DETERMINATION DES FACTEURS DE NITRATATION DES EAUX DU CONTINENTAL TERMINAL CT3 A NIAMEY.

M Gourouza[1], K. Bayo[2*], F. Gado[2], G. V. Ouédraogo[2]

[1] Département de Chimie, Fast Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.
[2]Laboratoire de Chimie de Coordination, UFR-SEA Université de Ouagadougou 09 BP 854 Ouagadougou 09, Burkina Faso. Tél. (00226) 36-67-13. Email : bayo@univ-ouaga.bf.

(Reçu le 17-04-2005 – Accepté après révision le 05/05/2006)

Summary: We have identified the potential sources of nitratation of phreatic tables of CT3 (continental terminal niveau 3). Our results give evidence that the high concentration in nitrate in some emplacements is not mainly due to percolated waters. The correlation more high between the concentrations of nitrates and chlorides permits to justify that the potential sources of nitratation are hold well transformed in cesspools and dumps.

Keywords: CT3 water, pollution, nitrates, Niamey.

Résumé: Nous avons identifié les sources potentielles de nitratation des eaux des nappes phréatiques du continental terminal niveau 3 (CT3). Nos résultats ont permis d'établir que les fortes concentrations en nitrates en certains points de celles-ci ne sont pas essentiellement dues à l'infiltration de lixiviats par le biais des eaux d'infiltration. La corrélation beaucoup plus élevée entre les concentrations des nitrates et celles des chlorures permet de justifier que les sources potentielles de nitratation sont des anciens puits transformés en fosses d'aisance et des puisards profonds.
Mots clés: eaux CT3, pollution, nitrates, Niamey.

I. INTRODUCTION

La Société d'Exploitation des Eaux du Niger ne couvre qu'environ 64% des besoins en eau potable des populations à Niamey. Nombreux sont les habitants de Niamey qui s'approvisionnent en eau à partir d'autres sources dont les puits alimentés par les nappes phréatiques du CT_3.

Paillet, dans une étude réalisée en 1986 a constaté la présence anormale de nitrates (plus de 50 mg/l) en certains points des nappes phréatiques du CT_3 [1]. S. Kehren, dans une autre étude réalisée en 1995 a constaté une évolution du nombre de puits présentant des taux en nitrates supérieurs à 50 mg/l [2].

Des études de suivi de la qualité des eaux du CT_3 réalisées par la Direction des Ressources en Eau confirment cette présence anormale de nitrates dans les eaux [3].

Elles peuvent être dangereuses pour les pulations qui les utilisent. Pour les nourrissons par exemple, la présence de nitrates dans l'organisme provoque une oxydation du fer de l'hémoglobine ($F_e^{2+} \longrightarrow F_e^{3+} + e$) réduisant ainsi sa capacité de transfert de l'oxygène dans l'organisme [4].

La présence anormale de nitrates dans les eaux du CT_3 peut être la conséquence d'une intrusion dans les nappes phréatiques de la matière organique ou minérale azotée. Cette intrusion pourrait être favorisée par la géométrie des nappes phréatiques ; la nature semi-perméable à perméable des matériaux et/ou 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 [6] ; Des études ont déjà montré qu'à Niamey, l'altération de granites tend à produire de la kaolinite à partir des feldspaths [7].

En plus des éléments pouvant provenir de l'altération de la roche mère, 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 nitrates [8].

L'eau contenue dans le sol est soumise à une série de forces contradictoires qui la mettent en mouvement. Les mouvements de descente qui suivent les infiltrations des eaux de pluie alternent avec des remontées capillaires en période de sécheresse. Ce qui provoque un véritable lessivage des éléments du sol et leur entraînement vers les nappes phréatiques [9].

Les mouvements des solutés dans le sol se fait suivant deux phénomènes qui sont : l'entraînement par l'écoulement d'eau et la diffusion des molécules et des ions dans la masse d'eau qui reste elle-même immobile [9].

A notre connaissance, les différentes études n'ont pas pu identifier les principales sources de pollution en nitrates. Cette étude hydrochimique a pour but de contribuer à l'identification de sources principales de nitratation des eaux CT_3 à Niamey. Les investigations seront organisées autour des points suivants :

- l'identification des terrains d'études ;
- la détermination de paramètres chimiques indicateurs de pollution ;
- une étude de corrélation entre le taux de nitrate et ceux d'autres éléments chimiques tels que : NH_4^+, NO_3^-, Cl^-, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe.

II. PARTIE EXPERIMENTALE

Nous avons effectué deux campagnes d'échantillonnage suivi d'analyse d'eau de puits en juin 1998 et juillet 1999. Tous les puits étudiés sont alimentés par les nappes phréatiques du CT_3. Les résultats de la première campagne nous ont orienté vers les puits situés à proximité des zones d'accumulation des eaux de ruissellement sur terrain perméable.

Les échantillons d'eau ont été prélevés avec un flacon d'un litre en polyéthylène attaché à un fil en matière plastique. Avant tout prélèvement, l'eau du puits est d'abord homogénéisée par l'intermédiaire du matériel de prélèvement.

Les flacons sont complètement remplis afin d'éliminer les bulles d'air. Ils sont hermétiquement fermés et placés dans des glacières pour leur acheminement au laboratoire où ils sont conservés au frais à une température d'environ 4°C afin de ralentir les éventuelles réactions chimiques et microbiologiques [9].

La détermination des paramètres comme la teneur en nitrates et en ammonium, la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène (DBO) ont été effectuées dans un délai de 72 heures.

- les nitrates et l'ammonium des eaux ont été dosés par colorimétrie avec un auto-analyseur de modèle AA2 ;
- le sodium, le calcium et le magnésium ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique avec un appareil Perking-Elmer de modèle 23.80 ;
- les métaux lourds (éléments traces) et les chlorures ont été dosés par fluorescence avec un appareil de générateur de modèle K710H.
- La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène, exprimée en mg, qui est consommée dans les conditions de l'essai (incubation durant 5 jours à 20°C et à l'obscurité) par certaines matières présentes dans 1l d'eau, notamment pour assurer leur dégradation

par voie biologique. La DBO permet d'apprécier la charge d'un milieu considéré en substances putrescibles et son pouvoir auto-épurateur.

Pour sa détermination, on prélève 500 ml de l'échantillon dans une bouteille d'un litre ; on apporte des sels nutritifs (5 ml de solution de phosphates, 10 ml de solution saline), on introduit ensuite une capsule de potasse pour absorber le CO_2 dégagé par voie biologique. L'échantillon est incubé pendant 5 jours dans l'obscurité d'une enceinte à 20 ± 1°C.

A partir de la variation de la pression dans la bouteille, on détermine la quantité d'oxygène consommée.

Si l'échantillon contient du chlorure, on l'élimine en acidifiant à pH = 5,0 avec une solution aqueuse d'acide sulfurique diluée. On ajoute ensuite du sulfite de sodium ; on laisse reposer le mélange pendant 10 mn et on le neutralise avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium diluée.

- La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires bien définies. En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leur origine organique ou minérale.

On porte au reflux une prise d'essai de l'échantillon de l'eau à analyser en milieu acide, en présence de dichromate de potassium et de sulfate d'argent qui joue le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) (qui permet de complexer les ions chlorures).

Réaction d'oxydation :

$$Cr_2O_7^{2-} + 8H^+ \longrightarrow 2\,Cr^{+++} + 4H_2O + \frac{3}{2}O_2$$

Réaction pour supprimer l'interférence du chlorure :

$$2Hg^{++} + 4Cl^- \longrightarrow 2HgCl_2$$

On titre ensuite l'excès du dichromate avec une solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2]$ à 0,12 mmol/l en présence de 2 à 3 gouttes d'indicateur à la férroïne.

Réaction du titrage :

$$6Fe^{++} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \longrightarrow 6Fe^{+++} + 2\,Cr^{+++} + 7H_2O$$

Le résultat exprimé en mg/l est donné par la relation :

$$x = \frac{8000 \times C_{Fe(II)} \times \left[V_{Fe(II)_{blanc}} - V_{Fe(II)éch.} \right]}{V_{éch.}}$$

Avec : $C_{Fe\ (II)}$: concentration du fer (II)

$V_{Fe\ (II)\ blanc}$ et $V_{Fe\ (II)\ éch.}$: Volumes de solution de fer (II) de référence et de l'échantillon

$V_{éch.}$: Volume de l'échantillon

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS.

3.1 Résultats expérimentaux

Les résultas des deux campagnes sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

3.2 Etudes de corrélation

3.2.1 Corrélation fer-nitrates

La matière organique contenue dans le sol peut migrer vers les nappes phréatiques avec le front humecté. Une fois dans les eaux souterraines, elle provoque un épuisement de l'oxygène dissous et rend les eaux agressives vis-à-vis des roches dont elles sont en contact. Le fer devient soluble et peut passer en solution dans les eaux [8]. Selon la réaction :

$$F_e(OH)_3 + 3H^+ \longrightarrow F_e^{3+} + 3H_2O$$

3.2.4 Corrélation dureté - nitrates

Le calcium et le magnésium sont responsables de la dureté des eaux. Celle-ci peut être due soit à la décomposition des roches avec les pluies acides, soit à l'intrusion dans les eaux de la matière organique.

3.2.3 Corrélation chlorure - nitrates

Les eaux naturelles contiennent des chlorures, mais à faible quantité. La pollution est l'une des causes majeures de la présence des chlorures dans les eaux. Les excréta humains et les urines sont des éléments très riches en chlorure.

Tableau I : Résultats de la première campagne, juin 1998 – (Concentrations en mg/l)

PARAMETRES	NH_4^+	NO_3^-	Cl^-	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Fer	DURETE TOTALE
BAGDADE	0,17	20,5	24	31,9	29,3	41,4	1,5	224;57
BANDABARI	4,81	209	99,06	233	40,5	105,5	2,85	431,13
BANIFANDOU	0,46	1,5	-	7	0,47	9,01	2,75	24,47
BOUKOKI	0,06	23,8	8,52	35,3	9,8	13,91	1,74	75,27
DAR-ES-SALAM	5,11	32,8	19,56	28,7	15,2	68,87	1,12	234,98
DJEDDA	0,16	32,4	4,13	34,2	4,44	14,82	0,75	55,40
GAWEYE	9,71	0,3	44,67		45,4	75,18	1,12	375,55
HOU-HINZA	0,5	1,7	14,65	90,8	46,8	47,55	0,7	312,26
LAZARET	0,2	10,1	4	22,5	10,1	29,69	1,33	115,96
NOGARET	0,57	4,4	12	35,3	33,3	63,03	0,84	295,18
QUARTIER ABIDJAN	0,35	41,5		37,2	11,5	27,86	4,57	117,17
ROUTE F1	0,19	1,1		8	0,85	10,09	0,54	28,74
ROUTE F2	0,08	34,2	13,27	36,5	11,8	20,89	0,5	100,99
SAGA	0,13	8,7	11,99	209	4,49	10,56	0,42	44,95
SAGIA	0,33	9,3	3,65	20,8	13,4	15,1	0,5	93,12
TALLAGUE	0,12	5,1		12	2,21	7,25	0,5	27,26
TOURAKOU	0,23	53,5	13,99	47	23,8	66,32	1,1	264,15
YANTALA	0,05	21,7		29,3	3,86	10,45	1,17	42,08
ZABARKAN	0,23	47,6	18,3	50,7	11,3	22,91	1,57	103,97

Tableau II: Résultats de la deuxième campagne, juillet 1999 – (Concentrations en mg/l)

PARAMETRES	NH_4^+	NO_3^-	Cl^-	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Fer	DURETE TOTALE
BANDABARI 1	4,72	226,69	174,8	252	44,4	204,56	3,01	694,87
BANDABARI 2	1,89	15,02	76	100,5	20,1	50,41	3,25	209,08
BANGABANA	0,9	11,17	28,5	71	24,5	37	0,4	193,74
BANIFANDOU 1	0,48	2,7	13,5	7,2	0,5	49,75	1,29	126,44
BANIFANDOU 2	0,5	30,6	4,6	54,8	6	17,37	1,74	68,22
COLLINE	0,13	8,62	7,3	203	1,4	9,37	4,36	29,21
DANGAO	0,05	9,14		19,4	1	4,61	0,51	15,66
DAR-ES-SALAM	0,86	39,14	8,1	35,8	20,7	42,84	2,03	192,64
GARBADO	0,48	36,32	14,3	71,8	6,6	17,16	1,95	70,17
GAWEYE 2	2,49	120,98	129	84,8	106,8	185,38	4,63	904,77
HOU-HINZA	0,67	1,85	19,2	101,3	43,7	51,81	1,89	310,10
KARADJE	2,11	69,51	94,9	190	58,8	124,2	0,79	553,48
LAZARE	1,28	63,17	20	50,2	20,7	40,13	3,84	185,86
NOGARE	0,94	9,21	25,9	59,8	37,9	54,4	1,52	292,61
Q. ABIDJAN	3,06	80,35	23,7	95,5	17	39,86	1,1	169,90
R. FILINGUE 1	0,05	2,83		12,6	1,5	7,78	2,95	25,65
SAGA 1	0,94	2,38	9,4	100,2	37,9	49,8	1,64	281,11
SAGA 2	0,05	1,41	10,9	262,5	26,3	18,49	1,54	154,90
SAGIA	0,05	16,83	6,5	25,8	14,7	19,35	1,34	109,12
TALLADJE	0,05	3,31	1,2	8,7	1,4	4,53	1,43	17,11

Avec la décomposition des décharges municipales, l'infiltration de lixiviats et l'usage des fosses septiques et de puisards comme moyen d'élimination des déjections humaines, les eaux souterraines sont souvent soumises à des fortes pollutions par des éléments chlorés.

3.2.4 Corrélation nitrates–sodium

A. Joseph et P. Gérard ont constaté une altération des roches conduisant à la production de la kaolinite à partir des feldspaths à la corniche Gamkallé. Avec l'altération des roches et leur lessivage par les eaux d'infiltration, le sodium contenu dans ces roches peut migrer vers les nappes phréatiques [7].

3.2 Discussion

On observe dans certains puits une forte variation du taux de nitrate entre les deux campagnes. C'est le cas de quartier Abidjan (41,5 mg/l à la 1ère campagne et 80,95 mg/l à la 2ème campagne), à Lazaret, elle a été multipliée par six (10 mg/l à la 1ère campagne contre 63,17 à la 2ème campagne).

Trois phénomènes peuvent expliquer ces variations des teneurs en NO_3^- à savoir :

- une variation du niveau des eaux dans les nappes phréatiques ;
- une dissolution de roches contenant des nitrates sous l'influence des eaux d'infiltration ou des eaux circulant dans les nappes souterraines ;
- une intrusion dans les nappes phréatiques de la matière organique azotée.

Les variations des teneurs en nitrate dans les puits ne sont pas dans les mêmes proportions. Nous avons des points particuliers où cette variation est très élevée. Par conséquent, nous pouvons dire que les fortes variations des teneurs en nitrate en ces points ne sont pas essentiellement dues à une variation du niveau des eaux dans les nappes.

Les faibles coefficients de corrélation obtenus avec les corrélations Fer – NO_3 , dureté – NO^-_3 ,Na^+ - NO_3^- et Na^+ - Cl^-, et le fait que la corrélation chlorure – nitrate a donné le coefficient de corrélation le plus élevé, nous permettent de dire que ni la dissolution de roches ferrugineuses, ni celle des roches calcaires ne peuvent être les facteurs principaux de nitratation des nappes du CT_3 à Niamey.

Nous avons enregistré de faibles teneurs en DBO et DCO qui indiquent la présence de matières organiques biodégradables dans les puits. Ainsi, seule l'intrusion dans les nappes phréatiques de la matière azotée – chlorée peut être considérée comme le phénomène principal de nitratation des eaux du CT_3.

Le taux élevé de nitrate enregistré à Bandabari (1) au cours de la première campagne sur un puits situé à proximité d'une zone d'accumulation d'eau de surface sur un terrain perméable pourrait supposer que ces nitrates proviennent de l'infiltration de lixiviats dans les nappes phréatiques. Mais les faibles teneurs enregistrées à Bandabari (2) (15 mg/l), à Garbado (36,23 mg/l) et à Bangabana (11,17 mg/l) au cours de la deuxième campagne sur des puits situés dans le même environnement élimine cette hypothèse.

Les puits à forts taux en nitrates ont été enregistrés à Lazaret, Bandabari (1), quartier Abidjan, Karadjé et Gawèye.

- A Lazaret, à environ 20 mètres du puits où nous avons prélevé les échantillons, se situe un ancien puits transformé en fosse d'aisance ;
- Au quartier Abidjan, la fosse d'aisance de la famille est à moins de dix mètres du puits;
- A Bandabari (1), il y a un ancien puits transformé en fosse d'aisance à environ dix mètres du puits;
- A Karadjé, il y a une fosse d'aisance à environ quatre mètres du puits;

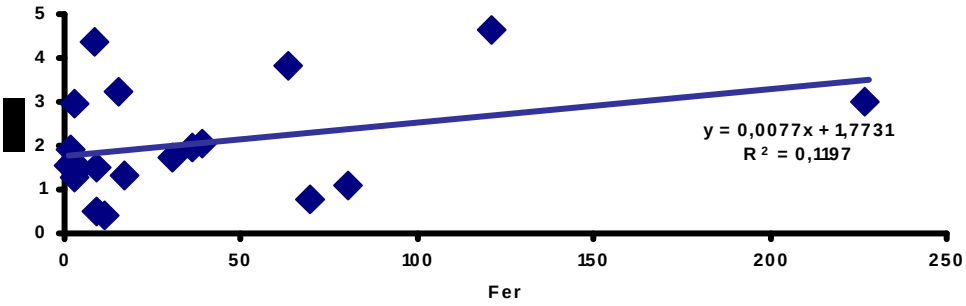

Figure 1 : courbe de corrélation fer - nitrates

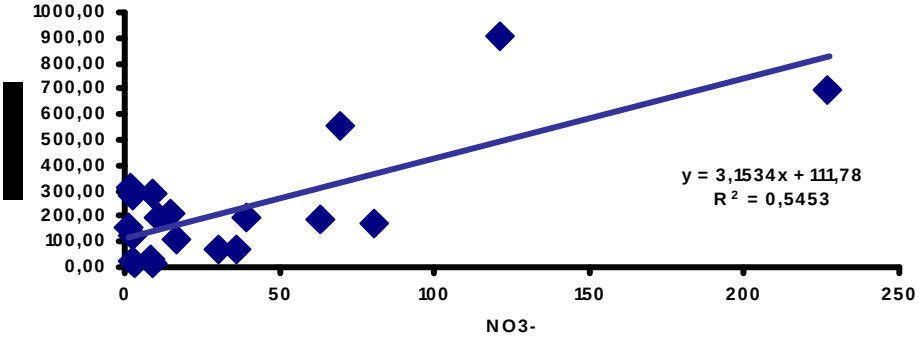

Figure 2 : courbe de corrélation dureté totale -nitrates

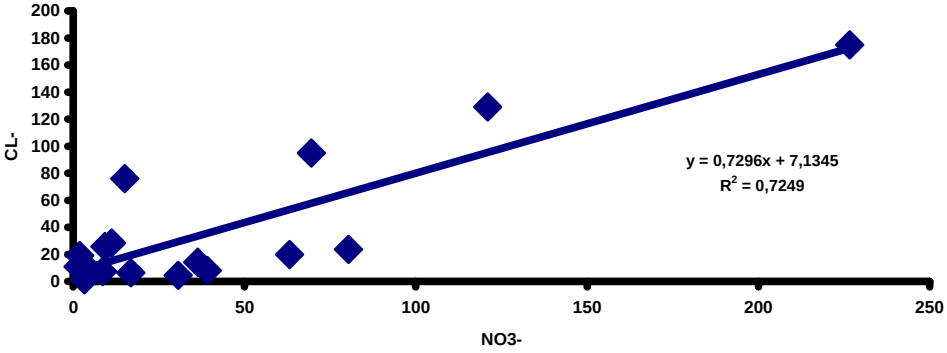

Figure 3 : courbes de corrélation chlorures - nitrates

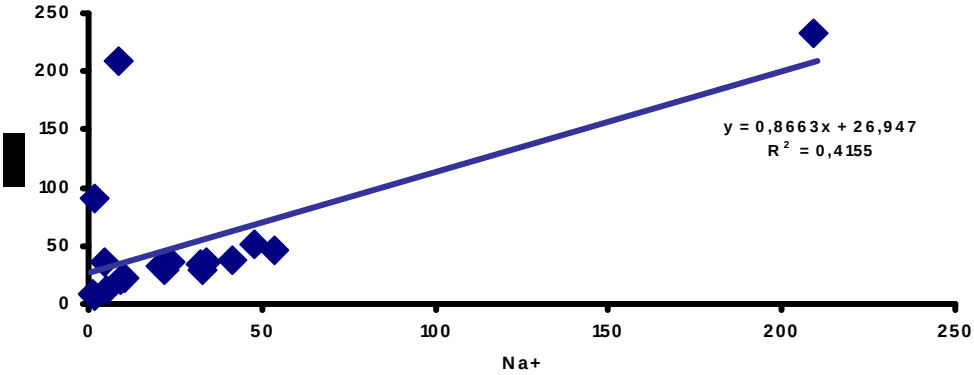

Figure 4 : courbe de corrélation sodium - nitrates

- A Gawèye, à environ dix mètres du puits où nous avons prélevé les échantillons, se situe un puisard qui a dix neuf ans d'existence et n'a jamais fait l'objet de vidange.

Les puits à fort taux en nitrates sont tous situés à proximité d'anciens puits transformés en fosse d'aisance, de puisards ou de fosses d'aisance. Quand un ancien puits est transformé en fosse d'aisance, les déchets sont en contact permanent avec les eaux de la nappe.

Les déchets humains contiennent de la matière azotée-chlorée [9]. Par conséquent, les fosses d'aisance sont des grands réservoirs de nitrate et de chlorure. Comme tout ion en solution, les ions nitrates et les chlorures ont la possibilité de migrer dans les eaux des nappes phréatiques suivant un gradient décroissant.

A la lumière de ce qui précède, nous pouvons dire que les fort taux de nitrate observés ont probablement pour origine les anciens puits transformés en fosses d'aisance et les puisards profonds qui atteignent les nappes phréatiques. Les nitrates prendraient naissance en ces lieux et diffuseraient aux alentours de ceux-ci.

Cette hypothèse renforce les résultats des études de corrélation qui donnent le coefficient le plus élevé pour la corrélation chlorure-nitrate.

IV. CONCLUSION

Nos résultats confirment ceux des travaux antérieurs. Les nappes phréatiques à Niamey connaissent à certains endroits une grave pollution en nitrates.

Les résultats enregistrés aux voisinages des zones probables de recharge des nappes phréatiques montrent que la participation des eaux d'infiltration à la pollution en nitrate des nappes phréatiques à Niamey est insignifiante.

La pollution nitrate des nappes phréatiques à Niamey est principalement causée par une intrusion de matières organiques azotées dans les eaux souterraines. Cette intrusion est principalement due à l'usage d'anciens puits ou de puisards comme moyen d'élimination des excréta et autres déchets.

BIBLIOGRAPHIE

[1]- A. Paillet, Suivi piésométrique et chimico- bactériologique des forages de Niamey, 1986, rapport de stage, B.R.G.M Niger.

[2] – S. Kheren, L'agglomération de Niamey, contribution à une meilleure connaissance des disponibilité et besoins en eau. Mémoire de Maîtrise, Université de Strasbourg (France) (1996).

[3] – Direction des ressources en eau, Ministère de l'hydraulique et de l'environnement, suivi de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la communauté urbaine de Niamey, (1998), Niger.

[4] – J. Rodier, G. Bazin, J. P. Broutin, H. Champsaur, Analyse de l'eau résiduaires, eaux de mer (1996). Ed. DUNOD.

[5] – B. M. Semega, C. Arnaud, R. Caruba, J. Piro, J. Soc. Ouest-Afr. Chim (1996); 06.

[6]- H. Chamayou, J. P. Legros, Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol (1996). Ed. Masson

[7] – A. Joseph, P. Girard, Etude de la pollution en nitrate des aquifères de socle : l'exemple de la nappe de Niamey, Université Abdou Moumouni (département de géologie) (1990).

[8] – H. Drupriez, P. de Leener, Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage (1990) Ed. Masson.

[9] – H. Schoeller, Les eaux souterraines, Ed. Masson et Cie (1962).