

Caractérisation des aquifères productifs dans la région de Man, Ouest de la Côte d'Ivoire

Derving BAKA*, Teti Prince TAKPA et Konan Emmanuel KOUADIO

Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géotechniques, 08 BP 2600 Abidjan 08, Abidjan, Côte d'Ivoire

(Reçu le 22 Août 2020 ; Accepté le 06 Avril 2021)

* Correspondance, courriel : dervingb@gmail.com

Résumé

Cette étude a pour objectif d'analyser et de mettre en évidence les facteurs hydrogéologiques et hydrodynamiques qui interviennent dans la productivité des forages dans la région de Man, afin d'optimiser les études d'implantation de forages. Les méthodes d'analyse statistique descriptive (statistique élémentaire) et statistique multivariée (Analyse en Composante Principale Normée (ACPN)) ont été appliquées sur les paramètres physiques et hydrodynamiques (Épaisseur Altérite (EA), Profondeur Forage (P), Profondeur Arrivées d'Eau (AE), le Débit air-lift (Qal), Transmissivité (T) et le Débit Spécifique (Qs)) de 155 forages repartis sur la région. L'ACPN a consisté à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées ») en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes principaux. Il ressort de cette étude que la transmissivité et la profondeur de l'ouvrage impactent le plus le débit des ouvrages. 37 % des forages ont un débit qualifié de fort ($> 5 \text{ m}^3/\text{h}$). La transmissivité moyenne pour les forages à faible et moyen débit est de $3,51 \cdot 10^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$ contre $3,12 \cdot 10^{-04} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les forages à fort débit. La tranche de profondeur la plus productive est comprise entre 30 m et 50 m. La productivité des forages de la région est guidée par deux facteurs : l'accessibilité de l'eau souterraine en fonction de la profondeur des ouvrages et la productivité hydraulique des zones de fractures aquifères.

Mots-clés : *forage, productivité, débit, transmissivité, ACPN, Man.*

Abstract

Productive aquifers characterization in Man area, Western of Côte d'Ivoire

The objective of this study is to analyses and identify the hydrogeological and hydrodynamic factors affecting borehole productivity in the Man area to optimize borehole location studies. Descriptive statistical analysis (elemental statistics) and multivariate statistical analysis (Normalized Principal Component Analysis (NPCA)) methods were applied to the physical and hydrodynamic parameters (Alterite Thickness (EA), Borehole Depth (P), Water Inflow Depth (AE) and Air-Lift Flow (Qal). Transmissivity (T) and Specific Flow (Qs)) of 155 boreholes spread over the region. The NCPA consists to transform variables that are related to each other (called "correlated") into new variables that are decorrelated from each other. These new variables are called "principal components", or principal axis. This study shows that the transmissivity and the borehole depth

have the greatest impact on the flow of the structures. 37 % of the boreholes have a high flow rate ($> 5 \text{ m}^3/\text{h}$). The average transmissivity for low and medium flow boreholes is $3.51 \cdot 10^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$ against $3.12 \cdot 10^{-04} \text{ m}^2/\text{s}$ for high flow boreholes. The most productive depth range is between 30 m and 50 m. The productivity of boreholes in the region is guided by two factors: the accessibility of groundwater according to the depth of the structure and the hydraulic productivity of the aquifer fracture zones.

Keywords : *borehole, productivity, rate flow, transmissivity, NAPC, Man.*

1. Introduction

Pour l'approvisionnement en eau potable des populations, l'eau souterraine offre une meilleure garantie quant à la qualité (moins vulnérable à la pollution) que l'eau de surface d'où son intérêt [1, 2]. En domaine de socle, il est généralement admis que cette ressource se concentre dans la tranche supérieure des formations cristallines ($\approx 50 \text{ m}$ de profondeur), au sein de formations altérées et de fractures plus ou profondes [1, 3 - 5]. Ces aquifères discontinus restent toutefois difficile à appréhender [3, 5, 6]. La région de Man à l'instar des régions de la Côte d'Ivoire connaît une augmentation de sa population [7], qui engendre une augmentation des besoins. À cela s'ajoute la vétusté des installations hydrauliques ainsi que les changements climatiques. De nouveaux points d'eau avec des débits importants sont donc à pourvoir. La satisfaction des besoins en eau souterraine de ces populations nécessite une connaissance hydrogéologique des réservoirs cristallins de la région afin de définir les zones potentielles, leurs propriétés et les ressources associées. L'objectif de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance des potentialités hydrogéologiques de la région à partir de méthodes statistiques, dans un souci d'optimisation de la productivité des ouvrages hydrauliques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

Située dans l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire entre les longitudes $7^{\circ}6'$ et 8° W et les latitudes $7^{\circ}6'$ et $7^{\circ}54'$ N, la région de Man fait partie du district des montagnes à l'Ouest de la Côte d'Ivoire (**Figure 1**). Cette région présente un relief très accidenté qui est caractéristique de l'ouest ivoirien, avec des altitudes dépassant parfois 1000 m [8]. Le climat est de type tropical humide avec une longue saison des pluies de mars à octobre et une petite saison sèche de novembre à février [8]. Il est caractérisé par une forte pluviométrie (1400 à 2200 mm) avec une moyenne interannuelle supérieure à 1500 mm. Les températures sont douces en moyenne 24°C [9]. La relative forte pluviométrie existant dans la région, entretient une altération importante des roches, qui donne des matériaux sableux et argileux [8]. La végétation est constituée de forêts denses semi-décidues, forêts claires aux savanes boisées, aux savanes arborées, arbustives et plus particulièrement les forêts de montagnes herbeuses [8]. Deux grands fleuves drainent la zone d'étude. À l'Est le fleuve Sassandra long de 600 km et à l'Ouest le fleuve Cavally qui s'étend sur 700 km.

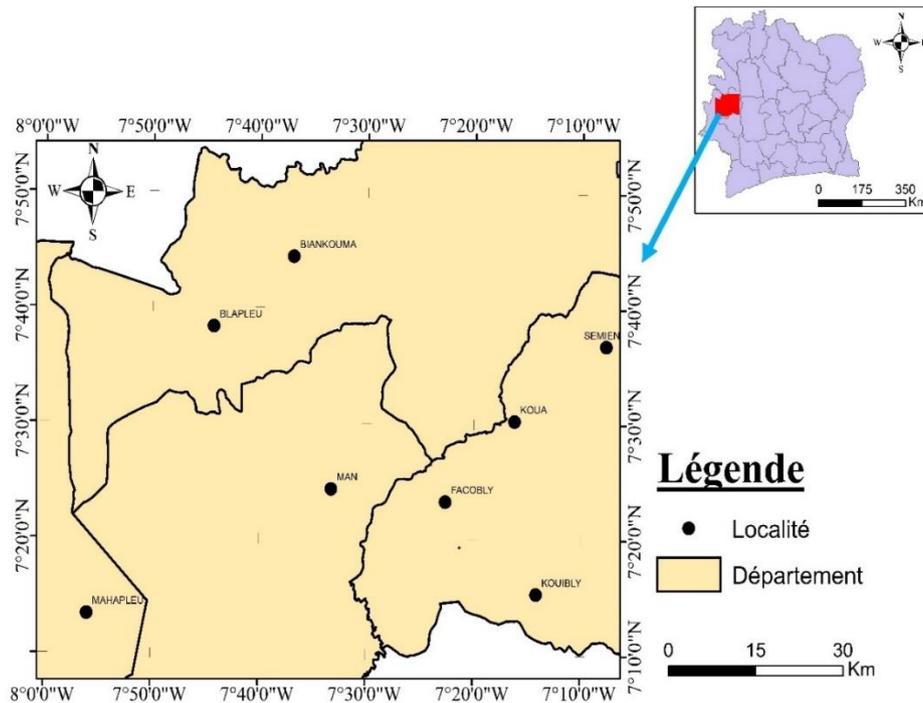


Figure 1 : Carte de localisation de la région de Man

2-2. Géologie et hydrogéologie

Il ressort que 3 domaines se distinguent dans la région [10] (*Figure 2*):

- le domaine granulitique Nord constitué de gneiss gris granulitiques, de charnockites et de granodiorites ;
- le domaine granulitique et migmatitique intermédiaire comprend un cortège de roches constitué de gneiss migmatitiques à hypersthène, de granulites basiques, d'ortho-gneiss œillés, de gneiss alumineux ;
- le domaine Sud des migmatites à biotite constitué de gneiss migmatitiques et charnockitiques, de leptinites, de granite supracrustal et de complexes de quartzites.

Deux types d'aquifères superposés : les aquifères d'altérite qui ont une fonction capacitive, et plus en profondeur les aquifères de fissures qui ont essentiellement une fonction conductrice [3]. La productivité des ouvrages dans la région varie selon la nature pétrographique de la roche en relation avec la tectonique : les charnockites et les gneiss gris se révèlent être les plus productifs [11, 12].

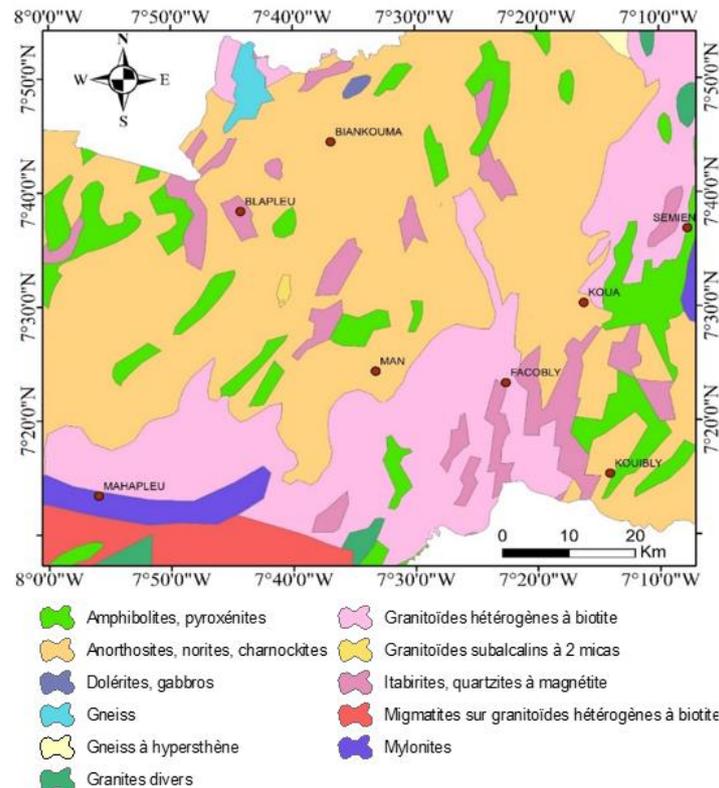


Figure 2 : Carte géologique de la région de Man

2-3. Données

Les données utilisées découlent des fiches techniques de 155 forages géoréférencés qui renseignent sur les paramètres physiques tels que, les épaisseurs des altérites (EA), la profondeur du forage (P), la profondeur des arrivées d'eau (AE), le débit air-lift (Qal), la transmissivité (T) et le débit spécifique (Qs).

2-4. Méthodes

2-4-1. Analyse descriptive des données de forage

Les principaux paramètres physiques des forages seront évalués par les méthodes de la statistique descriptive dans le but d'étudier les potentialités hydrogéologiques du socle de cette région. D'abord sur l'ensemble des forages et ensuite sur les classes de forages selon leur débit [13]. Les résultats de ces analyses renseigneront sur la productivité des aquifères.

2-4-2. Analyse en composantes principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'analyse statistique de données multivariées applicables à divers types de données. Elle présente l'avantage d'interpréter simultanément, et beaucoup plus facilement toutes les variables d'une série de données que ne le permettent les méthodes classiques traditionnelles de comparaisons des variables dans les diagrammes à deux dimensions (x, y) ou à trois dimensions (x, y, z) [14, 15]. Cette méthode a permis de rechercher les relations entre les paramètres hydrauliques et hydrodynamiques des aquifères dans le but de comprendre le fonctionnement global du système aquifère de la région. Dans un premier temps pour mettre en évidence les paramètres de forage qui sont en relation avec la productivité et dans un second temps les paramètres qui semblent influencer la

profondeur de forage. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. Les paramètres extraits des fiches de forages seront les variables. La différence d'unités des paramètres impose de travailler sur des données centrées réduites afin que celles-ci aient le même poids. On parle alors d'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN). Cette dernière supprime donc l'hétérogénéité d'échelle entre les variables, appelée effet de taille.

3. Résultats

3-1. Analyse statistique des paramètres de forage

Les profondeurs de forage varient entre 23,40 m et 90,32 m avec une moyenne de 50,2 m et un écart-type de 15,04 m. Les premières arrivées d'eau sont comprises entre 9,20 m et 74,35 m et se situent à la base de la couche d'altérite dans le socle. Les épaisseurs d'altération varient de 0,30 m à 43,40 m avec une moyenne de 14,88 m. L'épaisseur de socle foré oscille entre 4,50 m et 88,82 m et la moyenne est de 36,15 m. Les niveaux statiques varient de 1,46 m à 22,36 m. Les coefficients de variations de ces paramètres sont inférieurs à 60 %. Les principales caractéristiques des forages de la région de Man sont consignées dans le **Tableau 1**. Les valeurs des débits varient de 0,25 m³/h à 90 m³/h avec une moyenne de 7,62 m³/h. Ces débits ont été subdivisés en classe (**Tableau 2**) selon la classification proposée du CIEH [13]. Ainsi 16 % des forages ont un débit très faible (≤ 1 m³/h), 26 % ont un débit faible (≤ 2.5 m³/h) et 37 % ont un débit qualifié de fort. Les débits spécifiques évoluent de 0,01 m³/h/m à 1,76 m³/h/m. ils sont qualifiés de faibles car 5 % > 1 m³/h/m. La moyenne de la transmissivité est de $1,24.10^{-04}$ m²/s avec des valeurs qui varient entre $9,40.10^{-07}$ m²/s et $2,32.10^{-03}$ m²/s. Seulement un tiers des 140 échantillons de forage présentent des valeurs de transmissivité supérieures à 10^{-4} m²/s et peuvent être qualifiés de forages à forte transmissivité selon le CIEH. Le débit, la transmissivité et le débit spécifique ont des coefficients de variation supérieurs à 100% ; ce qui traduit la forte hétérogénéité du milieu fissuré (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Statistique des paramètres de forage de la région de Man

| | N (m) | Q/s (m ³ /h/m) | T (m ² /s) | EA (m) | P (m) | AE (m) | Qal (m ³ /h) | ES (m) |
|------------|----------|------------------------------|--------------------------|-----------|----------|-----------|----------------------------|-----------|
| Moyenne | 9,01 | 0,28 | $1,24.10^{-04}$ | 14,88 | 50,84 | 30,17 | 7,62 | 36,15 |
| Médiane | 8,52 | 0,16 | $2,15.10^{-05}$ | 14,29 | 48,54 | 27,10 | 3 | 33,66 |
| Écart-type | 4,46 | 0,33 | $3,10.10^{-04}$ | 8,37 | 15,04 | 14,32 | 12,21 | 15,25 |
| Minimum | 1,46 | 0,01 | $9,40.10^{-07}$ | 0,30 | 23,40 | 9,20 | 0,25 | 4,50 |
| Maximum | 22,36 | 1,76 | $2,32.10^{-03}$ | 43,40 | 90,32 | 74,35 | 90 | 88,82 |
| Effectif | 145 | 136 | 140 | 153 | 155 | 155 | 155 | 155 |
| CV (%) | 50 | 119 | 250 | 56 | 30 | 47 | 160 | 42 |

Tableau 2 : Classification des débits des forages selon le CIEH[13]

| Classes de débit | Nombre de forage | Pourcentage des classes de débit |
|----------------------|------------------|----------------------------------|
| [0 - 1] Très faibles | 25 | 16 % |
| [1 - 2,5] Faibles | 40 | 26 % |
|]2,5 - 5] Moyens | 32 | 21 % |
| > 5 Forts | 58 | 37 % |
| Total | 155 | 100 % |

3-2. Description statistique des paramètres de forage selon le débit

58 forages ayant leur débit $> 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ont été utilisés pour cette description. Les caractéristiques statistiques des paramètres hydrauliques et physiques sont consignées dans le **Tableau 3**. Les forages à fort débit ont des profondeurs comprises entre 26,82 m et 81 m avec une moyenne de 47,25 m (médiane 45 m, écart-type 13,19 m). Les épaisseurs d'altération varient entre 1 m et 43,40 m avec une moyenne de 15,52 m et un écart-type de 8,48 m. Les épaisseurs de socle foré oscillent entre 13,74 m et 65,97 m et ont une moyenne de 32 m. Les premières arrivées d'eau se situent entre 10 m et 72 m avec une moyenne de 32,16 m et l'écart-type est 15,10 m. Les niveaux statiques des forages à fort débit varient entre 2,16 m et 19,47 m avec une moyenne de 9,20 m. La moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum pour la transmissivité sont respectivement $3,12.10^{-04} \text{ m}^2/\text{s}$, $4,88.10^{-04} \text{ m}^2/\text{s}$, $5,39.10^{-06} \text{ m}^2/\text{s}$ et $2,32.10^{-03} \text{ m}^2/\text{s}$. En ce qui concerne le débit spécifique, il évolue de $0,03 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ à $1,76 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ avec une moyenne de $0,58 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Tableau 3 : Statistiques des paramètres des forages à fort débit de la région de Man

| | N | Q/s | T | EA | P | AE | ES |
|------------------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Moyenne | 9,20 | 0,58 | $3,12.10^{-04}$ | 15,52 | 47,25 | 32,16 | 32,00 |
| Médiane | 8,90 | 0,47 | $1,21.10^{-04}$ | 14,59 | 45,00 | 31,25 | 31,71 |
| Écart-type | 4,32 | 0,41 | $4,88.10^{-04}$ | 8,48 | 13,19 | 15,10 | 11,09 |
| Minimum | 2,16 | 0,03 | $5,39.10^{-06}$ | 1,00 | 26,82 | 10,00 | 13,74 |
| Maximum | 19,47 | 1,76 | $2,32.10^{-03}$ | 43,40 | 81,00 | 72,00 | 65,97 |
| Coefficient de variation (%) | 47 | 71 | 156 | 55 | 28 | 47 | 35 |
| Effectif | 49,00 | 44,00 | 45 | 57,00 | 58,00 | 58,00 | 58,00 |

3-3. Distribution des paramètres hydrodynamiques des forages selon les classes de débit

3-3-1. Épaisseur d'altérite

Dans les deux classes, l'épaisseur d'altération se situe majoritairement entre 0 m et 30 m de profondeur. Cependant, la tranche d'épaisseur comprise entre 0 m et 20 m est la plus dominante pour les forages à faibles et moyens débits tandis que la tranche de 10 m à 20 est la plus dominante pour les forages à forts débits. La fréquence des forages qui ont une épaisseur d'altération supérieure à 30 m est très faible dans les deux groupes (**Figures 3 et 4**).

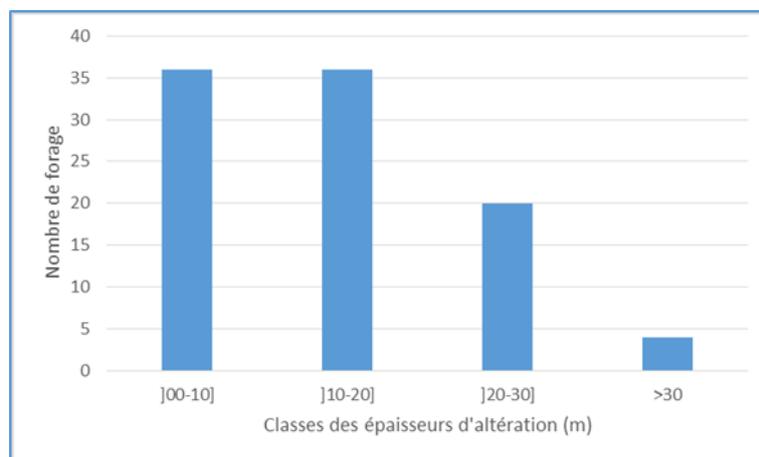


Figure 3 : Distribution des forages à faibles et moyens débits par classes d'épaisseur d'altération

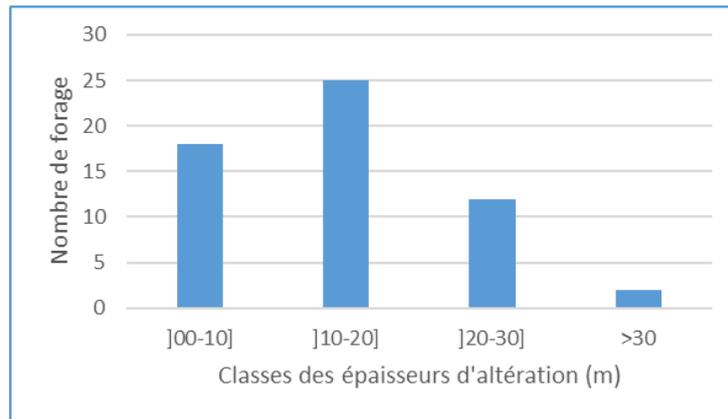


Figure 4 : Distribution des forages à forts débits par classe d'épaisseur d'altération

3-3-2. Profondeur des forages

Les forages à faibles et moyens débits se situent majoritairement dans la tranche de profondeur de 30 m à 80 m, cependant la classe de profondeur de 40 m à 50 m reste la plus dominante (Figure 5). En ce qui concerne les forages à forts débits, ils se situent majoritairement dans la tranche de profondeur de 30 m à 60 m soit 20 m de moins que les profondeurs des forages de faibles et moyens débits. La classe la plus dominante a des profondeurs comprises entre 30 m et 50 m (Figure 6).

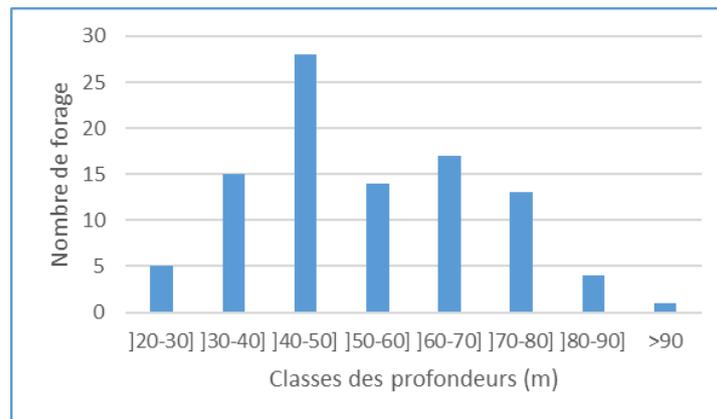


Figure 5 : Distribution des forages à faibles et moyens débits par classes de profondeurs

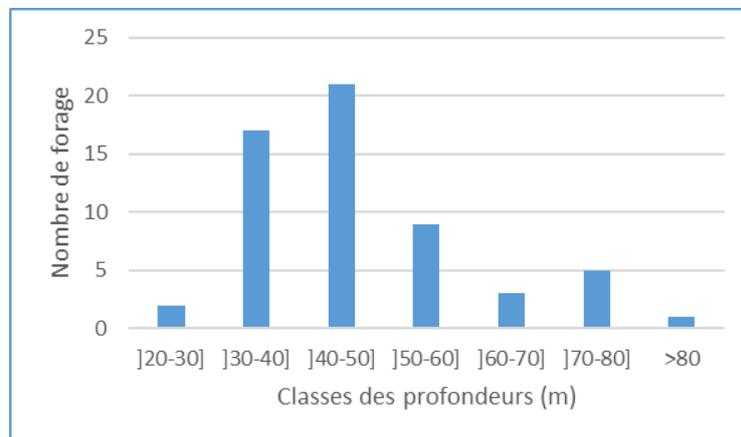


Figure 6 : Distribution des forages à forts débits par classes de profondeur

3-3-3. Arrivées d'eau

Les arrivées d'eau se situent essentiellement entre 10 m et 50 m de profondeur pour les forages à fort débits, cependant la tranche de profondeur de 10 m à 30 m est la plus dominante (**Figure 7**). Les forages à faibles et moyens débits ont des arrivées d'eau qui se situent majoritairement entre 10 m et 50 m de profondeur et la tranche de profondeur de 10 m à 20 m est la plus dominante (**Figure 8**). Dans les deux cas les arrivées d'eau sont rares au-delà de 50 m de profondeur.

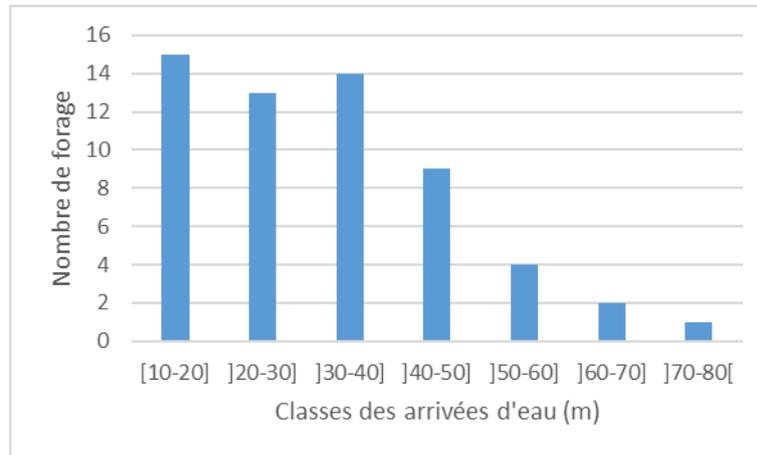


Figure 7 : Distribution des forages à forts débits par classes d'arrivées d'eau

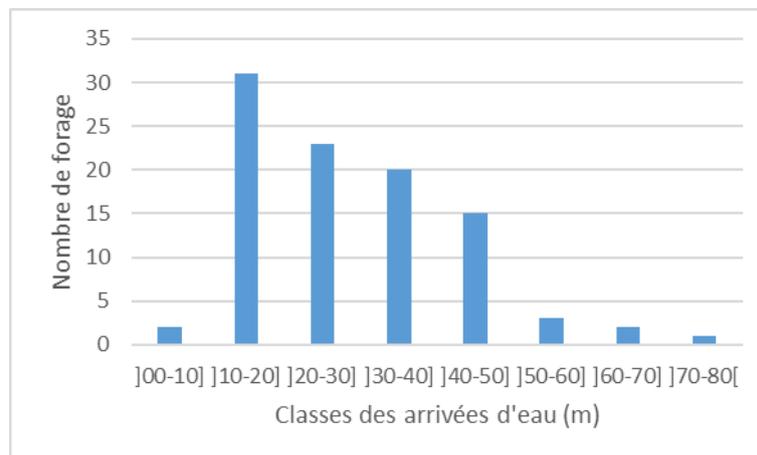


Figure 8 : Distribution des forages à faibles et moyens débits par classes d'arrivée d'eau

3-3-4. Niveau statique

Le niveau statique se situe majoritairement entre 5 m et 10 m pour les forages à forts débits (**Figure 9**) et entre 5 m et 15 m pour ceux à faible et moyen débit. Toute fois la fréquence des forages à faibles et moyens débits est plus importante entre 5 m et 10 m (**Figure 10**).

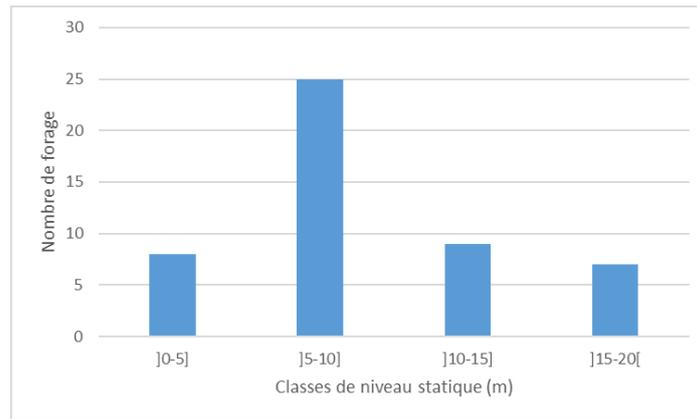


Figure 9 : *Distribution des forages à forts débits par classes de niveau statique*

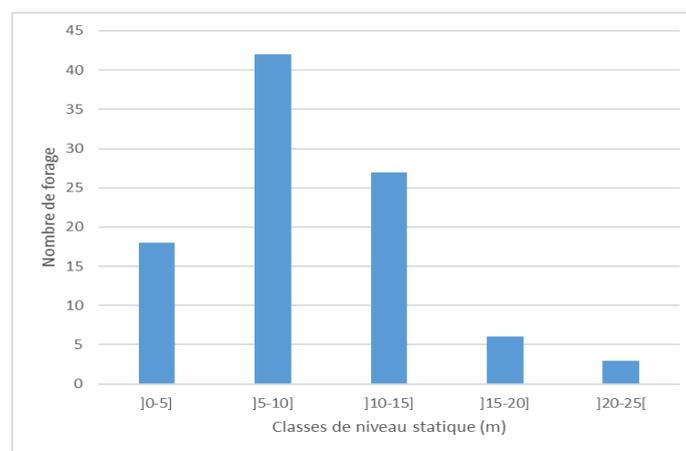


Figure 10 : *Distribution des forages à faibles et moyens débits par classes de niveau statique*

3-3-5. Transmissivité

Les *Figures 11 et 12* montrent que les forages à faible et moyen débit sont essentiellement de faible et moyenne transmissivité. Les forages à fort débit sont essentiellement de moyenne et forte transmissivité. Plus de la moitié de ces forages ont une transmissivité supérieure à 10^{-04} m²/s.

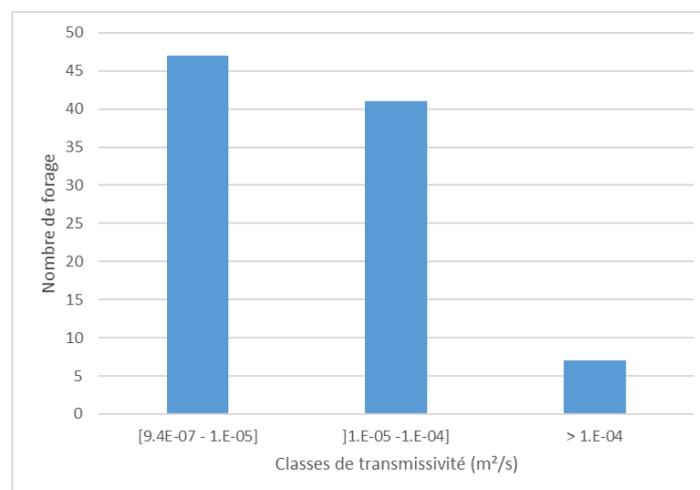


Figure 11 : *Distribution des forages à faibles et moyens débits par classes de transmissivité*

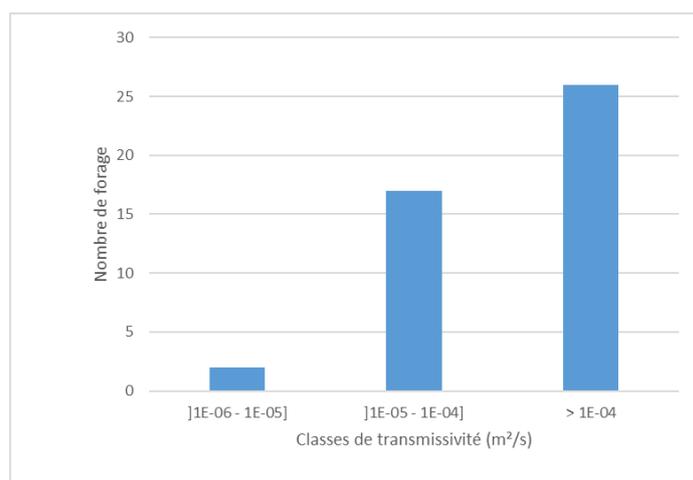


Figure 12 : Distribution des forages à forts débits par classes de transmissivité

3-3-6. Caractérisation de la productivité par l'analyse en composantes principales

3-3-6-1. Analyse de la Matrice de Corrélations

L'analyse de la matrice de corrélation (**Tableau 4**) montre d'une part l'existence d'une bonne corrélation (0,71) entre la profondeur de la première arrivée d'eau (AE) et la profondeur totale du forage (P). Elle indique également des corrélations moyennes entre l'épaisseur d'altération (EA) et la profondeur de la première arrivée d'eau (AE) et entre l'épaisseur d'altération (EA) et la profondeur totale du forage (P) avec des coefficients de corrélation respectifs de 0,59 et 0,56.

Tableau 4 : Matrice de corrélation des paramètres des forages à forts débits

| | N | T | EA | P | AE | Q |
|----|------|-------|-------|------|-------|---|
| N | 1 | | | | | |
| T | 0,11 | 1 | | | | |
| EA | 0,49 | -0,12 | 1 | | | |
| P | 0,34 | 0,12 | 0,56 | 1 | | |
| AE | 0,38 | 0,19 | 0,59 | 0,71 | 1 | |
| Q | 0,10 | 0,20 | -0,11 | 0,21 | -0,02 | 1 |

3-3-6-2. Valeurs Propres

Les valeurs propres et pourcentages des variances exprimées par les facteurs sont consignés dans le **Tableau 5**. Les facteurs 1, 2 et 3 portent respectivement 43,06 ; 21,48 et 14,05 % de variances exprimées avec un total de 78,6 % de variance. Ces facteurs seront donc choisis pour l'analyse de l'ACPN.

Tableau 5 : Valeur propres des facteurs pour l'ACPN des paramètres des forages à forts débits

| | Valeurs Propres | % variance | Cumul valeurs propres | % Cumulé |
|-----------|-----------------|------------|-----------------------|----------|
| Facteur 1 | 2,583 | 43,06 | 2,583 | 43,1 |
| Facteur 2 | 1,289 | 21,48 | 3,872 | 64,5 |
| Facteur 3 | 0,843 | 14,05 | 4,715 | 78,6 |
| Facteur 4 | 0,738 | 12,29 | 5,452 | 90,9 |
| Facteur 5 | 0,312 | 5,20 | 5,764 | 96,1 |
| Facteur 6 | 0,236 | 3,93 | 6,000 | 100,0 |

3-3-6-3. Cercle de communauté des variables

La projection des variables dans le plan factoriel F1-F2 (**Figure 13**) met en évidence deux regroupements :

- un regroupement composé des variables P, AE, N, et EA dans sa partie positive du facteur 1 ;
- un regroupement composé de T et Q à l'extrémité positive du facteur 2.

Le facteur 1 est caractérisé par les variables P, AE et EA et N. Le regroupement de ces facteurs identifie l'accessibilité de l'eau dans le forage du fait qu'ils lient la présence des arrivées d'eau (AE) à la profondeur du forage. Le facteur 2 est caractérisé par Q et T. Ces deux paramètres expriment la productivité de l'aquifère.

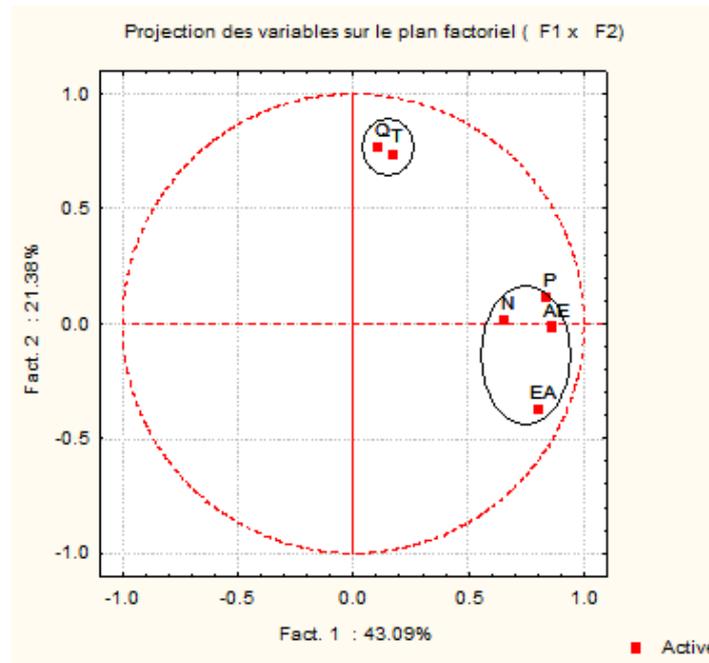


Figure 13 : Représentation des variables dans le plan factoriel F1-F2 (forages à forts débits)

4. Discussion

La productivité des forages dans les milieux cristallins est décrite comme relativement faible, de l'ordre de quelques centaines de L/h à quelque dizaine de m³/h [16]. Dans la région de Man, on rencontre des débits importants (supérieur à 5 m³/h) au niveau de certains forages. Ces forages sont déclarés à forts débits. Cette forte productivité serait liée d'une part à la profondeur de l'ouvrage et d'autre part à la transmissivité. En effet, l'analyse en composantes principales normées des paramètres physiques et hydrodynamiques des forages à forts débits de la région de Man révèle que :

- la forte productivité des forages est plus liée à la transmissivité : les débits augmentent avec la transmissivité ;
- pour capter des fractures hydrauliquement actives, il faut forer en profondeur : la profondeur augmente l'apparition des arrivées d'eau et l'épaisseur d'altération ;
- l'importance des débits des ouvrages ne semble pas être nécessairement liée à la puissance des altérites d'une manière générale.

Les forages à forts débits appartiennent essentiellement aux classes de transmissivités moyennes et fortes avec une moyenne de $3.12 \cdot 10^{-04} \text{ m}^2/\text{s}$ (qualifié de forte transmissivité). Ces forages sont donc caractérisés par

de très bonnes propriétés hydrauliques qui seraient à l'origine de leur forte productivité. En effet les fortes productivités des aquifères de socle sont généralement liées à des zones de fractures conductrices, caractérisées par de fortes transmissivités [4, 12, 17]. L'existence de fracturation reste un élément essentiel dans la capacité transmissive des roches cristallines et cristallophylliennes car en l'absence de phénomènes tectoniques et de désagrégation, ces roches sont pratiquement imperméables [18]. Dans la zone d'étude, les fractures hydrauliquement actives, se rencontrent entre 30 m et 60 m profondeur. Plusieurs travaux dans le socle se sont soldés par des résultats identiques [5, 17 - 19] La profondeur des forages dans la région de Man est comprise entre 23,40 m et 90,32 m. Cependant les forages à forts débits de la région dépassent rarement 60 m de profondeur. Quant aux arrivées d'eau, elles sont comprises entre 9,20 m et 74,35 m avec une moyenne de 30.17 m mais se concentrent essentiellement entre 10 m et 50 m. De plus, l'existence d'une corrélation négative ($R = - 0,40$) entre la profondeur des ouvrages et le débit air-lift au niveau des forages à faibles et moyens débits indique que dans la région de Man, une profondeur importante des forages tendrait à réduire le débit des forages tout comme dans la région de Oumé [17]. Les profondeurs de forage les plus grandes trouvées ici dans la région, seraient donc liées soit à la non-obtention du débit recherché, donc à la poursuite de la foration [20], soit à la puissance de la couche d'altérite.

Il est admis une profondeur au-delà de laquelle, les chances de trouver un horizon aquifère s'amenuisent, surtout au sein des roches de socle altérée [14, 21]. Des travaux ont défini la profondeur optimale à atteindre lors de la foration pour obtenir des productivités satisfaisantes au niveau des roches cristallines. Ceci a pour but d'éviter les surcreusements inutiles très souvent constaté lors des campagnes de foration en Afrique de l'Ouest, qui n'ont aucune amélioration sur la productivité des ouvrages [14, 15, 22]. Dans la région de Man, les épaisseurs de la couche d'altération varient de 0,30m à 43,40m avec une moyenne de 14,88m. Cependant, l'importance des débits des forages ne semble pas établir une relation particulière avec la puissance des altérites. Cette hypothèse se justifie par le fait que l'on ne tient pas compte, ni de la nature des altérites, ni de la roche mère dont elles sont issues [18]. En effet, des auteurs ont montré que la productivité des forages augmente avec l'épaisseur des altérites sur les roches cristallines et cristallophylliennes et diminue lorsqu'il s'agit des schistes birimiens de Côte d'Ivoire [23]. Malgré ses faibles propriétés hydrauliques, cette formation constituerait un réservoir de stockage non-négligeable soumis à une recharge efficace lors d'évènements pluvieux. Elles auraient notamment un rôle déterminant dans les processus de recharge des aquifères fracturés sous-jacents. La présence d'un réservoir superficiel connecté au réseau de fracture du socle sous-jacent augmenterait la productivité des forages concernés. Plusieurs études ont démontré que le réservoir altéré de surface joue le rôle de stockage et d'alimentation du socle [16].

5. Conclusion

La présente étude a permis de montrer que les paramètres tels que la profondeur forée, l'épaisseur d'altération, le niveau statique et la transmissivité ont une influence sur la productivité des forages. 26 % des forages ont un débit faible (≤ 2.5 m³/h) et 37 % ont un débit fort. Les forages à forts débits ont des profondeurs comprises entre 26,82 m et 81 m avec une moyenne de 47,25 m. Les profondeurs les plus productives se situent entre 30 m à 60m. Les arrivées d'eau se situent essentiellement entre 10 m et 50 m de profondeur pour les forages à forts débits. Le niveau statique se situe majoritairement entre 5 m et 15 m La transmissivité est de l'ordre de 1.10^{-4} , variant entre 1.10^{-3} et 1.10^{-7} m/s². Le traitement de l'ACPN montre que l'aquifère de Man est guidé par les phénomènes d'accessibilité et de productivité.

Références

- [1] - K. J. KOUAME, « Contribution à la Gestion intégrée des Ressources en Eaux (GIRE) du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) : Outils d'aide à la décision pour la prévention et la protection des eaux souterraines contre la pollution ». Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, (2007) 227 p.
- [2] - L. O. BLE, G. S. DEGNY, A. DOUAMPO et T. D. SORO, « Qualité physico-chimique des eaux d'adduction publique issues d'une station de traitement d'Abidjan (cas de la station zone Nord d'Adjamé) ». *Afrique SCIENCE*, 18 (2) (2021) 81 - 93
- [3] - B. DEWANDEL, P. LACHASSAGNE, R. WYNS, J.-C. MARECHAL et N. S. KRISHNAMURTHY, "A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering". *Journal of Hydrology*, 330 (1-2) (2006) 260 - 284
- [4] - D. BAKA, F. M. GNAMBA, K. T. YAO et M. YOUAN-TA, « Influence des caractéristiques de l'aquifère sur la productivité des forages dans la région d'Oumé (Centre-Ouest Côte d'Ivoire) ». *Asian Journal of Science and Technology*, 10 (08) (2019) 10005 - 10013
- [5] - O. Z. De LASME, K. S. DELMAS et A. COULIBALY, « Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des aquifères du socle dans quelques localités du Nord de la Côte d'Ivoire ». *European Scientific Journal, ESJ*, 17 (7) (2021) 137 - 153
- [6] - A. M. KOUASSI, J. C. OKAINGNI, K. E. KOUAKOU et J. BIEMI, « Évaluation des propriétés hydrauliques des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien : Cas de la région du N'Zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire) ». *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2 (1) (2013) 61 - 71
- [7] - INS « Recensement Générale de la Population et de l'Habitation (RGPH) 2014 ». Rapport d'exécution et présentation des principaux résultats, (2014) 49 p.
- [8] - K. M. BROU, « Croissance urbaine et risques naturels en milieu de montagne : l'exemple de Man (Côte d'Ivoire) ». Thèse de doctorat Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), (2017) 258 p.
- [9] - B. T. A. GOULA, I. SAVANE, B. KONAN, V. FADIKA et G. B. KOUADIO, « Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide) ». *VertigO – La revue en sciences de l'environnement*, 7 (1) (2006) 1 - 12
- [10] - A. N. KOUAMELAN, « Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire. Implications pour la transition Archéen Protérozoïque ». Thèse Unique de Doctorat, Université de Rennes 1, (1996) 284 p.
- [11] - K. F. KOUAMÉ, « Hydrogéologie des régions de montagne : apports des données de télédétection et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale des aquifères discontinus du secteur Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de 3ème cycle, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (1999) 200 p.
- [12] - T. LASM, F. KOUAMÉ, M. S. OGA, J. R. P. JOURDA, N. SORO et H. B. KOUADIO, « Étude de la productivité des réservoirs fracturés des zones de socle. Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Ivairienne Sciences Technologie*, 5 (2004) 97 - 115
- [13] - CIEH, « Méthodes d'étude et de recherché de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest ». *Géohydraulique*, 38 (1981) 100
- [14] - E. K. KOUADIO, S. NAGNIN, I. SAVANE, « Stratégie d'optimisation de la profondeur des forages en contexte de socle : application à la région du Denguélé, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire ». *Revue des sciences de l'eau*, 23 (1) (2010) 1 - 15
- [15] - G. SORO, T. D. SORO, N. M. R. FOSSOU, O. A. ADJIRI et N. SORO, « Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire) ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (3) (2019) 1870 - 1889

- [16] - C. ROQUES, « Hydrogéologie des zones de faille du socle cristallin : implications en termes de ressources en eau pour le Massif Armoricain ». Sciences de la Terre. Thèse de doctorat Université Rennes 1, France. (2013) 217 p.
- [17] - D. BAKA, « Géométrie, hydrodynamisme et modélisation des réservoirs fracturés du socle protérozoïque de la région d'Oumé (centre-ouest de la côte d'Ivoire) ». Thèse de Doctorat Université Félix Houphouët Boigny Cocody Abidjan (Côte d'Ivoire), (2012) 246 p.
- [18] - Y. A. N'GO, D. L. GONÉ, I. SAVANÉ and M. M. GOBLÉ, « Potentialité en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) : caractérisation hydroclimatique et physique ». *Afrique Science*, 1 (1) (2005) 127 - 144
- [19] - D. BAKA, T. LASM, M.-S. OGA, M. YOUAN-TA, O. DE LASME, S. O. KOUAKOU et F. B. ETTIEN, « Characterization of transmissivity in the fractured reservoirs in the Oumé area (Centre of Côte d'Ivoire) ». *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 2 (2) (2013) 10 - 322
- [20] - G. SORO, N SORO, K. E AHOUSI, T. LASM, F. K. KOUAMÉ, T. D. SORO, J. BIÉMI, « Évaluation 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) (2010) 227 - 242
- [21] - A. M. KOUASSI, K. E. KOUAKOU, K. K. R. KADIO, J. BIEMI, « Conception de modèles statistiques à variables hydrogéologiques pour la prévision de la profondeur limite d'arrêt de forage d'eau en milieux de socle en Côte d'Ivoire ». *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 11 (1) (2014) 181 - 197
- [22] - F. M. GNAMBA, Y. M. S. OGA, T. GNANGNE, T. LASM, J BIÉMI and Y. K. N. KOUAKOU. « Analyse de la productivité des aquifères de fissures du socle paléoprotérozoïque de la région de Katiola (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire) ». *European Scientific Journal*, 10 (5) (2014) 79 - 98
- [23] - M. J. MANGOVA, S. TOURE, B. T. A. GOULA, K. B. YAO, I. SAVANE et J. BIEMI, « Évaluation des caractéristiques des aquifères fissurés du bassin versant de la Baya ou Bâ (est de la Côte d'Ivoire) ». *Revue ivoirienne sciences technologie*, 16 (2010) 243 - 259