

Evaluation de la productivité en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géo-structurales des aquifères de fissure de la région du Poro (Nord Côte d'Ivoire)

[Productivity evaluation according to the hydrodynamic and geo-structural characteristics of the fissure aquifers of the Poro region (North Ivory Coast)]

Adama Diabagaté, Tié Albert Goula, and Gneneyougo Emile Soro

Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE), UFR Sciences et Gestion de L'environnement (SGE), Université Nangui Abrogoua (UNA), 02 BP 801 Abidjan 02, 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: The drinking water supply of rural populations is mainly provided by groundwater contained in the fissured and discontinuous aquifers of the crystalline basement. The objective of this work is to evaluate the productivity of fissure aquifers according to the hydrodynamic and geo-structural characteristics in the Poro region. The data used concern the Thickness of Alterites (EA), the depths of the water inlets (AE), the nature of the crystalline basement, the Total depth drilled (Pt) and the different flow rates obtained during the pumping tests. These data come from technical data sheets of 263 productive boreholes selected out of a total of 500 boreholes drilled during a vast village water supply campaign. A statistical analysis of the drilling and hydrodynamic parameters was carried out on the basis of the references drawn up by the Inter-African Hydraulics Committee (CIEH). The distribution of hydrogeological parameters in the Poro region reveals an uneven distribution of weathering thicknesses, flow and transmissivity. Regarding the average depth of water inlets, three distinct fringes are identified, namely 37 m, 44 m and 47 m deep. As for the litho stratigraphy; it highlights three distinct horizons and the construction of the transepts revealed the irregularity of the roof of the base with the presence of two major fractures, both in SW-NE direction. The hydrogeological study revealed that the productivity of the aquifers depends on the geology of the land. There is therefore a correlation between productivity and certain hydrodynamic parameters, in particular the thickness of alteration, the geology of the terrain and the depth of the fractured fringe.

KEYWORDS: Groundwater, productivity, aquifers, geology, hydrodynamics, Poro region, Ivory Coast.

RESUME: L'alimentation en eau potable des populations rurales est assurée en majorité par les eaux souterraines contenues dans les aquifères fissurés et discontinus du socle cristallin. L'objectif de ce travail est d'évaluer la productivité des aquifères de fissure en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géo-structurales dans la région du Poro. Les données utilisées concernent les Epaisseur d'Altérites (EA), les profondeurs des arrivées d'eau (AE), la nature du socle cristallin, la Profondeur totale forée (Pt) et les différents débits obtenus lors des essais de pompages. Ces données proviennent des fiches techniques de 263 forages productifs sélectionnés sur un total de 500 forages réalisés lors d'une vaste campagne d'hydraulique villageoise. Une analyse statistique des paramètres de forages et hydrodynamiques a été réalisée sur la base des références élaborées par le Comité Inter Etat de l'Hydraulique (CIEH). La distribution des paramètres hydrogéologiques de la région du Poro révèle une distribution inégale des épaisseurs d'altération, du débit et de la transmissivité. Concernant la profondeur moyenne des arrivées d'eau, trois franges distinctes sont identifiées à savoir 37 m, 44 m et 47 m de profondeur. Quant à la litho stratigraphie; elle met en exergue trois horizons distincts et la réalisation des transepts a permis de constater l'irrégularité du toit du socle avec la présence de deux fractures majeures; tous deux de direction SW-NE. L'étude hydrogéologique a révélé que la productivité des aquifères est fonction de la géologie du terrain. Il existe donc une corrélation entre la productivité et certains paramètres hydrodynamiques, notamment l'épaisseur d'altération, la géologie du terrain et la profondeur de la frange fracturée.

MOTS-CLEFS: Eaux souterraines, productivité, aquifères, géologie, hydrodynamique, région du Poro, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'alimentation des populations en eau potable est une véritable préoccupation pour les dirigeants dans un contexte de variabilité climatique où les ressources se font de plus en plus rares. Aussi, face à une croissance démographique et urbanistique galopante, cette situation de pénurie est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés et particulièrement, celles des pays en voie de développement [2].

Cette préoccupation est aussi partagée par la Côte d'Ivoire dont la majeure partie du territoire (87,5 %) est occupée par le socle cristallin, formation géologique dans laquelle l'eau potable est emmagasinée dans des nappes de fissure dites « nappe captive ».

La région du Poro, située dans le Nord de la Côte d'Ivoire, se caractérise par un socle de type cristallin et l'alimentation des populations en eau potable est assurée, en grande partie, par le captage de la nappe de fissure.

Plusieurs études dont [8] et [13] ont mis en exergue le potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo et des propositions de sites potentiels de gros débits ont été faites. Malgré cela, plusieurs travaux de recherche dont [3]; [16]; [11]; [17]; [7] ont montré que la majorité des ouvrages de captages à l'échelle nationale ont des débits faibles. Cette situation entraîne des pénuries importantes pour l'alimentation en eau des populations et plus particulièrement les populations de la région de Korhogo; ce qui a contraint les autorités à prélever l'eau du Bandama pour l'approvisionnement de la ville en eau potable. Comment pouvons-nous justifier les faibles débits enregistrés malgré le fort potentiel en eau souterraine dans la région du Poro ? Selon [14], les aquifères de type fissurés sont mal connus, tant dans la géométrie des réservoirs que dans le potentiel hydrogéologique des réserves qu'ils contiennent.

C'est pour palier à cette situation que l'étude de la productivité des aquifères de fissure en fonction des caractéristiques géo-structurales et hydrodynamiques dans la région du Poro est initiée.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Située dans le nord de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 9° et 10° Nord et les longitudes 5° et 6° Ouest, la zone d'étude (figure 1) s'étale sur les régions de la Bagoué et du Poro et regroupe les départements de Dikodougou, Korhogo, Sinematiali et de M'bengué. Elle est délimitée au Sud par la région du Béré, à l'Est par les régions du Hambol et du Tchologo. Au Nord on retrouve le Mali et le département de Tengrela et à l'Ouest, on a la région de la Bagoué.

Partie intégrante du district des Savanes, notre zone d'étude se caractérise par le climat tropical de transition ou climat soudanais. A l'image de tout le pays, le relief y est monotone dans son ensemble avec des altitudes variant en moyenne entre 300 et 400 m dans la région du Poro [8], avec la présence de quelques hautes montagnes.

L'exploitation de la carte géologique de la région indique que les flyschs, les schistes, les roches basiques, les formations granito-migmatitiques sont les principaux constituants de la géologie de la zone [1].

Dans cette région, les formations granito-migmatitiques sont constituées de gneiss diversifiés, leptyniques et migmatites leptynitiques, de migmatites à biotite et amphibole, de migmatites gneissiques à biotite, et de migmatites et de granites indifférenciés [15].

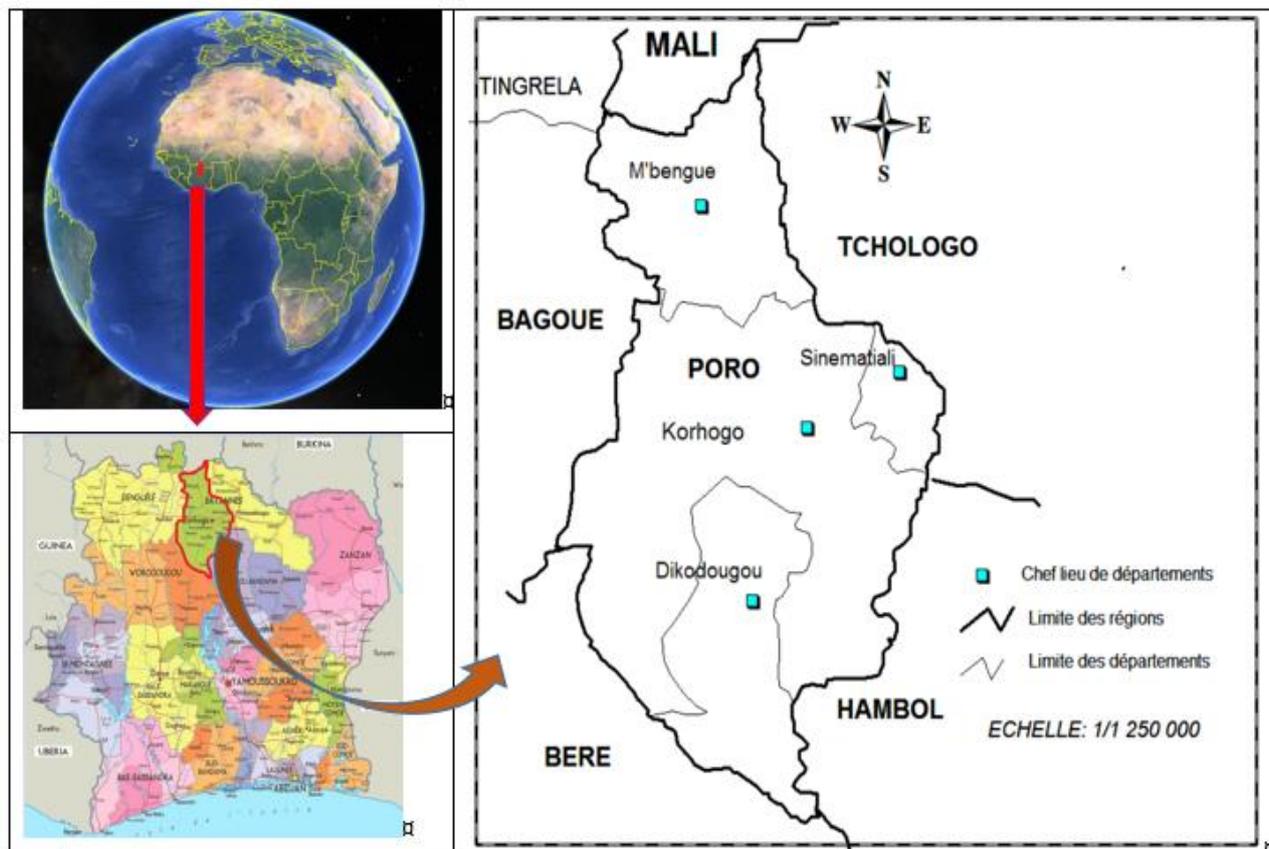


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude

3 DONNÉES ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES

Les données utilisées sont constituées de fiches techniques des forages et des données des essais de pompage. Ces données sont collectées lors d'une vaste campagne d'hydraulique villageoise au cours de laquelle plus de 800 points d'eau ont été réalisés dans la région du Fromager et dans le district des Savanes dont 263 forages ont été retenus pour cette étude du fait de la qualité de leurs données. Les coupes techniques des forages, les coordonnées géographiques, les profondeurs des arrivées d'eau, les débits des essais de pompage, les données de rabattement sont les données collectées sur les fiches techniques des forages. La figure 2 donne la répartition géographique des forages dans la zone d'étude.

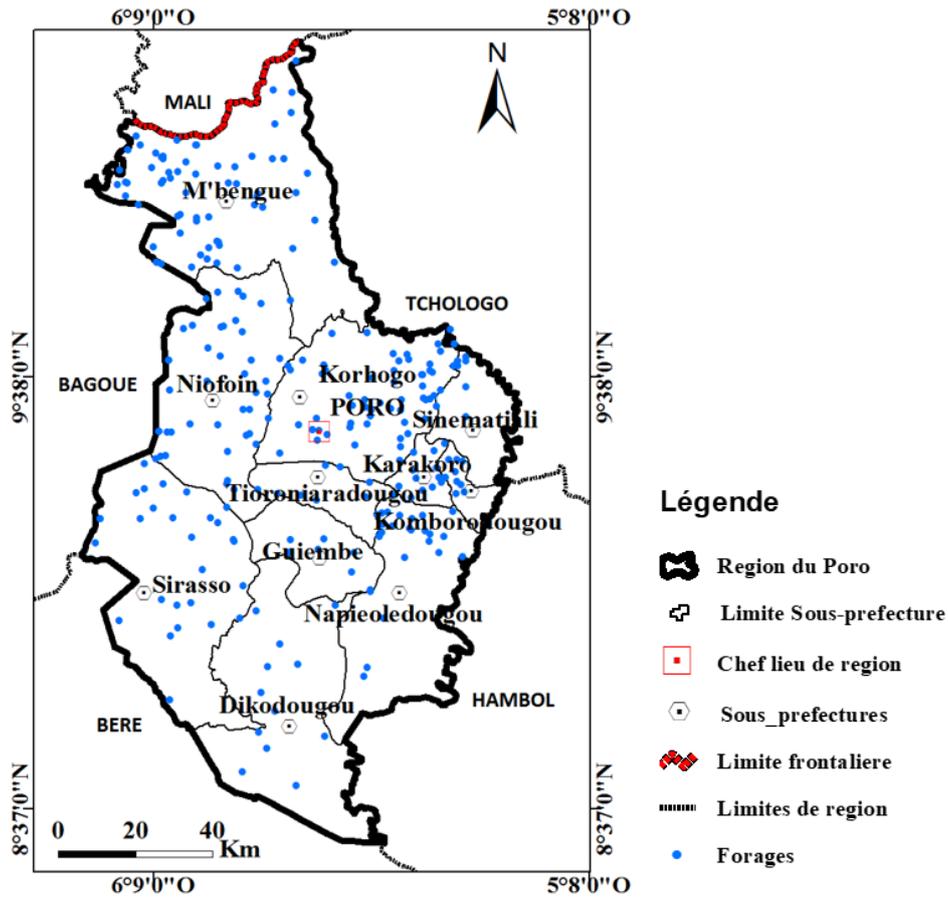


Fig. 2. Répartition géographique des forages dans la zone d'étude

3.2 MÉTHODOLOGIE

Une analyse statistique descriptive et de classification du CIEH a été effectuée sur les paramètres hydrodynamiques des 263 forages utilisés dans le cadre de la présente étude.

Les débits et les profondeurs des arrivées d'eau ont été analysés au regard de la classification du CIEH. Les classifications des paramètres hydrodynamiques selon le CIEH se présentent comme suit:

Tableau 1. Classification des épaisseurs d'altération et des débits selon le CIEH

Classes	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Épaisseur d'altération	< 10 m	10-15 m	15-25 m	25-40 m	40-70 m
Débit de forages	< 1m ³ /h	1-2 m ³ /h	2-4 m ³ /h	4-10 m ³ /h	10-40 m ³ /h

Selon le CIEH, la classification de la profondeur des arrivées d'eau se présente comme suit:

Tableau 2. Classification des épaisseurs d'altération et des débits selon le CIEH

Profondeur première arrivée d'eau ou AE (m)	Classes de profondeur
< 10	Très peu profond
10 – 15	Peu profond
15 – 25	Profondeur moyenne
25 – 40	Profond
40 <	Très profond

La méthode de Theis est utilisée pour la détermination de la transmissivité de chacun des forages. A l'aide d'un programme informatique élaboré, les données des essais de pompage sont renseignées et des graphes en forme de cône de dégression reconnus sur le nom de courbe de Thiès sont produits. Ces données sont constituées essentiellement des mesures du rabattement en fonction du temps lors des pompages courte durée. La solution de Theis se présente comme suit:

$$s(u) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

$$\text{Avec } u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Où :

S: rabattement mesuré en m et s'exprime par $S = h_0 - h$;

Q: débit d'exploitation (maintenu constant) exprimé en m^3/s ;

S: coefficient d'emmagasinement sans dimension;

T: coefficient de transmissivité de l'aquifère exprimé en m^2/s ;

t: temps de pompage;

W (u): fonction du puits ou de Theis; son expression est:

$$W(u) = -0,5772 - \ln(u) + u - u^2/2 \times 2! + u^3/3 \times 3! + u^4/4 \times 4! + \dots$$

La méthode de Theis conduit à une représentation de la fonction du puits W (u) en fonction du paramètre u.

Pour la détermination de la transmissivité (T), la valeur de W (u) est portée dans l'expression:

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u)$$

4 RESULTATS

4.1 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION DU PORO

4.1.1 PRODUCTIVITE EN FONCTION DE LA GEOLOGIE

L'analyse des données révèle que la productivité des ouvrages est fonction de la formation géologique rencontrée. Ainsi, les granites à prédominance rose ou blanche sont caractérisés par une très faible productivité. Ce type géologique débite généralement un débit maximum excédant rarement $1,5 m^3/h$. La majorité des sondages réalisés dans ces types géologiques, ont été déclarés négatifs dû à la faiblesse des débits.

Cependant, elles peuvent être productives lorsqu'elles sont associées à d'autres formations géologiques telles que les schistes et les granites à prédominance ferromagnésiennes et peuvent alors produire des débits parfois supérieurs à $2 m^3/h$. On parle alors de zone de contact anormal. Les localités de Tchorenakaha et Sonzorissodioula dans la sous-préfecture de Dikodougou ont enregistré des sondages qui ont mis en évidence un changement de faciès qui est passé du granite rose au granite ferromagnésien et ont enregistré des productivités assez bonnes, respectivement 6 et $3 m^3/h$.

Les quartzites et les granites à biotite sont les plus productives de la région avec un débit moyen de $5 m^3/h$ et les moins productives sont bien les granites roses avec un débit moyen de $1,5 m^3/h$. La figure ci-dessous donne la variation du débit moyen en fonction des hydro faciès.

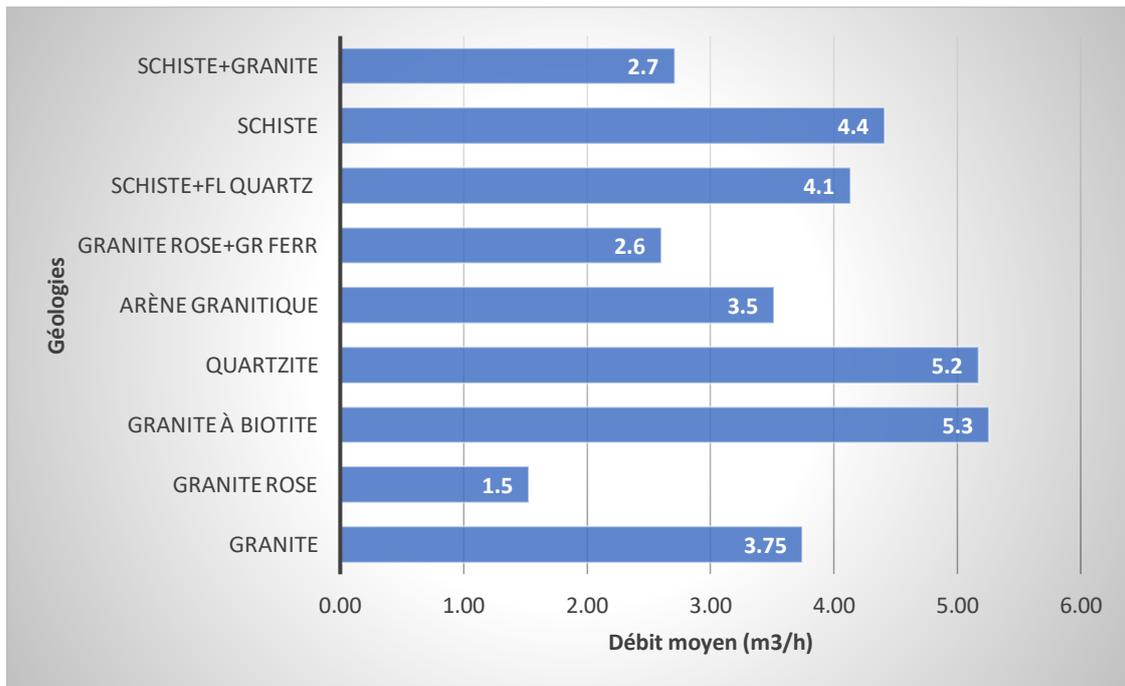


Fig. 3. Variation du débit moyen en fonction des hydro faciès de la région du Poro

4.1.2 REPARTITION DES DEBITS DANS LA REGION DU PORO

Selon la répartition des débits, deux grandes classes de productivité sont identifiées. Ce sont:

- Dans le Nord de la région, notamment l'extrême nord-est et l'extrême nord-ouest de M'bengué sont caractérisés par de très fortes productivités. Aussi, de très fortes productivités sont enregistrées au Sud de Niofoin, et Dikodougou et à l'Est de Sinématiali. Ces zones de fortes productivités se caractérisent par des débits supérieurs à 4 m³/h
- Le reste de la région a une productivité assez moyenne, oscillant entre 2 et 4 m³/h. Il existe cependant des zones de très faible productivité dans les sous-préfectures de Karakoro, Komborodougou et Dikodougou où sont enregistrés des taux très élevés de sondages négatifs, notamment dans les localités de Félékaha et Kpambélékaha dans la sous-préfecture de Karakoro, qui ont enregistré respectivement 11 et 6 sondages négatifs avec des débits inférieurs à 0,150 m³/h

Par ailleurs, des débits parfois exceptionnels sont enregistrés dans les sous-préfectures de Niofoin, Sirasso et de M'Bengué. Ces débits souvent supérieurs à 10 m³/h atteignent parfois 25 m³/h dans certaines zones, notamment dans les localités de Kondolo et Koliani avec un débit enregistré de 25,7 m³/h, dans la sous-préfecture de M'Bengué.

La répartition des forages en fonction des classes de débit est donnée dans le tableau 3 ci-dessous:

Tableau 3. Répartition des forages par débit selon la classification du CIEH

Classes	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Débit Forages	Q < 1m ³ /h	1<Q< 2 m ³ /h	2<Q<4 m ³ /h	4<Q< 10 m ³ /h	10<Q<40 m ³ /h
Nombre	36	70	74	71	20
Pourcentage (%)	13%	26%	27%	26%	7%

L'analyse de la classification des débits révèle que les débits inférieurs à 4 m³/h sont enregistrés dans toute la région de façon générale du Sud, au Sud-Ouest et au Centre. On observe une prédominance cumulée des classes de débits très faibles, faibles et moyennes. Les fortes et très fortes classes de débits se localisent essentiellement au Centre et au Sud-est de la sous-préfecture de Dikodougou, à l'Est et au Sud-est de la sous-préfecture de Sinématiali et une bonne tranche dans le Sud de la sous-préfecture de Niofoin et dans le Nord-est et Nord-ouest de la sous-préfecture de M'Bengué. La tranche de débit ayant une meilleure couverture de la région est celle de 4 à 6 m³/h. Elle s'étend du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest et témoigne de l'état du potentiel hydraulique de la région du Poro. La carte de répartition spatiale des débits est obtenue par la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting) (Figure. 4).

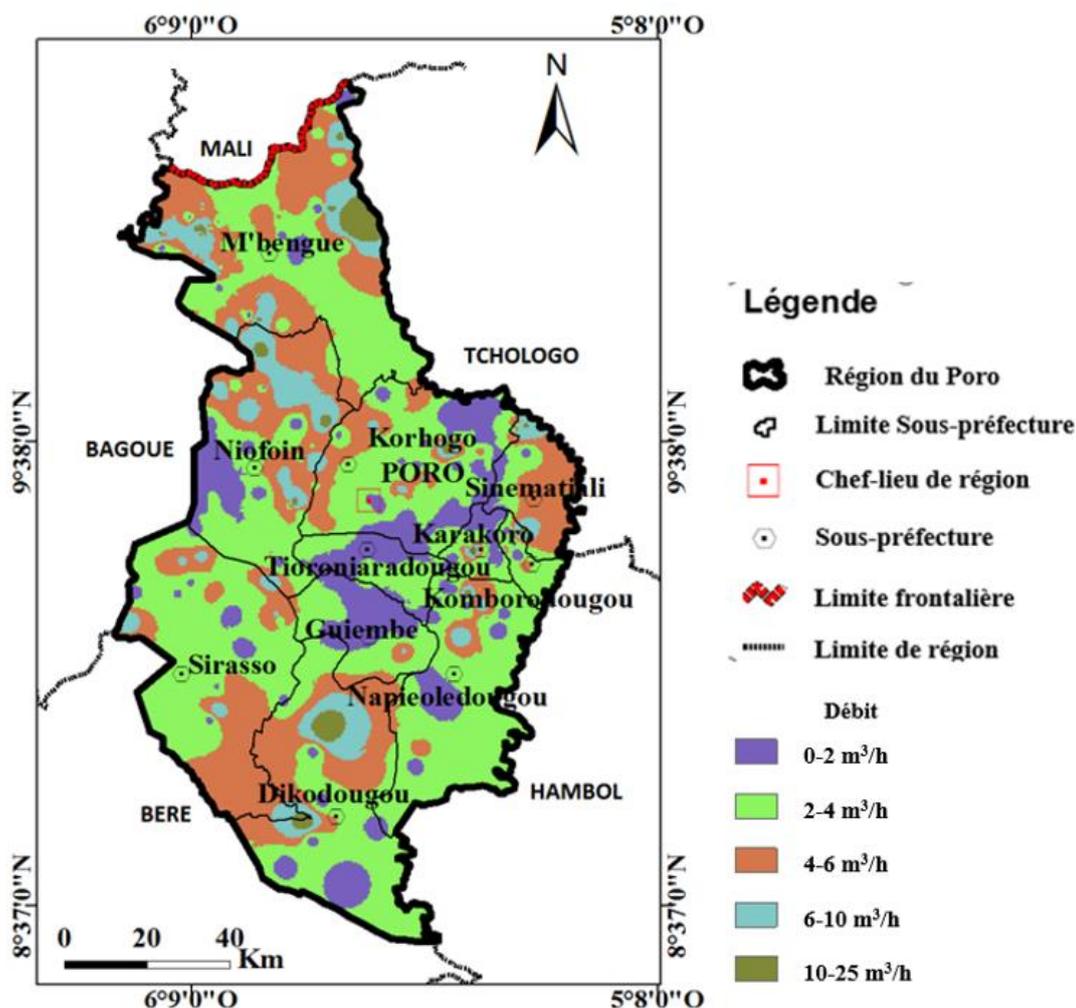


Fig. 4. Carte de la répartition des débits dans le département de Korhogo

4.1.3 ANALYSE DES ARRIVÉES D'EAU DANS LA REGION DU PORO

Dans la région du Poro, le nombre des arrivées d'eau est très variable d'un forage à un autre. L'analyse fréquentielle des différentes arrivées d'eau enregistrées révèle d'une part que les profondeurs des arrivées d'eau varient de 22 à 84 m de profondeur. D'autre part, elle révèle que les arrivées d'eau prédominantes sont enregistrées aux profondeurs respectives de 34, 36, 40, 44 et 46 m. Ainsi, l'analyse des profondeurs moyennes des arrivées d'eau, révèle de façon générale que les premières arrivées d'eau sont enregistrées à une profondeur moyenne de 37 m, la seconde à une moyenne de 44 m et la troisième autour de 47 m de profondeur.

La figure 5 donne les profondeurs moyennes des principales arrivées d'eau de la région du Poro.

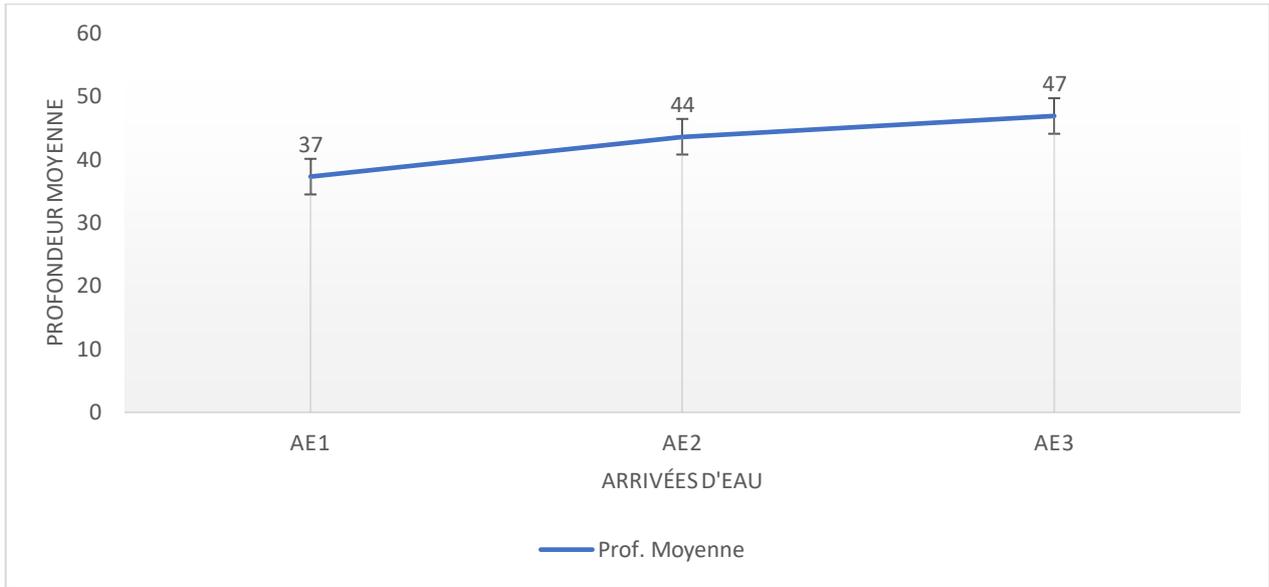


Fig. 5. Arrivées d’eaux principales dans la zone d’étude

Mais en plus de ces arrivées d’eau principales, une dernière arrivée d’eau est souvent captée entre 72 et 85 m de profondeur. Dans les zones productives, elle produit des débits toujours supérieurs à 5 m³/h. Au-delà de cette dernière frange, toutes les autres arrivées d’eau relèvent du domaine du hasard. Les sondages approfondis au-delà de 85 m n’ont donné de résultats reluisants que dans des cas extrêmement rares.

4.1.4 ANALYSE DE LA TRANSMISSIVITE

L’étude de la transmissivité révèle une grande variabilité des valeurs d’un sondage à l’autre. Dans la sous-préfecture de Korhogo, elle varie de 1,88 E-4 m²/s à 8,79 E-5 m²/s à Tchekolovogo. De même dans la sous-préfecture de Dikodougou, elle passe de 1,47 E-5 m²/s dans le village de Sonzorissodioula à 6,72 E-05 m²/s dans la localité de Kadihoa.

La figure 6 présente la répartition de la transmissivité moyenne par sous-préfectures.

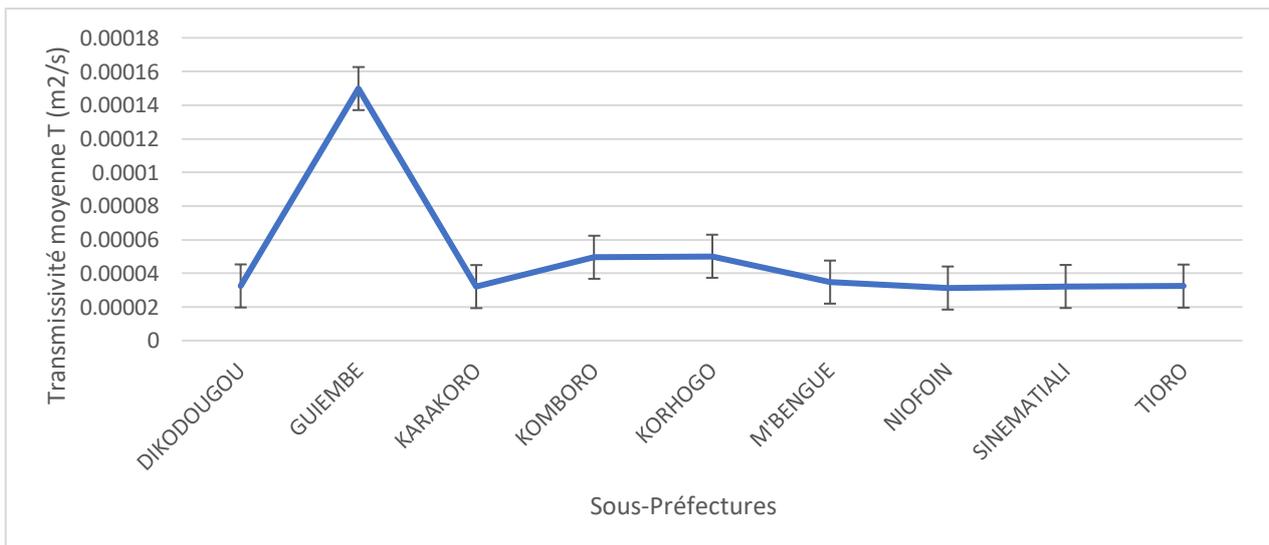


Fig. 6. Variation de la transmissivité moyenne par sous-préfecture dans la région du Poro

5 DISCUSSION

L'étude géologique a montré la prédominance des granitoïdes qui s'étendent en général sur presque toute la zone d'étude. Néanmoins, des formations schisteuses sont observées par endroit à l'Est de la zone d'étude (dans la Sous-préfecture de Komborodougou) et au Nord (dans le Sud de M'Bengué). A cela s'ajoute des roches basiques, volcaniques dans la sous-préfecture de M'Bengué et de Niofoin. Cette composition lithologique de la zone d'étude a été confirmée par plusieurs auteurs dont [8]; qui a montré que le substratum cristallin est composé d'une part de formations volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires métamorphisées déposées dans les sillons intra cratoniques et d'autre part de granitoïdes éburnéens qui sont des massifs granitiques au sein desquels on distingue plusieurs générations de granites. A cet effet, les travaux dirigés par [1], ont montré l'existence d'une plaque de schiste au Centre et au Nord du département de Korhogo. Ces résultats montrent bien la disposition éparse des formations schisteuses encastrées dans les formations granitiques prédominantes.

L'étude de la productivité est inéluctablement liée à l'étude du socle. Le milieu de socle est complexe et l'existence d'un aquifère requiert la prise en compte de plusieurs facteurs pouvant favoriser l'accumulation des eaux souterraines ([5]; [19]). La région du Poro, se caractérise par une grande variabilité de l'épaisseur d'altération, ce qui induit une irrégularité du toit du socle cristallin [10]. Plusieurs études dont [4] dans la région de Tanda, [8] à Korhogo et [9] à Odienné ont montré l'existence d'une irrégularité au niveau du toit du socle cristallin.

La profondeur des altérites est variable et dans certaines localités, elle peut atteindre 70 m dans le granite. Selon [3]; [12], les altérites ont une fonction essentiellement capacitive et sont moins profondes (entre 10-30 m dans les granito-gneiss); elles peuvent atteindre 60 m et plus dans les schistes et les aquifères de fractures sont très profonds (entre 20-60 m et plus) et ont une fonction conductrice. Le toit de ces aquifères du socle est généralement altéré et constitue un réservoir potentiel pour l'alimentation des forages avec le plus souvent un débit inférieur à 1 m³/h. Dans certaines zones, cette première arrivée d'eau peut produire jusqu'à 5 m³/h. Il est cependant difficile d'analyser les débits des formations altérées en raison de la pénétration variable des puits et de la diversité des horizons captés [16]. La présence d'une seconde frange de fracturation au tour 44 m, puis d'une troisième frange autour de 47 m, de façon générale sur l'ensemble de la zone d'étude, témoigne de la nature très fracturée du socle et surtout de l'existence d'une bonne potentialité en eau. Les travaux de [8] ont montré que la région est dominée par les classes de potentiel en eau excellentes et bonnes avec près de 60 % de la zone d'étude. Ceci est en accord avec les travaux de [16] qui ont montré que les fréquences des arrivées d'eau sont plus importantes entre 40 et 80 m de profondeur et que ce pourcentage est encore plus élevé entre 50 et 70 m, ce qui correspond à plus de 80% des arrivées d'eau. La variabilité de la transmissivité peut être liée à plusieurs facteurs qui partent de la pluviométrie pour aboutir aux phénomènes de variation climatique. Ces facteurs jouent un rôle important dans le phénomène de réalimentation des nappes souterraines et peuvent influencer considérablement les fluctuations de la transmissivité.

6 CONCLUSION

L'étude de la productivité en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et géologiques a permis de caractériser des aquifères de fissure dans la région du Poro.

L'épaisseur d'altération est variable en fonction de la géologie, mais de façon générale, les fortes et très fortes épaisseurs d'altération sont les plus dominantes avec des taux respectifs de 42% et 27%. Dans la région, les épaisseurs d'altération augmentent de l'Est vers l'Ouest et les plus importantes épaisseurs sont enregistrées dans les sous-préfectures de Niofoin et de M'bengué.

Les classes de débits fortes et très fortes se localisent essentiellement au Centre et au Sud-Est de la sous-préfecture de Dikodougou, à l'Est et au Sud-est de la sous-préfecture de Sinématiali.

Trois franches d'arrivées d'eau sont identifiées et se situent respectivement entre le toit du socle (37m), 44 m et 47 m de profondeur. Cette dernière se caractérise par des débits supérieurs à 6 m³/h. Les débits les plus importants sont enregistrés dans les zones à fortes épaisseurs d'altération. Ces zones sont moins transmissives. Par ailleurs, la productivité des aquifères est généralement croissante avec la profondeur des arrivées d'eau.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) et le bureau d'étude Arc Ingénierie pour leur avoir permis de collecter les données hydrogéologiques utilisées dans cette étude.

Ils remercient également les instructeurs dont les critiques et suggestions ont permis d'améliorer le présent article.

REFERENCES

- [1] Arnaud J.C. (1978). Le relief de la Côte d'Ivoire. *Atlas de la Côte d'Ivoire*, Paris, France, Editions J.A., pp. 6-13.
- [2] Baali F. (2001). Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien. Magister Univ Annaba Algerie, 100 p.
- [3] Biemi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopique des aquifères discontinus de sillons et des aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire), *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 480p.
- [4] Coulibaly A., 2014. Contribution de la méthode de résistivité électrique (Traînés et Sondages électriques) à la localisation d'aquifères en zone de socle cristallin et cristallophyllien: cas de la région de Tanda, (Nord-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 181 p.
- [5] Engalenc M., Grillot J. C., Lachaud J. C., 1979. Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches de l'Afrique de l'Ouest. Edition Géohydraulique, Vol. 2 (1979).
- [6] Faillat, 1986. Hétérogénéité et effet d'échelle dans les aquifères fissurés. Approche par pompage d'essai sur station expérimentale (Afrique de l'Ouest). *Hydrogéologie* 1, pp 65-76.
- [7] Gnamba F. M., Oga Yeï. M. S., Gnagne T., Lasme T., Biemi J., Kouakou Y. K. N. 2014. Analyse de la productivité des aquifères de fissures du socle paléoproterozoïque de la région de Katiola (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire). *European scientific journal* 10 (5): pp.79-98.
- [8] Jourda, J.P. (2005). Méthodologies d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale. Cas de la zone test de Korhogo (Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat* ès Sciences naturelles, Université de Cocody, Abidjan 402 p.
- [9] Kouadio K. E., Waidhet K.A. B., 2015. 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. La Chapelle-Hermier juin 2015, 9 p.
- [10] Kouakou K. E. G., Sombo A. P., Bie G. R., AKA E., Kouame L. N., 2016. Etude comparative de résultats de sondages électriques et des coupes lithostratigraphiques de forages en région de socle (Nord de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°25, Mars 2016, pp. 101-119.
- [11] Lasm T. 2000. Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyse statistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France, p. 274.
- [12] Lasm T., Kouamé K. F., Soro N., Jourda J. P. R., Biémi J. (2004). Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané (ouest de la Côte d'Ivoire), *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologiques*, 5: 135-154.
- [13] Moussa Ouedraogo, (2016): Caractérisation des aquifères de socle pour l'amélioration de la productivité des forages d'hydraulique villageoise dans le bassin versant du Bandama blanc amont (Nord de la Côte d'Ivoire).
- [14] Odile B. L., Ake S. T., Etienne G., Ahoussi K. E., Oga M. S., Biemi J., Akossi D., 2015. Productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Rev. Sci. Technol.*, 30: 76-90.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Soro, G., Soro, N., Ahoussi, K. E., Lasm, T., Kouamé, F. K., Soro, T. D., & Biémi, J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos*, 66 (2), 227–242. <https://doi.org/10.3989/egeol.40123.093>
- [18] Soro N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse d'Etat ès-Sciences Naturelles, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 256p.
- [19] 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.