



RESEARCH ARTICLE

EVALUATION DES TENEURS EN ELEMENTS MINERAUX ET QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DU CONTINENTAL TERMINAL AU SUD-OUEST DU BENIN

Okoundé Jean-Eudes¹, Adèkè Hermionne³, Avahounlin Ringo F.^{1,2}, Blaise Hibé³, Danhossou Gilbert¹, Kéloré Nelly³ and Chouti Waris³

1. Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, UAC).
2. Laboratoire des Sciences Naturelles et Applications (LSNA, UNSTIM).
3. Université d'Abomey - Calavi (UAC).

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 15 October 2024

Final Accepted: 18 November 2024

Published: December 2024

Key words:-

Groundwater, Agropastoral Activities, Physicochemical Analysis, Water Quality Index, Lake Toho

Abstract

Agropastoral activities, the main socio-economic activities along Lake Toho, are not without effects on the quality of soil and water. The objective of this study is to evaluate the degree of transfer of chemical elements and the quality of groundwater from the continental terminal to the southwest of Benin. Thus, along Lake Toho, nineteen large diameter wells and boreholes were sampled and the physicochemical parameters were measured using appropriate analysis methods. The calculation of different empirical indices made it possible to assess the quality and potability of groundwater. The determination of physicochemical parameters showed that the contents of chemical elements contained in the groundwater comply with Beninese standards and those prescribed by the WHO except for temperature, magnesium and chlorides, the values of which were obtained at the wells. Itéhoué and Condji Agnamé are extraordinary. The index values showed that the quality of groundwater is good in 12 localities and of excellent quality (Kpocondji Yosso) in some places. The overall assessment of quality reveals that the water quality is good almost everywhere and excellent in Tohonou; Dadahoué in Hahamé; Agbodougbe; average in Itéhoué and Bota and very bad in Goudon.

Copyright, IJAR, 2024.. All rights reserved.

Introduction:-

Au Bénin, le potentiel en eau renouvelable est estimé en moyenne à 13 milliards de mètres cube par an pour les eaux de surface et une recharge moyenne annuelle de 2 milliards de mètres cube environ pour les eaux souterraines (Azonsiet al, 2009). Pour assurer la satisfaction des besoins en eau des populations à la base, les eaux souterraines sont fortement mobilisées. Mais les fortes pressions démographiques et anthropiques sur les ressources eau souterraines sont susceptibles d'impacter voire dégrader la disponibilité et la qualité des eaux destinées à la consommation. Faut-il le rappeler, la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières dissoutes et en suspension de nature minérale ou organique, détermine sa qualité (Jain P., 2005) et cette qualité peut être altérée lorsque des substances extérieures entrent en contact avec la nappe aquifère. Tel est le cas des substances indésirables voire toxiques qui rendent l'eau souterraine et superficielle impropre et toxique pour divers usages, notamment pour l'usage d'eau de boisson (Méhounou J.P., 2016).

Corresponding Author:-Avahounlin Ringo F.

Address:-Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, UAC).

graviers et niveaux charbonneux. L'aquifère captée dans cette région est le quaternaire. La profondeur des forages dans cette zone varie entre 20 et 400 m. Dans la zone d'étude, les nappes d'eau sont facilement accessibles par les puits à grand diamètre, car peu profondes. Malheureusement, ces puits qui ne peuvent traverser que la seule zone altérée et quelque peu la zone fissurée, sont rarement pérennes et sont en outre vulnérables à la pollution, principalement à partir des moyens d'exhaure souillés.

Outils et prélèvement d'eau

Sur le terrain et au moyen des différents matériels adéquats (bouteilles étiquetées et flacons en plastique de capacités 1,5L lavés et stérilisés, glacière et des accumulateurs, paires de gants, GPS, étiquettes pour étiqueter les bouteilles de prélèvements, appareil photo numérique et multi-paramètre), des échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de 19 puits à grand diamètre ou des forages profonds (figure 2). Les flacons fermés sont ensuite étiquetés et conservés dans une grande glacière à 4°C puis conduire au laboratoire d'analyses. Parallèlement, un bécher en verre de 250 ml a été utilisé pour les mesures in situ (pH, la température de l'eau, conductivité et TDS).

Dosage des échantillons d'eau au laboratoire

Au laboratoire le matériel adéquat a été mobilisé pour les différentes analyses des échantillons d'eau. Les analyses des échantillons d'eau ont porté sur un total de 24 paramètres physico-chimiques. Certains de ces paramètres ont été mesurés in situ et d'autres au Laboratoire. Les paramètres in-situ concernent le potentiel Hydrogène (pH), la Température (T en °C) et la conductivité électrique (CE en μS). Des dosages volumétriques ont concerné les ions calcium (Ca^{2+}), les ions magnésium (Mg^{2+}) et les ions chlorures (Cl^-). Les dosages par la méthode de spectrométrie à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption moléculaire DR 2800 ont concernés les ions potassium K^+ , sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-), phosphate (PO_4^{3-}), fluorure (F), ammonium (NH_4^+), fer II (Fe^{2+}), iodure (I), la couleur de l'eau

Méthodes d'analyses des teneurs en cations, anions

A partir des histogrammes présentant les niveaux de variation des paramètres physico-chimiques (cations, anions et ETM), les teneurs en éléments chimiques ont été appréciés puis comparés à la norme relative à la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation en République du Bénin et suivant la directive de l'OMS (Tableau N°1).

Tableau N° 1:- Normes de qualité des eaux destinées à la consommation au Bénin et les directives de l'OMS pour une eau de consommation.

Paramètres	Valeurs maximales permises		Unités
	Bénin	OMS	
Température (T°C)	-	25	mg/L
Potentiel d'Hydrogène (pH)	6,11 6,5<ph<8,5	6,5<ph<8,5	mg/L
Sulfates)	500	200	mg/L
Chlorure	250		mg/L
Conductivité Electrique	-	2000	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Calcium	100	75	mg/L
Sodium	200	150	mg/L
Magnésium	50	30	mg/L
Potassium	12	12	mg/L
Nitrates	45	45	mg /L
Fer	0,3		mg/L
Ammonium	-	0,5	mg/L
Nitrites	3,2	0,1	mg/L
Cuivre	2	-	mg/L
Phosphates	-	5	mg/L
Zinc	3	-	mg/L

Analyse de la qualité et de la potabilité des eaux souterraines

La qualité des eaux souterraines a été appréciée à partir de l'Indice de Qualité des Eaux (IQE). Les valeurs brutes des paramètres physico-chimiques obtenues ont servi au calcul d'Indice de Qualité des Eaux (IQE). L'IQE, par définition, est une méthode qui permet de déterminer le potentiel d'utilisation d'une eau en comparant sa qualité observée avec les critères de qualité exigés pour différents usages (Michel Provencher, 2013). C'est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les

normes internationales ou nationales béninoises dans le cadre de cette étude. Il résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.). Dix-sept (17) utilisations de l'eau ont été considérées et les paramètres importants pour chaque classe d'utilisation ont été déterminés. Etant donné le très grand nombre de paramètres pouvant être considéré, il a fallu faire un choix. Chaque classe d'utilisation possède ses propres besoins et chacun des groupes de paramètres que nous avons retenus, par classe, fut choisi de façon à représenter le mieux possible les exigences de celle-ci. Les paramètres ainsi définis pour une eau destinée à la consommation sont : la couleur apparente, les solides dissous, la turbidité, les coliformes fécaux, l'alcalinité totale, le chlorure, la dureté, les nitrates, l'oxygène dissous, le pH et les sulfates qui sont les paramètres de base ; et les fluorures, les phénols et le mercure qui sont des paramètres complémentaires. Mais ceux utilisés dans notre étude ici sont : le pH, la température, la conductivité, les nitrates, les sulfates, le phosphate et les chlorures. Dans cette étude, l'indice IQE est appliqué pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux. Il est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (Brown et al., 1970 ; Brown et al., 1972 ; Chatterji et Raziuddin, 2002 ; Yidana et Yidana, 2010). Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (W_i), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{k}{S_i}$$

Où : k : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/S_i)}$$

Où : n : nombre de paramètres ; S_i : valeur maximale de la norme standard béninoise des eaux de consommation (Normes de qualité des eaux destinées à la consommation de l'eau potable en République du Bénin, 2001) de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique. Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100$$

Avec Q_i : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre ; C_i : la concentration de chaque paramètre en mg/l. Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tableau 2).

Tableau 2:- Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et al., 1972 ; Chatterji et Raziuddin, 2002 ; Aher et al., 2016).

Classe d'IQE	Type d'eau	Usage possible
0-25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>50-75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
>75-100	Très mauvaise qualité	Irrigation
>100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

Aussi la qualité des eaux souterraines autour du lac Toho a été appréciée suivant l'étude des paramètres de pollution et l'interprétation d'une grille simplifiée (Tableau 3) à savoir la conductivité électrique et les ions chlorures qui renseignent sur la qualité minéralogique des eaux puis les nitrates qui constituent des indicateurs d'une pollution d'eau souterraine (Nordine Nouayi and al, 2015).

Tableau 3:- Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines.

	Paramètres		
	Conductivité Électrique $\mu\text{S}/\text{cm}$	Chlorures mg/l	Nitrates mg/l
Excellente	Inférieure à 400	Inférieure à 200	< 5
Bonne	400-1300	200-300	5-25
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100
Très mauvaise	Supérieure à 3000	Supérieure à 1000	>100

L'évaluation de la pollution organique a été effectuée à partir de l'indice de pollution organique (Leclercq et Vandevienne, 1987). Celui-ci caractérise la pollution organique à partir de la teneur en ammonium, nitrites et orthophosphates qui sont réparties en cinq classes (Tableau 4) dont la moyenne des numéros de classes des trois (03) paramètres est l'indice de pollution organique de l'échantillon constitué.

L'indice de Pollution Organique a été également appliqué à ces valeurs. L'indice de pollution organique (IPO) de Leclercq (2001) a été utilisé pour évaluer la charge organique des eaux analysées. Son principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes (Tableau 5). Cet indice s'obtient au moyen des valeurs des ammoniums, DBO_5 et des phosphates. Le principe du calcul est de répartir les valeurs des trois éléments polluants en cinq classes et de déterminer, à partir des valeurs obtenues dans l'étude, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre en se servant des données moyennes du tableau. L'indice de pollution organique final est la moyenne des classes de pollution pour l'ensemble des paramètres.

Tableau 4:- Grille des classes de l'indice de pollution organique (Leclercq, 2001).

Paramètres Classes	Ammonium (mg/L)	Nitrites ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Phosphates ($\mu\text{g}/\text{L}$)
5	< 0,1	5	15
4	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
3	1 – 2,4	11 – 50	76 – 250
2	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900
1	>6	>150	>900

Tableau 5:- Grille des classes de l'indice de pollution organique (Leclercq, 2001).

Moyenne des classes	Caractérisation de la pollution organique
5 – 4,6	Nulle
4,5 – 4	Faible
3,9 – 3	Modérée
2,9 – 2	Forte
1,9 - 1	Très forte

Analyse des Résultats:-

Variation des paramètres physico-chimiques des eaux

La figure 3 montre les variations de pH, de la température, de la conductibilité et du TDS des eaux souterraines selon les points de prélèvements. Les valeurs de pH varient entre 6,84 et 7,34. Ceci implique que les valeurs de pH dans les eaux prélevées conviennent aux normes de potabilité de l'eau du Bénin et de l'OMS. Il varie selon la profondeur de l'ouvrage et de son encaissant (Mwanza et al, 2019). Les températures des eaux varient entre 28,6 et 32,2. Ces valeurs sont légèrement supérieures à la norme de l'OMS qui est de 25°C et sont acceptées en République du Bénin car n'étant pas limitées. Elle est en relation avec le pH, à l'origine de toute modification de la qualité de l'eau. Les conductibilités des eaux souterraines prélevées varient de 96 à 1304 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle donne une idée de la minéralisation globale de l'eau (Lachache). Les valeurs de TDS varient de 48 à 663 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Toutes ses valeurs respectent les normes de potabilité de l'OMS ainsi que du Bénin.

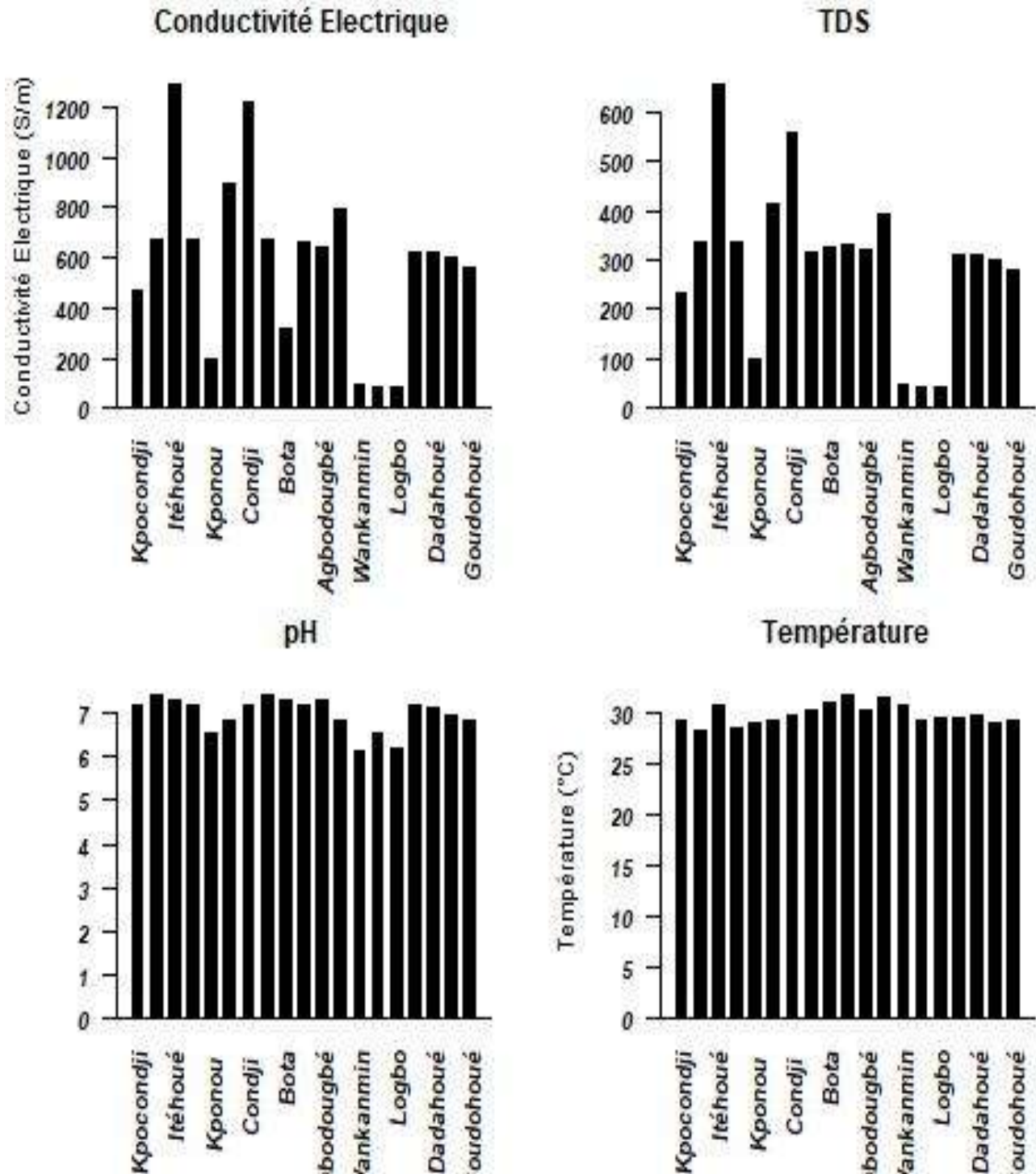


Figure 3:- Valeurs des paramètres physiques des eaux souterraines.

La figure 4 présente les variations des teneurs en cations des eaux souterraines. Les calciums varient de 1,74 à 59,91 mg/L. Ces valeurs sont inférieures aux normes de l’OMS et du Bénin qui sont respectivement de 75 et 100 mg/L. Les teneurs en magnésium varient de 1,38 à 34,05 mg/L et respectent la norme de potabilité de l’eau du Bénin étant de 50mg/L. Par contre, la norme du magnésium selon l’OMS (30 mg/L) n’est pas respectée au niveau des ouvrages 8 et 10, uniquement des puits d’Itéhoué et Condji Agnamé. Les normes de l’OMS sont respectées au niveau de tous les captages d’eaux en ce qui concerne le sodium et le potassium. La valeur minimum du potassium (0 mg/L) est

obtenue au niveau des forages de Vêha, Logbo et Hounkpotannou alors que celle maximale (2,89 mg/L) est obtenue au niveau d'un des puits de Condji Agnamé. La valeur élevée du Sodium (133,73 mg/L) est obtenue au niveau du puits de Condji Agnamé, montrant également une forte présence de Magnésium. Le forage de Hahamé par contre indique une faible teneur de (3,97 mg/L).

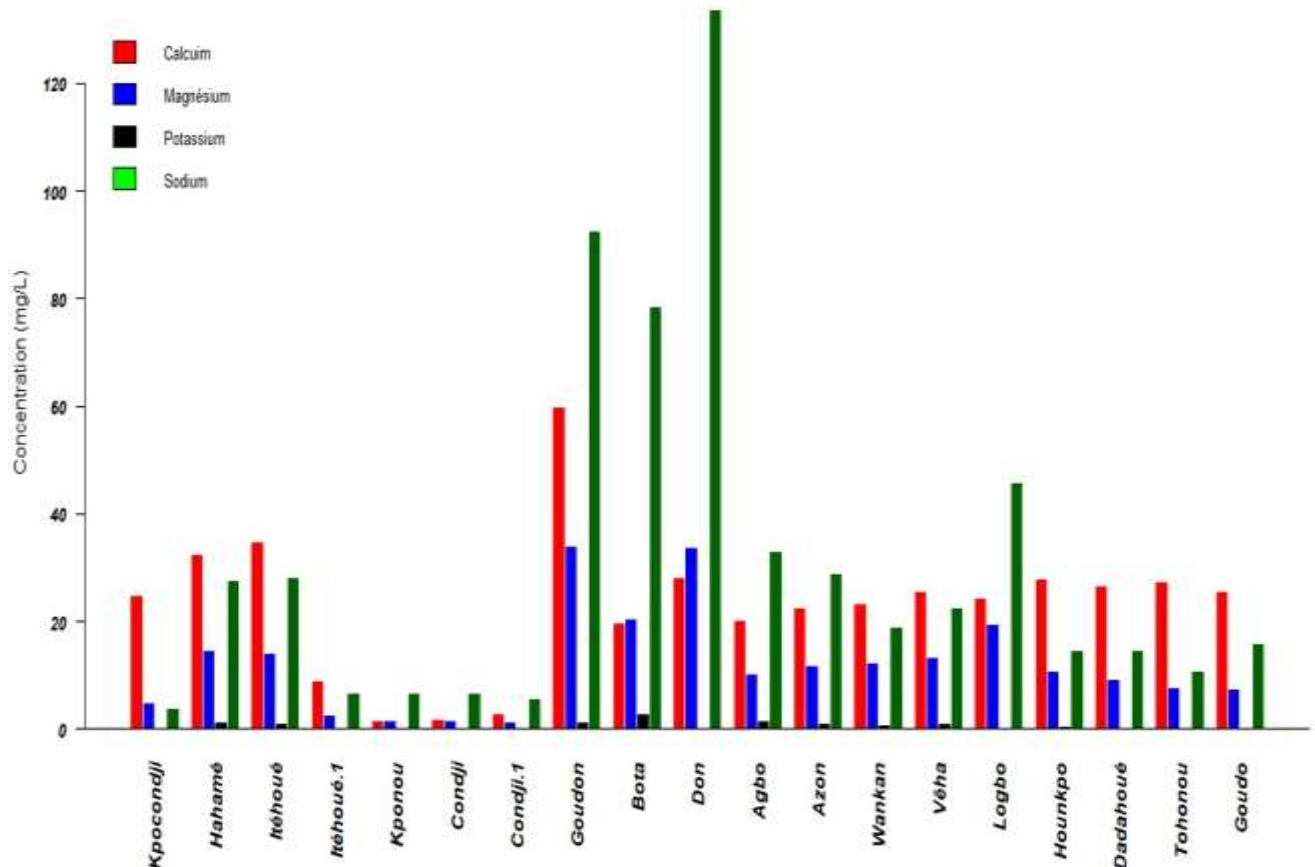


Figure 4:- Variations des teneurs en cations des eaux souterraines.

Les figures 5 et 6 présentent les variations des teneurs en anions des eaux souterraines. Les concentrations de sulfates sont conformes aux deux normes de comparaisons utilisées dans cette étude. La forte valeur de sulfates obtenue est de 53 mg/L, au niveau d'un des puits d'Itéhoué et est très en dessous des normes de l'OMS et du Bénin que sont respectivement 200 mg/L et 500 mg/L. La qualité de l'eau par rapport à l'ion chlorure est à considérer au niveau des puits 8, 9 et 10 qui sont des ouvrages d'Itéhoué et de Condji Agnamé. Les valeurs de ces eaux, respectivement 427,4 mg/L ; 278,5 mg / L et 3636,6 mg/L sont supérieures à la norme de l'OMS et du Bénin qui est de 250 mg/L. Les valeurs de bicarbonates dans les eaux varient de 3 à 6 mg/L donc sont presque inexistantes face à la valeur médiane des bicarbonates des eaux non polluées qui est 302 mg/L (Matthess G. Geol. Mijimbouw, 1994 in Nordine Nouayti et al, 2015).

Tous les ouvrages révèlent de fortes présences de phosphates dans leurs eaux. La norme de l'OMS et du Bénin est de 0,05 mg/L. Elle est inférieure à celles obtenues des 19 échantillons analysés qui varient de 0,06 à 1,420 mg/L. Quant aux valeurs obtenues des analyses de l'ammonium dans les eaux, on note le respect des normes de comparaison. Les valeurs obtenues varient de 0,002 à 0,015 mg/L et sont inférieures au standard de comparaison qui est 0,5 mg/L. Les valeurs de nitrites obtenues varient de 0,009 mg/L à 1,250 mg/L. Les eaux des ouvrages 3, 8, 9, 10, 13 et 15 révèlent un taux élevé de nitrites ; ses valeurs sont supérieures à la norme de l'OMS qui est 0,1 mg/L. Par contre, en comparaison à la norme béninoise, toutes les eaux sont qualifiées de bonne à la consommation humaine. Les concentrations de nitrates varient de 0,340 à 36,450 mg/L. Ces valeurs sont inférieures à la valeur unique servant de limites aux normes de l'OMS et du Bénin qui est 45 mg/L.

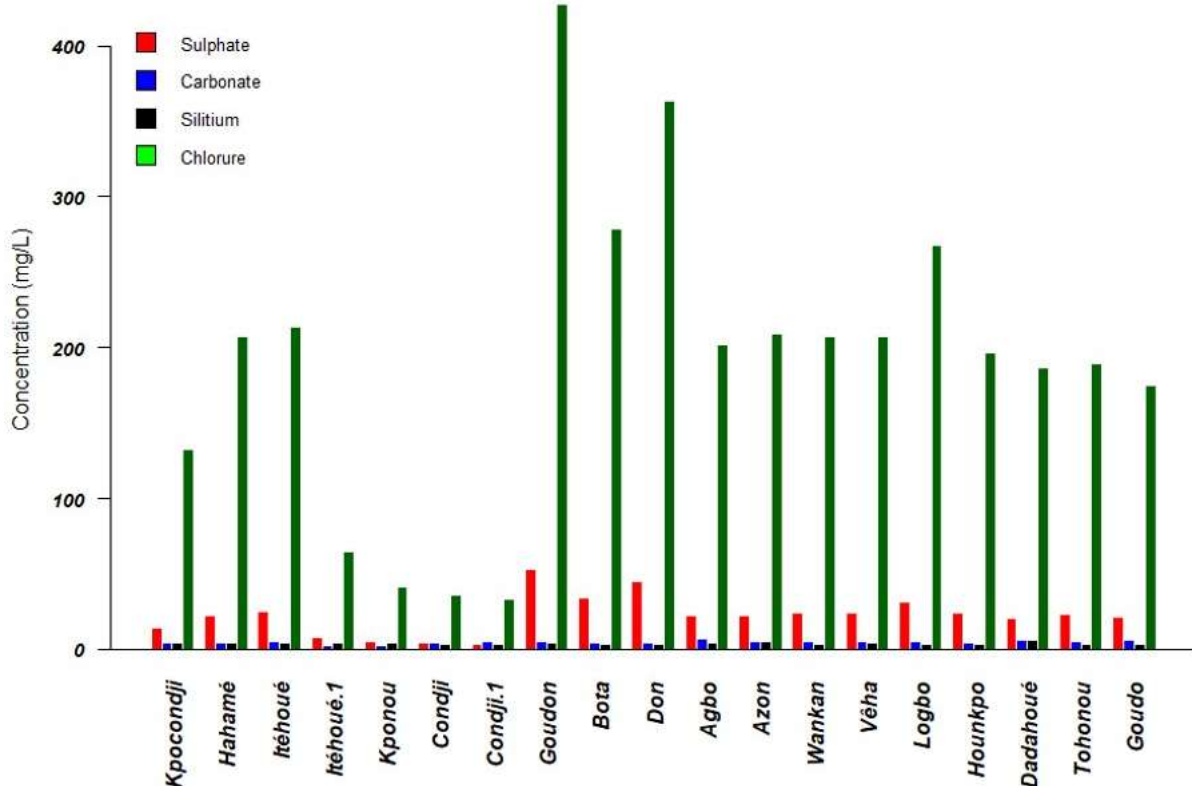


Figure 5:- Variations des teneurs en sulfate, carbonate, silicium et chlorure dans les eaux souterraines.

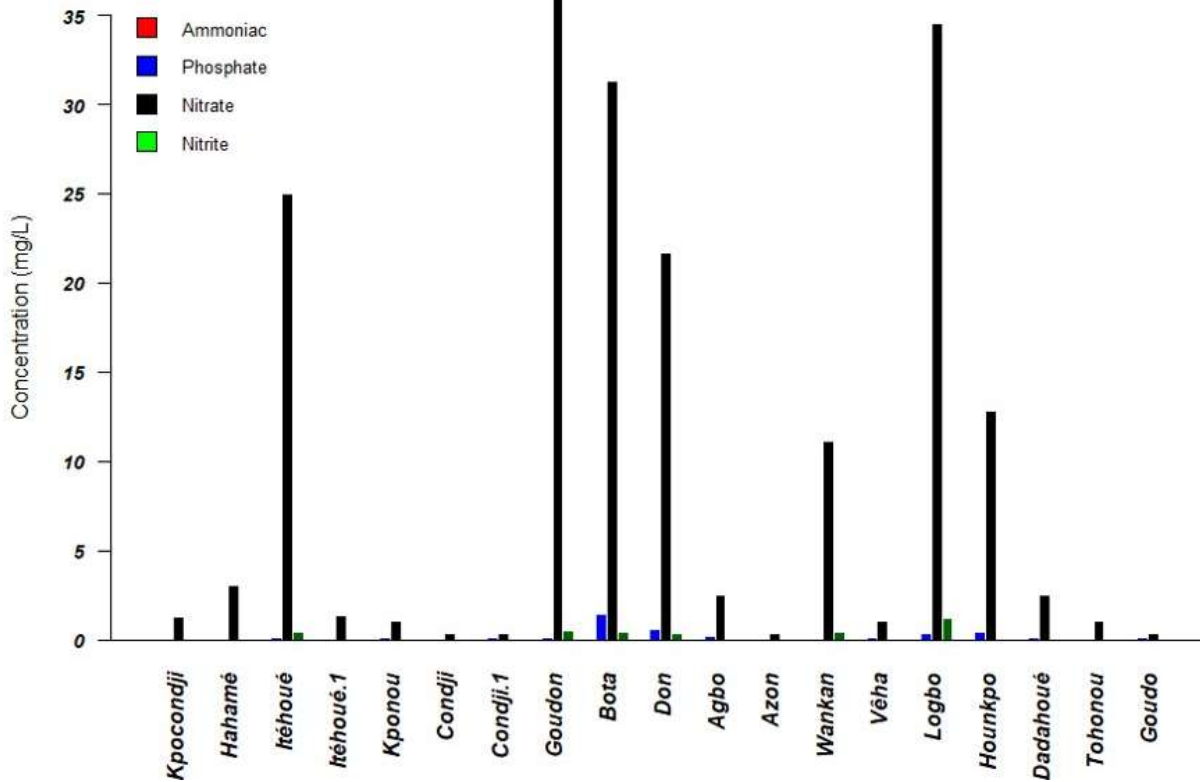


Figure 6:- Variations des teneurs en ammoniac, phosphate, nitrate et nitrite dans les eaux souterraines.

Evaluation de la qualité des eaux souterraines consommées

Le tableau 6 présente les valeurs de l'indice de pollution organique et le niveau de qualité organique de l'eau des points de prélèvements. Dans la zone d'étude, la pollution organique est nulle avec une valeur de l'IPO égale à 5.

Tableau 6:- Indice de pollution organique.

Sites	Concentration			Classe de l'indice de pollution organique				Type de Pollution
	Ammoniac	Nitrite	Phosphate	Ammoniac	Nitrite	Phosphate	IPO	
Kpocondji Yosso	0.005	0.020	0.090	5	5	5	5	Nulle
Hahamé	0.009	0.035	0.100	5	5	5	5	Nulle
Itéhoué	0.013	0.421	0.110	5	5	5	5	Nulle
Itéhoué	0.008	0.022	0.090	5	5	5	5	Nulle
Kponou Douvo	0.006	0.012	0.150	5	5	5	5	Nulle
Condji Agnamé	0.004	0.025	0.080	5	5	5	5	Nulle
Condji Agnamé	0.003	0.011	0.150	5	5	5	5	Nulle
Goudon	0.009	0.550	0.130	5	5	5	5	Nulle
Bota	0.015	0.425	1.420	5	5	5	5	Nulle
Don-Kondji	0.008	0.380	0.570	5	5	5	5	Nulle
Agbodougbe	0.005	0.070	0.220	5	5	5	5	Nulle
Azonlihoué	0.002	0.011	0.090	5	5	5	5	Nulle
Wankanmin	0.007	0.430	0.060	5	5	5	5	Nulle
Véha	0.003	0.019	0.120	5	5	5	5	Nulle
Logbo	0.022	1.250	0.380	5	5	5	5	Nulle
Houkpotannou	0.014	0.065	0.450	5	5	5	5	Nulle
Dadahoué	0.004	0.025	0.130	5	5	5	5	Nulle
Tohonou	0.005	0.020	0.090	5	5	5	5	Nulle
Goudohoué	0.002	0.009	0.140	5	5	5	5	Nulle

Après calcul de l'indice de qualité de l'eau en se basant sur les concentrations des paramètres physico chimique, l'IQE a été comparé aux normes utilisées par Brown et al., 1972 ; Chatterji et Raziuddin, 2002; Aher et al., 2016 (tableau 7). L'IQE a été calculé sur 19 points de prélèvement (Tableau 8). Ainsi quatre classes de qualité (Excellente, Bonne, Moyenne, Mauvaise, Très Mauvaise) sont identifiées.

Tableau 7:- Indice de Qualité de l'eau et usage de l'eau.

Sites	IQE	Classe de Qualité	Usage possible	IQE	Classe de Qualité	Usage possible
Kpocondji Yosso	15.303	EXCELLENTE	Eau potable, irrigation et industrie	53.340	MAUVAISE	Irrigation et industrie
Hahamé	46.551	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie	49.099	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie
Itéhoué	51.983	MAUVAISE	Irrigation et industrie	49.952	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie
Itéhoué	46.526	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie	50.409	MAUVAISE	Irrigation et industrie
Kponou Douvo	46.703	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie	46.559	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie

Condji Agnamé	46.7 87	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie	Logbo	53.8 73	MAUVAI SE	Irrigation et industrie
Condji Agnamé	47.9 07	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie	Houkpotannou	49.4 58	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie
Goudon	51.0 99	MAUVAI SE	Irrigation et industrie	Dadahoué	48.0 25	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie
Bota	54.3 82	MAUVAI SE	Irrigation et industrie	Tohonou	46.7 11	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie
				Goudohoué	46.6 82	BONNE	Eau potable, Irrigation et industrie

L'analyse de du Tableau 7 montre que la qualité de l'eau souterraine est de qualité Bonne qualité sur 12 sites de prélèvement soit une représentation de 63,15% des sites. Les sites d'Excellente qualité représentent 5.26% des sites soit seulement le site de Kpocondji Yosso. Les 31,57% des sites de prélèvements ont des eaux de mauvaise qualité soit Goudon, Bota, Logbo, etc.

Tableau 8:- Potabilité de l'eau et qualité des eaux.

	CE	Cl	NO3	Qualité Globale		CE	Cl	NO3	Qualité Globale
Kpocondji Yosso	480	132.20	1.320	EXCELLENTE	Don-Kondji	669	363.60	21.660	BONNE
Hahamé	682	207.80	3.070	BONNE	Agbodougbe	653	201.70	2.550	BONNE
Itéhoué	1304	213.30	25.020	BONNE	Azonlihoué	801	209.40	0.370	BONNE
Itéhoué	682	65.20	1.390	EXCELLENTE	Wankanmin	107	207.60	11.150	BONNE
Kponou Douvo	208	41.50	1.100	EXCELLENTE	Vêha	96	207.10	1.100	EXCELLENTE
Condji Agnamé	900	35.80	0.380	EXCELLENTE	Logbo	98	267.70	34.540	BONNE
Condji Agnamé	1229	33.40	0.350	EXCELLENTE	Houkpotannou	630	196.30	12.830	EXCELLENTE
Goudon	679	427.4	36.45	MOYENNE	Dadahoué	630	186.4	2.550	EXCELLENTE
Bota	331	278.50	31.300	BONNE	Tohonou	613	189.30	1.090	EXCELLENTE
					Goudohoué	569	175.20	0.340	EXCELLENTE

Pour décider de la qualité des eaux souterraine de la zone d'étude les paramètres de l'Indice de Potabilité (IPO) ; l'indice de Qualité de l'Eau (IQE) et la potabilité ont été couplé. Le Tableau 9 présente les différents paramètres pris en compte et la décision concernant la qualité. L'analyse de la qualité de l'eau souterraine montre qu'elle est de qualité excellente voire bonne respectivement à Tohonou ; Dadahoué à Hahamé ; Agbodougbe, contzirement aux localités d'Itéhoué ; Bota ; etc où l'eau est de qualité moyenne. Les eaux de la localité de Goudon sont de très mauvaise qualité.

Tableau 9:- Etat global de la qualité des eaux souterraines dans le secteur d'étude.

Sites	IQE	IPO	Indice de potabilité	Décision finale
Kpocondji Yosso	EXCELLENTE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE

Hahamé	BONNE	NULLE	BONNE	BONNE
Itéhoué	MAUVAISE	NULLE	BONNE	MOYENNE
Itéhoué	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Kponou Douvo	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Condji Agnamé	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Condji Agnamé	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Goudon	MAUVAISE	NULLE	MOYENNE	TRES MAUVAISE
Bota	MAUVAISE	NULLE	BONNE	MOYENNE
Don-Kondji	MAUVAISE	NULLE	BONNE	MOYENNE
Agbodougbe	BONNE	NULLE	BONNE	BONNE
Azonlihoué	BONNE	NULLE	BONNE	BONNE
Wankanmin	MAUVAISE	NULLE	BONNE	MOYENNE
Vêha	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Logbo	MAUVAISE	NULLE	BONNE	MOYENNE
Houkpotannou	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Dadahoué	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Tohonou	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE
Goudohoué	BONNE	NULLE	EXCELLENTE	EXCELLENTE

Niveau

Exellente

Bonne

Moyenne

Mauvaise

Très Mauvaise

Discussion:-

Divers paramètres physico-chimiques sont reconnus comme indicateur de qualité d'une eau destinée à la consommation (Kanohin et al, 2017). Les valeurs des ions ammonium, nitrates et sulfates sont conformes aux normes de qualité de l'eau de boisson au Bénin et aussi de l'OMS qui sont respectivement de 0,45 mg/L pour l'ammonium, 50 mg/L pour les nitrates et 500 mg/L (Bénin) et 250 mg/L (OMS) pour les sulfates. L'ammonium dans l'eau est un excellent indicateur de pollution organique. Sa présence dans l'eau est due en général aux déchets produits par l'homme. La présence des nitrates serait due aux activités humaines (rejets ménagers et élevage) et aux intrants agricoles. A un taux élevé dans les eaux de boissons, ils provoquent la maladie du bébé bleu encore appelée méthémoglobinémie chez les enfants et chez les adultes, des carcinomes gastriques (Mekki Hamaidi et Ben Daoud Lakhda, 2020). Une forte présence de phosphates est notée dans toutes les eaux étudiées car elles varient de 0,06 à 1,420 mg/L. Leur présence serait due à une infiltration d'eau de surface, également aux ruissellements des eaux usées des champs et aux activités domestiques. L'excès de phosphate dans l'eau de consommation est l'une des causes d'hyperphosphatémie ; maladie atteignant souvent ceux souffrant de dysfonction rénale (James L. Lewis, 2020). L'ammonium et le phosphate peuvent être rencontrés dans l'eau suite à une minéralisation de la matière organique. Dans l'eau de surface, ils favorisent la prolifération des algues et de microorganisme photosynthétique. Ces plantes aquatiques causées par le phénomène d'eutrophisation, appauvrissent l'eau en oxygène non seulement les soirs mais aussi lors de la décomposition des algues mortes (De Villers et al, 2005). Ce processus augmente la turbidité de l'eau rendant ainsi le milieu invivable pour les espèces aquatiques et se traduit par une forte présence de composés azotés. Une forte présence des composés azotés dans les eaux souterraines pourrait ainsi se justifier par une infiltration d'eau de surface dans la nappe. La présence des ions sulfates dans les eaux aurait deux (02) origines : naturelle et anthropique. Sa présence naturelle dans l'eau peut varier suite à des pluies chargées dans l'atmosphère ou une infiltration d'eaux usées agricoles (Nordine Nouayti et al, 2015).

L'agriculture, l'élevage et la pêche sont les activités importantes de la région. Les déjections d'animaux (urine et excréments) sont utilisées comme engrais naturels, en plus d'autres intrants agricoles (engrais chimiques et les pesticides) pour améliorer la production (Atidéglá et al, 2010). La demande en produits agricole exercée par la montée démographique pousse les paysans à une plus grande occupation des sols pour l'agriculture et les habitations, et à une plus forte exploitation de la nappe pour répondre aux besoins en eau (Balloy Mwanza et al, 2019). Ces inconvénients de la pression démographiques sont également cités par plusieurs autres auteurs de la sous-région tels que Kouam en 2014 au Cameroun, Motcho en 1991 au Niger et Nzuzi en 2011 à Kinshasa. Ces déjections, qui constituent l'une des principales sources de pollutions des eaux (Dupont 2009) et intrants sont ainsi surexploités, surutilisés pour des résultats ultra-rapides. Le taux élevé de nitrites dans les eaux selon la norme de l'OMS, proviendrait d'une infiltration d'eau de surface polluée par les engrais et ceux naturellement contenus dans les sols. En milieu anaérobie, les nitrates sont transformés en ammonium (non toxique) qui dans les eaux de pH élevé, deviennent de l'ammoniac, très toxique. Le taux élevé des ions phosphates dans les eaux auraient pour origine l'utilisation d'engrais (agricole), les déchets domestiques et une infiltration d'eau externe à la nappe d'où résultent les activités anthropiques.

Le taux élevé de chlore dans quelques eaux serait à une infiltration directe des urines de toilettes dans les sources d'AEP, causée par le non protection des fosses septiques (Balloy Mwanza, 2019). Dans l'aquifère, il devient du NaCl, et lui transfère une saveur désagréable au goût. Il pourrait également être dû à une infiltration des eaux usées agricoles (El Asslouj et al, 2007) mais aussi aux roches rencontrées. Le magnésium n'étant que de source naturelle, sa présence dans les eaux ne peut s'expliquer que par la composition des roches rencontrées (Nordine Nouayti et al, 2015). L'hypermagnésémie se définit comme un excès de magnésium dans le sang. Il n'est cependant pas causé par des apports alimentaires mais suite à une supplémentation excessive, une longue prise de médicaments. Elle se manifeste souvent après l'apparition d'autres mots comme une maladie rénale, une acidocétose ou encore une thyroïdie (Jennifer Roth, 2017). Le sodium, dans notre travail respecte les normes et sont généralement minime dans l'eau souterraine. Il est apporté en faible quantité par l'eau de pluie et sa forte présence serait justifier par soit, un décapage de sels, circulation par des terrains ou encore l'infiltration d'eaux salées (Rodier, 2009). En effet, à de fortes concentrations, le sodium déclenche l'Hypernatrémie chez l'Homme, dû à une déshydratation par une diarrhée, des vomissements, une transpiration excessive ou encore à une faible consommation d'eau. Le potassium, un des éléments nécessaires au développement des plantes, est retrouvé dans les cendres des végétaux et est utilisé en agriculture comme engrais (Pesson P, 1979). Sa présence dans les eaux pourrait s'expliquer par une infiltration d'eau de surface. En forte quantité, il déclenche l'hyperkaliémie, un mal qui survient, suite à une dérégulation du taux de potassium dans le sang. Il est observé en présence de maladie rénale.

L'appréciation de la qualité de l'eau dans la zone d'étude passe par la détermination de l'Indice de Pollution Organique (IPO). Dans la zone d'étude l'IPO est nulle tous les points de prélèvement. Ce qui traduit une absence de la pollution organique, qui s'explique par l'absence d'activité humaine génératrice de ce type de pollution ou par le lessivage ou le drainage de pollution vers un autre point. Ces résultats sont conformes à ceux de (Bekri et al, 2020) qui a trouvé des valeurs de 4 à 5 traduisant la pollution organique nulle et faible et une exception de 2.5 (pollution organique forte). Le prélèvement sur les 19 points a été effectué en période de sécheresse hydrologique. De plus l'appréciation de la qualité de l'eau passe par la détermination de la potabilité de l'eau. De ce faite, la qualité de l'eau dans la zone d'étude est située dans la plage « excellente » à « moyenne » avec les eaux de dix points de prélèvement en excellente qualité ; huit en Bonne qualité et le Goudon quant à lui a une eau de qualité moyenne. La baisse de la qualité de l'eau au niveau de certain point de prélèvement s'explique par la diminution des débits des rivières (Abdelghani et al, 2020).

L'IQE a été calculé en se basant sur plusieurs paramètres (pH, T (°C), CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$), Oxygène dissous (mg/l), NH_4^+ (mg/l), NO_3^- (mg/l), SO_4^{2-} (mg/l), PO_4^{3-} (mg/l), DBO5 (mg/l)). L'état de la qualité de l'eau dans la zone d'étude indique 63,15% des sites soit 12 sites de prélèvement sur les 19 présentent une eau de Bonne qualité (IQE > 25-50). Les sites de prélèvement où l'eau est d'excellente qualité représente 5,26% (0-25). Par contre 31,57% sont des eaux de mauvaise qualité (IQE > 50-70). Le caractère mauvais de l'eau souterraine pourrai être dû aux actions anthropiques par les habitants (rejets des déchets domestiques ou activité industrielle) (Sener et al, 2017 ; Izougarhane et al, 2016). En se basant sur l'IPO ; l'IQE et la potabilité le niveau de qualité de l'eau est fixé. Elle y va « d'excellente » à « Très mauvais ». Les sites dont les eaux souterraines sont d'excellente et bonne qualité représentent 52,63% et 15,78% soit 10 et 3 sites sur 19. Les sites ayant des eaux de qualité moyenne et très mauvaise sont de l'ordre de 26,12% et 5,26%. Les eaux souterraines de la zone d'étude sont généralement de qualité excellente et moyenne.

Conclusion:-

Cette recherche est une contribution à une meilleure appréciation de la qualité des eaux. Il est à retenir que dans le continental terminal au Sud-Ouest, la qualité des eaux souterraines dépend de l'analyse des paramètres physico-chimiques qu'elles renferment et le calcul des indices de qualité de ces eaux. De tous les paramètres mesurés, les concentrations en magnésium, en chlorure et de température sont au-dessus des normes de l'OMS. L'état de la qualité de l'eau dans la zone d'étude indique 63,15% des sites soit 12 sites de prélèvement sur les 19 présentent une eau de bonne qualité (IQE > 25-50). Les sites de prélèvement où l'eau est d'excellente qualité représente 5,26% (0-25). Par contre 31,57% sont des eaux de mauvaise qualité (IQE > 50-70). Le caractère mauvais de l'eau souterraine pourrait être dû aux actions anthropiques par les habitants (rejets des déchets domestiques ou activité industrielle).

Références Bibliographiques:-

1. Ahouansou R.H., J. Monhouanou, M-C. Savi, F. Akplogan and P. Djossou, 2008. Evaluation of the technical and economic performance of a palm fruit pulper in Benin, Benin Agricultural Research Bulletin Number 60 – June 2008;
2. Ahoussi K. E., Soro N., Koffi Y. B., Soro G., Biémi J., (2010). 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, 4(3): 782- 797;
3. Asslouj, J. E., Kholtei, S., Amrani-Paaza, N. E. and Hilali A. (2007). Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de ma communauté Mzamza (Chaouia, Maroc). Revue des sciences de l'eau / journal of water Science, 20 (3), 309 - 321. <https://doi.org/10.7202/016505ar>;
4. Bourne L.T., Harmse B, Temple N. (2007). Water: a neglected nutrient in the young child? A South African perspective. Matern. Child. Nutr., 3(4):303-11 ;
5. Dupont G. (2009). Le développement fulgurant de l'aquaculture devrait continuer. Le Monde ;
6. Eblin S. G., Sombo A. P., Soro G., Aka N., Kambiré O., Soro N., (2014). Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké, J. Appl. Biosci. 75: 6259-6271 ;
7. El-Naqa A., Al-Momani M., Kilani S., Hamouri N., (2007). Groundwater deterioration of shallow groundwater aquifers due to overexploitation in northeast Jordan, Clean Soil, Air, Water 35:156-166 ;
8. Hade A., (2002). Nos Lacs – Les Connaître pour Mieux les Protéger, Éditions Fides ; 360 p ;
9. IBGE. (2005) Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. Observatoire des Données de l'Environnement : Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général ;
10. Jang C.S., Chen J.S., Lin Y.B., Liu C.W., (2012). Characterizing hydrochemical properties of springs in Taiwan based on their geological origins, Environ Monit Assess, 184: 63-75, DOI 10.1007/s10661-0111947-4 ;
11. Jean Rodier, (2009), L'Analyse de l'eau, 9e édition Entièrement mise à jour, Dunod, Paris, 2009 © Dunod Paris, 1959, pour la 1re édition Couverture : Mateo Photo de couverture : © GettyImages ISBN 978-2-10-054179-9 ;
12. KANOHIN Epse OTCHOUMOU, Ossey Bernard YAPO, Brou DIBI et Aya Carole BONNY, 2017, Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville, Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(5): 2495-2509, October 2017 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print) ;
13. Kouam K.G.R., (2014), Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement : Cas du bassin versant de l'abiergué (Yaoundé- Cameroun). Thèse de doctorat à la faculté de Sciences - Arlon-ULg;
14. Kouzana L., Ben Mammou A., Gaaloul N., (2007). Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière (Korba, Cap-Bon, Tunisie), Geo-Eco-Trop., 31 : 57-70;
15. Matini L., Moutou J.M., Kongo-Mantono M.S., (2009). Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo, Afrique Science 05(1) : 82-98 ;
16. Ministère de la Santé. Direction de la Programmation et de la Prospective. 2009. Service des statistiques et de la documentation. Annuaire des statistiques sanitaires. Ministère de la santé : Cotonou.
17. Montcho K.H., (1991), Cadre de vie et systèmes de santé à Niamey (Niger). Bordeaux: Université Michel de Montaigne de Bordeaux III, Thèse de Géographie, 316 p
18. Nouayti N, Khattach. D, Hilali. M., (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassiques du haut bassin de Ziz (haut Atlas central, Maroc), J.Mater.Environ. Sci 6(4) (2015) 1068-1081 ;
19. Nzuzi L.F., (2011), Kinshasa : Planification urbaine et Aménagement, Ed. L'Harmattan, Paris, 381 p ;
20. Oga M. S., Lasm T., Yao T. K., Soro N., Saley M. B., Kouassi D., Gnamba F., 2009. Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture: Cas de La Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire, European Journal of Scientific Research, 31(1):72-87;

21. Organisation Mondiale de la Santé, (2003). L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. OMS, UNESCO-WWAP : Paris ;
22. Organisation mondiale de la Santé, (2017). DIRECTIVES DE QUALITÉ POUR L'EAU DE BOISSON QUATRIÈME ÉDITION ;
23. P. Balloy Mwanza, J.P. Katond & P. Hanocq, 2019, Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwuwoshi (RD Congo), Tropicultura 2295-8010 Volume 37 (2019) Numéro 2, 627 ;
24. Pesson P., (1979). Pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques, 97-101 ;
25. RodierJC, Bazin JF, Busby RW, Lee BB., (1996). L'Analyse de l'Eau (8ème édn) DUNOD: Paris, France ;
26. S. ATIDEGLA, E. K. AGBOSSOU & J. BRAIMA, (2010). ÉTUDE COMPAREE DES MODES D'IRRIGATION DANS LES EXPLOITATIONS MARAÎCHÈRES URBAINES ET PÉRI URBAINES DE LA COMMUNE DE GRAND-POPO AU BÉNIN , Annales des sciences Agronomiques du Bénin 13 (1) 43-69;
27. ScanlonB. R., Reedy R. C., Stonestrom D. A., Prudic D. D. D. E., Dennehy K. F., (2005). Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US, Global Biol., 11: 1577-1593 ;
28. Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakala I., Boguido P., Bawa L., Djaneye B., (2014). Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé, J. Appl. Biosci.75: 6272-6281 ;
29. TapsobaS. A., (1995). 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 3è cycle de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire, p. 200 ;
30. WASC (Waterwatch Australia Steering Committee), (2003). Environment Australia Waterwatch, Australia National Technical Manual; 156 p ;
31. Yapo OB, Mambo V, Seka A, Ohou MJA, Konan F, Gouzile V, Tidou AS, Kouame KV, Houenou P, (2010). Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Koumassi, Marcory, Port - Bouet et Treichville. Int. J. Biol. Chem. Sci., 4(2): 289 - 307. DOI: <http://ajol.info/index.php/ijbcs>.