

 ISSN (O): 2320-5407 ISSN (P): 3107-4928	Journal Homepage: -www.journalijar.com INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR) Article DOI: 10.21474/IJAR01/15937 DOI URL: http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/15937	 INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR) ISSN 2320-5407 Journal Homepage: http://www.journalijar.com Journal DOI: 10.21474/IJAR01
--	--	--

RESEARCH ARTICLE

ETUDE DE TENEURS EN NITRATES DANS LES AQUIFERES DISCONTINUS DU SOCLE DU DAMAGARAM MOUNIO (EST DU NIGER)

STUDY OF NITRATE CONTENTS IN THE DISCONTINUOUS AQUIFERES OF THE DAMAGARAM MOUNIO BASEMENT (EASTERN NIGER)

Abdou Hamidou¹, Chaibou Abdou Chaharou¹, Hamissou Chaibou Rabe¹ and issa habou³

1. Laboratoire de Géoressources, Géosciences et Environnement (LGGE), Zinder-Niger.
2. Laboratoire de chimies des eaux de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Zinder,-Niger.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 28 October 2022

Final Accepted: 30 November 2022

Published: December 2022

Key words:-

Discontinuous aquifer, Principal Component Analysis, Nitrogen-15 Isotope Analysis, Nitrates, Damagaram Mounio.

Abstract

The Damagaram Mounio bedrock, the study area, outcrops in the eastern part of the Zinder region. This is a densely populated area where access to water is a critical issue. The main objective of this study is to characterize nitrate levels in the area's groundwater resources. The methodological approach, based on Principal Component Analysis (PCA) and chemical and nitrogen-15 isotopic analysis, yielded several interesting results. Nitrate levels in the Damagaram Mounio bedrock aquifers range from 0.22 to 313.3 mg/L, with a mean of 72.23 mg/L and a standard deviation of 62.23 mg/L. This study revealed that 32% of the sampled boreholes have nitrate levels exceeding the permissible limit for drinking water, set at 50 mg/L according to World Health Organization (WHO) standards; this water is therefore unfit for human consumption. Principal Component Analysis and Nitrogen-15 Isotope Analysis confirm that this contamination has multiple origins, linked to both anthropogenic inputs and local hydrogeological conditions.

"© 2022 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 vitale pour tout être vivant et revêt une importance capitale pour d'innombrables activités humaines. Dans la zone du socle du Damagaram Mounio, les conditions climatiques et la forte croissance démographique, entraînent un amincissement des ressources en eau. 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. Ainsi, cette zone compte parmi les régions les plus peuplées du Niger et où le problème d'eau se pose avec acuité (Sandao, 2023). Ainsi pour assurer leurs besoins quotidiens en eau, la population fait recours aux aquifères profonds ou de nappes alluviales, sources de nombreuses maladies d'origine hydrique. En plus de la faible disponibilité de cette ressource en eau, sa qualité reste douteuse dans plusieurs zones (DRH, 2009). Il est donc urgent d'entreprendre des investigations sur la concentration en certains éléments chimiques comme les nitrates, dans les ressources en eau de la zone, à la faveur des actions naturelles et

Corresponding Author:- Abdou Hamidou

Address:- Université André Salifou (UAS), Faculté des Sciences et Techniques (FST),
Département de Géosciences et Environnement (SGE), Zinder, Niger.

anthropiques, afin de préserver la santé des populations. Cette étude, dont l'objectif principal, est de caractériser les teneurs en nitrates dans les aquifères discontinues du socle du Damagaram Mounio, s'inscrit dans cette perspective. Les objectifs spécifiques visent à déterminer le pourcentage des forages dont les eaux ont des teneurs en nitrates supérieures à la norme OMS, identifier l'origine de ces nitrates, établir la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs de paramètres isotopiques des eaux.

Matériel et Méthodes

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 $9^{\circ}35'$ de longitude Est et entre $13^{\circ}45'$ et $14^{\circ}10'$ de latitude Nord, couvre une superficie d'environ 10 000 km². Sur le plan administratif, la région est subdivisée en quatre départements qui sont: Takiéta, Damagaram Takaya, Gouré et Mirrah (figure 1).

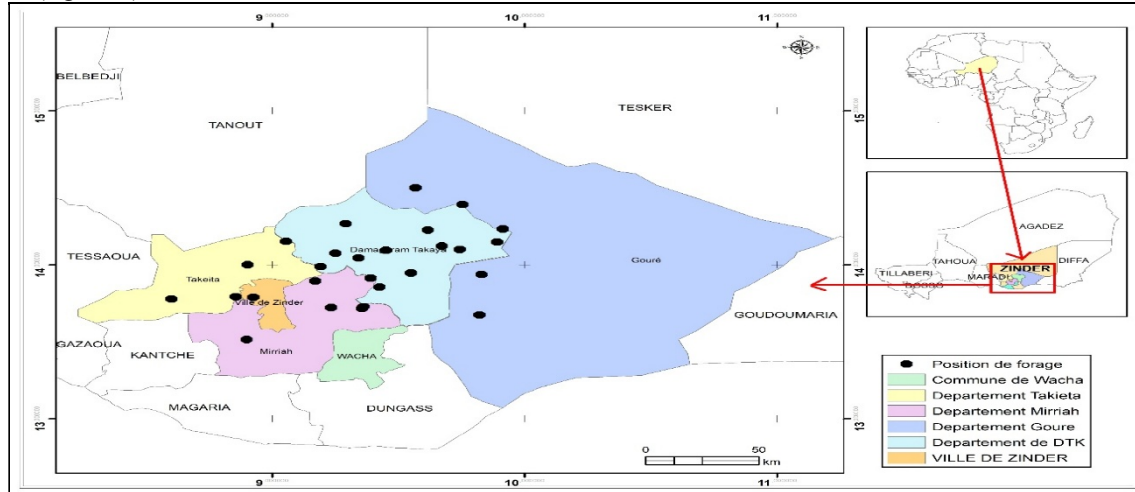


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude et montrant les points d'échantillonnage des eaux.

Sur le plan géologique, le socle du Damagaram Mounio est composé de deux ensembles (Figure 2): 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 des granites variés d'âge Panafricain et Paléozoïque.

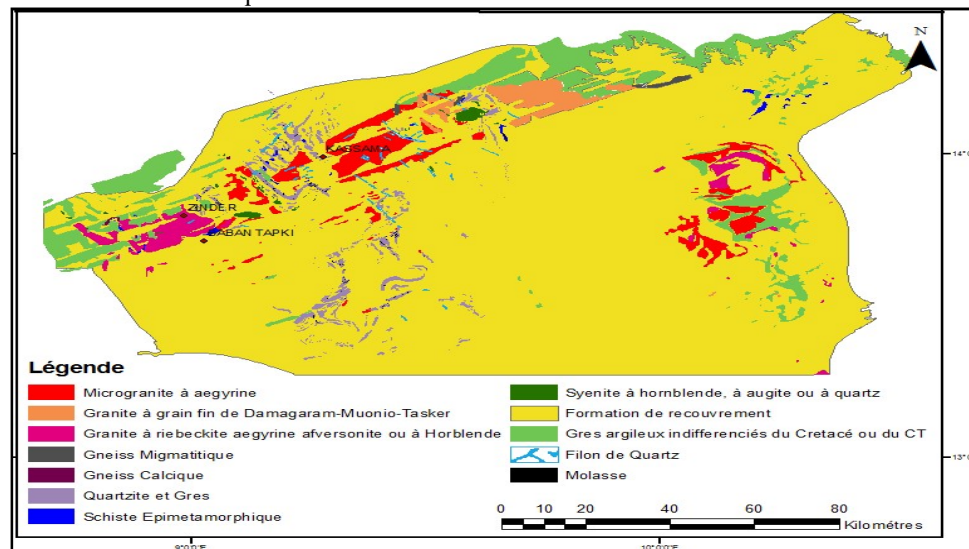


Figure 2: Carte géologique simplifiée de Damagaram-Mounio (Mignon, 1970, modifiée)

Sur le plan hydrogéologique, les ressources en eau souterraines sont localisées dans des horizons fracturés, fissurés et ou altérés de formations du socle de la zone (DRH, 2009; Sandao, 2013).

Méthodologie

Les données qui sont utilisées dans le cadre de cette étude sont fournies par la Direction Régionale de l'Hydraulique, de l'Environnement et l'Assainissement de Zinder (DRH/E/A). En effet dans le cadre de suivi de la qualité de l'eau dans la région de Zinder, des mesures des teneurs en nitrates ont été réalisées sur des échantillons d'eau prélevés dans trente-quatre (34) forages, captant les aquifères discontinus du socle fracturé et ou fissuré de la zone. En effet, ces forages sont nommés (F). Les échantillons d'eau 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 prélevée ont été conservés au frais dans les glacières à la température 4°C et transportés au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder (DRHA/Z), pour analyse. Un délai de 48 heures à compter de la date d'arrivée au laboratoire des échantillons, a été fixé pour analyse. Ainsi, les ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-), ont été déterminés par spectrophotométrie, avec le spectrophotomètre DR 2800 et des réactifs qui sont : nitriver3 et nitriver5. Toutes ces analyses ont été réalisées suivant le protocole décrit par de Jean Rodier (2009). Les teneurs isotopiques en Azote ^{15}N ont été analysées par spectrométrie de masse dans le cadre du projet national assisté par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA).

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 méthodes statistiques et l'analyse chimique et isotopique. L'approche statistique utilisée pour comprendre les sources de contamination des eaux est basée sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP), à partir du logiciel JMP Pro 16. Cette analyse statistique a été réalisée à partir de deux variables, qui sont: NO_3^- et ^{15}N . Le traitement des données a nécessité des logiciels tels que Excel pour la réalisation du diagramme isotopique $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ et Arc-Gis pour la cartographie. Nous présentons les résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

Résultats

Les résultats analytiques de trente-quatre (34) forages échantillonnés, dans le cadre de cette étude, dans la zone du socle du Damagaram Mounio, sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous:

Tableau 1: résultats d'analyse physico chimique (DRH/E/A, 2009).

N°	Villages	Type de nappe	N° IRH	Longitude	latitude	Temp [°] C	CE en uS/cm	pH	NO2-mg/l	NO3-mg/l
1	Afnori	Socle	727839	9,890277778	14,14861111	30, 9	1627	7, 6	0,02	64,24
2	Albarkaram	Socle	718982	9,341667175	14,04444408	27,8	1827	7,08	2,01	268,4
3	Atchafa	Socle	727901	9,365277778	14,06666667	32, 2	504	6, 8	0, 03	34,32
4	Boubout	Socle	727830	9,818611111	14,12555556	31, 1	1205	6, 7	0, 66	101, 2
5	Bougoum	Socle	727891	9,743055556	14,1	31, 1	1590	7, 3	0, 06	58, 4
6	Bourbourwa	Socle	722426	9,191944122	13,98805523	32	2680	7,25	2,84	313,3
7	ChirkouGarinMalam	Socle	727529	9,389444444	13,91333333	30, 2	940	7, 00	0, 04	77
8	Dan Kourtchi	Socle	-	9,00001	12,88333	31,5	28	5,28	0	0,35
9	DankeniGambou	Socle	722283	9,17	13,89472222	31, 4	875	7, 3	0, 02	68, 2
10	Danladi	Socle	794028	7,717222222	14,59277778	28,6	1751	7,55	1,98	204,6
11	Daratcham	Socle	727719	9,672222222	14,12194444	32, 7	660	6, 8	0, 007	12,32
12	Doufoufouk	Socle	722303	9,236944199	13,99083328	28,5	703	7,36	0,26	42,67
13	Dungass	Socle	-	9,341657	13,06388	30,8	83	6,12	0	3,96
14	FayaHaoussa	Socle	727888	9,170000076	13,89472198	33, 4	1031	6, 5	0, 01	8, 8
15	Foulatari	Socle	727837	9,890277863	14,14861107	31, 00	1022	6, 8	0, 01	30, 8
16	GarinMalamFagué	Socle	727662	9,829166412	14,12638855	32, 2	661	6, 8	0, 018	76,4
17	Gorgoré	Socle	722282	9,425000191	13,85499954	32, 1	727	6, 2	0, 01	52, 8
18	Guidimouni	Socle	-	8,983361111	12,86672222	30,6	353	6,18	0,01	37,84
19	Ididigouri	Socle	790865	9,913888889	14,23333333	32, 0	234	7, 00	0, 08	14,2
20	Kakissara	Socle	722316	9,25	14,075	30, 1	909	6, 8	0, 06	49,72

21	Kassama	Socle	718984	9,136111259	13,97222233	28,1	1368	6,95	1,12	180,4
22	Kourni	Socle	790400	8,428603	13,58639	31,1	39	5,63	0	0,22
23	Kourssadi	Socle	727814	9,624444444	14,225	31, 6	630	6, 8	0, 01	83, 6
24	Maya Tchasko	Socle	727963	9,550000191	13,94722176	31, 6	1250	7, 3	0, 09	101,2
25	Méoumé	Socle	727984	8,855278015	13,79305553	30, 3	428	7,45	0, 213	51, 6
26	Midik	Socle	707464	9,230555534	13,91472244	28,6	551	6,94	2,64	52,8
27	Nassalé	Socle	722285	9,171944444	13,90333333	31, 2	1116	6, 8	0, 014	123, 2
28	Ourak	Socle	722215	9,45	14,09444444	31, 6	730	6, 8	0, 1	40,48
29	SabonRoua	Socle	791272	9,361103	13,72777	29, 1	941	6, 8	0, 1	81, 12
30	Tchidassawra	Socle	722079	9,616666794	14,22638893	31, 1	763	7,3	0, 42	50, 6
31	Tirmou	Socle	722225	9,354999542	13,71694469	31, 7	789	6, 8	0, 1	7
32	Tis	Socle	793907	8,898611069	13,77777767	28,5	766	7,31	0,26	37,84
33	Yékoua	Socle	722619	8,450055556	13,21669444	31,1	73	6,07	0	3,52
34	ZengonSouma gaila	Socle	725907	8,925000191	13,78888893	32,7	1684	7,42	2,84	98,56

Variation des teneurs en nitrates dans les ressources en eau souterraine de la zone

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

Tableau 2 : variations des paramètres physico chimiques des eaux du socle du Damagaram Mounio.

Désignations	Température en ° C	pH en U pH	Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	NO ₃ en mg/L
Valeur minimum	27,8	5,28	28	0,22
Valeur maximum	33,4	7,55	2680	313,3
Moyenne	29,99	6,79	898,17	72,23
Ecart type	1,51	0,62	439,31	62,23

Les résultats analytiques de trente-quatre (34) forages échantillonnés (**tableau 1**) montrent que :

- Vingt-trois (23) échantillons, soit **68%** des ouvrages, ont des teneurs en nitrates inférieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ; *ces eaux sont donc de bonne qualité sur le plan nitraté* ;
- Onze (11) échantillons, soit **32%** des ouvrages, ont de teneurs en nitrates supérieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ; il s'agit des eaux de forages suivants : F₁, F₂, F₄, F₆, F₇, F₉, F₁₀, F₁₆, F₂₁, F₂₃, F₂₄ ; *ces eaux sont impropres à la consommation humaine*.

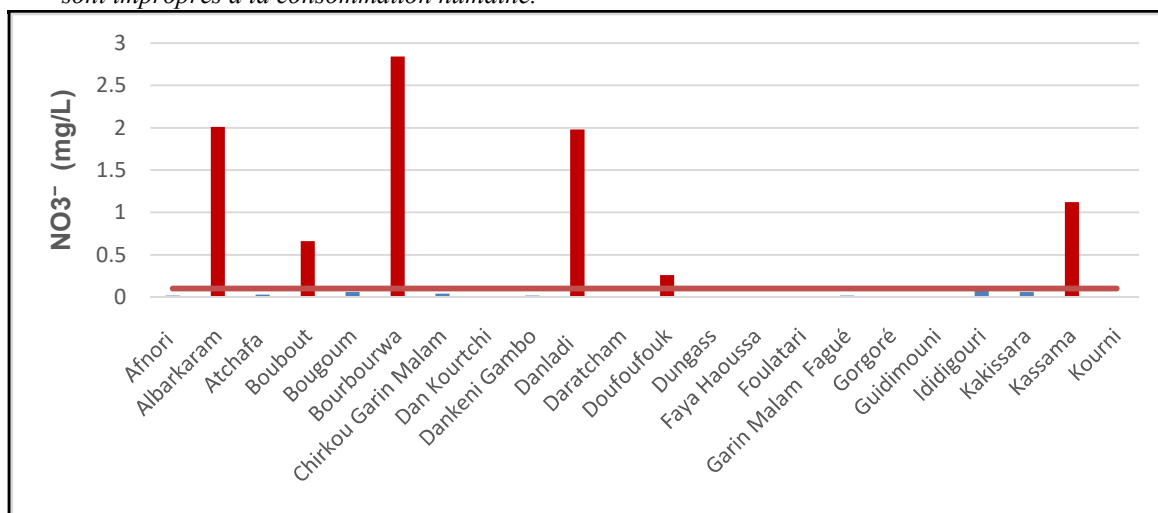


Figure 3:- Représentation graphique des forages dont les eaux sont à faibles teneurs en nitrates et celles dont les teneurs sont supérieures à la norme OMS

Identification des origines de teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone

Les résultats isotopiques de l'Azote¹⁵ (¹⁵N), analysés dans le cadre du projet national assisté par l'Agence

Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), sont présentés dans le tableau 3, ci-après (DRH, 2009) :

Tableau 3 : valeurs en Azote 15, des points d'eau de la zone d'étude

Forages	Longitude	Latitude	Altitude	Aquifère	NO3	NO3meq	15N	NO3T
Dalari	9,35	14,10	430,00	SOCLE	149,16	2,41	0,00	1,14
Kassama F1	9,27	13,98	437,00	SOCLE	281,56	4,54	0,00	<5
D. Takaya	9,48	14,13	407,00	SOCLE	61,16	0,99	0,00	0,2
Koursadi	9,61	14,42	454,00	SOCLE	97,43	1,57	0,00	0,31
Dan ladi	9,017	13,89	447,00	SOCLE	982,80	15,85	3,20	6,6
Dogon Shuri	9,05	13,92	455,00	SOCLE	69,68	1,12	3,50	6,8
Bourbourwa	9,13	13,97	479,00	SOCLE	693	11,18	5,90	0,4
Albarkaram	9,23	13,97	437,00	SOCLE	261,36	4,22	7,20	<5
BirniKazé	9,96	14,21	394,00	SOCLE	308,88	4,98	7,20	1,3

Statistiques descriptives de corrélation entre les teneurs en nitrates et les paramètres isotopiques des eaux

Les valeurs maximales et minimales, moyennes, médiane, écarts types et coefficient de variation des teneurs en nitrates et les paramètres isotopiques des eaux sont consignés dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4 : Statistiques descriptive de corrélation entre les teneurs en nitrates dans les paramètres isotopiques des eaux.

Variable	N	Minimum	Maximale	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation %
NO ₃ ⁻ (mg/L)	9	61,16	982,80	322,78	261,36	228,94	70,93%
NO ₃ meq/L	9	0,99	15,85	5,21	4,22	3,69	70,92%
δ ¹⁵ N (‰)	9	0,00	7,20	3,00	3,20	2,67	88,89%
NO ₃ T	9	0,20	6,80	2,39	1,14	2,46	102,86%

Diagramme isotopique δ¹⁵N–NO₃⁻

L'analyse du diagramme isotopique δ¹⁵N–NO₃⁻ (figure 4) montre que les points sont dispersés sans tendance claire. L'absence de relation linéaire entre les concentrations des nitrates et les paramètres isotopiques en azote 15 montre que les nitrates présents dans la zone d'étude ne proviennent pas d'une source unique. Par ailleurs, deux points (δ¹⁵N proche de 7‰) se distingue nettement et indique une signature isotopique élevée, typique d'une contamination d'origine organique.

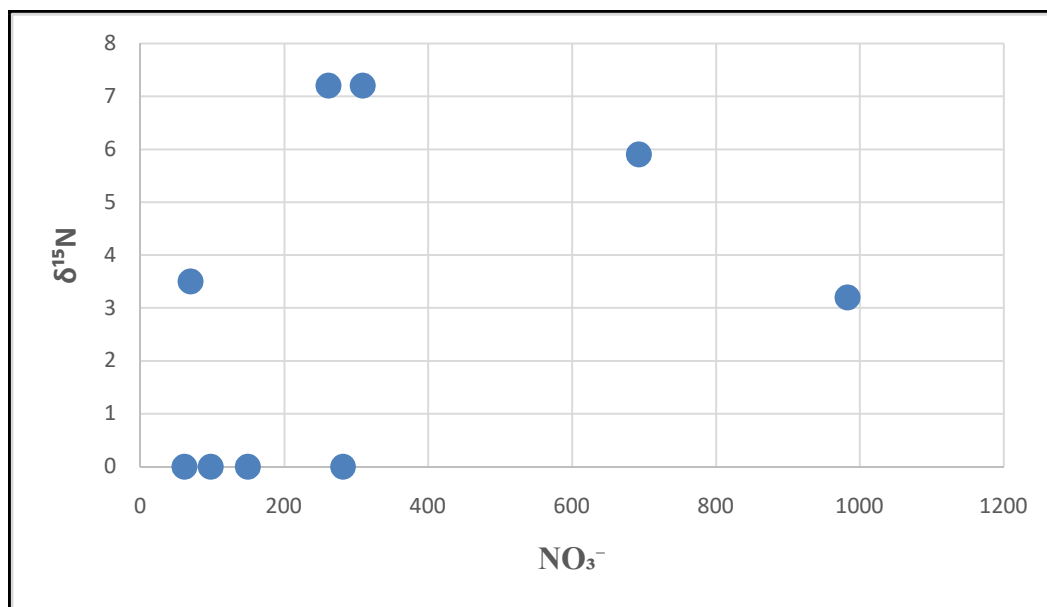


Figure 4 : Diagramme isotopique δ¹⁵N–NO₃⁻

Distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone

La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone (Figure 5) montre une contamination généralisée dans la zone. L'ensemble des zones cartographiées plus particulièrement le secteur ouest, présentent des concentrations en nitrates supérieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixée à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), cette situation constitue une préoccupation majeure pour la santé de la population de la zone.

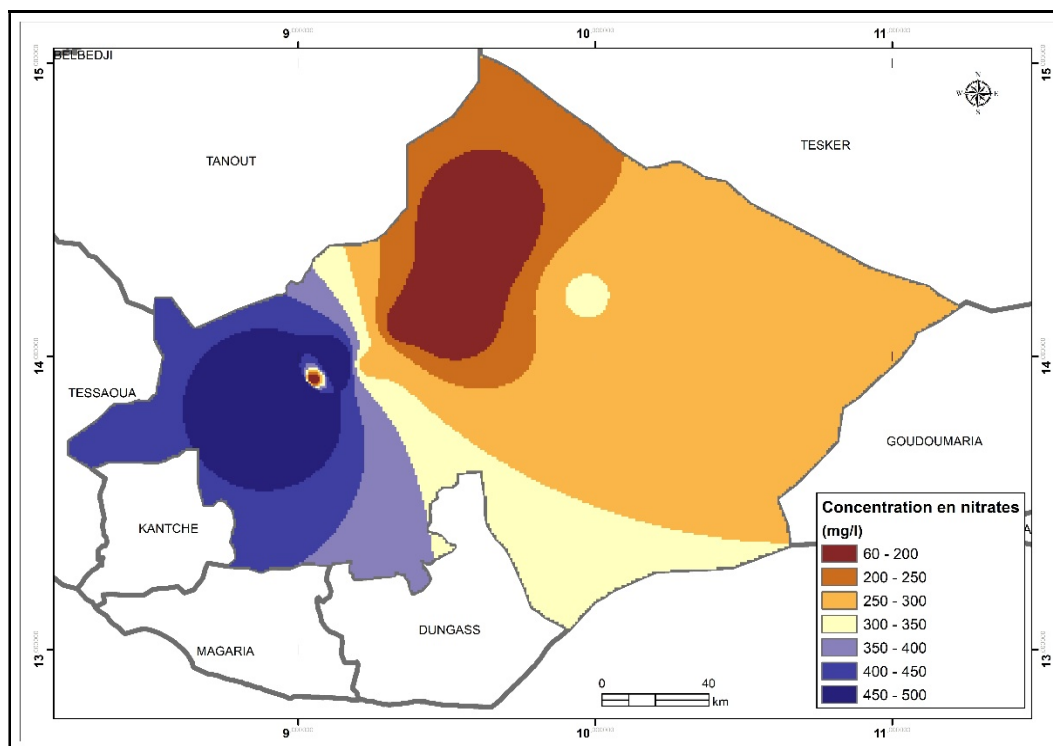


Figure 5: Carte de distribution spatiale de teneurs en nitrates de la zone d'étude

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 5), montre que les deux principaux facteurs représentent (100%) de la variance exprimée.

Tableau 5 : valeurs propres de l'ACP

Facteur	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
1	2,214	73,801	73,801
2	0,786	26,199	100

L'analyse dans l'espace des variables du plan factoriel F1-F2, permet de mettre en évidence une structuration claire de la variance selon deux composantes principales (Figure 6). La première composante (F1), qui exprime 73,8 % de la variance est principalement associée à la concentration en nitrates (NO_3^-). La seconde composante (F2) représentant 26,2% de la variance est essentiellement représentée par le rapport isotopique en azote 15 ($\delta^{15}\text{N}$). Les deux facteurs expriment 100% de la variance totale. Par ailleurs, l'orientation des vecteurs de deux variables dans les directions différentes indique une faible corrélation entre la concentration en nitrates et le rapport isotopique. L'analyse des unités statistiques dans le plan factoriel F1-F2, met en évidence trois regroupements de points d'eau (Figure 7). Le premier prend en compte les eaux caractérisées par des valeurs relativement élevées du rapport isotopique en $\delta^{15}\text{N}$. Il s'agit des eaux de localités telles qu'Albarkaram, BirniKazoé et Dogon Shuru. Le deuxième prend en compte les eaux caractérisées par teneurs en nitrates et des signatures isotopiques relativement proches. Il

s'agit des eaux de localités telles Koursadi, Dalari et Kassama. Quant au troisième, il prend en compte les eaux caractérisées par des concentrations plus élevées en nitrates que les deux autres. Il s'agit des eaux de localités telles Bourbouwa et Dan ladi.

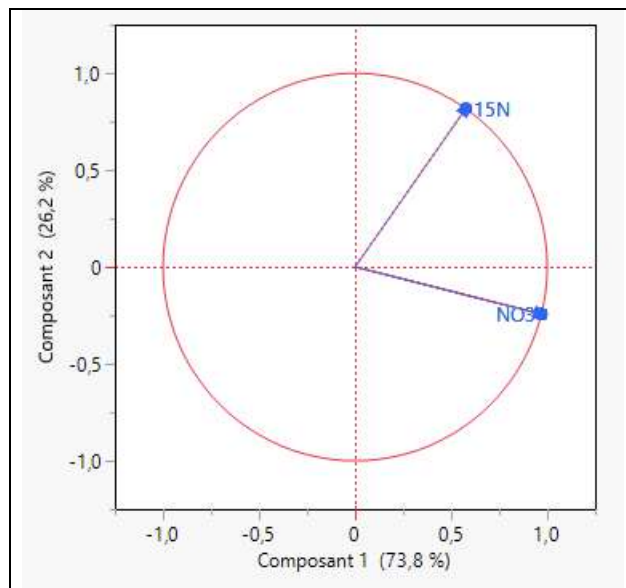


Figure 6 : Analyse dans le plan factoriel F1-F2

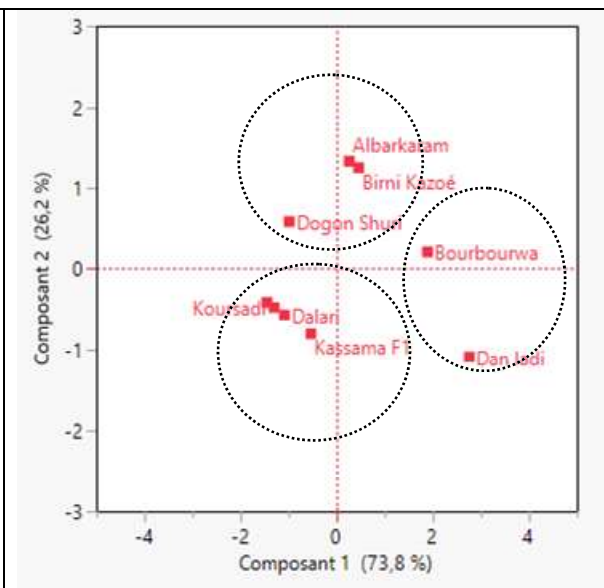


Figure 7: Unité statistique dans le plan factoriel F1-F2

Discussion

Les concentrations en nitrates des eaux des nappes du socle de Damagaram Mounio, varient de 0,22 à 313,3 mg/L, avec une moyenne de 72,23 mg/L, et un écart type de 62,23. Le fait que **32%** des forages échantillonnés ont de teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/L est préoccupant. Cela signifie que près de un tiers de forages est impropre à la consommation humaine. L'écart type de 62,23 témoigne d'une forte hétérogénéité spatiale des concentrations, ce qui suggère que les sources de contamination sont multiples et localisées. Les valeurs isotopiques en azote 15 varient de 0 à 7,2, avec une moyenne de 3 et un écart type de 2,67. L'absence de relation linéaire entre les concentrations des nitrates et les paramètres isotopiques en azote 15 montre que les nitrates présents dans la zone d'étude ne proviennent pas d'une source unique mais de sources multiples. La Figure 5 révèle une contamination généralisée dans la zone d'étude avec une concentration particulière dans le secteur ouest. Cela peut s'expliquer par la présence du borbier autour des points d'eau et l'utilisation des engrais chimiques azotés (DRH, 2009). L'analyse en Composantes Principales met en évidence une structuration claire de la variance selon deux composantes principales (Figure 6). La première composante (F1), qui exprime 73,8 % de la variance est principalement associée à la concentration en nitrates (NO_3^-). La seconde composante (F2), définie par 26,2% est essentiellement représentée par le rapport isotopique en azote 15 ($\delta^{15}\text{N}$). Les deux facteurs expriment 100% de la variance totale. La faible corrélation observée entre les nitrates et l'azote 15 suggère que les teneurs en nitrates ne sont pas uniquement gouvernées par leur origine isotopique mais également par d'autres facteurs tels que les apports anthropiques et les conditions hydrogéologiques (DRH, 2009, Sandao, 2013). Le regroupement des points d'eau dans le plan factoriel (Figure 7), traduit des similitudes de composition, indiquant que certains sites sont probablement soumis à des sources de contamination ou des mécanismes d'évolution géochimiques comparables (Sandao, 2013).

Conclusion:-

Cette étude a permis de mettre en évidence une contamination significative des eaux du socle discontinu de Damagaram Mounio, avec des concentrations en nitrates qui varient de 0,22 à 313,3 mg/L, une moyenne de 72,23 mg/L, et un écart type de 62,23. Ainsi, **32%** des ouvrages modernes échantillonnés, présentent des teneurs en nitrates supérieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS); ces eaux sont impropres à la consommation humaine. L'analyse en Composantes Principales et l'Analyse isotopique en azote 15 confirment que cette contamination est d'origine multiple liée à la fois aux apports anthropiques et aux conditions hydrogéologiques locales.

Référence:

1. Ahoussi, ek.,soro, n., koffi, b.y, soro, g. &biemi, 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. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 4 (3) : 782-797.
2. Adelams.m.a. (2006):Nitrate pollution of groundwater in Nigeria. *Groundwater pollution of Africa*. Editors YonxinXu and Brent Usher, Yaylor and Francis/Balkema, Great-Britain, pp, 37-45.
3. de contaminations. *Annales de l'Université de Côte d'Ivoire, série C (Sciences)*, tome 20, pp. 313-347 (1984)
4. Adela S. M. A Nitrates pollution of groundwater in Nigeria. *Groundwater pollution in Africa*,
5. Editors YongxinXu and Brent Usher, Taylor & Francis/Balkema, Great-Britain, pp. 37-45 (2006)
6. Briche S., Ounine K., Oulkheir S., El haloui N. et Attarassi B. Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique Science*, 03(3): pp. 391-404 (2007)
7. Boukari M., Alassane A., Azonsi F., Dovonou F. A. L., Tossa A. et Zogo D. Groundwater pollution from urban development in Cotonou City, Benin. *Groundwater pollution in Africa*, Editors YongxinXu and Brent Usher, Taylor & Francis/Balkema, Great-Britain, pp. 125-138 (2006)
8. Canter Iw. (1997):Nitrate in Groundwater. Edition Lewis publishers
9. DRH (2009) :Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder. Rapport annuel d'activité
10. DRH/Z. (2014) :Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder. Rapport annuel d'activité.
11. Coulibaly A. S., Mondé, Wognin V. A. et Aka K. State of anthropic pollution in the estuary of
12. Deme I., Tandia A. A., Faye A., Malou R., Dia I., et Diallo M. S. Management of nitrate pollution of groundwater in African cities : The case of Dakar, Sénégal. *Groundwater pollution in*
13. Jourda J. P., Kouamé K. J., Saley M. B., Kouadio B. H., Oga Y. S. et Deh S. Contamination of the Abidjan Aquifer by sewage : An assessment of extent and strategies for protection. *Groundwater pollution in Africa*, Redactors YongxinXu and Brent Usher, Editors Taylor & Francis/Balkema, Great-Britain, pp. 291-300 (2006)
14. Mennessier M. Des bactéries dévoreuses de nitrates. *Sciences & Vie*, n° 923, pp. 86-90 (1994)
15. Oga M. S. Ressources en eaux souterraines dans la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire) Approche Hydrochimique et Isotopique. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris Orsay, 240 p.
16. M.O. Elimination des nitrates des eaux potables, Document Technique FND AE Hors-Série N°4. Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.
17. Tandia A. A., Diop E. S. et Gaye C. B. Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini : exemple de la nappe de Yeumbeul, Sénégal. *Journal of African Earth Sciences*, 29(4): pp. 809-822 (1999)
18. Travi Y. et 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 pp. 13-21 (1997)
19. Rodier, J., Legube, B. & Merlet, N. (2009) :L'analyse De L'eau (9^e Edition). Ed Dunod. Paris. 1579 pp.
20. 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.
21. Sanoussi, R. (2009) :Etude complémentaire en vue de l'évaluation des eaux souterraines de la région de Zinder (Niger), Rapport. Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder.
22. Yaméogo S., Savadogo A. N., Nakolendousse S. et Koussoubé Y. Spatial and temporal variations of groundwater pollution in Ougadougou city, Burkina Faso. *Groundwater pollution in Africa*, Redactors YongxinXu and Brent Usher, Editors Taylor & Francis/Balkema, Great-Britain, pp. 157-167 (2006)