

Approche interprétative des données de prospection hydrogéologique et géophysique pour le choix des meilleurs sites de forages en milieu de socle cristallin et métamorphique en Côte d'Ivoire

Konan Emmanuel KOUADIO⁽¹⁾ - Arthur Brice KONAN-WAIDHET⁽²⁾

⁽¹⁾ UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire ; Email : emmakouadio@hotmail.com

⁽²⁾ UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire ; Email : konanwab@yahoo.fr

Introduction

Au cours des campagnes d'implantation des forages par géophysique, plusieurs sites (2 ou 3) sont généralement identifiés dans chaque localité. Cependant, parmi les sites prospectés, le choix du meilleur à forer en premier lieu pose souvent problème à tel enseigne qu'on assiste fréquemment à la réalisation de forages négatifs sur les premiers sites choisis. Dans ces conditions, c'est le deuxième ou le troisième forage qui donne des résultats positifs. Or, si le choix respecte rigoureusement les critères objectifs, on pourrait établir un ordre de foration efficient et éviter les forages négatifs à la première tentative. Cela montre qu'il y a une insuffisance d'interprétation des données acquises lors des investigations hydrogéologiques et géophysiques (Sree et al., 2001 ; Sultan et al, 2009). On constate donc une sorte de tâtonnement dans la classification définitive des sites selon un ordre de priorité.

En réalité, la synthèse des critères de choix est souvent mal faite. En d'autres termes, les conditions hydrogéologiques des sites et les résultats des mesures de résistivités apparentes sont souvent mal compilés pour ressortir une classification rationnelle des sites sélectionnés (Michael et al, 2012).

Dans le souci d'aider les praticiens du domaine des forages, en l'occurrence les hydrogéologues et géophysiciens, il a été adopté, dans le cadre de la phase 3 du programme KfW VI destiné à l'alimentation en eau potable des centres urbains, une nouvelle approche d'interprétation des données d'investigations et de choix des sites de forages. Cette étude vise donc à mettre en place un outil scientifique permettant d'optimiser l'ordre de foration, de minimiser les échecs et de rentabiliser au mieux les campagnes de forages.

I. APERÇU GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

L'étude a été menée dans quinze (15) localités réparties sur le territoire ivoirien (Figure 1) dans le cadre du projet KfW VI. Au regard de la multiplicité des zones à couvrir et de la répartition géographique des localités, le cadre environnemental varie dans l'espace mais aussi dans le temps. Par exemple, le contexte géologique et hydrogéologique varie d'une zone à l'autre tandis que les conditions climatiques évoluent dans le temps et ont un impact inéluctable sur les ressources en eau.

Dans les secteurs étudiés, on retrouve les formations du protérozoïque inférieur telles que le granite à biotite observé à Doropo, Bayota, Konéfla, Canton N'Goys, Doukouya, Binao et Gadouan-Zagoréta. Il y a également les formations birimiennes, à savoir des schistes observés à Amoriakro et Loviguié. Quelques formations archéennes, notamment les migmatites ont été identifiées à Lataha, Nambingué, Toumoukoro, Dignago et Bonoufla. Dans ce groupe, le gneiss constitue le socle cristallin de Iroporia (Tagini B, 1971).

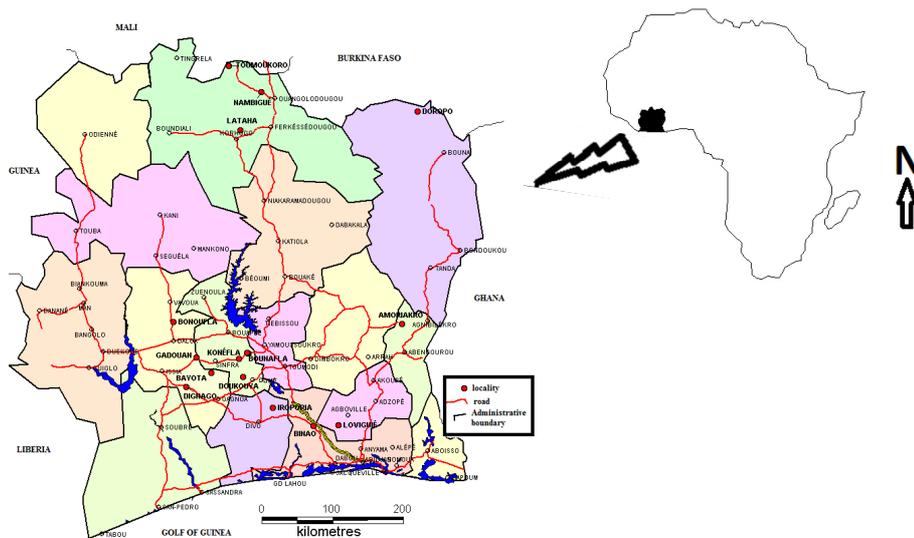


Figure.1- Location des sites d'études à travers la Côte d'Ivoire

Sur le plan hydrogéologique, tous les centres sont situés en milieu de socle fissuré. L'alimentation des nappes dépend de la pluviosité régionale, de la géomorphologie du bassin versant et du degré de fracturation du socle. Ainsi, la recherche des nappes est axée sur les fractures (Biémi, 1992).

II. MATERIEL ET METHODES

Une étude morpho-structurale a été menée en vue de déterminer le contexte hydrogéologique de chaque localités à partir des photographies aériennes couplées à des cartes topographiques et hydrographiques à l'échelle 1/50000. Ainsi les linéaments principaux sont tracés sur des photographies aériennes à l'aide d'un stéréoscope (Figure 2). En s'appuyant sur des extraits de cartes topographiques et hydrographiques, on apprécie la morphologie du terrain et on détermine les directions de prospection géophysique en avance.

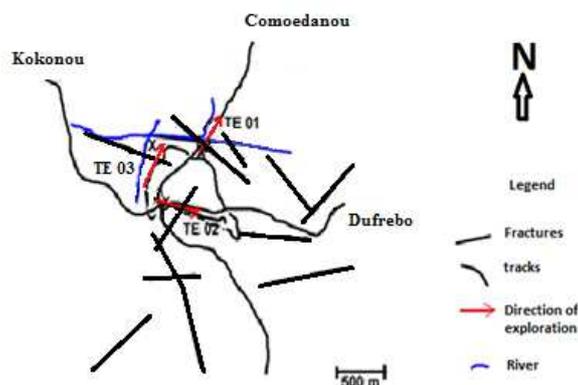


Figure 2 - Exemple de cartographie des linéaments dans le village d'Amoriakro

Sur le terrain, les fractures s'expriment à travers leurs signatures repérées sous forme d'anomalies visibles dans la géomorphologie : alignement de végétation, alignement de termitières épigées, réseau hydrographique, thalweg, filons, fractures dans les affleurements, etc. (Koussoubé et al, 2003). Ces structures ont été repérées à l'aide des cartes topographiques à l'échelle 1/50000, d'une boussole et d'un GPS.

Les méthodes géophysiques appliquées sont le traîné électrique et le sondage électrique selon l'approche de Schlumberger.

La méthode du traîné électrique a été utilisée pour suivre la continuité latérale des couches en une position donnée, et permettent de confirmer la présence ou l'absence d'anomalies (Bakkali et al, 2004). La méthode de sondage électrique a été utilisée pour déterminer les épaisseurs, la nature des structures verticales et la profondeur de l'anomalie sous la station de mesure. Sur chaque endroit prospecté on retient un site d'implantation de forage, soit au total trois (3) sites par localité. A chaque site retenu, on attribue une lettre alphabétique comme identité : A, B ou C dans l'ordre des opérations de prospection.

A ce stade, il convient de classer ces trois sites sur la base des critères suivants : hydrogéologie, géophysique, accessibilité, distance par rapport à la ligne électrique. Cette classification permet de définir l'ordre de priorité pour la campagne de forages.

Toutefois, les deux critères objectifs qui priment dans la classification sont le contexte hydrogéologique et les résultats de prospection géophysique. L'analyse des différents critères permet d'attribuer à chaque site des étoiles dont le nombre varie de 1 à 3 (* ou ** ou ***) selon l'appréciation de la qualité du critère étudié. Trois étoiles (***) sont attribuées lorsque le paramètre évalué est « très probant ». Deux étoiles (**) sont attribuées lorsque le paramètre évalué est « assez probant ». Une seule étoile (*) est attribuée lorsque le paramètre évalué est « juste acceptable ».

Pour la classification des sites A, B et C, on additionne les étoiles et le site qui obtient le nombre le plus élevé d'étoiles est en première position (Site d'ordre 1), ainsi de suite. C'est donc le site prioritaire dans l'ordre de foration. Il est suivi en deuxième position par le site le plus coté parmi les deux restants (Site d'ordre 2). C'est ce site qui est foré lorsque le premier ne donne pas satisfaction (forage négatif ou débit insuffisant). Dans le cas où les deux premiers sites ne donnent pas le débit escompté, on sonde le troisième (Site d'ordre 3). Le critère « géophysique » est basé sur les valeurs de résistivités apparentes. Les profils de résistivités sont tracés sur le diagramme bi-logarithmique et analysés en vue d'identifier les points les plus favorables.

III. Résultats, interprétations et discussions

Les données recueillies suite aux investigations hydrogéologiques et géophysiques ont été compilées pour en ressortir la classification des sites par ordre de priorité pour la campagne de forages tout en tenant compte de l'accessibilité des engins de forages aux sites choisis (Tableaux 1 et 2).

Localités	Sites	Hydrogéologie	Géophysique	Distance à la ligne électrique	Accès	Ordre forage
Amoriakro	A	***	**	900	Accessible	2
	B	**	***	40	Accessible	1
	C	***	*	800	Piste à créer sur 300 m	3
Bayota	A	**	*	100	Accessible	3
	B	***	**	1000	Accessible	1
	C	**	**	200	Accessible	2
Binao-Boussoué	A	***	*	800	Accessible	3
	B	**	**	150	Accessible	2
	C	**	***	500	Accessible	1
Bonoufla	A	**	**	300	Accessible	1
	B	**	**	400	Accessible	2
	C	*	*	600	Accessible	3
Bazré	A	**	**	400	Accessible	2
	B	*	**	100	Accessible	3
	C	**	**	150	Accessible	1
Dignago	A	**	*	200	Piste à créer sur 150 m	3
	B	**	*	100	Accessible	2
	C	*	**	400	Accessible	1
Doropo	A	*	**	70	Accessible	3
	B	***	*	1600	Piste à créer sur 250 m	2
	C	**	**	300	Accessible	1
Doukouya	A	***	**	250	Accessible	1
	B	**	**	70	Accessible	3
	C	*	***	50	Accessible	2
Gadouan	A	**	**	500	Accessible	1
	B	**	**	800	Accessible	2
	C	**	*	500	Accessible	3
Iroporia	A	**	**	800	Accessible	2
	B	*	*	500	Accessible	3
	C	***	**	300	Piste à créer sur 500 m	1
Kononfla	A	**	***	150	Accessible	1
	B	**	***	200	Accessible	2
	C	**	**	700	Accessible	3
Lataha	A	**	***	1000	Accessible	1
	B	*	*	1200	Accessible	3
	C	**	*	500	Piste à créer sur 150 m	2
Loviguié	A	***	**	150	Piste à créer sur 150 m	1
	B	*	**	30	Accessible	3
	C	**	**	450	Accessible	2
Nambingué	A	**	**	750	Accessible	2
	B	*	**	600	Piste à créer sur 250 m	3
	C	**	**	350	Accessible	1
Toumoukoro	A	**	**	70	Accessible	2
	B	**	***	70	Accessible	1
	C	**	**	600	Accessible	3

Tableau 1: Nombre d'étoiles obtenu par les paramètres étudiés et détermination de l'ordre de foration

Localités	Ordre forage	Débit	Besoin de la population (m3/h)	Analyse des résultats de forage
Amoriakro	2	non foré	6	Succès du forage 1 qui couvre les besoins donc les autres sites ne sont pas forés
	1	12.6		

Vingtièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie
de l'Association Internationale des Hydrogéologues.

« Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles » La Chapelle-Hermier juin 2015

	3	non foré		
Bayota	3	non foré		Le forage 1 a donné un débit acceptable mais insuffisant pour couvrir les besoins, donc le site 2 a été foré. L'appréciation des données de prospection n'a pas permis de quantifier les nappes
	1	7,96	19,4	
	2	18,9		
Binao-Boussoué	3	1,13		Le débit du forage 1 ne couvre pas les besoins donc les sites 2 et 3 ont été forés. Mais les débits des derniers forages sont faibles. Le forage 1 est donc admis pour exploitation en attendant un forage de renforcement
	2	0,98	12,2	
	1	9,45		
Bonoufla	1	11,63		Le forage 1 a donné un débit acceptable mais insuffisant pour couvrir les besoins, donc le site 2 a été foré. Le site classé 2è est meilleur. L'appréciation des données de prospection n'a pas permis de quantifier les nappes
	2	37,8	17,5	
	3	non foré		
Bazré	2	non foré		Succès du forage 1 qui couvre les besoins donc les autres sites ne sont pas forés.
	3	non foré	9,1	
	1	44,5		
Dignago	3	8,9		Le débit du forage 1 ne couvre pas les besoins. Le forage 2 a été négatif. C'est le site classé 3ème qui a donné le meilleur débit. L'interprétation des données n'a pas été correcte ou il y a eu défaillance dans les mesures.
	2	0,33	9,5	
	1	5,04		
Doropo	3	Non foré		Succès du forage 1 qui couvre les besoins donc les autres sites ne sont pas forés.
	2	Non foré	11,3	
	1	21,2		
Doukouya	1	5,82		Le débit du forage 1 ne couvre pas les besoins. Le site 2 a donné plus que le débit escompté. L'interprétation des données n'a pas permis de quantifier les nappes
	3	non foré	9,4	
	2	16,9		
Gadouan	1	13,75		Le forage 1 a donné un débit intéressant mais insuffisant pour couvrir les besoins, donc le site 2 a été foré. Ici le besoin est énorme, donc la foration des deux sites s'impose pour atteindre l'objectif. L'écart entre les deux débits étant minime, on peut dire que le choix des sites a été bien mené.
	2	16,8	26,7	
	3	non foré		
Iroporia	2	2,6		Le forage 1 a donné le meilleur débit. Les sondages des sites 2 et 3 ont donné des débits plus petits. La tentative de trouver un débit complémentaire important a échoué. Le site 1 a été bien choisi même le débit couvre à peine les besoins
	3	4,72	10,5	
	1	10,8		
Kononfla	1	1,02		Le débit du forage 1 est infime par rapport aux besoins. C'est le site 2 qui a donné un bon débit qui couvre les besoins. L'ordre de foration n'a pas été correct.
	2	25,2	18,8	
	3	non foré		
Lataha	1	12,6		Succès du forage 1 qui couvre les besoins donc les autres sites ne sont pas forés
	3	non foré	6,5	
	2	non foré		
Lovigué	3	37,8		Le site 1 n'ayant pas été accessible au passage de l'atelier en période pluvieuse, les sites 2 et 3 ont été d'abord forés mais les débits ont été insuffisants. Le site 1 a été foré en période sèche et a donné un débit largement suffisant. L'interprétation des données a été correcte.
	2	4,45	6,6	
	1	0,25		
Nambingué	2	non foré		Succès du forage 1 qui couvre les besoins donc les autres sites ne sont pas forés
	3	non foré	10,2	
	1	30,24		
Toumoukoro	2	non foré		Succès du forage 1 qui couvre les besoins donc les autres sites ne sont pas forés
	1	12,6	6,5	
	3	non foré		

Tableau 2 : Les résultats et leurs interprétations selon les débits et l'ordre de foration

III. 1 Appréciation des résultats de prospection hydrogéologique

L'étude de la fracturation permet d'apprécier l'hydraulicité des zones prospectées. Plus la zone est fracturée, plus l'interconnexion des fractures est assurée et plus la chance de rencontrer une fracture productive est élevée (Lasm, 2000). Les propriétés de l'aquifère et le débit des forages en milieu cristallin dépendent des paramètres tels que le nombre, la longueur, l'orientation et la densité des linéaments (Summers, 1972 ; Engalenc, 1981; Savané et al, 1993).

L'analyse géomorphologique a permis d'apprécier la qualité extérieure des terrains prospectés. Ainsi, les zones de convergence des anomalies visibles (cours d'eau, thalweg, etc.), constituent des zones potentielles d'infiltration des eaux de pluies et d'alimentation de la nappe souterraine (Croke and al, 2011). Lorsque les pentes sont adoucies, les eaux de ruissellement ont le temps de s'infiltrer si la perméabilité du terrain le permet. Par contre, une pente abrupte est le lieu d'un ruissellement rapide qui ne favorise pas la rétention des eaux ruisselantes qui s'accumulent en un temps court à l'exutoire du bassin versant (Banton et al, 1997).

En résumé, les sites ont été cotés en tenant compte de l'environnement hydrogéologique. Le nombre d'étoiles traduit la qualité des conditions hydrogéologique :

- * structure peu marquée (site C de Bonoufla, site B de Bazré, etc.) ;
- ** structure assez bien marquée (site B d'Amoriakro, site A de Bayota, etc.) ;
- *** structure bien marquée à priori favorable (site A d'Amoriakro, site B de Bayota, etc.).

III.2 Appréciation des résultats d'investigations géophysiques

L'analyse est portée sur les valeurs de résistivités apparentes et des contrastes observés à travers les profils de résistivité établis sur le diagramme bi-logarithmique autant pour le traîné électrique que pour le sondage électrique. La résistivité ρ d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique (Chapellier, 2000). Sur les profils de traînés électriques, les points de plus faibles résistivités sont les endroits les plus conducteurs. La prospection géophysique est orientée vers la recherche des contrastes dans le sous-sol étudié.

III.2.1 Cas des traînés électriques

Le choix du meilleur site provisoire sur une ligne de prospection (layon) tient compte de la forme de l'anomalie mise en évidence sur le profil de résistivités. Ainsi une étude menée par Dieng et al (2004) a mis en évidence sept formes possibles d'anomalies. Les anomalies en forme de U, H ou V sont les meilleures du fait que, par expérience, les forages réalisés sur ce type d'anomalies ont donné les meilleurs débits (Figures 3, 4 et 5)

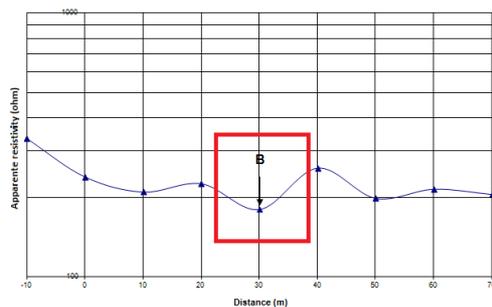


Figure 3 - Profil des résistivités apparentes du traîné électrique d'Amoriakro : anomalie de forme V

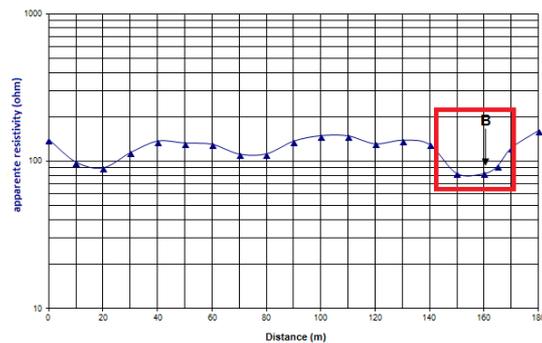


Figure 4 - Profil des résistivités apparentes du traîné électrique de Bayota : anomalie de forme U



Figure 5 - Profile des résistivités apparentes
du traîné électrique de Kononfla : anomalie
de forme H

III.2.2 Cas des sondages électriques

Au niveau des profils de sondage électrique, le contraste observé sur le profil de résistivités se traduit par la présence d'une anomalie à la profondeur correspondante. Lorsque la remontée d'une branche est traînante, alors cela témoigne de la présence de fissuration en profondeur (Figures 6 et 7). En effet, il y a réapparition des résistivités relativement moins élevées au niveau du socle qui lui-même est très résistant. Plus la zone traînante est importante, plus la frange fissurée est étendue (Savado, 1984).

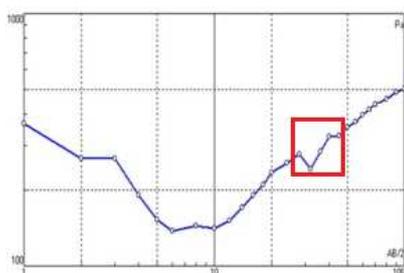


Figure 6 : Contraste simple sur le profil (Bayota)

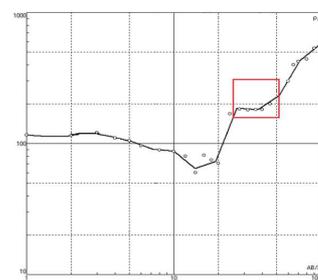


Figure 7 : Contraste traînant sur le profil (Bazré)

Une hiérarchie est établie entre les différents sites implantés en vue de déterminer l'ordre d'exécution des forages. Cet ordre est basé sur les indices exprimés sous forme de résistivités apparentes et appréciés à travers les profils. Ainsi, il a été défini les indices suivants :

- * faible indice géophysique : le contraste qui marque la présence de l'anomalie n'est pas net ;
- ** indice géophysique moyen : le contraste est assez bien visible mais n'exprime pas une forme propre ;
- *** indice géophysique fort : le contraste est très net et l'anomalie est similaire aux formes U, H ou V et un contraste traînant sur le profil de sondage.

III.4 Résultats de la campagne de forages et discussions de la méthode

La campagne de forages a eu lieu dans l'ensemble des localités. L'ordre de prospection défini à la suite de l'analyse des données hydrogéologiques et géophysiques a été respecté à l'exception de Lovigué à cause de l'inaccessibilité au site prioritaire en temps pluvieux. A travers l'analyse des résultats obtenus en termes de productivité des forages, il a été possible de faire l'autocritique de la présente méthode de prospection (Tableau 3).

Localités	nombre de forages réalisés	Nombre de forages positifs	nombre de forages négatifs
Amoriakro	1	1	0
Bayota	2	2	0
Binao-Boussoué	3	1	2
Bonoufla	2	2	0
Bazré	1	1	0

Dignago	3	2	1
Doropo	1	1	0
Doukouya	2	2	0
Gadouan	2	2	0
Iroporia	3	1	2
Kononfla	2	1	1
Lataha	1	1	0
Loviguié	3	2	1
Nambingué	1	1	0
Toumoukoro	1	1	0
TOTAL	28	21	7
Pourcentage (%)		75	25

Tableau 3: Récapitulatif des résultats de forages

Un forage est jugé positif lorsqu'il permet de couvrir les besoins de la population ou lorsqu'il produit un débit supérieur ou égal à 5 m³/h dans le cadre de ce projet. En considérant le débit de 5 m³/h, le site classé prioritaire de Kononfla a échoué car le débit est de 1,02 m³/h.

En raisonnant sur la base de la couverture des besoins, les sites respectivement en position 1 de Bayota, Dignago, Bonoufla, Doukouya, Gadouan, Iroporia n'ont pas donné les résultats escomptés. C'est pourquoi, un deuxième, voire un troisième forage a été réalisé en vue d'additionner les débits pour satisfaire les besoins. C'est le cas typique de Gadouan et Bayota où les besoins sont énormes parce qu'il s'agit de grandes agglomérations relativement peuplées.

En comparant les débits, on se rend compte que les sites classés en ordre 1 ne donnent pas forcément les meilleurs débits. Certains classés en deuxième position ont donné de meilleurs débits. C'est le cas de Bayota, Bonoufla, Kononfla et Gadouan. Cela veut dire que l'étude n'a pas permis de quantifier les nappes même si elle permet de les localiser.

CONCLUSION

Au terme de la campagne de forages, qui a suivi l'ordre prédéfini à l'exception d'une localité pour des raisons d'accessibilité, les résultats sont probants. Toutes les localités ont été équipées d'un forage pouvant satisfaire les besoins des populations. Sur un total de 28 sondages effectués, 21 sont avérées positives, soit 75% de réussite sur la base d'un débit minimum admissible de 5 m³/h.

Cependant, dans la pratique, il est bon de noter que le champ de prospection de l'hydrogéologue est parfois limité compte tenu de certaines contraintes d'ordre sociologique telles que les cimetières, les bois sacrés de l'Afrique, etc. Par ailleurs, lorsque le forage est très éloigné de la ligne électrique dans le cadre d'une exploitation avec une pompe électrique ou si l'environnement du forage nécessite des travaux de génie civil (remblai, canaux d'évacuation d'eaux pluviales, etc.), il devient plus coûteux en investissement. Dans tous les cas, il reste à développer de nouvelles technologies pour quantifier les nappes de fissures. Les méthodes électriques de la géophysique qui sont d'ailleurs les plus utilisées dans la recherche de l'eau souterraine ne permettent pas encore de donner une idée nette de la capacité de production de la nappe surtout en milieu discontinu de socle fissuré.

Références bibliographiques

- [1] Bakkali S. et Bouyalaoui J., 2004 - Prospection géophysique appliquée à l'évaluation des eaux souterraines de Médiouna (Tanger, Maroc). Journal des Sciences pour l'Ingénieur, N°4/2004, PP 13-22.
- [2] Banton O. et Bangoy L.M., 1997 - Hydrogéologie, Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada, 460 p.

- [3] Biemi J., 1992 - Contribution de l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'ouest: hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse d'Etat es-Sciences naturelles, Université d'Abidjan, 424 p.
- [4] Chapellier D., 2000 - Prospection électrique de surface. Cours *online* de géophysique – résistivités électriques. Université de Lausanne, Institut français de géophysique appliquée, 102 p.
- [5] Croke B.F.W., Islam A., Ghosh J. and Khan M. A., 2011 - Evaluation of approaches for estimation of rainfall and the unit hydrograph. *Hydrology Research*, Volume 42 n°5/2011, pp 372-385.
- [6] Dieng B., Kouassi A.H. et Bakyono B.A., 2004 - Optimisation de l'implantation géophysique des forages en zone de socle au Nord du Burkina Faso. *Sud Sciences et Technologies*, N°12 – juin 2004, pp 21-30.
- [7] Engalenc, 1981 - Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest, volume 3. Atlas de photo-interprétations. CIEH, Géohydraulique, 38 p.
- [8] Koussoubé Y., Savadogo A.N. et Nakolendoussé S., 2003 - Les différentes signatures des fractures de socle cristallin en zone sahélo-soudanienne du Burkina Faso (bassin versant de Bidi, province du Yatenga). *Télédétection*, 2003, vol. 3, n° 5, p. 419-427.
- [9] Michael J.F., Oderson A.S.F., Fabio I., Adalene M.S., Sueli Y., 2012 - Data-driven modeling for groundwater exploration in fractured crystalline terrain, northeast Brazil. *Hydrogeology journal*, Volume 20, Issue 6, pp 1061-1080.
- [10] Savadogo N.A., 1984 - Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de la Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. *Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université Scientifique et Médicale de Grenoble*, 351 pages
- [11] 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). Apport de la Télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. – Thèse d'Etat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 396 p.
- [12] Sree P.D., Srinivasulu S., Kesava K.R., 2001 - Delineation of groundwater potential zones and electrical resistivity studies for groundwater exploration. *Environmental Geology*, Volume 40, Issue 10, pp 1252-1264.
- [13] Sultan A.S., Hatem M.M., Fernando M.S., 2009 - Groundwater exploration and evaluation by using geophysical interpretation (case study: Al Qantara East, North Western Sinai, Egypt). *Arabian Journal of Geosciences*, Volume 2, Issue 3, pp 199-211.
- [14] Summers W.K., 1972 - Specific capacities of wells in crystalline rocks. *Groundwater*, vol.10, n°16, pp 37-47.
- [15] Ngo Y.A., Lasm T., Koïta M. et Savané I., 2010 - Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro (Centre est de la Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 1, p. 33-42.
- [16] Youan Ta M., Lasm T., Jourda J. P., Kouamé K.F., Razack M., 2008 - Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire landsat-7 etm+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (nord-est de la côte d'ivoire), *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 2, p. 119-135.