

 ISSN (O): 2320-5407 ISSN (P): 3107-4928	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 AQUIFERES DE FRACTURES DU
SOCLE PALEOZOIQUE ET PANAFRICAIN DE LA COMMUNE RURALE DE
ZERMOU / SUD EST DE LA REGION DE ZINDER (NIGER)**

Abdou Hamidou¹, Hamissouchaibou Rabe¹ and Issa Habou²

1.Universite Andre Salifou(UAS);Laboratoire De Georessources Et Geosciences De l'Environnement(LGGE);Zinder-Niger.

2.Laboratoire De Chimies Des Eaux De La Direction Regionale 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 southern part of the Zinder region. In this area, groundwater is the primary source of drinking water. The main objective of this study is to gain a better understanding of the origin of groundwater mineralization in the area using hydrochemical methods and Principal Component Analysis. The study reveals that the groundwater in the area is slightly acidic, with a pH ranging from 6.5 to 7.5, with an average of 6.8. Apart from the waters of Garin Alkali and Zarmou, where conductivity values are high, the waters are generally weakly mineralized, ranging from 73.5 to 1810 μcm , with an average of 645.88 μcm . The hydrochemical study identified four (4) types of water facies in the area. These are calcium and magnesium bicarbonate facies, the most prevalent and representing 50% of the studied waters; sodium and potassium bicarbonate facies (35%); calcium and magnesium chloride facies (10%); and sodium and potassium chloride facies (5%). Statistical analysis revealed that the various ions originate from rock weathering and mineral hydrolysis, soil leaching, and anthropogenic surface mineralization. Redox reactions also play a role. Furthermore, the studied waters are generally undersaturated with calcite and dolomite.

"© 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, la variabilité climatique et la forte croissance démographique, augmentent la pression sur les ressources en eau. Dans cette zone, les eaux souterraines représentent la principale source d'approvisionnement en eau. Malheureusement, la qualité physico-chimique des eaux de plusieurs forages est inapte à la consommation humaine (BRGM, 1983; Ousmane 1988 ; DRHEA/Z, 2013). Il est donc nécessaire

Corresponding Author:-Abdou Hamidou

Address:-Universite Andre Salifou (UAS) ; Laboratoire de Georessources et Geosciences de l'Environnement(LGGE);Zinder-Niger.

d'entreprendre des Etudes pour améliorer les connaissances de ces ressources en eau, afin de préserver la santé de la population d'où la présente Etude et dont l'objectif principal est d'apporter une meilleure connaissance sur l'origine de la minéralisation des eaux. Les objectifs spécifiques visent à analyser les paramètres physico chimiques des eaux, déterminer les hydrofaciès, réaliser une Analyse en Composante Principale, comparer les valeurs des éléments chimiques des eaux aux normes de l'OMS et enfin déterminer les indices de saturation en calcite et en dolomite.

Materiel Et Methodes:-

Présentation de la zone d'Etude:

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

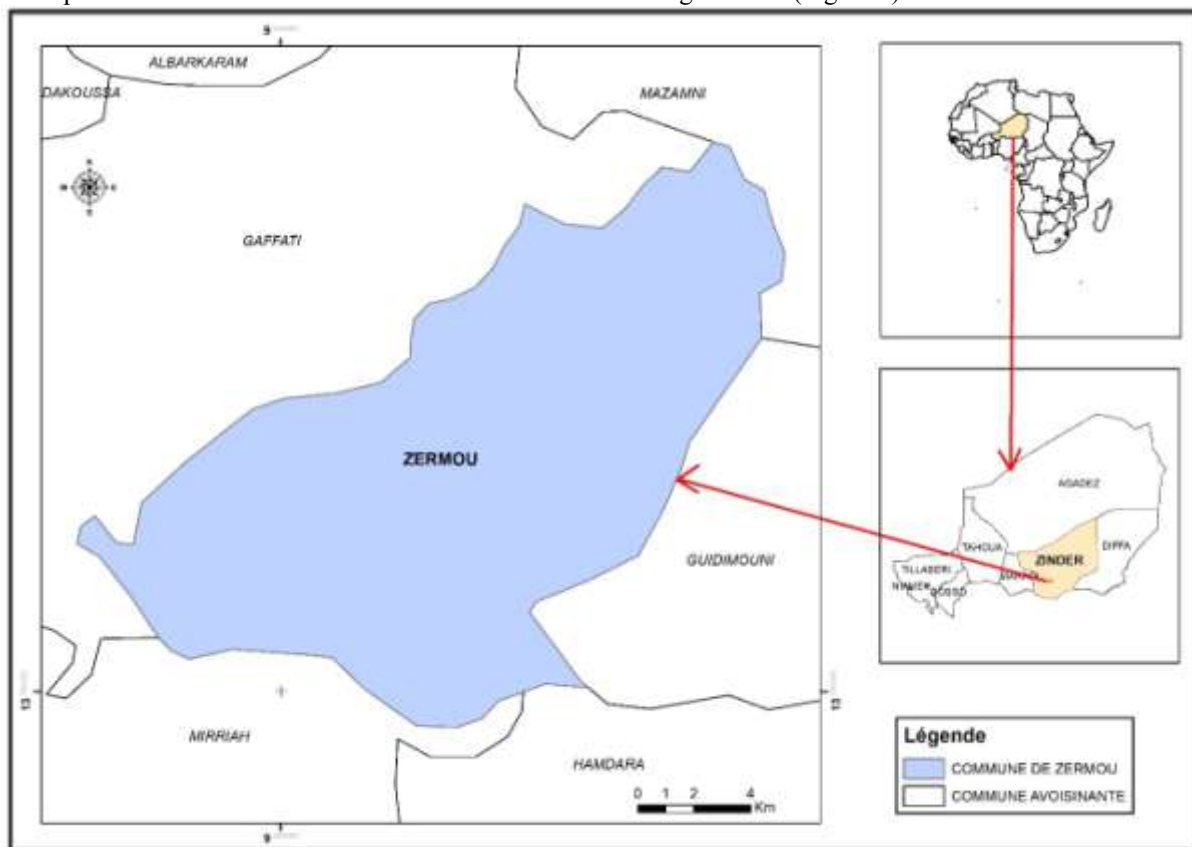


Figure 1 : carte de la localisation de la zone d'Etude

Cadre géologique:-

La géologie de la zone est caractérisée par des formations du socle Paléozoïque et Panafricain (BRGM, 1983; Ousmane, 1988; Bory et al 2013). Ainsi, on distingue: des granites variés, des quartzites et des gneiss. Les formations de recouvrements sont constituées essentiellement par des dépôts récents du quaternaire.

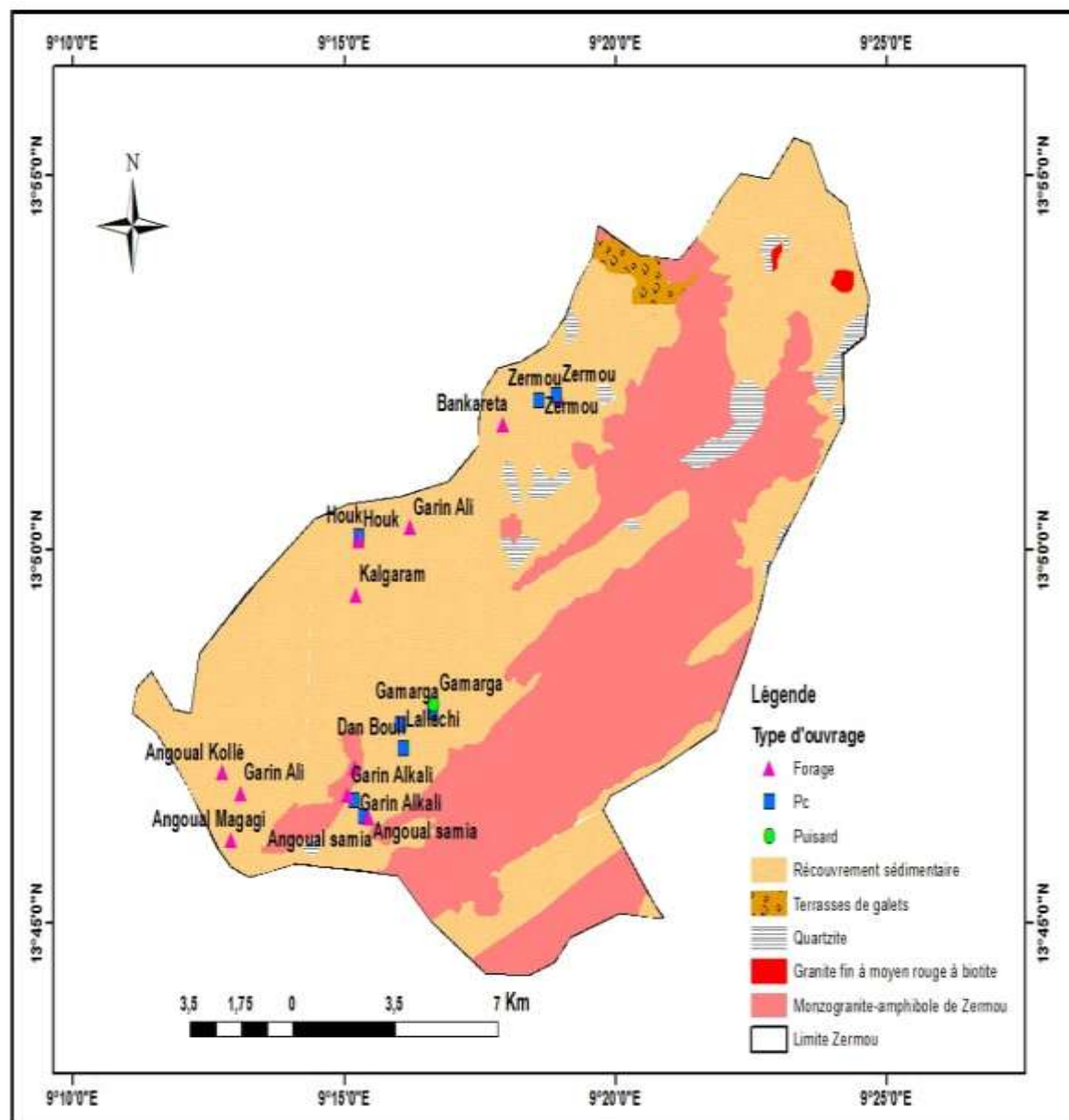


Figure 2: Carte gEologique de la zone d'Etude extraite de la carte gEologique du Damagaram-Mounio au 1/200000 (Bory et al, 2013)

Cadre hydrogEologique:-

Sur le plan hydrogEologique, deux (02) types de nappes ont EtE identiEes dans la zone. IL s'agit de(BRGM, 1983, Ousmane 1983): l'aquifères du socle cristallin et cristallophyllien et l'aquifère rEcent du quaternaire ou nappe alluviale. L'aquifère du socle cristallin et cristallophyllien est captEe essentiellement par des forages, avec un taux de rEussite très faibles, infErieur à 30% (BRGM, 1983, Ousmane, 1988).Les dEbts des forages sont très faibles, dEpassant rarement les 500 l/h (BRGM, 1983).

Methodologie:-

Les mesures de paramètres physico chimiques ont EtE rEalisEes sur des Echantillons d'eau prElevEes dans vingt (20) point d'eau (puits et forages), captant les aquifères du socle fracturE, fissurE et ou altErE de la zone. Les Echantillons d'eaux ont EtE prElevEes dans deux flacons poly EthylEniques de 11 ml prEalablement stErilisEs. Les paramètres (T°, CE et pH) de ces diffErents Echantillons ont EtE mesurEs sur le terrain respectivement à l'aide de thermomètre, conductimètre, pH-mètre (initialement calibrEs pour les quatre derniers).Les Echantillons d'eau

prElevEs ont EtE conservEs au frais dans les glacières à la tempErature 4°C et transportEs au laboratoire de la Direction REgionale de l'Hydraulique, de l'Environnement et de l'Assainissement de Zinder; pour analyse complète de tous les paramètres dEfinis. Un dElai de 48 heures à compter de la date d'arrivEe au laboratoire des Echantillons, a EtE fixE pour l'analyse. Ainsi, les diffErents ions (cations et anions), ont EtE dEterminEs par spectrophotomEtrie, avec le spectrophotomètre DR 2800 et des rEactifs. Toutes ces analyses ont EtE rEalisEes suivant le protocole dEcrit par de Jean Rodier (2009).

Methode De Traitement Des Donnees:-

Le traitement des donnEes collectEes sur les eaux souterraines de zone d'Etude, a EtE rEalisE à l'aide de mEthode hydrochimique et statistique. L'Etude hydrochimique des eaux a nEcessitE l'utilisation du logiciel DIAGRAMME, (dEveloppE par le laboratoire de l'UniversitE d'Avignon). L'utilisation frEquente de ce logiciel dans le domaine de l'hydrochimie a conduit à de très bons rEsultats (Soro, 2002; Ahoussi, 2008; Oga et al., 2009; Chemseddine et al., 2009).

L'approche statistique utilisEe pour Etudier les phEnomènes à l'origine de la minEralisation des eaux, est basEe sur l'Analyse en Composante Principale, à partir du logiciel JMP Pro 16. L'analyse statistique a EtE rEalisEe 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

N°	LocalitEs	T	PH	CE	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Fe3+	HCO3-	SO42-	NO3-	NO2-	Cl-
1	Houk 1	30,9	6,72	73,5	4,8	2,88	15	6,8	0,25	29,28	0	6,6	0,05	40,825
2	Houk 2	31	7,17	314,4	14,4	5,76	15	2,8	0,06	165,92	1	7,7	0	28,4
3	Garin Ali 1	31,9	6,88	527	12,8	8,64	20	2,8	0,09	268,4	0	8,36	0	35,5
4	Bankareta	32,5	6,8	818	22,4	14,4	20	2,8	0,08	292,8	8	23,76	0,01	95,85
5	Zermou 1	30,1	6,78	144,7	14,4	1,92	15	6,8	0,72	117,12	0	7,92	0,04	31,9
6	Zermou 2	30,3	6,6	581	12,8	13,44	35	4	0,05	244	10	7,48	0,01	56,8
7	Zermou 3	30,2	6,7	1583	80	4,8	30,9	3,3	0,03	326,96	59	66	0,03	127,8
8	Kalgaram	32,2	6,7	749	28,8	1,92	14	3,3	0,07	268,4	5	20,24	0	55,025
9	AngoualKolLE	32,7	7,2	544	11,2	2,88	15	40	0,22	151,28	28	21,56	0,01	58,575
10	Lallachi	30,8	6,8	466	22,4	6,72	15	11	0,05	219,6	9	11	0,02	30,175
11	Gamarga 1	31,1	7,5	702	33,6	13,44	30	11	0,23	346,48	17	24,64	0,1	74,55
12	Gamarga 2	31,4	6,76	431	14,4	3,84	35	11	0,24	190,32	8	15,4	0,02	28,4
13	Dan Bouli	31,1	7,5	960	9,6	28,8	35	11	0,17	463,6	28	17,16	0,09	94,075
14	Garin Sangaya	33,3	6,55	407	12,8	7,68	30	11	0,16	195,2	1	7,92	0,01	23,075
15	Garin Alkali 1	32,1	7,02	490	17,6	3,84	50	18,2	0,13	239,12	6	11,44	0,02	40,825
16	Garin Alkali 2	32,2	6,7	1810	12,8	13,44	49,6	5	0,09	405,04	80	58,52	1,19	83,425
17	Angoualsamia 1	31,1	6,6	530	16	0	49,6	3,1	0,26	195,2	30	14,08	0,06	79,875
18	Angoualsamia 2	33	6,5	682	20,8	10,56	49,6	5,1	0,03	307,44	23	5,28	0,01	55,025
19	AngoualMagagi	33,3	6,91	679	28,8	5,76	14	6,8	0,08	185,44	23	27,28	0	88,75
20	Garin Ali 2	33,4	6,8	426	14,4	17,28	14	5,6	0,12	317,2	40	14,96	0,01	55,025

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 Zermou et 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 de l'Hydraulique, de l'Environnement et de l'Assainissement de Zinder)

Les valeurs maximales et minimales, moyennes et écarts types des paramètres physico chimiques sont consignés dans le tableau 2 ci-dessous

Tableau 2:valeurs statistiques de parametres physicochimiques des eaux souterraines de la zone

Paramètres	Désignation			
	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
T en °C	30,1	33,4 °C	31,73°C	1,07
pH en Unité pH	6,5	8	6,5	0,4
Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	73,5	1810	645,88	417,8
Calcium en mg/l	4,8	80	20,2	15,76
Magnésium en mg/l	0	28,8	8,4	6,88
Sodium en mg/l	14	50	27,58	13,77
Potassium en mg/l	2,8	40	8,57	8,46
Bicarbonate en mg/l	29,28	463,6	246,4	100,78
Chlorure en mg/l	23,07	127,8	59,19	28,5
Sulfate en mg/l	0	80	18,8	21,27
Nitrate en mg/l	5,28	66	18,86	16,28

Détermination des hydro-faciès des eaux:-

La classification hydro chimique des eaux sur le diagramme de Piper a permis d'identifier quatre (04) types de faciès d'eau dans la zone (Figure 3). Il s'agit: des eaux du faciès de type bicarbonate calcique et magnésien, il est le plus important et représente 50 % des eaux étudiées; des eaux du faciès de type bicarbonate sodique et potassique, il représente 35% des eaux; des eaux du faciès de type chlorure calcique et magnésien, il représente 10% des eaux échantillonnées et enfin des eaux du faciès de type chlorure sodique et potassique (5%).

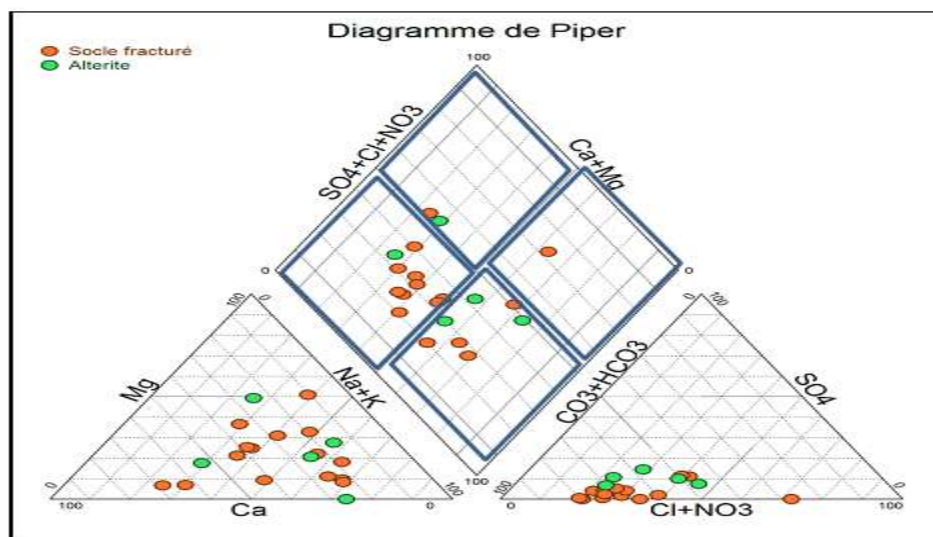


Figure 3:Représentation graphique des éléments chimiques des eaux sur le diagramme de Piper

La reprEsentation graphique des rEsultats analytiques sur le diagramme de Piper, a permis de mettre en Evidence la prEdominance des eaux du facies de type bicarbonatE calcique et magnEsiendans la zone.

Analyse en Composante Principale des eaux:-

Les rEsultats de l'Analyse en Composante Principale des eaux souterraines de la zone, donnent des nombreux tableaux dont certains sont retenus dans le cadre de cette Etude. Le tableau de valeur propre (tableau 3), montre que les trois principaux facteurs reprEsentent (76, 93%) de la variance exprimEe.

Tableau 3:valeurs propres de l'ACP

Facteur	Valeur propre	VariabilitE (%)	Valeur propre cumulEe	Variance cumulEe
F2	4,576	45,759	4,576	45,759
F2	1,983	19,828	6,559	65,587
F3	1,134	11,343	7,693	76,93

Les diffErentes corrElations entre les variables EtudiEs sont prEsentEes par le Tableau 4.

Tableau 4: Matrice de corrElation entre les variables

	PH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	CL ⁻
PH	1										
CE	0,0995	1									
Ca ²⁺	-0,167	0,5364	1								
Mg ²⁺	0,565	0,3335	-0,142	1							
Na ⁺	0,0075	0,4139	0,0111	0,1419	1						
K ⁺	0,2742	0,1501	-0,199	0,1295	-0,0671	1					
Fe ³⁺	-0,172	-0,42	-0,266	-0,264	-0,1391	0,1657	1				
HCO ₃ ⁻	0,4329	0,735	0,2725	0,7644	0,4195	-0,189	-0,413	1			
SO ₄ ²⁻	0,0166	0,8351	0,3743	0,2765	0,3915	-0,01	-0,243	0,5754	1		
NO ₃ ⁻	-0,045	0,8983	0,6781	0,0766	0,1838	-0,064	-0,24	0,4718	0,8244	1	
CL ⁻	0,1084	0,7517	0,6132	0,3371	0,2174	-0,148	-0,265	0,562	0,6769	0,7506	1

Le tableau ci-dessus, montre de forte corrElation entre CE- SO₄²⁻ (0,8);CE- NO₃⁻(0,9);SO₄²⁻ NO₃⁻(0,824). Il existe Egalement à un degrE moindre une corrElation entre les variables telles que : HCO₃⁻-CE (0,735) ; CE-CL⁻ (0,751); Ca²⁺-NO₃⁻(0,678) ; Ca²⁺-CL⁻(0,613) ; Mg²⁺-HCO₃⁻(0,764) ; SO₄²⁻-CL⁻(0,676) et NO₃⁻-CL⁻(0,75). L'Etude des eaux dans l'espace des variables du plan factoriel F1-F2, montre trois regroupements des variables. Le premier prend en compte les variables CE, Ca²⁺, SO₄²⁻, CL⁻, NO₃⁻, à l'extrEmite du cercle de communautE positif de l'axe 1 (Figure 4). Ce regroupement indique que ces variables Evoluait de la même façon et Etaient tributaires d'un même ou de phEnomènes semblables (Kouadio et al., 2023). Le deuxième regroupement prend en compte les variables pH, Mg²⁺, Na⁺ et HCO₃⁻. Cette classe met en Evidence l'hydrolyse des silicates et carbonates. Le troisième regroupement est dEfini par les variables K⁺ et Fe³⁺. Cette classe met en Evidence le phEnomène d'oxydorEduction. L'analyse des unitEs statistiques dans le plan factoriel F1-F2, met en Evidence trois regroupements de points d'eau (Figure 5). La classe 1 contient les eaux fortement minEralisEes de la zone. La classe 2 regroupe les eaux moins minEralisEes. Quant à la classe 3, elle prend en compte toutes les eaux riches en fer.

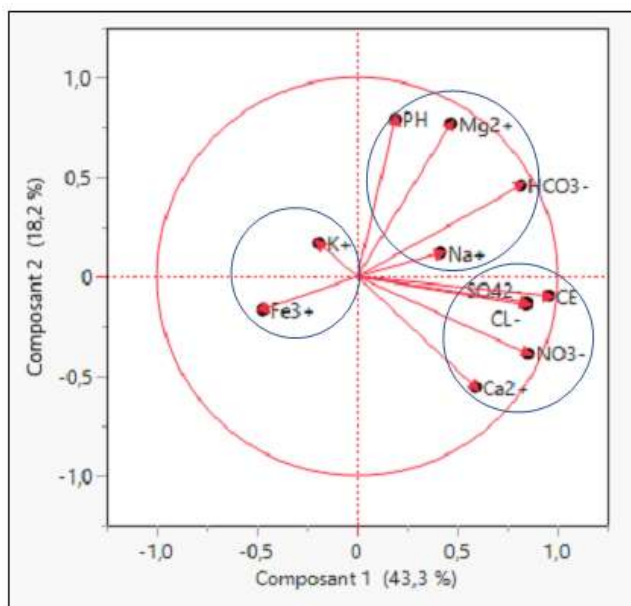


Figure 4:Analyse dans le plan factoriel F1-F2

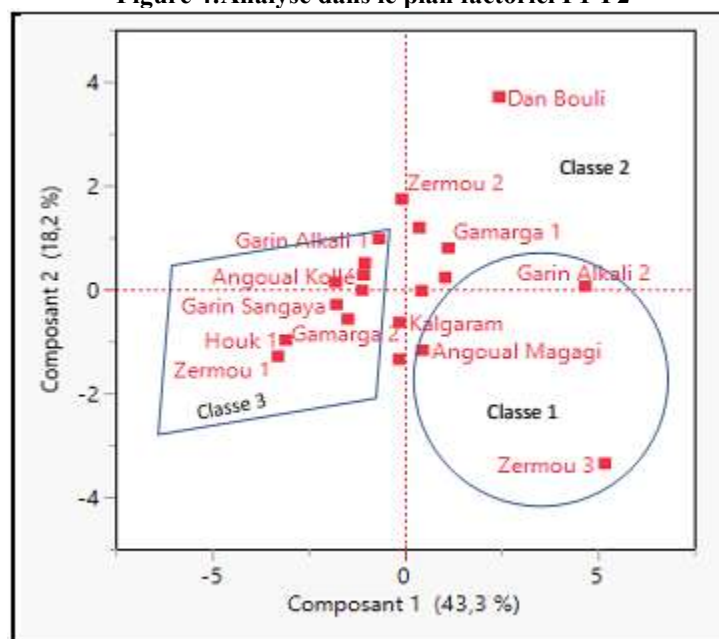


Figure 5:Unité statistique dans le plan factoriel F1-F2

L'analyse dans l'espace des variables du plan factoriel F2-F3, permet de mettre en Evidence deux grands regroupements de variables (Figure 6). Le premier regroupe les variables pH , Mg^{2+} , Na^{+} et HCO_3^{-} . De par ce regroupement, le facteur F2 met en Evidence l'hydrolyse des silicates et carbonates. Le deuxième regroupement prend en compte les variables Ca^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , Cl^{-} et NO_3^{-} . Cette classe met en Evidence la minéralisation superficielle d'origine anthropique. Le facteur F3 qui est défini par la variable K^{+} , semble refléter une contribution de la variable dans la minéralisation des eaux. L'analyse des unités statistiques dans le plan factoriel F2-F3, met en Evidence trois regroupements de points d'eau (Figure 7). La classe 1 contient les eaux fortement minéralisées de la zone d'Etude. La classe 2 regroupe les eaux moins minéralisées ou acides. Quant à la classe 3, elle prend en compte les eaux riches en fer.

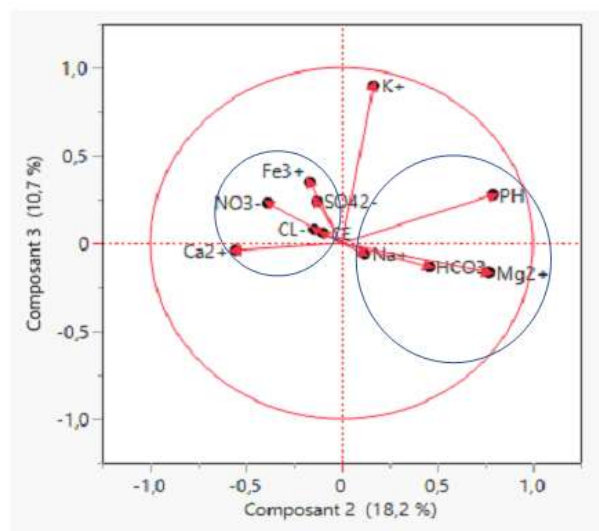


Figure 6:Analyse dans le plan factoriel F2-F3

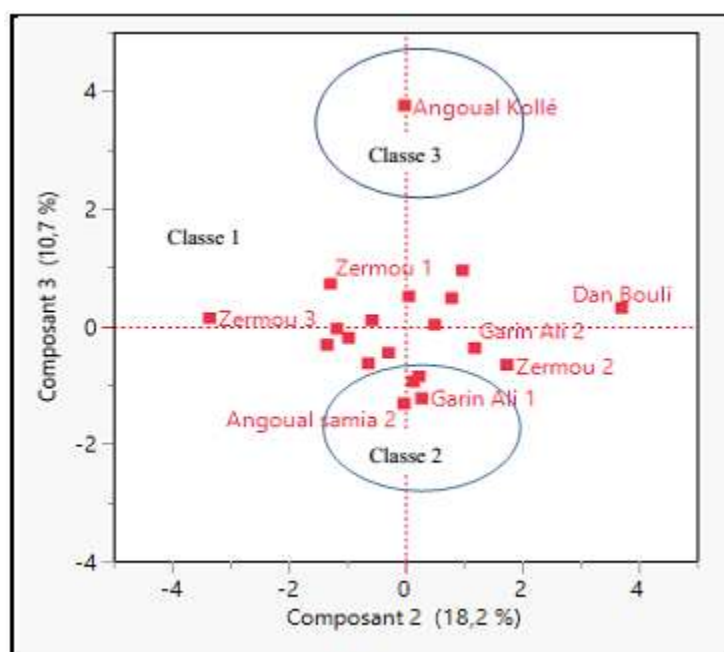


Figure 7:unitE statistique dans le plan factoriel F2-F3

Resultats des indices de saturation en calcite et en dolomite:-

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des indices de saturations en calcite et en dolomite sont consignées dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5: valeurs statistiques d'indices de saturation en calcite et en dolomite

MinEral	Valeur minimale	Valeur Maximale	Valeur moyenne
Calcite	-2,47	0,14	-0,78
Dolomite	-4,82	1,11	-1,68

Le tableau ci-dessus, montre que les valeurs de l'indice de saturation en calcite varient de -2,47 à 0,14, avec une moyenne -0,78. Elles varient de -4,82 à 1,11, avec une moyenne -1,68, pour la dolomite. Ainsi, on constate que la quasi-totalité des eaux analysées, présentent une sous saturation à la fois en calcite ($ISC < 0$) et en dolomite ($ISC < 0$). Néanmoins, ils existent quelques Echantillons d'eau, qui présentent une sursaturation ($ISC > 0$), en calcite et en dolomite. Il s'agit respectivement des eaux de forages de localités de Dan Bouliet de Angoual Samia.

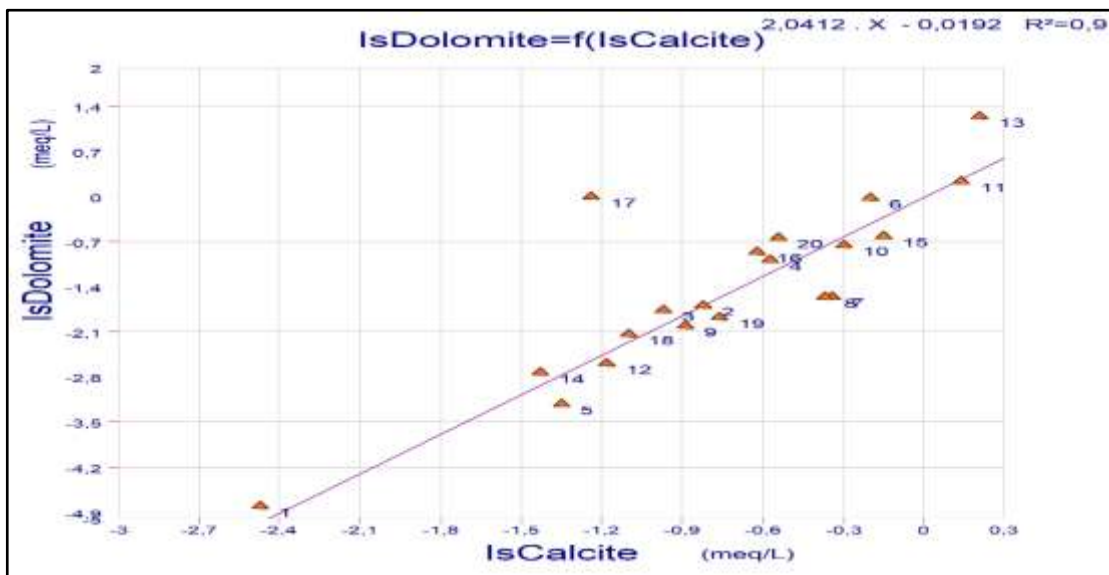


Figure 8: Représentation graphique des indices de saturation en calcite (ISC) en fonction des indices de saturation en dolomite (ISD) des eaux souterraines de la zone

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 constats suivants (tableau 6):

Tableau 6: comparaison des valeurs des paramètres physico chimiques aux normes de l'OMS

Paramètres physico chimiques	Norme de l'OMS, 2011	Valeurs Minimales	Valeurs Maximales	Valeurs Moyennes
pH (unité pH)	6,5 - 8,5	6,5	7,5	6,8
Conductivité (μcm)	180-1000	73,5	1810	645,88
Calcium (mg/l)	100	4,8	80	20,2
Magnésium (mg/l)	50	0	28,8	8,4
Sodium (mg/l)	200	14	50	27,58
Potassium (mg/l)	12	2,8	40	8,57
Chlorure (mg/l)	250	23,07	127,8	59,19
Sulfate (mg/l)	200	0	80	18,8
Nitrate (mg/l)	50	5,28	66	18,86

Discussion:-

Les résultats analytiques des eaux, montrent que celles-ci sont légèrement acides avec un pH qui varie de 6,5 à 7,5 et une moyenne de 6,8. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Ousmane (1988), dans les eaux du socle de la zone. Les valeurs de conductivités électriques montrent une grande variabilité pour ces nappes et varient de 73,5 à 1810 μcm , avec une moyenne de 645,88 μcm . Cette grande variabilité de valeurs de conductivités électriques, 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 ponctuels dus aux nitrates, dont les sources seraient la décomposition de la matière organique, les pratiques agricoles et l'utilisation des engrais chimiques azotés (Ousmane 1988). L'étude hydrochimique a permis de mettre en évidence la

prEdominance des eaux du facies de type bicarbonatE calcique et magnEsien dans les eaux. Ce rEsultat est conforme à ceux de plusieurs auteurs ayant travaillé sur les aquifères du socle et qui ont abouti à la conclusion selon laquelle le facies bicarbonatE calcique et magnEsien est le plus important dans les eaux du socle (Soro, 2002; Ahoussi, 2008; Oga et al., 2009; Lasmet et al., 2011).

L'analyse en Composante Principale 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 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et HCO_3^- , ont la particularité d'apparaître dans l'eau, après un contact prolongé de celles-ci avec les roches encaissantes (Kouadio et al., 2023). Ainsi, les ions Cl^- proviennent de lessivage des sols et ceux du Fe^{3+} se forment par le phénomène d'oxydoréduction (Kouassi, 2012 ; Kouadio et al., 2023). Les ions SO_4^{2-} , sont issus des eaux de pluie (Biemi J et al, 1992). La présence des ions NO_3^- dans les eaux, indique une minéralisation superficielle d'origine anthropique (Kouadio et al., 2023). Les valeurs des paramètres physicochimiques déterminés, sont l'ensemble conforme aux normes de potabilité de l'OMS. Les eaux souterraines de la zone sont de bonne qualité pour la consommation humaine. Les valeurs de l'indice de saturation en calcite varient de -2,47 à 0,14, avec une moyenne -0,78. Elles varient de -4,82 à 1,11, avec une moyenne -1,68, pour la dolomite. Ainsi, on constate que la quasi-totalité des eaux analysées, présentent une sous saturation à la fois en calcite ($\text{ISC} < 0$) et en dolomite ($\text{ISC} < 0$). Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Kouassi (2012) en Côte d'Ivoire, montrant ainsi que les eaux des aquifères de fracture sont sous saturées en calcite et en dolomite.

Conclusion:-

L'Etude 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 6,5 à 7,5 et une moyenne de 6,8. En dehors des eaux de localités de Garin Alkali et Zermou, où les valeurs de conductivité sont élevées, les eaux sont dans l'ensemble faiblement minéralisées et varient de 73,5 à 1810 $\mu\text{S/cm}$, avec une moyenne de 645,88 $\mu\text{S/cm}$. Cette étude a permis de mettre en évidence la prédominance des eaux de facies du type bicarbonatE calcique et magnEsien dans la zone. Les différents ions sont issus du contact eau-roche, de lessivage de sols, de la pluie et la minéralisation superficielle d'origine anthropique. A cela s'ajoute le phénomène d'oxydoréduction. D'une manière générale, les eaux étudiées sont sous saturation en calcite et en dolomite.

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 Paléoproterozoïque du Nord-Est de la Côte d'Ivoire : cas de la Région de Bonkhoukou.
2. Ahoussi K. E., Soro N., Koffi Y. B., Soro G., Biemi 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. Biemi J., Contribution à l'Etude 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'Etat 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. Jourda J. P., METHodologie d'application des techniques de TEIEdEtection et des systèmes d'information gEographique l'Etude des aquifères fissurEs d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechniquespatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, UniversitE de Cocody, (2005) 430 p.
14. RODIER J., LEGUBEB. & MERLETN. (2009) : L'analyse De L'eau (9 EEdition). Ed Dunod. Paris. 1579 pp.
15. Kouassi A. M., Ahoussi K. E., Koffi Y. B., AkE Y. A., BiEmi J., CaractErisation hydrogEochimique des eaux des aquifères fissurEs de la zone Guiglo-DuekouE (Ouest de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6(1), (2012) 504-518.
16. Kouassi A. M., Yao K. A., Ahoussi K. E., Seki L. C., Yao N. A. t BiEmi J., CaractErisation hydrochimique des aquifères fissurEs de la rEgion du N'zi-ComoE (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4(5), (2010) 1816-1838.
17. 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 qualitE des eaux souterraines de l'EnvironnementMinier du canton Afema (Sud-Est de la cote d'ivoire).
18. Lasm T., HydrogEologie des rEservoirs fracturEs de socle: Analyses statistiques et gEostatistiques de la fracturation et des propriEtEs hydrauliques. Application à la rEgion des montagnes de Côte d'Ivoire (Domaine ArchEen). Thèse unique de doctorat UniversitE de Poitier, (2000) 272 p.
19. Losm T, Lasme O, Oga M. S., Youan Ta M., Baka D., KouamE K. F., Yao K. T., CaractErisation hydrochimique des aquifères fissurEs de ta rEgion de San-PEDro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 5 (2), (2011) 642-662.
20. Maman sani ABDou BABAYE, Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dorgol(Liptako-Niger).Thèse de doctorat en sciences de l'ingEnieur, UniversitE Abdou Moumouni(2012).
21. Matini L., MOUtoU 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.
22. Oga M S., Lasm T., Yao T. K., Soro N., Saley M. B., Kouassi D., Gnamba F., CaractErisation chimique des eaux des aquifères de Fracture: Cas de La REgion de TiassalE en Côte d'Ivoire. European Journal of ScienfficResearch, 31(1), (2009) 72-87.
23. Oga. M. S., Ressources en eaux souterraines dans la rEgion du Grand AbidJan (Côte d'Ivoire) • Approche Hydrochimique et Isotopique, Thèse UniversitE d'Orsay, Paris, France, (1998) 311 p.
24. OMS, Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition, incorporating the first and second Addenda, Recommendations, Geneva, Volume I, (2008) 515 p.
25. OUSMANE B. (1988) : Etude gEochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahElienne du Niger (Liptako, Sud Maradi, Zinder Est), Thèse de Doctorat d'Etat, ès Sciences Naturelles, UniversitE de Niamey, 1988, 175 p. et annexes.
26. Sandao I. (2013) :Etude Hydrodynamique, Hydrochimique et Isotopique des eaux souterraines du bassin versant de la Korama/Sud Zinder, Niger :Impacts de la variabilitE climatique et des activitEs anthropiques. Thèse de doctorat, UniversitE Abdou Moumouni de Niamey.