

Caractérisation de la productivité des aquifères de socle fissuré des unités externes de la chaîne panafricaine des Dahoméides : cas du bassin versant du Mô, Nord-Ouest Togo

M'bènibé GMAKOUBA¹, Koudjo ADJE^{1,2*}, Daouda SAMA¹, Mozimwé ANI¹ et Kissao GNANDI¹

¹ *Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département des sciences de la terre, Laboratoire de Géologie, 01 BP 1515, Lomé, Togo*

² *Ecole Normale Supérieure d'Atakpamé, Département Sciences de la Vie et de la Terre, 200 BP 80, Atakpamé, Togo*

(Reçu le 31 Août 2024 ; Accepté le 15 Octobre 2024)

* Correspondance, courriel : adjekoudjo@gmail.com

Résumé

Le bassin versant du Mô est situé au Nord-Togo, il couvre une superficie de 4475 Km² environ du territoire. La majorité des ressources en eaux utilisées par les populations rurales pour leurs divers besoins est obtenue aux moyens des forages captés dans les aquifères de socle fissuré et d'altérites. Ce présent travail vise à évaluer la productivité des aquifères fissurés du bassin versant du Mô afin de rendre plus aisée l'implantation des forages à gros débits. Pour atteindre l'objectif, l'étude comparative des paramètres (les débits d'exploitations, les épaisseurs d'altérations, les profondeurs totales) de 271 forages dont 181 captant les nappes des aquifères fissurés et 90 les nappes contenues dans les altérites a été réalisée. Aussi, la réalisation des histogrammes des paramètres de productivité (les profondeurs totales (Pt), les épaisseurs d'altération (AE), les débits d'exploitation (Q_{exp}) et l'interpolation par Krigeage ont permis d'évaluer le potentiel hydrogéologique des aquifères. Cette étude a montré que les classes de débits moyens (2,5 à 5m³/h) à très forte (Q > 10 m³/h) sont représentatifs et les profondeurs productives se situent entre 30 et 70 m avec des épaisseurs d'altération n'excédant pas 35m. Les schistes sont les plus productifs en eau avec des débits atteignant 32 m³/h et les orthogneiss de l'Atacora avec des débits maximaux de 5,40 m³/h. Les résultats obtenus montrent une forte relation entre les paramètres de productivité des forages dans le bassin versant du Mô.

Mots-clés : *productivités, eau souterraine, aquifères fissurés, Forages, Socle, Bassin Versant du Mô, Togo.*

Abstract

The Productivity of fractured basement Aquifers in the outer units of the Pan-African Dahomeyid Range : the case of the Mô Watershed, NorthWest of Togo

The Mô catchment area is located in North Togo and covers a surface area of around 4,475 km². Most of the water resources used by rural populations for their various needs are obtained from boreholes tapped in fractured basement and alterite aquifers. This work aims to assess the productivity of fractured aquifers in the Mô catchment area, in order to make it easier to install high-flow boreholes. In order to achieve this objective, a comparative study of the parameters (flow rates, alteration thicknesses, total depths) of 291

boreholes was carried out, 181 of which tapped the aquifers of fissured aquifers and 90 the aquifers contained in the alterites. The hydrogeological potential of the aquifers was also assessed by plotting histograms of productivity parameters (total depths (Pt), alteration thickness (AE), exploitation flow rates (Q_{exp})) and interpolation by Kriging. The survey showed that the classes of : medium (2.5 to 5m³/h) to very high ($Q > 10$ m³/h) flow rates are representative and the productive depths are between 30 and 70 m with alteration thicknesses not exceeding 35m. The shales are the most productive, with flow rates of up to 32 m³/h, and the orthogneisses of the Atacora, with maximum flow rates of 5.40 m³/h. The results show a strong relationship between borehole productivity parameters in the Mò catchment.

Keywords : *productivity, groundwater, fissured aquifers Boreholes, Base, Mò catchment, Togo.*

1. Introduction

L'eau est une ressource de première nécessité pour tous les êtres vivants. Elle est utilisée pour les besoins de divers [1, 2]. Les demandes en eaux s'accroissent à tous les niveaux. L'explosion démographique et l'accroissement des activités économique partout ailleurs et en Afrique ont des répercussions sur la disponibilité et la qualité des eaux [3]. Les changements climatiques viennent aggraver la situation en baissant la fréquence et la quantité des pluies. Or, les populations résidents des régions de socle d'Afrique de l'Ouest ont longtemps exploité les eaux de surface pour leurs différents besoins et comme source d'eau pérenne [3 - 5]. Aujourd'hui, non seulement cette eau de surface se raréfie, mais également souffre de pollution due aux activités anthropiques [4]. Les enjeux environnementaux et sanitaires liés à la pollution dans les milieux aquatiques sont au cœur de nombreux débats de société [6, 7]. Ainsi, au manque d'eau en quantité s'ajoute le tarissement dû aux changements climatiques et à la mauvaise qualité des eaux de surfaces, réduisant la quantité et la qualité d'eau disponible [6, 7]. Hormis les besoins fondamentaux, l'eau est dans la plupart des cas mobiliser pour les pratiques agricoles en région paysannes [1, 5, 7, 8]. Le déficit d'eau dans les zones rurales rend la vie très fastidieuse [6, 9]. La faible disponibilité de l'eau et surtout de l'eau potable dans les zones urbaines comme dans les zones rurales conduisent les populations à s'intéresser eaux souterraines. Au cours de ces dernières décennies, les populations rurales à la recherche d'eau douce font recours aux eaux souterraines logées dans les aquifères de socle fissurés [2, 3]. Au Togo, le socle cristallin (roches magmatiques) et/ou cristallophyllien (roches métamorphiques) et les roches sédimentaires consolidés représente environ 94 % des formations géologiques [4]. L'alimentation en eaux des populations dans le socle est particulièrement basée sur l'exploitation des nappes des aquifères fissurés [5]. En effet, ces types d'aquifères regorgent l'essentielle des ressources en eaux souterraines exploitable aux moyens des puits à gros diamètre et des pompes à motricité humaine (PMH) [4, 6]. Ainsi dans le souci de subvenir au besoin en eau des populations Togolaises, plusieurs structures de réalisation des forages étatique et non étatique sont nées. Malheureusement, le manque de personnel qualifié dans nombreuses de ses sociétés et de technicité sur le terrain entraîne une augmentation des taux d'erreur lors des différentes implantations des ouvrages [8, 10]. En effet, la productivité des aquifères fissurés dans le bassin versant du Mò, localité à forte densité et à forte croissances situé au Nord-Ouest du Togo sont méconnues. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude dont l'objectif est de déterminer les aquifères fissurés les plus productifs en eau, en rendant des données disponibles qui orienteraient les réalisateurs des ouvrages des forages afin de rendre plus aisée l'implantation des forages à gros débits. Aussi, augmenté le taux d'accessibilité d'eau aux populations de ladite localité.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

2-1-1. Situation géographique de la zone d'étude

Le bassin versant du Mô est situé au Nord-Ouest du Togo entre les latitudes Nord 8°35' et 9°30' et les longitudes Est 0°22' et 1°15'. Il est partagé entre deux régions administratives : la région centrale et la région Kara. Il couvre une superficie de 4572 km². Le bassin du Mô est parcouru par les Monts Malfakassa au Sud de Bassar culminant à une altitude d'environ 529 m, avec un relief de plateaux dans la préfecture de Bassar dont les altitudes moyennes sont estimées entre 200 et 300 m. Il possède un vaste réseau hydrographique très ramifié et dendritique. Sur le plan hydrologique la rivière Mô avec une longueur de 160 Km, présente un débit moyen de 20 m³/s et un débit maximal de 80 m³/s en période des hautes eaux. Il a pour affluents : la Katcha, Kamaka, le Kindi, Koubousoung, Boualé. Il est drainé par une vaste plaine appelée la plaine du Mô. Le cours d'eau Mô est l'un des affluents du fleuve Oti. Il prend sa source dans l'Atakora à Alédjo Kadara à une altitude de 854 m [12 - 14] et se jette au Ghana dans la Volta. La **Figure 1** ci-dessous représente la carte de localisation géomorphologique de la zone d'étude.

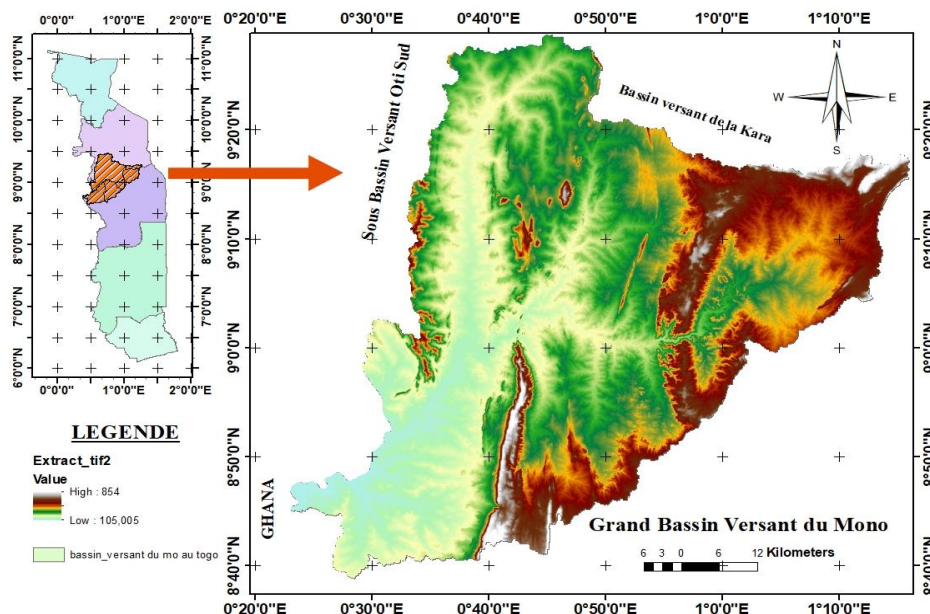


Figure 1 : Carte de localisation et géomorphologique du bassin versant du Mô

2-1-2. Contexte géologique et hydrogéologique

La chaîne des Dahoméyides est constituée de trois unités : les unités internes à l'est, la zone de suture au centre et les unités externes à l'Ouest [14]. La lithologie du bassin versant du Mô appartient aux unités externes de la chaîne panafricaine des Dahoméyides [15]. Ces unités externes sont subdivisées en deux : l'unité structurale de l'Atakora formé des quartzites, des orthogneiss, des grès-quartzites, des schistes et des micaschistes et de l'unité structurale du Buem formé des schistes, du jaspe, les shales, les hématites, les grès, grès-quartzites, des formations indurées (cuirasses), des gneiss à albites, des formations alluvionnaires [16]. La chaîne des Dahoméyides est affecté par l'orogénèse panafricaine qui à entrainer des déformations souples donnant naissance aux plis et à des déformations cassantes ayant abouties à la naissance des failles et entraîné le métamorphisme des roches de l'anchizone à la mésozone [13, 16]. La **Figure 2** suivante est la carte des faciès géologiques et de la répartition des forages dans le bassin versant du Mô.

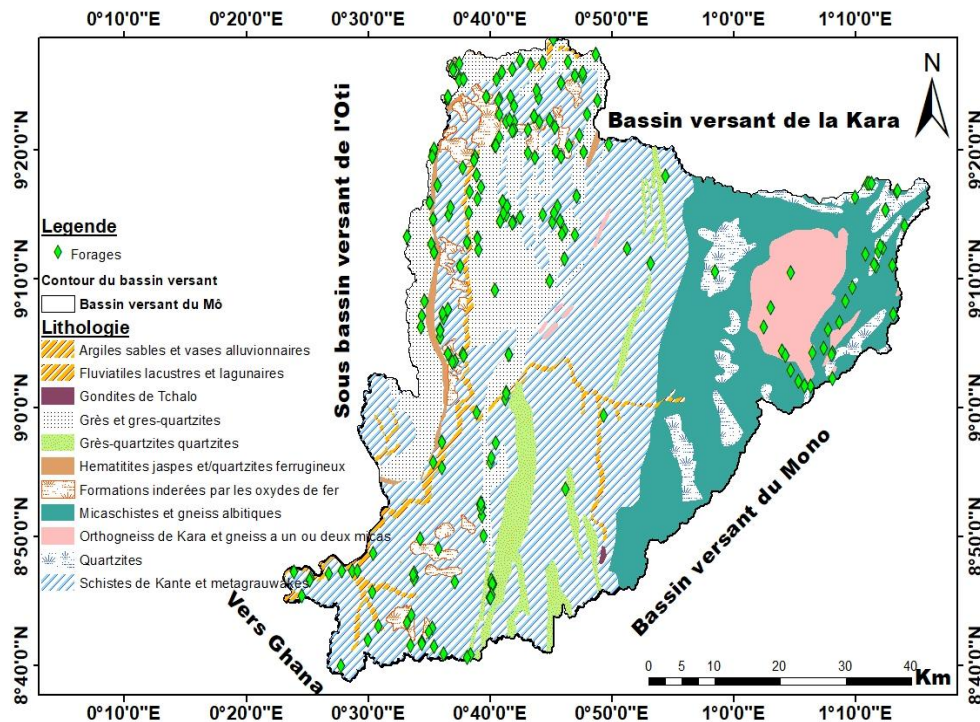


Figure 2 : Carte des faciès géologiques et de la répartition des forages dans le bassin versant du Mô

Sur le plan hydrogéologique, le bassin versant du Mô possède d'importants gisements d'eaux souterraines. Ces ressources en eaux sont encaissées dans les aquifères fissurés et ou d'altérites. Les aquifères d'altérites sont les plus sollicités par les populations rurales par réalisation des puits à gros diamètres (*Figure 3a*). Les nappes logées dans aquifères fissurés et profonds sont sollicités majoritairement par les puits profonds et à petits diamètres (PMH) pour l'adduction en eaux potables des populations (*Figure 3b*). Les eaux de surfaces sont sollicitées beaucoup plus en saison des pluies (*Figure 3c*).

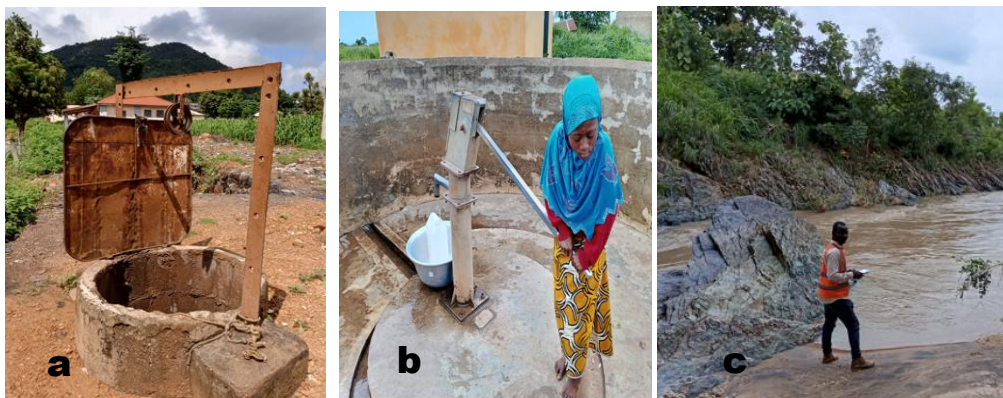


Figure 3 : Les différents ouvrages d'approvisionnement en eaux dans le bassin versant du Mô. (a) Puits traditionnel captant l'aquifère d'altérites à Bassar ; (b) Forage captant l'aquifère fissuré de quartzites Alédjo-Kadara (c) Rivière Katcha

2-2. Données hydrogéologiques et de cartographies

Les données utilisées dans cette étude proviennent essentiellement de la base de données PROGRES et concernent : les débits d'exploitations, les épaisseurs d'altérations, les profondeurs totales mise à notre disposition par Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) auprès du Ministère en Charge de l'Eau, de

l'Hydraulique Villageoise et de l'équipement rurale à Lomé (Togo). Nous avons fait usage de : la carte géologique du Togo à l'échelle de 1/500000è ; du SRTM acquis le 14 novembre 2023 de résolution spatiale 90 m sur le site de l'USGS des Nations Unies et des logiciels de cartographie : Arcgis 10.8 ; Qgis 3.18 et le logiciel de statistique STATISTICA 7.0 et un tableur Microsoft Excel 2019.

2-3. Évaluation de l'aptitude des aquifères

La productivité des forages est à priori sous la gouvernance d'un certain nombre de paramètres caractéristiques des aquifères tels que les débits d'exploitations, les épaisseurs d'altérations, les profondeurs totales. Ils définissent les capacités des aquifères à constitué de véritables magasins d'eau souterraine [17 - 19]. Ainsi une étude comparative entre les paramètres (les débits d'exploitations, les épaisseurs d'altérations, les profondeurs totales) des ouvrages à été réalisée. Elle a permis d'évaluer la productivité des forages en relation avec les aquifères [8, 20, 21] dans le bassin versant du Mò.

2-4. Détermination des classes de profondeurs et des classes de débits

Les classes de profondeurs et des débits ont été définit et cartographiées pour mieux apprécier leurs répartitions spatiales au sein du bassin versant du Mò. Une classification des débits à été proposée par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) [18] et des profondeurs [20, 21]. Le **Tableau 1** ci-dessous montre les différentes classes de débits définit [18].

Tableau 1 : Classification des débits

Valeurs	Débits (m ³ /h)				
	Très faibles	Faibles	Moyens	Forts	Très forts
	$Q \leq 1$	$1 < Q \leq 2,5$	$2,5 < Q \leq 5$	$5 < Q \leq 10$	$Q \geq 10$

Q = débits ; < : Inférieur ; ≤ : Inférieur ou égale ; ≥ : Supérieur ou égale.

2-5. Analyse statistiques des débits, fonction des unités géologiques

Les analyses statistiques ont été faites et ont consisté à la détermination des débits minima et maxima, les moyennes et les fréquences d'apparition des classes de débits selon le type de faciès géologiques [18].

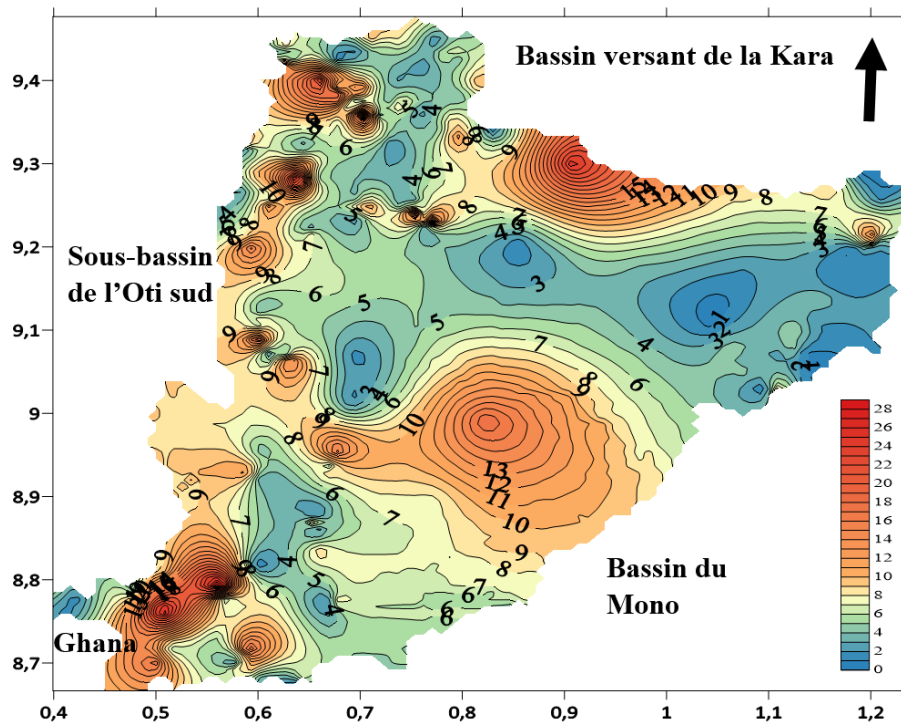
3. Résultats

3-1. Détermination des classes de débits.

Les fréquences des classes de débits d'exploitation des forages sont au nombre de cinq (**Tableau 2**). Elles vont de la classe de débits très faibles (0 à 1m³/h) de 5,58 % à la classe des débits très forts $Q > 10$ m³/h) de 17,43 %, avec une fréquence de débits moyen de 28,59 %. Le cumul de fréquences des classes débits forts, débits très forts et débits moyens donne 74,61 %. Nous suggérons que ces classes de débits soient recherchées dans le bassin versant du Mò pour implanter les forages. Ainsi la (**Figure 4**) montre la distribution spatiale des débits d'exploitations.

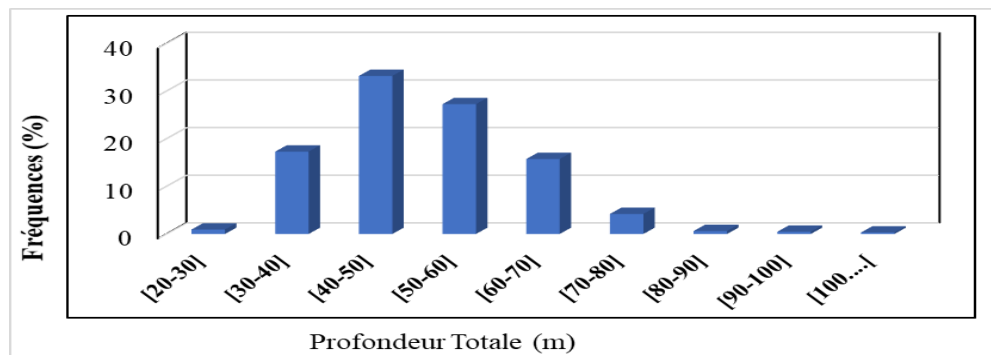
Tableau 2 : Distribution des fréquences des classes de débits dans le bassin versant du Mô

Débits (m ³ /h)	Classes	Nombres de forages	Fréquences (%)
[0-1]	Très faible	40	5,58
[1-2,5]	Faible	163	22,7
[2,5-5]	Moyenne	184	25,66
[5-10]	Forte	205	28,59
≥10	Très forte	125	17,43
Total			100

**Figure 4 : Carte de distribution isovaleurs des débits d'exploitation dans le bassin versant du Mô**

3-2. Détermination des tranches de profondeurs productives

L'analyse de la **Figure 5** montre neuf classes de fréquence des profondeurs. Quatre classes de profondeurs : [30 - 40] ; [40 - 50] ; [50 - 60] et [60 - 70], offrent des débits faibles à très forts dans le bassin versant du Mô. Nous suggérons qu'il faille rechercher trois classes de profondeurs [30 - 40], [40 - 50] et [50 - 60] ; à défaut on pourra rechercher l'eau dans la classe [60 - 70].

**Figure 5 : Fréquence d'apparition des classes de profondeurs**

Ainsi la (Figure 6) montre la distribution spatiale des profondeurs totales de foration dans le bassin versant du Mô. Les profondeurs auxquelles l'on obtient des débits admissibles sont en jaune, orange et en vert claire par contre les régions représentées en rouges sont difficiles.

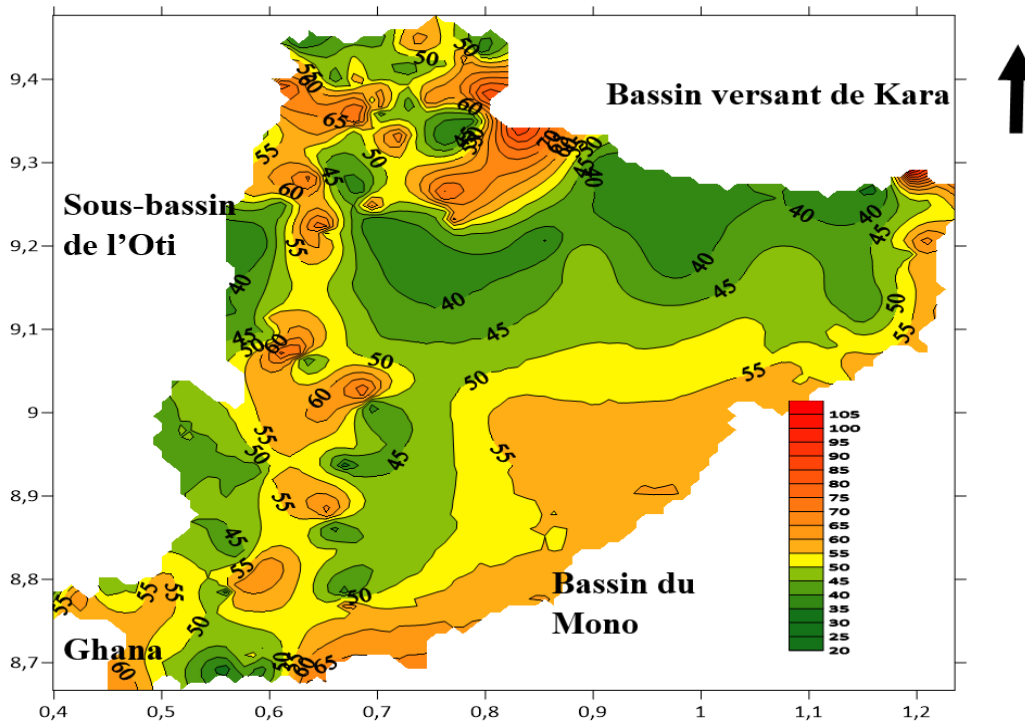


Figure 6 : Carte de distribution isoprofondeurs des profondeurs totales dans le bassin versant du Mô

3-3. Relation : débits d'exploitation-profondeurs totales des forages

Les profondeurs totales des forages varient entre 20 et 122 m (Figure7). Toutes les classes de débits obtenues sont oscillantes entre une profondeur minimale de 30m et maximale de 70m avec une moyenne de 50 m.

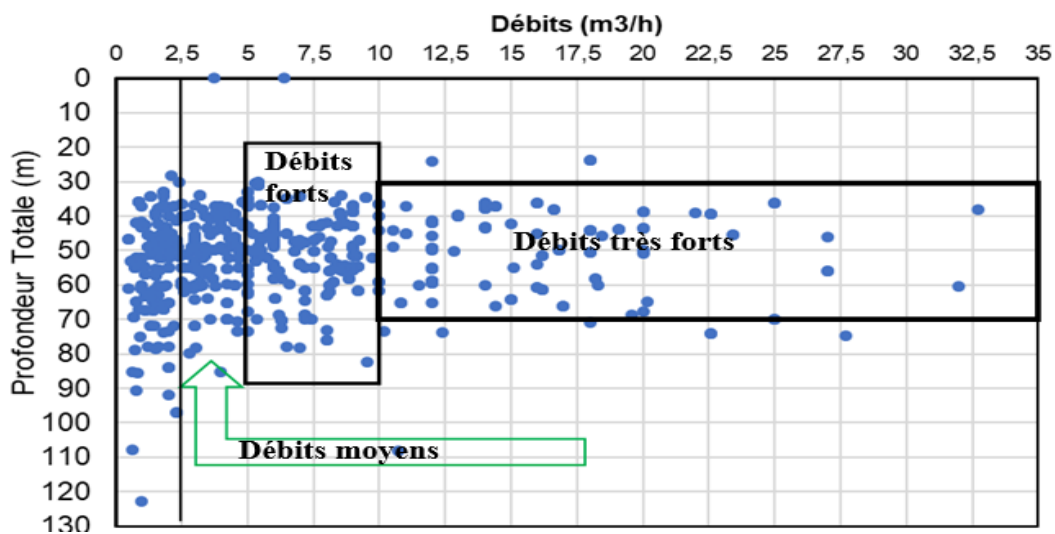


Figure 7 : Relation entre débits d'exploitation et profondeurs totales

La **Figure 8** montre les relations entre les débits d'exploitation et les profondeurs.

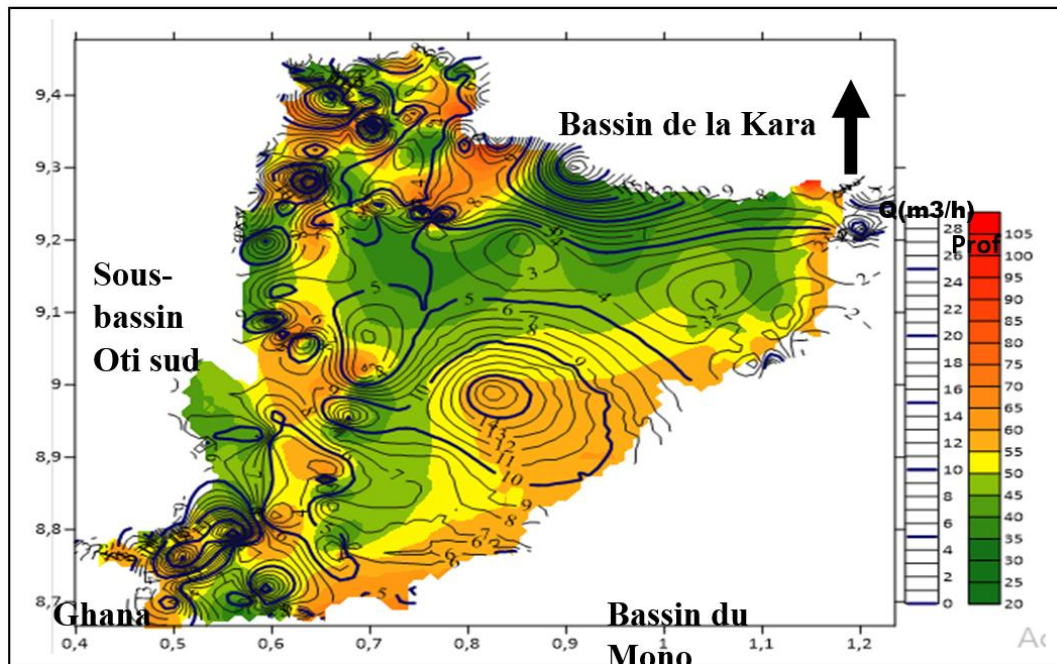


Figure 8 : Relation entre les débits d'exploitation et les profondeurs

3-4. Relation : débits-épaisseurs d'altérites

Les altérites sont de véritables réservoirs des eaux souterraines. Ainsi dans le bassin versant du Mò, la mobilisation de l'eau souterraine est évidente en condition d'altérations importantes. La **Figure 10** des relations débits -épaisseurs d'altérites montre que la productivité des ouvrages est étroitement liée à l'épaisseur des altérites. Dans la région d'étude, les épaisseurs d'altérations qui offrent des débits d'eau important sont dans la fourchette de 0,5 à 35 m d'épaisseurs d'altération (**Figure 9**). Certains ouvrages présentent des débits significatifs bien que les épaisseurs d'altérations soient faibles. Elle montre non seulement que les épaisseurs d'altérations ont une influence sur la productivité des forages mais aussi cette productivité pourrait dépendre d'autre facteur conjoint. Ainsi à une certaine profondeur, les altérites restent stériles si elles ne sont pas alimentées par les réseaux de fractures et/ou de fissures.

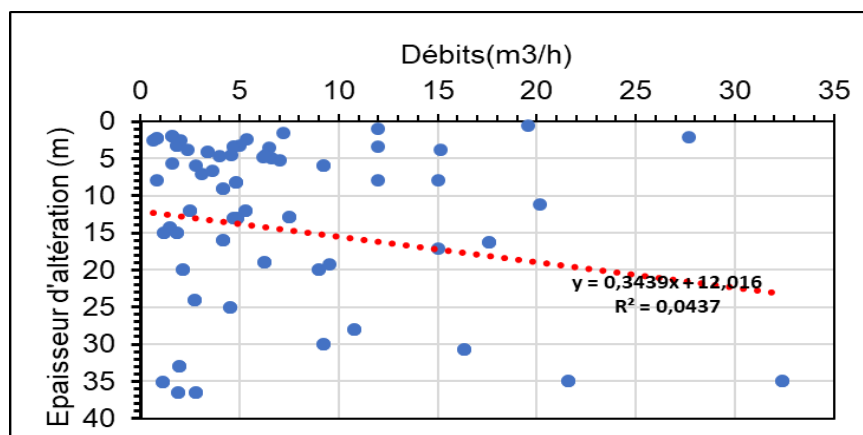


Figure 9 : Relations débits -épaisseurs d'altérites

Dans le bassin versant du Mò, près de 48,25 % des forages installés sont installés dans les aquifères où les épaisseurs d'altérations sont comprises entre 0,52 et 7,12 m. Pour les épaisseurs d'altérations comprise entre 7,12 et 13,69 m ; 13,69 et 20,28 m ; 20,28 et 26,87m puis entre 26,87 et 35,01 m sont respectivement 20,04 % ; 16,54 % ; 11,12 % et 04, 05 %. Cette variabilité des épaisseurs d'altération est liée à la profondeur et à la nature des faciès rocheux.

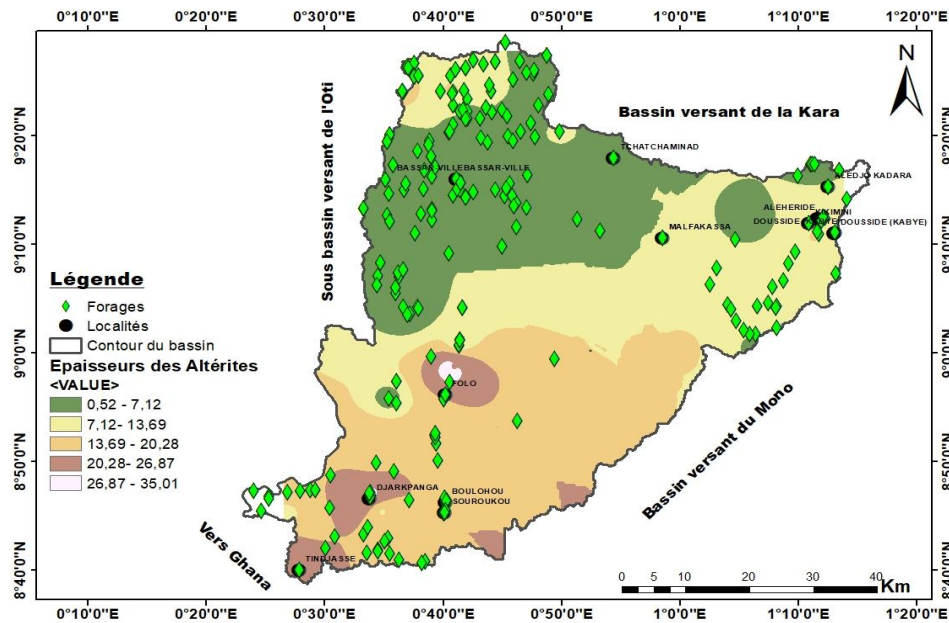


Figure 10 : Carte de distribution des épaisseurs d'altérations et des forages.

3-5. Relation productivité et formation géologiques

Les débits d'exploitations sont repartis de manière hétérogène dans des unités les faciès géologiques aquifères (Tableau 3). Sur tout le bassin, les débits fluctuent entre 0.5 m³/h dans les micaschistes et orthogneiss et 32m³/h dans les schistes du Buem avec une moyenne de 16,25m³/h. Les débits d'exploitation maximale sont dans l'ordre : schistes (32m³/h), cuirasses (27m³/h), grès du Buem (16,2 m³/h), les quartzites de l'Atakora (16m³/h), formations alluvionnaires (14 m³/h), les micaschistes (09m³/h), les shales (hématites) et les orthogneiss (5,40 m³/h).

Tableau 3 : Statistiques des débits d'exploitation en fonction des formations géologiques

Valeurs	Schistes	Micaschistes	Grès	Quartzites	Orthogneiss	Shales	Cuirasses	Alluvions
Min	0,7	0,5	0,9	0,65	0,5	2,5	0,80	1,40
Moy	8,63	3,13	6,27	3,99	2,04	4,26	11,24	6,46
Max	32	9,00	16,2	16	5,40	6,02	27,00	14,00

Min = minimum ; Max = maximum ; Moy = moyenne.

Les débits d'exploitations des différents ouvrages dépendent des unités géologiques aquifères. Les débits fortes (de 5 à 10 m³/h) et très fortes (Q > 10 m³/h) sont les plus représentés. Les schistes abritent la majorité des forages implantés (Tableau 4a et 4b et la Figures 11), ensuite viennent les grès, les micaschistes, les orthogneiss, les quartzites, les cuirasses, les alluvions et les shales.

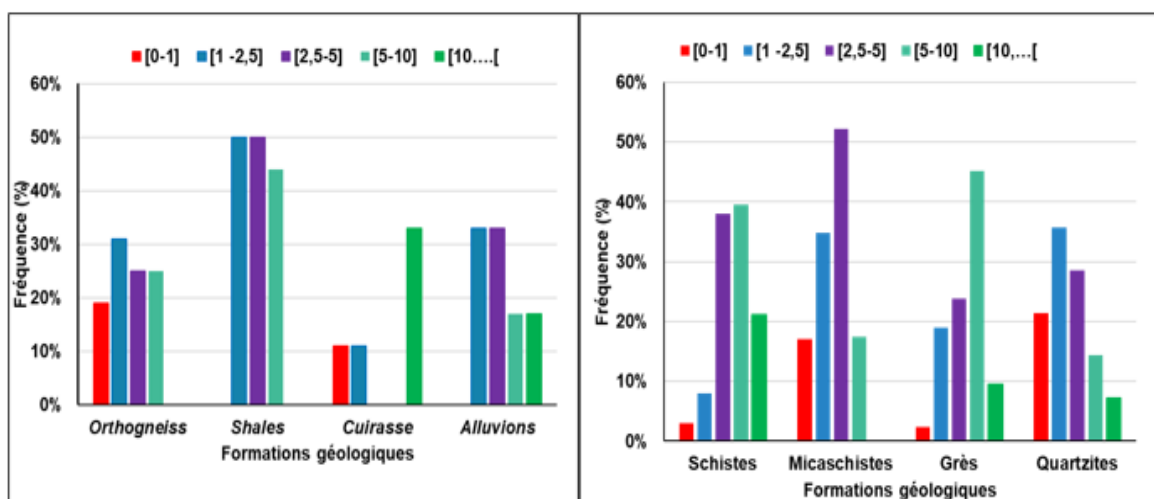
Tableau 4a : Statistiques des classes de débits d'exploitation en fonction des formations géologiques

Débits	Schistes		Micaschistes		Grès		Quartzites		Totale	
	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)
[0-1]	02	2,82	04	17,39	01	2,38	03	21,4	10	06,41
[1-2,5]	06	08,45	08	34,78	08	19	05	35,7	27	17,31
[2,5-5]	27	38,03	12	52,17	10	23,8	04	28,6	53	33,97
[5-10]	21	29,58	04	17,39	19	45,2	02	14,3	46	29,49
[10...]	15	21,13	00	00	04	09,52	01	07,14	20	12,82
Totaux	71		28		42		15		156	

Tableau 4b : Statistiques des classes de débits d'exploitation en fonction des formations géologiques

Débits	Orthogneiss		Shales		Cuirasses		Alluvions		Total	
	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)	Ouvrages	Fréq (%)
[0-1]	03	19	00	00	01	11	00	00	04	11,43
[1-2,5]	05	31	02	50	01	11	02	33	10	28,57
[2,5-5]	04	25	02	50	00	00	02	33	08	22,86
[5-10]	04	25	00	00	04	44	01	17	09	25,71
[10...]	00	00	00	00	03	33	01	17	04	11,43
Totaux	16		04		09		06		35	

La classe des débits très faibles est plus récurrente dans les aquifères quartzitiques de l'atacora, d'orthogneiss et dans les micaschistes que dans les autres formations aquifères. Les débits forts abondent respectivement dans les shales, les micaschistes, les quartzites, les alluvions et enfin dans les orthogneiss. Pour les débits moyens les micaschistes et les shales prennent respectivement la première et la deuxième position et s'en suivent dans l'ordre décroissant les schistes, les alluvions, les quartzites, les grès et les orthogneiss. Les débits forts sont beaucoup plus présents dans trois faciès géologiques aquifères : les grès, les shales et les schistes. Les débits très forts sont beaucoup plus obtenus dans les cuirasses et schistes que dans les restes de faciès géologiques aquifères. Ces résultats présentés sont tirés de l'analyse de la **Figure 11**; qui présente les différentes relations entre les débits d'exploitation et les formations géologiques aquifères.

**Figure 11 :** Fréquence des débits d'exploitation en fonction des formations géologiques.

4. Discussion

4-1. Productivité des ouvrages du bassin versant du Mô.

Les profondeurs de captage des nappes des aquifères fissurés dans les unités structurales du Buem et de l'Atacora fluctuent entre 30 et 70 m, notamment dans le bassin versant du Mô [20, 26]. 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 [17, 18, 21, 22, 25]. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Samuel Nikolendousse lors des travaux d'évaluation de la productivité des aquifères de socle au Burkina Faso [21] ; les travaux d'évaluation des propriétés hydraulique, de protection des eaux souterraines et d'amélioration de la productivité des aquifères des régions des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire) [26] ; ceux de Assouma dans les aquifères du socle à Dapaong au nord du Togo [11] et de ceux de Zou à la suite des recherches antérieures qui ont portées sur l'analyse spatiale du potentiel en eau souterraines dans le bassin du Zou au Sud du Bénin [24]. Les débits d'exploitation (Q_{exp}) variant entre 0,45 et 32m³/h dans le bassin du Mô sont subdivisés en cinq (05) classes. Cette subdivision des débits en classe révèle que plus de 71,68 % des débits obtenus sont aux dessus de 2,5 m³/h. ces résultats sont en accord avec plusieurs travaux effectués en zone de socle d'Afrique de l'Ouest [1, 18, 20, 25, 27]. L'épaisseur des altérites oscille entre 0,52 et 35 m de profondeur. Ces épaisseurs varient en fonction du type de roches, de la profondeur et des conditions climatiques [28]. Les résultats escomptés sont concordants aux travaux antérieurs d'évaluation des aptitudes des aquifères fissurés [27, 28]. Notons que la productivité des forages implantés en zone de socle dépend des contextes géologiques et hydroclimatiques dans lesquels ces aquifères se sont mis en place [8, 17, 26]. Les taux de succès des forages dans les régions de socle sont conditionnés par la présence des niveaux d'altération des roches encaissantes des eaux souterraines [31]. 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.

4-2. Relations entre les paramètres de productivité et les unités géologiques

Il apparait que l'essentiel des ressources en eaux souterraines dans les aquifères de socle fissurés sont emmagasinés dans les altérites et les fissures [2, 4, 9, 28]. La productivité des ouvrages est en relation avec les formations géologiques (*Figure 11*), [26]. Le captage de quantité appréciable dans le bassin versant du Mô est aléatoire face aux conditions topographiques et hydroclimatiques [17]. Le captage de débits très faible ($Q \leq 1\text{m}^3/\text{h}$) à très forts ($Q > 10\text{m}^3/\text{h}$) est conditionné par l'importance de l'épaisseur des altérites et de la profondeur à laquelle est localisée la nappe [26 - 28]. En effet, la transmissivité hydraulique des altérites surtout argilo-sableuses est faible ; et donc plus leur épaisseur est grande plus l'on enregistre un grand débit et vice versa [29]. A l'issu des résultats obtenus, la capacité d'un ouvrage à offrir d'importante quantité d'eau dans les aquifères de socle est sous la gouvernance du type de lithostructure porteuse d'eau [21, 30] En plus de ce qui précède, la constitution minéralogique des roches définit leur capacité d'altération et leur fonction de réservoir d'eau souterraine [18, 31]. Les épaisseurs d'altérations dépendent également de la profondeur des roches [18]. Lors que les profondeurs augmentent, les épaisseurs d'altération diminuent, ce qui réduit la capacité de la roche à emmagasiné la ressource eau [18]. Ainsi dans le bassin versant du Mô, les ouvrages implantés dans les Cuirasses, les alluvions, schistes du Buem, les grès et les quartzites, débitent jusqu'au-delà de 10 m³/h. La présence de grandes épaisseurs d'altération joue un rôle primordial dans la rétention des flux d'eaux en transit dans les roches [32]. Bref dans le bassin versant du Mô, les forages réalisés dans les zones à fortes épaisseur d'altération sont productifs.

5. Conclusion

Au terme de notre étude, le bassin versant du Mô est caractérisé par cinq classes des débits : des débits très faibles (0 à $1\text{m}^3/\text{h}$) à très forts ($Q > 10\text{m}^3/\text{h}$). Les débits rencontrés majoritairement sont faibles, moyens et forts. Neuf classes de profondeurs sont obtenues. Parmi celles-ci, seules les classes de profondeurs de [40-50] et [50 - 60] sont les plus fréquentes et les plus productifs. 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. Les unités géologiques les plus productifs apparaissent dans l'ordre décroissante somme suit : les schistes du Buem, les grès, les quartzites, les micaschistes, les shales, et les orthogneiss des unités géologiques. Ces résultats permettent d'orienter les prospections hydrogéologiques futures.

Références

- [1] - E. K. AHOUSI, N. SORO, A. M. KOUASSI, G. SORO, Y. B. KOFFI 1 et S. P. ZADE, Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des métaux lourds (Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} et Pb^{2+}) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (5) (2011) 1753 - 1765, DOI :10.4314/ijbcs.v4i5.65537
- [2] - G. EWODO MBOUDOU, A. F. BON, E. BINELI, F. NTEP et A. OMBOLO, Caractérisation de la productivité des aquifères du socle De la region 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] - T. K. YAO, Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du sud-ouest de la Côte d'Ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie, Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers (France) et Université de Cocody (Côte d'Ivoire), (2009). Français. NNT : 2010CNAM0734ff. fftel-00561648, 338p.
- [4] - K. GNANDI, F. FABLO et A. FREDERIK, "Etude de faisabilité des forages manuels au Togo : Identification des zones potentiellement favorables", (2009) 59 p.
- [5] - K. ZONDOKPO, M. S. TAIROU, A. A. M. BANG'NA and M. D-T. GNAZOU, "Fracturing and hydrogeological potentialities of the Gneisso-Migmatitic Units along the Keve-Amoussoukope road in the southwest of Togo (West Africa)". *Hydrology*, 10 (4) (2022) 65 - 74, DOI: 10.11648/j.hyd.20221004.11
- [6] - G. BOGUIDO, M. D. T. GNAZOU, L. TAMPO, A. BLEZA, M. AYAH, K. ZOUARI, L. M. BAWA and G. DJANEYE-BOUNDJOU, "Analysis of Hydraulic Properties of Discontinuous Aquifers Basement of the Birimian Basin in Northern Togo". *Journal of Scientific and Engineering Research*, 6 (12) (2019) 90 - 101
- [7] - K. V. AKPATAKU, "Apports de l'hydrogéochimie et de l'hydrologie isotopique à la compréhension du fonctionnement des aquifères en zones de socle dans la Région des Plateaux au Togo". Thèse de Doctorat, Université de Lomé, (2018) 240 p.
- [8] - K. E. AGBOTSOU, M. ANI, K. A. DJONGON, K. SOSSOU et K. GNANDI, Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des aquifères de socle fissuré du complexe gneisso-migmatitique de la zone interne des Dahoméyides : cas de la préfecture de Haho, Sud-Est du Togo, *Afrique SCIENCE*, 23 (2) (2023) 65 - 78
- [9] - O. MOUSSA, Caractérisation des aquifères de socle pour l'amélioration de la productivité des forages d'hydraulique villageoise dans le bassin versant du Bandamablanc amont (Nord de la Côte d'Ivoire). Géophysique [physics.geo-ph]. Thèse de Doctorat, Université Paris Saclay (COMUE), (2016) 242 p., Français. NT : 2016SACLS442..

- [10] - Y. M. KEMAN, Elaboration d'un modèle de protection des eaux souterraines en zone de socle : cas des aquifères fissurés du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Université Jean LOROUGNON GUEDE, (2021) 194 p.
- [11] - D. ASSOUMA, Etude par modèle mathématique de la structure et du fonctionnement d'un aquifère de socle exploité, en région tropicale (alimentation en eau potable de la ville de Dapaong-Togo), Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université d'Orléans, (1988) 183 p.
- [12] - G. ALAYI, "Les granitoïdes tardifs de la chaîne panafricaine des Dahoméyides au Togo : étude pétro-structurale, géochimique et géochronologique". Thèse Doctorat, Université Lomé, (2018) 265 p.
- [13] - M. S. TAIROU, P. AFFATON, S. ANUM and T. J. FLEURY, "Pan-African Paleostresses and Reactivation of the Eburnean Basement Complex in Southeast Ghana (West Africa)". *Journal of Geological Research*, 12 (5) (2012) 1 - 15
- [14] - P. AFFATON, M. A. RAHAMAN, R. TROMPETTE and J. SOUGY, "The Dahomeyide Orogen : Tectonothermal Evolution and Relationships with the Volta Basin. In: R.D. Dallmeyer and J.P. Lécorché (eds) The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives". *Springer-Verlag, Berlin*, 12 (5) (2021) 107 - 122
- [15] - R. P. MENOT and K. F. SEDDOH, "The eclogites of Lato Hills (South Togo, West Africa) : relies from early tectono-metamorphic evolution of the Pan-African orogeny". *Chemical Geology*, 50 (1985) 313 - 330
- [16] - M. G. ABDELSALAM, J. P. LIEGEOIS and R. J. STERN, "The Saharan Metacraton". *Jour. of Afri. Earth Sci*, 34 (2002) 119 - 136
- [17] - 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
- [18] - C. I. E. H, 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.
- [19] - O. ZEPHIR DE LASME, K. S. DELMAS & 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, DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n7p137>
- [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] - S. NAKOLENDOUSSE, Méthode d'évaluation de la productivité des sites aquifères au Burkina Faso : géologie, géophysique, télédétection. Hydrologie, Thèse de Doctorat, Université Joseph-Fourier - Grenoble I, Français. NNT, (1991) 135 p.
- [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] - D. BAKA, Géométrie, hydrodynamisme et modélisation des réservoirs fractures du socle protérozoïque de la region d'Oume (centre-ouest de la côte d'ivoire), Thèse unique, Université Felix Houphouet Boigny d'Abidjan, (2012) 390 p.
- [24] - F. E. OUSSOU, J. OLOUKOI, N. YALO & M. BOUKARI, Analyse Spatiale du Potentiel en eau Souterraine dans le Bassin du Zou au Sud du Benin (Afrique de L'ouest). *European Scientific Journal*, ESJ, 15 (27) (2019) 402, DOI : <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n27p402>

- [25] - N. O. BABA, D. K. AMADOU & E. M. GUILLAUME, Contribution de la télédétection et des SIG dans la cartographie des fractures productives en zone de socle soudano sahélien. *ESI Preprints*, (2024). Doi: 10.19044/esipreprint.9.2024.p246
- [26] - G. SORO, N. SORO et K. E. AHOUSI, 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) (2010) 227 - 242, DOI : <https://doi.org/10.3989/egol.40123.093>
- [27] - A. A. DOUGNA, M. D. GNAZOU, T. KODOM, G. DJANEYE-BOUNDJOU1 et M. L. BAWA, Physico-chimie et qualité des eaux des forages d'hydraulique villageoise dans la région centrale au Togo, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (4) (2014) 2249 DOI:10.4314/ijbcs.v9i4.42
- [28] - M. ANI, Fonctionnement des aquifères de socle par une approche combinée : hydroclimatologie, hydrogéologie et hydrogéochimie : Application au bassin versant de la Kara au nord du Togo. Thèse de doctorat Université de LOME, (2023) 394 p.
- [29] - C. BERNARD, « Impact des activités humaines sur les ressources en eau souterraine en Afrique sahélienne et soudanienne ». Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale, Presses Universitaires de Bordeaux, (1994), <https://doi.org/10.4000/books.pub.10205>
- [30] - F. E. O KANOHIN, S. M. BACHIR, A. G. ETIENNE et S. ISSIACA, Apport de la télédétection et des SIG dans l'identification des ressources en eau souterraine dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte D'Ivoire), *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 1 (1) (2012) 35 - 53. hal-007719010
- [31] - M. KOITA, H. JOURDE, D. RUELLAND, K. KOFFI, S. PISTRE & I. SAVANE, Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire). *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5) (2010) 805 - 820
- [32] - A. F. BON, J. R. NDAM NGOUPAYOU, G. EWODO MBOUDOU & G. E. EKODECK, 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/10.7202/1036545ar>