

Origines des Nitrates dans les Aquifères Discontinus du Socle du Damagaram Mounio, Est du Niger

[Origins of Nitrates in the Discontinuous Aquifers of the Damagaram Mounio Basement, Eastern Niger]

Abdou Hamidou¹, Ibrahim Adédé², and Issa Habou²

¹Université André Salifou (UAS), Faculté des Sciences et Techniques (FST), Département de Géosciences et Environnement,
Zinder, Niger

²Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder (DRHA, Z). Laboratoire de chimies des eaux de la
Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Zinder, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The base of Damagaram Mounio, study area, outcrops in the eastern part of the Zinder region. In this zone, discontinuous aquifers are located in fractured, fissured and/or altered horizons of Precambrian granitoid and metamorphic formations and young fissured granites. They are essentially captured by fodder whose very high failure rates can exceed 50%. In addition, the flow rates of positive fodder are less than 2 m³/h for more than 85% of them. Thus, the problem of water resources is acute. In this densely populated area, this lack of water for the population's food is aggravated by the levels of certain chemical parameters, including nitrates in particular, which greatly exceed the drinking water standards for human consumption, hence the present study. The main objective of which is to determine the origins of nitrates in the groundwater resources of the area. The methodological approach based on the sampling of hydraulic structures capturing the aquifers of the basement, the analysis of the physico-chemical and isotopic parameters of the waters of several boreholes, the determination characteristics of nitrates, led to several interesting results. Thus, the isotopic contents of Nitrogen 15 (¹⁵N), obtained in the groundwater of the area, varying from 0 to 7.2, thus showing that these nitrates could come from the nature of the soil (quagmire around the points) and chemical fertilizers, ureas and fertilizers used in the study area. This study has shown that in the basement area of Damagaram Mounio, nitrates have a superficial origin. The nitrate contents of the waters of the Damagaram Mounio basement aquifers vary from 0.22 to 313.3 mg/L, with an average of 72.23 mg/L, and a standard deviation of 62.23. Thus, 32% of the modern structures sampled have nitrate levels above the acceptable limit value for drinking water set at 50 mg/L, according to the standards of the World Health Organization (WHO); these waters are unfit for human consumption. The spatial distribution of nitrate levels in groundwater in the area showed that these are more accentuated between the towns of Damagaram Takaya and Birni Kazoé, which are characterized by values above 100 mg/l. Furthermore, the relationship between nitrate levels and electrical conductivity values of water showed that the mineralization of groundwater in the area is controlled by nitrate ions.

KEYWORDS: Discontinuous aquifer, WHO, Nitrates, Damagaram Mounio.

RESUME: Le socle du Damagaram Mounio, zone d'étude, affleure dans la partie Est de la région de Zinder. Dans cette zone, les aquifères discontinus sont localisés dans des horizons fracturés, fissurés et/ou altérés des formations granitoïdiques et métamorphiques du Précambrien et des granites jeunes fissurés. Ils sont captés essentiellement par des forages dont les taux d'échec, très élevés, peuvent dépasser les 50%. Par ailleurs, les débits des forages positifs sont inférieurs à 2 m³/h à plus de 85% d'entre eux. Ainsi, le problème de ressource en eaux se pose avec acuité. Dans cette zone très peuplée, ce manque d'eau pour l'alimentation des populations est aggravé par les teneurs des certains paramètres chimiques, dont notamment les nitrates, dépassant largement les normes de potabilité des eaux pour la consommation humaine d'où la présente étude, qui a pour objectif principal, la détermination des origines des nitrates dans les ressources en eau souterraine de la zone. L'approche méthodologique basée sur l'échantillonnage des ouvrages hydrauliques captant les aquifères du socle, l'analyse des paramètres physico chimiques et isotopiques des eaux de plusieurs forages, la détermination des caractéristiques des nitrates, a permis d'aboutir à plusieurs résultats intéressants. Ainsi, les teneurs isotopiques en Azote 15 (¹⁵N),

obtenues dans les eaux souterraines de la zone, varient de 0 à 7,2, montrant ainsi que ces nitrates pourraient provenir de la nature du sol (bourbier autour des points) et engrais chimiques, urées et fertilisants utilisées dans la zone d'étude. Cette étude, a permis de montrer que dans la zone du socle du Damagaram Mounio, les nitrates ont une origine superficielle. Les teneurs 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. Ainsi, 32% des ouvrages modernes échantillonnés, 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); ces eaux sont inaptes à la consommation humaine. La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone, a montré que celles-ci sont plus accentuées entre les villes de Damagaram Takaya et Birni Kazoé, qui se caractérisent par de valeurs supérieures à 100 mg/l. Par ailleurs, la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs de conductivités électriques des eaux, a montré que la minéralisation des eaux souterraines de la zone, est contrôlée par les ions nitrates.

MOTS-CLEFS: Aquifère discontinu, OMS, Nitrates, Damagaram Mounio.

1 INTRODUCTION

L'eau est une ressource vitale pour tout être vivant et revêt une importance capitale pour d'innombrables activités humaines. Au sahel et précisément au Niger, les conditions climatiques aléatoires et la forte demande entraîne 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. 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 où le problème d'eau se pose avec acuité (Ousmane 1988). Ainsi pour assurer leurs besoins quotidiens en eau d'alimentation, en eau d'irrigation et d'abreuvement des animaux..., les populations font 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 (Ousmane 1988). Ainsi, des concentrations en certains éléments comme les sulfates, les nitrites..., il n'est pas exclu la présence de nitrates, comme c'est le cas dans le haut bassin de la rivière, le Gorouol, et dans d'autres régions de formation cristallophyllienne dans le monde. Il paraît donc urgent d'entreprendre des investigations sur la concentration, dans les ressources en eau, à la faveur des actions naturelles et anthropiques, qui ne cessent de se développer dans les zones du socle du Niger, pour préserver la santé des populations. Cette étude, qui a pour objectif principal, la détermination des origines des nitrates dans les aquifères discontinus du socle du Damagaram Mounio, s'inscrit dans cette perspective. Les objectifs spécifiques visent à échantillonner les points d'eau moderne, captant les aquifères du socle, analyser les paramètres physico chimiques et isotopiques des eaux, étudier les variations des concentrations dans les eaux souterraines de la zone, étudier la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs des conductivités électriques des eaux et enfin cartographier les zones à fortes teneurs en nitrates.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le socle du Damagaram-Mounio affleure dans la partie Est de la région de Zinder (fig.1). Cette zone, compte parmi les régions le plus peuplées du Niger, et où le problème d'eau se pose avec acuité.

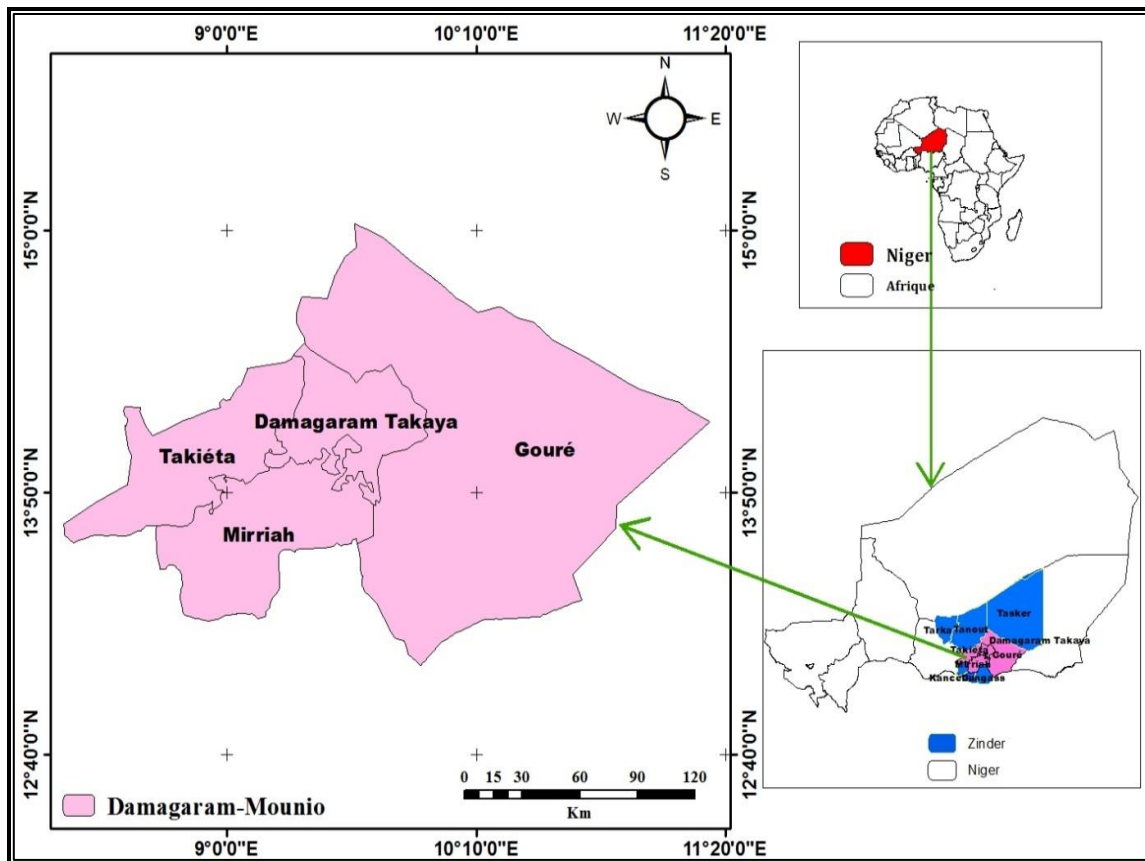


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

Dans la zone du socle du Damagaram Mounio, les aquifères sont discontinus et les ressources en eau souterraine sont localisées dans des horizons fracturés, fissurés et/ou altérés des formations granitoïdiques et métamorphiques du Précambrien et des granites jeunes fissurés. Ils sont captés essentiellement par des forages dont les taux d'échec, très élevés, peuvent dépasser les 50% (Ousmane, 1988). Par ailleurs, les débits des forages positifs sont inférieurs à 2 m³/h à plus de 85% d'entre eux. Dans cette zone, les valeurs de transmissivités, sont comprises entre 1.10⁻⁶ et 6,4. 10⁻⁵ m²/s. Les débits d'exploitation des forages relativement faibles, dépassent rarement les 2 m³/h. Le niveau piézométrique se situe à une profondeur moyenne de 16,5 m, tandis que la profondeur optimale des forages est de 60 m, les réserves sont faibles (Ousmane, 1988).

3 MÉTHODOLOGIE

Les mesures de 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 d'étude. En effet, ces forages sont nommés (F). 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 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 (NO₂⁻) et nitrates (NO₃⁻), ont été déterminés par spectrophotométrie, avec le spectrophotomètre DR 2800 et des réactifs qui sont: nitraver3 et nitraver5. Toutes ces analyses ont été réalisées suivant le protocole décrit par de Jean Rodier (2009). Les teneurs isotopiques en Azote15 (¹⁵N) des points d'eau, au nombre de neuf (9), ont été analysées par spectrométrie de masse, dans le cadre du projet national, assisté par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Le traitement de donner à nécessiter un travail de laboratoire, avec des logiciels tels ArcGis pour la cartographie.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats analytiques de trente-quatre (34) points d'eau moderne échantillonnés, dans le cadre de cette étude, dans la zone du socle du Damagaram Mounio, sont présentés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous:

Tableau 1. Teneurs en nitrates des eaux des forages échantillonnés, 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 Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder)

N°	Villages	Type de nappe	N° IRH	Longitude	Latitude	Temp°C	CE en uS/cm	pH	NO3-mg/l	NO2- mg/l
1	Afnori	Socle	727839	9,890277778	14,14861111	30,9	1627	7,6	64,24	0,02
2	Albarkaram	Socle	718982	9,341667175	14,04444408	27,8	1827	7,08	268,4	2,01
3	Atchafa	Socle	727901	9,365277778	14,06666667	32,2	504	6,8	34,32	0,03
4	Boubout	Socle	727830	9,818611111	14,12555556	31,1	1205	6,7	101,2	0,66
5	Bougoum	Socle	727891	9,743055556	14,1	31,1	1590	7,3	48,4	0,06
6	Bourbourwa	Socle	722426	9,191944122	13,98805523	32	2680	7,25	313,3	2,84
7	Chirkou Garin Malam	Socle	727529	9,389444444	13,91333333	30,2	940	7,00	77	0,04
8	Dan Kourtchi	Socle	-	9,00001	12,88333	31,5	28	5,28	0,35	0
9	Dankeni Gambo	Socle	722283	9,17	13,89472222	31,4	875	7,3	68,2	0,02
10	Danladi	Socle	794028	7,717222222	14,59277778	28,6	1751	7,55	204,6	1,98
11	Daratcham	Socle	727719	9,672222222	14,12194444	32,7	660	6,8	12,32	0,007
12	Doufoufouk	Socle	722303	9,236944199	13,99083328	28,5	703	7,36	42,67	0,26
13	Dungass	Socle	-	9,341657	13,06388	30,8	83	6,12	3,96	0
14	Faya Haoussa	Socle	727888	9,170000076	13,89472198	33,4	1031	6,5	8,8	0,01
15	Foulatari	Socle	727837	9,890277863	14,14861107	31,00	1022	6,8	30,8	0,01
16	Garin Malam Fagué	Socle	727662	9,829166412	14,12638855	32,2	661	6,8	76,4	0,018
17	Gorgoré	Socle	722282	9,425000191	13,85499954	32,1	727	6,2	42,8	0,01
18	Guidimouni	Socle	-	8,983361111	12,86672222	30,6	353	6,18	37,84	0,01
19	Ididigouri	Socle	790865	9,913888889	14,23333333	32,0	234	7,00	14,2	0,08
20	Kakissara	Socle	722316	9,25	14,075	30,1	909	6,8	49,72	0,06
21	Kassama	Socle	718984	9,136111259	13,97222233	28,1	1368	6,95	180,4	1,12
22	Kourni	Socle	790400	8,428603	13,58639	31,1	39	5,63	0,22	0

Source: DRHA/Z

Tableau 2. Teneurs en nitrates des eaux des forages échantillonnés, 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 Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder)

23	Kourssadi	Socle	727814	9,624444444	14,225	31,6	630	6,8	83,6	0,01
24	Maya Tchasko	Socle	727963	9,550000191	13,94722176	31,6	1250	7,3	101,2	0,09
25	Méoumé	Socle	727984	8,855278015	13,79305553	30,3	428	7,45	41,6	0,213
26	Midik	Socle	707464	9,230555534	13,91472244	28,6	551	6,94	42,8	2,64
27	Nassalé	Socle	722285	9,171944444	13,90333333	31,2	1116	6,8	43,2	0,014
28	Ourak	Socle	722215	9,45	14,09444444	31,6	730	6,8	40,48	0,1
29	Sabon Roua	Socle	791272	9,361103	13,72777	29,1	941	6,8	41,12	0,1
30	Tchidassawra	Socle	722079	9,616666794	14,22638893	31,1	763	7,3	40,6	0,42
31	Tirmou	Socle	722225	9,354999542	13,71694469	31,7	789	6,8	7	0,1
32	Tis	Socle	793907	8,898611069	13,77777767	28,5	766	7,31	37,84	0,26
33	Yékoua	Socle	722619	8,450055556	13,21669444	31,1	73	6,07	3,52	0
34	Zengon Soumagaila	Socle	725907	8,925000191	13,78888893	32,7	1684	7,42	48,56	2,84

Source: DRHA/Z

4.1 VARIATION DES TENEURS EN NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE

Les valeurs maximales et minimales, moyennes et écarts types des paramètres physico chimiques, sont consignés dans le tableau 3 ci-dessous:

Tableau 3. 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

Il ressort du tableau 3, que les teneurs en nitrates, des eaux des nappes du socle du 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.

Les résultats analytiques de trente-quatre (34) points d'eau moderne, échantillonnés (tableau 1 et 2) montrent que (Fig.2):

- 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

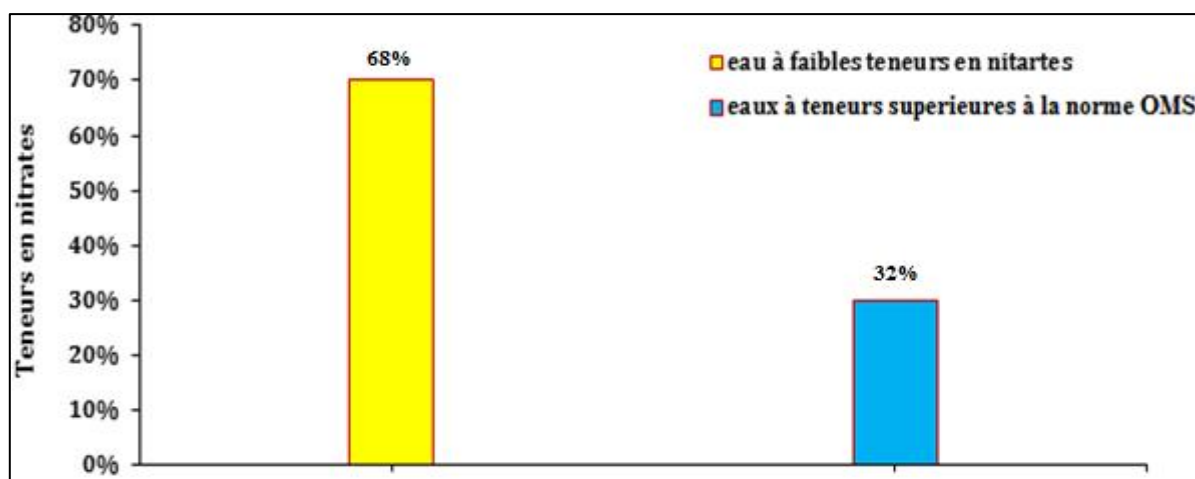


Fig. 2. Représentation graphique des forages dont les eaux sont à faibles teneurs en nitrates et celles dont les teneurs sont supérieures à la norme OMS

4.2 IDENTIFICATION DES ORIGINES DES 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 4, ci-après (DRH, 2009):

Tableau 4. Valeurs en Azote 15, des points d'eau de la zone d'étude

Forages	Longitude	Latitude	Altitude	Aquifère	NO ₃	NO ₃ meq	15N	NO ₃ T
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
Birni Kazoé	9,96	14,21	394,00	SOCLE	308,88	4,98	7,20	1,3

Les valeurs isotopiques en Azote 15 (¹⁵N), obtenues dans les eaux de la zone (tableau 4), varient de 0 à 7,2, montrant ainsi que ces nitrates pourraient provenir de la nature du sol (boubrier autour des points d'eau) et engrais chimiques, urées et fertilisants utilisées dans la zone d'étude (DRH, 2009).

4.3 IDENTIFICATION DES ZONES À TENEURS ÉLEVÉES EN NITRATES

La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone, montre que celles-ci sont plus accentuées entre les villes de Damagaram Takaya et Birni Kazoé. La carte ci-dessous (Fig.3), met en évidence des zones à fortes teneurs en nitrates qui se caractérisent par de valeurs supérieures à 100 mg/L.

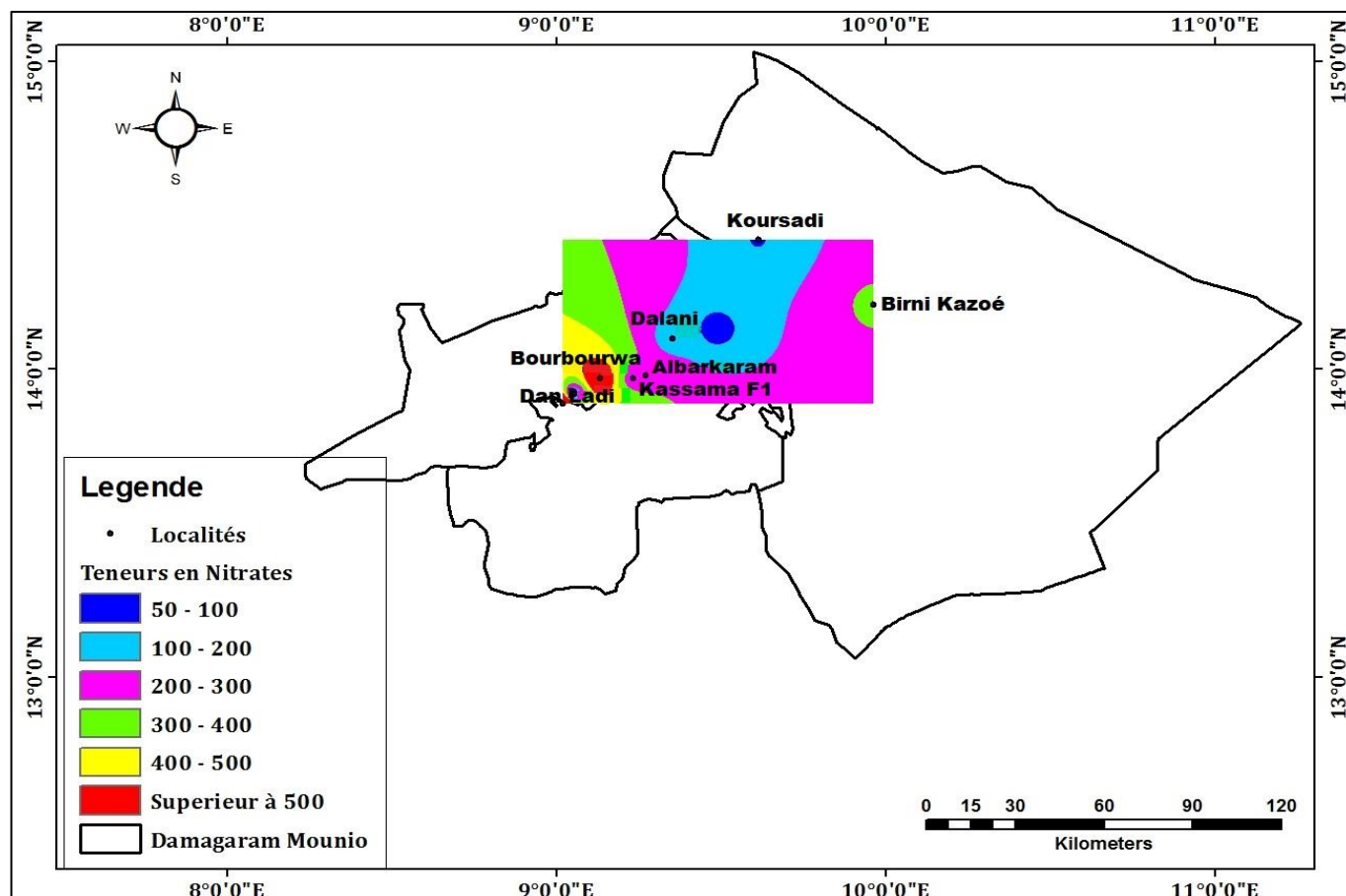


Fig. 3. Carte de localisation des zones de teneurs élevées en nitrates de la zone d'étude

Cette pollution surtout de type nitraté, amène les populations à abandonner plusieurs ouvrages construits à grand frais, qui devrait réduire le manque d'eau dans la zone du socle du Damagaram Mounio. En effet, ces teneurs en nitrates contribuent à la réduction des taux d'accès à l'eau potable, dans la zone du socle du Damagaram Mounio.

4.4 RÉLATION ENTRE LES TENEURS EN NITRATES ET LA MINÉRALISATION DES EAUX DE LA ZONE D'ETUDE

La relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs de conductivité électrique des eaux (Fig.4), montre que la minéralisation des eaux souterraines de la zone, est contrôlée par les ions nitrates. Il se dégage une relation entre les nitrates et la minéralisation des eaux, qui s'exprime par la relation suivante:

$$NO_3 = 0.0945 * CE \text{ (us/cm)} + 10.55 \text{ (R}^2=0,74)$$

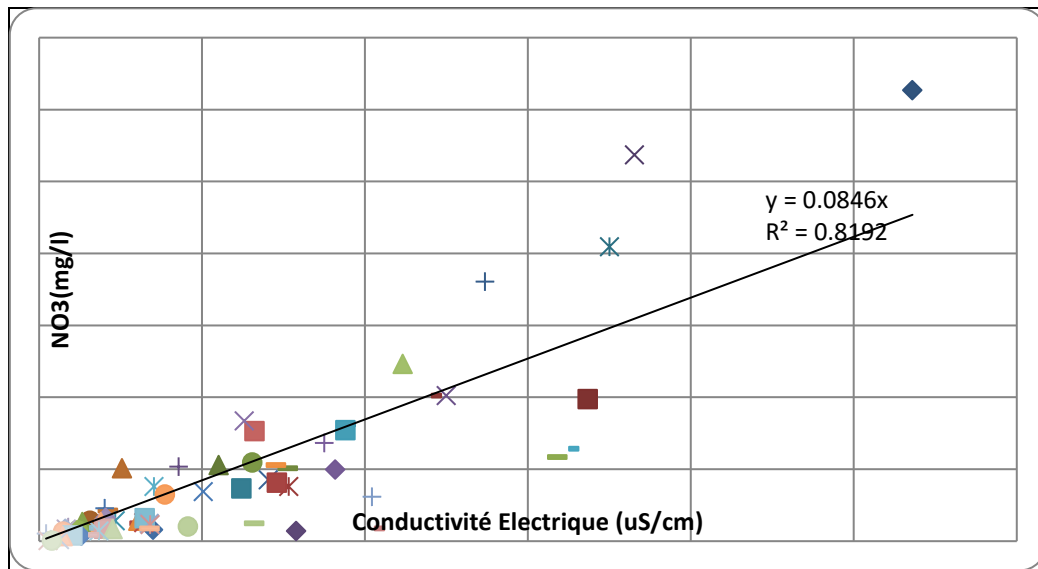


Fig. 4. Relation entre les nitrates et la minéralisation des eaux de la zone d'étude (DRH, 2009)

5 CONCLUSION

Les teneurs isotopiques en Azote 15 (^{15}N), obtenues dans les eaux souterraines de la zone, varient de 0 à 7,2, montrant ainsi que ces nitrates, pourraient provenir de la nature du sol (bourbier autour des points d'eau) et engrais chimiques, urées et fertilisants, utilisées dans la zone d'étude. En effet, cette étude a permis de montrer que dans la zone du socle du Damagaram-Mounio, les nitrates ont une origine superficielle. Les teneurs en nitrates des eaux des nappes de la zone, varient de 0,22 à 313,3 mg/L, avec une moyenne de 72,23 mg/L, et un écart type de 62,23. Ainsi, **32%** des ouvrages modernes échantillonnés, 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); ces eaux sont impropres à la consommation humaine. La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone, a montré que celles-ci sont plus accentuées entre les villes de Damagaram Takaya et Birni Kazoé, qui se caractérisent par de valeurs supérieures à 100 mg/l. Par ailleurs, la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs des conductivités électriques des eaux, a montré que la minéralisation des eaux souterraines de la zone, est contrôlée par les ions nitrates.

REFERENCES

- [1] AHOUSSE, E.K., 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] ADELAM S.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] Boukari, M. (1998): Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois. Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal. 345p.
- [4] BRGM, (1983): Projet 1000 forages, Analyse des résultats des forages par traitement statistique.
- [5] BRGM, (1983): Programme hydraulique villageoise du conseil de l'entente, 1^{er} phase.
- [6] Cadilhac, O. (1990-1991): Atlas des ressources hydrauliques du département de Zinder, Arrondissement de Mirriah, Magaria et Matamèye. Rapport. Direction départementale de l'hydraulique de Zinder.
- [7] Chemseddine, F., Abderrahmane, B., Abdelkader, R. & Elias, S. (2009): Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud- Est algérien. *Afrique Science*, 05 (2) 217-231.
- [8] CANTER LW. (1997): Nitrate in Groundwater. Edition Lewis publishers.
- [9] DRH/Z. (2013): Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder.
- [10] DRH/Z. (2014): Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder.
- [11] Kruger, I. (1977): Etude hydrogéologique de Damagaram Mounio et du Sud Maradi.
- [12] Jessen P. (1992). Analyse des conditions hydrogéologiques en vue d'un programme d'hydraulique rurale dans le département de Zinder. Rapport. Direction départementale d'hydraulique de Zinder. 344.
- [13] Kouassi, M.A., Yao, A.K., Ahoussi, E.K., Seki, C.L., Yao, A.N., Kouassi, I.K. & Biemi, J. (2010): Apport des méthodes statistiques et hydrochimiques à la caractérisation des eaux des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 4 (5): 1816-1838.
- [14] 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.
- [15] Pontié, M., Rumeau, M., Ndiaye, M. & Diop, C.M. (1996): Sur le problème de la fluorose au Sénégal: bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux de boisson. *Cahier Santé*, vo1.6: p. 27-36.
- [16] M.O. *Elimination des nitrates des eaux potables, Document Technique* FNDAE Hors-Série N°4. Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.
- [17] Rodier, J., Legube, B. & Merlet, N. (2009): L'analyse De L'eau (9 E Edition). Ed Dunod. Paris. 1579 pp.
- [18] 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.