



ETUDE COMPARATIVE DE RESULTATS DE SONDAGES ELECTRIQUES ET DES COUPES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DE FORAGES EN REGION DE SOCLE (NORD DE LA COTE D'IVOIRE)

COMPARATIVE STUDY OF THE RESULTS OF ELECTRICAL SOUNDING AND DRILLING LOGS IN BASEMENT REGION (NORTHERN CÔTE D'IVOIRE)

KOUAKOU E.G.K.¹, SOMBO A.P.², BIE G.R.², AKA E.³, KOUAME L.N.³

¹Département de géosciences, U.F.R des Sciences Biologiques, Université Péléforo
Gon Coulibaly de Korhogo B.P 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire,

²Département des Sciences de la terre géosciences, Université Jean Lorougnon Guédé
de Daloa, Côte d'Ivoire,

³Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de
Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM),
Laboratoire de Géophysique Appliquée, 22 Bp: 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Corresponding Author: ericgermainkouassi@gmail.com

RESUME

L'étude comparée des sondages électriques et des forages est réalisée dans la région vallée du Bandama, au Nord de la Côte d'Ivoire. Cette étude met en comparaison les résultats de sondages géophysiques et ceux de leurs forages correspondants. Les méthodes géophysiques utilisant la technique de sondage électrique ont été mise en œuvre sous forme de courbes de sondages et des modèles électriques 1D ont été défini. Les conclusions émises à partir des sondages sont dans la plupart des cas conformes à celles révélées par les forages (présence ou non d'une eau souterraine). Néanmoins des différences existent. L'analyse comparée de l'allure de certaines courbes de sondage et des logs de forages permet de montrer des dissimilitudes au niveau du nombre de couches, de l'épaisseur de chaque couche, de l'épaisseur totale d'altération et de la position des fractures dans le sous-sol. Ces différences sont les causes de nombreux échecs pendant l'implantation des forages dans la région étudiée.

Mots clés : Sondages électriques, modèle électrique 1D, Forages, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

The comparative study of electric sounding and drilling is performed in the Bandama Valley region, north of Côte d'Ivoire. This study compared the results of geophysics sounding and the results of corresponding drilling. Geophysical methods using electrical sounding techniques have been implemented such as sounding curves and electric model 1D has been defined. The conclusions drawn from electrical sounding conform to those drilling (presence or absence of a groundwater). However differences exist. The comparative analysis of the allure of some curves of sounding and drilling logs can show dissimilarities in the number of layer, thickness of each layer, the total thickness weathering and of the position fractures in the underground. These differences are the cause of many failures during implantation of drilling in the study area.

Keys words: Electric sounding, electric model, drilling, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

Cette étude présente les résultats de campagnes d'implantation de forages d'eau souterraine dans la Vallée du Bandama (Nord de la Côte d'Ivoire). Cette campagne a été menée par l'ONEP (Office National de l'Eau Potable) avec la collaboration de la Direction de l'Hydraulique Villageoise. L'implantation des forages a nécessité, au préalable l'utilisation de techniques de télédétection pour l'extraction de linéaments à partir d'images Landsat ETM+ et la prospection géophysique (traîné et sondage électriques) pour la confirmation sur le terrain des linéaments observés en imagerie satellitaire. Le sondage électrique en particulier, a permis la cartographie du sous-sol à l'aplomb des anomalies conductrices observées sur les profils de résistivités. Cette technique permet d'obtenir des informations sur le profil d'altération du milieu géologique. Autrement dit elle donne des indications sur la profondeur de socle, la présence ou non de fractures, l'épaisseur d'altération, le nombre de couches de terrain et leur épaisseur relative, etc.). Le sondage électrique permet aussi de prévenir les forages négatifs. Malgré, les techniques d'implantation employées quelques forages négatifs et des discordances entre résultats de sondages géophysiques et logs de forages correspondants ont été observés. Une analyse comparée de ces résultats permettra d'expliquer les dissimilitudes observées et certains forages négatifs. Cette étude vise principalement l'amélioration de l'interprétation des courbes de sondage électrique, donc de l'implantation géophysique, par sondage électrique des forages d'eau en milieu de socle.

CONTEXTE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La vallée du Bandama se situe au Nord de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 3°53' W et 5°48' W et les latitudes 7° 14' N et 9°26' N.

Les formations géologiques appartiennent au domaine paléoprotérozoïque. Elles sont marquées par une alternance de complexe éburnéen, de séries birimiennes et antébirimiennes (Figure 1).

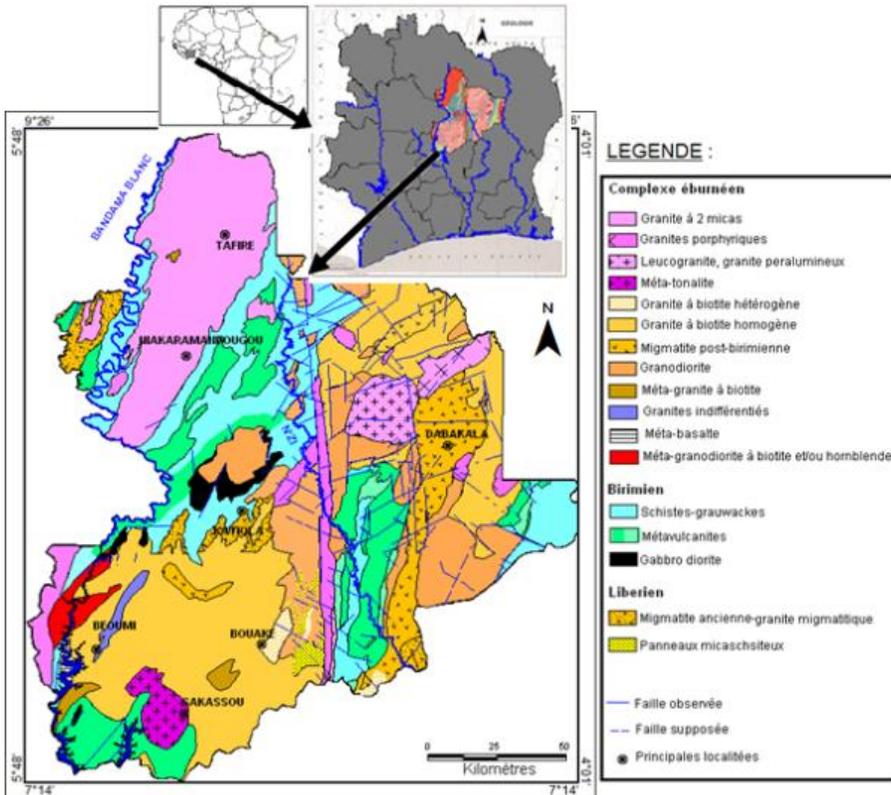


Figure 1 : Carte géologique du district de la vallée du Bandama (D'après Géomine, 1982 a, b, c, d, e ; Yao, 1990 ; Doumbia, 1997 ; Gasquet et al., 2003)

Le complexe éburnéen est essentiellement composé de métadiorites, métatonalites et de granitoïdes (granites). Le birimien constitue un ensemble volcano-sédimentaire formant une série de ceintures à métamorphisme allant du faciès de schiste vert au faciès amphibolite almandin. Les séries antébirimiennes

sont représentées par deux principales formations : des migmatites granitiques et des panneaux micaschisteux.

La Vallée du Bandama appartient au socle cristallin et cristallophyllien dans lequel on peut distinguer deux niveaux d'aquifères superposés : les aquifères superficiels ou d'altérites issus de l'altération physico chimique de la roche mère et les aquifères de fissures créés à la faveur d'évènements tectoniques. Dans la plupart des cas, l'ensemble altérites - horizon fissuré constitue un aquifère composite. Ces aquifères fonctionnent comme un tout, surtout lorsqu'il est exploité au moyen de forages (Dewandel et *al.*, 2006). Les forages réalisés antérieurement dans la région ont montré que la profondeur de socle peut atteindre localement 65 m (Kouakou, 2012).

MATERIELS ET METHODES

La méthodologie utilisée est essentiellement basée sur l'analyse comparée des résultats de forages et de sondages électriques. D'abord les modélisations des données de sondage, effectués selon le dispositif Schlumberger, au droit des anomalies de résistivité apparente déterminé par trainé électrique sont réalisées à l'aide du logiciel Ipi2win et Qwseln. Il s'agit d'une interprétation itérative utilisant un modèle géoélectrique 1D (milieu stratifié horizontalement) et aboutissant à l'établissement de modèles comprenant plusieurs terrains dont la résistivité et l'épaisseur sont déterminées. Ensuite une corrélation entre les modèles élaborés et les résultats de forages effectués sur ces différents sondages est faite. A partir de celle-ci les différences observées entre les résultats d'un sondage électrique et le log du forage correspondant seront identifiées puis analysées.

Un échantillon de 19 couples Sondages Electriques / Forages (SE ; F), effectué dans 11 localités de la zone étudiée est mis en contribution dans cette étude. Pour mieux appréhender la concordance et la discordance entre les résultats de forage et ceux du sondage électrique, il est confronté pour un couple (SE ; F) donné le résultat de chaque élément étudié. L'approche est présentée sous forme de diagrammes. Les éléments analysés sont : le nombre de couches de terrain et leur épaisseur correspondante ; les épaisseurs totale d'altération ; la profondeur de la fracturation.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'interprétation des courbes de sondage électrique donne des résultats permettant de cartographier en des points donnés le sous-sol. Elle donne des valeurs estimatives sur le nombre de terrains, l'épaisseur de chaque terrain, l'épaisseur totale de l'altération, la présence de fractures dans le sous-sol, etc. Ces résultats permettent d'implanter des forages et d'estimer le coût de ces forages surtout dans le cadre d'un projet d'adduction d'eau.

Certaines informations obtenues à partir des sondages électriques ne correspondent pas aux réalités du terrain. Il existe donc quelques discordances entre les prédictions géophysiques et les résultats des forages correspondants. Ces dissemblances se perçoivent au niveau du nombre de couches, de l'épaisseur de chaque couche, de l'épaisseur totale d'altération et de la position des fractures dans le sous-sol. L'analyse de 19 sondages électriques et de leurs forages correspondants réalisés dans le District de la vallée du Bandama, permettra de comprendre ce qui justifie les dissimilitudes que existent au sein d'un couple (SE ; F) donné.

Etude du nombre de couches

Le nombre de couches des terrains sous-jacents enregistré dans la région de la vallée du Bandama est non homogène d'un couple (SE, F) à un autre. Sur les sondages électriques on obtient 2 à 5 terrains superposés ; dans les forages il est compris entre de 2 et 6. A l'exception des couples (SE2 ; F2), (SE1 ; F1) et (SE ; F) respectivement des localités de Niangbo, Konzo et Pétionara le nombre de terrains mis en évidence sur les sondages électriques est identique à celui observé dans les forages correspondants (Figure 2). Contrairement au sondage électrique à Pétionara qui prévoit trois couches de plus que le forage correspondant, SE2 à Niangbo et SE1 à Konzo prévoient un terrain en moins que les forages correspondants. En effet, à Pétionara le sondage géophysique met en évidence cinq horizons, contre deux obtenus avec le forage. SE2 et SE1 mettent respectivement en évidence quatre et cinq terrains au lieu cinq et six obtenus avec les forages F2 et F1.

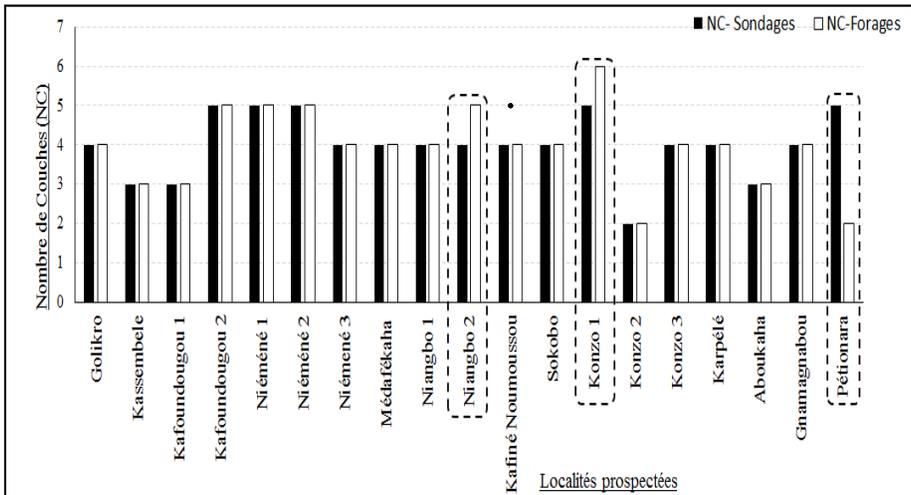


Figure 2 : Diagramme de Nombre de couches de terrains sous-jacents des couples (SE ; F) de quelques localités de la vallée du Bandama.

Le comportement des courbes de sondage est à l’origine de la différence observée au niveau du nombre de couches au sein des couples (SE ; F). En effet, contrairement au forage qui permet une observation directe, le sondage électrique est une reconnaissance indirecte basé sur l’analyse de réponses géoélectriques du sous-sol, traduites sous forme de courbe de sondage. Notamment, sur cette courbe de sondage, la présence d’une pente montre qu’il existe deux terrains superposés de propriétés électriques différentes. Aussi les changements de pentes sur la courbe marquent des changements de terrains. On passe par exemple d’un horizon 2 à un horizon 3. Malheureusement, certaines courbes de sondage font exception à la règle et présentent plusieurs changements de pentes au sein du même terrain. C’est le cas de figure observé avec le sondage électrique réalisé à Pétionara (Figure 3).

Les changements de pentes observés sur la courbe de sondage à Pétionara permettent d’identifier cinq terrains. Il s’agit de quatre couches altérées de faibles résistivités (12 à 50 Ohm.m) qui reposent sur un socle résistant (2676 Ohm.m). Le forage réalisé à Pétionara met en évidence deux couches de terrains, soit 53 m d’argile sableuse au-dessus d’un socle de métavulcanite. L’épaisseur totale des quatre couches d’altérites identifiées sur le sondage géophysique est de 50,3 m. Aussi les faibles résistivités de ces terrains sont caractéristiques d’horizons argileux ou sable argileux. Les quatre premiers

terrains sur le sondage correspondent donc à la couche d'argile sableuse dans le forage. En réalité, ces changements de pentes ne correspondent pas à des changements de terrains. Ils correspondent plutôt à des variations de la teneur en eau et/ou de sable dans la même couche d'argile sableuse.

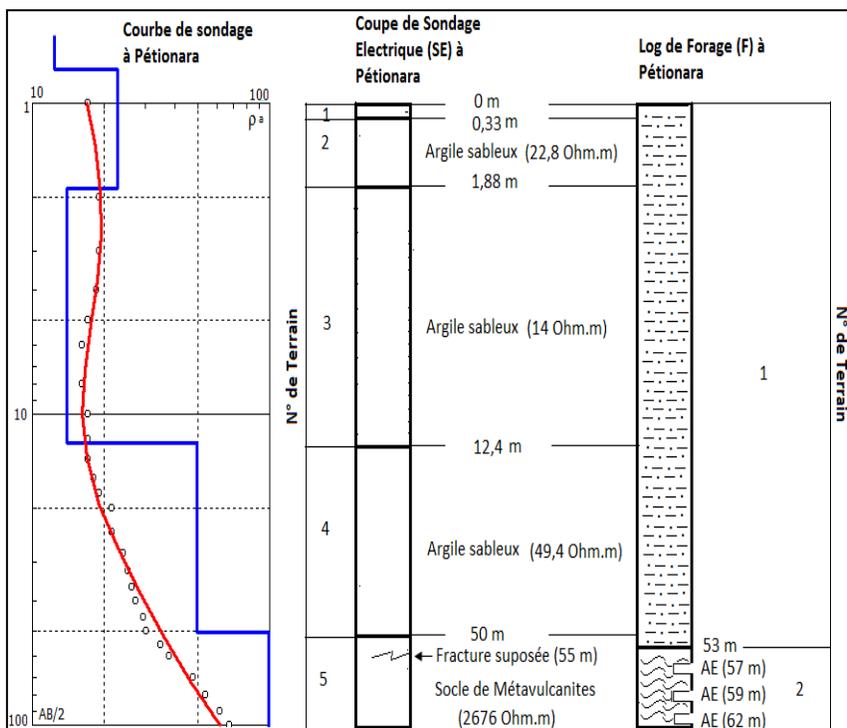


Figure 3 : Comparaison du nombre de terrains à travers la coupe de sondage électrique et le Log de forage à Pétionara

Les dissimilitudes au niveau du nombre de couches entre un sondage électrique et le forage correspondant peuvent aussi être occasionnées lorsque l'allure de la courbe de sondage ne permet pas de discriminer les terrains sous-jacents. Ici deux ou plusieurs terrains discriminés dans le forage est identifié comme un seul terrain sur la courbe de sondage ; ce qui a pour effets d'avoir un nombre de couches sur le sondage géophysique différent (inférieur) à celui révélé dans le forage. Au Niveau du forage, lorsqu'on fait la somme des épaisseurs des terrains en question, on obtient l'épaisseur de celui identifié avec le sondage électrique. Aussi la nature des horizons concernés dans le forage est sensiblement voisine. Ils possèdent probablement des résistivités presque

identiques ; ce qui ne facilite pas l'observation sur la courbe de sondage d'un changement de pente qui marquerait un changement de terrain. Ce cas a été observé à Niangbo et à Konzo avec respectivement les sondages électriques SE2 et SE1 et leur forage correspondant F2 et F1

A Niangbo par exemple, l'allure de la courbe de sondage SE2 permet de reconnaître quatre terrains, au lieu de cinq dans le forage correspondant. Les 2^{ème} et 3^{ème} terrains du forage F2, respectivement 5 m et 15 m d'épaisseurs, sont identifiés sur la courbe de sondage SE2 comme étant une seule couche. Il s'agit du 2^{ème} terrain de SE2 de 19 m d'épaisseur et de faibles résistivités (67 Ohm.m) typiques des horizons argileux. Le 2^{ème} et le 3^{ème} terrain du forage F2 sont précisément de l'argile latéritique et de l'argile brune. De nature proche ces deux couches ont sûrement des résistivités très voisines et sont perçues comme un seul terrain selon la portion de courbe concernée. Aucune anomalie ou perturbation encore moins un changement de pente sur cette partie de la courbe ne montre une variation de terrain (Figure 4).

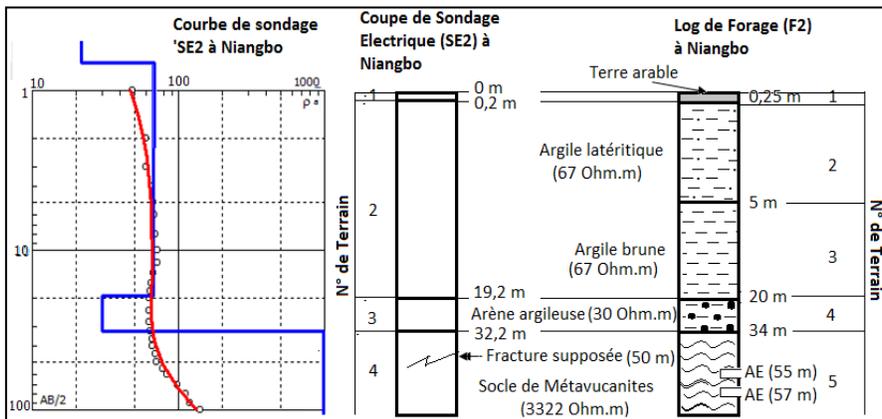


Figure 4 : Comparaison du nombre de terrains à travers la coupe de sondage électrique SE2 et du Log de forage F2 à Niangbo.

Etude de l'épaisseur de chaque couche

La majorité des épaisseurs de terrain obtenues avec le sondage électrique corroborent avec celles mises en évidence dans les forages correspondants, en témoigne la figure 5.

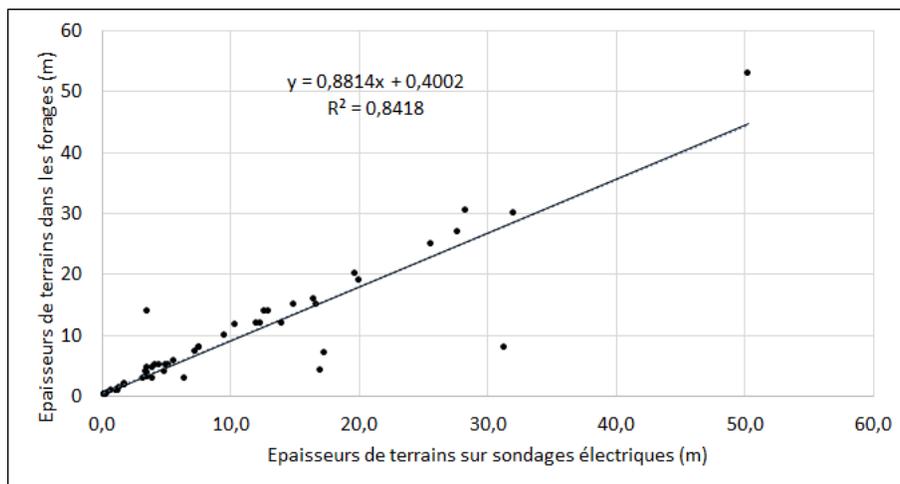


Figure 5 : Relation entre épaisseurs de terrains avec sondages géophysiques et épaisseurs de terrains dans les forages

Cette figure permet d'établir une relation mathématique entre les épaisseurs de chaque couche obtenues sur les sondages géophysiques et celles confirmées par les forages. La relation mathématique entre les résultats géophysiques et ceux des forages est de type linéaire positif avec les caractéristiques suivantes :

Y étant les épaisseurs de chaque couche avec la géophysique et **X** les épaisseurs de chaque couche avec forages. Le coefficient de corrélation linéaire est :

$$Y = 0,8814 X + 0,4002$$

Ce résultat montre que ces deux paramètres sont corrélés ($R^2 = 0,8418$) ; ce qui signifie que les forages et les sondages géophysiques donnent des résultats similaires en terme d'épaisseurs de couches. Dans ces conditions, pour apprécier les épaisseurs de chaque terrain dans la région étudiée, particulier les résultats géophysiques peuvent être utilisés.

Ce résultat montre aussi qu'il existe des dissimilitudes entre les sondages électriques et les forages correspondants au niveau des épaisseurs de certains terrains. L'allure de la courbe de sondage concernée est également à l'origine de cette différence. L'exemple du couple (SE1 ; F1) de la localité de Kafoundougou est illustré par la figure 6.

Le sondage électrique SE1 et le forage correspondant F1 mettent en évidence trois terrains. De haut en bas ce sont l'argile, du sable argileux et le socle granitique sain. Ils mettent également en évidence pratiquement la même

épaisseur totale d'altération : 20,8 m sur SE1 et 21 m avec F1. La dissemblance entre SE1 et F1 se situe au niveau des épaisseurs des couches d'argile et de sable argileux correspondant respectivement au 1^{er} et 2^{ème} terrain. Leurs épaisseurs sont 3,5 m et 17,3 m sur SE1 et 14 m et 7 m dans le forage F1. Sur la SE1 tout ce passe comme si la partie inférieure du 1^{er} terrain argileux et le 2^{ème} terrain tout entier possèdent des propriétés électriques semblables. En effet, l'allure de la courbe du sondage SE1 présente un premier changement de pente à une profondeur qui ne correspond pas à la limite entre le l'argile et le sable argileux. La courbe de sondage ne permet donc pas de discriminer les deux premiers terrains.

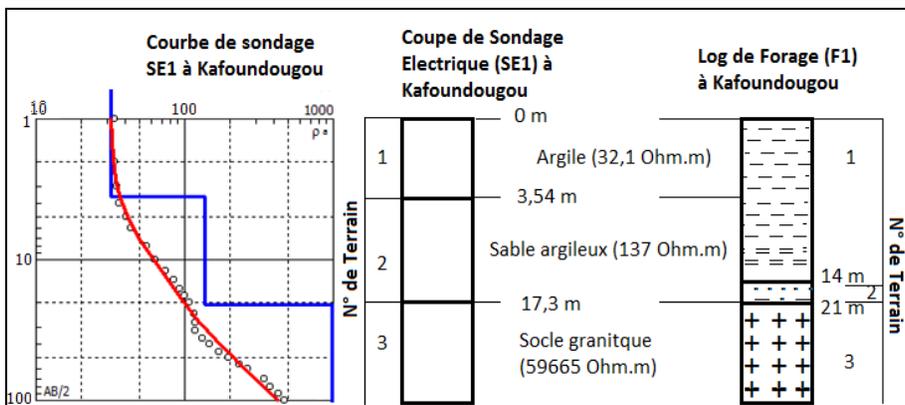


Figure 6 : Comparaison d'épaisseur de terrain à travers la coupe de sondage électrique SE1 et du Log de forage F1 à Kafoundougou.

Etude de l'épaisseur totale de l'altération

L'épaisseur totale d'altération est très variable dans la région étudiée. Elle est comprise entre 8 et 50,3 m sur les sondages géophysiques et entre 4 et 53 m dans les forages. Dans l'ensemble, les sondages électriques donnent des épaisseurs totales d'altération semblables à celles relevées dans les forages correspondants. Exception faite aux sondages électriques réalisés, à Kassembélé, à Konzo (SE3) et à Gnamagnabou. On observe respectivement dans ces localités des épaisseurs d'altération de 32 m, 18,6 m et 8 sur les sondages géophysiques, contre 9 m, 5,8 m et 4 dans les forages correspondants (Figure 7).

Etude comparative de résultats de sondages électriques et des coupes lithostratigraphiques de forages en région de socle (Nord de la Côte d'Ivoire)

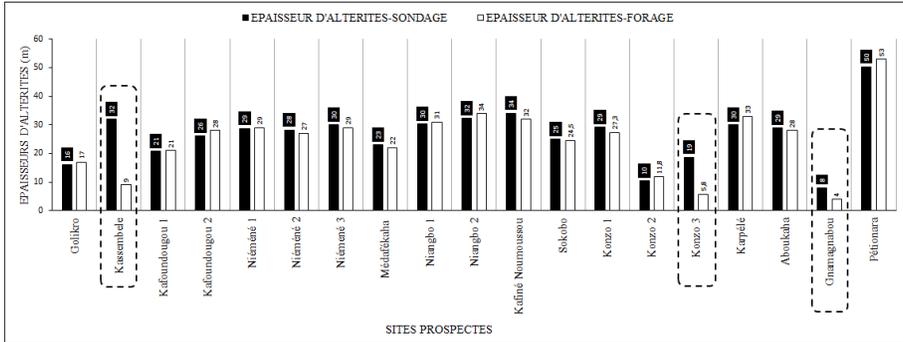


Figure 7 : Diagramme de comparaison des épaisseurs d'altération pour chaque couple (SE ; F).

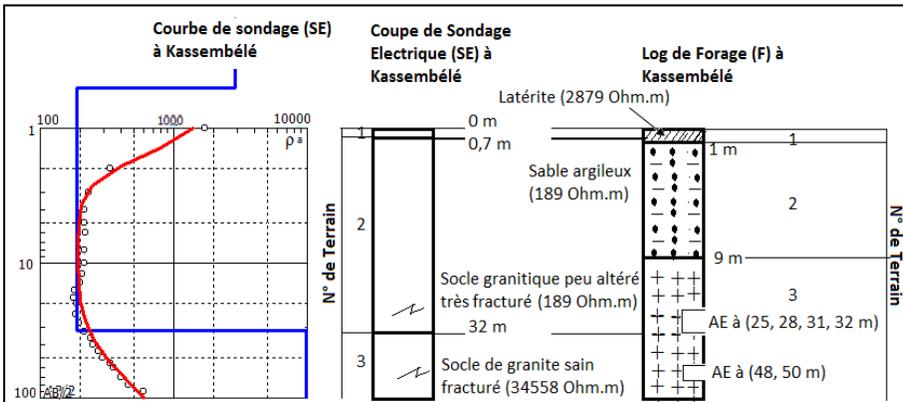


Figure 8 : Comparaison d'épaisseur totale d'altération à travers la coupe de sondage électrique SE et du Log de forage F à Kassembélé.

Les forages réalisés dans les localités où les inégalités au niveau de l'épaisseur totale de l'altération ont été observées entre le sondage électrique et le forage correspondant mettent en évidence sous les terrains altérés une épaisse zone de socle peu altérée et très fracturée. Cette zone atteint 41 m à Kassembélé, 79 m à Konzo (F3) et 56 m à Gnamagnabou. Probablement la forte épaisseur couplée à la faible résistivité de cette zone masque l'influence de la couche sus-jacente également de faible résistivité sur la courbe de sondage. Sur les courbes de sondage concernées on peut observer une absence d'indicateurs montrant le changement de terrain. La figure 8 illustre à titre d'exemple la différence d'épaisseur totale d'altération entre sondage électrique et forage à Kassembélé.

Etude des fractures identifiées

Le sondage géophysique permet de mettre en évidence dans le sous-sol des zones de fractures productives du point de vue hydrogéologique. La position dans sous-sol de ces fractures sur la courbe de sondage ne correspond pas toujours à celle relevées dans le forage correspondant. La fracturation relevée sur la courbe de sondage est parfois absente dans le sous-sol du point foré. Ce qui conduit à un forage négatif. On observe malheureusement cela dans certains couples (SE ; F) étudiés dans la région de la vallée du Bandama. Il s'agit notamment des couples (SE1 ; F1), (SE ; F) et SE1 ; F) respectivement dans les localités de Kafoundougou, Médafékaha et Niangbo. Dans les autres localités prospectées les arrivées d'eau dans les forages correspondent plus ou moins aux fractures prévues par les sondages géophysiques (Figure 9).

Quand bien même ces fractures dans les forages correspondent à celles identifiées sur les courbes de sondages. Ce sont parfois des fractures humides ou sèches. C'est le cas de figure à Niéméné pour les couples (SE1 ; F1) et (SE2 ; F2), à Kafoundougou pour le couple (SE2 ; F2) et à Konzo pour le couple (SE1 ; F1). A Niéméné les forages F1 et F2 mettent respectivement en évidence deux fractures sèches et deux fractures humides. Elles se situent pour F1 à 53 et 60 m de profondeur et à 48 et 59 m pour F2. A Kafoundougou et à Konzo les forages F2 et F1 mettent en évidence chacun trois fractures sèches. Elles se situent à 35, 36 et 41 m dans le sous-sol pour F2 et à 49, 63, 90 m de profondeur pour F1.

Quand bien même ces fractures dans les forages correspondent à celles identifiées sur les courbes de sondages. Ce sont parfois des fractures humides ou sèches. C'est le cas de figure à Niéméné pour les couples (SE1 ; F1) et (SE2 ; F2), à Kafoundougou pour le couple (SE2 ; F2) et à Konzo pour le couple (SE1 ; F1). A Niéméné les forages F1 et F2 mettent respectivement en évidence deux fractures sèches et deux fractures humides. Elles se situent pour F1 à 53 et 60 m de profondeur et à 48 et 59 m pour F2. A Kafoundougou et à Konzo les forages F2 et F1 mettent en évidence chacun trois fractures sèches. Elles se situent à 35, 36 et 41 m dans le sous-sol pour F2 et à 49, 63, 90 m de profondeur pour F1.

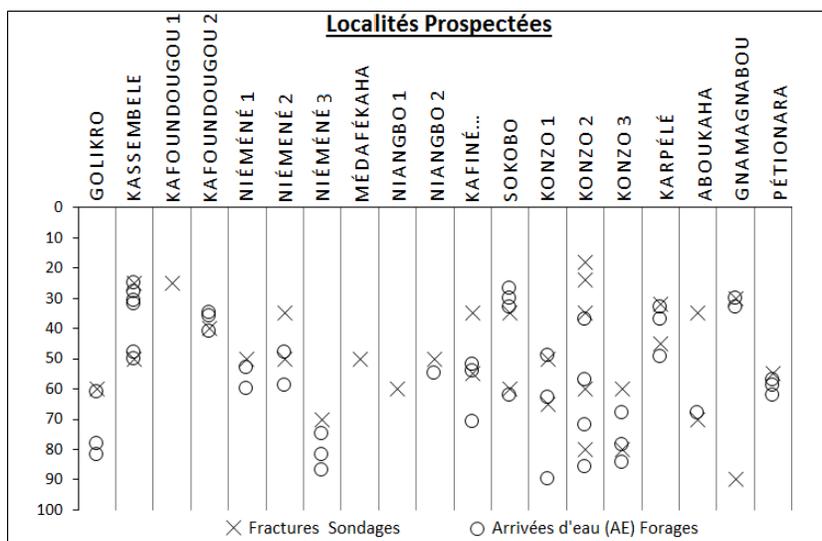


Figure 9 : Diagramme de comparaison des fractures pour chaque couple (SE ; F).

Sur les courbes de sondage de Kafoundougou (SE1), Médafékaha et Niangbo (SE1) on observe d'importantes perturbations dans le socle cristallin. Ces anomalies ne sont pas révélées dans les forages correspondants comme des fractures productrices. Elles correspondent plutôt à un toit de socle altéré faiblement fissuré et fortement colmaté par les formations altérées sus-jacentes. Ces perturbations sont également le résultat d'une importante épaisseur de la zone altérée du socle et ayant une faible résistivité. Ces zones altérées du socle atteignent 29 à 47 m d'épaisseur. Le cas de figure observé à Niangbo est présenté par la figure 10.

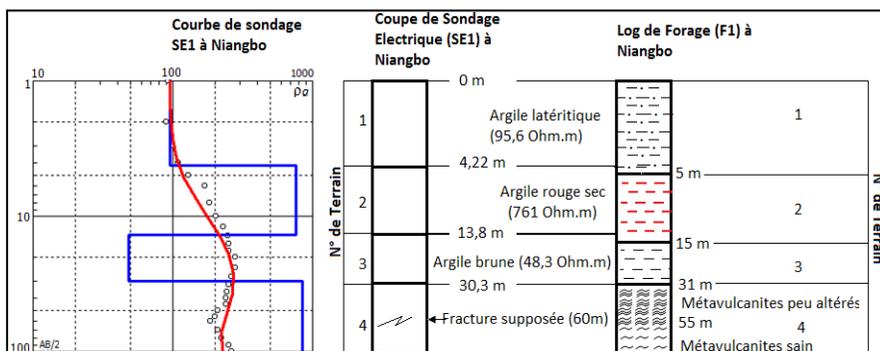


Figure 10 : Comparaison de la fracturation à travers la coupe de sondage électrique SE1 et du Log de forage F1 à Niangbo.

DISCUSSIONS

Les méthodes géophysiques de résistivités électriques malgré l'utilisation de techniques de prospections adéquates (Sondage électrique par exemple), il demeure quelques dissimilitudes avec le forage. Des dissemblances pouvant être causes des échecs pendant l'implantation du forage (Sombo, 2012). Selon Same (1999) ces échecs peuvent être dus à plusieurs phénomènes liés au sous-sol. Ces échecs sont liés à une anomalie conductrice due à un phénomène superficiel. En effet certaines anomalies peuvent être dues aux variations de résistivités du recouvrement superficiel sans lien avec la fracturation. C'est le cas de la présence d'épaisses couches d'argile dans les altérites. Ces terrains argileux gorgés d'eau se matérialisent sur la courbe de sondage par des paliers de faibles résistivités alternant avec des zones résistantes. Cette variation de résistivités peut laisser croire à un substratum fissuré. Ceci peut influencer l'interprétation des sondages électriques, surtout lorsque le toit de socle très fracturé est gorgé eau. Pour cela il faudrait, selon Same (1999) effectuer quelques sondages électriques complémentaires ou des profils de résistivités avec un dispositif carré surtout en milieu cristallin. En effet, le dispositif carré permet d'établir la courbe de variation du coefficient d'anisotropie en fonction de la distance et allure de cette courbe permet de donner des précisions exactes quant à la présence ou non d'une zone fracturée. Les échecs peuvent être liés à une zone fracturée présentant un pendage. C'est le cas d'échec le plus fréquent lorsque l'anomalie conductrice déterminée correspond à la position de l'apex de la zone fracturée. Certaines anomalies géologiques telles les fractures sont inclinées par rapport à la verticale. La mise en évidence du sommet de l'une de ces fractures par un sondage électrique peut conduire à un forage négatif car l'eau qui circule dans ces structures s'accumulera plus en profondeur suivant le sens de pendage.

Il est possible de déterminer le sens du pendage d'une telle structure conductrice en réalisant des traînés électriques avec plusieurs longueurs de AB ou en réalisant un panneau multi électrode. De plus Kouakou (2012) et Sombo (2012) pense que la fracture même elle est mise en évidence au niveau du sondage électrique peut correspondre à une fracture stérile ou à une fracture minéralisée à très faible teneur en eau. Le captage de cette structure conduira à un forage négatif.

Pour certains auteurs comme Savadogo (1984), Biémi (1992), Savané (1997), Sombo (2012) et Kouakou et al., 2014, les différences observées entre le sondage électrique et le forage correspondant sont dues à l'allure ou au type de

courbe. Ils ont remarqué par exemple, que sur les courbes « en fond de bateau » la présence d'horizon fracturé n'est pas matérialisée. Savadogo (1984) et Biémi (1992) pensent que le défaut le plus regrettable des courbes « en fond de bateau » réside dans le fait qu'elles ne donnent pas d'indications sur la zone fissurée ou broyée au toit du socle sous-jacent dont l'importance hydrogéologique est admise par tous les spécialistes en Afrique de l'Ouest. Ils pensent aussi que cet horizon fissuré dont les traces n'apparaissent pas est généralement présente; mais, le plus souvent masqué à la base des altérites argilo-sableuses ou confondue au socle, du fait de son épaisseur assez faible à des profondeurs assez grandes dans le sol. Aussi Biémi (1992), Savané (1997), Kouakou (2012) et Sombo (2012) font remarquer que dans les diagrammes de sondages électriques surtout sur le papier bilogarithmique, plus une couche de terrain est mince et profonde, plus elle aura tendance à disparaître dans le diagramme. Cependant Savadogo (1984) et Biémi (1992) pensent que cette insuffisance des courbes « en fond de bateau » est loin d'être un handicap, car dans la majorité des cas étudiés la fracturation et l'altération sont étroitement liées et à toute zone d'altération importante de faible résistivité correspond une zone de fracturation importante souvent gorgée d'eau.

Aussi faut-il ajouter que l'allure d'une courbe de sondage et ses résistivités peuvent varier au cours de l'année eu égard à la variation des horizons électriquement distincts selon leur état d'humectation. Il serait intéressant de procéder à des mesures saisonnières et interannuelles pour une typologie plus larges des courbes de sondages (Savadogo, 1984).

Au regard de tout ceci BRGM (1997) pense que quelle que soit la méthode géophysique utilisée, l'analyse des résultats d'une mesure sera fortement valorisée si l'on dispose d'un forage de reconnaissance permettant de caler l'interprétation des données géophysiques.

Les résultats de sondages électriques quoique souvent différents de ceux des forages jouent un rôle hydrogéologue important. La prospection géophysique, à l'instar d'autres techniques comme la photo-interprétation et la télédétection constitue un outil de reconnaissance indirecte indispensable à la cartographie des formations géologiques souterraines. Son usage dans la recherche des eaux souterraines, permet de mettre en évidence des fractures hydrogéologiquement productives dans le socle cristallin et cristallophyllien. La prospection électrique permet en outre de palier aux insuffisances de l'analyse de l'image satellite et de la photo-aérienne. Lorsqu'il existe une très forte épaisseur d'altérites ou que les caractères des fractures sur les images satellites et les photos-aériennes s'estompent ou se modifient sous l'influence du défrichement, des cultures et de

l'urbanisation, la géophysique est utilisée pour la mise en évidence de ces fractures. Ainsi, les travaux de Savané (1997), réalisés dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, sur l'évaluation de la productivité des ouvrages de captage en région de socle cristallin et cristallophyllien, montrent que les trainés et sondages électriques sont des techniques géophysiques bien adaptées pour la mise en évidence de fractures. Ces techniques contribuent à la localisation d'anomalies conductrices intéressantes du point de vue hydrogéologique, guidant les différentes implantations de forages.

Aussi, certains auteurs ont noté au cours de leurs travaux l'importance de certaines courbes de sondage. Il s'agit notamment :

- des courbes de sondage « en escalier sur la branche montante » qui selon Biémi, (1992) et Savané, (1997) présentent sur la branche montante de la courbe des inflexions attribuables à la présence de fractures et d'un accroissement ponctuel de l'épaisseur des niveaux d'altération ;
- des courbes de sondage avec « remontée trainante », qui traduisent selon Biémi, (1992) et Savané, (1997) l'influence des méga fractures dans le socle ;
- des courbes de sondage à « une seule branche montante » qui peuvent être pour Koussoube et al., 2003 productifs si l'alimentation est bonne comme dans le cas de granites grossiers tectonisés ou de zones de bas-fonds.

Ces derniers accordent une priorité en prospection hydrogéologie de socle cristallin et cristallophyllien, aux courbes de sondages en « fond de bateau » et à « remontée traînante », à « deux fonds de bateaux consécutifs » ou en « escalier sur la pente descendante ».

La nécessité d'implanter des points d'eau à proximité immédiate des villages et des villes confère une importance primordiale au sondage géophysique qui contribuera à minimiser le taux d'échec en région de socle. En effet, l'optimisation des ouvrages de captage consiste en tout premier lieu à accroître le plus possible la rentabilité de l'investissement consenti, en faisant en sorte que les points d'eau soient utilisés au maximum par les populations. Pour cela Biémi (1992) et Same (1999) jugent que ces points d'eau doivent non seulement être pérennes mais également être implantés au plus près des villages, où n'apparaissent souvent que des accidents tectoniques secondaires de dimensions restreintes. Il est donc certain qu'un point d'eau, pour qu'il soit utilisé, en plus d'avoir une potabilité assurée doit avant tout se situer à proximité des localités à desservir. De plus pour Same (1999) la nécessité de garantir dans une certaine

mesure une eau potable aux populations fait de l'étude de la morphologie de la surface piézométrique, une étape non négligeable lors des travaux de prospection et des essais expérimentaux sur le terrain, car elle permet de définir le sens de l'écoulement des eaux souterraines, d'identifier les zones de recharge et d'alimentation et de déterminer la ligne de partage des eaux. Il ajoute également qu'en hydraulique villageoise et dans les secteurs où le socle affleure et où les argiles de surface sont absentes, la connaissance du sens de l'écoulement des eaux souterraines constitue une information importante pour le positionnement des sondages électriques lors de la prospection sur le terrain.

CONCLUSION

En définitive, cette étude a montré que le sondage géophysique et le sondage mécanique sont deux techniques permettant de cartographier le sous – sol. Exécutées de façon successive, elles permettent d'abord la mise en évidence et la localisation par sondage électrique, de gisements d'eau souterraine. Puis le captage à partir du forage de ce gisement. Les conclusions de forage viennent confirmer celles données par les sondages géophysiques. Malheureusement, cette étude a aussi dévoilé que les résultats obtenus avec la géophysique sont souvent loin des réalités du terrain. Les dissemblances sont les causes probables de nombreux échecs pendant l'implantation des forages dans la région étudiée. Les dissimilitudes sont observées au niveau du nombre de couches, de l'épaisseur de chaque couche, de l'épaisseur totale d'altération et de la position des fractures dans le sous-sol. Le comportement (l'allure) des courbes de sondage est à l'origine des différences observées.

BIBLIOGRAPHIE

- Biémi J., 1992. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydro structurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopique des aquifères discontinus de sillons et des aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire), Thèse d'Etat, Univ. Cocody, 480p.
- BRGM, 1997. Ile de Cayenne (Guyane). Hydrologie du socle fracturé. Mise au point de méthodologie de prospection, exploitation et gestion des aquifères. Rapport d'avancement au 31 décembre 1996. Rapport. BRGM R 39311, 39 p.

- Dewandel B., Lachassagne P., Wyns R., Marechal, J-C. et Krishnamurthy N. S., 2006. A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology*, Vol. 330 N°1-2, pp.260-284.
- Doumbia S., 1998. Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimiennes de Katiola-Marabadiassa (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 158 p.
- Gasquet D., Barbey P., Adoua M., Paquet J. L., 2003. Structure, Sr–Nd isotope geochemistry and zircon U–Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire): evidence for a 2.3 Ga crustal growth event in the Palaeoproterozoic of West Africa? *Precambrian Res.* 127, 329-354
- Geomines 1982 a. Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Korhogo, cahier n°6, République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, 44 p.
- Geomines 1982 b. Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Katiola, cahier n°11, République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, 24 p.
- Geomines 1982 c. Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Dabakala, cahier n°12, République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, 26 p.
- Geomines 1982 d. Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Bouaké, cahier n°18, République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, 40 p.
- Geomines 1982 e. Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de M'Bahiakro, cahier n°19, République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, 31 p.
- Kouakou K. E. G., Sombo B. C., Digbehi Z. B., Kouassi F. W., Sombo A. P., Kouame 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.
- 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, UFR STRM, Abidjan Côte d'Ivoire. 183 p.
- Kouakou K. E. G., Sombo B. C., Kouadio K. E., Williams F., Keita D, Sombo A. P., 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.
- Kouakou K. E. G., Lasm T, Sombo B. C., Youan Ta M., Baka D., Kouadio K. E., 2014. Contribution of geophysics in structural study and in identification of fissured aquifers in the department of Dabakala (North Central of Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 8, N°4, pp. 1752-1769
- Kousoubé Y., Savadogo A., Nakolendousse S., 2003. Les différentes signatures de fractures de socle cristallin en zone sahélo-soudanienne du Burkina Faso (Bassin versant de Bidi, province de yatenga). *Révue de Télédétection*, vol. 3, n° 5, pp. 419-427.
- Same 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 batholites de Saraya et ses environs. Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Univ. Cheikh Anta Diop (Dakar), 87 p.
- Savadogo A. N., 1984. Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du Bassin versant de la Sissil. Thèse Doctorat ès Sci. Nat., Univ. Grenoble 1, Inst. Dolomieu, 350 p.
- Savane I., 1997. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle d'Odienné (Nord-Ouest de Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à références spatiales (SIHRS). Thèse d'Etat ès-Sciences naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 398 p.
- Sombo A. P., 2012. Application des méthodes de résistivités électriques dans la détermination et la caractérisation des aquifères de socle en Côte d'Ivoire. Cas des départements de Sikensi et de Tiassale (Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 203 p.