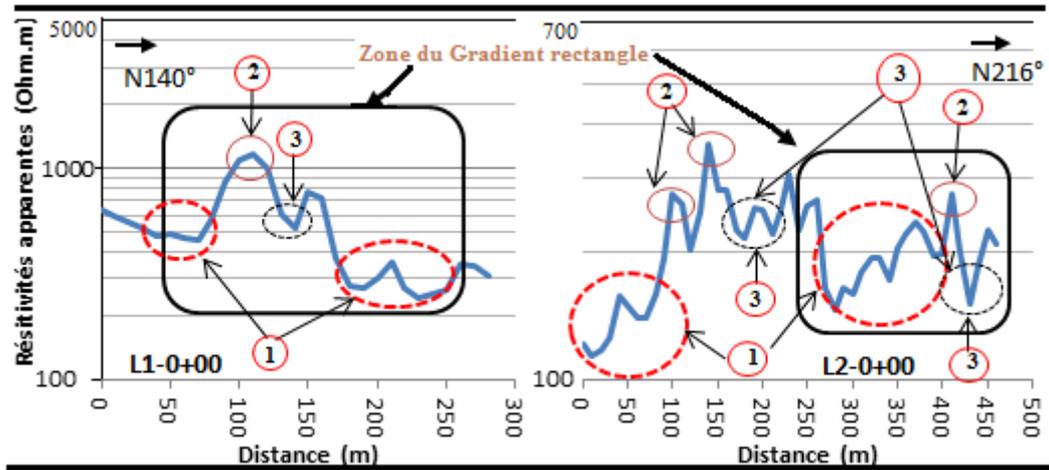


Figure 4 : Valeur de résistivité le long du profil L1-0+00 et L2-0+00

Les profils parallèles réalisés sur les zones conductrices identifiées précédemment ont mis en évidence six discontinuités orientées N126° (2), N152 et N50° (3) (Figure 5).

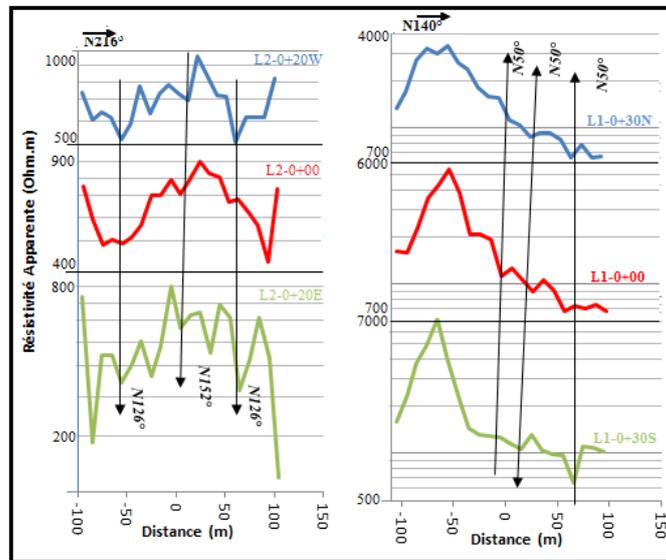


Figure 5 : Profils parallèles sur les deux sites de Kong

3-4. Cartographie de résistivité électrique

Sur la *Figure 6*, les cartes de résistivités apparentes font apparaître des zones anormales conductrices aux extrémités Nord-ouest et Sud-est du site 1, dans la partie Sud-ouest et un peu plus vers le Centre-nord du site 2. La carte du site 1 met en évidence deux directions d'anomalie conductrices N 50° correspondant aux failles. Quant au site 2, il met en évidence trois failles dont deux de direction N126° et une de direction N70°.

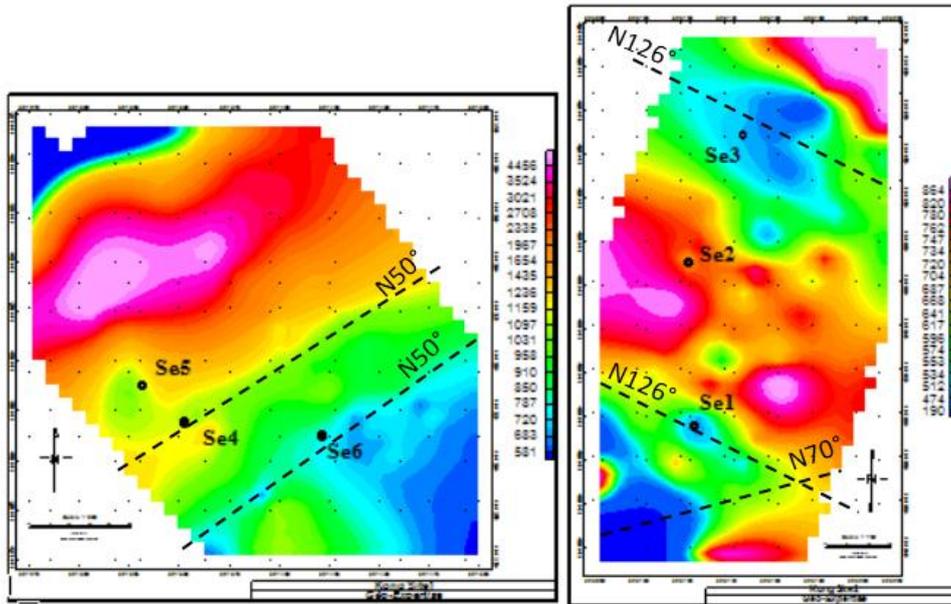


Figure 6 : Carte de résistivité apparente des sites 1 et 2 de Kong

### 3-5. Interprétation des résultats des sondages électriques

L'interprétation des résultats des trois sondages électriques du site 2 présente une succession de 4 terrains (*Figure 7*) : un premier terrain résistant correspondant à la latérite, il est de faible épaisseur (1,5 m maximum). Il surmonte un horizon conducteur correspondant aux altérites. Ceux-ci généralement de faibles résistivités sont en contact avec un niveau altéré et fissuré (64 à 161  $\Omega.m$ ) d'épaisseur supérieure à 30 m. Le substratum sain est estimé à 34 m de profondeur au minimum. Le sondage Se3 qui présente une très forte épaisseur de l'horizon fissuré (62 m) est un site idéal de réalisation de forage.

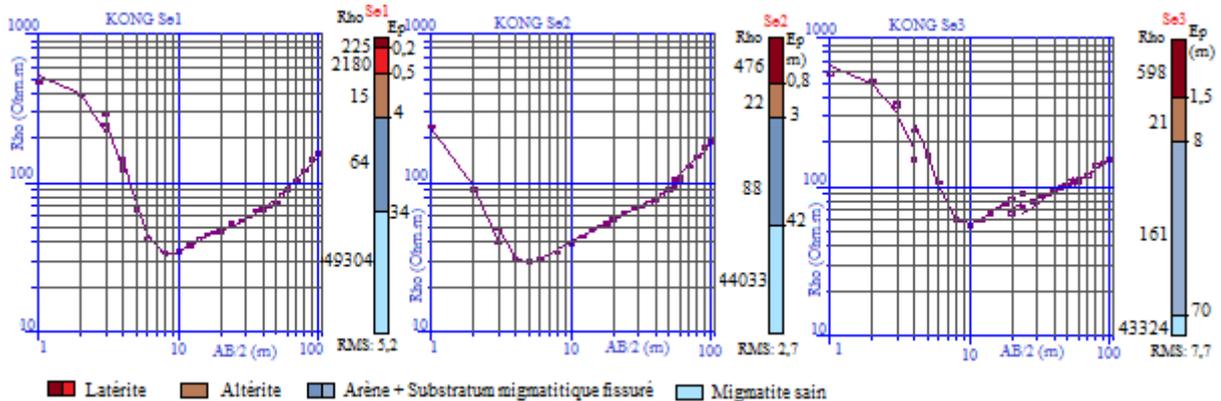


Figure 7 : Interprétation des sondages SE1, SE2 et SE3 de Kong

Au niveau du site 1, les sondages Se4, Se5 et Se6 donnent une stratification de trois terrains, la latérite, les altérites et le socle sain qui apparaît au minimum à 10 m de profondeur. On note la présence d'un niveau fissuré dans le socle à 26 m de profondeur sur Se4 et entre 26 et 78 m sur Se5. Ces zones sont aussi des cibles privilégiées dans la quête d'eau souterraine (*Figure 8*).

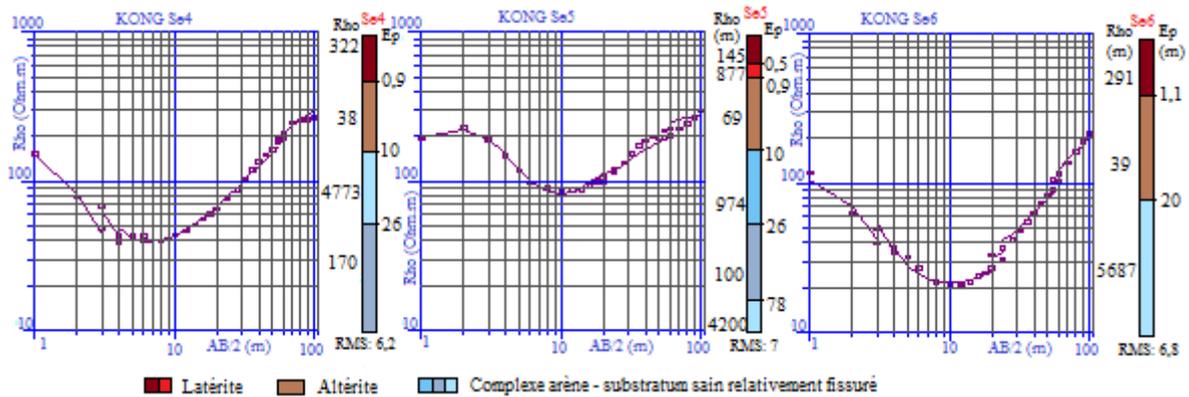


Figure 8 : Interprétation des sondages SE4, SE5 et SE6 de Kong

### 3-6. Synthèse des travaux et recalage stratigraphique

La carte de linéaments de Kong montre que les directions dominantes sont NW-SE (24,6 %), NE-SW (40,4 %). Sur les trois sites présélectionnés, deux qui sont les lieux de rencontre de trois linéaments de direction  $N147^\circ$ ,  $N34^\circ$  et  $N77^\circ$  (Site 1) et deux autres de direction  $N147^\circ$  et  $N53^\circ$  (Site 3) ont été examinés par la géophysique au sol après analyse géomorphologique (*Figure 9A*). La cartographie électrique a confirmé les linéaments  $N34^\circ$ ,  $N77^\circ$  du site 1 et  $N147^\circ$  du site 2 et mis en évidence des zones conductrices correspondant à des couloirs de fracturation  $N50^\circ$ ,  $N70^\circ$  et  $N126^\circ$ . Les sondages réalisés sur ses fractures présentent un profil d'altération moins développé ( $> 10$  m) sur le site 1 que sur le site 2 ( $> 30$  m). Sur le site 2, on observe au niveau de tous les sondages, un horizon fissuré plus épais sur SE3 (70m) marqué une remontée traînante. En outre sur les sites 1, au niveau du socle on observe surtout sur Se4 et Se5 un niveau fracturé à partir de 26 m de profondeur. Les sondages Se4 et Se3, du fait de leur positionnement respectifs à proximité d'une zone humide avec une végétation luxuriante et/ou alignement d'arbre hydrophile, sur des fractures  $N50^\circ$  et  $N126^\circ$  ont été sélectionnés comme des points à forer en priorité. En outre le sondage Se4 présente un escalier sur la remontée finale caractérisant la présence de fractures dans le substratum. Quant à Se3, il présente un fond de bateau évasé (remontée traînante) qui serait associé à la présence au contact d'arène gorgée d'eau et fractures productives (*Figure 9B*). Le forage réalisé sur le sondage Se4 a donné un débit air-lift de 16 m<sup>3</sup>/h avec des fractures productives respectivement à 24, 25, 28, 69, et 71 m de profondeur. Il montre l'importance du potentiel morphologique dans la productivité des fractures. Le forage réalisé sur le site 1 au point de sondages Se4 a permis d'avoir un modèle hydrogéologique à quatre niveaux. Il est constitué de la latérite de 5 m d'épaisseur, d'un niveau argileux de 12 m d'épaisseur en contact avec un horizon migmatitique altéré et fissuré dont le mur se situe à 50 m de profondeur. A la base se trouve un socle migmatitique fissuré par endroit (*Figure 10*).

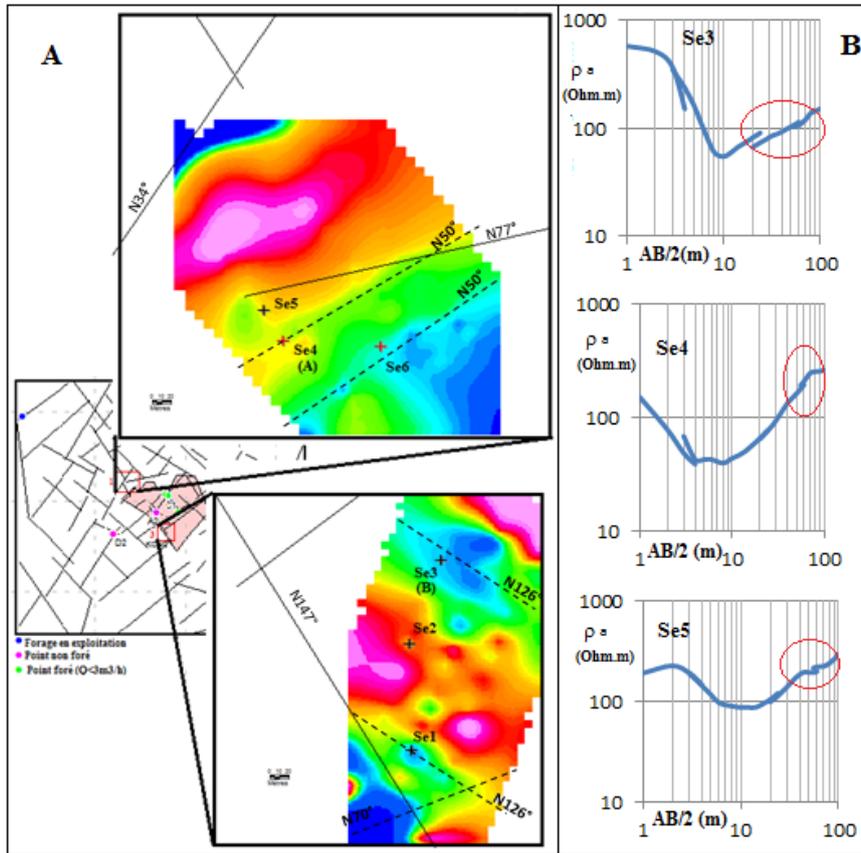


Figure 9 : Exemple de confirmation des linéaments (A) et contraste sur courbe de sondage (B)

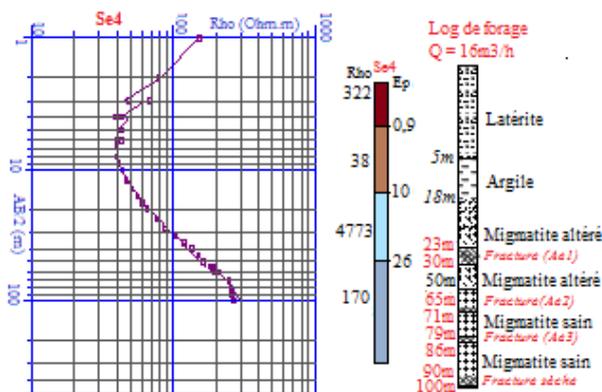


Figure 10 : Modèle obtenu des sondages Se4 et coupes lithologiques

#### 4. Discussion

De nombreuses études de cartographie quantitative de la réserve en eau souterraine ont montré que 95 % environ de la réserve en eau souterraine était stocké dans l'horizon fissuré dont une très grande majorité dans la partie supérieure [4, 5, 10, 18]. Il convient donc de rechercher ces structures drainantes qui sont généralement des couloirs de fracturation d'origine tectonique existant avant le développement des structures du profil d'altération [9]. L'utilisation de la télédétection est un moyen rapide pour le levé et le choix des fractures. Dans la localité de Kong, les linéaments cartographiés à partir des images satellitaires

ETM+ de Landsat 7 montrent une concordance avec les quelques ouvrages hydrauliques existant et une prédominance des structures orientées autour du SE-NW et NE-SW. Ce résultat est conforme à celui obtenu dans d'autres localités ivoiriennes, notamment à Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) et dans le bassin versant du Sassandra (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Ces accidents géologiques correspondant respectivement aux orientations birrimiennes et libériennes fournissent les débits les plus élevés (3, 19, 20, 21). C'est ce qui a milité dans le choix de ces structures comme site privilégiés de prospection. L'utilisation de la télédétection se résume à la sélection de site de pré-prospection en tenant compte du réseau de drainage et de la densité des linéaments (nœud de linéaments). L'étude géomorphologique permet de relever des indices d'accidents tectoniques et de localiser les axes de fracturation associés. Les données géophysiques sont acquises à proximité des zones potentielles afin de confirmer la présence d'accidents tectoniques et d'un profil d'altération développé. Ainsi, la conjugaison des deux méthodes sur les zones présélectionnés sur la carte linéamentaire a montré que certaines structures détectées sur les images correspondent à des accidents véritables qui affectent le socle de Kong et a permis d'identifier des aquifères productifs. L'origine d'une ressource en eau, c'est à dire les paramètres clés qui la contrôlent, est difficile à identifier en contexte de socle cristallin et constitue un thème de recherche très actif. Jusqu'à maintenant, deux types de structures ont été identifiés comme potentiellement responsables de la ressource en eau en contexte cristallin, la zone fracturé [22, 23] et la zone altéré [24].

Bien que ces deux types de structures peuvent être liés : l'altération provoquant de la fracturation et la fracturation étant une zone préférentielle d'altération, elles sont très largement différentes dans leur nature. Les fractures détectées par linéaments sont subverticales [25] et quasi bidimensionnelles. La zone altérée est quant à elle quasi-horizontale, tridimensionnelle et assimilable à un milieu poreux. Leurs détections impliquent une méthodologie multidisciplinaire. Le profilage électrique multiple avec différentes longueur de ligne ainsi que la cartographie électrique ont permis de mieux identifier ces structures (orientation, extension, enracinement). Les sondages électriques en complément présentent des indices de présences de fracturation horizontale [16, 26 - 28] : remontée traînante (Se3), escalier sur la remontée finale (Se4 ; Se5). [7] a montré que, Les traînés (qu'ils soient Schlumberger ou Wenner), montrent la plupart du temps une déflexion digne d'intérêt. Cependant ils montrent aussi des cas pour lesquels des structures ne sont pas détectables. Dans le cas des structures superficielles conductrices, elles peuvent être prises pour intéressantes lorsque le traîné est de type Schlumberger surtout si la longueur de ligne est petite et n'induit pas une plus grande profondeur d'investigation. Cette incapacité des traînés à distinguer des structures très différentes dans le sous-sol, certaines intéressantes, d'autres stériles pour l'hydrogéologue, conduit à utiliser plusieurs longueurs de ligne suivant différents dispositifs et les sondages électriques dans cette étude pour mieux identifier l'accident tectonique et avoir une information sur la profondeur à laquelle se situe l'horizon fissuré et le socle sain.

## 5. Conclusion

L'objectif de ce travail est d'identifier les aquifères de fissures pour la réalisation de forage débitant au moins 10 m<sup>3</sup>/h. La méthodologie adoptée s'appuie sur la cartographie des fractures du socle par une approche combinée de la télédétection, de géomorphologie et de la géophysique (traînés électriques multiples). Elle s'appuie sur l'usage des sondages électriques pour avoir des informations sur la profondeur à laquelle se situe l'horizon fissuré et le socle sain. La carte de linéament obtenue montre que les linéaments orientés autour du NW-SE et NE-SW sont les plus représentés dans la zone d'étude, avec successivement 24,6 % et 40,4 %, des fréquences en nombre. Les profils de résistivité électrique ont permis d'identifier des couloirs de fracturation N50°, N70° et N126°. Les sondages réalisés sur ses fractures présentent un horizon fissuré à partir de 26 m de profondeur sur SE4 et un horizon fissuré d'épaisseur avoisinant 70m sur SE3. Le forage réalisé sur SE4 a donné un débit horaire de 16 m<sup>3</sup>. Ce résultat probant montre que la combinaison télédétection, géomorphologie et méthode de résistivité électrique permet in fine, d'optimiser l'implantation de forage

## Références

- [1] - E. BOISVERT, E. BOURQUE, V. CLOUTIER, D. KIRKWOOD, K. LAUZIERE, R. LEFEBVRE, R. MARTEL, Y. MICHAUD, M. NASTEV, M. OUELLET, D. PARADIS, M. ROSS, N. ROUSSEAU et M. M. SAVARD, "Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères en roches sédimentaires fracturées", Université du Québec. Institut National de la Recherche Scientifique. Eau, Terre, Environnement, (2008) 162 p.
- [2] - A. F. BON, J. R. NDAM NGOUPAYOU, G. EWODO MBOUDOU et G. E. EKODECK, Caractérisation hydrogéologique des aquifères de socle altéré et fissuré du bassin versant de l'Olézoa à Yaoundé, Cameroun. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 29 (2) (2016) 149 - 166
- [3] - A. P. SOMBO, K. É-G. KOUAKOU, S. G. EBLIN et B. C. SOMBO, Caractérisation hydrogéologique, par télédétection et géophysique d'accidents régionaux en zone de socle : cas de Sikensi-Tiassalé, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 15 (5) (2019) 313 - 327
- [4] - P. LACHASSAGNE, B. DEWANDEL, R. WYNS, Le modèle conceptuel hydrogéologique des aquifères de socle altéré et ses applications pratiques : « *Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles* » *La Roche-sur-Yon juin*, (2015)
- [5] - R. WYNS, B. DEWANDEL et P. LACHASSAGNE, Origine de la fracturation des aquifères de socle : quels sont les facteurs qui contrôlent les propriétés de l'horizon fissuré « *Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles* » *La Roche-sur-Yon juin*, (2015)
- [6] - B. DEWANDEL, 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
- [7] - C. ALLE, M. DESCLOITRES, J. M. VOUILAMOZ, 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)
- [8] - T. JAOUEN, Rapport d'implantation du forage d'eau du lycée professionnel de coconi (commune Ouagani), Rapport final. R-P60379-FR., (2011) 54 p.
- [9] - A. COURBIN, JM. GANDOLGI, M. NICOLE, M. PARIZOT, R. WYNS, Prospection hydrogéologique du socle fracturé à Grand Santi-Campagne émanométrique radon et géophysique. Rapport BRGM/RP-63396-FR, (2014) 159 p.
- [10] - N. NOUAYTI, D. KHATTACH et M. HILALI, Cartographie des zones potentielles pour le stockage des eaux souterraines dans le haut bassin du Ziz (Maroc) : Apport de la télédétection et du système d'information géographique. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre*, N° 39 (2017) 45 - 57
- [11] - GEOMINES, Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Kong, Cahier, (7) (1982) 19 p.
- [12] - T. LASM, R. M. N. FOSSOU, O. Z. ONETIE, D. BAKA, M. YOUAN TA, M. S. OGA et S. NAGNIN, Contribution hydrogéologique à la connaissance des aquifères discontinus du département de Ferké (Nord de la Côte d'Ivoire) pour une meilleure alimentation en eau potable. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 19 (2012) 114 - 135
- [13] - 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.
- [14] - E. G. K. KOUAKOU, O. Z. DE LASME, A. P. SOMBO and F. W. KOUASSI, Contribution of Remote Sensing and Electrical Resistivity to Identify Fissured Aquifers of Basement area at Kong Locality (North-Eastern of Côte d'Ivoire). *International Journal of Recent Scientific Research*, Vol. 9, Issue, 8 (C) (2018) 28466 - 28472

- [15] - CIEH, Méthodes d'études et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest, Travaux complémentaire sur les milieux fissuré, Vol. 2, (1979) 204 p.
- [16] - Y. S. KOUSSOUBE, P. B. NAKOLEDOUSSE 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
- [17] - D. M. MAHAMMED, Utilisation des dispositifs de géophysiques non classiques pour l'étude des couches géologiques profondes : cas des Chotts el Gharbi et Chergui, Thèse de doctorat en sciences de la terre, Université d'Oran, (2012) 198 p.
- [18] - M. J. MANGOUA, A. B. YAO, G. A. DOUAGUI, K. A. KOUASSI, B. T. A. GOULA et J. BIEMI, Evaluation des potentialités en eau souterraine des aquifères fissurés dans le bassin versant du Bandama (Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, N°37 (2019) 53 - 74
- [19] - F. KANOHIN, M. B. SALEY, G. B. 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*, Vol. 1, N° 1 (2012) 35 - 53
- [20] - M. YOUAN TA, O. DE LASME, D. BAKA, T. LASM, J. P. JOURDA and J. BIEMI, Analyse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère fissuré du socle paléoprotérozoïque : Aide à l'approvisionnement en eau potable des populations de la région de Bondoukou (Nord-est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 13, N° 3 (2015) 561 - 580
- [21] - K. G. H. LOUKOU, K. EG. KOUAKOU, L. N. KOUAME et B. C. SOMBO, Prospection des eaux souterraines dans la localité de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) : Apport de la méthode électrique. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 32 (2018) 172 - 187
- [22] - K. F. KOUAME, T. LASM, J. R. DE DREUZY, A. G. AKAFFOU, T. O. BOUR, P. DAVY, Contribution d'un modèle hydrogéologique stochastique à fractures discrètes à l'étude des aquifères fracturés du socle Archéen de Touba (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences de l'Eau*, 23 (1) (2010) 41 - 56
- [23] - L. SARAH, Caractérisation des aquifères de socle cristallin et de leur ressource en eau - Apport des données d' "âge" de l'eau. Géologie appliquée. Université Rennes 1, (2012) 205 p.
- [24] - 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
- [25] - P. SANDER, Lineaments in groundwater exploration : a review of applications and limitations, *Hydrogeology Journal*, N° 15 (2007) 71 - 74
- [26] - 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
- [27] - K. E. KOUADIO, W. B. A. KONAN, Approche interprétative des données de prospection hydrogéologique et géophysique pour le choix des meilleurs sites de forages en milieu de socle cristallin et métamorphique en Côte d'Ivoire. « Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles » La Chapelle-Hermier, (2015)
- [28] - K. E. G. KOUAKOU, A. P. SOMBO, R. G. 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