

Evaluation de la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) à partir de l'indice WQI

[Evaluation of groundwater quality of Grand-Lahou department's (Southwestern Côte d'Ivoire) based on index WQI]

SORO Tanina Drissa¹, FOSSOU N'Guessan Marie Rosine², KONE Gogbeu Yiba Magloire³, OGA Yéi Marie-Solange³, and SORO Nagnin³

¹Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Géosciences de l'Environnement (SGE), Laboratoire Géosciences et Environnement, 02 BP 8012 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³Université 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, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to assess the quality of groundwater in Grand-Lahou department in southwestern Côte d'Ivoire and to determine the origin of their mineralization. To do this, a sampling campaign conducted in september 2021 focused on twenty boreholes and nine wells. The methodology is based first on the physico-chemical characterization of these waters through elemental statistics and the determination of their chemical facies using the Piper diagram. Then the numerical index WQI method was applied. The results show that the waters are acidic with pH values ranged from 4.6 to 7.8 with an average of 5.75. Apart from iron, the parameters of the groundwater respect the WHO standards and they are fit for consumption. The groundwater has three chemical facies: the calcic and magnesian bicarbonate facies (31.03%), the sodi-potassium bicarbonate facies (17.24%) and the sodi-potassium chloride facies (51.72%). WQI results confirmed those of elementary statistics. They showed that 96.55% of waterworks belong to excellent quality class and one waterwork to good quality class. These results constitute a database for the management of the department's groundwater resources.

KEYWORDS: groundwater, chemical facies, WQI, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a pour but d'évaluer la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire à partir d'un indice numérique WQI. Pour ce faire, une campagne d'échantillonnage a été réalisée en septembre 2021. Elle a porté sur vingt forages et neuf puits. La méthodologie est basée d'abord sur la caractérisation physico-chimique de ces eaux à travers les statistiques élémentaires et la détermination de leurs faciès chimiques à l'aide du diagramme de Piper. Ensuite, la méthode de calcul de l'indice WQI est abordée. Les résultats montrent que les eaux sont acides avec des valeurs de pH allant de 4,59 à 7,49 avec une moyenne de 5,75. En dehors du fer, les paramètres des eaux souterraines respectent les normes OMS et elles sont aptes à la consommation. Elles présentent trois faciès chimiques qui sont le faciès bicarbonaté calcique et magnésien (31,03%), le faciès bicarbonaté sodi-potassique (17,24%) et le faciès chloruré sodi-potassique (51,72%). Les résultats de l'indice WQI confirment ceux des statistiques élémentaires. Ils montrent que 96,55% des ouvrages d'eau appartiennent à la classe de qualité excellente et un seul ouvrage à la classe de qualité bonne. Ces résultats constituent une base de données dans le cadre de la gestion des ressources en eau souterraine du département.

MOTS-CLEFS: eaux souterraines, faciès chimique, WQI, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les ressources en eaux souterraines occupent une place de choix dans la politique d'approvisionnement en eau potable des populations rurales et urbaines en Côte d'Ivoire. Il apparaît donc nécessaire de mieux maîtriser ces ressources en eaux [1]. La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel est très variable [2]. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi, la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité [3]. L'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité des eaux souterraines [4].

En Côte d'Ivoire, comme partout ailleurs en Afrique, les eaux souterraines sont confrontées à un phénomène de pollution d'origine anthropique qui dégrade leur qualité. Les études réalisées par [5], [6] ont fait cas de cette pollution dans les régions d'Abidjan et de Bonoua situées au Sud de la Côte d'Ivoire. Pour ces auteurs, la dégradation des ressources en eau souterraine est intimement liée aux activités agricoles et à la décomposition de la litière forestière. Dans le Sud-Ouest ivoirien, l'approvisionnement en eau potable des populations, surtout rurales est assuré parfois par des forages [4]. Par ailleurs, la surexploitation de ces ressources en vue de couvrir les besoins quotidiens en eau détériore davantage leur qualité [7]; [8], [9]. La mauvaise qualité de l'eau pose un problème de santé publique et cause de nombreuses maladies telles que la dysenterie, la fièvre typhoïde, etc. Dans le département de Grand-Lahou, bon nombre de puits et forages sont vétustes. Ils tarissent ou sont abandonnés à cause de leur apparence rougeâtre et goût désagréable. De plus l'essor spectaculaire enregistré dans le secteur agricole de cette région, ces dernières années, suscite un intérêt particulier sur le plan scientifique [7]. La gestion efficace de ces eaux passe par l'évaluation de leur qualité chimique. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude. Elle fait appel à un outil numérique appelé Water Quality Index (WQI) en anglais.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le département de Grand-Lahou est localisé au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire entre 5°5' et 5°49' de latitude Nord et 4°41' et 5°30' de longitude Ouest avec une superficie de 22283 km² (Figure 1). Il est limité au Sud par l'Océan Atlantique et la lagune Ebrié, au Nord par les départements de Divo et Tiassalé, à l'Est par les départements de Jacqueline et Dabou et à l'Ouest par les départements de Guirya et Fresco [10]. Il fait partie de la région des Grands-ponts dont le chef-lieu est Dabou et comprend les départements de Dabou, Jacqueline et Grand-Lahou. Le département comprend 54 villages regroupés en cinq sous-préfectures (Ahouanou, Bacanda, Ebounou, Toukouzou et Grand-Lahou).

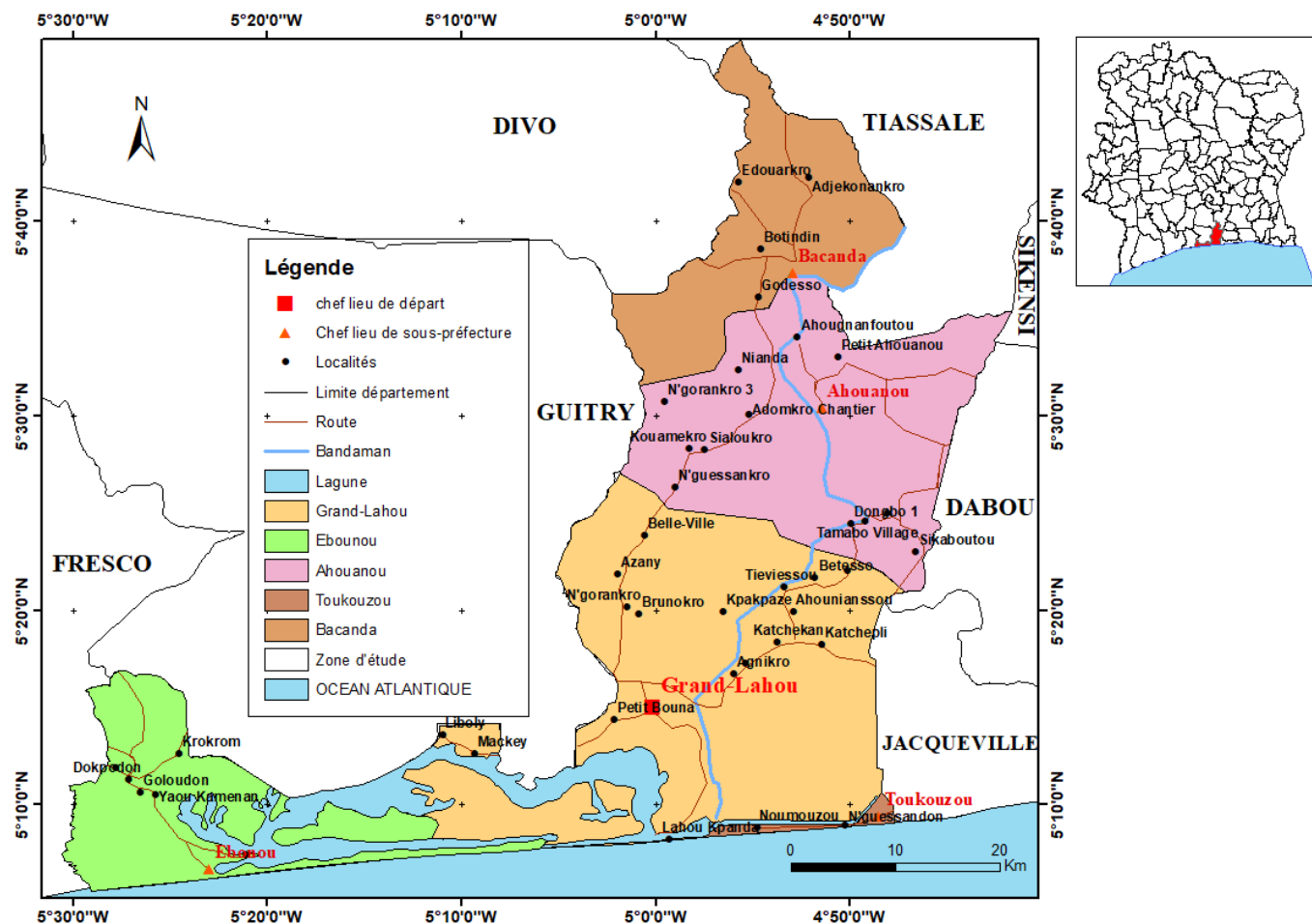


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude

La population est estimée à 155 832 habitants [11]. Elle est composée d'autochtones (Adjoukrou, Abidji, Avikams, N'zima, Dida) et d'allochtones représentés en grande partie par les ressortissants des pays limitrophes de la Côte d'Ivoire vivant dans les villages et les nombreux campements de la zone d'étude. On trouve également dans la zone, des populations d'autres régions du pays [12]. La couverture végétale ne permet pas de dégager les grands aspects du relief. Toutefois, dans son ensemble, le relief est assez plat et monotone. Nous avons le secteur littoral, avec ses lagunes et ses marécages, situé à une altitude voisine du niveau de la mer, mais quelques 5 sommets se distinguent, comme les collines au sud-ouest de Brahéri, avec un point culminant à 283 m [12].

La végétation correspond au domaine de la forêt dense. Cette forêt regroupe trois secteurs qui sont le secteur ombrophile, le secteur mésophile et le secteur littoral [7]. Elle s'étendait jadis au sud de l'isohyète 1600 mm. Le secteur ombrophile est caractérisé par une forêt dense humide sempervirente liée au climat de type équatorial. Les espèces végétales rencontrées sont *Trichilia heudelotii*, *Uapaca guineensis*, *Terminalia ivorensis*, etc. Le secteur mésophile est représenté par la forêt dense semi-décidue. Le secteur littoral quant à lui est marqué par une complexité des groupements végétaux liés aux conditions édaphiques diverses. Il va de la forêt sempervirente à la savane littorale (Grand-Lahou) en passant par les mangroves à rhizophora et palétuviers, les forêts marécageuses des bas-fonds et les cordons lagunaires. Le climat de la zone d'étude est de type équatorial de transition qui associe deux saisons pluvieuses à deux saisons sèches [13]. Le département de Grand-Lahou dispose d'une hydrographie dense et variée [14]. Le littoral de Grand-Lahou est dominé par un vaste plan d'eau où communiquent les lagunes, le fleuve Bandama et la mer. Son réseau hydrographique est donc constitué d'un complexe lagunaire d'une superficie de 190 km² [15] et de plusieurs cours d'eaux permanents ou saisonniers. Le complexe lagunaire, d'une longueur totale de 50 km, est composé de quatre (4) petites lagunes qui sont, d'Ouest en Est: les lagunes Tadio, Nouzoumou, Mackey et Tagba. Les cours d'eaux permanents sont essentiellement le Boubo et le fleuve Bandama. Les formations géologiques peuvent être regroupées suivant quatre grands domaines à savoir: le Quaternaire, le Méso-Cénozoïque, le Protréozoïque et le Birimien. Du point de vue géologique, la zone d'étude appartient à un ensemble formé de deux unités géologiques dont les formations du socle au Nord et le bassin sédimentaire situé au Sud. Les formations du socle sont variées, mais on peut les regrouper selon leur âge en trois grands ensembles, les formations archéennes (migmatites), libériennes (granitoïdes) et birimiennes (dont le groupe de comblement, à

conglomérats, grès et schistes, est dominant) [13]. Les formations du bassin sédimentaire se regroupent en deux unités géologiques: le Quaternaire et Le Méso-Cénozoïque. Le Quaternaire est représenté par les sables des cordons marins. Ces sables constituent une bande qui s'amenuise progressivement d'Est en Ouest. Le Méso-Cénozoïque (Continental terminal) est constitué de formations essentiellement sédimentaires. Ce sont en général les sables, les argiles et les grès ferrugineux [12]. Deux types d'aquifères, à savoir les aquifères continus et les aquifères discontinus surmontés d'altérites constituent les réservoirs des eaux souterraines de la région [7].

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 MATERIEL

Les données utilisées dans cette étude sont constituées de données hydrochimiques obtenues par mesure *in situ* et analyse en laboratoire. Sur le terrain, nous avons utilisé un GPS pour la localisation des points d'échantillonnage, 60 flacons en polyéthylène de 1L pour le prélèvement des échantillons d'eaux; un appareil multi-paramètre de type HANNA HI98195 pour les mesures des paramètres *in situ*; 5L d'eau distillée pour le rinçage des flacons et des électrodes du multiparamètre de type HANNA HI98195; de l'acide nitrique (HNO₃) pour stabiliser les éléments chimiques; des gants pour éviter des éventuelles contaminations; 2 glacières pour la conservation des échantillons d'eaux souterraines en dessous de 4°C et enfin, d'une voiture pour le transport. Le matériel de laboratoire utilisé pour l'analyse chimique des ions majeurs est composé du spectrophotomètre UV-VIS utilisé pour analyser les sulfates et les nitrates, du spectrophotomètre d'absorption atomique utilisé pour l'analyse du potassium, sodium, magnésium et le calcium, enfin le bicarbonate et le chlorure ont été analysés par dosage potentiométrique.

3.2 METHODES

3.2.1 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE

Une campagne d'échantillonnage d'eau a été effectuée sur la période du 25 septembre au 03 octobre 2021. Cette étude a porté sur 29 points d'eau dont vingt (20) forages et neuf (9) puits (figure 2). Avant le prélèvement, les forages ont été pompés pendant 2 à 3 minutes pour éviter l'eau stagnante dans la canalisation. Les bouteilles d'échantillonnage ont été stérilisées et rincées 2 à 3 fois avec l'eau à échantillonner avant leur remplissage. De l'acide nitrique (HNO₃) a été ajouté aux échantillons. Après le prélèvement, les échantillons ont été mis dans une glacière contenant de la glace pour leur conservation et sont transportés au Laboratoire Central d'Analyse de l'Université Nangui Abrogoua (LCAUNA). Au cours du prélèvement, les paramètres physiques tels que la température, le pH, la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (TDS) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre de type HANNA HI98195. La sonde du multiparamètre est plongée dans l'échantillon d'eau et la lecture s'est faite directement à l'écran. Les cations majeurs ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) dans une flamme air-acétylène oxydante. Cette méthode utilise la propriété des atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. Les chlorures et les bicarbonates sont analysés par dosage potentiométrique. Les teneurs en chlorure ont été déterminées par l'ajout progressif d'une solution titrante de nitrate mercurique de molarité 0,22N ou 2,26N en présence d'un indicateur coloré qui est le diphenyl-carbazone. À la fin de la réaction, on obtient une coloration violette-pourpre. La concentration de chlorure est égale à la valeur lue sur le titrimètre, multipliée par un facteur correctif qui dépend de la concentration de la solution titrante et la quantité de l'échantillon à doser. Le dosage du nitrate a été fait par la méthode de réduction au cadmium (HACH, méthode 8039) qui consiste à ajouter, de nitrifier 5 à 10 ml d'échantillon et la lecture directe au spectromètre UV-VIS. Les sulfates ont été dosés par la méthode néphélométrique qui consiste à précipiter en milieu chlorhydrique les sulfates à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de « tween 20 » ou de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre à 650 nm. La teneur en ammonium a été réalisée par la méthode de salicylate qui consiste à ajouter du salicylate d'ammonium et du cyanurate d'ammonium à 10 ml d'échantillon et la lecture directe au spectromètre UV-VIS.

Le contrôle de la qualité des résultats d'analyse a été fait par simple calcul de la balance ionique (BI) (voir équation 1).

$$BI = \frac{\sum + - \sum -}{\sum ++ \sum -} \times 100 \quad (1)$$

Avec :

$\sum +$: Somme des cations (en méq/L).

$\sum -$: Somme des anions (en méq/L).

La balance ionique est exprimée en pourcentage.

Si $BI < 5\%$, l'analyse est satisfaisante, les méthodes de dosage ont été précises.

Si $5 < BI < 10\%$, l'analyse est jugée acceptable.

Si $BI > 10\%$, l'analyse est douteuse et doit être reprise pour une vérification.

Si $BI > 10\%$, l'analyse est douteuse et doit être reprise pour une vérification.

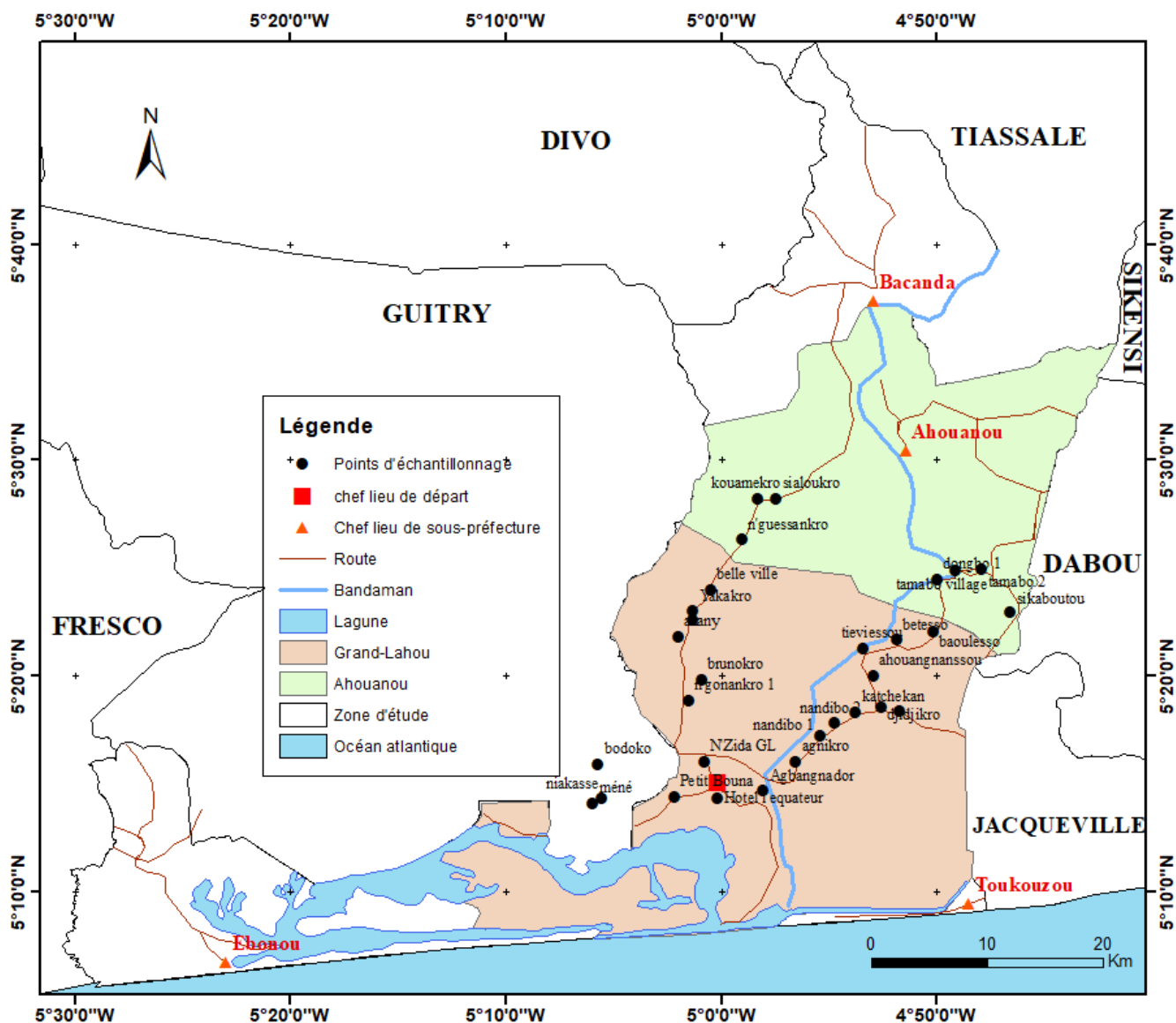


Fig. 2. Carte des points d'échantillonnage

3.2.2 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Une analyse descriptive sommaire a permis de faciliter l'exploitation des données hydrochimiques. Elle consiste à étudier les valeurs extrêmes (minima et maxima), les valeurs centrales notamment la moyenne et les paramètres de dispersion (écart-type, coefficient de variation) des différents paramètres hydrochimiques.

Le diagramme de [16] a été utilisé pour déterminer les faciès chimiques des eaux. Ce diagramme est le plus fréquemment utilisé dans le domaine de l'hydrochimie avec de très bons résultats ([7]; [17]; [18]; [19]; [20]; [21]).

3.2.3 CALCUL DE L'INDICE DE QUALITE WQI

L'indice de qualité de l'eau (IQE) ou Index Quality Water (WQI) en anglais, est une technique de classification de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationale respectives [22]. En d'autres termes, l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (par exemple, excellent, bon, mauvais, etc.), en générant un score qui décrit l'état qualitatif de l'eau en vue d'un usage domestique [22]. Au cours des dernières années, plusieurs études ont eu recours à ce concept pour estimer la qualité de l'eau souterraine en utilisant différentes méthodes de calculations [23]; [22].

L'indice de qualité WQI a été appliqué dans cette étude pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux souterraines. Les variables utilisées pour cette étude sont: les TDS, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le fer, l'ammonium, le chlorure, le nitrate, le sulfate et le phosphate.

L'indice WQI est calculé en assignant dans une première étape des poids aux paramètres mesurés sur la base de leur importance relative. Les poids (w_i) assignés aux différents paramètres dans cette étude sont fondés sur l'approche de [24] dans la ville de Busan en Corée. Ainsi, le poids maximum de 5 a été attribué aux paramètres sodium, chlorure, TDS, nitrate et sulfate car ces composants sont très étroitement liés à la contamination des eaux souterraines. Le bicarbonate ne contribue pas à la contamination des eaux souterraines selon [25], [26], il n'a donc pas été pris en compte. Dans la deuxième étape, le poids relatif W_i est calculé selon l'équation 2 suivante:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_i^n w_i} \quad (2)$$

où: W_i est le poids relatif, w_i le poids de chaque paramètre et n le nombre de paramètres.

Dans la troisième étape, une échelle d'évaluation de la qualité (q_i) est attribuée à chaque paramètre en divisant sa concentration dans chaque échantillon d'eau par sa norme respective, conformément aux lignes directrices définies par [9], et le résultat est multiplié par 100. Le calcul de q_i se fait selon l'équation 3 suivante:

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

où q_i est la cote de qualité, C_i est la concentration de chaque paramètre chimique en milligramme par litre, S_i est la norme de l'OMS pour chaque paramètre chimique en milligrammes par litre, conformément aux lignes directrices de [9].

Pour le calcul final, l'indice SI est d'abord déterminé pour chaque paramètre chimique à l'aide de l'équation 4 et WQI par l'équation 5 comme suit:

$$SI_i = W_i \times q_i \quad (4)$$

$$WQI = \sum SI_i \quad (5)$$

où SI_i est le sous-indice du $i^{\text{ème}}$ paramètre, q_i est le classement basé sur la concentration du $i^{\text{ème}}$ paramètre, n est le nombre de paramètres.

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau WQI (Tableau 1).

Tableau 1. Classification des eaux basée sur les valeurs WQI. [24]

WQI	Qualité de l'eau
WQI < 50	Excellente
50 < WQI < 100	Bonne
100 < WQI < 200	Mauvaise
200 < WQI < 300	Très mauvaise
WQI > 300	Impropre

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

Les valeurs de la balance ionique sont comprises entre -10% et 0%. Dix (10) échantillons sont compris entre 1% et 5%. Ces valeurs montrent que l'analyse est acceptable.

4.1.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

4.1.1.1 STATISTIQUES ÉLÉMENTAIRES

Le tableau 2 présente les résultats des statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines. L'analyse du tableau montre que dans l'ensemble, les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques respectent les normes OMS en dehors du pH et du fer. Les eaux sont donc aptes à la consommation humaine. Les coefficients de variation obtenus pour la température (4; 92%), le pH (13,08%), le sodium (Na⁺) (39,55%) et le nitrate (NO₃⁻) (41,59%) sont inférieurs à 50%. Cela traduit une homogénéité de leurs données aux niveaux des eaux souterraines, donc une faible variation.

Tableau 2. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du département de Grand-Lahou

Variables	Unité	Minimum	Maximum	Moyenne	σ	CV (%)	Norme OMS (2011)
TDS	mg/L	18,00	242,00	79,93	53,92	67,46	≤ 1000
T°C	°C	26,20	31,34	28,26	1,39	4,92	25°C à 30°C
pH	-	4,59	7,49	5,75	0,75	13,08	6,5 < pH < 8,5
CE	μS/cm	32,00	404,00	139,09	105,05	75,53	≤ 500
Ca ²⁺	mg/L	0,76	37,98	13,72	15,31	111,52	≤ 100
Mg ²⁺	mg/L	0,39	19,93	6,39	5,18	81,13	≤ 50
Na ⁺	mg/L	6,27	37,19	22,93	9,07	39,55	≤ 200
K ⁺	mg/L	0,01	25,50	3,45	4,86	140,68	≤ 12
Fe ²⁺	mg/L	0,02	1,41	0,33	0,35	104,30	< 0,3
NH ₄ ⁺	mg/L	0,01	0,93	0,21	0,29	140,92	≤ 1,5
HCO ₃ ⁻	mg/L	2,67	200,26	61,42	54,94	89,45	-
Cl ⁻	mg/L	4,10	54,02	12,17	12,10	99,41	< 250
SO ₄ ²⁻	mg/L	0,98	10,75	4,69	2,67	56,94	< 250
PO ₄ ³⁻	mg/L	0,07	6,67	0,59	1,23	208,58	≤ 5
NO ₃ ⁻	mg/L	17,26	78,12	39,49	16,42	41,59	≤ 50

σ : écart type, CV: coefficient de variation.

4.1.1.2 FACIÈS CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

La figure 3 montre la projection des échantillons d'eau dans le diagramme de Piper. L'analyse de la figure montre que les eaux souterraines se répartissent en trois faciès. Ce sont le faciès bicarbonaté calcique et magnésien avec 9 échantillons soit 31,03%, le faciès chloruré sodi-potassique représenté par 15 échantillons soit 51,72% et le faciès bicarbonaté sodi-potassique avec 5 échantillons d'eau soit 17,24%.

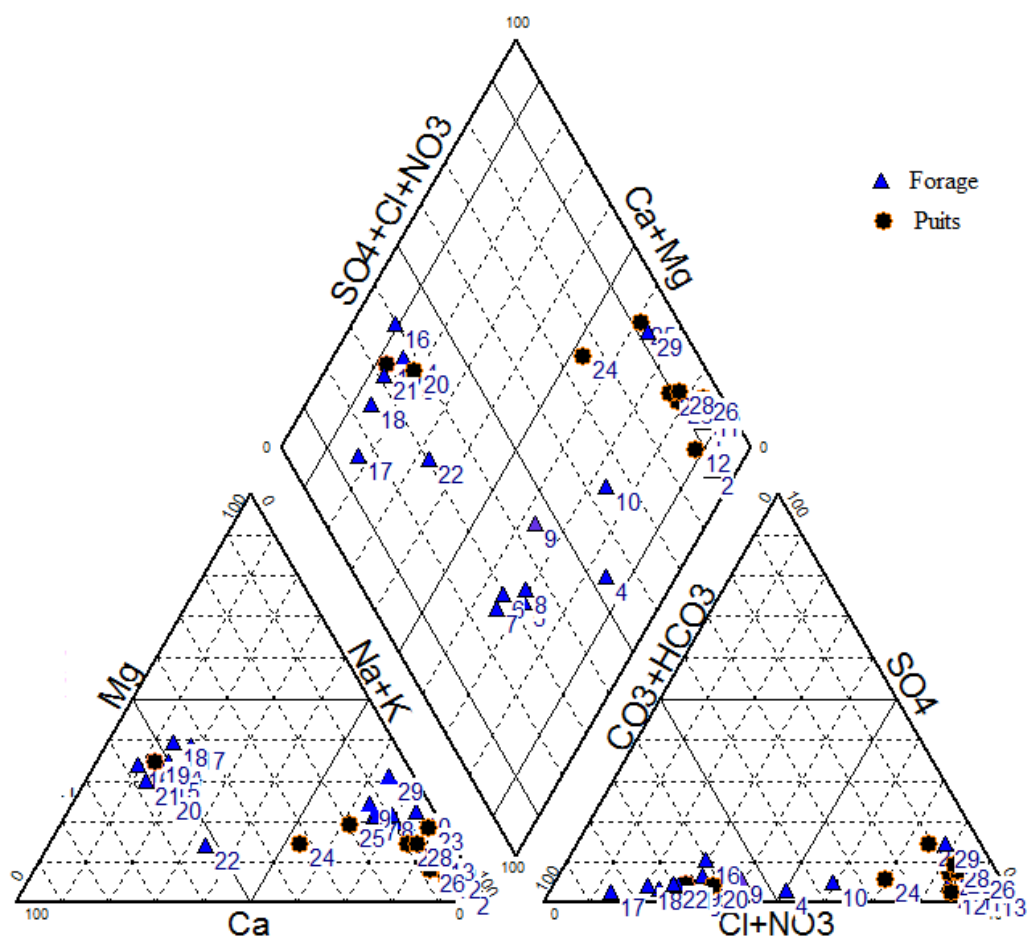


Fig. 3. Projection des échantillons d'eau souterraine dans le diagramme de Piper

4.1.2 ÉVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES À PARTIR DE L'INDICE WQI

Le tableau 3 présente les valeurs de l'indice de qualité WQI des eaux souterraines. L'analyse du tableau montre que les valeurs de l'indice WQI sont comprises entre 9,54 et 55,58. Sur vingt-neuf (29) ouvrages, 28 ouvrages soit 96,55% ont une eau de qualité excellente. Seul le forage de Tamabo 2 avec un indice WQI de 55,58 supérieur à 50 appartient à la classe de qualité bonne.

Tableau 3. Résultats de l'indice WQI des eaux souterraines du département de Grand-Lahou

Code	Localité	WQI	Classe de qualité
F1	Agnikro	23,19	Excellente
F2	Nanibo 1	24,12	Excellente
F3	Nanibo 2	23,33	Excellente
F4	Ahouangnanssou	30,18	Excellente
F5	Tieviéssou	26,32	Excellente
F6	Bétéssou	23,56	Excellente
F7	Baouléssou	28,16	Excellente
F9	Tamabo 2	55,58	Bonne
F10	Tamabo village	24,33	Excellente
F11	Dongbo 1	23,63	Excellente
F12	Katchepi	18,54	Excellente
P1	Djidjikro	18,88	Excellente
F13	Katchekan	22,80	Excellente
F14	N'gonankro 1	30,78	Excellente
F15	Belle ville	36,00	Excellente
F16	N'guessankro	33,93	Excellente
F17	Kouamékro	47,17	Excellente
F18	Sialoukro	41,28	Excellente
P2	Yakakro	22,13	Excellente
P3	Broukro	25,33	Excellente
F19	Azany	23,69	Excellente
F20	Brunokro	16,39	Excellente
P4	Bodoko	27,42	Excellente
P5	Niakassé	46,32	Excellente
P6	Méné	46,48	Excellente
P7	N'Zida GL	10,59	Excellente
P8	Hôtel l'équateur	9,54	Excellente
P9	Agbangnador	13,99	Excellente
F21	Petit Bouna	12,73	Excellente

F: forage, P: puits

4.2 DISCUSSION

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines du département de Grand-Lahou donnent une moyenne de température de 28,26°C. Cette valeur est proche de celle obtenue dans la région de Dabou (28,24°C) par [27]. Elle correspond aux variations saisonnières des températures atmosphériques ambiantes. Selon [28], la valeur impérative de 25°C est difficile à observer en Afrique de l'Ouest où la température moyenne de l'eau tend vers 30°C en raison des conditions climatiques. La valeur moyenne du pH (5,75) montre que les eaux souterraines de la zone d'étude sont acides. Cette acidité des eaux a été observée dans plusieurs régions de la Côte d'Ivoire notamment dans la région de Tiassalé [17], dans la région de Dabou [29], dans le degré carré de Grand-Lahou [7] et dans la région de San-Pédro [1]. Selon [30], l'acidité des eaux est principalement liée à la production du CO₂ dans les couches superficielles du sol sous l'action des activités biologiques. Les valeurs de la conductivité électrique des eaux dans la zone d'étude varient de 32 µS/cm à 404 µS/cm avec une moyenne de 139,09 µS/cm. Ces eaux sont faiblement minéralisées, ce qui correspond à un trait chimique bien reconnu dans le pays.

La classification chimique à l'aide du diagramme de Piper a mis en évidence trois (3) faciès qui sont le faciès chloruré sodi-potassique (50%), le faciès bicarbonaté calcique et magnésien (30%) et le faciès bicarbonaté sodi-potassique (20%). Ce résultat est en accord avec les travaux de [7] dans le degré carré de Grand-Lahou. Selon plusieurs auteurs notamment [31], le faciès bicarbonaté est le plus représenté dans le socle. En effet, l'abondance des ions bicarbonates dans ces eaux pourrait s'expliquer par l'hydrolyse des feldspaths

que l'on rencontre en abondance dans les roches acides [30]. Contrairement en zone de socle, le faciès chloruré sodi-potassique est le plus représenté en zone sédimentaire. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans la région du grand Abidjan par [32], [33] et ceux de [8] A dans la région d'Agboville.

Le calcul de l'indice WQI a révélé deux classes de qualité d'eau qui sont la classe excellente (96,55%) et la classe bonne (3,45%). Ces résultats démontrent que les eaux souterraines sont de bonne qualité. L'abandon d'un point d'eau relève ici de considérations socio-culturelles ou organoleptiques [7]. Par ailleurs, l'attribution des poids des paramètres étant liée à l'appréciation de chaque personne, les valeurs de WQI peuvent varier pour une même étude.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou à partir de l'indice numérique WQI. La caractérisation physico-chimique montre que ces eaux souterraines sont acides avec un pH moyen de 5,75. Elles sont peu minéralisées ce qui est conforme à un trait chimique bien reconnu dans le pays. En dehors du pH et du fer, tous les paramètres physico-chimiques respectent les normes guides OM. Les eaux sont donc aptes à la consommation humaine. Elles présentent trois faciès dont le plus dominant est le faciès chloruré sodi-potassique (51,72%). Les résultats de l'indice WQI confirment ceux des statistiques élémentaires. Ils révèlent que 96,55% des eaux sont de qualité excellente et 1 seul échantillon de qualité bonne. Cette étude constitue un apport indéniable dans la gestion des eaux souterraines.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les populations des localités des points d'eau échantillonnés pour leur accueil et leur collaboration lors de la mission d'échantillonnage. Ils remercient plus particulièrement les chefs de villages.

REFERENCES

- [1] T. Lasm, O. Lasm, Y.M.S. Oga, M.Youan Ta, D. Baka, F. Kouamé et K.T. Yao, «Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de San Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 5, n°2, pp. 642-662, 2011.
- [2] L. Matini, J.M.Moutou, et M.S. Kongo-Mantono, «Évaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo», *Afrique SCIENCE*, vol. 5, n°5, pp. 82-98, 2009.
- [3] P. Jain, J.D.Sharmah, D. Sohu et P. Sharma, «Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District», *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 2, n°4, pp. 373-379, 2005.
- [4] K.T. Yao, Y.M.S. Oga, O. Fouché, D. Baka, C. Pernelle et J. Biémi, «Évaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical: cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.6, n°6, pp. 7069-7086, 2012.
- [5] G.E. Aké, B.E. Kouadio, K. Dongo, B. Dibi, K.F. Kouamé et J. Biémi, «Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (NO₃⁻) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, n°5, pp. 1676-1692, 2010.
- [6] L.O. Blé, G.E. Aké, T. Soro, G. et E.Y. Kouadio, « Évaluation de la qualité hydrochimique des eaux souterraines de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 14, n°4, pp. 896-907, 2016.
- [7] N. Soro, Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand Lahou et ses environs (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, 272 p., 2002.
- [8] K.E. Ahoussi, Évaluation 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, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 348 p., 2008.
- [9] OMS, Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations; Fourth Edition; 518 p., 2011.
- [10] M.Kamagaté, S.Kamagaté et T. Gogbe, «Les entités décentralisées et le renforcement de la couverture médicale du département de grand-Lahou en Côte d'Ivoire. Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé, vol. 1, n°2, pp. 47- 61, 2018.
- [11] RGP. Résultats globaux, 37 p., 2001.
- [12] T. D. Soro, Variabilité climatique et son impact sur l'alimentation des ressources en eau du degré carré de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire), Mémoire de DEA des Sciences de la Terre, Université de Cocody, 90 p., 2006.
- [13] T.D. Soro, N. Soro, Y.M.S. Oga, T. Lasm, G. Soro, K.E. Ahoussi et J. Biémi, «La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)», *Physio-Géo*, vol 5, pp. 56-73, 2011.

- [14] K.S. Konan, K.L. Kouassi, K.I. Kouamé, M. Aka, A.M. Kouassi et D. Gnakri, «Hydrologie et hydrochimie des eaux dans la zone de construction du chenal du port de pêche de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, n°2, pp. 819-831, 2013.
- [15] A.V.I. Wognin, (2004). Caractérisation hydrologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, 195 p., 2014.
- [16] A.M. Piper. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. US GeolSurv Groundwater Note 12 Sulin VA (1948) Water of petroleum formation in systems of natural waters. Costoptekhizdat, Moscow, 96 p., 1953.
- [17] Y.M.S. Oga, T. Lasm, K.T.Yao, K. Soro, N., M.B. Saley., D. Kouassi et F. Gnamba. «Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture: Cas de la Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire», *European Journal of Scientific Research*, vol.31, n°1, pp. 72- 87, 2009.
- [18] K.E. Ahoussi, N. Soro, Y.B. Koffi, G. Soro et J. Biémi, «Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan-Agboville,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, n°3, pp. 782-797, 2010.
- [19] T.D.Soro, Évolution des ressources en eau du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) dans un contexte de variabilité et de changement climatiques: Impact hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 243 p., 2014.
- [20] A. Diabagaté, T. A. Goula et G. E. Soro, «Hydrochimie des eaux souterraines de la Région du Poro (Côte d'Ivoire)», *European Scientific Journal*, vol. 15, n°9, pp.247-262, 2019.
- [21] G. N'guettia, O.M.J. Mangoua, N.K. Aboua, A.G.Douagui et D.L. Goné, «Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du bassin versant de la Baya, Est Côte d'Ivoire», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, n°1, pp. 574-585, 2019.
- [22] S. Zamiche, F. Hamaidi-Chergui and A.Demiai, «Pollution of the quaternary aquifer of mitidja (Algeria) by nitrates: origins and impacts on the quality of water for human consumption», *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol.10, n°1, pp. 113-131, 2018.
- [23] B. Belkacem¹ B. Sabria, J.D.Taupin³ P. Nicolas³ et A. Habib, «Cartographie de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Ghriiss, Nord-Ouest Algerien,» *Eau-Société-Climat*, Hammamet le 2,3 et 4 Octobre 2017, 6p.
- [24] S.Y. Chung, M. Venkatramanan, T.H. Kim, D.S. Kim and T. Rankumar, Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan City, Korea, *Environment, Development and Sustainability*, vol.17, pp.423-441, 2015.
- [25] M. Vasanthavigar, K. Srinivasamoorthy, K.Vijayaragavan, R. Rajiv Ganthi, S. Chidambaram and P. Anandhan P. «Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India», *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 171, pp.595–609, 2010.
- [26] P. J Sajil Kumar, L. Elango and E. J. James, «Assessment of hydrochemistry and groundwater quality in the coastal area of South Chennai, India», *Arabian Journal of Geosciences*, vol.7, pp.2641-2653, 2014.
- [27] A. Tapsoba-Sy, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire): Hydrochimie, isotopie et indice de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de Doctorat 3è cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 200 p., 1995.
- [28] J. Biémi J. «Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)», Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, 480 p., 1992.
- [29] B. Dibi, D.Inza, Y.A. N'go et D.L. Goné, «Origine et mécanisme de la minéralisation des eaux souterraines de la région de Dabou, Côte d'Ivoire. Apport de l'analyse en composantes principales normées», *BIOTERRE*, vol. 5, n° 1, pp. 1-12, 2005.
- [30] T. Lasm, K.T. Yao, Y.M.S. Oga, K.F.Kouamé, P. Jourda, K.E. Kouadio and D. Baka, «Analysis of the physico-chemical characteristics of groundwater in Proterozoic Land region of the Tiassalé Area (Southern Côte d'Ivoire)», *European Journal of Scientific Research*, vol.20, n° 3, pp. 526-543, 2008.
- [31] B. Adiaffi, «Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact socle-bassin sédimentaire du Sud-Est de la Côte d'Ivoire», Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, Orsay France, 217 p., 2008.
- [32] J.P. Jourda, «Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du grand Abidjan (Côte d'Ivoire)», Thèse de Doctorat 3è cycle, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, 317 p., 1987.
- [33] Y.M.S.Oga, Ressources en eaux souterraines dans la région du Grand-Abidjan (Côte d'Ivoire): Approches hydrochimique et isotopique», Thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay, France, 241 p., 1998.