

Les phénomènes de nitrification des eaux souterraines dans la région de Tillabéry (Niger)

Marou Gourouza¹, Garba Zibo¹, Karifa Bayo^{2*}

¹*Faculté des sciences Université Abdou Moumouni de Niamey BP: 10662 Niamey-Niger.*

²*Laboratoire de Chimie de Coordination, UFR-SEA Université de Ouagadougou 09 BP 854 Ouagadougou 09, Burkina Faso..*

(Reçu le 12/04/2008 – Accepté après corrections le 05/04/2009)

Résumé : Des échantillons d'eaux de consommation provenant de trois cent points d'eau souterraine repartis sur toute la région de Tillabéry (Niger) ont été analysés. Les résultats révèlent qu'environ 2/3 de ces points d'eaux connaissent un début de pollution au nitrate ; 10% sont impropres à la consommation humaine avec des teneurs supérieures à 50 mg/l, la norme admise par l'OMS.

Dans la zone riveraine du fleuve, zone d'intenses activités agro-pastorales, la pollution pourrait avoir pour origine les intrants agricoles. Quant à la zone non riveraine du fleuve, elle pourrait être liée à l'altération des roches calcaires ou crayeuses. Le taux de potassium est dix fois moins élevé dans cette seconde zone.

Mots clés : eau, pollution, nitrate, potassium, Tillabéry (Niger).

The phenomena of nitrification of underground waters in the area of Tillabéry (Niger).

Summary: We have analyzed about three hundred samples coming from underground water of all the area of Tillabery (Niger). The results reveal that about 2/3 of them have begun to be polluted by nitrate; 10% are unsuitable to human consumption with contents which are higher than 50 mg/l, the norm of WHO.

In the river area, where we have intensive farming and cattle farming activities, the pollution comes from the farming chemical products. In the area outside the river, the pollution can be binding to the limestone. The contents of potassium are ten times lower in this area.

Keywords: Water, pollution, nitrate, potassium, Tillabery (Niger).

* Auteur de correspondance : Tél. : (00226) 50 36-67-13. Email : bayo@univ-ouaga.bf ou karifabayoy@yahoo.fr

1. Introduction

La majeure partie des aménagements hydro-agricoles du Niger se situent le long du fleuve dans la région de Tillabéry ; on y cultive du riz, des légumineuses et des cultures maraichères ^[1]. Ces activités entraînent une importante utilisation d'intrants qui vont éventuellement provoquer une dégradation des eaux.

Quelques études antérieures ont essayé d'expliquer la présence anormale de nitrates dans les eaux. D'après Girard, la pollution en nitrate semble être d'origine anthropogénique ; mais les sources de cette pollution ne sont pas identifiées ^[2]. Des études utilisant l'azote ¹⁵N ont exclu des apports important à partir des engrais, malgré l'intense activité agricole de la région ^[1].

Gali-Lacaux et Modi ont fait état de l'enrichissement considérable de l'atmosphère de la région en nitrate ^[3]. Les éclairs d'orage ionisent l'air qu'ils traversent, provoquant la formation du NO qui s'oxyde ensuite en NO₂ au contact de l'oxygène de l'air. Cette oxydation va entraîner lors d'une pluie une arrivée tout à fait naturelle de HNO₃ au sol, quelques fois très loin de l'endroit où le NO s'est formé ^[3].

La présence anormale de nitrates dans les eaux peut être la conséquence d'une intrusion dans les nappes phréatiques de la matière organique ou minérale azotée. En effet, le sol renferme des complexes enzymatiques d'origine microbienne et végétale qui dégradent la matière organique. L'azote est un élément constitutif des acides aminés qui sont les constituants de base des peptides et des protéines. Les différentes formes d'azote tendent toutes à se transformer plus ou moins rapidement en nitrate ^[4].

Cette présence des nitrates peut être aussi le résultat d'interaction eau/roche dans les systèmes aquifères ^[5]. En effet, les processus chimiques qui ont lieu dans le sol affectent sa pédogenèse avec le temps. Les minéraux issus de la roche mère libèrent des éléments qui subiront diverses transformations et transferts dans le sol pour se retrouver dans les eaux souterraines. Selon BLOCK Burn, les plus grands stocks d'azote résident dans les roches cristallines ; dans les minéraux silicatés, l'ion NH₄⁺ occupe le site cristallographique de K⁺ ^[6].

A notre connaissance, aucun travail antérieur n'a pu établir un lien direct entre la pollution des eaux souterraines de cette zone et les activités agropastorales. Le but de ce travail est de mettre en évidence d'une part l'importance de la pollution des eaux souterraines en nitrates et d'autre part, son origine.

2. Partie expérimentale

2.1. Période

En 2004-2005, nous avons organisé deux campagnes de collecte et d'analyse d'eau de puits. La première campagne a eu lieu en Juillet et décembre 2004 et la deuxième campagne en Mars et Avril 2005.

2.2. Sites

Trois cents (300) points d'eau répartis sur toute la région de Tillabéry (figure 1) ont été échantillonnés pour analyse des paramètres physico-chimiques.

Les points d'eau ont été sélectionnés en fonction des résultats de travaux antérieurs (Bernert et al. ^[7] ; Joseph et Ousmane ^[8] ; Joseph et Girard ^[9] ; Ousmane ^[10] ; Girard ^[2] ; Girard et Hillaire-Marcel ^[11] ; Idrissa ^[11]).

L'échantillonnage a concerné le socle incriminé et les terrains du Continental terminal susceptibles d'alimenter les aquifères discontinus.

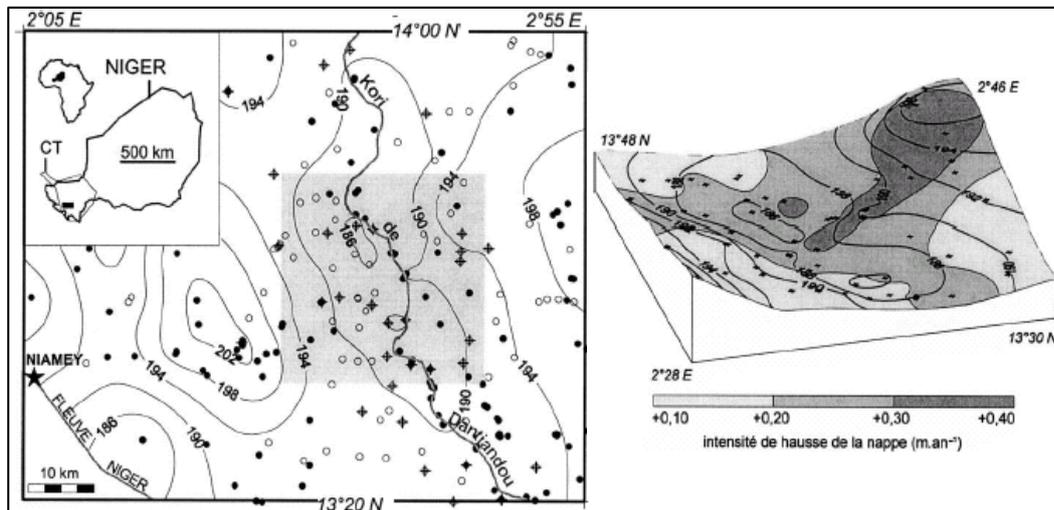


Figure 1 : localisation de la zone d'étude dans le sud-ouest du Niger dans les limites du Continental terminal.

2.3 Méthodes et équipements d'analyse

Le matériel de terrain est composé d'un spectrophotomètre, d'un ti trimètre digital, des mallettes à réactifs, des glacières, un conductimètre, un pH-mètre et un thermomètre.

Les échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques des éléments majeurs ont été recueillis dans des bouteilles en polyéthylène complètement remplis afin d'éliminer les bulles d'air. Certains paramètres physico-chimiques (température, pH et conductivité) ont été déterminés *in situ*. Les échantillons destinés au dosage des nitrates ont été préalablement filtrés sur membrane millipore à l'aide d'une pompe à vide manuelle et ont été conservés à pH = 2 avec de l'acide sulfurique pour inhiber une activité bactériologique éventuelle. Au laboratoire, ils ont été conservés sous une température de 4°C. Les NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Fe, F^- ont été dosés avec un spectrophotomètre Hach DR 2000. Le Na^+ et le K^+ ont été dosés par un

photomètre à flamme Sherwood 410. Le calcium et le magnésium ont été dosés par volumétrie. Ces mesures ont été effectuées au laboratoire d'analyse des eaux de l'Université Abdou Moumouni

de Niamey agréé par l'AIEA. Les analyses ont été effectuées dans un délai de 72 heures (échantillonnage et dosage)

3. Résultats et discussions

3.1 Résultats expérimentaux

Sur les trois cents échantillons analysés, seuls les points d'eau où la teneur en nitrate est supérieure ou égale à 20mg/l ont été retenus. Cette teneur est indicative d'un début de pollution en nitrate. En effet, les niveaux naturels en nitrate dans les eaux souterraines sont, en général, très faibles (moins de 10 mg/l NO_3^-). Nous avons aussi regroupé les villages en deux zones: une première regroupant les villages riverains du fleuve Niger où se situent les aménagements hydro agricoles et une deuxième zone regroupant les villages qui ne sont pas riverains du fleuve.

Les résultats expérimentaux sont consignés dans les tableaux ci-dessous Etudes de corrélation

Corrélations nitrate-calcium et nitrate- magnésium

La présence du calcium et du magnésium dans les eaux souterraines

Tableau N° I : résultats des villages riverains du fleuve (concentrations en mg/l)

<i>Repérage</i>	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Fe^{++}	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	NO_3^-	NO_2^-	F^-	<i>Température</i>	<i>pH</i>
<i>Boubon 1S</i>	72,7	41,34	13,5	1	0,21	42	51	235	96,67	0,02	trace	34	6.33
<i>Boubon 2S</i>	76	38	12	1	0,34	35	45	231	78,9	0,02	0,01	31	6.34
<i>Karey Gorou</i>	23	13	3,35	0,9	0,14	9	9	75	49,9	0,09	trace	31	7.11
<i>Karma 1</i>	198,45	21,76	57,87	1,02	0,02	112	132	299	132	0,05	trace	32	6.74
<i>Karma 2</i>	132	22	67	1	0,03	113,1	121,9	300,6	79	0,06	trace	32	6.87
<i>Karma 3</i>	154	21	34	1	0,04	99,97	98,43	298	56	0,03	0,08	31	6.76
<i>Kolo Zongo</i>	11	8,9	2,1	1	0,01	11	9	2	48,2	0,22	trace	32	7
<i>Kossey</i>	33	12,5	2,5	1	0,12	10	8	87	51	0,04	trace	33	7.02
<i>Liboré B.Banda</i>	44	58	25	1	0,08	23	44	302	43	0,03	trace	31	7.12
<i>Niamé</i>	61,6	43,6	66,34	2	0,05	45	115	302	125,9	0,05	0,03	31	6.21
<i>Saga</i>	34	54	21	2	0,09	8,1	27	345	41	0,02	trace	31.3	7.09
<i>Boubon 3S</i>	58	35	16	1	0,12	21	32	261	32	0,01	trace	33.2	6.21
<i>Diokoti Say</i>	13	9	2	2	0,03	23	6,7	4,1	31	0,09	0,08	32.4	6.76
<i>Ndounga goungou</i>	56	46	8	0,9	0,03	24	61	270	30,1	0,04	trace	32	6.33
<i>Settoré</i>	21	33	23,1	2	0,12	11,2	5	211	34	0,04	trace	29	5.98
<i>Somboulukongo</i>	31	8,2	11,9	0,7	0,2	20	61	19,45	29,3	0,019	trace	27	6.34
<i>Balati</i>	33	32	7	1,9	1	29	2	207	21	0,09	trace	28	7.06
<i>Boigna</i>	51,24	6,2	51	1	1	19,2	4,9	224	24	0,012	0,01	31	6.76
<i>Dara</i>	45	28	8,9	2	0,9	35	1	203	23	0,09	0,05	32	6.33
<i>Karta</i>	33	9,5	20	0,9	0,09	16	52,4	81,2	21	0,03	0,01	31	6.98
<i>Kohan Kourtéré</i>	45	16	13	0,9	0,04	20	48	121	21	0,02	0,05	32.6	6.54
<i>Korogoungou</i>	102	38	29	6	0,06	54	45	379	21	0,04	0,01	33	7.34

Tableau N°2 : résultats des villages non riverains du fleuve (concentrations en mg/l)

<i>Repérage</i>	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Fe^{++}	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	NO_3^-	NO_2^-	<i>F-</i>	<i>Température</i>	<i>pH</i>
<i>Sayo</i>	167,5	60,2	11	0,07	0,01	99	156	300,4	125,3	0,12	0,08	29	7,34
<i>Latakabia 2</i>	99	31,24	71	0,2	0,1	45,2	90	343	45,64	0,022	trace	32	6,9
<i>Latakabia 1</i>	102	31	74	0,2	0,1	45	91,3	343	56,34	0,02	trace	31,23	6,9
<i>Koyria Gourma</i>	36	39,3	96	0,01	0,31	14,3	14,5	398,5	95,32	0,2	trace	31	7,00
<i>Koulou Koira</i>	112	66,2	87,12	0,03	0,05	91	45,3	378	112,1	0,11	0,05	31	6,33
<i>Kouara lami</i>	100,2	34,5	12,3	0,21	0,21	119	52,4	178	53,67	0,08	trace	32,2	7,02
<i>Karbassaye</i>	26,54	15,4	11	0,09	0,07	3	7,8	111	51,2	0,02	trace	33	6,54
<i>Gourel 1</i>	54	32	14	0,09	0,09	22	32,1	298,7	34	0,02	0,05	31,4	6,78
<i>Gabou</i>	74,9	33,2	42,3	0,09	0,09	25,6	4,3	305,6	120,3	0,02	0,05	31	6,68
<i>Diomona</i>	90,2	21	16,3	0,01	0,02	2,1	69	278	102	0,09	0,08	32,4	6,67
<i>Dangala</i>	22,14	6,2	21	0,01	0,12	15,1	7	78	33	0,01	0,08	32	7,54
<i>Daïbéri</i>	154	50,78	75,32	0,21	0,28	102,4	75,98	381,5	164,2	0,01	0,02	32	6,34
<i>Babagadékoira</i>	56	19,6	25	0,54	0,07	25,6	7,12	167	98,95	0,09	0,05	28,7	6,72
<i>Koyria</i>	61	31,23	9,45	0,09	0,02	17,78	26	278	31	0,21	0,08	31	7,01
<i>Namaro 1</i>	10,2	3	51	0,05	0,23	17,5	5,3	123	29	0,02	trace	32	7,00
<i>Namaro 2</i>	10	2,3	52	0,01	0,1	15	5,64	123	28,6	0,01	0,01	34	7,00
<i>Tagabati</i>	51,3	22,2	41,23	0,09	0,09	21,2	32,1	298,7	32,2	0,02	0,05	27,9	5,76
<i>Ziguïda</i>	15,6	6,87	51	0,01	0,3	14,6	9,12	156,3	32,5	0,01	trace	33	7,14
<i>Banibangou</i>	14,65	6,32	48,9	0,12	0,14	12,68	7	145	26,2	0,02	0,08	32	6,61
<i>Djabou</i>	37	10,1	8,9	0,1	0,01	7,8	0,09	172,4	21	0,02	trace	32,3	6,15
<i>Doga</i>	13,9	8,5	5,2	0,09	0,13	7,1	1,8	56	23	0,04	trace	32,4	6,76
<i>Doungoulo</i>	63	4,3	15,7	0,2	0,09	14	54,9	112	23,5	0,01	0,01	33	6,33
<i>Egabangou</i>	23	6,1	21	0,3	0,12	19,5	9,12	100	24	0,02	0,02	33	6,76
<i>Garéba</i>	31,7	21	21	0,06	0,2	31,2	54,9	91	21	0,02	0,01	31,4	7,06
<i>Katchirga</i>	23	12,6	11	0,09	0,12	3	7,8	112	21	0,03	0,05	32	6,87
<i>Komané</i>	32,1	4,5	23	0,09	0,5	15	8,12	99	24	0,013	0,01	32,13	7,11

est souvent due à la décomposition des roches avec les pluies acides, et/ou l'agressivité des eaux vis-à-vis de celles-ci.

Corrélations nitrate-chlorure

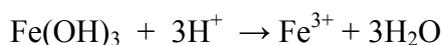
Les excréments humains, animaux et les urines sont des composés très riches en chlorures et en matières azotées. L'usage des fosses septiques et des puits comme moyen d'élimination des déjections humaines et l'élevage intensif sont souvent à l'origine d'une pollution nitrée et chlorée des eaux souterraines ^[12].

Corrélation nitrate-potassium

Avec l'usage des engrais NPK dans la culture du riz, le potassium non assimilé par les plantes peut, par effet cumulatif avec le temps, se retrouver

Corrélation nitrate - fer

La matière organique du sol, une fois transférée dans les eaux souterraines, provoque un épuisement de l'oxygène dissous et rend les eaux agressives vis-à-vis des roches. Le fer devient soluble et peut passer en solution selon la réaction :



3.2 Discussion

Une comparaison des caractéristiques chimiques des eaux de la zone riveraine du fleuve et celles des points d'eau hors fleuve, permet de mettre en évidence une pollution nitrée des eaux souterraines de la première. - les teneurs en potassium sont en moyenne dix fois supérieures à celles de la zone non riveraine du fleuve.

- les teneurs en calcium et en magnésium sont plus élevées dans la zone riveraine du fleuve.

Dans la zone du fleuve, les paysans, dans le cadre de l'amélioration des rendements des cultures, utilisent de grandes quantités d'engrais chimique dont le NPK. Les périmètres irrigués de la région de Tillabéry ont chacun plus de vingt ans d'existence. Les nitrates se déplacent lentement dans le sol et les eaux souterraines : il y a un temps de latence d'approximativement 20 ans entre l'activité de pollution et la détection du polluant dans les eaux souterraines ^[13]. C'est peut-être ce qui explique les résultats de Girard ^[2] et Idrissa ^[1] qui ont exclu une importante contribution des engrais à la pollution nitrée, malgré le fait que la région soit connue pour ses cultures de riz. Contrairement aux eaux superficielles, le renouvellement des eaux profondes est très lent ; une pollution y persistera plus longtemps.

Deux phénomènes peuvent expliquer la présence anormale du potassium dans les eaux:

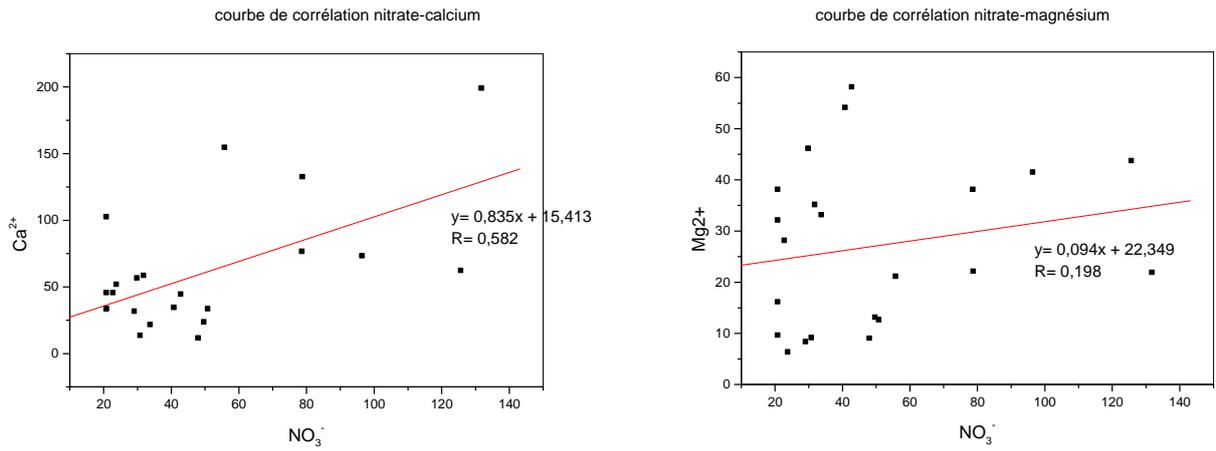
- un transfert vers les nappes du surplus du potassium utilisé dans l'agriculture et non assimilé par les végétaux ;

- un échange cationique dans le sol.

La corrélation nitrate-potassium montre que la présence du potassium dans les eaux n'est pas fortement liée à celle des nitrates. Les faibles coefficients de corrélation nitrate-fer, nitrate-chlorure, nitrate-calcium et nitrate-magnésium montrent que l'excès de nitrate dans les eaux de la zone riveraine du fleuve ne provient pas essentiellement des excréments et des urines ou de la dégradation de roches renfermant du calcium ou ferrugineuses.

Dans la zone non riveraine du fleuve, les coefficients élevés de

Zone du fleuve



Zone hors fleuve

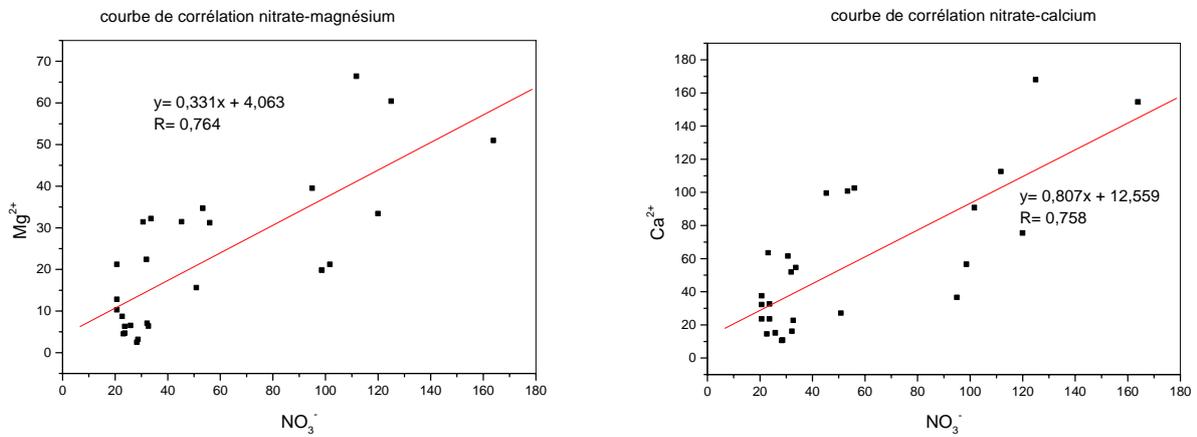


Figure 2 : Courbes de corrélation nitrate-calcium et nitrate-magnésium.

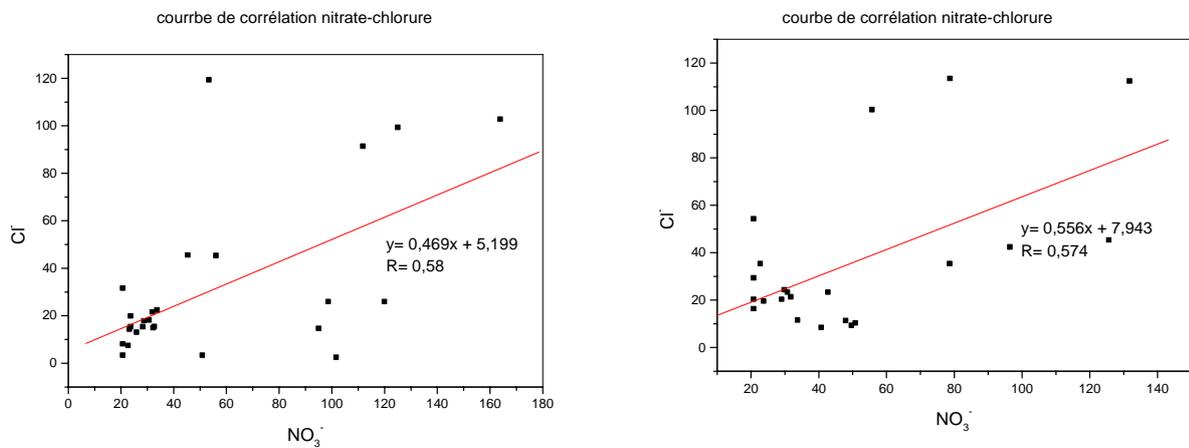


Figure 3 : courbes de corrélation nitrate-chlorure dans la zone du fleuve à droite et à gauche dans la zone non riveraine du fleuve.

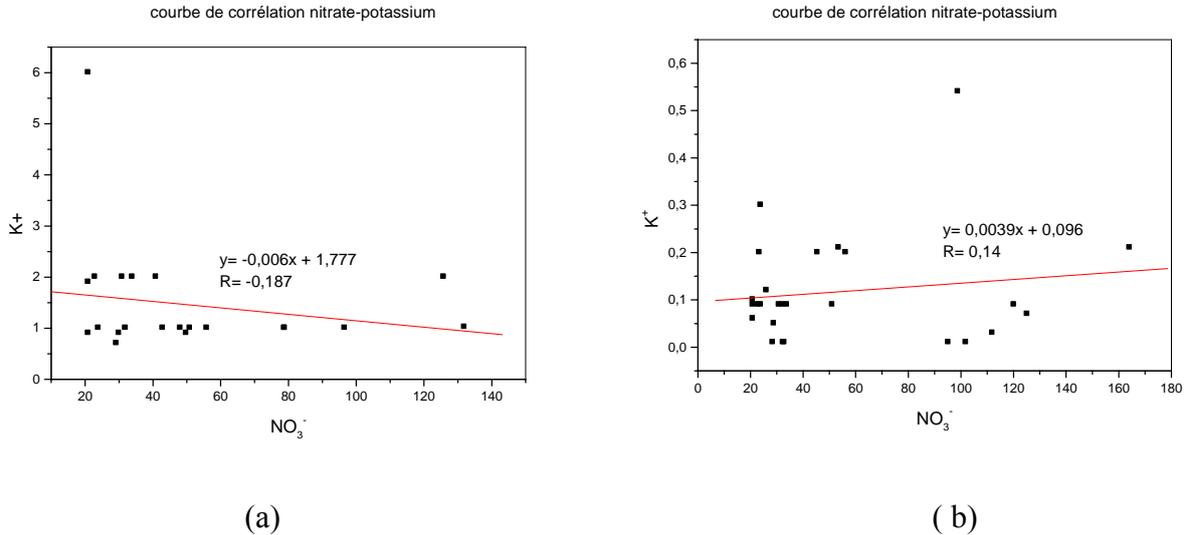
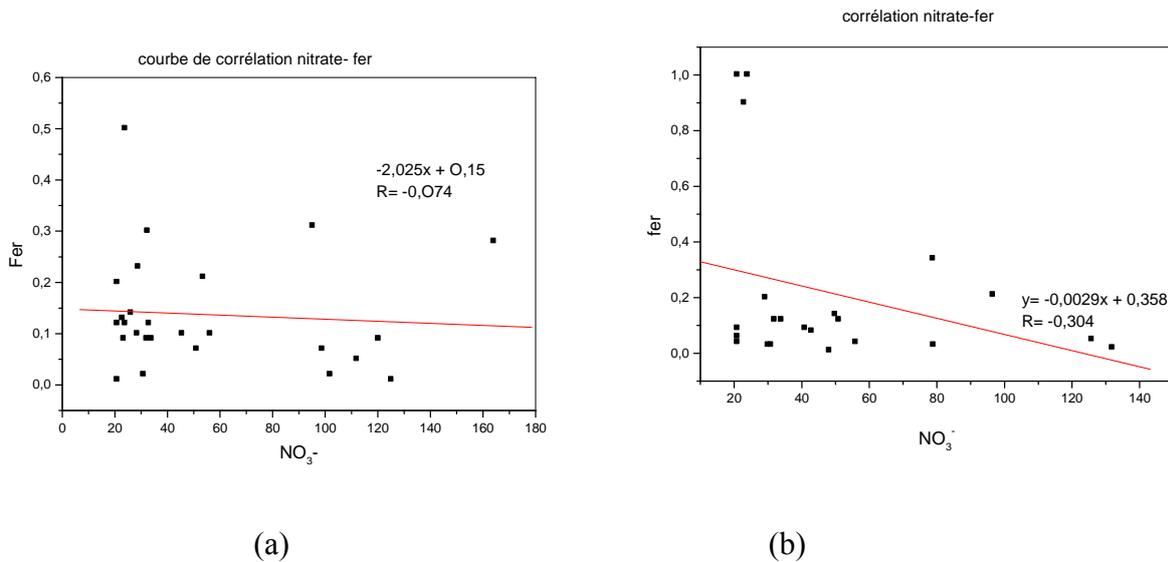


Figure 4 : courbes de corrélation nitrate-potassium (a) : zone riveraine du fleuve ; (b) : zone non riveraine du fleuve.



Figures 5 : courbes de corrélation nitrate-fer : (a) : zone riveraine du fleuve ; (b) : zone non riveraine du fleuve.

corrélation nitrate-calcium et nitrate-magnésium nous permettent de dire que la pollution nitrée dans cette zone est essentiellement due à la dissolution de roches contenant du calcium et du magnésium. En effet, les réactions majeures, reconnues comme responsables d'enrichissements ou d'appauvrissements des éléments majeurs et traces dans les eaux souterraines, sont l'échange de cation dû à l'interaction eau-roches

carbonatées, les échanges de bases et la réduction des sulfates ^[14]. Dans un environnement carbonaté, l'enrichissement en Ca^{2+} et l'appauvrissement en Mg^{2+} simultanés s'expliquent surtout par les phénomènes d'interactions eau-roche comme la dolomitisation, la dissolution et la précipitation ^[14]. Dans la zone riveraine du fleuve, les eaux semblent être plus chargées en calcium qu'en magnésium. La réaction d'échange $Ca^{2+}-Mg^{2+}$

(dolomitisation) a été signalée comme cause principale de diminution du rapport Mg/Ca dans les eaux des bassins carbonatés. Cette diminution est progressive selon l'âge croissant des terrains aquifères ; elle est contrôlée par l'équilibre entre la calcite et la dolomite et fortement dépendante de la température ^[14]. La réduction des sulfates favorise la dissolution des minéraux carbonatés ^[14]. Ce phénomène peut expliquer le fait que dans le tableau 2, en certains points où les teneurs en nitrate sont élevées, on constate que les teneurs en sulfate sont faibles et les teneurs en hydrogénocarbonate très fortes. Exemple : Koyria Gourma (sulfate 14,3mg/l et HCO³⁻ 398,5mg/l) ; Gabou (sulfate 4,3mg/l et HCO³⁻ 305,6mg/l).

Le coefficient de corrélation nitrate-chlorure moyennement élevé nous permet de dire que des composés chlorés notamment les excréments et les urines (l'élevage et l'urbanisation) participeraient également à cette nitratisation sans en être la cause principale.

4. Conclusion

Après plus de vingt ans d'exploitation, le cumul des engrais minéraux et organiques utilisés dans les aménagements hydro agricoles de la région de Tillabéry, semble avoir des impacts négatifs sur la qualité des eaux souterraines de la zone riveraine du fleuve. Cette influence se manifeste d'une part, par les fortes teneurs en nitrate enregistrées dans les eaux. Ces teneurs dépassent quelques fois les 50mg/l, la norme admise par l'organisation mondiale de la santé pour les eaux de consommation. D'autre part, elle se manifeste par des teneurs en potassium qui sont en moyenne dix fois supérieures à celles de la zone non riveraine fleuve.

Dans la zone non riveraine du fleuve, la pollution nitratée semble être essentiellement due à l'altération de roches renfermant du calcium ou crayeuses. On ne peut pas négliger la contribution des matières azotées et chlorées.

Bibliographie

- [1]- I. Idrissa, Impact des aménagements hydro-agricoles sur les eaux souterraines situées le long du fleuve Niger. Rapport final de mandat de gestion 1995, (1998). DDH de Tillabery 20p.
- [2]- P. Girard, Techniques isotopiques (ISN, 180) appliquées à l'étude des nappes des altérites et du socle fracturé de l'ouest africain. Etude de cas: l'ouest du Niger. Ph.D. Thesis, Université du Québec à Montréal (UQAM), (1993).
- [3]- C. Galy-Lacaux, A. Modi, Precipitation chemistry in the Sahelian Savanna of Niger, Africa. *J. Atmos. Chem.* (1998) 30, 319, 343.
- [4]- M.Tardat-Henry et J. P. Beaudry, chimie des eaux (1984).
- [5]- B. M. Segema, C. Arnaud, R.Caruba et J. Piro, Faciès hydro chimique et minéralisation des eaux souterraines côtières de la nappe du traza (Mauritanie). *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* (1998) ; N°6.
- [6]- H. Chamayou, J. p. Legros, Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol (1996). Ed. Masson.
- [7]- O. Bernert, H. Dehay, H. Garin, C. Zunino, Programme d'urgence pour le renforcement de l'alimentation en eau potable des quartiers périphériques de Niamey (Niger). Bureau des Recherches Géologiques et Minières Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie (Niger) (BROM/MHE), Paris, (1985).
- [8]-A. Joseph, B. Ousmane, Pollution nitratée de la nappe alluviale du fleuve Niger à Niamey. *Ann. Univ. Niamey*

III, 129, (1988).

[9]- A. Joseph, P. Girard, Etude de la pollution en nitrate des aquifères du socle: exemple de la nappe de Niamey. Ministère de l'Hydraulique du Niger, (1990).

[10]- B. Ousmane, Synthèse hydrogéologique des aquifères discontinus des formations du socle en République du Niger. Project Report (Aquifères Discontinus - Niger). International Development and Research Center (IRDC), Ottawa, Canada, (1989).

[11]- P. Girard, C. Hillaire-Marcel, Determining the source of nitrate pollution in the Niger discontinuous aquifers using the natural $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios. *Journal of Hydrology*, (1997)199 ; 239-251.

[12]- M. Gourouza, Contribution à la détermination des facteurs de nitratisation des eaux des nappes du continental terminal CT3 à Niamey thèse de 3^{ème} cycle, Université de Ouagadougou (Burkina Faso), (2002).

[13]- C:\Users\user\Desktop\t-47870-nitrates-eau.html. LENNTECH : Les nitrates dans les eaux souterraines.

[14]- Mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines dans le bassin Sahelo-Doukkala (Maroc occidental) ; approche par des traceurs hydrogéochimiques :

-A. El Achheb, LGTE, Equipe d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences, B.P. 20, 24000 El Jadida, Maroc. Elachheb@ucd.ac.ma / elachheb@hotmail.com.

-J. Mania, EUDIL, Université de Lille1, 59655 Villeneuve d'Ascq, France Jacky.mania@eudil.fr.

-J. Mudry, Laboratoire de Géosciences, Université de Franche Comté, 25030 Besançon, France. Jacques.mudry@univ-fcomte.fr.