

Identification des aquifères de fracture en milieu cristallophyllien: Contribution de la méthode de résistivité électrique (Bouna, Nord-Est de la Côte d'Ivoire)

[Identification of fracture aquifers in crystallophyllian area: Contribution of the electrical resistivity method (Bouna, North-East Côte d'Ivoire)

Djroh Simon Pierre^{1,2}, Ouattara Yacouba¹, Soro Donissongou Dimitri¹, Kouamelan Kouamelan Serge¹, N'Zi Kouamé Ange Aristide^{1,2}, Gnoleba Serge Pacome Dégine³, and Kouamé Loukou Nicolas¹

¹Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Énergétique, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Bureau de Recherche Géophysique Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Ministère des Mines et de la géologie, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work was carried out in order to fill the drinking water deficit of rural populations in the Department of Bouna, a locality located in the North-East of Côte d'Ivoire. The method used is that of electrical resistivity (electrical profiling and vertical surveys) which is based on the measurement of electrical resistivity contrasts of crystallophyllian formations using a Sycal Pro resistivimeter. The results identified conductive corridors within the crystallophyllian basement rocks, corresponding to fractures that are preferentially oriented N-S, NE-SW and NW-SE. The electrical drillings carried out in the right of these conductors allowed the identification of three terrains made up of a superficial cover, a conductive complex and a basement within which potential aquifers are individualised. These results, coupled with the geological data, made it possible to propose ten hydraulic drilling locations. Five control boreholes were drilled in each village, with an average flow rate of 2.25 m³/h, thus making it possible to overcome the drinking water deficit in the five localities.

KEYWORDS: electrical resistivity, crystalline basement, groundwater, Bouna, Côte d'Ivoire.

RESUME: Ce travail a été réalisé en vue de combler le déficit d'eau potable des populations rurales dans le Département de Bouna, localité située au Nord-Est de la Côte d'Ivoire. La méthode utilisée est celle de la résistivité électrique (trainé et sondage électriques) qui est fondée sur la mesure des contrastes de résistivité électrique des formations cristallophylliennes à l'aide d'un résistivimètre Sycal Pro. Les résultats obtenus ont permis d'identifier, au sein du socle cristallophyllien, des couloirs conducteurs qui correspondent aux fractures orientées préférentiellement N-S, NE-SW et NW-SE. Les sondages électriques effectués au droit de ces conducteurs ont permis d'identifier trois terrains constitués d'un recouvrement superficiel, d'un complexe conducteur et d'un socle sein à l'intérieur duquel s'individualisent des aquifères potentiels. Ces résultats couplés, aux données géologiques, ont permis de proposer dix bornes d'implantation de forage hydraulique. Cinq forages de contrôle, effectués par village, ont relevé en moyenne un débit de 2,25 m³/h; permettant ainsi de pallier au déficit en eau potable des cinq localités.

MOTS-CLEFS: résistivité électrique, socle cristallin, eaux souterraines, Bouna, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel, une ressource indispensable à la pérennité de toutes formes de vie, de tout écosystème. Elle est aussi un bien à caractère socio-économique incontestable. La réduction de sa quantité et la dégradation de sa qualité ont des effets négatifs graves sur toute forme de vie. En effet, la contamination des eaux par les activités anthropiques est en partie responsable du fait que les réserves d'eau potable diminuent (Youan Ta *et al.*, 2020 [1]). De plus, le réchauffement et les changements climatiques observés ces dernières décennies ont contribué à la mise en exergue des problèmes liés à l'eau, tel que la baisse de la recharge des nappes souterraines dans certaines régions (Brida, 2008 [2]; Soro *et al.*, 2015 [3]). En Côte d'Ivoire et dans plusieurs pays africains, les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement des populations vivant en milieu rural (Youan Ta, 2008 [4]). Ces eaux sont

exploitées à l'aide de forages équipés de pompe manuelles ou immergées. Cependant, la disponibilité et le captage des eaux souterraines, surtout en milieu de socle, en vue de satisfaire les besoins des populations rurales constituent une question cruciale pour les autorités en charge des programmes hydrauliques. En effet, les formations de socle (97,5% de la géologie de la Côte d'Ivoire) sont des milieux très hétérogènes où la réalisation d'un forage ne garantit pas l'obtention d'un point d'eau ayant la quantité et la qualité nécessaire pour satisfaire une certaine population. De ce fait, la réalisation d'un forage doit être précédé d'études afin de mieux appréhender le milieu souterrain. La présente étude a été conduite au Nord-est de la Côte d'Ivoire où le taux d'accès à l'eau potable est assez faible. L'objectif de cette étude vise à détecter, à partir des contrastes de résistivité électrique, les aquifères de fracture au sein du socle cristallin pour l'implantation des ouvrages de captage pour pallier au déficit en eau potable de la zone de Bouna.

2 CADRE GEOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GEOLOGIQUE

La région de Bouna est située au Nord-Est de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 15 380 km² et est délimitée au Nord par les départements de Doro et de Tehini, au Sud, par les départements de Bondoukou et Nassian, à l'Est par les Républiques du Ghana et Burkina Faso, et à l'Ouest par le département de Ferkessédougou. La région est drainée par deux fleuves qui sont la Comoé, dont les principaux affluents sont le Nalidia, Iringou, Kongo, Boin et Bavé; et la Volta Noire qui constitue la frontière naturelle avec le Ghana à Est. Ses principaux affluents sont le Koulou, Bineda, Koulodio et Holodio (CI-energies, 2019) [5].

Selon Tagini (1971) [6], Bessoles (1977) [7] et Lüdtke et al. (1999) [8], les formations géologiques se regroupent en trois unités. Les roches supracrustales du super groupe birimien qui sont composées de roches volcaniques, volcanoclastiques, schistes, amphibolites et gneiss. Les roches intrusives qui regroupent les granites à muscovite, les granodiorites à biotite, les monzodiorites et diorites quartziques; et les roches cénozoïques qui sont les reliques d'érosion de cuirasse latéritique ferrifère, sables et graviers alluvionnaires (Figure 2).

Sur le plan hydrogéologique, deux types d'aquifères sont présents. Il s'agit des aquifères d'altérite et de fractures ou de fissures situés au sein du socle cristallophyllien entre 22 et 71 m de profondeur (Richard, 2017) [9].

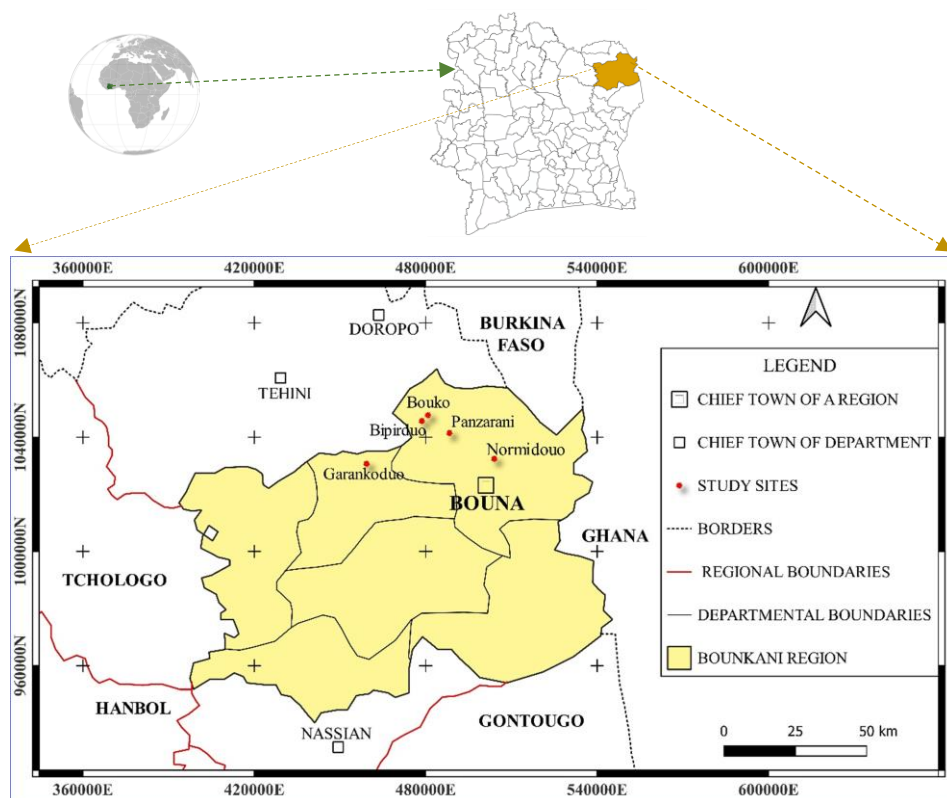


Fig. 1. Carte de localisation

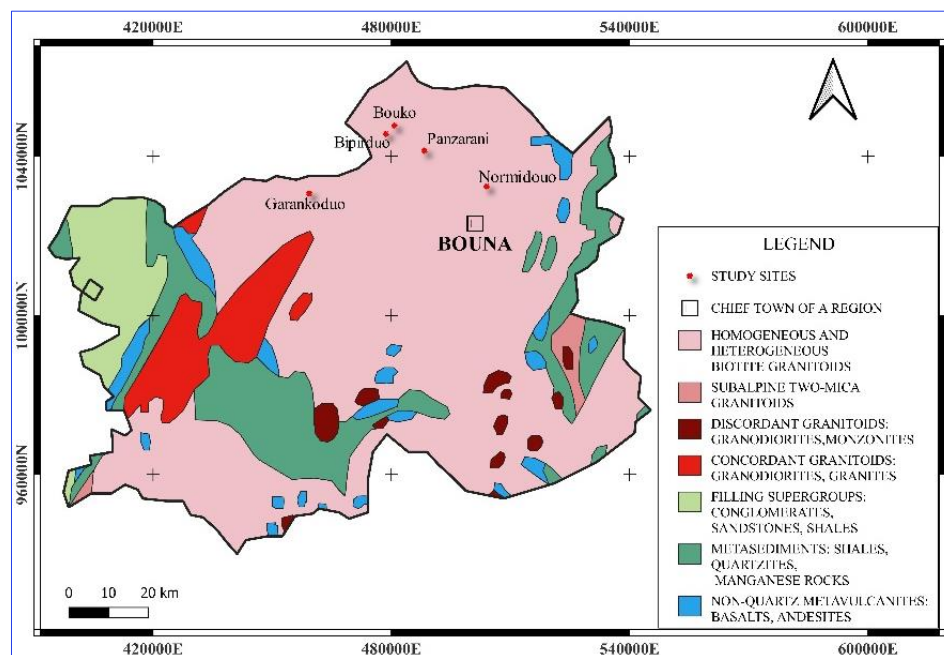


Fig. 2. Géologie de la zone d'étude, Tagini (1971 [6])

3 METHODOLOGIE

La présente étude porte sur la mesure des contrastes de résistivité électrique avec un résistivimètre Syscal Pro en mode profilage et sondage électriques.

Le mode profilage électrique a été réalisé avec une configuration rectangle. Ce dispositif est caractérisé par l'injection de courant avec un grand dipôle (AB) aux extrémités de chaque profil de mesure; et à la mesure de la différence de potentiel (ddp) avec un dipôle de réception (MN) (Figure 3). Selon Chapellier (1981) [10], la résistivité apparente (ρ_a) mesurée intègre les paramètres géométriques liés aux séparations entre les électrodes d'injection et de réception suivant l'équation (1):

$$\rho_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_p}{I \cdot \left(\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (1)$$

Où V_p : voltage primaire (mv); I : courant injecté (ma)

Les électrodes A et B sont des électrodes fixes qui sont utilisées pour la transmission du courant électrique aux extrémités de chaque profil. Quant à l'électrode de réception MN, elle est déplacée à chaque station de mesure au pas de 20 m. Cette technique donne une excellente résolution sur la distribution latérale des contrastes de résistivité électrique qui reflètent les variations lithologiques du sous-sol et permettent ainsi d'identifier des fractures au sein du socle cristallophyllien (Boudoukha, 2008 [11]; Kouakou et al., 2015 [12] et Sombo, 2012 [13]).

Le sondage électrique donne une bonne résolution sur a variation transversale de la résistivité. Cette technique permet d'apprécier l'évolution des contrastes de résistivité qui sont associés aux variations transversales de la lithologie (Koussoube, 2003 [14]). Elle a permis d'estimer la profondeur et la puissance des aquifères de fracture à partir des sections géo-électriques obtenues après interprétation des courbes de sondage électrique. Au total, dix sondages électriques (SE) ont été réalisés avec le dispositif Schlumberger dans les cinq villages. Ce dispositif est un quadripôle symétrique AMNB, avec un dipôle d'injection (AB) et un dipôle réception (MN) pour la mesure du potentiel primaire (V_p).

Cinq forages hydrauliques ont été effectués aux droits des points de sondage électrique présélectionnés. Ils ont permis d'établir des coupes géologiques qui, par corrélation avec les logs géo-électriques, vont contribuer à une meilleure caractérisation des aquifères de fracture identifiés.

Les données de résistivité apparente et de forage hydraulique ont été traités respectivement avec les logiciels Geosoft (V7.01), Winsev (V2. 3) et Strater (2.0). Les profils de résistivité ont été réalisés avec le logiciel Geosoft. L'inversion des courbes de sondage électrique a été possible avec le logiciel Winsev et, les logs géo-électriques ainsi que les coupes géologiques sont établies avec le logiciel Strater.

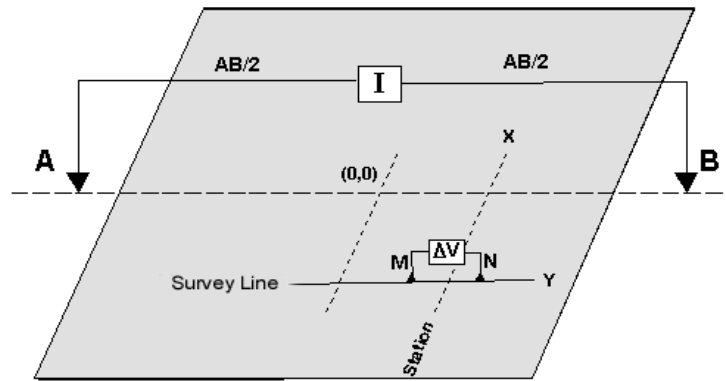


Fig. 3. Configuration Rectangle

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 PROFILS DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Les résultats du profilage sont présentés sous forme de profil de résistivité (courbe de résistivité) pour les cinq localités.

Panzarani: Trois (03) axes conducteurs (A1, A2 & A3) sont identifiés sur les profils du trainé électrique. Ils matérialisent les effets des fractures N-S au sein du socle cristallin. Les axes A1 et A3 sont les plus expressifs et présentent respectivement des anomalies larges de 90 et 30 mètres. Aux droits de celles-ci, deux sondages électriques (SE1 & SE2) pour apprécier la variation verticale des résistivités (Figure 4-A).

Bipirdouo: la Figure 4-B présente deux profils de résistivité électrique qui mettent en évidence des anomalies de forme en "U" et de type "CCE" (compartiment conducteur étroit). L'anomalie "U" est localisée sur le profil L1 et présente une ouverture de 70 m environ. Sa continuité latérale sur le profil L2 définit un axe conducteur A1 sur lequel est implanté un sondage électrique (SE1). Les anomalies de type CCE sont faiblement exprimées sur les deux profils. Néanmoins, un axe conducteur A2 s'individualise à l'extrémité nord-est du profil L2 où un sondage électrique SE2 est implanté pour étudier la distribution verticale de la résistivité (Figure 4-B).

Bouko: les profils de résistivité de ce site présentent des anomalies peu contrastées. Deux axes conducteurs (A1 & A2) sont identifiés aux extrémités nord et sud du profil L1. Ils montrent deux anomalies plus ou moins ouvertes dont les largeurs avoisinent 70 m pour A1 et 30 m pour A2 (Figure 4-C). Sur ce site, deux sondages électriques, SE1 sur A1 et SE2 sur A2, ont été réalisés pour apprécier la profondeur et la puissance des aquifères de fractures identifiés.

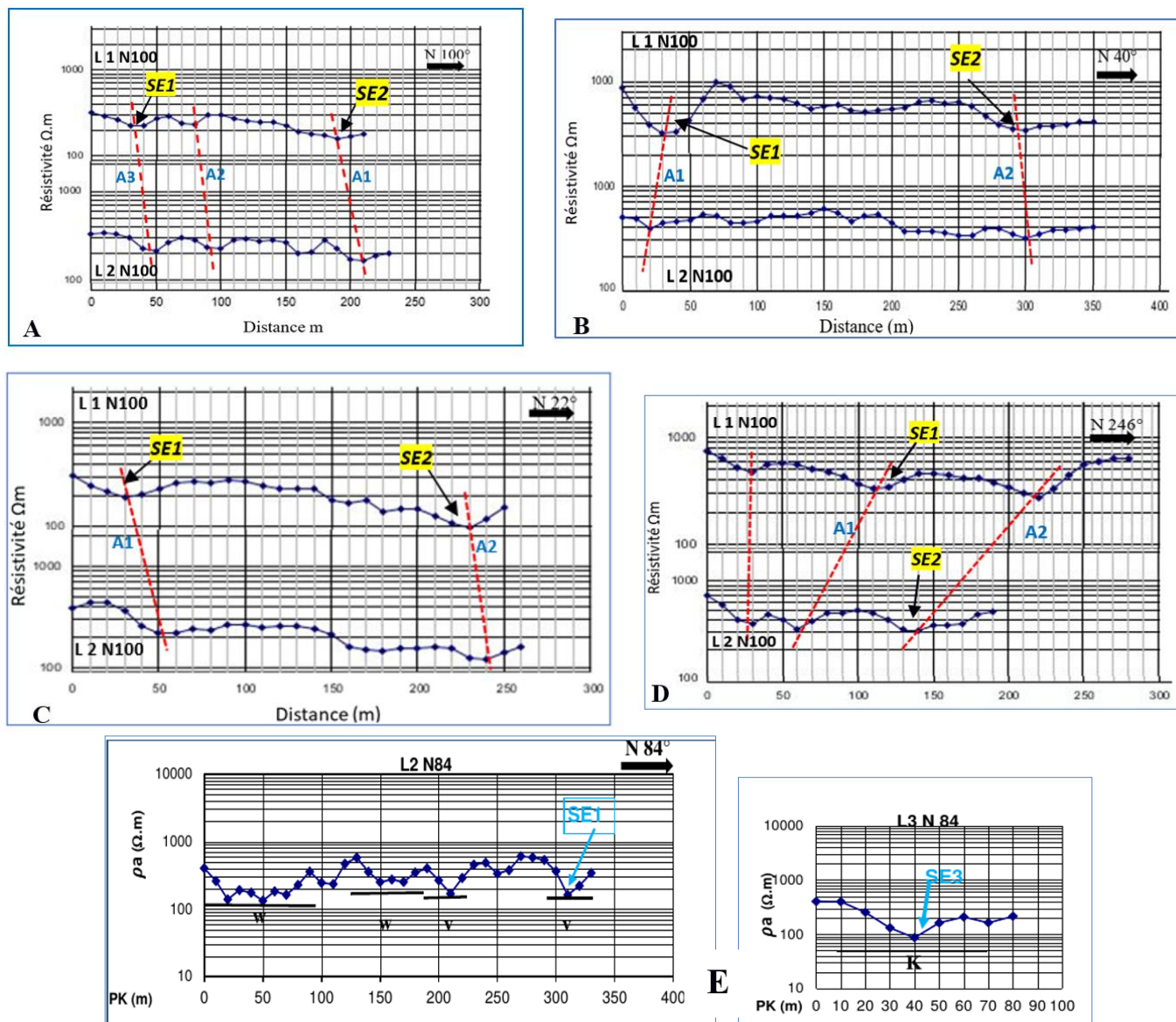


Fig. 4. Profils de trainé électrique des différents sites. A: Panzarani, B: Bipirdouo, C: Bouko, D: Garankodouo et E: Normidouo

Garankodouo: les courbes de résistivité du trainé électrique présentent trois axes conducteurs intéressants qui marquent la présence d'aquifère de fracture. Les axes A1 & A2, orientés N-S, sont plus expressifs et sont caractérisés par une ouverture qui avoisine respectivement 60 et 40 m (Figure 4-D). Deux points de sondage ont été proposés, SE1 sur L1 et SE2 sur L2. On note également la présence d'un couloir conducteur de direction NW-SE à l'extrémité sud-ouest des deux profils.

Normidouo: les profils de résistivité en mode profilage de ce site sont présentés à la Figure 4-E. Quatre anomalies dont deux de forme W qui sont de type CCL et deux anomalies de forme V du type CCE sont mis en évidence sur le profil L2, contre une seule anomalie de forme K (type CCL) sur le profil L3. Un sondage électrique a été réalisé sur chaque profil (Figure 4-E).

4.2 SONDAGE ELECTRIQUE

Les résultats des sondages électriques sont présentés sous forme de courbe et de Log de résistivité apparente traduisant une variation verticale de la résistivité apparente des différentes lithologies qui permettent ainsi d'estimer le nombre de couche géo-électrique, leur épaisseur et la puissance des aquifères potentiels.

Au niveau de Panzarani, deux sondages (SE1 et SE2) ont été réalisés. Les courbes présentent une allure en forme de "fond de bateau" (Figure 5-A), qui montrent généralement l'existence de trois couches. Une première couche de résistivité apparente 195 Ω.m et d'épaisseur 6 m représentant la latérite. Une seconde couche de résistivité apparente 30 Ω.m et d'épaisseur 14 m correspond à la zone de l'aquifère des altérites. Enfin, la troisième couche de résistivité apparente supérieur à 3000 Ω.m représente le socle au sein duquel

une fracture potentielle est mise en évidence à environ 40 et 50 m de profondeur respectivement sur les sondages SE1 et SE2 (Figure 5. A1 & A2).

Sur le site de Bipirdouo, deux sondages électriques (SE1, SE2) ont été effectués. Les courbes obtenues présentent les mêmes caractéristiques que celles de Panzarani. Elles montrent trois couches caractéristiques (Figure 5-B).

La première couche, de résistivité comprise entre 100 Ω .m et 300 Ω .m et d'épaisseur 5 m, représente les altérites ou la cuirasse latéritique. Elle indique le recouvrement superficiel. La seconde couche, de résistivité comprise entre 30 Ω .m et 70 Ω .m et d'épaisseur 10 m, traduit la signature d'un aquifère d'altérite. La troisième couche a une résistivité supérieure à 3000 Ω .m et correspond à la réponse du socle cristallin. Seul le sondage SE2 présente un aquifère potentiel situé à 45 m de profondeur (Figure 5-B2).

Sur le site de Bouko, deux sondages électriques (SE1 et SE2) ont été réalisés (Figure 6). Les courbes de sondage en "fond de bateau" présentent les mêmes caractéristiques que celles des deux premiers villages. Elles révèlent trois niveaux caractéristiques qui se composent d'un recouvrement superficiel latéritique avec une résistivité de 1500 Ω m associée à la cuirasse latéritique, un complexe conducteur de résistivité comprise entre 7 Ω m et 50 Ω .m et d'épaisseur 15 m qui correspond à l'aquifère d'altérite, et un socle cristallin de résistivité supérieure à 3000 Ω .m. Le socle présente une zone potentiellement fracturée qui sont située autour de 40 m de profondeur sur les sondages SE1 et SE2 (Figure 6).

En ce qui concerne le site de Garankodouo, deux sondages ont été également effectués (Figure 7). La courbe du sondage SE1 montre une courbe en "cloche puis en fond de bateau" qui traduit quatre couches tandis que la seconde courbe de sondage (SE2) présente une allure en "fond de bateau" caractéristique de trois terrains. La courbe de sondage (SE1) serait due à une décroissance progressive de la résistivité dans la partie superficielle, avec des intercalations de niveaux résistants, avant d'atteindre le complexe conducteur. Par ailleurs, la différence du nombre de couches sur l'ensemble des sondages de ce secteur serait l'expression de la topographie et de l'intensité de l'érosion.

Les courbes de sondage de Normidouo se répartissent en deux groupes (Figure 8). Le premier, fait de courbes en "fond de bateau puis en cloche", est représenté par la courbe du sondage SE1. Le deuxième, caractérisé par une courbe en "cloche puis en fond de bateau", est exprimé sur la courbe du sondages SE2. Les différentes allures des courbes seraient liées à la présence d'une ou plusieurs fractures à potentialité hydrogéologique localisées au sein du socle à des profondeurs de 50 m pour le sondage SE1 et 60 m pour SE2.

4.3 CORRELATION ENTRE SONDAGE GEO-ÉLECTRIQUE ET SONDAGE MECANIQUE

L'analyse des sondages géo-électriques et les logs de forage mécanique permet d'établir des corrélations entre les couches géo-électriques et les lithologies associées.

L'épaisseur d'altérite déterminé par le sondage mécanique (forage) est la même que celle trouvée par le sondage géo-électrique. Ainsi, une bonne corrélation a été faite entre la coupe géo-électrique du sondage et la coupe lithologique des forages dans les localités de Panzarani (Figure 9-A) et de Bipirdouo (Figure 9-B). Par contre, les niveaux de l'horizon fissuré et du socle cristallin montrent des résistivités sensiblement voisines et sont perçus comme un seul terrain sur la courbe de sondage (Figure 9). On a également une bonne corrélation entre le sondage géo-électrique et le sondage mécanique car l'épaisseur d'altérite est la même sur les deux sondages dans la localité de Bouko. Les profondeurs des arrivées d'eau ont été trouvées à la même profondeur (Figure 9-C).

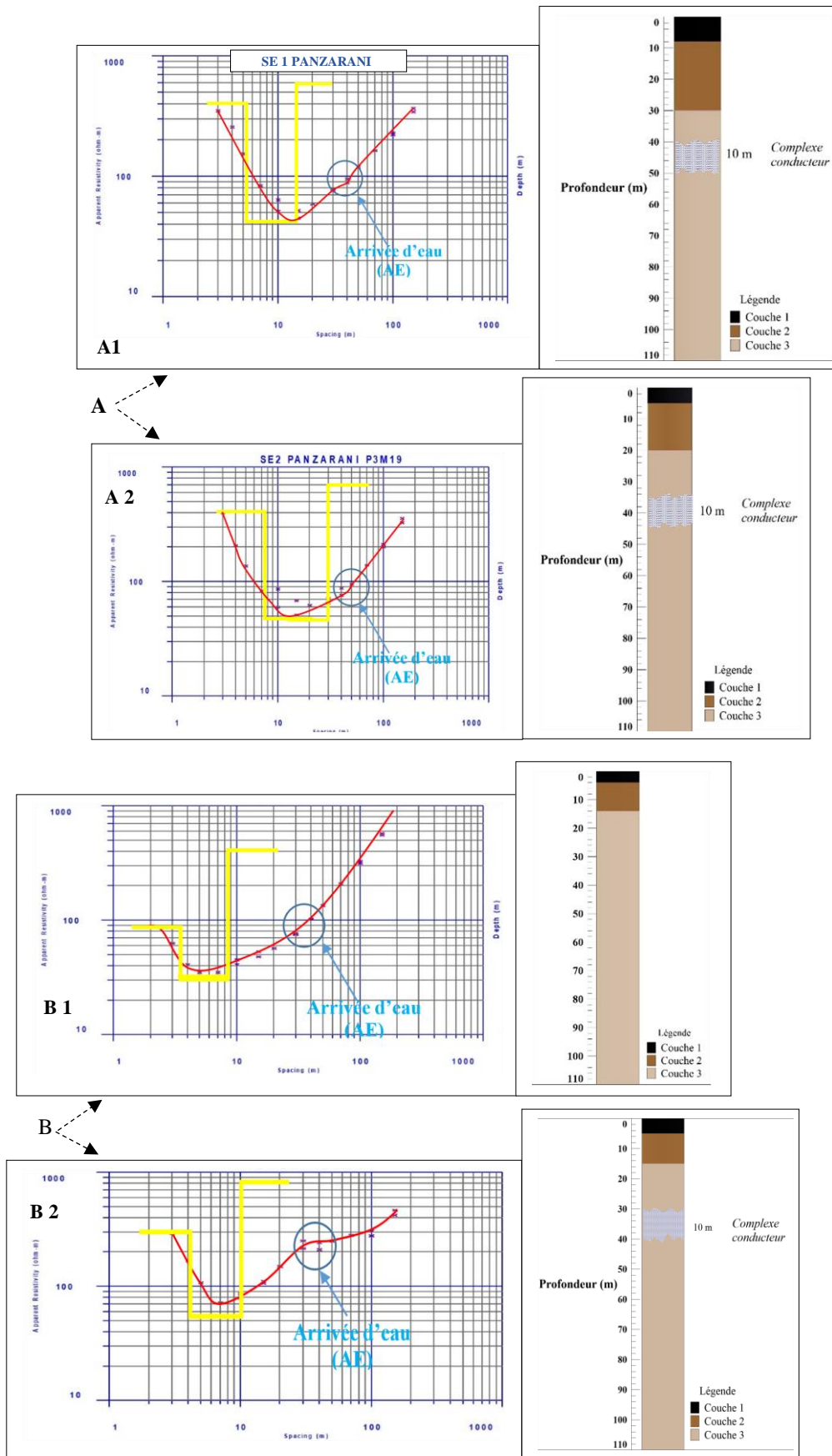


Fig. 5. Courbes de sondage électrique et log géo-électrique associés. A: Site de Panzarani et B: Site de Bipirdou

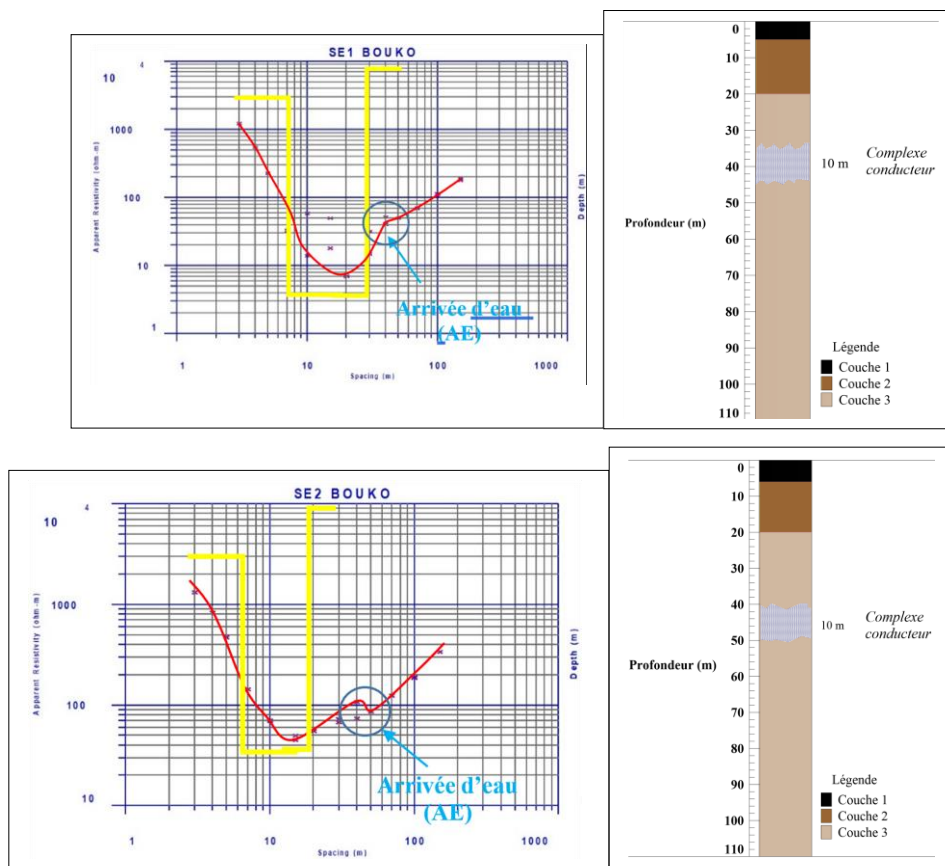


Fig. 6. Courbes de sondage électrique et log géo-électrique associés, site de Bouko

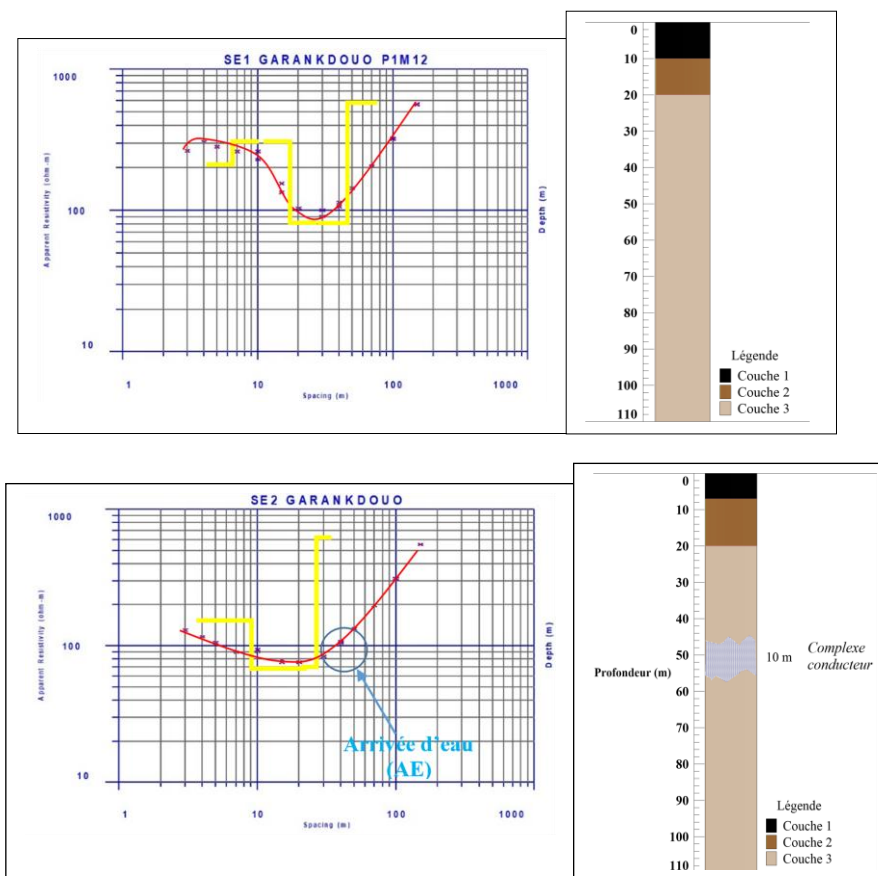


Fig. 7. Courbes de sondage électrique et log géo-électrique associés, site de Garankodouo

Sur les sondages électriques de Garankodouo (Figure 9-D) et Normidouo (Figure 9-E), l’épaisseur d’altération a été surestimée (Indiquée si possible les valeurs par rapport à celles des forages correspondants. Les dissimilitudes de l’épaisseur d’altération observées entre les sondages électriques et les forages correspondants, seraient dues à la présence de nombreuses fractures gorgées d’eau, comme en témoignent les arrivées d’eau (AE) matérialisées sur les coupes lithologiques. Dans ces conditions, l’eau de faible résistivité donne au niveau du signal électrique du sondage une impression d’une forte épaisseur d’altération et donc d’un substratum profond. Alors, la partie du substratum qui est en réalité conductrice à cause de la présence d’eau, est considérée au niveau du sondage comme une partie de l’altération. C’est ce qui pourrait expliquer les fortes épaisseurs d’altération notées sur certains sondages électriques.

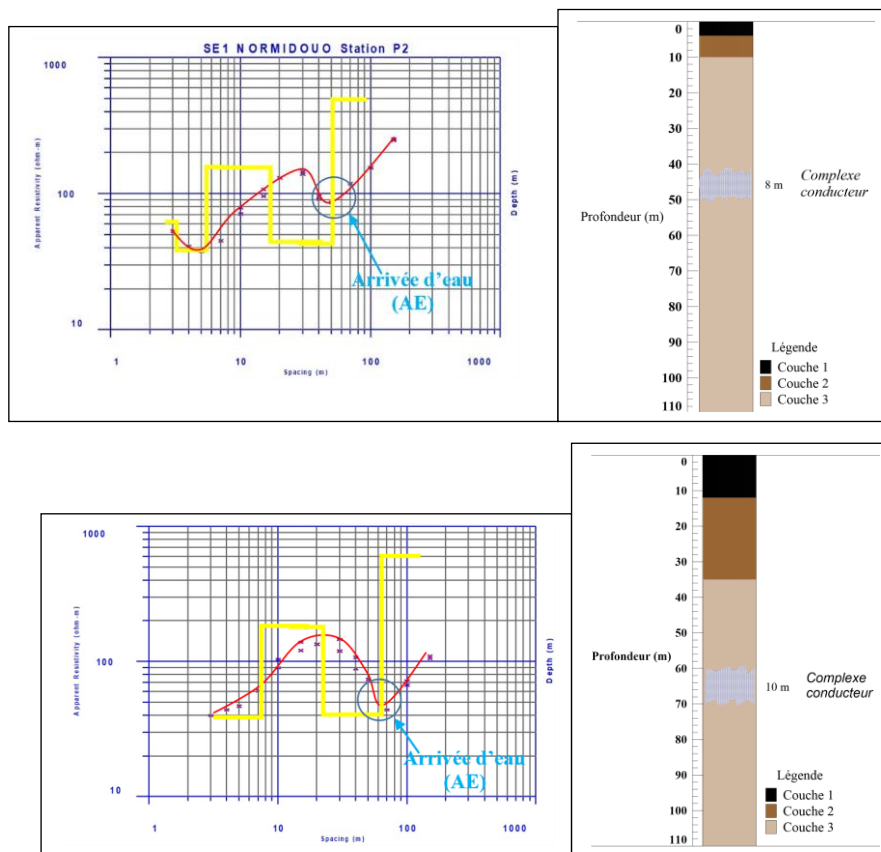


Fig. 8. Courbes de sondage électrique et log géo-électrique associés, site de Normidouo

5 DISCUSSION

La question d’alimentation en eau potable en zone de socle est l’une des préoccupations majeures de l’hydrogéologie. Ce qui nécessite la connaissance du sous-sol pour mieux caractériser les aquifères. Plusieurs travaux antérieurs ont abordé ce problème en utilisant les méthodes de la télédétection et des SIG (Savane, 1997 [15]; Jourda, 2005 [16]; Youan Ta, 2008 [4]; Lasm *et al.*, 2012 [17]) et de la géophysique à partir des méthodes électriques (Sombo *et al.*, 2011 [18]; Kouakou *et al.*, 2012 [19]; Kouakou *et al.*, 2015 [12]).

Les prospections géophysiques par la méthode de résistivité électrique réalisées dans le département de Bouna ont permis de mettre en évidence plusieurs couloirs conducteurs qui traduisent la signature des fractures à potentialité hydrogéologique au sein du socle cristallophyllien. En effet, selon Sombo (2006) [20], les zones d’anomalies conductrices sont le plus souvent associées à des zones de discontinuités (zones de contact et/ou fractures).

En outre, des études antérieures (Engalenc *et al.*, 1979 [21]; Savane, 1997 [15]; Kouadio, 2015 [22]) ont montré que les fractures parallèles à la direction des contraintes de compression sont ouvertes, alors que celles qui en sont orthogonales se trouvent fermées. Celles qui sont ouvertes sont susceptibles d’emmagasiner de l’eau, donc favorables à la productivité des ouvrages, tandis que celles qui sont fermées ne peuvent pas jouer un rôle hydrogéologique (Kouakou *et al.*, 2015 [12]). Ainsi les fractures de directions NE-SW (direction éburnéenne) et N-S (parallèles à la contrainte de compression des séries précambriennes) sont considérées comme des fentes de tension qui sont ainsi prometteuses pour des investigations des eaux souterraines. Tandis que les fractures d’orientation NW-SE et E-W, orthogonales aux contraintes de compression seraient fermées, donc peu pénétrables.

Selon Sombo *et al.* (2011) [18], les courbes de sondages électriques de type H (courbe en "fond de bateau") caractérisent les régions à cuirasses latéritiques. Ce qui en conformité avec nos résultats de sondage qui présentaient dans la majorité des courbes en "fond de bateau", en dehors de Normidou et Garankodou où nous avons obtenu à la fois des courbes en "cloche" puis en "fond de bateau".

Cette lithologie est corroborée par les résultats des travaux de Youan (2008) [4]. Ce dernier montre que les formations superficielles de la région de Bondoukou, localité proche du département de Bouna, sont essentiellement composées des cuirasses latéritiques.

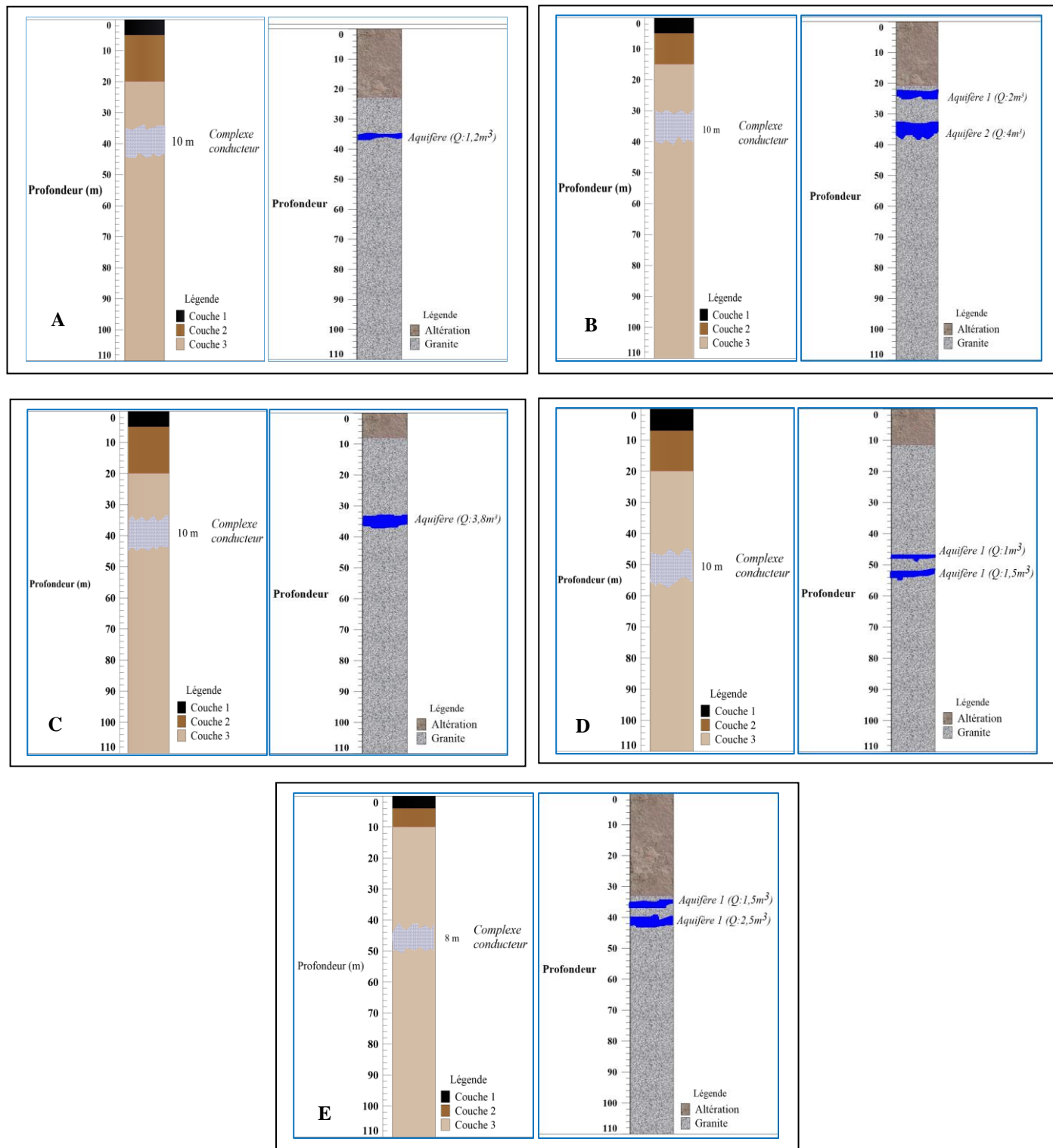


Fig. 9. Corrélation Logs géo-électrique et logs géologiques des différents sites: A = Panzarani, B = Bipirdou, C= Bouko, D = Garankodou et E= Normidou

D'après Lasm (2000) [23], dans des conditions géologiques particulières (matériaux d'altération argilo-sableux notamment), la résistivité électrique n'est pas un indicateur univoque de la ressource en eaux souterraines.

De ce fait, les variations de résistivité peuvent être interprétées non seulement, comme des variations de la teneur en eau, mais aussi de la teneur en argiles des horizons du sous-sol. Dans ce cas, les forages mécaniques ont été un apport considérable, puisqu'ils nous ont permis de confirmer de façon physique la succession des couches géologiques, ainsi que les différentes arrivées d'eau observées sur les courbes de sondages électriques.

6 CONCLUSION

La présente étude avait pour objet d'identifier les aquifères de fracture par la mesure des contrastes de résistivités électriques dans le Département Bouna. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence, au sein du socle, des fractures ouvertes et orientées N-S, NW-SE et NE-SW. Les corrélations entre les logs géo-électriques et géologiques ont révélé que l'épaisseur du complexe d'altération avoisine 12 m et les aquifères de fracture sont situés autour de 50 m environ. Aussi, les forages hydrauliques réalisés ont montré que l'aquifère est essentiellement granitique et ont estimé les débits utiles à 4,15; 3,85; 2,5; 1,5 et 1,25 m³/h respectivement à Bouko, Bipirdouo, Normidouo, Garankodouo et à Panzani. La mesure des contrastes de résistivité électrique contribue grandement dans la cartographie des aquifères de fracture en milieu cristallophyllien.

REMERCIEMENTS

Les auteurs témoignent leur gratitude au Bureau de Recherche Géophysique qui a accepté, dans le cadre de ce projet universitaire, de mettre à notre disposition les données d'étude de terrain.

REFERENCES

- [1] Youan TA M., Lasm T., Jourda J. P., Saley M.B., Adja G.M., Kouame K. et Biemi J. Cartographie des eaux souterraines en milieu fissuré par analyse multicritère: Cas de la région de Bondoukou (Côte-d'Ivoire). *Revue internationale de géomatique*. 21, 1: 43-71, 2011.
- [2] Brida A. Etude statistique des écoulements et bilan hydrique des cours d'eau en Côte D'ivoire. Mémoire de DEA. Université D'abobo-Adjame, 114 p., 2008.
- [3] Soro T. D., Soro N., Oga Y. M. S., Lasm T., Soro G., Ahoussi K. E. et Biémi J. La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), *hysio-Géo*. Volume 5 | -1, 55-73, 2015.
- [4] Youan Ta M. Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: cas de la région de Bondoukou Nord Est de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat unique, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 236 p., 2008.
- [5] CI-Energies. Rapport provisoire ministère du pétrole, de l'énergie et des énergies renouvelables: plan cadre de gestion environnementale et sociale dans la région de Bounkani 16p., 2019.
- [6] Tagini B. Essai structurale de la cote d'ivoire. Essai géotectonique régionale. *Thèse d'Etat Univ. Lausanne*. Sodemi bull. n°5, 302p., 1971.
- [7] Bessoles B. Géologie de l'Afrique le craton ouest africain. Bureau de recherches géologiques et minière. (BRGM) n° 88, pp 1-144,1977.
- [8] Lüdtke G., Hirdes W., Konan G., Kone Y., Yao C., Diarra S. et Zamblé Z. Géologie de la région haute Comoé nord, avec carte géologique 1/100000. Bulletin n°1, ed.: République du Côte d'Ivoire; Ministère des ressources minières et pétrolières.; direction de la géologie, 178 p, 1999.
- [9] Richard F. Investigation géophysique appliquée à l'hydrogéologie département de géologie et de génie géologique, Université Laval, 2017.
- [10] Chapellier. De l'importance des cartes de résistivités. *eclogae geologicae helvetiae*, n°74, 9 p, 1981.
- [11] Boudoukha A. Identification des aquifères profonds par la prospection électrique. Application à l'Est algérien. *Sci. Technol. A*, 28, 47-52,2008.
- [12] Kouakou K. E. G., Dosso L., Kouame L. N., Sombo B. C. et Sombo A. P. Contribution des méthodes de résistivité électrique à la recherche d'eau en milieu cristallin: cas de Yakasse-Attobrou et d'Abié, région de la Mé. Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sciences et technologie*, 26, 194-211, 2015.
- [13] Sombo A. P. 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, Abidjan, Côte d'Ivoire, 203 p, 2012.
- [14] Koussoube Y., Nakolendousse S., Bazie P., Savadogo A. N. 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, 26-34, 2003.

- [15] Savane I. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle d'Odienne Nord-Ouest de Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à références spatiales (Sihrs). Thèse d'Etat es sciences naturelles, université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 398p, 1997.
- [16] Jourda J. P. Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissures d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale: cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de doct. d'Etat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire 430 p, 2005.
- [17] Lasm T., Fossou R. M., Onetie Z. O., Baka, D., Youan, Ta M., Oga, M. S. et Soro N. 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, 2012.
- [18] Sombo A. P., Kouassi, W. F., Sombo, B. C., Kouame, L. N. et Kouakou, K. E-G. Contribution de la prospection électrique à l'identification et à la caractérisation des aquifères de socle, du département de Sikensi (Sud de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216x (64) N°2 (2011), 206-219, 2011.
- [19] Kouakou K. E-G., Sombo B. C., Digbéhi Z. B., Kouassi W. F., Sombo A. P. et Kouamé L. N. 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*, ISSN 1450-216x vol.83, N°2, 230-244, 2012.
- [20] Sombo A. P. Apports des méthodes géophysiques d'investigations latérales, dans l'implantation d'ouvrages de captage à Sikensi. Mémoire de DEA, Univ. Cocody, 58 p, 2006.
- [21] Engalenc M., Grillot J.C. et Lachaud J. C. Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches de l'Afrique de l'ouest. *Edition geohydraulique*, vol. 2, 79-91, 1979.
- [22] Kouadio K.L. Etude statistique des paramètres des anomalies conductrices et conception d'un modèle de débit de forage en milieu du socle: cas des régions du Bélier, Ifou, Gbeke et Bagoué. Mémoire de Master. Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan, 75 p., 2015.
- [23] Lasm T. Hydrogéologie des réservoirs fractures de socle: analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques, application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen). *Thèse de doctorat*, Université de Poitiers, France, 233 p, 2000.