

Prospection des eaux souterraines dans la région de Niellé (Nord de la Côte d’Ivoire): Efficience de la méthode de résistivité électrique

Kouassi Eric-Germain Kouakou

Maître-assistant, Géophysicien, Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, BP 1328 Korhogo, Côte d’Ivoire

Konan Emmanuel Kouadio

Maître de conférences, Hydrogéologue, Laboratoire des Sciences et Techniques de L’Eau et l’environnement, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Fékix Houphouët Boigny, Côte d’Ivoire

Diaratou Keita

Hydrogéologue-Géophysicienne Office National de l’Eau Potable, 04 BP 42 Abidjan 04, Côte d’Ivoire

Loukou Nicolas Kouame

Maître-assistant, Géophysicien, Laboratoire de géophysique appliquée, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Fékix Houphouët Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d’Ivoire

Abe Parfait Sombo

Maître-assistant, Géophysicien, Laboratoire de géophysique appliquée, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d’Ivoire

doi: 10.19044/esj.2017.v13n6p206

[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p206](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p206)

Abstract

The National Office of Drinking Water (ONEP) has initiated a study at Niellé to strengthen the drinking water production capacity of this locality. The aim of this study is to identify cracks aquifers for the choice of high-flowrate drill sites. The study consists in an analysis previous drilling, a prospective study by geophysics and selection of drilling sites. This work shows that the hydraulically active fractures in the region is optimal in the upper part of the fissured horizon located in the first thirty meters under saprolites. The electrical method was used to locate and characterize fractures in various directions including those oriented N164 °, N100 ° and N86 °. They were selected for the drilling site choice. A drilling was carried out with an hourly flow rate of 10.2 m³ / h. This work also showed that the fracture-

geomorphological combination the combined study of fracking and geomorphological analysis allows precise selection of drilling sites.

Keywords: ONEP, fracture, crack aquifer, geophysics, drilling

Résumé

L'Office National de l'Eau Potable (ONEP) a initié une étude à Niellé en vue de renforcer la capacité de production d'eau potable de ladite localité. Cette étude a pour objectif, l'identification des aquifères de fissures pour la proposition de points d'implantation de forages à gros débit. L'étude se résume à une analyse des forages antérieurs, une étude prospective par la géophysique et une sélection des sites de forages. Ces travaux montrent que la fracturation hydrauliquement active dans la région est optimale dans la partie supérieure de l'horizon fissuré située dans les trente premiers mètres sous les saprolites. La méthode électrique a permis de localiser et caractériser des fractures de directions diverses dont les principales de direction N164°, N100° et N86° ont été sélectionnées pour l'implantation d'un forage. Un forage a été réalisé avec un débit de 10,2 m³/h. Ces travaux ont permis aussi de montrer que l'étude combinée de la fracturation et de l'analyse géomorphologique permet un choix précis de sites de forages.

Mots-clés: ONEP, fracture, aquifère de fissures, géophysique, forage

Introduction

Le secteur de l'eau potable constitue l'un des leviers du développement économique et social des populations. A Niellé, le potentiel des ressources mobilisées est insuffisant du fait de la demande croissante en matière d'eau potable. Afin de satisfaire les besoins en eau des populations, une prospection hydrogéologique s'avère indispensable. C'est dans cette optique que l'ONEP a initié le présent travail. Il vise une meilleure connaissance des ressources en eau souterraine dans la région de Niellé. L'identification des critères de productivité des forages et une prospection par la méthode de résistivité électrique permettent la localisation et l'identification des aquifères de fissures. Une telle approche conduit au choix des sites d'implantation des forages de grande productivité pouvant satisfaire les besoins en hydraulique urbaine de Niellé.

Contexte géographique, géologique et hydrogéologique de Niellé

La zone soumise à notre étude appartient au département de Ouangolodougou plus précisément, les Sous-Préfectures de Niellé et de Toumoukoro entre les latitudes 10°0' et 10°23' Nord et les longitudes 5°24'

et 5°49' Ouest (Figure 1). Elle se trouve dans une région formée d'un vaste plateau dont l'altitude varie entre 300 et 400 m (Geomines, 1982). La monotonie du relief est interrompue par quelques rares collines dont la plus importante, Ouamelekoré (587 m) se trouve au Nord de Niellé.

Le climat de la région est de type soudanais et est caractérisé par deux saisons dont une longue saison sèche de 7 mois (de novembre à Mai) et une courte saison des pluies qui dure 5 mois (Juin à Octobre). Les précipitations annuelles au cours de ces trois dernières décennies varient entre 800 et 1500 mm avec une moyenne de 1300 mm. Les températures moyennes mensuelles enregistrées varient entre 22 et 28°C. L'évapotranspiration moyenne annuelle évaluée sur la période 1989-1998 est de 1006 mm soit 77 % des précipitations moyennes, les 23 % restant se répartissent entre l'infiltration et le ruissellement (Lasm et *al.*, 2012). La végétation est constituée majoritairement de savanes arborées et herbeuses, on y rencontre aussi des forêts claires. Toute la région de Niellé est drainée par les rivières Laréba et Badéni.

Au plan géologique, deux grands ensembles se distinguent (Geomines, 1982): i) les formations volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires qui ont été métamorphosées et ii) les granitoïdes qui comportent plusieurs générations de granites et de granodiorites (Figure 1).

Du point de vue structural, les travaux antérieurs montrent une direction principale NE correspondant aux contacts géologiques des différentes unités et une direction structurale secondaire orientée WNW. Les formations volcano-sédimentaires montrent une schistosité bien développée.

Au plan hydrogéologique, on retrouve la superposition classique d'un réservoir poreux superficiel (alluvions, colluvions et saprolites), de perméabilité en général médiocre, mais qui offre une capacité d'emmagasinement significative et d'un aquifère discontinu hébergé par les fractures du socle (aquifère de fissure), perméable mais peu capacitif. Le profil d'altération, qui intègre les altérites meubles (la saprolite) et l'horizon fissuré sous-jacent (Lachassagne et *al.*, 2011) est variable, tant en épaisseur que par ses paramètres hydrodynamiques, selon la nature lithologique de la roche encaissante (Delasm, 2013).

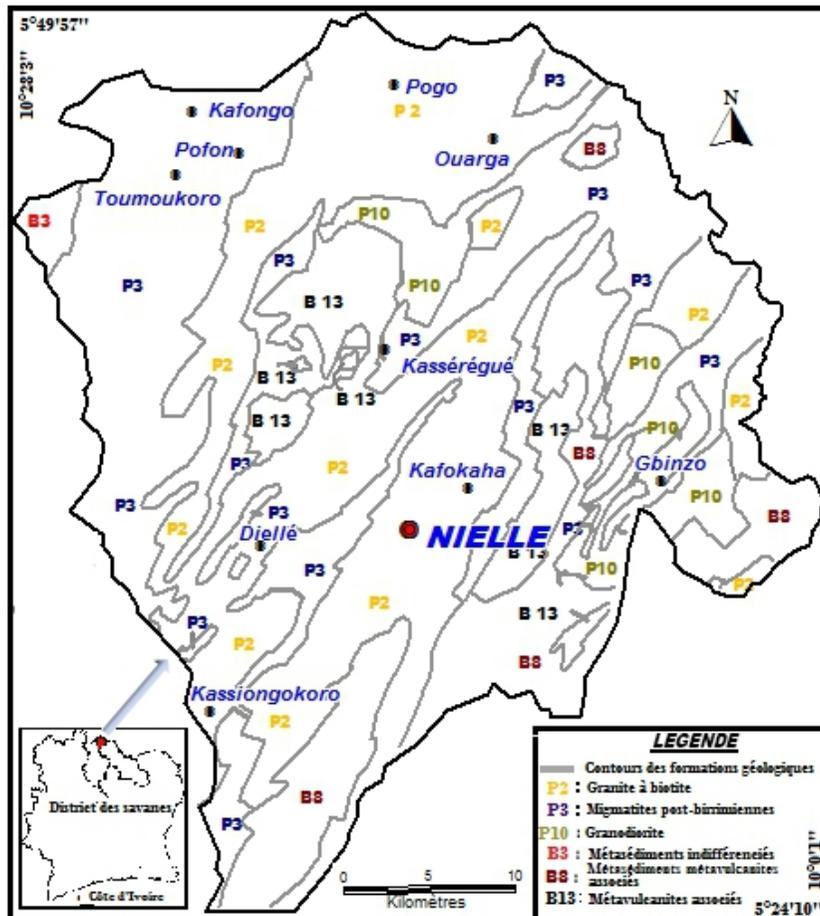


Figure 1 : Carte lithologique de la région de Niellé (Géomines, 1982)

Matériels et méthodes

Pour cette étude, les données techniques de forage ont été recueillies à partir de la base de données « Progrès de l'ONEP ». Ces ouvrages ont été réalisés entre 1958 et 1996, après une étude géomorphologique ou géophysique lors des programmes nationaux d'équipements hydrauliques. Au niveau de la zone d'étude, 43 forages ont été dénombrés. Les données recueillies pour chaque forage sont: la profondeur totale (Pt), les coordonnées géographiques, l'épaisseur de l'horizon de saprolite (Es), la profondeur du niveau piézométrique (Np), la côte des arrivées d'eau (AE) prise à partir de la surface, les débits fin foration (Q) et la lithologie de l'encaissant. En outre, en plus de la carte topographique et géologique de Niellé, toutes à l'échelle du 1/200 000, les données de résistivités apparentes acquises lors d'une campagne géophysique qui s'est déroulée du 03 au 8 mars 2014 ont été traitées.

Le matériel d'acquisition des données géophysiques utilisé est constitué d'un résistivimètre de type Syscal junior avec ses accessoires (des bobines de raccordement, les électrodes, un hectomètre, des masses, une boussole, un GPS, etc.). Celui de traitement des données se compose de logiciels de cartographie (Mapinfo Professional 7.5) et de traitement géophysique (IX1Dv2).

La méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail s'articule autour de deux axes. Le premier concerne l'analyse des données existantes sur les aquifères de socle et le second est relatif à l'étude géophysique.

Analyse des données existantes sur les aquifères de socle

Cette analyse a pour objectif d'éclairer sur les facteurs de productivité des forages de la zone d'étude. L'analyse concerne les forages exécutés dans le cadre de différents projets d'hydraulique. L'analyse des résultats de forages tient compte du débit de fin foration (Q) et les relations entre celui-ci et la nature des formations géologiques, la fracturation, l'épaisseur d'altération des différents ouvrages et enfin la profondeur des venues d'eau et le niveau piezométrique.

Etude géophysique

Ce sont des études prospectives par méthode de résistivité électrique suivant la technique de traîné et de sondage électrique dans l'optique d'appréhender les fractures et proposer des points d'implantation de forages. Les résultats seront analysés et comparés à ceux des forages réalisés.

Pour les présents travaux, les traînés électriques ont été effectués selon le dispositif Schlumberger avec les caractéristiques géométriques suivantes: AB = 200 m, MN = 20 m. Les sondages électriques ont été effectués aussi selon le dispositif Schlumberger avec une longueur de ligne 200 m. Au total quatre (4) sites ont fait l'objet d'étude, huit (8) profils selon diverses directions et douze (12) sondages électriques sur lesquels un (1) forage a été réalisé.

Résultats et discussion

Analyse des débits d'exploitation des forages

Dans la zone d'étude, 79,07 % des forages ont un débit inférieur à 3 m³/h et ont une répartition en apparence aléatoire. L'histogramme des débits (Figure 2) montre que 13,95 % des forages ont un débit situé entre 3 et 5 m³/h et 6,98 % des forages ont un débit supérieur à 5 m³/h. Les forages présentant un fort débit (plus de 5 m³/h) sont en proportion très faible (3 forages) et se situent au centre de la zone d'étude. Du fait de leurs faibles proportions, ces deux groupes seront analysés ensemble dans la suite des travaux.

▪ **Relation entre les débits et les unités géologiques**

L’analyse du tableau I montre que la majeure partie des ouvrages sont réalisés sur les granites à biotite soit 51.16% et aucun sur les métasédiments indifférenciés. La répartition spatiale des ouvrages de captages de débits moyens à forts montre que, malgré un fort taux de forage à faible débit, ceux implantés sur domaine granitique à biotite semblent les plus productifs. Cependant, le faible effectif des ouvrages incite à la prudence.

Tableau I: Répartition des débits dans les différentes formations géologiques.

Nature des roches	Nombre de forages	Q<1	Q>3	% des forages à Q>3
Granite à biotite	22	16	6	27,27
Migmatites post-birrimiennes	9	8	1	11,11
Granodiorite	5	4	1	20
Métasédiments métavulcanites associés	5	5	0	0
Métavulcanites	2	1	1	50
Métasédiments indifférenciés	0	0	0	0

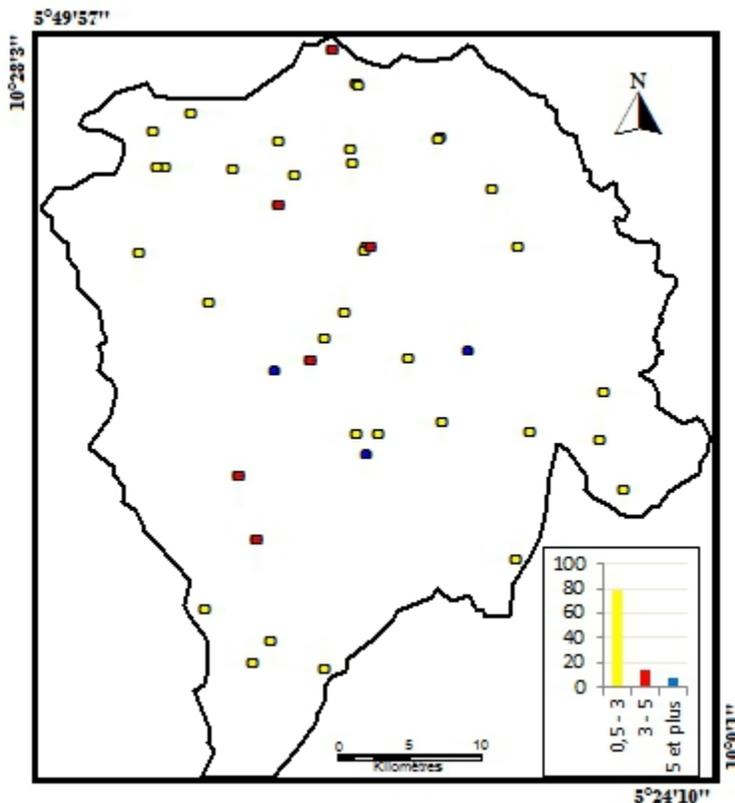


Figure 2: Répartition des forages et débits horaires

▪ **Influence de l’épaisseur de l’altération sur la productivité des ouvrages**

Le tableau II montre que les forages de débits moyens à fort ont une épaisseur d’altération majoritairement supérieure à 25 m. On peut aussi noter

qu'ils présentent une zone saturée relativement épaisse qui varie de 9 à 35 m, ce qui laisse augurer des réserves significatives qui permet d'assurer la pérennité des ouvrages. Cependant, il existe aussi des forages de faible débits (<3) dont l'épaisseur des saprolites (EA) est supérieur à 25 m (Figure 3a). On observe sur la figure 3b que le débit moyen augmente avec l'épaisseur des saprolites avant de chuter au niveau de la tranche des 40 m. Cela s'explique par le fait que des deux forages concernés, seul l'aquifère des altérites est capté concernant le forage de Pogo F1 et pour le second (Gadiovogo), la longueur du forage en dessous des saprolites n'excède pas 13 m (Figure 3c). En outre la figure 3d montre que seulement 30% des forages ont une longueur en dessous des saprolites supérieur à 25 m. Tous ces constats mettent en évidence l'arrêt prématuré de certains forages, dû fait le plus souvent de l'objectif du projet, nuisant ainsi à la productivité de ces différents ouvrages. L'étude de la variation des débits en fonction de l'épaisseur des altérites montre d'une manière générale que l'importance des débits des ouvrages semble être influencée par la puissance des altérites mais pas de façon systématique.

Tableau II: Répartition des moyens à fort débits dans les différentes formations géologiques.

Localités	Géologie	Débits (m3/h)	Altération	Niveau statique	Arrivée d'eau	Implantation
Dielle	Granite à biotite	3	30	9.1	30 ; 42	
Ouamelhor	Granodiorite	3.7	18.2	4.7	34,5 ; 42,7	Géophysique
Nalogo	Granite à biotite	4	36	6	40	Géomorphologie
Galgolgo	Granite à biotite	4.5	42.56	6.3	46,5 ; 48,5	Géophysique
Tetialibekaha	Granite à biotite	4.5	30.7	8.9	36 ; 39,9	Géophysique
Kasseregue	Migmatites	5	25	9.5	33 ; 37.5	Géomorphologie
Mingavogo	Métavulcanites	10.8	44.5	18.1	47 ; 53,5	Géophysique
N'Golokpelevogo	Granite à biotite	10.8	30.5	21.5	33	Géophysique
Nielle	Granite à biotite	11	35	5.2	78 ; 84,5	

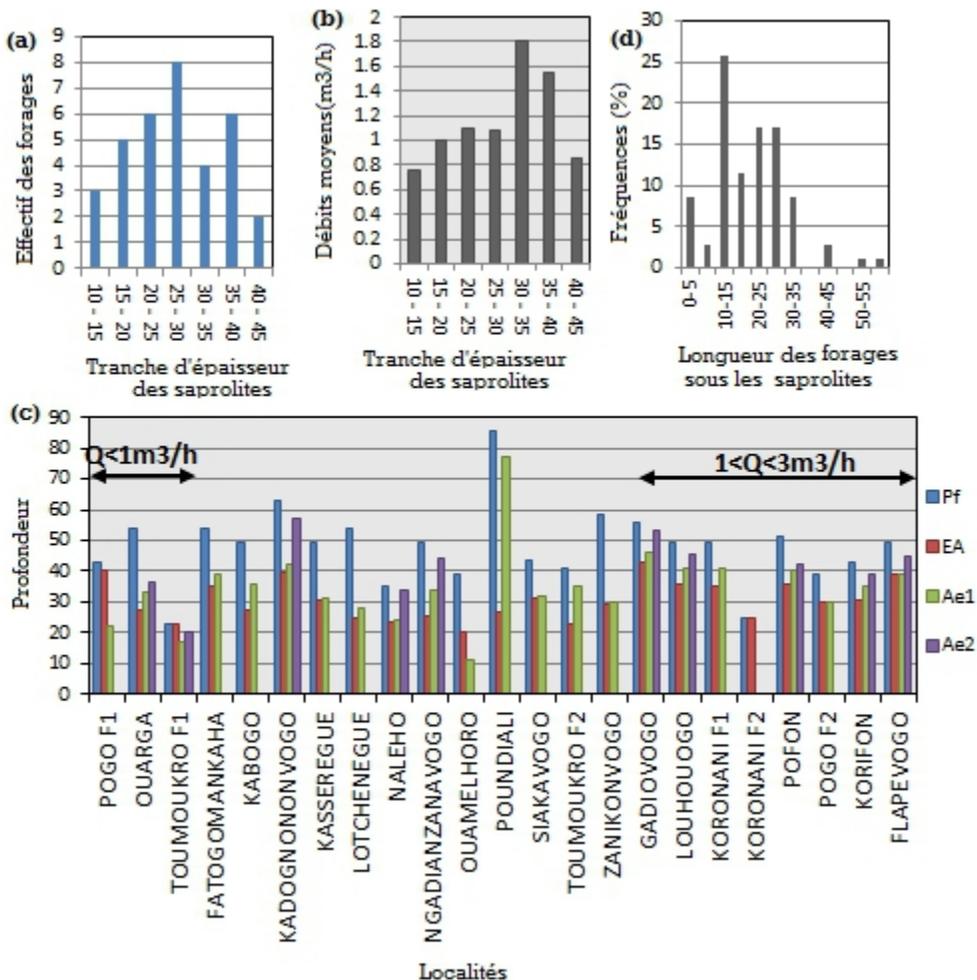


Figure 3: Histogramme de 35 forages à faibles débits. (a) Épaisseur des saprolites; (b) Influence de la puissance des saprolites sur les débits; (c) Corrélation Profondeur totale-Épaisseur d'altération-Arrivée d'eau; (d) Longueur des forages sous les saprolites

▪ **Zone de l'horizon fissuré du socle potentiellement productive**

Dans la zone d'étude, la figure 14a montre que 87,1 % des AE se situent au niveau des 15 premiers mètres de l'horizon fissuré, avec une prédominance de 0 à 5 m de profondeur (56,4% des AE) suivie d'une baisse régulière de la fréquence qui atteint 10% aux environs de 15 m. Au-delà de cette profondeur, les venues d'eau deviennent rares dans l'horizon fissuré. L'analyse de la figure 14b montre nettement que la zone la plus productive est située au niveau des 20 premiers mètres sous la saprolite, cependant il subsiste au-delà de rares fractures productives.

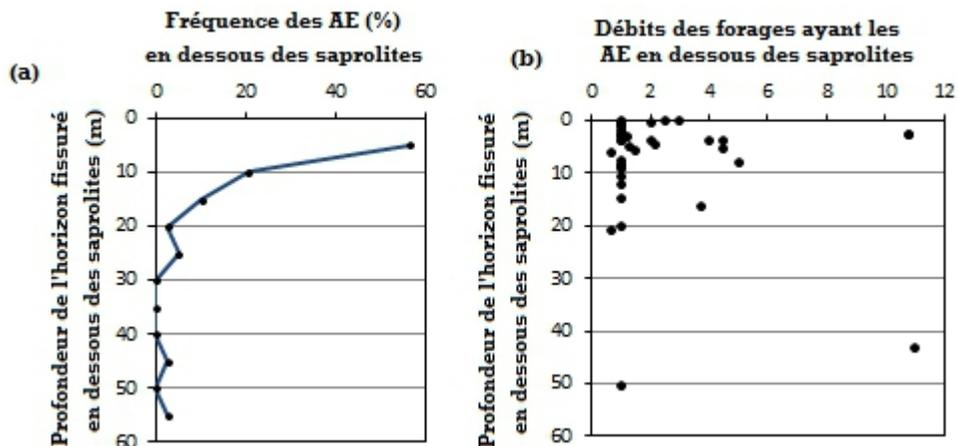


Figure 4: Horizon fissuré productif. (a) Fréquence des arrivées d'eau par rapport à l'horizon fissuré et (b) débits des forages par rapport à l'horizon fissuré

L'exploitation optimale des réserves ne peut se faire que s'il existe un drain naturel suffisant pour drainer par pompage le plus grand volume possible d'eau des saprolites saturées. Le système drainant peut être les arènes sableuses de la base des altérites, ou la zone située au sommet de l'horizon fissuré, ou une fracture plus profonde d'où l'usage de la géophysique pour caractériser ces différentes zones.

L'analyse des forages existants dans la région de Niellé montre que la plupart (79,7%) ont un faible débit et plus de la moitié (22) sont exécutés sur substratum granitique à biotite. La faiblesse des débits peut s'expliquer dans certaines localités comme Satolo par l'absence de réserve car l'altération n'est pas saturée. Il peut être aussi causé par l'arrêt prématuré de certains ouvrages dû aux objectifs du projet initiateur. En effet, de nombreux forages ne dépassent pas les 50 m de profondeur et sont arrêtés juste après avoir atteint l'horizon fissuré. Cependant, certains forages comme celui de Niellé ont des débits supérieurs à 10 m³/h. Ce débit élevé pourrait être attribué à la densité de fracture souvent observée au niveau des granites. En outre, la présence de passages quartzeux peut contribuer à améliorer largement la productivité des ouvrages. Il peut être aussi évoqué l'existence de fractures kilométriques à proximité desquelles les forages peuvent souvent donner des débits d'eau importants jusqu'à 100 m de profondeur (N'Go et *al.*, 2005; Kouakou 2012).

La puissance de l'épaisseur d'altération (supérieure en moyenne à 30 m) et la présence de niveau saturé (niveau piézométrique peu profond) semble influencer la productivité des forages.

Les fractures hydrauliquement actives de la région sont majoritairement rencontrées au-delà du seuil de 30 m de foration, comme c'est le cas dans plusieurs régions de socle de la Côte d'Ivoire (Delasm 2013). A l'instar de nombreux auteurs comme Courtois et *al.*, 2009, Lasm, 2012,

Delasm, 2013 et Asseman *et al.*, 2015, la fracturation hydrauliquement active est optimale dans la partie supérieure de l'horizon fissuré située dans les trente premiers mètres sous les saprolites.

Prospection géophysique à Niellé

L'analyse du réseau de drainage et la reconnaissance de terrains a permis de définir quatre zones potentiellement favorables (Figure 5). Les investigations géophysiques sur ces différents sites d'études ont donnés de nombreux résultats qui seront présentés par la suite.

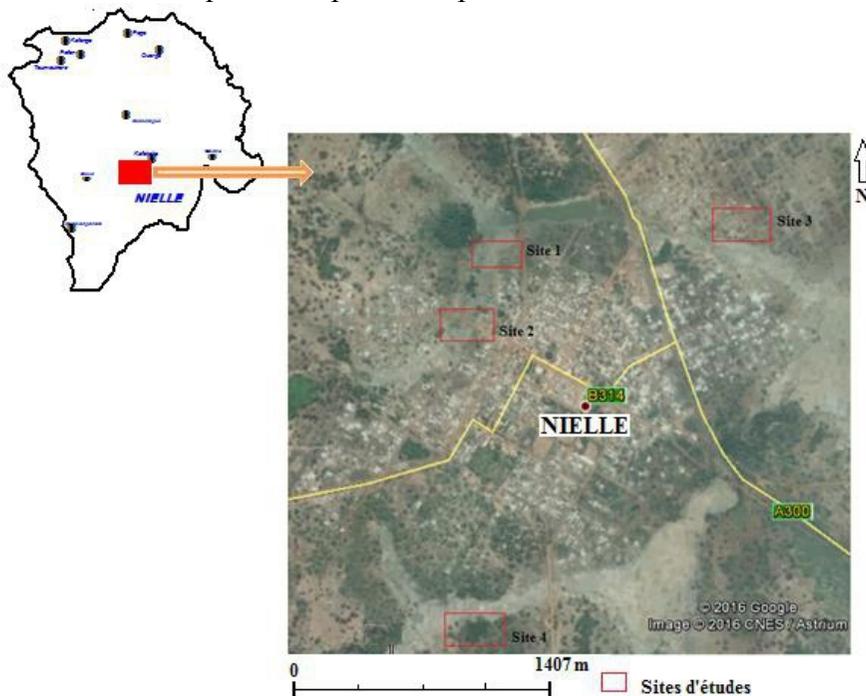


Figure 5: Localisation des sites géophysiques de Niellé

Quelques résultats obtenus sur les sites de Niellé, sur substratum granitique sont présentés sur la figure 6. Les profils de résistivité présentent des paliers de faibles valeurs de résistivité 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.).

Au total quinze (15) anomalies conductrices correspondant à plusieurs types d'anomalies de largeurs diverses aurait été identifiées sur les différents sites des localités (Tableau III). Sur les différents sites d'étude, les discontinuités ainsi identifiées seraient orientées suivant toutes les quatre grandes directions tectoniques notamment le NS (N6°, N175°), l'E-W (N86°, N272°), le NE-SW (N135°, N315°) et le NW-SE (N45°, N225°).

N100°), le NE-SW (N60°, N74°) et le NW-SE (N110°, N153°, N160°). On remarque néanmoins que la majeure partie des structures seraient orientées E-W (5) et NW-SE (5).

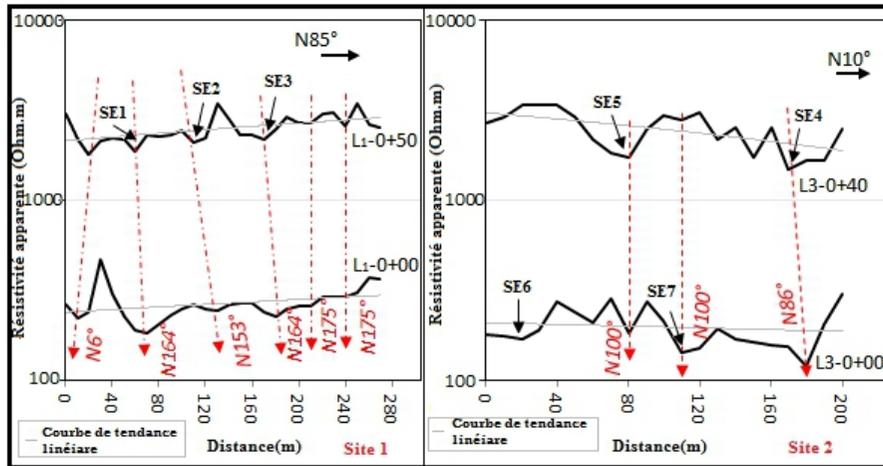


Figure 6 : Exemple de profil de résistivité électrique de Niellé.

Tableau III : Différentes directions d’anomalies conductrices de Niellé

Localité	NIELLE				
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	
Traînés électriques	Direction	N60°;			
	s	N6°; N164° (2)	N74°	N100°(2)	N100°
	(nombre)	N153°; N175° (2)	N86°	N86°	N110° (2)

L’inversion des données des douze sondages électriques exécutés à l’aplomb des zones de discontinuités (Figure 6) a permis d’avoir un diagramme des variations de la résistivité électrique en fonction de la profondeur. L’interprétation des courbes de sondage permet de dégager un seul groupe selon leur allure et le nombre de couches. Il s’agit du type H ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$). Trois couches sont mises en évidence. La première correspond à un recouvrement superficiel faiblement résistant (200 - 1100 $\Omega.m$) d’épaisseur variant entre 0,5 et 2 m. Il s’agit des argiles latéritiques, graveleuses par endroit. Le second terrain, les arènes conductrices, ont une résistivité faible (10 - 40 $\Omega.m$) et une épaisseur pouvant atteindre 20 m. Ces deux terrains surmontent un substratum résistant (500 - 100000 $\Omega.m$) sain relativement fissuré par endroit (Figure 7). Il est en effet notable, comme en général en région de socle, que l’horizon fissuré correspond en général à la zone d’augmentation de la résistivité et non à un horizon bien identifié en sondage électrique.

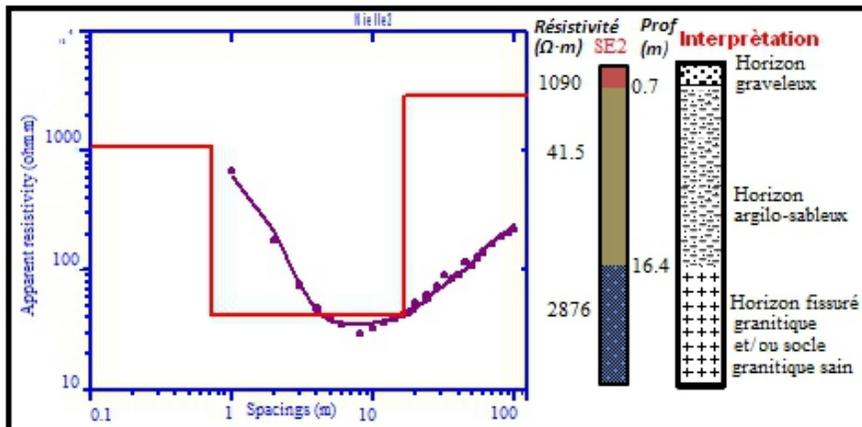


Figure 7: Exemple de courbe en fond de bateau (Type H)

Quel que soit le type de forage, la productivité est fonction d'une part du binôme altération-frange fissurée qui assure pour le premier la fonction capacitive de l'aquifère et le second la fonction drainante, et d'autre part, éventuellement, de la présence de fractures plus profondes. Afin de tenter de maximiser le nombre de fractures recoupées par le forage, nous avons recherché des indices géophysiques visant à combiner épaisseur maximale d'horizon fissuré et présence de zones perméables sous-jacentes liées éventuellement à d'autres discontinuités.

Deux indices ont orienté notre choix pour l'implantation d'un sondage mécanique.

Le premier concerne la présence, sur la remontée finale, de changements d'inflexion (SE7 et SE1) qui sont interprétées comme liées à l'intersection de fractures (Koussoube et *al.*, 2003; Sombo et *al.*, 2011, Kouakou, 2012) (Figures 8 et 10).

Le second concerne la remontée traînante des profils de sondages électriques (SE9). En effet, de nombreux auteurs (Savado, 1984; Samé, 1999; Jourda, 2005, Kouakou et al, 2012, 2013, 2015) ont montré que ce type de courbe est dû à la présence d'un horizon fissuré épais entre l'horizon conducteur et le socle sain. Lorsque l'épaisseur de l'horizon fissuré est importante, la branche de la remontée devient hésitante ou traînante. Cette thèse nous conforte dans le choix des sondages SE7, SE9 et SE1 pour l'implantation de forages. En outre, le profilage électrique a mis en évidence des anomalies de directions diverses dont celles orientées N86°, N164° et N100° ont attirés notre attention. Régionalement la contrainte principale en compression est supposée SW-NE (CIEH, 1981; Savane, 1997; Jourda, 2005). Nous avons donc privilégié d'éventuelles fractures NS et leurs conjuguées (N100-110°E) telles que les profils ont éventuellement permis de les identifier.

La conjugaison de ces paramètres avec le potentiel morphologique caractérisé par une zone humide (existence d'un horizon altéré saturé jusqu'en surface) est un bon facteur de réussite, ce dernier paramètre étant plutôt favorable du point de vue de l'exploitabilité à long terme du forage

Tous ces paramètres réunis ont orienté les choix des points A, B et C à forer par ordre de priorité.

▪ **Point d'implantation A (SE7)**

Une zone humide avec présence de marigot pérenne (bas-fond saturé à proximité), le profilage a mis en évidence une éventuelle anomalie conductrice de direction N100° et surtout le sondage S7 exécuté sur cette anomalie présente de nombreux changements d'inflexion sur la dernière remontée. Le modèle géoélectrique élaboré indique une épaisseur d'altération estimée à 11.3 m et un horizon fissuré sous-jacent de 4715 ohm.m (Figure 8).

▪ **Point d'implantation B (SE9)**

Une zone humide avec présence de puits pereins (bas-fond sec à proximité), le profilage a mis en évidence une potentielle anomalie conductrice de direction N86°, Le sondage S7 exécuté sur cette anomalie présente une remontée traînante indiquant la présence d'un horizon fissuré. Le modèle géoélectrique élaboré indique une épaisseur d'altération estimée à 10 m et un horizon fissuré sous-jacent (750 Ohm.m) (Figure 9).

▪ **Point d'implantation C (SE1)**

Une zone humide avec présence de puits pereins (barrage à proximité), le profilage a mis en évidence une anomalie de direction N164°, Le sondage S1 exécuté sur cette anomalie présente de nombreux changement d'inflexion. Le modèle géoélectrique élaboré indique une épaisseur d'altération estimée à 24 m et un horizon fissuré sous-jacent (Figure 10).

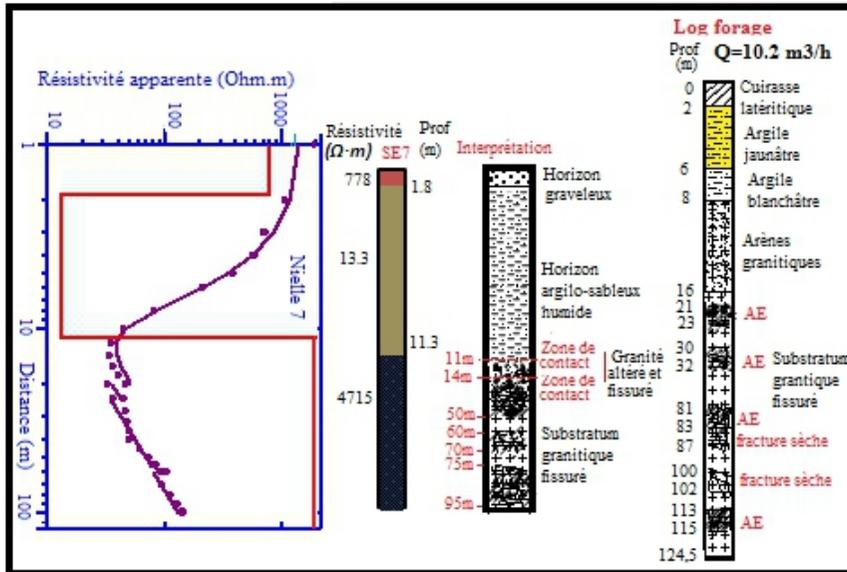


Figure 8: Interprétation du sondage SE7 (A) et coupe lithologique

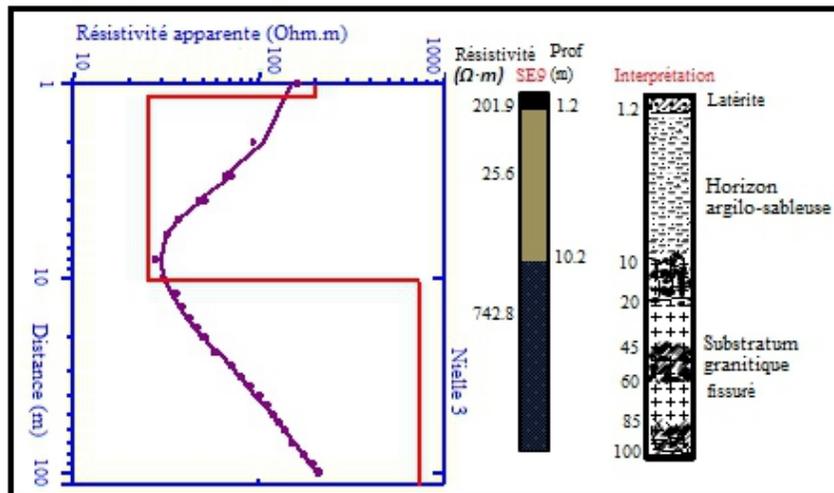


Figure 9: Interprétation du sondage SE9 (B)

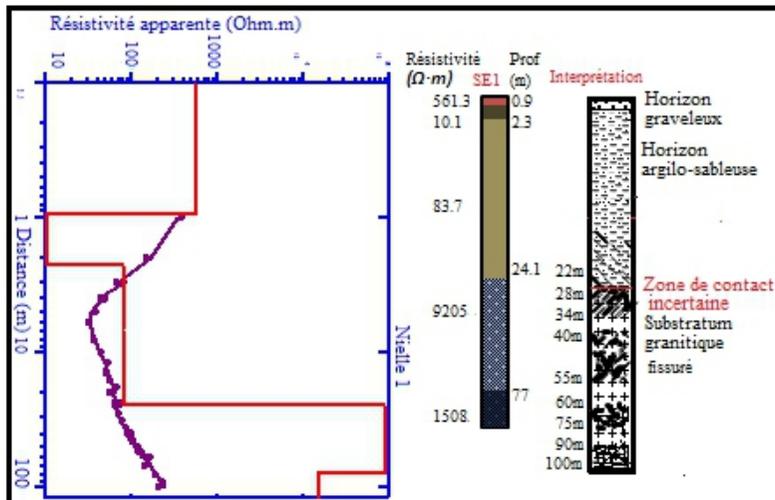


Figure 10: Interprétation du sondage SE1 (C)

Conclusion

A l'issue des résultats et des interprétations obtenus à partir de cette étude, l'analyse des données issues des anciens forages est déterminante pour la recherche des critères de productivité des forages. A Niellé, il apparaît que la puissance de l'épaisseur d'altération (supérieur en moyenne à 30 m) et la présence de niveau saturé influence la productivité des forages. En outre, la fracturation hydrauliquement active est optimale dans la partie supérieure de l'horizon fissuré située dans les trente premiers mètres sous les saprolites. Le profilage a permis d'identifier sur le terrain des structures telles que des filons, des diaclases, des fractures, orientées préférentiellement autour du NW-SE (5) et E-W (5). Les coupes 1D issues des sondages électriques ont données de nombreux résultats relatifs à l'épaisseur des zones d'altérations, de fissurations et les profondeurs probables des fractures des points proposés pour le forage. La combinaison de la géomorphologie et la géophysique a contribué à l'implantation d'un forage de débit $10.8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Remerciements

Les Auteurs voudraient remercier l'Office National de l'Eau Potable de Côte d'Ivoire et les différents collaborateurs dont GEO-EXPERTISE, sans qui cette étude n'aurait pas vu le jour. Ils remercient également tous les instructeurs anonymes pour leurs remarques et critiques qui ont permis d'améliorer ce présent article.

References:

1. Assemian E. A., Kouamé K. F., Saley M. B., Affian K., Youan Ta M., Jourda J. P. et Biemi J. (2014). 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: pp. 81-97
2. Cieh (1982). Méthodes d'études et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest, *Atlas de photo-interprétation*, Vol. 3: 143 p.
3. Courtois, N., Lachassagne, P., Wyns, R., Blanchin, R., Bougaïré, F. D., Somé, S., Tapsoba, A. (2009). Country-scale hydrogeological mapping of hard-rock aquifers and its application to Burkina Faso. *Ground Water*, Vol. 48, N°2: pp. 269-283.
4. Delasm O. Z. (2013). Contribution à une meilleure connaissance des aquifères fissures du socle précambrien: cas de la région de San Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Thèse de doctorat Hydrogéologie, Université Félix Houphouët Boigny, Cocody*: 176 p.
5. Geomine (1982). Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Niellé, cahier n°3: 20 p.
6. Jourda J. P. (2005). Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'Hydrotechnique spatiale: cas des zones tests de la Côte d'Ivoire", *Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire*: 429 p.
7. Kouakou K. E. G., Sombo B. C., Digbéhi Z. B., Kouassi F. W., Sombo P., Kouamé N. (2012). 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: pp. 230-244.
8. Kouakou K. E. G. (2012) 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, Cocody*: 199 p.

9. Kouakou K. E. G., Sombo B. C., Kouadio K. E, Kouassi F. W., Keita D., Sombo A. P. et Kouame L. N. (2013). 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*: pp. 355-372.
10. Kouakou K. E. G., Dosso L., Kouame L. N., Sombo A. P. et Sombo B. C. (2015). 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., Vol. 26*: pp. 194 - 211
11. Koussoubé, Y., Nakolendousse S., Bazié P., Savadogo A. N., 2003. 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*: pp. 26-34
12. Lachassagne, P., Wyns, R., Dewandel, B. (2011). The fracture permeability of hard rock aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova, Vol. 23*: pp. 145-161
13. Lasm T., Fossou R. M. N., Oscar Zahibo Onetie O. Z., Baka D., YOUAN TA M., Oga M. S. et Soro N. (2012). 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. *Revue Ivoirienne des sciences et technologie, 19*: pp. 114-135.
14. N'Go Y. A., Gone D. L., Savané I., Goble M. (2005). 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, Vol. 1 n°1*: pp 127-144.
15. Samé D. (1999). Hydrogéologie en milieu de socle cristallin et cristallophyllien du Sénégal oriental: Application de la méthode électrique 1D et 2D à la localisation et à la caractérisation des aquifères du batholite de Saraya et ses environs", Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université Cheikh Anta Diop (Dakar): 87 p.

16. Savadogo A. N. (1984). Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du Bassin versant de la Sissili, *Thèses de doctorat, Université de Grenoble I, Institut Dolomieu*: 350 p.
17. Savane I. (1997). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire: 396 p.
18. Sombo P., Kouassi F. W., Sombo B. C., Kouamé L. N. et Kouakou K. E. G. (2011). 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, Vol 64 n°2*: pp. 206-219