EVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DES AQUIFÉRES DE FRACTURES DU SOCLE DU DAMAGARAM MOUNIO / EST DU NIGER

WATER QUALITY EVALUATION OF FRACTURED AQUIFERES IN THE DAMAGARAM MOUNIO BASEMENT / EASTERN NIGER

ABDOU Hamidou[1], Hamissou Chaibou **RABE[1]**, Issa **HABOU[2]**

[1]Université André Salifou (UAS) ; Laboratoire de Géoressources et Géosciences de l'Environnement (LGGE) ; Zinder-Niger : Courriel : abdouhamidou73@gmail.com

[2]Laboratoire de chimies des eaux de la Direction Régionale de l'Hydraulique, de l'Environnement et de l'Assainissement ; Zinder-Niger

RESUMÉ

Le socle du Damagaram-Mounio, zone d'étude, est situé dans la partie Est de la région de Zinder. Cette zone compte parmi les régions le plus peuplée du Niger et où les problèmes d'eau se posent avec acuité. La présente étude se propose d'évaluer la qualité des eaux des aquifères de fractures du socle de Damagaram Mounio. L'approche méthodologique basée sur la détermination des hydrofaciès, à partir du diagramme triangulaire de Piper, l'Analyse en Composantes Principales et la comparaison des paramètres physico chimiques aux normes de l'OMS, a permis d'aboutir à plusieurs résultats intéressants. Ainsi, les résultats analytiques des eaux montrent que celles-ci sont légèrement acides avec un pH qui varie de 5,54 à 7,02 et une moyenne de 6,3. En dehors des eaux de localités d'Albarkaram (521 µ/cm) et de Daganou (631 µ/cm) et où les valeurs de conductivité sont élevées, on note dans l'ensemble que les eaux sont faiblement minéralisées avec une conductivité qui varie de 56 à 631µ/cm et une moyenne de 250,18 µ/cm. L'étude hydro chimique a permis d'identifier trois types de facies hydrochimique dans la zone : il s'agit du facies de type sulfaté-chloruré calcique et magnésien, qui est le plus important et représente (68%) des eaux étudiées, du facies de type chloruré calcique (23%) et enfin du facies de type chloruré-sulfaté calcique et magnésien (9%). Les différents ions sont issus du contact eau-roche, de lessivage de sols, de la pluie et de la minéralisation superficielle d'origine anthropique. D'une manière générale, les eaux étudiées sont dans l'ensemble de bonne qualité physico chimique.

Mots clés : Damagaram Mounio, qualité des eaux, hydrochimie, Analyse en Composantes Principales, OMS.

ABSTRACT

The Damagaram-Mounio basement, the study area, is located in the eastern part of the Zinder region. This area is among the most densely populated regions of Niger, where water problems are particularly acute. This study aims to evaluate the water quality of the fractured aquifers in the Damagaram-Mounio basement. The methodological approach, based on hydrofacies determination using the Piper triangular diagram, Principal Component Analysis, and comparison of physicochemical parameters with WHO standards, yielded several interesting results. The analytical results show that the water is slightly acidic, with a pH ranging from 5.54 to 7.02 and an average of 6.3. Apart from the waters of Albarkaram (521 µ/cm) and Daganou (631 µ/cm), where conductivity values are high, the waters are generally weakly mineralized, with conductivities ranging from 56 to 631 µ/cm and an average of 250.18 µ/cm. The hydrochemical study identified three types of hydrochemical facies in the area: the calcium and magnesium sulfate-chloride facies, which is the most prevalent (68%) of the studied waters; the calcium chloride facies (23%); and finally, the calcium and magnesium chloride-sulfate facies (9%). The various ions originate from water-rock contact, soil leaching, rainfall, and surface

mineralization of anthropogenic origin. In general, the waters studied are of good physicochemical quality.

Keywords: Damagaram Mounio, water quality, hydrochemistry, Principal Component Analysis, WHO.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource vitale pour tout être vivant et revêt une importance capitale pour d'innombrables activités humaines. Dans la région de Zinder, les conditions climatiques aléatoires et la forte demande entrainent un amincissement de la ressource en eau (Sandao, 2013). En plus de ces conditions climatiques défavorables à la recharge des eaux souterraines, la nature géologique, constituant les réservoirs, influence de manière considérable les types d'aquifères. C'est ainsi que, les régions sédimentaires s'avèrent beaucoup plus favorable en ressources en eau souterraine que les régions du socle. Malheureusement l'occupation humaine est importante dans ces espaces du socle. C'est le cas dans le Damagaram-Mounio, qui compte parmi les régions le plus peuplées et ou le problème d'eau se pose avec acuité. En plus de la faible disponibilité de cette ressource en eau, sa qualité reste douteuse dans plusieurs zones (Sandao, 2013, DRHE/A, 2009). Ainsi, pour assurer leurs besoins quotidiens en eau d'alimentation, d'irrigation et d'abreuvage des animaux…, les populations fond recours aux eaux souterraines, sources de nombreuses maladies d'origine hydrique. Pour une contribution à la connaissance de la qualité des ressources en eau souterraine et dans le souci de préserver la santé de population, leur connaissance approfondie s'impose. Cette étude, dont l'objectif principal, est d'évaluer la qualité des eaux des aquifères de fractures du socle du Damagaram Mounio, s'inscrit dans cette perspective. Les objectifs spécifiques visent à caractériser les paramètres physico chimiques des eaux et déterminer l'origine des ions dans les eaux.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le socle du Damagaram-Mounio couvre la partie Est de la région de Zinder. Cette zone s'inscrit entre 9° et 9°35' de longitude Est et entre 13°45' et 14°10' de latitude Nord, couvre une superficie d'environ 10 000 km^2. Sur le plan administratif, la région est subdivisée en quatre (04) départements qui sont : Takiéta, Damagaram Takaya, Gouré et Mirrah (figure 1).

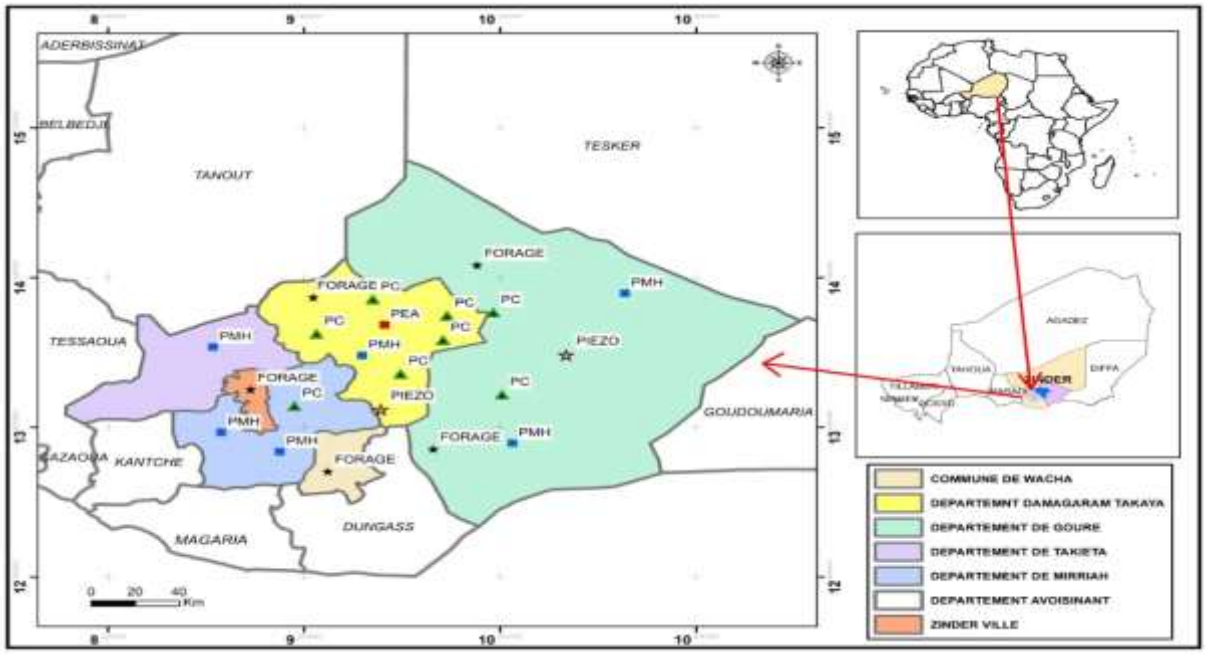


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude et montrant la localisation de points d'eau.

Sur le plan géologique, le socle du Damagaram Mounio est composé de deux ensembles (Mignon, 1970) : le Damagaram à l'Ouest et le Mounio à l'Est. Ces massifs, sont constitués par des formations métamorphiques, représentées par des schistes, gneiss et quartzites d'âge Panafricain et des formations magmatiques dominées par de granites variés d'âge Panafricain et Paléozoïque. Ces ensembles du socle sont surmontés par des formations de recouvrement sédimentaire (Figure 2).

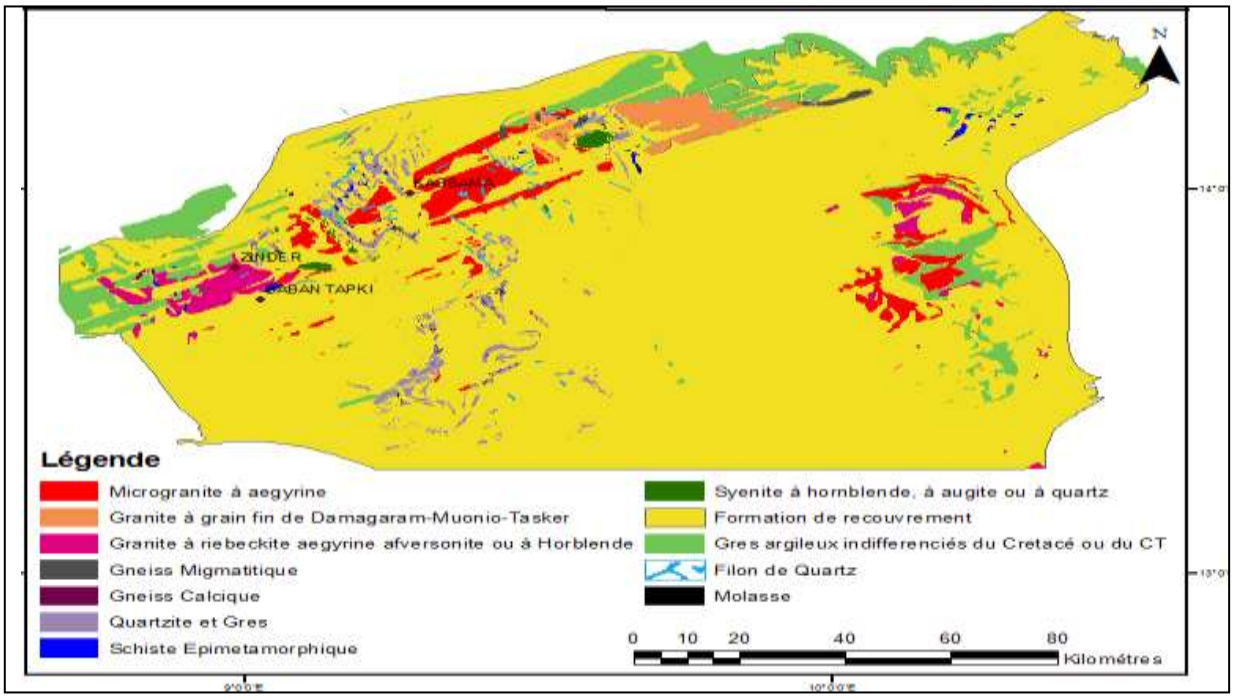


Figure 2: Carte géologique simplifiée de Damagaram-Mounio (Mignon, 1970, modifiée)

Sur le plan hydrogéologique, les ressources en eau souterraine sont localisées dans des horizons fracturés, fissurés et ou altérés de formations du socle de la zone (DRH, 2013).

2.2. Méthodologie

Les mesures de paramètres physico chimiques ont été réalisées sur des échantillons d'eau prélevées dans vingt-deux points d'eau, captant les aquifères du socle fracturé, fissuré et ou altéré de la zone. Les échantillons d'eaux ont été prélevés dans deux flacons poly éthyléniques de 11 ml préalablement stérilisés. Les paramètres (T°, CE et pH), de ces différents échantillons ont été mesurés sur le terrain respectivement à l'aide de thermomètre, conductimètre, pH-mètre (initialement calibrés pour les quatre derniers). Les échantillons d'eau prélevés ont été conservés au frais dans les glacières à la température 4°C et transportés au laboratoire de chimie des eaux, de la Faculté des Sciences et Techniques (FST), de l'Université Abdou Moumouni (UAM), pour analyse complète de tous les paramètres définis. Un délai de 48 heures à compter de la date d'arrivée au laboratoire des échantillons, a été fixé pour l'analyse. Ainsi, les différents ions, ont été déterminés par spectrophotométrie, avec le spectrophotomètre DR 2800 et des réactifs. Toutes ces analyses ont été réalisées suivant le protocole décrit par de Jean Rodier (2009).

2.3. Méthode de traitement des données

Le traitement des données collectées sur les eaux souterraines de zone d'étude, a été réalisé à l'aide de méthode hydrochimique et statistique. L'étude hydrochimique des eaux a nécessité l'utilisation du logiciel DIAGRAMME, (développé par le laboratoire de l'Université d'Avignon). L'utilisation fréquente de ce logiciel dans le domaine de l'hydrochimie a conduit à de très bons résultats (Soro, 2002; Ahoussi, 2008; Oga et al., 2009; Chemseddine et al., 2009).

L'approche statistique utilisée pour étudier les phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux, est basée sur l'Analyse en Composantes Principales, à partir du logiciel JMP Pro 16. L'analyse statistique a été réalisée à partir de 22 descripteurs et 11 variables, qui sont : pH, CE, $Ca^{2+,}$ Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{3+}, $HCO3^{-}$, SO_4^{2}-, Cl^{-}, et NO_3^{-}. $^{-}$. Les résultats des analyses chimiques ont été comparés aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'application de toutes ces méthodes a permis d'évaluer la qualité des eaux des aquifères du socle de Damagaram-Mounio et nous présentons les résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

3. RESULTATS

Les résultats analytiques de vingt-deux points d'eau échantillonnés, dans la zone d'étude, sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau I: Analyse de paramètres physico chimiques des eaux échantillonnées, dans le cadre de cette étude, dans la zone du socle du Damagaram Mounio (Analyse effectuée par le laboratoire de chimie des eaux, de la Faculté des Sciences et Techniques (FST), U A M).

N°	Echantillon	T°	pH	CE	Ca 2+	Mg2+	Na+	K+	Fe3+	HCO3-	SO42-	Cl-	NO3-	NO2-	F-
1	Albalkaram PMH	31,9	6,21	521	68,7	3,5	29,38	0,9	0,06	202,36	31,64	16,05	43,75	0,066	1,6
2	Baka tchiroma PMH	32	6,39	184	14,83	4,38	15,82	3,39	0,15	59,57	16,72	14,44	12,34	0,205	0,2
3	Daganou PC	28,1	6,7	631	33,63	10,28	67,8	5,65	0	286,75	42,94	60,97	22,87	0,987	0,7
4	Dodori PMH	30,3	6,57	181	26,76	2,42	7,68	1,81	0,22	100,93	1,81	4,81	1,59	0,059	0,2
5	Doufoufouk PMH	33,5	6,17	211	27,12	2,19	15,82	1,81	0,03	99,26	11,75	6,42	2,98	0,023	1,3
6	DTK PEA	30,5	6,55	312	22,42	3,72	33,9	1,58	0,02	138,94	9,94	19,26	9,94	0,03	0,8
7	Gadjamni PMH	33	6,29	78	10,12	1,97	4,97	2,03	1,1	49,63	6,78	3,21	0,4	0,003	0,3
8	Gassafa	31,7	6,25	81	3,62	1,3	2,03	0,57	0,01	6,62	0	2,71	10,74	0,0254	0
9	Gouré Piezo	30,3	6,13	567	173,57	59,08	108,48	22,6	0,03	82,72	81,36	216,64	5,57	0,079	0,6
10	Guidiguir PC	30,4	6,66	118	13,38	2,4	4,97	2,26	0,01	31,98	6,33	9,63	13,11	0,043	0,1
11	Guidimouni Piezo	30,3	5,54	56	2,89	1,75	6,78	1,58	0,02	20,95	4,07	9,63	1,99	0,02	0,1
12	Kandine PEA	29,5	6,37	260	28,2	4,38	22,6	0,9	0,39	155,49	4,52	11,23	1,39	0,04	0,8
13	Kassama PC	31,4	6,46	395	50,62	5,25	18,08	1,58	0,02	153,32	15,82	8,02	20,88	0,871	0,7
14	Kazawé PC	28,6	6,27	266	35,08	8,1	9,04	6,78	0,44	173,16	1,36	11,23	1,39	0,017	0,6
15	Kiskabaou kazoyé	33,1	6,38	341	38,33	7	18,08	2,83	0,06	140,07	3,16	12,84	41,76	0,017	0,9
16	Lailari PC	26,9	6,12	89	9,04	2,63	4,07	2,98	0,17	49,63	1,81	4,81	0,6	0,017	0,4
17	Lassouri PC	28,2	7,02	332	18,08	6,12	45,2	11,3	0,01	201,28	11,3	6,42	3,98	0,023	1,2
18	Mazamni PMH	32	6,15	328	49,72	3,72	15,82	0,9	0,13	132,35	44,3	6,42	8,77	0,05	0,7
19	Mirriah PC	33,1	6,49	162	21,7	4,39	11,87	23,96	0,03	67,28	11,75	19,12	28,24	0,0033	0,4
20	Moa PC	30,2	5,83	132	14,46	3,72	4,97	6,78	0,07	74,99	3,16	8,02	1,19	0,02	0,3
21	Rafa PC	28,7	5,98	112	12,29	3,5	4,52	5,65	0,26	57,36	4,07	11,23	2,19	0,419	0
22	Wacha	30,8	6,16	147	5,79	3,08	4,75	6,37	0,11	15,44	4,97	16,05	12,53	0,419	0

3.1. Détermination des hydro-faciès

La représentation graphique des éléments chimiques sur le diagramme de Piper a permis de mettre en évidence trois types de faciès hydrochimique dans la zone. Il s'agit (Figure 3): du facies de type sulfaté-chloruré calcique et magnésien, qui est le plus important et représente (68%) des eaux étudiées, du facies de type chloruré calcique et magnésien et les eaux du facies de type chloruré calcique (23%) et enfin du facies de type chloruré-sulfaté calcique et magnésien (9%).

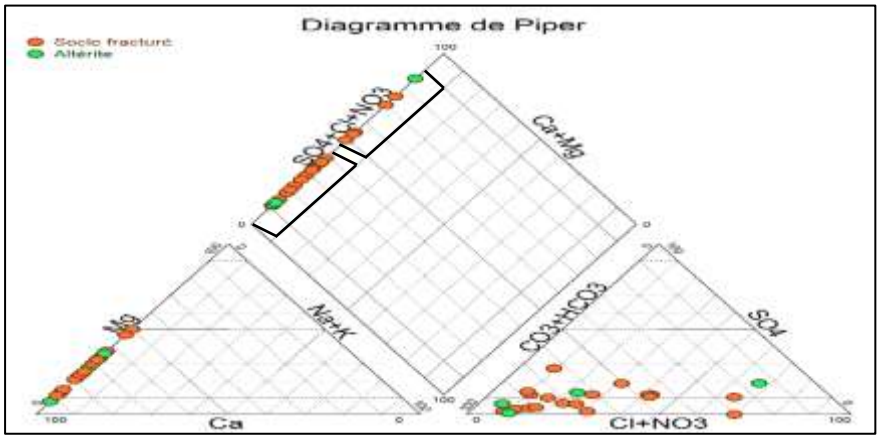


Figure 3 : Représentation graphique des éléments chimiques des eaux sur le diagramme de Piper

Analyse en Composantes Principales

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales, donne des nombreux tableaux dont certains sont retenus dans le cadre de cette étude. Le tableau de valeur propre (tableau 2), montre que les trois principaux facteurs représentent (80,53%) de la variance exprimée.

Tableau II : valeurs propres de l'ACP

Facteur	Valeur propre	Variabilité (%)	Valeur propre cumulée	Variance cumulée
F2	5,63	51,26	5,63	51,26
F2	2,12	19,34	7,76	70,60
F3	1,09	9,93	8,85	80,53

Les différentes corrélations entre les variables étudiées sont présentées par le Tableau 3.

Tableau III: Matrice de corrélation entre les variables

	pH	CE	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Fe3+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-
pH	1										
CE	0,3562	1									
Ca^{2+}	-0,0145	**0,7153**	1								
Mg^{2+}	-0,0424	0,5435	**0,9057**	1							
Na^{+}	0,2625	**0,8175**	**0,8084**	**0,8445**	1						
K^{+}	0,1148	0,2227	0,4798	0,6347	0,5127	1					
Fe3+	-0,0744	-0,2971	-0,1609	-0,1306	-0,259	-0,1716	1				
HCO_3^-	0,5027	**0,8077**	0,2727	0,0781	0,487	-0,0246	-0,1151	1			
SO_4^{2-}	0,033	0,7581	**0,8642**	**0,7969**	**0,852**	0,4394	-0,2178	0,332	1		
Cl^-	-0,0463	0,5703	**0,8779**	**0,9816**	**0,8741**	**0,6262**	-0,1717	0,0852	**0,8328**	1	
NO_3^-	0,2381	0,484	0,1863	-0,0353	0,1312	0,0604	-0,3549	0,3548	0,1829	0,0053	1

Le tableau ci-dessus, montre de forte corrélation entre CE- Na^+ (0,81) ; CE-HCO_3^- (0,8) ; Ca^{2+}-Mg^{2+} (0,9) ; Ca^{2+}-Na^+(0,8) ; Ca^{2+}-$SO4^{2-}$(8,6) ; Ca^{2+}-Cl^- (0,87) ; Mg^{2+}-Na^+ (0,84) ; Mg^{2+}-Cl^- (0,98) ; Na^+- $SO4^{2-}$(0,85) ; Na^+-Cl^- (0,87) ; $SO4^{2-}$-Cl^- (0,83). Ces différentes corrélations traduisent l'influence de chaque paramètre dans la minéralisation des eaux (Ahoussi K.E, 2012). L'étude des eaux dans l'espace des variables du plan factoriel FI-F2, montre deux grands regroupements de variables (figure 4). Le premier prend en compte les variables pH, HCO_3^- et

NO_3^- et met en évidence l'hydrolyse des carbonates et une minéralisation d'origine anthropique. Le deuxième prend en compte les variables CE, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^+, SO_4^{2-} et Cl^-. Ce regroupement indique que ces variables évoluaient de la même façon et étaient tributaires d'un même ou de phénomènes géologiques semblables (Yao K.A.F et al., 2023). La variable Fe^{3+} apparait isolée, et pourrait refléter le phénomène d'oxydoréduction au sein de l'aquifère. L'analyse des unités statistiques dans le plan factoriel F1-F2, met en évidence trois regroupements de points d'eau (Figure 5). Le premier regroupe toutes les eaux faiblement minéralisées de la zone. Il s'agit des eaux de localités telles Kiskabaou, DTK, Dodori, Doufoufouk, Lailari, Guidimouni, et Mazamni. Le deuxième regroupe toutes les eaux fortement minéralisées (CE > 500 µcm). Il s'agit des eaux de localités telles que Daganou et d'Albarkaram. Quant au troisième, il prend en compte les eaux légèrement acides. Il s'agit des eaux de la localité de Gouré.

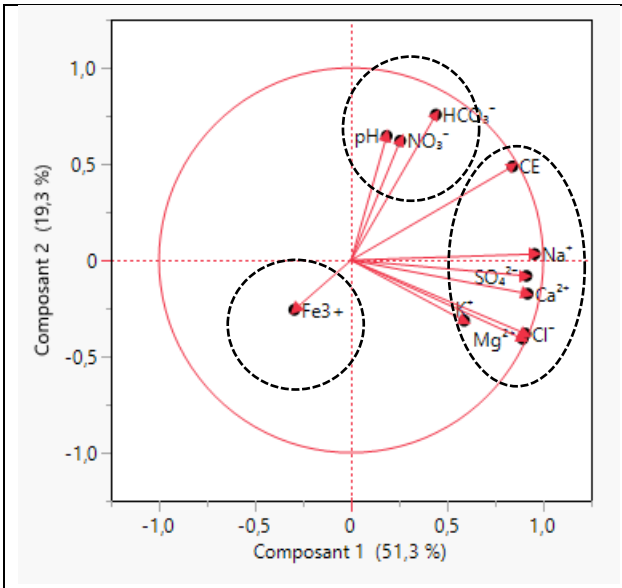


Figure 4 : Analyse dans le plan factoriel F1-F2

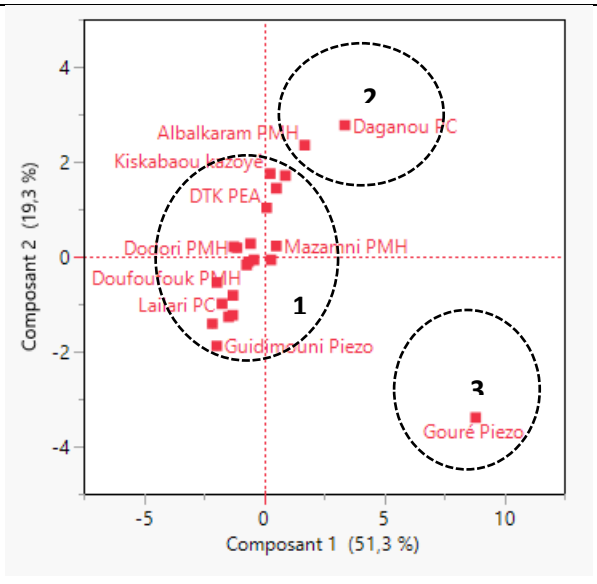


Figure 5 : Unité statistique dans le plan factoriel F1-F2

L'analyse dans l'espace des variables du plan factoriel F2-F3, permet de mettre en évidence deux grands regroupements de variables (Figure 6). Le premier regroupe les variables pH, CE et HCO_3^-. De par ce regroupement, le facteur F2 met en évidence la dissolution des carbonates. Le deuxième regroupement prend en compte les variables Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+ et Cl^-. Ce regroupement reflète la contribution de ces variables dans la minéralisation des eaux. La variable NO_3^- apparait isoler de deux principaux groupes et suggère une influence d'origine anthropique. Quant à la variable Fe^{3+}, également isolée, elle pourrait refléter le phénomène d'oxydoréduction au sein de l'aquifère. L'analyse des unités statistiques dans le plan factoriel F2-F3, met en évidence trois regroupements de points d'eau (Figure 7). Le premier prend en compte les eaux présentant des caractéristiques hydrochimiques particulières. Il s'agit des eaux de localité de Gadjamni et Kandine PC. Le deuxième contient les eaux faiblement minéralisées de la zone. Il s'agit des eaux de localités telles Kazayé PC, Dodori PMH, Lailari PC, Moa PC et Wacha et Gouré Piézo. Quant au troisième, il contient les eaux fortement minéralisées. Il s'agit des eaux de localités de Daganou PC, Lassouri PC, Kassama PC, Abarkaram PHM et Mirrah PC.

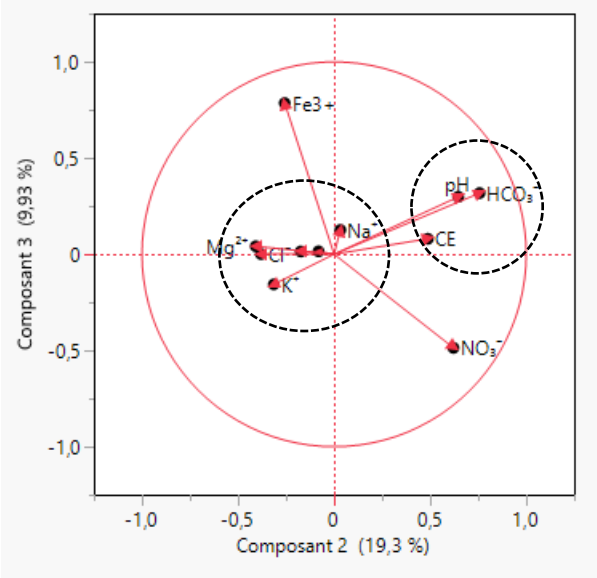


Figure 6 : Analyse dans le plan factoriel F2-F3

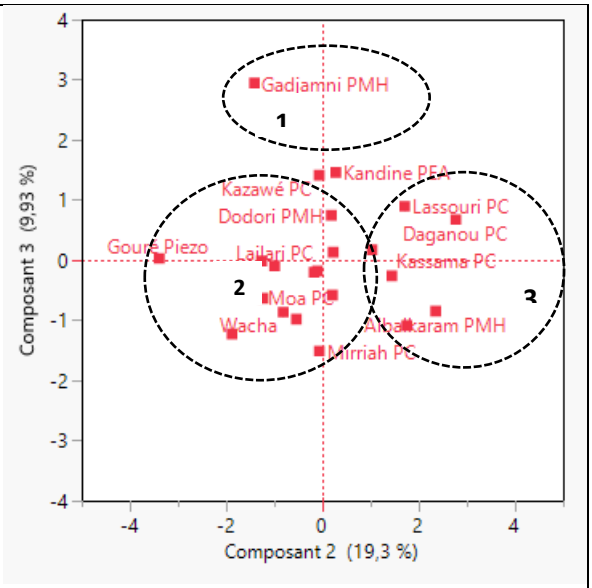


Figure 7 : unité statistique dans le plan factoriel F2-F3

3.2. Appréciation de l'aptitude des eaux à la consommation humaine

La comparaison des valeurs extrêmes des paramètres physicochimiques des eaux aux valeurs limites admissibles de l'OMS (2011), sont consignés dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau IV: comparaison des valeurs des paramètres physico chimiques aux normes de l'OMS

Paramètres physico chimiques	Norme de l'OMS	Minimum	Maximum	Moyenne
PH	6,5 - 8,5 désiré	5,54	7,02	6,3
CE	-	56	631	250,18
Ca^{2+}	-	2,89	173,57	30,93
Mg^{2+}	-	1,3	59,08	6,59
Na^{+}	-	2,03	108,48	20,76
K^{+}	< 12	0,57	23,96	5,19
Fe^{3+}	0,3	0	1,1	0,15
SO_4^{2-}	-	6,62	81,36	14,53
Cl^{-}	250	0	216,64	21,78
NO_3^{-}	50	2,71	43,75	11,21

3.3. DISCUSSION

Les résultats analytiques des eaux, montrent que celles-ci sont légèrement acides avec un pH qui varie de 5,54 à 7,02 et une moyenne de 6,3. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Ahoussi K.E (2012), en côte d'ivoire. Les valeurs de conductivités électriques montrent une grande variabilité pour ces nappes et varient de 56 à 631 µ/cm, avec une moyenne de 250,18 µ/cm. Cette grande variabilité, pourrait s'expliquer par des changements fréquents de faciès lithologiques ou au temps de contact entre les eaux et les réservoirs des aquifères ou également aux phénomènes de pollutions. L'importance des eaux du faciès de type sulfaté-

chloruré calcique et magnésien (68%), observé dans les eaux souterraines de la zone, serait liée à l'altération des roches et l'hydrolyse des minéraux, à l'évaporation intense et potentiellement aux activités humaines. L'analyse en Composantes Principales a permis de comprendre l'origine des différents ions dans les eaux. En effet, la géologie de la zone d'étude est dominée par des granites variés ainsi que du gneiss. L'altération de telles roches acides riches en feldspath, sont à l'origine de certains ions dans les eaux (Ahoussi K.E, 2012). Les ions Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, et HCO_3^{-}, ont la particularité d'apparaitre dans l'eau, après un contact prolongé de celles-ci avec les roches encaissantes (Yao K.A.F et al., 2023). Les ions Cl^{-} proviennent de lessivage des sols et ceux du Fe^{3+}, du phénomène d'oxydoréduction (Ahoussi K.E, 2012 ; Yao K.A.F et al., 2023). Les ions SO_4^{2-} sont issus de la pluie (Biemi J et al, 1992). La présence des ions NO_3^{-} dans les eaux, indique une minéralisation superficielle d'origine anthropique (Sandao, 2013). Les valeurs des paramètres physicochimiques déterminés, sont l'ensemble conforme aux normes de potabilité de l'OMS. Cependant certains échantillons présentent des valeurs de pH inférieures à 6,5, de Fe^{3+}, supérieurs à 0,3 mg/L et de K^{+} supérieurs à 12 mg/L, ce qui nécessite une attention particulière avant toute consommation.

CONCLUSION

L'étude des eaux des aquifères de fractures du socle de Damagaram Mounio, a permis de montrer que les eaux sont légèrement acides avec un pH qui varie de 5,54 à 7,02 et une moyenne de 6,3. En dehors des eaux de localités d'Albarkaram (521 µ/cm) et de Daganou (631 µ/cm), où les valeurs de conductivité sont élevées, on note dans l'ensemble que les eaux sont faiblement minéralisées avec une conductivité qui varie de 56 à 631µ/cm et une moyenne de 250,18 µ/cm. L'étude hydrochimique a permis d'identifier trois types de facies hydrochimique dans la zone : il s'agit du facies de type sulfaté-chloruré calcique et magnésien, qui est le plus important et représente (68%) des eaux étudiées, du facies de type chloruré calcique (23%) et enfin du facies de type chloruré-sulfaté calcique et magnésien (9%). Les différents ions sont issus du contact eau-roche, de lessivage de sols, de la pluie et de la minéralisation superficielle d'origine anthropique. D'une manière générale, les eaux étudiées sont dans l'ensemble de bonne qualité physico chimique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adiaffi B., Marlin C., Oga Y.M.S., Massault M., Nauret A., Biemi J. (2009) : Palaeoclimatic and deforestation effect on the coastal fresh groundwater resources of SE Ivory Coast from isotopic and chemical evidence. J. Hydrol., 369: 130-141.

Ahoussi K.E. (2008) : 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 å l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thése de Doctorat Unique, Univeristé de Cocody, Abidjan, 270p.

Ahoussi K.E., Oga Y.M.S., Yao B.F., Kouassi A.M., Soro N., Biémi J. (2011) : Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau du site d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Côte d'Ivoire : cas du CET de Kossihouen dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Int. J. Biol. Chem. sci., 5(5): 2114-2132.

Aké G.E., Dongo K., Kouadio B.H., Dibi, saley M.B., Biémi J. (2009) : Contribution des méthodes de vulnérabilité intrinsöque DRASTIC et GOD å l'étude de la pollution par les nitrates dans la région de Bonoua (Sud-Est de la Cöte d 'Ivoire). European Journal of Scientific Research, vol. 31 (1) : 157-171.

Assié K.E. (2008): Lode gold mineralization in the Paleoproterozoic (Birimian) volcano-sedimentary sequence of Afema gold district, southeastern Cöte d'Ivoire, PhD thesis, Technical University of Clausthal, Clausthal, 198p.

Castilla-G6mez J. & Herrera-Herbert J. (2015). Environmental analysis of mining operations: Dynamic tools for impact Assessment. Minerals Engineering 76 : 87—96.

Coulibaly A.S., Mondé S., N'guessan A.Y., Aka K. (2011) : Spéciation chimique des éléments traces métalliques dans un environnement lagunaire confiné : la baie de Bietry. Int. J. Biol. Chem. Sci., 5(6): 2543-2556.

DRHEA/Z. (2013) : Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder ;

De Lasme O.Z (2013) : Contribution une meilleure connaissance des aquifères fissurés du socle précambrien : cas de la région de San-pédro (sud-ouest de la côte d'ivoire). Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 209p.

RODIER J., LEGUBE B. & MERLET N. **(2009) :** L'analyse De L'eau (9 E Edition). Ed Dunod. Paris. 1579 pp.

Kouassi. E.A., Ta Marc. Y, .M., Solange. L., Miessan G.A., Théophile., L., Jean., P., J. Etude hydrogéochimique des eaux des aquifères de fractures du socle Paléoprotérozoïque du Nord-Est de la cote d'ivoire : cas de la région de Bonkoukou.

Kouadio A.F.Y., Kouassi E. A., Yao. B.K., Lou. M.S.T., David.S., Miguel.L.F., Caracterisation Hydrochimique et evaluation de la qualité des eaux souterraines de l'Environnement Minier du canton Afema (Sud-Est de la cote d'ivoire).

Keumean KN, Bamba S.B., Soro G., Soro N., Métongo B.S., Biémi J. (2013). Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé. Journal of Applied Biosciences, 61:4530-4539.

Kouassi A.M., Ahoussi R.E., Yao K.B., Aké A.Y., Biémi J. (2012). Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire). Int. J. Biol. Chem. sci., 6(1): 504-518.

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.

Lakhili Benabdelhadi M., Bouderka N., Lahrach H., Lahrach A. (2015). Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). European Scientific Journal, vol. 11, No.ll, pp. 1857- 7431.

Lasm T., Yao K.T., oga M.S., Kouamé K.F., Jourda P., Kouadio K.E., Baka D. (2008). Analysis of the Physico-ChemicaI Characteristics ;

Mignon R. (1970) : Etude géologique et prospection du Damagaram Mounio et Sud Maradi. Rapp.BRGM., 70 ABL, 001 NIA.

Oga M S., Lasm T., Yao T. K., Soro N., Saley M. B., Kouassi D., Gnamba F., Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture: Cas de La Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire. European Journal of Scienfific Research, 31(1), (2009) 72-87.

OMS, Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition, incorporating the first and second Addenda, Recommendations, Geneva, Volume l, (2008) 515 p.

Sandao I. (2013) : Etude Hydrodynamique, Hydrochimique et Isotopique des eaux souterraines du bassin versant de la Korama/Sud Zinder, Niger : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey.

Savané I., Soro N., Caractérisation chimique et isotopique des eaux souterraines du Nord-Ouest de la Côte : recharge des aquifères discontinus de la région d'Odienné. Africa Géoscience Review, 8(4), (2001) 379-390.

Soro N., Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de GrandLahou 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, (2002) 272 p.

Tapsoba S. A., 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, (1995) 200 p.

Travi Y., Mudry J., Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères du socle de la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest. Revue d'Hydrogéologie, 1, (1997) 13-21.

Yjdana S.M., Ophorj D., Bonoeng-Yakubo B..t A muJtjvariote statistical analysis of surface water chemistry data The Ankobra Basin, Ghana. Journal of environmental Management, 86, (2008) 80-87.