

Évaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique du département de mayo-tsanaga, Région de l'Extrême-Nord, Cameroun

François NTEP^{1*}, Jean Ghyslain TABUE YOUNBI¹ et Fayçal MATABA²

¹ *Université de Maroua, Ecole Nationale Supérieure des Mines et des Industries Pétrolières, Département d'Exploration Minière Pétrolière Gazière et des Ressources en Eau, BP 08, Kaélé, Cameroun*

² *Université de Maroua, Département d'Exploration Minière Pétrolière Gazière et des Ressources en Eau, BP 08, Kaélé, Cameroun*

(Reçu le 01 Janvier 2026 ; Accepté le 18 Février 2026)

* Correspondance, courriel : francoisntep10@gmail.com

Résumé

L'approvisionnement en eau potable des populations du département de Mayo-Tsanaga, dans la région de l'Extrême-Nord au Cameroun est essentiellement assuré par les eaux souterraines. Malheureusement, de nombreux forages réalisés sont souvent déclarés négatifs, en raison de leur trop faible productivité. Ce travail a pour objectif d'évaluer des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique du département de Mayo-Tsanaga, Extrême-Nord, Cameroun. Pour ce faire, une exploitation de la compilation de données issues des fiches techniques de forage, de même les essais de pompage disponibles dans ce socle a été faite. Ces données concernent la profondeur totale (Pt), l'épaisseur d'altérite (EA), le débit d'exploitation maximal (Q_{ex_max}) déduit de la méthode proposée par le C.I.E.H. Quelques paramètres hydrauliques notamment la transmissivité (T) déterminée à partir de la pente (d) de la droite de Jacob a été utilisée. L'analyse statistique des paramètres physiques et hydrauliques déterminés a été réalisée. Les résultats montrent que les débits des forages oscillent entre 0,84 m³/h et 4,41 m³/h ; de même, la transmissivité fluctue entre 1,26x10⁻⁴ m²/s et 3,79x10⁻⁶ m²/s. Les épaisseurs d'altérites varient entre 01 m et 14 m. L'influence de l'épaisseur d'altérite sur la productivité a été mise en évidence ainsi pour une épaisseur importante, la probabilité d'obtenir des débits appréciables est élevée. L'analyse statistique révèle que les ouvrages forés sur formation à socle métamorphique sont les plus productives avec 46,5% des ouvrages, les profondeurs optimales les plus productives sont comprises entre 60 et 80 m. Ces résultats pourraient aider les décideurs à gérer de manière quantitative les ressources en eaux souterraines dans le Mayo-Tsanaga en particulier et partant de la région en générale.

Mots-clés : *paramètres hydrauliques, aquifères de socle cristallin, évaluation de la productivité, Mayo-Tsanaga, Extrême-Nord Cameroun.*

Abstract

Evaluation of Hydraulic Parameters of Fractured Aquifers with crystalline and metamorphic bedrocks in the Mayo-Tsanaga Division, Far North Region, Cameroon

The potable water supply for the population of the Mayo-Tsanaga Division, in the Far North Region of Cameroon, is primarily reliant on groundwater resources. Regrettably, a significant number of drilled boreholes are often classified as low-yield or unsuccessful due to insufficient productivity. The objective of this study is to evaluate the hydraulic properties of the fractured aquifers within the crystalline and metamorphic formations of the Mayo-Tsanaga Division, Far North Region, Cameroon. To achieve this, a compilation and analysis of data derived from borehole technical sheets and pumping tests available for this basement complex were conducted. The collected data included the total depth (P_t), the thickness of the weathered layer (E_A), and the maximum operational yield (Q_{ex_max}) determined using the method proposed by the C.I.E.H. Hydraulic parameters, notably the transmissivity (T), were calculated from the slope (d) of the Jacob straight-line method. A statistical analysis of the determined physical and hydraulic parameters was subsequently performed. The results indicate that the borehole yields range between $0.84 \text{ m}^3/\text{h}$ and $4.41 \text{ m}^3/\text{h}$. Similarly, the transmissivity values fluctuate between $1.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ and $3.79 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. The thicknesses of the weathered layers vary from 1 m to 14 m. The influence of the weathered layer thickness on productivity was clearly demonstrated: a greater thickness significantly increases the probability of obtaining appreciable yields. The statistical analysis further reveals that boreholes drilled in metamorphic basement formations are the most productive, accounting for 46.5 % of the successful water points, with optimal productive depths ranging between 60 m and 80 m. These findings are crucial and could assist decision-makers in the quantitative management of groundwater resources in the Mayo-Tsanaga Division specifically, and in the Far North Region generally.

Keywords : *hydraulic parameters, Crystalline bedrock aquifers, productivity assessment, Mayo-Tsanaga Division, Far North Region, Cameroon.*

1. Introduction

Les aquifères de socle occupent une superficie très importante au Cameroun. Les connaissances sur la structure et les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères de socle ont fait récemment l'objet de progrès très significatifs. Il a ainsi été démontré que ce sont les processus d'altération qui sont à l'origine de leur potentialité aquifère [1, 2]. Les aquifères de socle comprennent ainsi, du haut vers le bas des altérites meubles caractérisées par une faible perméabilité mais avec une capacité significative de stockage, un horizon fissuré stratiforme perméable, résultant lui aussi des processus d'altération, puis la roche saine imperméable, localement recoupée de couloirs d'altération plus profonde liés à des filons, des contacts lithologiques ou des anciennes fractures tectoniques qui peuvent aussi montrer une certaine perméabilité à leurs épontes [3 - 6]. L'origine de cette fissuration, et donc de la perméabilité des aquifères de socle, résulte des contraintes engendrées par le gonflement des minéraux au cours du processus d'altération. Cet horizon fissuré est constitué de roche dure, affectée, sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, par la présence de fissures, de fréquence décroissante avec la profondeur. [1, 2] puis [6, 7]. Pour une lithologie donnée, l'épaisseur de l'altérite dépend du climat, de la durée d'altération et de la topographie car, en présence d'un relief fort, l'érosion est intense et les produits de l'altération ne peuvent s'accumuler [3]. De manière générale, l'épaisseur de l'horizon fissuré est presque le double de celle des altérites meubles, et assure ainsi un stockage significatif des eaux souterraines [1, 2]. Dans le département de Mayo-Tsanaga, plusieurs

ouvrages de captages sont déclarés négatifs pour plusieurs raisons notamment n'ayant pas atteint un débit optimum de $01 \text{ m}^3/\text{h}$ ou encore sont abandonnés pour « tarissement ». En effet, la connaissance des caractéristiques de ces aquifères et les profondeurs optimales productives des formations géologiques sont connues de façon sommaire ou totalement méconnues [1, 2]. La présente étude est d'évaluer les potentialités en eau souterraine du socle dans le département de Mayo-Tsanaga à partir d'une analyse statistique des paramètres physiques de quelques forages d'une part, et d'autre part, la dynamique de la nappe dans les mêmes ouvrages pendant une période de huit mois de suivi.

2. Méthodologie

2-1. Présentation du site d'étude

La région de l'Extrême-Nord se localise entre les 10° et 13° de la Latitude Nord et les 13° et 15° de la Longitude Est. Elle s'étend sur près de 325 km de la zone soudanienne jusqu'au rivage du lac Tchad [8 - 10]. Elle compte 06 départements dont le département de Mayo-Tsanaga qui compte 07 arrondissements et a pour Chef-Lieu Mokolo (*Figure 1*).

2-1-1. Conditions climatiques

Une seule saison des pluies qui dure 04 mois soit de juin à octobre, centrée sur un maximum au mois d'août, avec des totaux moyens annuels variant de 400 à 1100 mm ; une saison sèche d'autant plus rigoureuse et longue 08 mois qui s'étend d'octobre à mai, que l'on se dirige vers le Nord et que l'on s'éloigne des monts Mandara [8 - 10]. La *Figure 2* est le diagramme ombrothermique de la zone d'étude.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

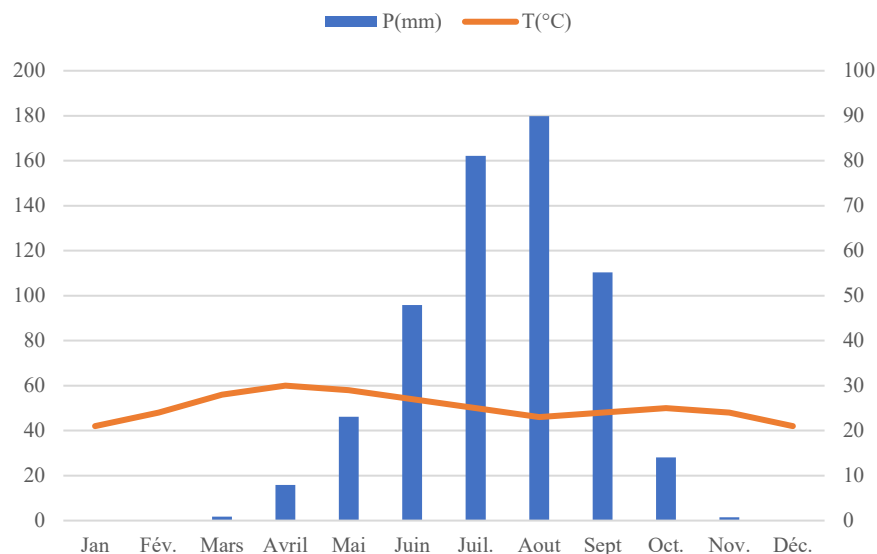


Figure 2 : *Diagramme ombrothermique de la zone d'étude*

2-1-2. Réseau hydrographique

L'aperçu hydrologique de la région relève qu'elle est tributaire des bassins du lac Tchad et du Niger. Les Mayos Moskota, Nguétchéwé et Kouyapé se rejoignent au Nord de Nguétchéwé et traversent le cordon dunaire de Limani pour se perdre dans les plaines [8 - 10]. Les Mayo-Tsanaga et Mayo-Boula constituent les affluents du Logone et se déversent dans le lac Tchad.

2-1-3. Contexte géologique

La géologie de la zone est représentée par les formations sédimentaires, du socle cristallin précambrien et des formations volcaniques [9]. Les formations sédimentaires s'étendent aux pieds des monts Mandara, de la plaine du Diamaré jusqu'aux plaines tchadiennes. Son épaisseur varie de quelques mètres au niveau des piémonts à plusieurs dizaines de mètres au niveau du Lac Tchad [9,10]. Le socle cristallin précambrien affleure, de façon continue, dans les zones montagneuses de l'Ouest, la pénéplaine du sud et, de façon sporadique, en inselberg dans la zone centrale [9] (*Figure 3*).

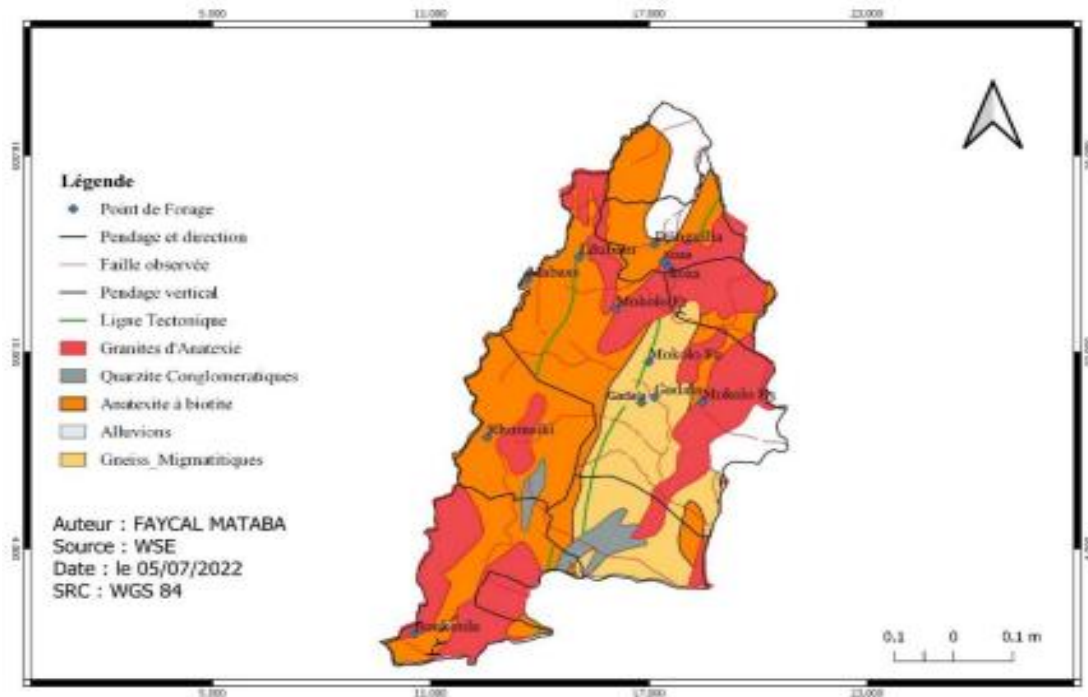


Figure 3 : Esquisse géologique et géolocalisation ouvrages dans le Mayo-Tsanaga

2-1-4. Contexte hydrogéologique

L'on distingue l'hydrogéologie du socle et hydrogéologie de la plaine (**Figure 4**). L'hydrogéologie du socle est caractérisée par un socle cristallin précambrien, des formations Infracambriennes et primaires illustrant un aquifère discontinu, lié à l'altération et à la fracturation [8 - 10]. La zone de plaine comprend 02 domaines d'âge quaternaire, subdivisé en plusieurs nappes [8 - 10].

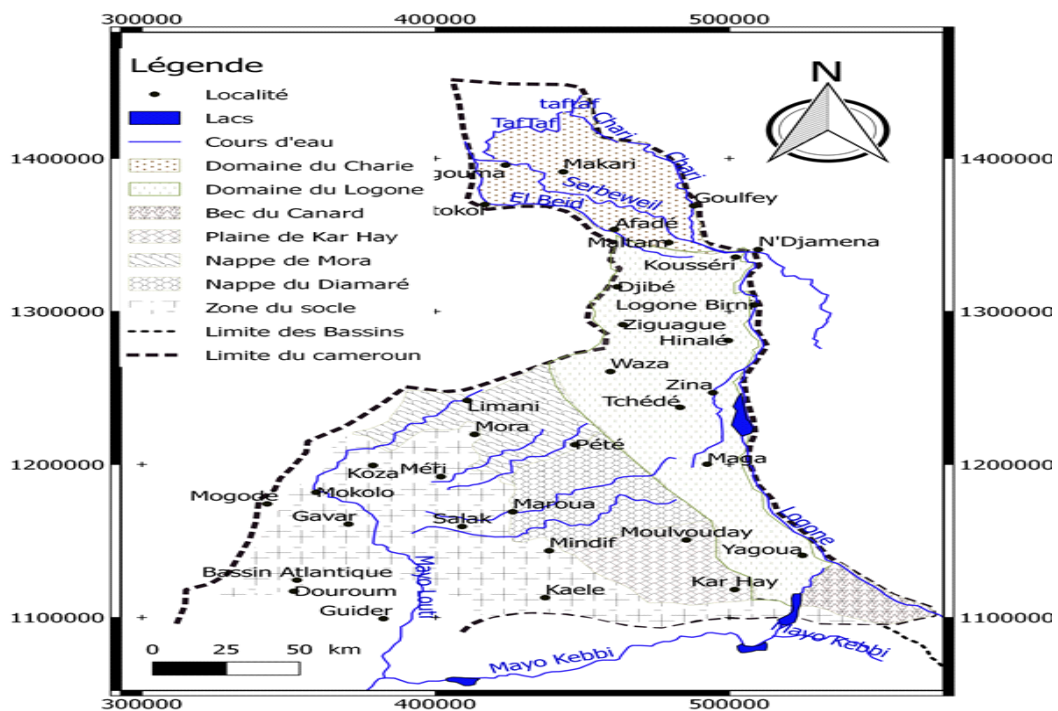


Figure 4 : Esquisse hydrogéologique de la région de l'Extrême-Nord du Cameroun [8]

2-1-4-1. Aquifères d'altérites

Une épaisseur comprise entre 00 et 50 m, une faible perméabilité de l'ordre de $1,10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Cette la nappe-aquifère se montre sujette à de très fortes variations de niveau. Les puits encore utilisables pendant la saison sèche ont des débits généralement inférieurs $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

2-1-4-2. Aquifères de fissures

Le front d'altération dépasse rarement 30 à 40 m d'épaisseur. Il correspond à un socle intensément fissuré et fracturé, phénomène lié en grande partie à la décompression superficielle et à la tectonique régionale. Les rochers dégradés et les zones fissurées constituent un aquifère plus important que les altérites. Leur perméabilité se révèle en moyenne dix fois plus élevée. Les variations saisonnières de niveau demeurent faibles (01 à 05) m et les débits moyens fournis par les forages sont de l'ordre de $02 \text{ m}^3/\text{h}$ [2, 11]. Plus la couverture saturée est continue et puissante, plus la probabilité de trouver de grandes quantités d'eau dans les fissures du socle est élevée ; longueur et densité du réseau de fracturation représentent des paramètres importants reconnus dès 1967 [12].

2-2. Détermination de la transmissivité

Dans cette étude, le puits de pompage étant le puits d'observation, et pour cela, il est souvent recommandé d'utiliser les données de la remontée après l'arrêt du pompage. Ces données ont été interprétées d'après la solution analytique de Cooper Jacob qui est recommandée dans cette recherche [13, 14] puis [15, 16]. **L'Équation (1)** est la **Formule** utilisée pour déterminer la transmissivité. Dans notre travail nous avons utilisé les valeurs de la pente (d) de la droite de Jacob pour estimer les transmissivités (T) dans ces aquifères :

$$T = \frac{0,183 \times Q}{\Delta Sr} \text{ ou } T = \frac{0,183 \times Q}{d} \quad (1)$$

où, Q = Débit de pompage (m^3/s) ; ΔSr = Variation du rabattement résiduel (m) ; d = Pente de la droite de Jacob.

Se référant aux travaux de recherche de [17, 18] puis celles de la C.I.E.H. [19], la classification des différentes transmissivités obtenues a été faite. Ainsi l'on a la classe faible $T < 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; la classe moyenne : $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} < T < 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et la classe forte : $T > 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

3. Résultats

3-1. Résultats

3-1-1. Nature du socle

La géolocalisation des points de forages à la carte géologique (**Figure 3**) permet de confirmer la nature du socle que l'ouvrage capte.

3-1-2. Analyse statistique des paramètres physiques des forages

L'analyse statistique de 12 forages réalisés ont été effectué dans le but de montrer s'ils existaient des relations entre la productivité et les différents paramètres physiques tels que : la profondeur totale forée, l'épaisseur d'altération et la nature lithologique des formations géologiques que capte l'ouvrage.

3-1-2-1. Relation débit et profondeur de l'ouvrage

La majorité des forages suivis sont dans les classes des faibles et très faibles débits (**Figure 5**). La tranche de profondeur optimale à proposer pour réaliser des forages économiques et productive est comprise entre 60 et 80 m. Au-delà de 90 m, les débits commencent à baisser. Les profondeurs comprises entre 50 et 70 m sont majoritairement observées dans les formations granitiques que dans les formations métamorphiques. Dans les granites, 50 % des forages suivis ont des profondeurs situées entre 70 et 90 m alors que dans les gneiss on en dénombre que 43 %. Quelle que soit la nature de la formation géologique, aucun forage situé à plus de 90 m de profondeur n'a été enregistré (**Tableau 1**).

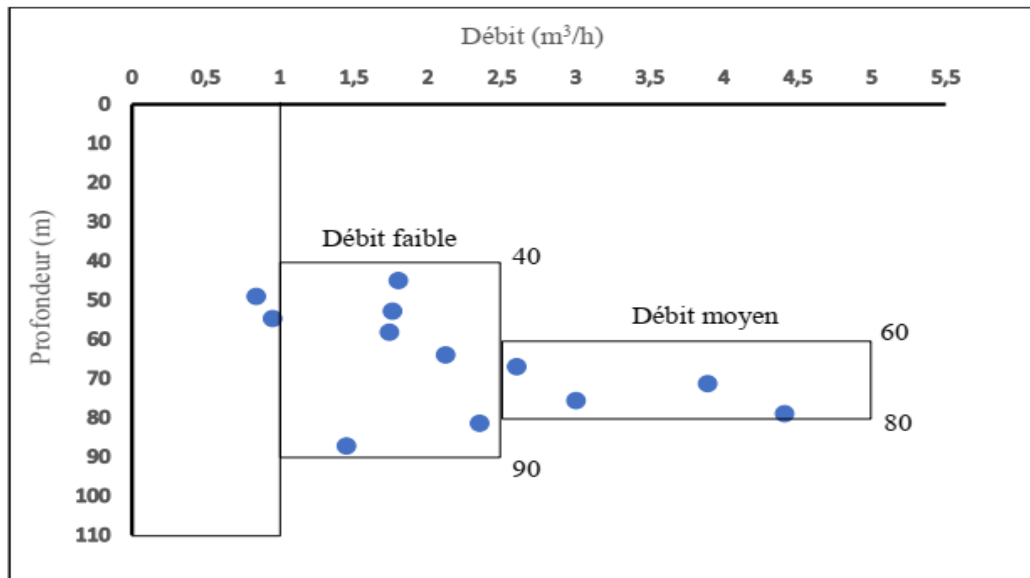


Figure 5 : Distribution des débits d'exploitation en fonction de la profondeur de l'ouvrage

Tableau 1 : Classification des profondeurs forées en fonction des formations géologiques

Profondeur forée (m)	Formation géologique			
	Granite		Gneiss	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
< 50	1	25	1	14
< 70	2	50	3	43
< 90	2	50	3	43
Total	5	100	7	100

La profondeur maximale des ouvrages sur substratum granitique est de 87,20 m et de 81,4 m sur du gneiss. En revanche, la moyenne sur gneiss 65,41 m est sensiblement égale à celle observée sur granites 65,46 m. Les profondeurs minimales sont de 49,00 et 45,00 m respectivement dans les granites et les gneiss (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Synthèse statistique des profondeurs forées et formations géologiques

Proportion	Formation géologique	
	Granite	Gneiss
Effectif	05	07
Maximum	87,20	81,40
Minimum	49,00	45,00
Moyenne	65,46	65,41
Ecart-type	15,33	13,72

3-1-2-2. Relation débit et épaisseur d'altération

L'épaisseur d'altérile meuble n'est jamais > 15 m (**Figure 6**). La majorité des ouvrages présentant des débits faibles ont des épaisseurs d'altérations comprises entre 01 et 09 m. Les débits moyens les plus significatifs s'enregistrent autour de 04 à 14 m d'épaisseur d'altération. C'est dans ce sens que pour une épaisseur d'altération importante, la probabilité d'obtenir des débits appréciables est élevée.

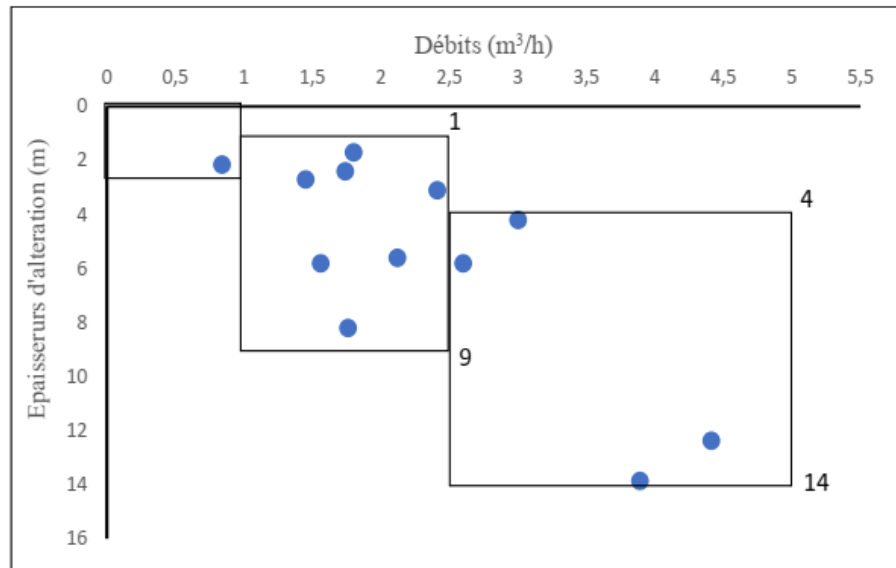


Figure 6 : Distribution des débits d'exploitation en fonction de l'épaisseurs d'altération

3-1-2-3. Analyse statistique des épaisseurs d'altération

Quelle que soit la nature de la formation, le pourcentage des ouvrages forés de profondeur inférieure à 05 m est de 25 % (**Figure 7**). Dans les granites, celle inférieure à 10 m est de 33 % alors qu'elle est de 35 % dans les gneiss. La tendance est un peu renversée dans le cas d'épaisseur inférieure à 15 m où on observe 40 % pour les gneiss et 42 % dans les granites.

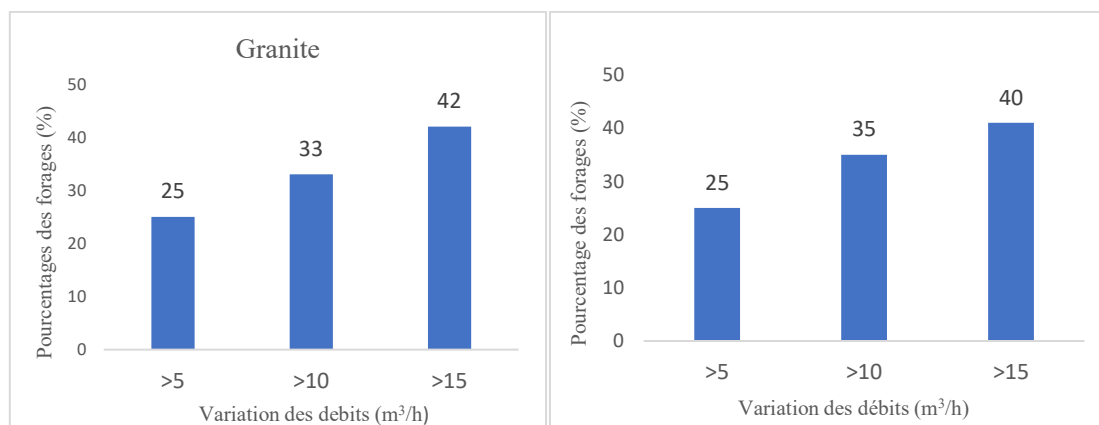


Figure 7 : Épaisseur d'altérile en fonction de la formation géologique forée

L'interprétation des données du **Tableau 3** indique que l'épaisseur maximale dans les granites est de 13,87 m, le minimum de 2,15 m, pour une moyenne de 6,04 m et 5,67 m comme dispersion. Dans les formations métamorphiques les altériles varient de 1,70 à 12,38 m et nous avons comme moyenne et écart-type respectivement 5,33 et 3,81 m. L'épaisseur d'altération maximale se rencontre dans les granites 13,87 m.

Tableau 3 : Synthèse statistique de l'épaisseur d'altération

Proportion	Formation géologique	
	Granite	Gneiss
Effectif	05	07
Maximum	13,87	12,38
Minimum	2,15	1,70
Moyenne	6,04	5,33
Ecart-type	5,67	3,81

3-1-2-4. Relation débits et nature lithologique

Les débits d'exploitation des différents ouvrages dépendent des unités géologiques aquifères. Quelle que soit la formation géologique, aucune classe des forts débits n'a été enregistrée. Lur l'ensemble des forages suivis, 07 captent les aquifères métamorphiques ; dans ce dernier les débits faibles présentent un taux de 57 % alors que le débit moyen est de 29 % (**Figure 8**). Pour les 05 autres ouvrages sur formations granitiques, les débits faibles à moyen représentent 40 %. La majorité des débits obtenus dans ces aquifères se trouve autour de 0 – 1 m³/h c'est-à-dire dans la classe des débits faibles.

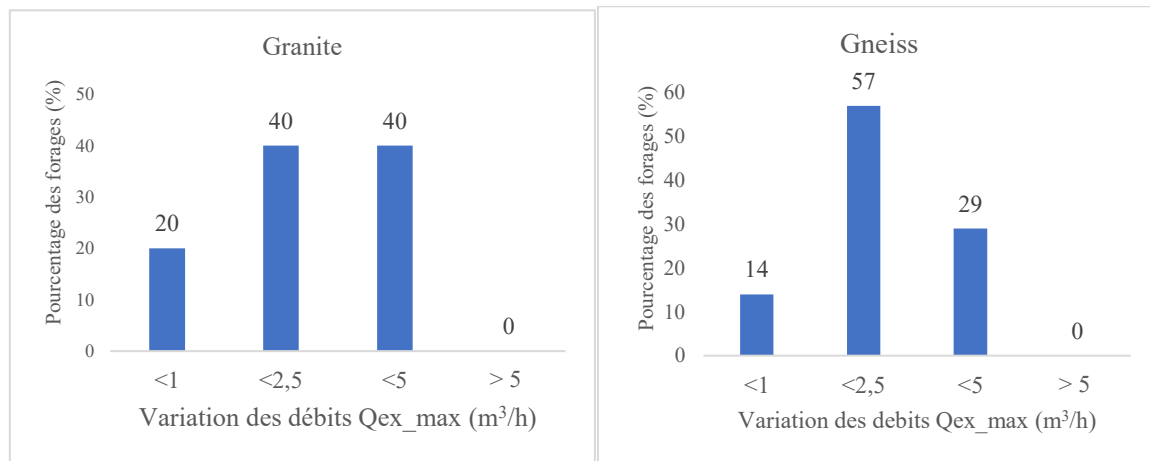


Figure 8 : Fréquences débits d'exploitation en fonction des formations géologiques

3-1-3. Analyses statistiques des paramètres qui influencent la productivité

3-1-3-1. Débit maximum d'exploitation

Dans le département de Mayo-Tsanaga, les débits des forages réalisés varient de 0,84 m³/h à 3,89 m³/h dans les granites avec une moyenne de 2,11 m³/h et l'écart-type de 1,18 m³/h. alors que dans le gneiss, ils fluctuent entre 0,95 m³/h et 4,41 m³/h avec une moyenne de 2,34 m³/h et d'écart-type de 1,11 m³/h. Le débit le plus important est observé dans les aquifères métamorphiques 4,41 m³/h et celui le plus faible se trouve au niveau des aquifères granitiques avec 0,84 m³/h (**Tableau 4**). Au regard des résultats obtenus, nous pouvons dire que les formations métamorphiques semblent être productives que des formations granitiques.

Tableau 4 : Synthèse statistique des débits maximum d'exploitation

Proportion	Formation géologique et débits d'exploitation maximal [(Q _{ex_max}) (m ³ /h)]	
	Granite	Gneiss
Effectif	05	07
Maximum	3,89	4,41
Minimum	0,84	0,95
Moyenne	2,11	2,34
Ecart-type	1,18	1,11

Les résultats de la classification des débits des forages positifs suivant C.I.E.H. montrent que la classe des débits moyens considérée comme débits significatifs est important dans les formations granitiques 40 % que dans les formations métamorphiques 28,6 % (**Figure 9**).

3-1-3-2. Analyse statistique du niveau statique

Le niveau statique maximum 20,8 m est observé sur le granite, alors que celui observé dans les gneiss est de 16,4 m. La moyenne sur gneiss 13,59 m est légèrement supérieure celle sur granite 11,83 m. Le niveau statique minimum sur gneiss est supérieur à celui observé sur du granite avec respectivement 10,12 m contre 7,05 m (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Synthèse statistique des niveaux statiques des ouvrages suivis

Proportions	Formation géologique et niveau statique/Sol (m)	
	Granite	Gneiss
Effectif	05	07
Maximum	20,8	16,4
Minimum	7,05	10,12
Moyenne	11,83	13,59
Ecart-type	5,25	2,44

3-1-3-3. Classification de la transmissivité

L'analyse du tableau 6 révèle que les différentes classes de transmissivités faibles et moyennes regroupent respectivement les valeurs de 20 % et 80 % dans les granites ; alors que dans les gneiss nous avons 14,3 % et 85,7 %. La transmissivité prédominante est la classe de transmissivité moyenne quelle que soit la nature du socle dans le Mayo-Tsanaga est comprise entre 80 % et 85,7 % respectivement dans le granite et les gneiss. Les gneiss sont donc plus transmissifs que les granites (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Classification des transmissivités en fonction des formations géologiques

Classe de Transmissivité (m ² /S)	Formation géologique			
	Granite		Gneiss	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
<10 ⁻⁵	01	20	01	14,3
<10 ⁻⁴	04	80	06	85,7
Total	05	100	07	100

Quelle que soit la formation géologique, différence des transmissivités entre le maximum et le minimum, est relativement. $3,79.10^{-6}$ m²/s et $2,47.10^{-6}$ m²/s comme valeurs minimales dans les granites et les gneiss. La transmissivité moyenne dans les granites est de $8,67.10^{-5}$ m²/s tandis qu'elle est de $5,16.10^{-5}$ m²/s pour les gneiss (**Tableau 7**).

Tableau 7 : Synthèse statistique des transmissivités

Proportion	Formation géologique et Transmissivité (m ² /s)	
	Granites	Gneiss
Effectif	05	07
Maximum	2,35.10 ⁻⁴	1,26.10 ⁻⁴
Minimum	3,79.10 ⁻⁶	2,47.10 ⁻⁶
Moyenne	8,67.10 ⁻⁵	5,16.10 ⁻⁵
Ecart-type	8,95.10 ⁻⁵	4,29.10 ⁻⁵

4. Discussion

4-1. Profondeur totale de foration

Les profondeurs de captage des nappes des aquifères fissurés dans les unités structurales dans le Mayo-Tsanaga fluctuent entre 60 et 80 m [19 - 23]. La marge de profondeur de productivité est dépendante du type de roche magasin, des épaisseurs d'altérations des roches et des conditions hydroclimatiques qui y règnent [19 - 23]. Ces résultats sont analogues à ceux obtenus par [20], lors des travaux sur la caractérisation de la productivité des aquifères de socle fissuré des unités externes de la chaîne panafricaine des Dahoméides dans le bassin versant du Mô au Nord-Ouest du Togo ; ceux de [2] dans la caractérisation des aquifères les aquifères du socle dans l'Extrême Nord du Cameroun ou encore ceux de [16, 24] dans le processus de l'évaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristallines et métamorphiques dans la région des lacs en Côte d'Ivoire. Les débits d'exploitation (Q_{exp}) variant entre 0,45 et 3,2 m³ /h dans le bassin du Mô. Les résultats escomptés sont concordants aux travaux antérieurs d'évaluation des aptitudes des aquifères fissurés. Toutes fois l'inégale distribution des classes de débits dans les hydro faciès est la résultante de la présence ou de la grandeur des épaisseurs d'altérations au sein d'une roche. Elle est entre autres due aux faites que certaines roches sont plus altérables que d'autres d'une part et d'autres parts des conditions hydrologiques et géomorphologiques. Il existe une profondeur au-delà de laquelle, les chances de trouver un horizon aquifère s'amenuisent, sur tout au sein des roches de socle altéré [24]. Dans le but d'éviter les surcreusements inutiles très souvent constaté durent les campagnes de foration, plusieurs travaux de recherche [20 - 24] ont ainsi défini la profondeur optimale à atteindre lors de la foration pour obtenir des productivités satisfaisantes au niveau des roches cristallines. Les profondeurs moyennes de forages étudiés sont de 73 m dans les formations granitiques et 61,5 m dans les formations métamorphiques, et les profondeurs maximales sont respectivement de 87 m et 75 m. Ainsi ces résultats sont contraires à ceux proposées par [8] dans la zone mixte de la région de l'Extrême-Nord où il trouve les valeurs de 43,40 m pour les formations métamorphiques ; 42,50 m pour les formations granitiques et 43,20 m pour les formations volcaniques. En effet, cette différence de profondeur pourrait être expliquer par la géomorphologie de la zone de Mokolo qui présentent des forts reliefs par rapport à celle de la zone mixte de la région. Egalement une profondeur de foration de 60 m dans cette zone, sachant que les fractures hydrauliques actives se renferment avec la profondeur [25].

4-2. Epaisseur d'altération

Les épaisseurs d'altériles varient entre 2,15 à 13,87 m avec une moyenne de 6,04 pour les granites et entre 1,7 m à 12,38 m pour les formations métamorphiques avec une moyenne de 5,33 m. En effet, les altériles présentent un profil dont l'évolution dépend de la composition, de la nature du substratum, du degré d'altération et des conditions climatiques environnants [5]. Les couches d'altériles reçoivent des précipitations nettes qui s'accumulent par infiltration efficace. De ce fait, nous pouvons dire qu'une épaisseur

d'altération importante, pourrait jouer le rôle d'alimentation des fissures. Cette observation semble être valable dans la zone de socle de la région de l'Extrême Nord. Les couches d'altérites reçoivent des précipitations nettes qui s'accumulent par infiltration efficace. Pour une épaisseur d'altération importante, la probabilité d'obtenir un débit appréciable est élevé [24]. Cette observation semble être valable dans la zone de socle de la région de l'Extrême Nord, où la moyenne des épaisseurs d'altération est de 4,06 m expliquant la faible productivité des aquifères. Cette conclusion dépend aussi de la nature de la roche sous-jacente.

4-3. Débit d'exploitation

Les débits moyens des forages étudiés varient entre 0,87 m³/h à 4,41 m³/h, ceci illustre la classe des débits forts n'existe pas dans cette zone. D'une manière générale, la majorité des débits s'enregistrent au tour de débits faibles à moyens. Contrairement à la zone mixte où l'on rencontre des débits importants. Les débits de forages étudiés varient entre 0,04 m³/h et 4 m³/h illustrant que la classe de débit fort n'existent pas dans cette zone de socle.

4-4. Transmissivité

Les valeurs de transmissivités obtenues varient entre $2,35 \times 10^{-4}$ et $2,47 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, une moyenne de $6,91 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et un écart type de $6,62 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Ceci explique également la faible productivité de ces aquifères. Ces transmissivités sont hétérogènes et de faible valeurs. Les plus importantes se rencontrent dans les formations granitiques et métamorphiques. Cette importance peut s'expliquer par la présence de réseaux de fracturations communicatives [23]. En effet, la diversité de direction de linéament leur confère l'avantage d'être plus transmissifs et à cela, il faut ajouter la présence de filons et joints secs [26]. Toutefois ces valeurs de transmissivité se rapprochent de celles obtenues dans la région de Yaoundé au Cameroun par [2, 16, 24, 27, 28].

5. Conclusion

Au terme de cette étude qui portait sur l'évaluation de la productivité des aquifères de socle dans le département de Mayo-Tsanaga, les conclusions suivantes peuvent en être tirées. Sur le plan géologique, le département de Mayo-Tsanaga est caractérisé essentiellement par les formations granitiques et métamorphiques ; l'existence des aquifères discontinus est lié principalement au phénomène tectonique qui les affectent créant ainsi des fissures ou des fractures à l'origine de leurs transmissivités. Les débits obtenus sont faibles à moyens ; trois classes de transmissivité ont été également enregistrées suivant la classification proposée par le CIEH. La productivité des ouvrages est dépendante de l'épaisseur des altérites, la densité des fractures, la profondeur de captages et des unités géologiques. Les épaisseurs d'altérations varient entre 0,5 à 35 m. L'importance des débits captée est fonction de la profondeur d'altération. L'intervalle de profondeur comprise entre 60 et 80 m est généralement la plus favorable en vue de l'implantation d'un ouvrage de captage dans cette zone. Afin de mieux juger la « productivité » des forages et de mieux appréhender l'influence des paramètres physiques et hydrodynamiques, il serait judicieux d'effectuer une Analyse en Composante Principale Normées (ACPN), permettant ainsi de mettre en évidence les liens éventuels que présenteraient deux ou plusieurs paramètres au cours de leur évolution.

Références

- [1] - P. LACHASSAGNE, R. WYNS et B. DEWANDEL, The fracture permeability of Hard Rock Aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 10 (2011) 1365 - 3121
- [2] - G. EWODO MBOUDOU, A. F. BON, E. BINELI, F. NTEP et A. OMBOLO, Caractérisation de la productivité des aquifères du socle de la région de l'extrême nord, Cameroun, *journal of the cameroon academy of sciences*, 14 (1) (2017), DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/jcas.v14i1.3>
- [3] - R. WYNS, J. M. BALTASSAT, P. LACHASSAGNE, A. LEGTCHENKO and J. VAIRON, Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, (1) (2004) 175 21 - 34
- [4] - R. TAYLOR and K. A HOWARD, Tectono-Geomorphic Model of the Hydrogeology of Deeply Weathered Crystalline Rock : Evidence from Uganda. *Hydrogeology Journal*, 8 (2000) 279 - 294
- [5] - J. C. MARÉCHAL, B. DEWANDEL & K. SUBRAHMANYAM, Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered fractured layer of a hard rock aquifer. *Water Resources Research*, 40 (2004) W1150801 - W1150817
- [6] - A. M. KOUASSI, K. E. AHOUSI, K. A. YAO, W. OUREGA, K. B. YAO et J. BIEMI, Analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du N'zi Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss journal*, N°10 (2012) 57 - 74 p.
- [7] - 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. *Hydrology J.*, 330 (2006) 260 - 284
- [8] - M. DETAY, Identification analytique et probabiliste des paramètres numériques et non numériques et modélisation de la connaissance en hydrogéologie sub-sahélienne — Application au Nord Cameroun. Univ. de Nice, Thèse de doct. ès-sciences, (1987) 456 p.
- [9] - C. J. DUMORT et Y. PERONNE, Carte Géologique de Reconnaissance à l'échelle du 1/500000. République Fédérale du Cameroun, feuille Maroua (BRGM, Cameroun), (1966)
- [10] - B. TILLEMENT, Hydrogéologie du Nord Cameroun. Bulletin Direction Mines et Géologie, 6, Yaoundé, (1970)
- [11] - J. C. MAILLARY, Notice explicative des cartes hydrogéologiques d'Abengourou et Dimbokro, (1/200 000) (1964)
- [12] - M. BOLOGNINI et J. MOUTON, « Méthodologie de la recherche d'eau en terrain cristallin ». Colloque AIH, Istamboul, (1967)
- [13] - T. LASM, Hydrogéologie des réservoirs fracturés 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 de l'Université de Poitiers, France, (2000) 274 p.
- [14] - D. DAKOURE, Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure sud-est du bassin sédimentaire de Taoudéni (Burkina Faso - Mali) — essai de modélisation. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, France, (2003) 255 p.
- [15] - F. LALBAT, Fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du Miocène du bassin de Carpentras (Vaucluse, France). Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France, (2006) 234 p.
- [16] - G. SORO, N. SORO, K. E. AHOUSI, T. LASM, F. K. KOUAME, T. D. SORO et J. BIEMI, Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristallines et métamorphiques dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 2, N°66 (2010) 1 - 16 p.
- [17] - K. A. YAO, A. M. KOUASSI, Y. B. KOFFI and J. BIEMI, Caractérisation hydrodynamique et hydrogéochimique des aquifères fissurés de la région de Toumodi (centre de la Côte d'Ivoire). *Journal of Environmental Hydrology*, 18 (2010) 455 - 470

- [18] - B. DIBI, D. INZA, B. T. GOULA, I. SAVANÉ et J. BIÉMI, Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Sud Sciences & Technologies*, N°13 (2004) 25 - 27 p.
- [19] - C. I. E. H. (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques), Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraines des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest. Tome I. Delany. F. 1965. Hydrogéologie des régions à substratum schisteux du Ghana, du Nigéria et de la Côte d'Ivoire et programme des travaux en Côte d'Ivoire. Document BRGM, (1978) 68 p.
- [20] - A. KOUDOU, B. E. N'DRI, K. H. NIAMKE, O. A. ADJIRI, A. P. SOMBO & K. C. NIANGORAN, Analyse de la productivité et estimation de la vulnérabilité à la pollution pour l'optimisation de l'implantation des forages dans les aquifères de socle du bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 38 (2016) 149 - 164
- [21] - F. M. GNAMBA, Y. M. S. OGA, T. GNANGNE, T. LASM J. BIEMI, Y. KOUAKOU et N. KOUMAN, 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
- [22] - O. Z. DE LASME, Contribution à une meilleure connaissance des aquifères fissures du Socle précambrien : cas de la région de San Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Hydrogéologie, Université Félix Houphouët Boigny, Cocody, (2013) 176 p.
- [23] - K. E. KOUADIO, N. SORO et 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*, Vol. 23, N°1 (2010) 1 - 15 p.
- [24] - A. M. KOUASSI, K. E. AHOUSI, K. A. YAO, W. E. J. A. OUREGA, K. S. B. YAO et J. BIEMI, Analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du N'zi Comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, (2012) 57 - 74 p.
- [25] - N. A. SAVADOGO, Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Étude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doctorat, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, (1984) 350 p.
- [26] - K. H. NIAMKE, M. B. SALEY, B. E. N'DRI, OUATTARA et J. BIEMI, Contribution à l'interprétation des linéaments par l'exploitation des Pseudo Images, de l'hydrographie en région tropicale humide : Cas du N'zi-Comoé (Centre de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 24, (1) (2008) 74 - 93 p.
- [27] - A. F. BON, J. R. NDAM NGOUPAYOU, G. EWODO MBOUDOU et G. E. EKOUECK, Caractérisation hydrogéologique des aquifères de socle altéré et fissuré du bassin versant de l'Olézoa à Yaoundé, Cameroun, *Revue des sciences de l'eau*, 29 (2) (2016) 149 - 166. <https://doi.org/10.7202/1036545a>
- [28] - K. E. AHOUSI, Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2008) 270 p.