

Journal Homepage: www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/22146
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/22146>



RESEARCH ARTICLE

ETUDE HYDROGEOCHIMIQUE DES EAUX DES AQUIFÈRES DE FRACTURES DU SOCLE PALÉOZOÏQUE ET PANAFRICAINDE LA COMMUNE RURALE DE ZERMOU / SUD EST DE LA RÉGION DE ZINDER (NIGER)

Abdou Hamidou¹, Hamissouchaibou Rabé¹ and Issa Habou²

1.Université André Salifou(UAS);Laboratoire de Géoressources et Géosciences de l'Environnement(LGGE);Zinder-Niger.

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

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 08 September 2025

Final Accepted: 10 October 2025

Published: November 2025

Key words:-

fracture aquifer, Zermou,
hydrochemistry, mineralization,
Principal Component Analysis.

Abstract

The rural commune of Zermou, the study area, is located in the southeastern part of the Zinder region. Resource problems are acute in this area. This study aims to provide a better understanding of the origin of the mineralization of the groundwater in the fractured aquifers of the bedrock in the rural commune of Zermou. The methodological approach, based on the determination of hydrofacies using the Piper triangular diagram, Principal Component Analysis, and the comparison of physicochemical parameters with WHO standards, yielded several interesting results. The analytical results show that the waters are slightly acidic, with a pH ranging from 6 to 6.5 and an average of 6.26. Overall, the waters are weakly mineralized, with an electrical conductivity ranging from 210 to 281 μcm and an average of 250.69 μcm . The hydrochemical study identified three types of water facies in the area. These are calcium and magnesium bicarbonate facies, the most prevalent and representing 75% of the studied waters; sodium and potassium bicarbonate facies, representing 20%; and sodium chloride facies, representing 5%. The various ions originate from water-rock contact, soil leaching, rainfall, and surface mineralization of anthropogenic origin. Overall, the studied waters are of good quality for human consumption.

"© 2025 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

L'eau est une ressource indispensable à la vie et offre une importance capitale pour d'innombrables activités humaines. Cette ressource est aussi un bien à caractère socioéconomique incontestable mais particulièrement vulnérable à la pollution. A cela s'ajoute la concurrence entre les différents utilisateurs de cette ressource en eau. Dans la commune rurale de Zermou, zone d'étude, l'effet conjugué de la variabilité climatique et la forte croissance démographique, augmentent la pression sur les ressources en eau. Aussi, dans cette zone, les eaux souterraines représentent la principale source d'approvisionnement

Corresponding Author:-Abdou Hamidou

Address:-Université André Salifou (UAS) ; Laboratoire de Géoressources et Géosciences de l'Environnement(LGGE); Zinder-Niger.

en eau. Malheureusement, la qualité physico chimique des eaux de plusieurs forages est inapte à la consommation humaine, à cause de teneurs élevées de certains paramètres chimiques (Ousmane 1988; Sandao, 2013, DRHE/A, 2013). Il est donc nécessaire d'entreprendre des études pour améliorer les connaissances de ces ressources en eau, afin de préserver la santé de la population d'où la présente étude et dont l'objectif principal est d'apporter une meilleure connaissance sur l'origine de la minéralisation des eaux des aquifères de fractures du socle de la commune rurale de Zermou. Les objectifs spécifiques visent à caractériser les paramètres physico chimiques des eaux et déterminer l'origine de la minéralisation des eaux.

Materiel et Methodes:-

Présentation de la zone d'étude:

La commune rurale de Zermou, zone d'étude, est située dans la partie Sud-Est de la région de Zinder. Cette zone est comprise entre 13°52'09' de latitude Nord et 9°19'04'' de longitude Est (Figure 1).

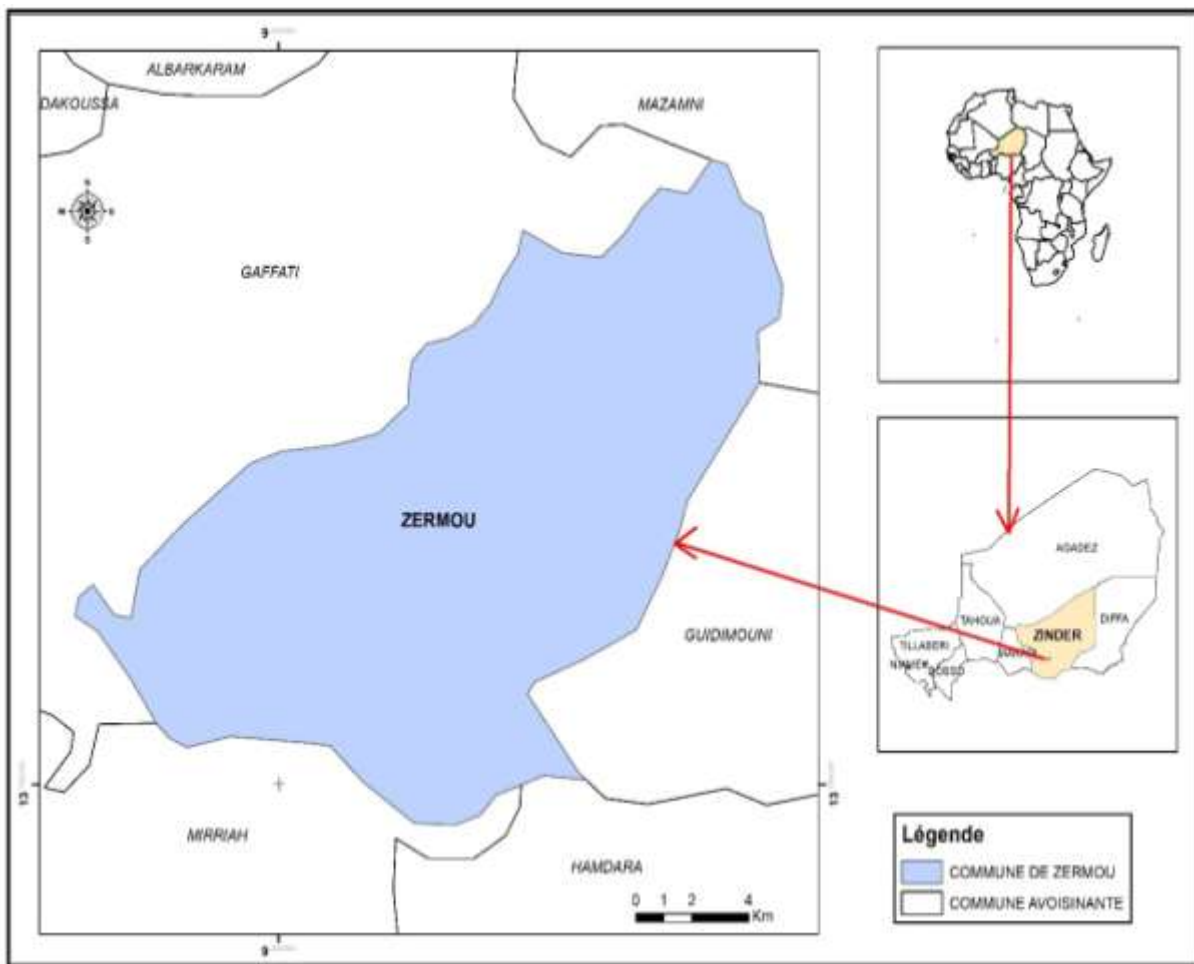


Figure 1 : carte de la localisation de la zone d'étude

Cadre géologique:-

La géologie de la zone est caractérisée par des formations du socle Paléozoïque et Panafricain (Bory et al 2013). Ainsi, on distingue: des monzogranites à amphiboles, des granites fins à moyens et des quartzites. Cet ensemble du socle est surmonté par des formations de recouvrements sédimentaires.

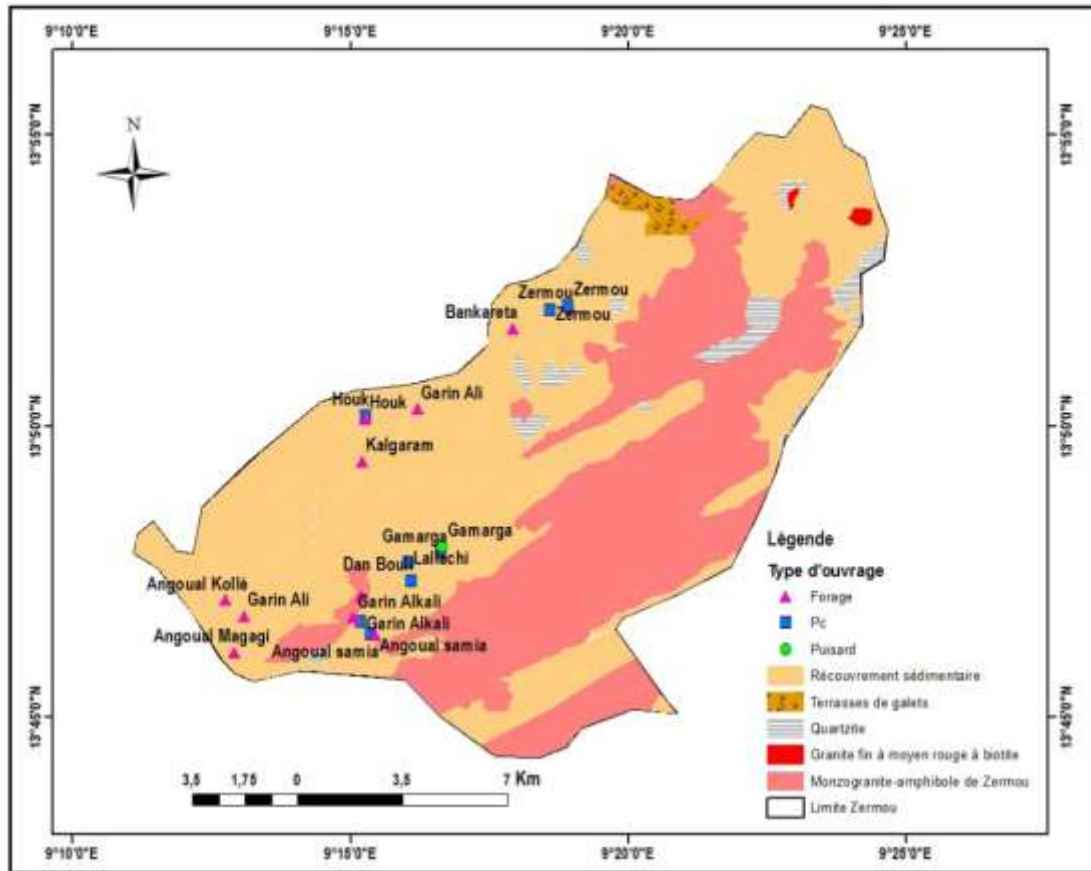


Figure 2: Carte géologique de la zone d'étude extraite de la carte géologique du Damagaram-Mounio au 1/200000 (Bory et al, 2013)

Cadre hydrogéologique:-

Sur le plan hydrogéologique, les principaux aquifères sont localisés dans des horizons fracturés, fissurés et altérés du socle cristallin et cristallophyllien de la zone (Sando 2013, Bory et al, 2013).

Méthodologie

Les mesures de paramètres physico-chimiques ont été réalisées sur des échantillons d'eau prélevés dans vingt (20) points d'eau (puits et forages), captant les aquifères du socle fracturé, fissuré et ou altéré de la zone. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans deux flacons polyéthyléniques 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 la Direction Régionale de l'Hydraulique, de l'Environnement et de l'Assainissement de Zinder; 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 ions calciums (Ca^{2+}), magnésiums (Mg^{2+}), Bicarbonates (HCO_3^-), et chlorures (Cl^-), sont déterminés par volumétrie, à l'aide de titrimètre digital HACH et de réactifs qui sont respectivement le calver 2, le Hard 9, mercuric thiocyanate+ ferrie ; les ions du Fer total (Fe^{3+}), des nitrates (NO_3^-), des sulfates (SO_4^{2-}) sont déterminés par spectrophotométrie à l'aide de spectrophotomètre DR3900 et les réactifs qui sont respectivement ferover, nitraver5 et sulfaver4. Les ions potassium (K^+) sont déterminés par photométrie à flamme à l'aide de photomètre à flamme de type JENWAY PFP7. Toutes ces analyses ont été réalisées suivant le protocole décrit par de Jean Rodier (2009).

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 20 descripteurs et 11 variables, qui sont : pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{3+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , et NO_3^- . Le traitement des données, a nécessité l'utilisation du logiciel Arc GIS pour la cartographie. 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 de connaître l'origine de la minéralisation des eaux des aquifères de fractures du socle de la commune rurale de Zermouet nous présentons les résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

Resultats:-

Les résultats analytiques des eaux sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous:

Tableau 1: Résultats analytiques des eaux souterraines de la zone (Analyse effectuée par le laboratoire d'analyse des eaux de la Direction Régionale de l'Hydraulique, de l'Environnement et de l'Assainissement de Zinder).

Localités	T	PH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻
Angoual Kollé	32,7	6,2	210	11,2	2,9	15	40	0,2	151,3	28	58,6	21,6
Angoual Magagi	33,3	6,3	240	16	5,8	14	6,8	0,1	145,4	23	48,8	17,3
Angoualsamia PC	31,1	6,1	220	16	0	22	3,1	0,3	135,2	20	39,9	14,1
Angoualsamia PMH	33	6,4	258	20,8	10,6	20	5,1	0	157,4	23	35	5,3
Bankareta	32,5	6	280	22,4	14,4	20	2,8	0,1	162,8	8	55,9	13,8
Dan Bouli	31,1	6,5	242	9,6	28,8	25	11	0,2	183,6	28	44,1	17,2
Gamarga PC	31,1	6,2	261	14,4	3,8	25	11	0,2	160,3	8	28,4	15,4
Gamarga PT	31,4	6	256	12,8	8,6	14	5,6	0,1	158,4	0	35,5	8,4
Garin Ali PMH	31,9	6,3	270	17,6	3,8	30	18,2	0,1	159,1	6	40,8	11,4
Garin Ali PC	33,4	6,5	223	4,8	2,9	15	6,8	0,3	29,3	0	40,8	6,6
Garin Alkali PC	32,1	6,1	244	14,4	5,8	15	2,8	0,1	135,9	1	23,1	7,9
Garin Alkali PT	32,2	6,2	276	22,4	6,7	14	3,3	0,1	168,4	5	55	20,2
Houk PC	30,9	6,4	264,7	14,4	1,9	15	6,8	0,7	127,1	9	30,2	11
Garin Sangaya	33,3	6	281	12,8	13,4	25	4	0,1	144	10	36,8	7,5
Houk PMH	31	6,3	214,4	14,4	5,8	15	11	0,2	145,2	1	23,1	7,9
Kalgaram	32,2	6,5	249	28,8	1,9	14	3,3	0,1	115,9	1	28,4	7,7
Lallachi	30,8	6,2	266	22,4	6,7	15	11	0,1	169,6	5	55	20,2
Zermou PT	30,1	6,1	224,7	14,4	1,9	15	6,8	0,7	117,1	0	31,9	7,9
Zermou PMH	30,3	6,4	281	12,8	13,4	25	4	0,1	144	10	36,8	7,5

Zermou PC	30,2	6,5	253	30	4,8	20,9	3,3	0	177	29	57,8	26
-----------	------	-----	-----	----	-----	------	-----	---	-----	----	------	----

Détermination des hydro-faciès

La classification hydro chimique des eaux sur le diagramme de Piper a permis d'identifier trois types de faciès d'eau dans la zone (Figure 3). Ils s'agit: des eaux du faciès de type bicarbonatécalcique et magnésien, il est le plus important et représente 75 % des eaux étudiées; des eaux du faciès de type bicarbonaté sodique et potassique (20 %) et enfin des eaux du faciès de type chloruré sodique (5%).

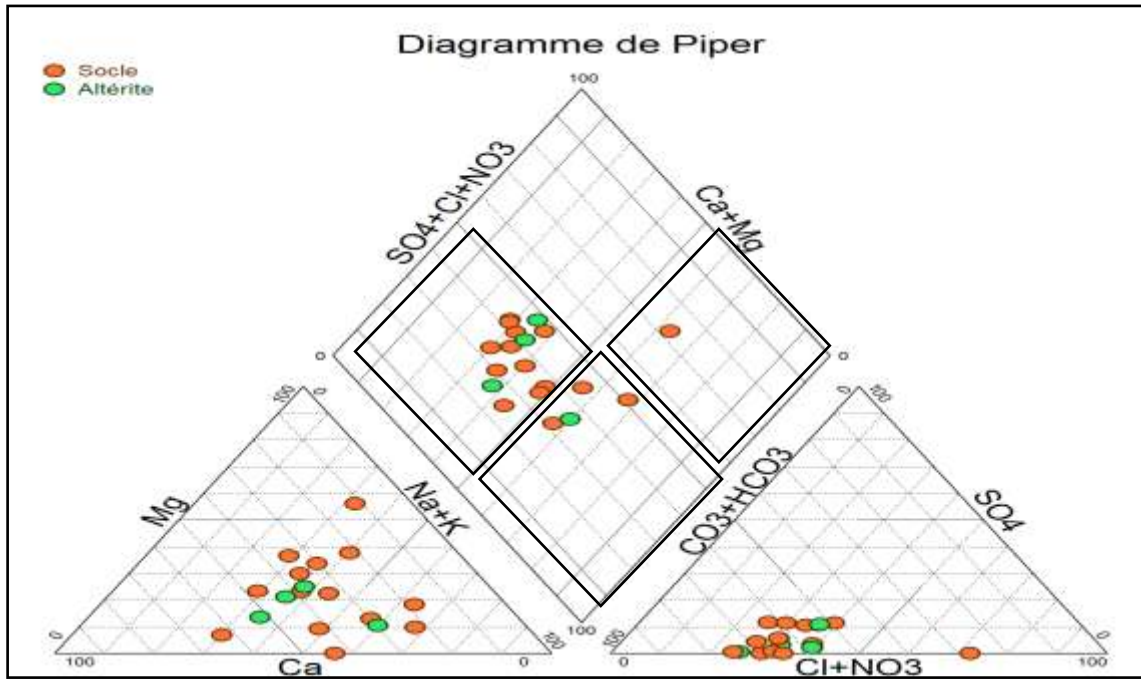


Figure 3: Représentation graphique des éléments chimiques des eaux sur le diagramme de Piper

Analyse en Composantes Principales :-

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales, donnent de nombreux tableaux dont certains sont retenus dans le cadre de cette étude. Le tableau de valeur propre (tableau 3), montre que les trois principaux facteurs représentent (63,66%) de la variance exprimée.

Tableau 3: valeurs propres de l'ACP

Facteur	Valeur propre	Pourcentage (%)	Valeur propre cumulée	Pourcentage cumulé
F1	3,3247	30,224	3,3247	30,224
F2	2,1233	19,303	5,447	49,527
F3	1,5552	14,138	7,0022	63,665

Les différentes corrélations entre les variables étudiées sont présentées par le Tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4: Matrice de corrélation entre les variables

	PH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
PH	1										
CE	-0,1285	1									
Ca ²⁺	0,1125	0,3504	1								
Mg ²⁺	0,071	0,3397	-0,1776	1							
Na ⁺	0,0552	0,3971	-0,0721	0,3946	1						
K ⁺	0,0123	-0,3999	-0,2959	-0,1167	0,0229	1					
Fe ³⁺	-0,0281	-0,3287	-0,3799	-0,3141	-0,2348	0,0519	1				
HCO ₃ ⁻	-0,2075	0,3932	0,4229	0,4321	0,3304	0,114	-0,4185	1			
SO ₄ ²⁻	0,2935	-0,1514	0,0918	0,3019	0,2918	0,3094	-0,2285	0,4327	1		
Cl ⁻	-0,0126	0,134	0,2789	0,1585	0,0021	0,2915	-0,3093	0,3311	0,5115	1	
NO ₃ ⁻	0,0721	-0,0117	0,3563	0,0149	-0,0015	0,3342	-0,2005	0,5278	0,5726	0,7847	1

Ces différentes corrélations traduisent l'influence de chaque paramètre dans la minéralisation des eaux (Alhoussi K.E, 2012). L'étude des eaux dans l'espace des variables du plan factoriel F1-F2, montre deux grands regroupements de variables. Le premier prend en compte les variables SO₄²⁻, Cl⁻ et NO₃⁻ et met en évidence la minéralisation superficielle d'origine anthropique. Le deuxième prend en compte les variables CE, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ et HCO₃⁻ et met en évidence l'hydrolyse des silicates et carbonates (Alhoussi K.E, 2012; Yao K.A.F et al., 2023). L'analyse des unités statistiques dans le plan factoriel F1-F2, met en évidence trois regroupements de points d'eau (Figure 5). Le premier prend en compte les eaux à teneurs élevées en certains paramètres chimiques : K⁺, SO₄²⁻ et Cl⁻. Il s'agit des eaux de la localité de Angoual Kollé. Le second prend en compte toutes les eaux faiblement minéralisées. Il s'agit des eaux de localités telles que Garin Ali, Gamarga et Angoual Magagi. Quant au troisième, il regroupe toutes les eaux légèrement acides. Il s'agit des eaux de localités telles que Zermou, Lallachi, Dan Bouli, Garin Alkali, Angoual Samia et Garin Sangaya.

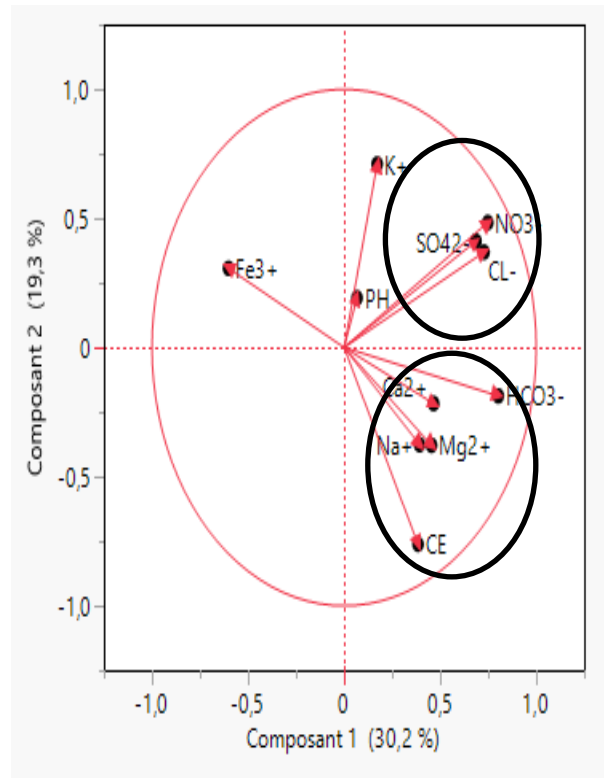


Figure 4: Analyse dans le plan factoriel F1-F2

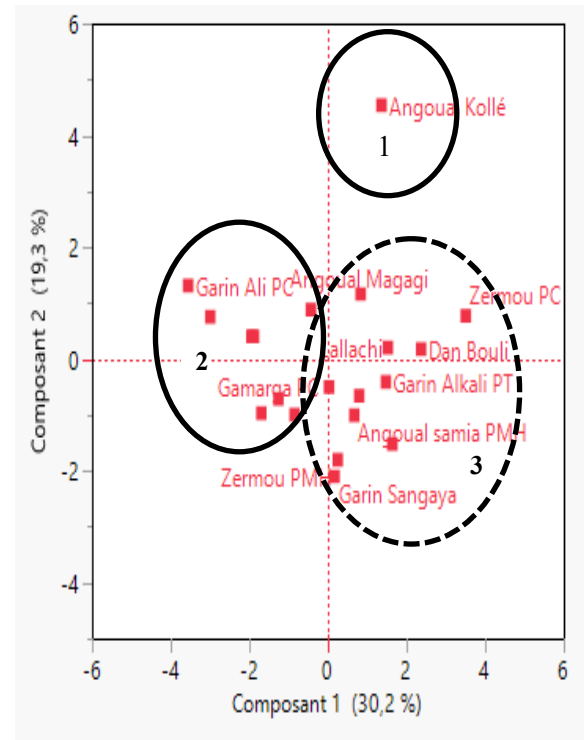


Figure 5: Unité statistique dans le plan factoriel F1-F2

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 Mg^{2+} et Na^{+} . Ce regroupement montre que ces variables sont issues d'un même phénomène géologique semblable. Le deuxième regroupement prend en compte les variables pH, SO_4^{2-} , Cl^{-} , Fe^{3+} , K^{+} et NO_3^{-} . Ce regroupement met en évidence la minéralisation superficielle d'origine anthropique et le phénomène d'oxydoréduction.

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 à teneurs élevées en certains paramètres chimiques : K^{+} , Ca^{2+} , Na^{+} et HCO_3^{-} . Il s'agit des eaux de la localité de Dan Boulé. Le second, prend en compte toutes les eaux faiblement minéralisées. Il s'agit des eaux de localités telles que Zermou, Garin Sangaya, Gamarga, Bankareta et Kalgaram. Quant au troisième, il prend en compte toutes les eaux légèrement acides de la zone. Il s'agit des eaux de localités telles que Garin Ali, Houk, Angoual Magagi, Lallachi et Angoual Kollé.

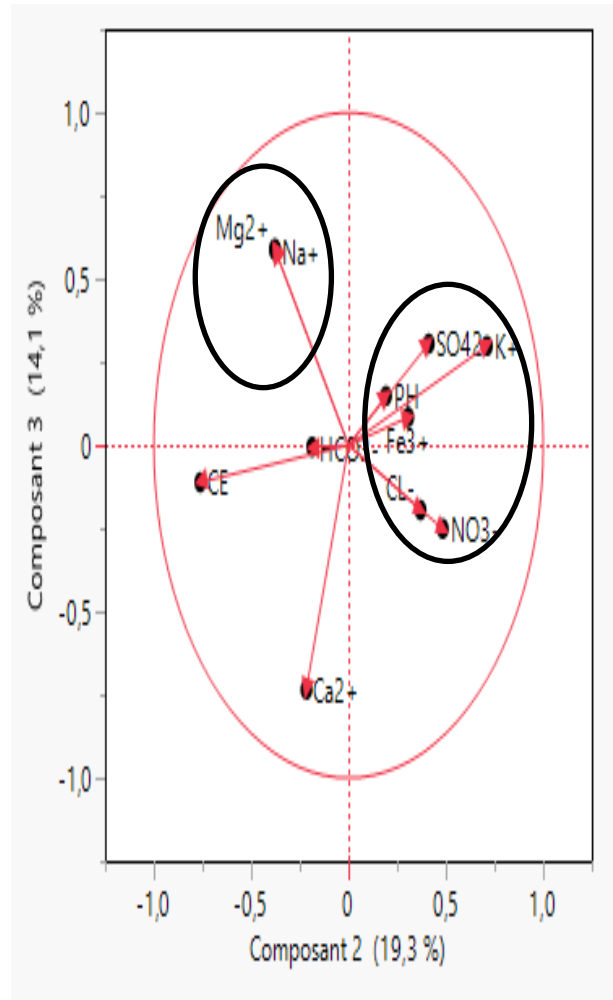


Figure 6: Analyse dans le plan factoriel F2-F3

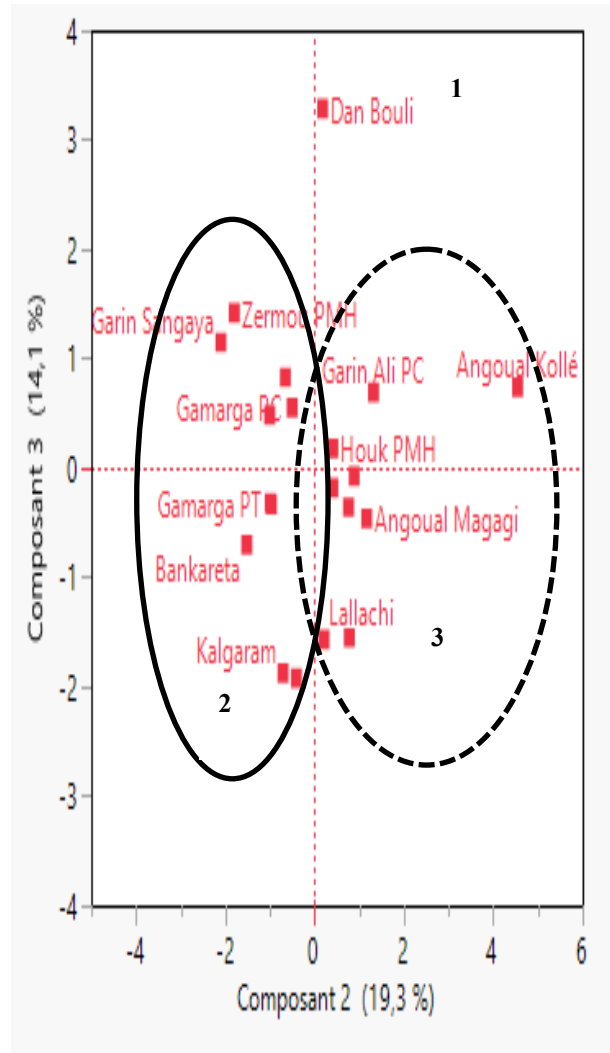


Figure 7: unitéstatistique dans le plan factoriel F2-F3

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), permet de relever les constatssuivants (tableau 6):

Tableau 6: 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	6	6,5	6,26
CE	-	210	281	250,69
Ca ²⁺	-	4,8	30	16,62
Mg ²⁺	-	0	28,8	7,195
Na ⁺	-	14	30	18,695
K ⁺	< 12	2,8	40	0,7

Fe ³⁺	0,3	0	0,7	0,19
SO ₄ ²⁻	-	0	29	10,75
Cl ⁻	250	23,1	58,6	40,295
NO ₃ ⁻	50	5,3	26	12,745

Discussion:-

Les résultats analytiques des eaux, montrent que celles-ci sont légèrement acides avec un pH qui varie de 6 à 6,5 et une moyenne de 6,26. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Ousmane (1988), dans les eaux du socle de la zone. Les eaux sont dans l'ensemble faiblement minéralisées, avec une conductivité électrique qui varie de 210 à 281 μ /cm et une moyenne de 250,69 μ /cm. L'étude hydrochimique a permis de mettre en évidence la prédominance des eaux du faciès de type bicarbonaté calcique et magnésien dans les eaux (75%). Ce résultat est conforme à ceux de plusieurs auteurs ayant travaillé sur les aquifères du socle et qui ont abouti à la conclusion selon laquelle le faciès bicarbonaté calcique et magnésien est le plus important dans les eaux du socle (Soro, 2002; Ahoussi, 2008; Oga et al., 2009; Lasm et al., 2011). Les teneurs élevées en certains paramètres chimiques observées dans les eaux de la localité de Dan Bouli et de Angoual Kollé, pourraient s'expliquer par le temps de séjour prolongé entre les eaux et les réservoirs des aquifères ou aux phénomènes de pollution.

L'analyse en Composantes Principales a permis de comprendre l'origine des différents ions dans les eaux. En effet, la commune rurale de Zermou est caractérisée par des granites variés ainsi que des gneiss. L'altération de telles roches acides riches en feldspath, sont à l'origine de certains ions dans les eaux. Les ions Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, et HCO₃⁻, ont la particularité d'apparaître dans l'eau, après un contact prolongé de celles-ci avec les roches encaissantes (Yao K.A.F et al., 2023). Ainsi, les ions Cl⁻ sont issus du lessivage des sols et ceux du Fe³⁺ du phénomène d'oxydoréduction (Yao K.A.F et al., 2023, Alhoussi, 2012). Les ions SO₄²⁻, sont issus des eaux de pluie (Biemi J et al., 1992). La présence des ions NO₃⁻ dans les eaux, indique une minéralisation superficielle d'origine anthropique. Les valeurs des paramètres physicochimiques déterminés, sont dans l'ensemble conformes aux normes de potabilité de l'OMS. Les eaux souterraines de la zone sont de bonne qualité pour la consommation humaine.

Conclusion:-

L'étude des eaux des aquifères de fractures du socle de la commune rurale de Zermou, a permis de montrer que celles-ci sont légèrement acides avec un pH qui varie de 6 à 6,5 et une moyenne de 6,26. Les eaux sont dans l'ensemble faiblement minéralisées, avec une conductivité électrique qui varie de 210 à 281 μ /cm et une moyenne de 250,69 μ /cm. L'étude hydrochimique a permis d'identifier trois types de faciès d'eau dans la zone. Il s'agit des eaux de faciès du type bicarbonaté calcique et magnésien, il est le plus important et représente (75 %) des eaux étudiées, des eaux du faciès de type bicarbonaté sodique et potassique, il représente (20 %) des eaux, et enfin des eaux du faciès de type chloruré sodique (5%). Les différents ions sont issus du contact eau-roche, du lessivage des sols, de la pluie et de la minéralisation superficielle d'origine anthropique. D'une manière générale, les eaux étudiées sont de bonne qualité pour la consommation humaine.

Reference Bibliographique:-

1. 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 Bonkougou.
2. Ahoussi K. E., Soro N., Koffi Y. B., Soro G., Biémi J., Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de zone Sud de la Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan-Agboville. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4(3), (2010) 782-797.
3. Antoine FRANCONI, avec la collaboration de Iddé ZIBO, plan minéral de la république du Niger :Recommandations et propositions pour la mise en valeur des ressources minérales(1986).

4. Biémi J., Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydro structurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute [4 Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat d'état ès Sciences Naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire, (1992), 480 p.
5. Borykadey Daouda, Carte géologique du Damagaram-Mounio, 2^{ème} Edition 2013.
6. BRGM. (1983) : Projet 1000 forages, Analyse des résultats des forages par traitement statistique.
7. BRGM. (1983) : Programme hydraulique villageoise du conseil de l'entente, 1^{ère} phase.
8. DRHEA/Z. (2013) : Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder ;
9. DRHEA/Z. (2014) : Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder ;
10. Faillat J. P., Drogue C., Différenciation hydrochimique de nappes superposées d'altérites et de fissures en socle granitique. Hydrological Sciences-Journal -des Sciences Hydrologiques, 38, 3(6), (1993) 215-229.
11. Gijler C., Thyne G. D., McCray J. E., Tuner A. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology journal (10), (2002) 455-474.
12. Gbolo P., López D, L., Chemical and geological control on surface water within the Shode river watershed in southeastern Ohio. Journal of Environmental Protection, 4, (2013) 1-11.
13. RODIER J., LEGUBEB. & MERLET N. (2009) : L'analyse De L'eau (9^e Edition). Ed Dunod. Paris. 1579 pp.
14. Kouassi A. M., Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Aké Y., A. Biémi J., Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6(1), (2012) 504-518.
15. Kouassi A. M., Yao K. A., Ahoussi K. E., Seki L. C., Yao N. A. et Biémi J., Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4(5), (2010) 1816-1838.
16. Kouadio A.F.Y., Kouassi E. A., Yao. B.K., Lou. M.S.T., David.S., Miguel.L.F., Caractérisation Hydrochimique et évaluation de la qualité des eaux souterraines de l'Environnement Minier du canton Afema (Sud-Est de la cote d'ivoire).
17. Lasm T., Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyses statistiques et géostatistiques de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (Domaine Archéen). Thèse unique de doctorat Université de Poitiers, (2000) 272 p.
18. Losm T, Lasmé O, Oga M. S., Youan Ta M., Baka D., Kouamé K. F., Yao K. T., Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de San-Pédro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 5 (2), (2011) 642-662.
19. Mamansani ABDOU BABAYE, évaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dorgol (Liptako-Niger). Thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur, Université Abdou Moumouni (2012).
20. Matini L., MOU TOU J.M., Kongo-Mantono M.S., Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. Afrique Science 05(1), (2009) 82-98.
21. 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 Scientific Research, 31(1), (2009) 72-87.
22. Oga. M. S., Ressources en eaux souterraines dans la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire) • Approche Hydrochimique et Isotopique, Thèse Université d'Orsay, Paris, France, (1998) 311 p.
23. OMS, Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition, incorporating the first and second Addenda, Recommendations, Geneva, Volume 1, (2008) 515 p.
24. OUSMANE B. (1988) : Etude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud Maradi, Zinder Est), Thèse de Doctorat d'Etat, ès Sciences Naturelles, Université de Niamey, 1988, 175 p. et annexes.

25. 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 activitésanthropiques. Thèse de doctorat, UniversitéAbdouMoumouni de Niamey.