



VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES DE LA COMMUNE RURALE D'ANTANIFOTSY, VAKINANKARATRA, MADAGASCAR

SPACE-TIME CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF GROUND WATER OF RURAL MUNICIPALITY OF ANTANIFOTSY, VAKINANKARATRA, MADAGASCAR

HERIARIVONY S.C.¹, RAZANAMPARANY B.¹, RAKOTOMALALA J.E.²

¹ Département de Chimies Physiques et Minérales, Facultés des Sciences,
BP 906, Université d'Antananarivo.

² Département de Biologie Animale, Facultés des Sciences, BP 906,
Université d'Antananarivo.

sheriaryvony.cl@gmail.com

RESUME

La distribution de l'eau potable est primordiale pour assurer la santé des populations et le développement dans les zones rurales. Les eaux souterraines (puits) de la CRA sont caractérisées par des variations saisonnières très marquées. Une variation spatiale de la teneur en nitrite est aussi observée. La majorité des variables mesurées sont plus élevées pendant l'été et moindres au cours de l'hiver. La contamination de la nappe phréatique par le nitrate est constatée surtout pendant l'été (P5 = 60,644 mg/L et P6 = 53,68 mg/L), elle constitue un risque sanitaire permanent pour les autochtones. Les différences sur la qualité physico-chimique des eaux à l'échelle spatiales et temporelles sont liées aux écarts des activités agricoles entre les sites et la saison, des caractéristiques hydrogéologiques et pédologiques, de type d'aménagement des puits, des régimes d'infiltration et de charge des eaux vers la nappe qui est accrue pendant la période de pluie. Bref, la qualité de l'eau dépend de la propriété du substrat (géomorphologique) et les activités anthropiques.

Mots clés : Eaux souterraines, pollution, nitrate, variation saisonnière, Madagascar.

ABSTRACT

Healthy water distribution is crucial to maintain population health and development in rural area. The underground water (Wells) in CRA was characterized by high seasonal shift. Spatial variation of Nitrite concentration was observed. Almost of the measured variables were very high during the rainy season, but lower in dry season. Underground water contamination by Nitrate was found along the rainy season (P5 = 60.644 mg/L and P6 = 53.68 mg/L), it is a main threat for the local people health. Difference in physical and chemical water quality at spatial and temporal level was due to difference on agricultural activity, hydrogeology and ground characteristic, well management, infiltration level and water charge where was very important throughout rainy season. Indeed, water quality depend on substrate quality (geomorphologic) and anthropogenic activity.

Keys words: Underground water, pollution, nitrate, seasonal fluctuation, Madagascar.

INTRODUCTION

La distribution et l'accès à l'eau potable sont parmi les préoccupations de plusieurs institutions gouvernementales et des O.N.G. à l'échelle planétaire. Actuellement, la distribution de l'eau potable est un sujet fréquemment abordé par les politiciens aux divers discours sur le développement durable que ce soit au niveau national qu'international. En 2010, WaterAid a rapporté que 783 millions de personnes à travers le monde n'ont pas accès à l'eau potable. Outre, Nations Unies (2012) a confirmé que les maladies hydriques telles la pneumonie et la diarrhée constituent encore un facteur principal de mortalité à l'échelle mondiale. L'accès à l'eau potable est un problème très courant à Madagascar, particulièrement dans les zones rurales où l'absence des infrastructures ou des moyens sont accrus. Les populations rurales à Madagascar ont une faible revenu, pourtant l'obtention d'eau potable produite par l'industrie nationale JIRAMA (*JirosyRano Malagasy*) est souvent chère et oblige la majorité des autochtones à utiliser d'autre source naturelle (puits, rivières...). Dans la commune rurale d'Antanifotsy (CRA), les puits sont plus utilisés par les habitants, car le coût d'obtenir un puits est moindre comparé à celui de JIRAMA. Dans ce contexte, cette étude a été faite afin des caractériser les propriétés physico-chimiques des eaux de puits de la CRA. La présente étude permet d'évaluer le risque lié à la contamination des eaux de la nappe par

les activités anthropiques. Elle vise ainsi à déterminer la fluctuation saisonnière des paramètres physiques et chimiques de quelques puits dans la CRA. La qualité de l'eau est profondément en relation à l'alimentation des eaux souterraines et résulte des infiltrations verticales des eaux de ruissellement issues des précipitations, et des infiltrations horizontales des eaux de surface. Les risques de leur contamination chimique et biologique sont liés d'une part aux caractéristiques des eaux d'infiltration, et d'autre part, des caractéristiques naturelles des couches géologiques qui séparent la nappe phréatique de la surface du sol (Belghiti, 2013 ; Gouaidia, 2008 ; Muyibi&Alfugara, 2003). Ainsi, les objectifs spécifiques de cette partie sont de déterminer 1) si les distributions des paramètres qui caractérisent les eaux souterraines de la CRA sont uniformes à travers les quatre sites ; 2) s'il y a des différences significatives entre les valeurs des paramètres à travers le temps (saison humide et sèche) 3) si les propriétés de l'eau de la CRA témoignent de pollution d'origine anthropique.

METHODES

Sites d'études

La commune d'Antanifotsy est repérée par les coordonnées géographiques suivantes : 19° 40' de latitude Sud et 47° 19' de longitude Est, Région de Vakinankaratra, qui se situe à 109 Km de la capitale (Antananarivo) en suivant la Route Nationale N° 7 (figure 1). La commune rurale d'Antanifotsy est traversée par la rivière *Onive* et ses affluents (Kelilalina, Sahatrendrika, ...). Elle prend sa source dans la montagne d'Ankaratra et elle s'unit plus à l'Est avec la rivière *Mangoro*. La CRA est caractérisée essentiellement par des sols ferralitiques rouge et jaune-rouge. Le climat est du type tropical d'altitude à deux saisons bien distinctes. Une saison sèche et fraîche allant de mai à octobre. Des crachins hivernaux sont parfois rencontrés dans le site. A la fin du mois de juillet, la température peut atteindre moins de 0°C. Une saison pluvieuse et chaude de novembre à avril. La température moyenne varie de 12°C à 30°C avec une pluviométrie abondante comprise entre 150 mm et 300 mm par mois.

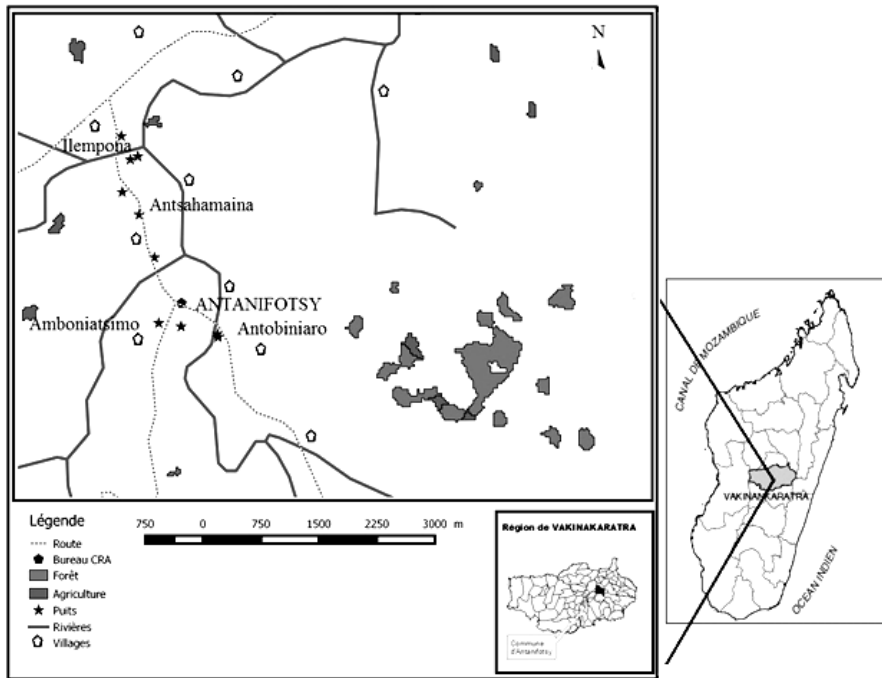


Figure 1 : Localisation du milieu d'étude et les différents points d'échantillonnage dans la CRA. La descente sur terrain se focalise sur quatre sites (Ilempona, Antsamaina, Antobiniaro et Amboniatsimo).

Collecte des échantillons

La collecte des échantillons a été réalisée entre le mois de décembre 2014 et janvier 2015 pour la saison humide. L'échantillonnage pendant la saison sèche se déroule en deux étapes : septembre à octobre 2014 et juillet à septembre 2015. L'échantillonnage est réalisé dans quatre sites de la CRA. Les paramètres physiques (température, pH, conductivité et turbidité) sont mesurés immédiatement lors de chaque prélèvement fait sur terrain. Les échantillons d'eau de chaque puits ont été collectés dans des flacons stériles puis conservés à 4°C dans une glacière et transportés au laboratoire pour analyse et traitement. Les analyses des échantillons ont été faites au laboratoire de chimie minérale de l'Université d'Antananarivo et celui d'Hygiène des Aliments et de l'Environnement de l'Institut Pasteur de Madagascar. Dix puits différents ont

été échantillonnés dont chaque puits est géoréférencé à l'aide d'un GPS. Les analyses physico-chimiques sont réalisées avec le *Kit Palintest.8000*.

Test statistique

Des tests statistiques ont été utilisés pour analyser les données. Le test ANOVA (à un facteur) pour déterminer si les sites d'échantillonnages influencent les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines. Le test de Man Whitney afin de vérifier s'il y a des changements significatifs de la propriété de l'eau souterraine entre les saisons (humides et sèche).

RESULTATS

Variation spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux de la CRA

La variation de la valeur des différents paramètres physico-chimiques est constatée pour l'ensemble du site. Cependant, seule la variation de la teneur en nitrite ($F(3,16) = 3,558$; $\alpha = 0,038$) entre les quatre sites est significative.

Tableau 1 : Variation spatiale des paramètres étudiés : ANOVA (α = probabilité d'erreur ; F = valeur calculé de Fisher ; ddl = degré de liberté ; * = variation significative à $\alpha = 0,05$)

Paramètres	ddl	F	α
Turbidité	(3; 16)	2,116	0,138
Conductivité	(3; 16)	1,111	0,374
Fluor	(3; 16)	2,048	0,148
Dureté calcique	(3; 16)	0,844	0,49
Nitrite	(3; 16)	3,558	0,038*
Nitrate	(3; 16)	1,631	0,222
Manganèse	(3; 16)	1,641	0,22
pH	(3; 16)	0,989	0,423

Variation temporelle des paramètres physico-chimiques des eaux de la CRA

PH

Les valeurs du pH des eaux échantillonnées se trouvent entre 4,35 et 6,36 (moyenne = $4,90 \pm 0,277$) pendant la saison humide (figure 2). Pourtant, ces valeurs augmentent de 4,39 à 7,1 pendant la saison sèche (moyenne = $5,70 \pm 0,277$). Les eaux des puits sont ainsi acides à l'exception de puits P3. Toutefois, les changements observés ne sont pas significatifs ($N = 10$; $U = 25$; $\alpha = 0,059$).

Turbidité

Les turbidités des échantillons étudiés sont inférieures à 5 NTU au cours de deux saisons (figure 3). Sa valeur est comprise entre 0,27 NTU et 2,02 NTU pendant la période de pluie (moyenne = $0,40 \pm 0,22$) et change entre 0,34 NTU et 3,92 NTU pendant la période sèche (moyenne = $1,00 \pm 0,29$). Néanmoins, les variations de la turbidité entre les deux saisons ne sont pas significatives ($N= 10$; $U = 28$; $\alpha = 0,096$).

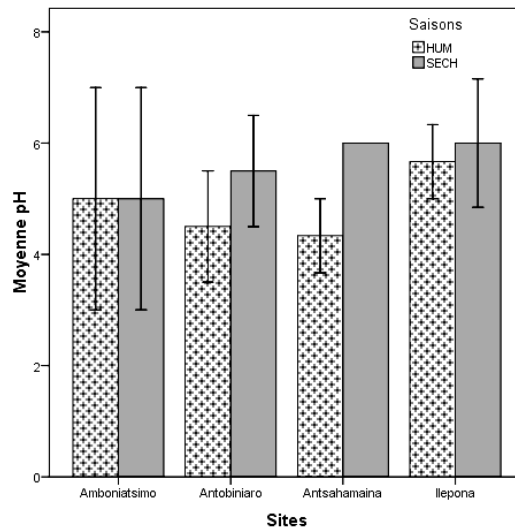


Figure 2 : Variation de la moyenne de pH entre saison humide et sèche

Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la commune rurale d'Antanifotsy, Vakinankaratra, Madagascar.

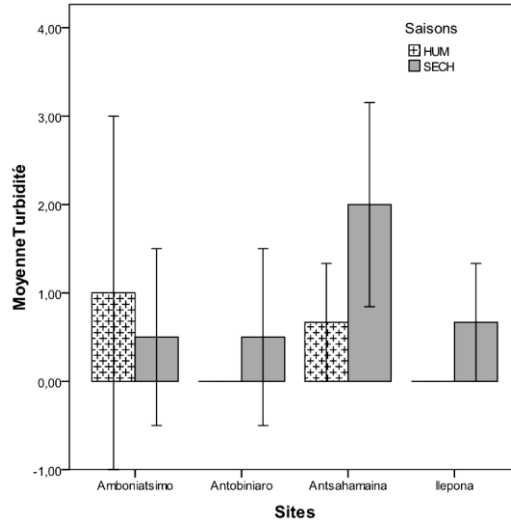


Figure 3 : Variation de la Turbidité (NTU) entre saisons humide et sèche

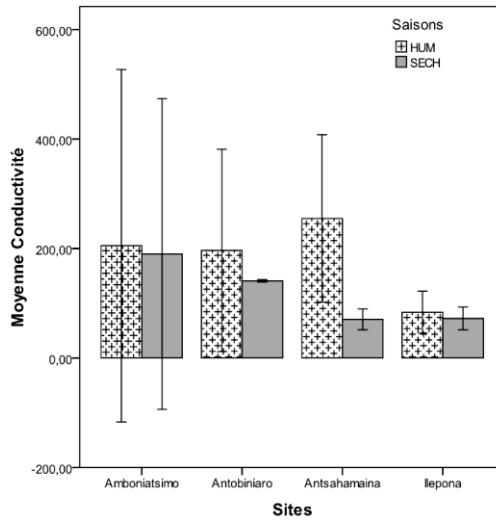


Figure 4 : Variation de la moyenne de la Conductivité électrique entre saison humide et sèche

Conductivité

Les valeurs de la conductivité des eaux de puits d’Antanifotsy sont comprises entre 44,00 µS/cm pour le minimum et 366,5 µS/cm pour le maximum (moyenne = 181,90 ± 41,19) pendant la saison humide. Ces valeurs chutent (48,30 µS/cm - 142,20 µS/cm ; moyenne = 109,100 ± 26,90) pendant la période sèche (figure 4). Les changements de la valeur de la conductivité entre les saisons ne sont pas significatifs (N= 10 ; U = 34 ; α = 0,226).

Manganèse et fluor

Le manganèse se trouve à l’état de trace dans les échantillons d’eau de la CRA (figure 5). La concentration minimale de manganèse est de 0,022 mg/L et la teneur maximale est de 0,072 mg/L (moyenne = 0,034 ± 0,004) au cours de la période de pluie. Pendant la saison sèche, la teneur en Manganèse des eaux de puits chute et varie entre 0,002 mg/L à 0,054 mg/L (moyenne = 0,026 ± 0,006). Toutefois, la diminution de la concentration en Manganèse n’est pas significative (N= 10 ; U = 39,5 ; α = 0,427).

Tableau 2 : Variation saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux de puits de la CRA : U = valeur du test de Mann-Whitney, Z = score, α = probabilité d’erreur (seuil α = 0,05), SD = standard déviation, H = saison humide, S = saison sèche.

Paramètres	U	Z	α	Moyenne ± SD	OMS
pH	25,0	-1,891	0,059	H: 4,90 ± 0,277 S : 5,70 ± 0,277	6,5-8,5
Turbidité (NTU)	28, 0	-1,664	0,096	H : 0,40 ± 0,22 S: 1,00 ± 0,29	5 NTU
Conductivité (µS/cm)	34,0	-1,209	0,226	H : 181,90 ± 41,19 S : 109,100 ± 26,90	<2000 µS/cm
Fluor (mg/L)	37,0	- 0,984	0,324	H : 0, 21 ± 0, 025 S : 0, 27 ± 0, 042	1,5 mg/L
Dureté calcique (°F)	22,5	- 2,080	0,037	H: 4,20 ± 1,51) S: 7,70 ± 1,05	50°F
Nitrite (mg/L)	18,5	- 2,399	0,016	H : 0,019 ± 0,002 S : 0,009 ± 0,005	0,1 mg/L
Nitrate (mg/L)	17,0	- 2,495	0,0001	H: 27,382 ± 5,738 S : 11,081± 3,833	50 mg/L
TA (°F)	0,0	- 3,814	0,0001	H : 49,80 ± 1,638 S : 4,50 ± 1,572	-
Mn (mg/L)	39,0	- 0,795	0,427	H : 0,034 ± 0,004 S : 0,026 ± 0,006 0)	0,1 mg/L

Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la commune rurale d'Antanifotsy, Vakinankaratra, Madagascar.

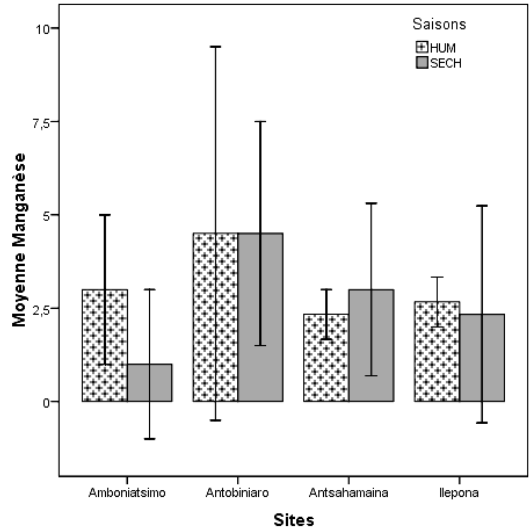


Figure 5 : Variation de la moyenne de la teneur en Manganèse (mg/L) entre saison humide et sèche

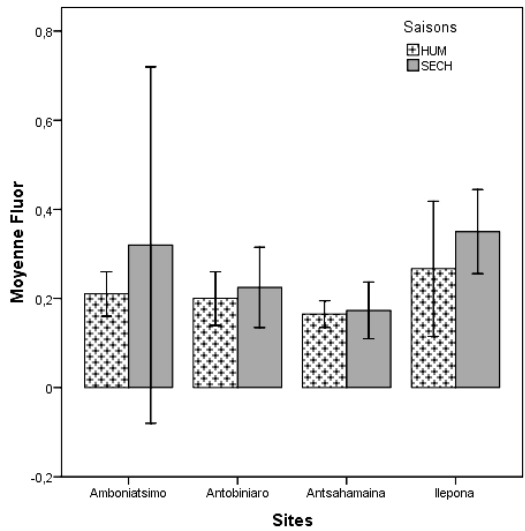


Figure 6 : Variation de la moyenne de la teneur en Fluor (mg/L) entre saison humide et sèche

Le fluor se présente en faible concentration dans chaque échantillon (figure 6). Les concentrations de fluor entre la saison de pluie et sèche varient respectivement de 0,170 mg/L à 0,415 mg/L (moyenne = 0, 21 ± 0, 025) et 0,110 mg/L à 0,520 mg/L (moyenne = 0, 27 ± 0, 042). Pourtant, les différences de la teneur en fluor entre les deux saisons ne sont pas significatives (N= 10 ; U = 37 ; $\alpha = 0,325$).

Nitrates et Nitrites

La fluctuation saisonnière est fortement observée pour la teneur en nitrate-nitrite de l'eau souterraine de la CRA (figure 7 et 8). Elle varie de 5,984 mg/L à 60,644 mg/L (moyenne = 27,382 ± 5,738) pendant la période humide et celle de nitrite varie de 0,0099 mg/L à 0,033 mg/L (moyenne = 0,019 ± 0,002).

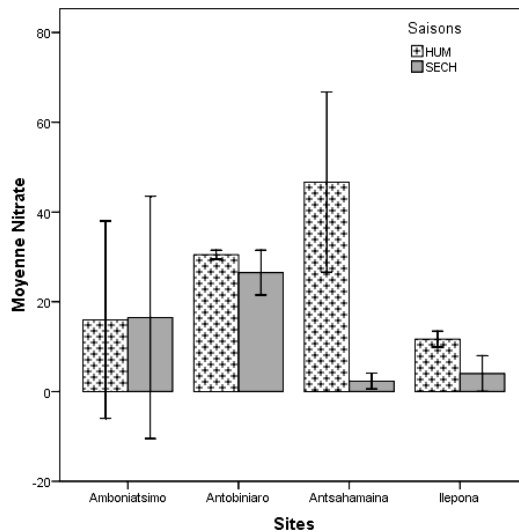


Figure 7 : Variation de la moyenne de la teneur en Nitrate (mg/L) entre saison humide et sèche

Les valeurs de ces deux paramètres changent respectivement au cours de la période sèche de 1,575 mg/L à 30,096 mg/L (moyenne = 11,081 ± 3,833) et 0,000 mg/L à 0,052 mg/L (moyenne = 0,009 ± 0,005). Les différences des valeurs de la teneur en nitrate (N= 10 ; U = 17 ; $\alpha = 0,013$) et en nitrite (N= 10 ; U = 18,5 ; $\alpha = 0,016$) sont significatives.

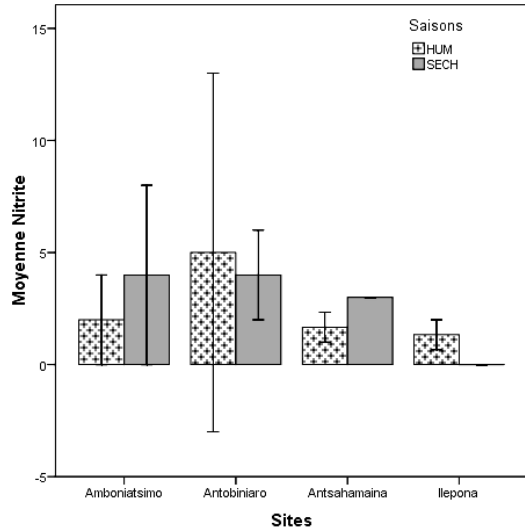


Figure 8 : Variation de la moyenne de la teneur en Nitrite (mg/L) entre saison sèche et humide

Alcalinité et Dureté calcique

L'alcalinité de l'eau de puits est plus élevée pendant la période de ruissellement (figure 9). Les valeurs de TA varient entre 38°f à 57°f (moyenne = 49,80 ± 1,638) pendant la saison de pluie et elle varie de 0°f à 15°f (moyenne = 4,50 ± 1,572) au cours de la saison sèche. Toutes les valeurs de l'alcalinité diminuent d'une manière significative pendant la saison sèche (N= 10 ; U = 0 ; α = 0,0001).

Le changement de la dureté calcique entre les saisons est récapitulé par la figure 10. La distribution des valeurs de ce paramètre dans les sites se situe dans l'intervalle de 0,00° F et 14,40° F (moyenne = 4,20 ± 1,51) pendant la saison humide et dans l'intervalle de 4,00° F et 14,80° F (moyenne = 7,70 ± 1,05) pendant la saison sèche. La variation de la dureté entre saisons est significative (N= 10 ; U = 22,5 ; α = 0,037).

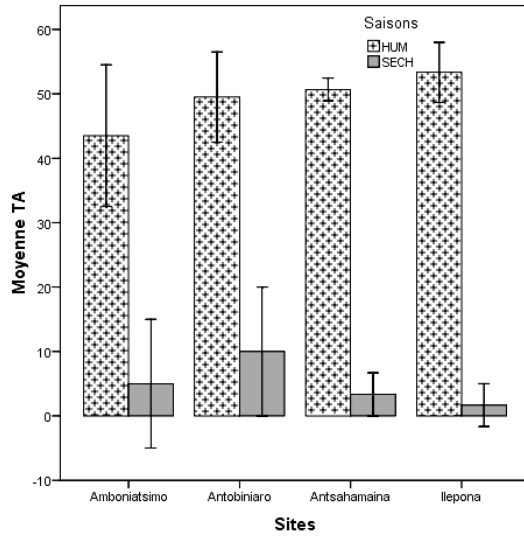


Figure 9 : Variation de la moyenne de TA (°F) entre saison humide et sèche

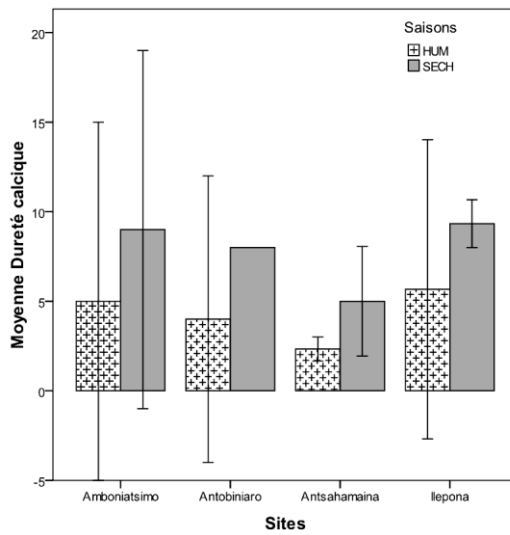


Figure 10 : Variation de la moyenne de la dureté calcique (°F) entre saison humide et sèche

DISCUSSIONS

La variation spatiale de la quantité de nitrate est probablement liée à la différence des activités agricoles (élevage, utilisation des engrais...), à la profondeur et à la technique d'aménagement des puits. En fait, le premier site (Ilempona) est une vaste étendue de champs de culture de maïs et de riz. Le second (Antsahamaina) est une agglomération où l'élevage des bœufs et de porcs est très important. Le troisième et le quatrième (Antobiniaro et Amboniatsimo) sont entourés par des rizières et des champs de culture dont les pratiques de l'élevage ne sont pas aussi importantes que les deux autres sites. Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du site d'étude sont donnés par le tableau 3.

Tableau 3 : Propriétés physiques de l'eau de puits de la CRA (HUM = saison humide, SECH = saison sèche, IL = Ilempona, AN = Antsahamaina, AT = Antobiniaro, AM = Amboniatsimo)

Puits	Saison	Site	Turbidité (NTU)	Conductivité (μ /cm)	pH
P1	HUM	IL	0,51	72,1	6,10
P2	HUM	IL	0,63	121,00	5,25
P3	HUM	IL	0,44	58,50	6,36
P4	HUM	AN	0,61	332,50	4,99
P5	HUM	AN	1,73	331,00	4,77
P6	HUM	AN	1,14	102,70	5,81
P7	HUM	AT	0,51	104,80	4,35
P8	HUM	AT	0,32	289,50	5,90
P9	HUM	AM	0,27	366,50	4,35
P10	HUM	AM	2,02	44,00	6,33
P1	SECH	IL	1,71	71,90	5,83
P2	SECH	IL	1,26	91,10	6,95
P3	SECH	IL	0,38	55,30	7,10
P4	SECH	AN	2,10	86,40	6,13
P5	SECH	AN	3,92	73,70	6,14
P6	SECH	AN	1,29	53,20	6,53
P7	SECH	AT	0,71	142,20	5,56
P8	SECH	AT	1,90	140,00	6,16
P9	SECH	AM	0,34	332,00	4,39
P10	SECH	AM	1,20	48,30	6,19

Tableau 4 : Propriétés chimiques de l'eau de puits de CRA (HUM = saison humide, SECH = saison sèche, IL = Ilempona, AN = Antsamaina, AT = Antobiniaro, AM = Amboniatsimo)

Puits	Saison	Site	Fluor (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	TA (°F)	Manganèse (mg/L)	Dureté calcique (°F)
P1	HUM	IL	0,415	0,0132	12,408	49	0,024	1,20
P2	HUM	IL	0,220	0,0165	13,816	57	0,032	14,40
P3	HUM	IL	0,165	0,0231	10,846	54	0,036	2,40
P4	HUM	AN	0,180	0,0231	27,350	51	0,028	2,00
P5	HUM	AN	0,135	0,0264	60,644	52	0,036	3,20
P6	HUM	AN	0,180	0,0198	53,680	49	0,023	2,80
P7	HUM	AT	0,230	0,0099	31,240	53	0,072	0,80
P8	HUM	AT	0,170	0,0165	30,800	46	0,022	8,40
P9	HUM	AM	0,185	0,0165	27,060	49	0,028	10,40
P10	HUM	AM	0,235	0,0330	5,984	38	0,042	0,00
P1	SECH	IL	0,370	0,0000	8,395	0	0,002	10,40
P2	SECH	IL	0,420	0,0000	2,882	0	0,054	10,00
P3	SECH	IL	0,260	0,0000	2,794	5	0,024	8,80
P4	SECH	AN	0,110	0,0033	4,444	0	0,038	8,00
P5	SECH	AN	0,210	0,0033	1,575	5	0,013	3,60
P6	SECH	AN	0,200	0,0033	2,508	5	0,052	4,00
P7	SECH	AT	0,270	0,0528	29,92	15	0,003	8,80
P8	SECH	AT	0,180	0,0033	24,992	5	0,006	8,00
P9	SECH	AM	0,520	0,0066	30,096	10	0,04	14,80
P10	SECH	AM	0,120	0,0264	3,212	0	0,027	4,80

Le pH ou potentiel d'hydrogène détermine la concentration en ions H⁺ de l'eau. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Le caractère acide des eaux de puits est lié à la propriété pédologique de site. En effet, les sols ferrallitiques acides et l'utilisation des engrais chimiques contribuent certainement à ces valeurs de pH des eaux souterraines de la CRA. En les comparant avec la norme de l'OMS (6,5-8,5), aucun pH ne s'accorde avec cette norme à l'exception des puits P2 (pH = 6,95) et P3 (pH = 7,10).

La turbidité permet de préciser les informations visuelles de l'eau (trouble ou limpide). Elle indique la présence des particules en suspension dans l'eau. L'augmentation de la turbidité observée pendant la saison sèche est due à la diminution de la quantité de l'eau dans le puits et conduit une augmentation de concentration des matières en suspension. Néanmoins, la turbidité des puits échantillonnés satisfait la norme proposée par l'OMS (inférieure à 5 NTU).

La conductivité permet de déterminer la capacité de l'eau à conduire l'électricité. En effet, elle permet de juger la quantité de sels dissous dans l'eau (Rodier et al, 2009) et de vérifier l'existence de pollution dans l'eau (Ghazali & Zaid, 2013). La valeur de la conductivité est aussi en relation avec la nature des couches géologiques de la nappe ou de la présence des minéraux indésirables

(Gouaidia, 2008). La valeur élevée de la conductivité au cours de la saison humide est lié en partie à la contamination de la nappe par la forte activité agronomique au cours de l'infiltration des eaux de pluie. Toutefois, toutes les valeurs observées satisfont la norme (OMS, 2008 = inférieur à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Le manganèse se trouve à l'état de trace dans les échantillons d'eau de la CRA, il en est de même pour le fluor. Le fluor est relativement abondant dans la nature. Il existe toujours sous forme combinée (les fluorures). Toutes les valeurs de manganèse enregistrées lors de cette étude suivent la norme proposée par l'OMS (0,1 mg/L). Pourtant, toutes les concentrations de fluor enregistrées se trouvent en dessous de la limite proposée par l'OMS (1,5 mg/L) et suivent la recommandation de WHO (2008), d'ajuster la concentration de ce paramètre à 1,0 mg/L, soit le niveau optimal pour lutter contre la carie dentaire.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé dans l'eau. Le nitrate caractérise la concentration en ion NO_3^- . Les nitrates et nitrites sont des composés chimiques réguliers dans la nature qui se dissolvent couramment dans l'eau et qui migrent naturellement vers les nappes d'eau souterraine. Toutefois, la source principale de nitrates-nitrites dans l'eau des puits est attribuable à des activités humaines. En effet, leur teneur dans l'eau des puits est liée aux activités agraires, essentiellement à l'apport des engrais, à des épandages, notamment de déjections animales (ANSI, 2013 ; Chapman & Kimstach, 1996). Les nitrites proviennent aussi d'une oxydation incomplète des matières organiques. Les fortes teneurs en nitrites correspondent parfois à la réduction des nitrates en nitrites par les bactéries aérobies réducteurs (ANSI, 2013). Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (Belghiti et al, 2013). En effet, la forte activité agricole dans la zone d'étude pendant la période de pluie contribue certainement à ces différences de teneur en nitrate. Ainsi, l'apport massif des engrais et un fort drainage des eaux de pluie contaminent les eaux souterraines en augmentant la teneur en nitrate. Les teneurs en nitrate enregistrées dans les eaux de puits d'Antanifotsy sont inférieures à la teneur suggérée par les normes internationales (50 mg/L) sauf pour les puits P5 (60,644 mg/L) et P6 (53,68 mg/L). En contraste, les teneurs en nitrites sont très faibles et ne dépassent pas la norme de l'OMS (0,1 mg/L). Cependant, en absence de contamination anthropique la teneur en nitrates des eaux souterraines est de l'ordre de 0,1 à 1 mg/L (ANSI, 2013 ; Fan & Steinberg, 1996 ; Fan et al, 1987). En conséquence, les eaux souterraines d'Antanifotsy présentent un risque pour la population locale. Les effets nocifs des nitrates sont liés profondément à la transformation des nitrates en nitrites et éventuellement en nitrosamines au niveau du tube digestif. Chez l'homme, les nitrites sont

responsables des risques de méthémoglobinémie aiguë qui s'observe principalement chez les nourrissons. Le risque est lié à la formation de nitrosamines, est la survenue de cancers (ANSI, 2013 ; Fan & Steinberg, 1996).

L'alcalinité (titre alcalimétrique TA) correspond à la concentration en base libre OH⁻ (ion hydroxyde) ; CO₃²⁻ (ion carbonate). Les valeurs élevées de TA pendant l'été indiquent une pollution de la nappe par les activités humaines. En effet, la variation de l'alcalinité observée peut être liée en grande partie à l'enfouissement de déchets organiques dû aux activités agricoles qui sont plus intenses tout au long de la saison humide.

La teneur en dureté calcique est essentiellement liée au contact de l'eau souterraine avec les formations rocheuses. La dureté totale d'une eau correspond aux sels de calcium et de magnésium qu'elle renferme. La dureté calcique correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Calcium. Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau. La chute de la dureté pendant la période humide serait liée, d'une part au débit des eaux qui est accru en réduisant le temps de contact à la roche et à la dilution des eaux de puits par les eaux des pluies d'autre part. L'origine du calcium dans l'eau dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse (Belghiti et al 2013). En effet, la dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés (Gouaidia, 2008 ; Muyibi & Alfugara, 2003). Néanmoins, toutes les valeurs entre les deux saisons sont en dessous de la limite proposée par l'OMS (50°f).

CONCLUSION

Les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines de la CRA témoignent la présence d'une variation saisonnière. De plus, la variation spatiale des caractéristiques des eaux de la nappe phréatique est aussi observée. Les différences sur la qualité physico-chimique des eaux de puits à travers les sites sont attribuées : 1) à la différence des activités agricoles accompagnées essentiellement de l'utilisation des engrais chimiques (Urée) et biologiques (produit fécal du bétail) ; 2) l'élevage extensif qui se distribue différemment entre les quatre sites ; 3) aux écarts des caractéristiques hydrogéologiques et pédologiques ; 4) au type d'aménagement des puits et 5) les régimes d'infiltration et de charge des eaux vers la nappe qui est accrue pendant la période de pluie. En conséquence, la majorité des valeurs des paramètres physico-chimiques est très importante pendant l'été et moindre au cours de l'hiver. Bref, la qualité de l'eau dépend en grande partie de la propriété

du substrat (sol) c'est-à-dire la propriété géomorphologique et les activités anthropiques. Il est aussi crucial de noter que les eaux souterraines sont polluées par les activités anthropiques (Nitrates) qui constituent un risque sanitaire permanent pour les autochtones.

BIBLIOGRAPHIES

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI. (2011). American National Standards Institute, [enligne].
- BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUNI D., EL MOUSTAINE R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). Larhyss Journal, 14 : 21-36.
- CHAPMAN D., KIMSTACH V. (1996). Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
- FAN A.M., STEINBERG V.E. (1996). Health Implications of Nitrate and Nitrite in Drinking Water: An Update on Methemoglobinemia Occurrence and Reproductive and Developmental Toxicity. Regul. Toxicol. Pharmacol., 23:35-43.
- FAN A.M., WILLHITE C.C., BOOK S.A. (1987). Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicity. Regul. Toxicol. Pharmacol., 7 : 135-148.
- GHAZALI D., ZAID A. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès, Maroc). Larhyss Journal, 12: 25-36.
- GOUAIDIA L. (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algerien. Thèse de Doctorat en Science, Option : Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar-Annaba, 135p.
- MUYIBI S.A., ALFUGARA A.M.S. (2003). Treatment of surface water with Moringa oleifera seeds and alum: a comparative study using a pilot scale water treatment plant. International Journal of Environmental Studies, 60(6): 617-626.
- NATIONS UNIES (2012). Objectifs du Millénaire pour le développement 2012.
- OMS. (2008). Directive de qualité pour l'eau de boisson Genève.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., BRUNET R., MIALOCQ J.C., LEROUILLE P., HOUSSIN M., LAVISON J., BECHEMIN C., VINCENT M. (2009). L'Analyse de l'Eau. 9^e édition. Dunod : Paris.
- WATERAID. (2013). Partout et pour tous. Une vision pour l'accès à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement après 2015, WaterAid, Londres, Royaume-Uni.
- WHO. 2008. Guideline for drinking-water quality (electronic resources): incorporating first addendum. Vol.1, Recommendations, 3rd edition.