

Etat de potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao, province du kanem au Tchad: Constats et perspectives

[State potability of drinking water in the city of Mao, Kanem province in Chad: Observations and Outlook]

Epolyte Adjeffa¹, Kaziri Adeline², and Ayambi Koutimma³

¹Department de Géographie, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

²Department de SVT, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

³Department des Sciences de l'Education, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

Copyright © 2022 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: Investigations on the state of potability of the city of Mao water consumption in the Kanem province in Chad were carried out in 2000. Three pieces of information (i) the physico-chemical analysis (ii) the bacteriological analysis and (iii) the piezometric measurements of the water points were crossed. The results show that 25% of the sampled water points have abnormal concentrations of nitrates of iron and ammonium total respectively 55mg / ml, 1.85mg / ml and 0.65mg / ml values that are beyond the limit of the national standard. These abnormal concentrations of chemical elements could have origins linked to human activities. Bacteriological analysis detects fecal coliforms, Escherichia coli, fecal enterococci and total aerobic flora in 35% of the structures sampled and analyzed. Finally, the piezometric measurements show an overall low piezometric level in the city and highlight two piezometric domes in the center of the city which orient the direction of groundwater flow in all directions, converging towards the outskirts of the city.

KEYWORDS: Physico-chemical analysis, Bacteriological analysis, Piezometric measurements, Mao, Chad.

RESUME: Des investigations sur l'état de potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao, dans la province du Kanem au Tchad ont été réalisées en 2000. Trois informations (i) l'analyse physico-chimique (ii) l'analyse bactériologique et (iii) les mesures piézométriques des points d'eau ont été croisées. Les résultats montrent que 25% des points d'eau échantillonnés présentent des concentrations anormales en nitrates, en fer total et en ammonium respectivement de 55mg/ml, 1.85mg/ml et 0.65mg/ml qui sont des valeurs au-delà de la limite de la norme nationale. Ces concentrations anormales des éléments chimiques pourraient avoir des origines liées aux activités humaines. L'analyse bactériologique détecte des coliformes fécaux, d'Escherichia coli, des entérocoques fécaux et flores aérobies totales dans 35% des ouvrages échantillonnés et analysés. Enfin, les mesures piézométriques montrent globalement un faible niveau piézométrique dans la ville et mettent en évidence deux dômes piézométriques au centre de la ville qui orientent le sens de l'écoulement des eaux souterraines dans tous les sens, convergeant vers la périphérie de la ville.

MOTS-CLEFS: Analyse physico-chimique, Analyse bactériologique, Mesures piézométriques, potabilité, Mao, Tchad.

1. INTRODUCTION

L'eau donne la vie et assure la pérennité de toutes les espèces vivantes. Pour l'homme, elle permet son alimentation, assure son hygiène, entretient sa santé et participe à son confort, voire ses loisirs. Mais lors de sa circulation incessante terrestre ou atmosphérique, l'eau dissout ou emporte tout ce qu'elle rencontre, diffuse les pollutions rencontrées, propage les maladies [1]. « L'eau c'est la vie, mais c'est aussi la mort ». La population mondiale a triplé au cours du 20^{ème} siècle, ses besoins en eau ont sextuplé. Malheureusement, 1/6 de cette population mondiale n'aurait pas accès à l'eau potable et que 1/3 manque d'installations sanitaires [2]. Les conséquences de cette situation sont l'état de morbidité des personnes vulnérables et la prolifération des maladies hydriques. [3] estime que 7 millions de personnes meurent chaque année de maladies transmises par l'eau. En Afrique Subsaharienne, l'eau douce est une denrée qui devient de plus en plus rare, [4]. Cette denrée qui ne représente que 2.5% du volume total de l'eau de la planète (97.5% pour l'eau salée) [5] subit une forte pression pour la satisfaction des besoins de la population. Cette pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agroalimentaire, le développement industriel et l'amélioration des conditions de vie de la population [6]. Les activités anthropiques, mobilisant des ressources naturelles, génèrent des déchets solides, des rejets liquides et des effluents gazeux. Ainsi, elles provoquent des transferts de polluants vers les milieux naturels de surface ou souterrains et, de ce fait, peuvent compromettre l'équilibre biologique des écosystèmes.

Au Tchad, malgré des efforts marqués d'équipement en points d'eau et en adductions d'eau potable depuis 2003, le pays n'a pas atteint son objectif du millénaire pour le développement (60% de la population ayant accès à l'eau potable en 2015 et se situe très en-deçà de la moyenne de l'Afrique sub-saharienne, selon [7]. Le taux d'accès à une source d'eau améliorée est de 55,7% en 2017. Plus de la moitié des ménages n'ont accès qu'à un service de base. Seulement 25% de la population urbaine bénéficie de branchements domiciliaires mais qui ne répondent pas aux critères d'un service géré en toute sécurité, qu'il s'agisse de la qualité de l'eau fournie ou de la continuité du service. L'urbanisation conjuguée à une absence d'assainissement adéquat conduit par ailleurs à une contamination bactériologique des nappes superficielles utilisées par de nombreux puits et forages privés. Mao, une des anciennes villes du Tchad ne déroge pas de cette situation. Elle a bénéficié de la réalisation d'un système d'alimentation en eau potable en 1970. Ce système devenu vétuste desserve difficilement le centre de la ville. Le niveau actuel de l'urbanisation de la ville a doublé, voire quadruplé, obligeant ainsi les populations à faire recours aux pompes à motricité humaine pour leur approvisionnement. Malheureusement ces ouvrages financés par des privés ne respectent pas souvent les directives du Ministère en charge de l'eau en matière de choix de site d'implantation et de profondeur d'ouvrage. L'objectif de cette étude est d'identifier les sources possibles d'approvisionnement en eau de la ville et de faire des investigations sur la qualité de cette eau de consommation.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel dans l'encadré 1 est celui ayant servi à l'étude.



Encadré N°1: le matériel d'étude

- A. Global position system (GPS) relève les coordonnées géographiques des points
- B. Spectrophotomètre DR800.
- C. Un multimètre de terrain WTW, pour des mesures in situ des paramètres physiques et prélèvements.
- D. Mesure des niveaux piézométriques à l'aide d'une sonde piézométrique de 100m

LOCALISATION

La ville de Mao, zone d'étude est située dans la province du Kanem notamment entre les 14,09° et 14,15° Nord et les 15,29° et 15,33° Est (Figure 1, c). Elle appartient au bassin du Lac Tchad.

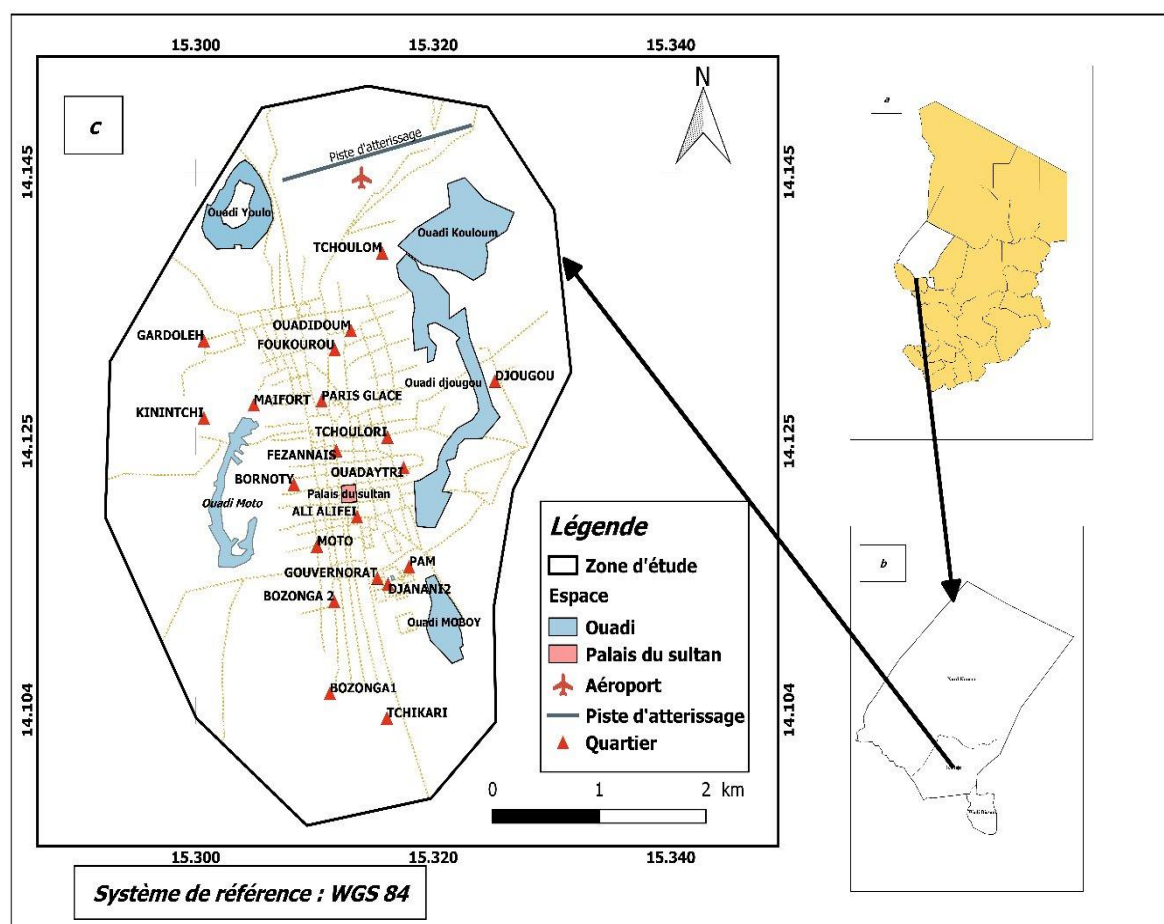


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude: a) carte du Tchad, b) carte de la province du Kanem, c) carte la zone d'étude

Source: IGN, 1976

MÉTHODES

Trois méthodes ont été retenues: l'analyse physico-chimique, bactériologique et les mesures piézométriques.

MESURES PIÉZOMÉTRIQUES

La piézométrie désigne l'ensemble de mesures des niveaux piézométriques: niveau statique, niveau dynamique des ouvrages hydrauliques (forages, puits). Dans le cadre de cette étude, nous avons dénombré vingt (20) points d'eau dont les coordonnées géographiques ont été levées et ceux-ci sont positionnés sur la figure N° 2. Aussi, le nom du quartier où est installé l'ouvrage lui a été affecté. Toutefois ce sont onze (11) points d'eau sur les vingt qui ont été choisis pour la campagne piézométrique au regard du rapprochement entre ceux-ci. Le procédé a utilisé une sonde piézométrique lumineuse pour

effectuer les différentes mesures. L'extrémité métallique de la sonde est introduite dans l'ouvrage. Au contact de la surface de l'eau, elle émet une lumière. La lecture est effectuée sur la graduation du ruban de la sonde. A cette valeur lue, on soustrait la valeur de la margelle mesurée à l'aide du ruban gradué. Cela est mathématiquement représenté comme suit:

$$N_s = N_m - M$$

Avec : **Ns** le niveau statique, **Nm** le niveau d'eau mesuré et **M** la margelle.

Le niveau piézométrique est obtenu en effectuant la différence entre l'altitude du point par rapport au niveau de la mer, obtenue par GPS et le niveau statique de l'eau dans l'ouvrage.

Le Niveau piézométrique est obtenu selon la formule:

$$N_p = Z(m) - N_s(m)$$

Z: Altitude de la surface topographique en mètre (m).

Np: Niveau piézométrique en mètre (m);

Ns: Niveau statique en mètre

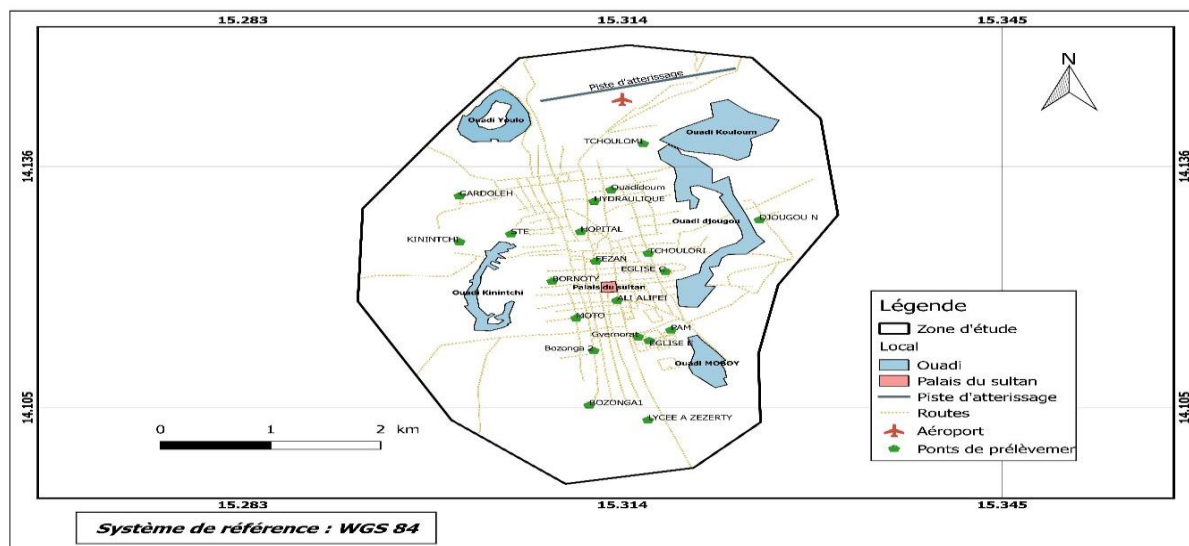


Fig. 2. Carte des points de prélèvements des eaux souterraines

ANALYSE AU LABORATOIRE

ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Vingts (20) échantillons d'eau ont été prélevés à raison d'un échantillon par ouvrage. La répartition spatiale des points d'échantillonnage est représentée dans la figure N° 2. Certains paramètres tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la Température, la conductivité électrique ont été mesurés in situ. Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et acheminés le même jour du prélèvement au Laboratoire Nationale des Eaux (LNE), branche de Mao pour analyse. Les paramètres chimiques analysés sont d'une part, les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et HCO_3^- dosés suivant la méthode volumétrique et d'autre part, les ions Na^+ et K^+ qui sont déterminés par la méthode spectrométrique utilisant le spectrophotomètre à flamme. Enfin les éléments tels que le Fer total, les ions SO_4^{2-} , NH_4^+ et NO_3^- sont déterminés par le spectrophotomètre DR2800. L'analyse de ces paramètres vise à déterminer la concentration de ces éléments dans l'eau de consommation puis à se prononcer sur le risque d'une contamination chimique et finalement à montrer leur origine.

ANALYSE DES PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES

L'analyse bactériologique a été effectuée en novembre 2020. Au total vingt (20) échantillons ont été prélevés et analysés au laboratoire Nationales des eaux (LNE), branche de Mao. L'analyse a porté sur les germes indicateurs de la pollution tels que: les Coliformes totaux, les Entérocoques fécaux, les *Escherichia coli* et les flores aérobies totales. Le procédé d'analyse a été basé sur l'ensemencement sur des milieux des cultures, chromocult (gélose) pour les coliformes totaux, fécaux et *Escherichia coli* et le milieu P pour les flores aérobies totales. Les échantillons ont été préalablement filtrés sur une membrane avant leur ensemencement sur les milieux de culture respectifs. La durée d'incubation varie de 24 à 48 heures, à une température de 37°C pour les coliformes totaux et de 44°C pour les coliformes fécaux. Elle est de 24 heures sous la température de 37°C pour les flores aérobies totales.

ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse des données et l'établissement des cartes ont été possibles au moyen des logiciels de traitement multicritères: Arc-Gis, QGIS, Surfer et xlstat.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

RÉSULTATS DE LA PIÉZOMÉTRIE

Les résultats de la campagne piézométrique sont présentés dans le Tableau N°1.

Tableau 1. Résultats des paramètres hydrodynamiques des ouvrages hydrauliques

Point d'eau	Y	X	Z (m)	Ns (m)	NP (m)
Ouadidoum	14,133	15,31308	344	49,6	294,4
Bozonga 2	14,1123	15,31167	339	41,7	297,3
Tchoulori	14,1289	15,32562	323	29	294
Ali Alifei	14,1188	15,31358	352	47,2	304,8
Ouadi djougou	14,1266	15,32429	317	7,2	309,8
Gardoleh	14,1322	15,30069	331	42	289
Bornoty	14,1212	15,30828	353	36,8	316,2
Fezanais	14,1238	15,31183	358	56,4	301,6
Djougou Nord	14,1291	15,32519	320	29	291
Mao-Youlo1	14,1212	15,5161	330	49	281
Moto	14,1165	15,31022	345	44,6	300,4

X: Longitude; Y: Latitude; NS: Niveau Statique; NP: Niveau piézométrique;

L'analyse du tableau N° 1 montre que les niveaux statiques des ouvrages oscillent entre 7.2 et 56.4 m avec une moyenne de 39.3m et que le niveau piézométrique oscille entre 281m à Mao-Youlo1 contre 316.2m à Bornoty; ce qui donne une faible piézométrie sur l'ensemble de la ville. La faible piézométrie est évoquée par [8]; [9]; [10] comme facteur de diffusion des produits chimiques dans les aquifères. Par ailleurs, les levés piézométriques complétés des observations des terrains ont permis l'établissement de la carte piézométrique de la ville de Mao présentée sur la figure N° 3.

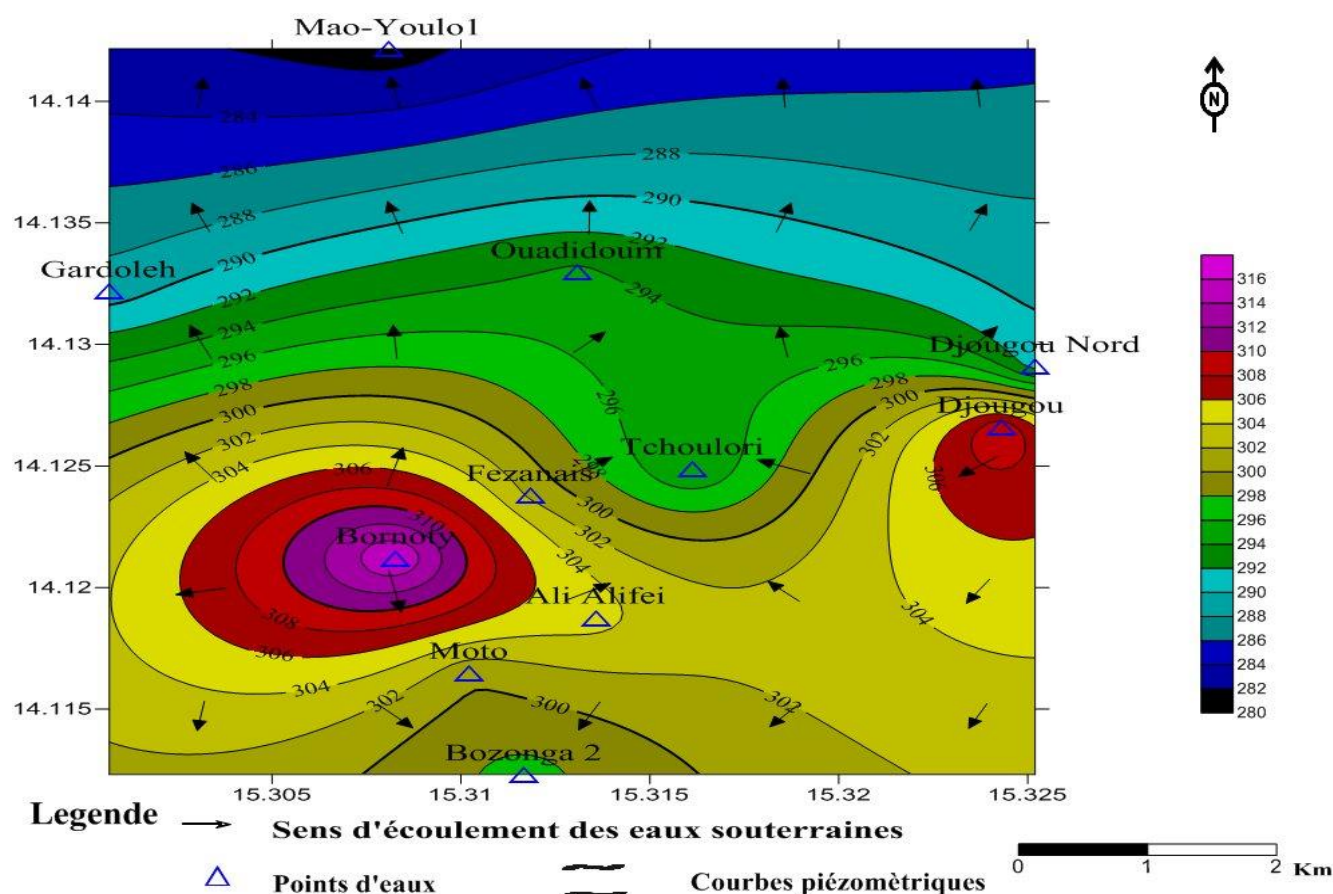


Fig. 3. Carte piézométrique de la ville de Mao

L'analyse de la carte piézométrique montre que les côtes piézométriques présentent un espacement régressif des courbes isopièzes du centre vers la périphérie de la ville de Mao; ce qui met en évidence la présence des dômes piézométriques à Bornoty (isopièze 314 m) et à Djougou (isopièze 308 m) au centre et des dépressions en périphérie entourant la ville. Cette configuration fait que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté dans toutes les directions convergeant vers ces dépressions en périphérie de la ville. Ce constat est en lien avec la réalité du terrain, caractérisé par la présence des ouadis ou dépressions qui entourent la ville et dans lesquelles se pratiquent des activités maraichères.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX

L'analyse physico-chimique a porté sur un échantillon de vingt (20) ouvrages choisis sur la base de la densité de la fréquentation de ces ouvrages par les populations pour leur approvisionnement en eau. Ces ouvrages sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau N°2.

Tableau 2. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la ville de Mao

Nom de forage	Na+	Ca2+	k+	Mg2+	NH4+	Fe	CaCo3	HCO3-	SO42-	NO3-	CL-	CE(μS/cm)	PH	T°C
BOZONGA1	26	8,8	2,5	6,8	0	0,1	50	70,76	16	23,8	10	174,8	6,2	27
PAM	11,5	1,6	1,5	1,46	0	0	10	26,84	7,5	0	5	77,65	8,5	28
HYDRAULIQUE	10	6	2	4,2	0	0	64	17,7	6	4,1	25	165,8	8,3	26
LYCEE A ZERTY	32,5	7,2	5,5	2,92	0	0,1	30	61	25	9	16	196,6	8,2	25
EGUSE EVAN	33,2	8	5	0,49	0	0,23	22	34,16	20,2	16,5	26	243,8	7,5	25
GOUVERNORAT	39,8	7,2	4,5	0,49	0	0,11	20	36,6	15	9	42	205,6	7,2	29
ECOLE N INSTITUTEUR	25,5	4	2,5	1,94	0	0,3	18	17,08	24,5	12,9	19	144,2	7	25
STE	42	6,4	3,5	0,97	0	0,3	20	26,84	29,5	15,2	35	249,3	6,9	25
HOPITAL	37,1	7,2	5,5	3,9	0	0,12	30	14,64	39,5	19,5	37	241,7	6,4	25
MARCHE DE BETAÏL	13,2	8	2,2	4,37	0	0	38	53,68	3	0	16	166,3	6,25	26
OUADIDOU	6,9	1,6	15	4,4	0,1	0,1	22	19,5	15	2,7	15	173	6,9	27
BOZONGA 2	0,3	1,4	1,2	4,5	0,2	0,2	22	19,5	0	2	5	147	6,27	28
TCHOUOLORI	6	8	10	2,4	0,02	0,02	30	16,45	10	8,9	20	348	6,12	28
ALI ALIFEI	4,5	6,4	20	1,5	0,25	0,25	22	23,9	11	2,3	15	308	6,26	28
GARSOLEH	0,7	8	1,9	2,9	0,12	0,12	32	24,4	1	6	7	98	6,28	29
BORNOTY	0,7	20	4,5	3,4	0,25	0,25	64	61	4	3	11	133	6,27	29
FEZANAIS	1,3	5,6	3,6	4,4	1,85	1,85	32	24,4	12	0	6	264	6,3	28
MOTO	0,3	18,4	6	3,4	0,01	0,01	60	19,5	18	0,2	27	427	7,6	28
DJOUGOU NORD	6	2,4	26	4,2	0,42	0,42	6	17,1	31	1,5	15	501	7	28
EGUSE CATH	30	8,1	2	2,3	3,9	0,65	34	28	7	55,9	12	210	7,2	27
Norme OMS/Tchad	≤ 200	≤ 100	≤ 50	≤ 12	≤ 1,15	≤ 0,3	RAS	RAS	≤ 0,3	≤ 50	≤ 250	2500μS/cm	6.5-8.5	

L'analyse des paramètres physiques des eaux échantillonnées montre que les températures du secteur d'étude varient entre 25°C à 29°C avec une moyenne arithmétique de 27,30°C. Elles varient de manière cohérente avec les températures moyennes mensuelles de l'air mesurées à la station de Mao (31 à 41°C). Les valeurs du pH mesurées sont hétérogènes sur l'ensemble des eaux échantillonnées. Toutefois elles sont conformes aux normes nationales des eaux de consommation. Elles varient entre 6,2 et 8,5 avec une moyenne de 6,9 proche de la neutralité. Les valeurs des conductivités électriques sont hétérogènes sur l'ensemble de la zone d'étude. Les faibles valeurs sont mesurées au forage PAM (77.63 μS/cm). La conductivité la plus élevée (427 μS/cm) est mesurée à Moto. Cette valeur peut s'expliquer par la forte minéralisation de l'eau et l'évaporation au regard des fortes températures enregistrées dans la zone. L'analyse des éléments chimiques présente globalement des concentrations normales au regard de la norme nationale. Toutefois, on note les teneurs anormales en fer total dans les forages Fezanais, Djougou nord et Eglise catholique respectivement de 1.8; 0.42 et 0.65mg/l contre la valeur seuil de la norme nationale de 0.3mg/l. Les sources les plus fréquentes de fer dans l'eau souterraine sont naturelles: il peut s'agir par exemple de l'altération météorique des minéraux et des roches qui en contiennent, comme les amphiboles, les micas ferromagnésiennes, les sulfures de fer, les magnétites, les oxydes, les carbonates, ainsi que les minéraux d'argile ferrugineuse. Le fer est souvent présent à l'état naturel dans les puits ou forages profonds ou l'eau souterraine possédant peu, voire pas du tout d'oxygène, ainsi que dans les régions où l'eau coule à travers des sols riches en matières organiques. Les sources artificielles du fer dans l'eau sont les cuvelages des puits, canalisations, pompes, réservoirs, et autres objets faits en fonte ou en acier pouvant être en contact avec de l'eau. Les effluents industriels, les eaux d'exhaure acide, les eaux usées ainsi que les lixiviats provenant des sites d'enfouissement des déchets peuvent également contribuer à la présence de fer dans les nappes phréatiques. A des concentrations supérieures aux recommandations pour l'eau potable, le fer peut modifier le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau de puits. Selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, le fer correspond à un objectif esthétique (OB) inférieur ou égal à 0,3 milligramme par litre.

La teneur en ammonium observée dans les forages Fezanais et de l'église catholique dont les valeurs respectives de 1.85 et 3.9mg/l, sont supérieures à la valeur de la norme nationale. L'ion ammonium NH_4^+ , est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans les eaux naturelles à des concentrations qui peuvent varier de 0,1 à plus de 10 mg/l. Selon [11], l'ion ammonium ne présente pas un caractère nocif pour la santé, mais sa présence, en particulier dans les eaux de surface, peut être considérée comme un indicateur de pollution. Cependant, il constitue un élément gênant, car il interfère avec la chloration pour former des chloramines modifiant l'odeur et le goût de l'eau (goût de chlore).

Il est par ailleurs un aliment pour certaines bactéries qui peuvent ainsi proliférer dans les réseaux de distribution. Il convient donc de l'éliminer de l'eau destinée à la consommation humaine.

Enfin, on note une teneur anormale en nitrate qui s'élève à 55,9mg/ml à l'église catholique contre un seuil de 50mg/l. A ce sujet [12] rapportent que les nitrates des eaux souterraines proviennent du lessivage par l'eau de pluie des nitrates produits

naturellement dans le sol superficiel, ou apportés sous forme d'engrais et que la concentration naturelle en nitrates dans les eaux souterraines est inférieure à 10 mg/L. Une étude écologique Canadienne [13] a trouvé une association du risque de cancer du cerveau avec l'exposition aux nitrates dans l'eau potable pour des concentrations supérieures à la limite réglementaire. Aussi, des études écologiques récentes en Slovaquie, en Espagne et en Hongrie, utilisant des mesures historiques de concentrations de nitrates avec des niveaux d'exposition proches ou au-dessus du niveau réglementaire maximum de contamination, ont montré une corrélation positive avec la fréquence ou le taux de mortalité du cancer gastrique [14]; [15]; [16].

En définitive, on constate que statistiquement 25% des points d'eau présente des teneurs anormales en fer total, en ammonium et en nitrate. Pour des raisons de fiabilité des résultats d'analyses, une balance ionique basée sur l'électroneutralité de l'eau est donnée automatiquement par le logiciel Diagramme pour chaque échantillon d'eau analysé. En effet, une analyse chimique est considérée comme valide lorsque la balance ionique ne dépasse $\pm 5\%$. Les balances ioniques ont été vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés conformément à la figure N°4.

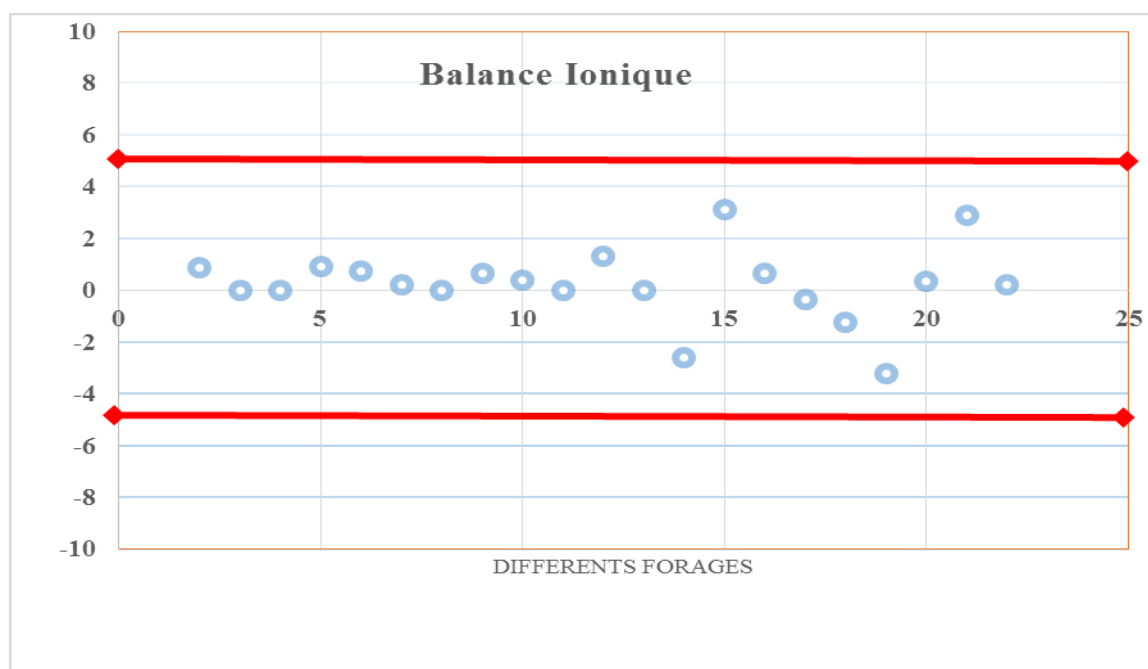


Fig. 4. Balance ionique des eaux souterraines des forages

On constate que les valeurs de la balance ionique des échantillons analysés oscillent entre 3,13 à -3,19 %; ce qui démontre la fiabilité des résultats de l'analyse des paramètres chimiques de l'eau de consommation de la ville de Mao. Afin de déterminer l'origine de la contamination au fer, à l'ammonium et au nitrate, une corrélation entre le nitrate et les autres éléments chimiques est réalisée pour observer leur affinité. Cette corrélation s'appuie sur une matrice de corrélation qui permet d'établir les relations entre les variables chimiques et de ressortir celles qui présentent un comportement similaire, en vue d'avoir une idée sur le chimisme des eaux souterraines. En clair, l'analyse de la matrice de corrélation permet de retenir les éléments corrélés deux à deux pour voir les éléments qui ont une origine commune. En l'espèce, la corrélation est faite entre le nitrate et le fer qui est un paramètre indésirable et entre le nitrate et l'ammonium qui est un paramètre polluant. Les coefficients de corrélation sont compris dans l'intervalle -1,00 à +1,00. La valeur -1,00 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1,00 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0,00 représente une absence de corrélation (ou l'indépendance entre les variables). Le tableau N°4 présente la matrice de corrélation.

Tableau 3. Matrice de corrélation

Variables	pH	c25°C	Na	Ca	K	Mg	NH ₄	HCO ₃	SO ₄	NO ₃	Cl
T°C											
pH	1,000										
c25°C	0,193	1,000									
Na	0,366	-0,118	1,000								
Ca	0,065	0,144	-0,109	1,000							
K	-0,023	0,688	-0,261	-0,189	1,000						
Mg	0,135	-0,009	-0,393	0,011	-0,002	1,000					
Fe	-0,338	0,114	-0,352	-0,069	0,387	-0,029					
NH ₄	-0,107	0,282	0,018	-0,072	0,155	0,010	1,000				
HCO ₃	-0,075	-0,328	0,217	0,402	-0,272	0,220	-0,152	1,000			
SO ₄	0,378	0,463	0,585	-0,107	0,326	-0,129	-0,040	-0,153	1,000		
NO ₃	0,119	-0,081	0,585	0,049	-0,253	-0,117	0,622	0,102	0,152	1,000	
Cl	0,591	0,288	0,640	0,171	0,014	-0,394	-0,245	-0,178	0,579	0,121	1,000

CORRÉLATION ENTRE LE NITRATE ET LE FER

La corrélation entre le nitrate et le fer est représentée dans la figure N°5. L'analyse de cette figure montre une dispersion irrégulière des points autour de la droite d'ajustement. De plus, avec un coefficient de corrélation de $R=0.022$, on constate qu'il n'y a pas de corrélation significative entre le nitrate et le fer.

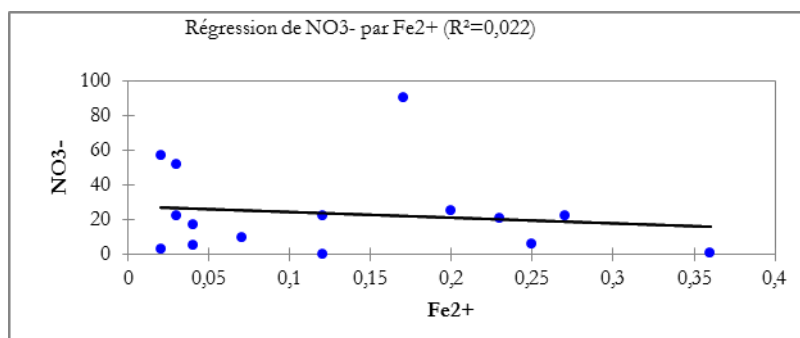


Fig. 5. Corrélation entre le nitrate et le fer

CORRÉLATION ENTRE LE NITRATE ET L'ION AMMONIUM

Comme avec le fer, le nitrate ne montre pas de corrélation significative avec l'ammonium. La faible valeur du coefficient de corrélation ($R=0.353$) et la dispersion irrégulière des points autour de la droite d'ajustement laissent entrevoir un comportement hydrochimique différent.

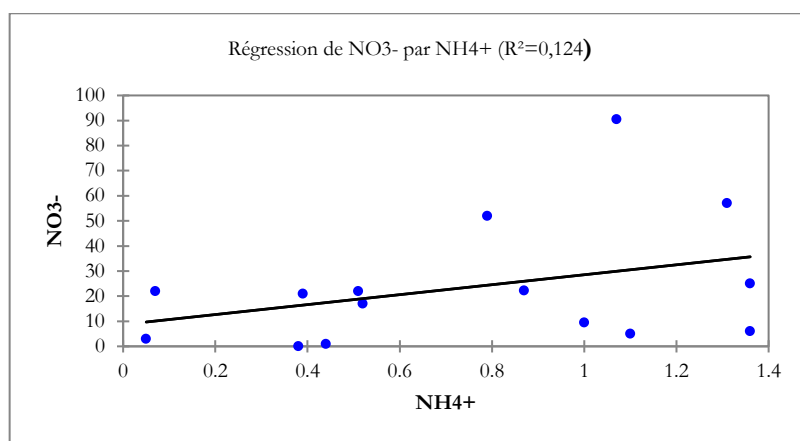


Fig. 6. Corrélation entre le nitrate et l'ammonium

En définitive, l'un dans l'autre, on note qu'il n'y a pas de corrélation significative entre les différents éléments chimiques. L'hypothèse d'une hydrolyse chimique qui libère des bases échangeables susceptibles d'expliquer la concentration anormale du nitrate et d'ammonium dans l'eau ne se justifie pas. Par contre, l'origine de leur teneur élevée observée par endroit dans la zone d'étude, notamment au forage fezanais et à l'église catholique, pourrait s'expliquer par des activités humaines autour de ces forages, notamment la lessive et le dépôt sauvage des ordures ménagères. Ce résultat corrobore ceux de [17]; [18]; [19] qui ont rapporté que la présence de nitrates, en concentration élevée, dans des aquifères sous climat aride, est due à une pollution anthropique. La faible piézométrie peut aussi être indexé comme un facteur de diffusion des polluants dans les aquifères. A ce sujet, [20]; [21]; [22]; [23] ont trouvé que les aquifères peu profonds ou non confinés peuvent être contaminés par des rejets ou des suintements dus à des pratiques agricoles et autres présentes sur le site.

RÉSULTATS DES ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

Les résultats de l'analyse des paramètres bactériologiques sont consignés dans le tableau N°4.

Tableau 4. Résultat des analyses bactériologiques

Paramètres microbiologiques	Echerichia coli	coliformes totaux	Enterocoques fecaux	flore aérobies totales
Unité	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml
BOZONGA1	28	55	>100	>100
PAM	0	0	0	0
HYDRAULIQUE	38	>100	>100	70
LYCEE A ZEZERTY	2	66	>100	>100
EGLISE EVAN	0	0	0	0
GOUVERNORAT	0	77	>100	80
ECOLE N INSTITUTEUR	0	>100	>100	>100
STE	31	15	>100	>100
HOPITAL	10	33	>100	25
MARCHE DE BETAÏL	0	0	0	0
OUADIDOU	0	0	0	0
BOZONGA 2	0	0	0	0
TCHOULORI	0	0	0	0
ALI ALIFEI	0	0	0	0
GARSOLEH	0	0	0	0
BORNOTY	0	0	0	0
FEZANAIS	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0
DJOUGOU NORD	0	0	0	0

EGLISE CATH	0	0	0	0
Norme OMS/Tchad UFC/100ml	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml

Les résultats des analyses bactériologiques montrent que:

Cinq (5) forages sur 20 détectent la présence d'*Escherichia coli* dans des concentrations allant 2 à 28 UFC/ml contre la norme nationale qui requiert 0 UFC. La présence d'*E. coli* dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales, et peut indiquer la présence possible des germes pathogènes responsables de maladies, comme des bactéries, des virus et des parasites [24]. Ce résultat est similaire à ceux obtenus par [25] dans la ville de Bol au lac-Tchad

Les coliformes totaux sont détectables dans sept (7) points d'eau prélevés et analysés sur les vingt, dans des proportions allant de 15 à 100UFC/ml contre un seuil normal de 0 UFC/ml. Comme l'*Escherichia Coli*, les coliformes totaux servent d'indicateurs pour mesurer le degré de pollution et la qualité de l'eau de puits et forage. La présence d'*E. Coli* et des coliformes totaux dans l'eau potable signifie que celle-ci a été contaminée par des matières fécales pouvant contenir des micro-organismes pathogènes, comme des bactéries, des virus ou des parasites. Les conséquences d'une exposition à ces microorganismes pathogènes présents dans l'eau peuvent varier. Les symptômes les plus courants sont la nausée, les vomissements et la diarrhée. Les enfants en bas âge, les personnes âgées, ainsi que les personnes dont le système immunitaire est affaibli, peuvent avoir des symptômes plus graves. Dans les cas extrêmes, certains pathogènes peuvent infecter les poumons, la peau, les yeux, le système nerveux, les reins, ou encore le foie, et les effets peuvent être plus graves, chroniques, voire mortels. Ce résultat est en lien avec les pathologies récurrentes enregistrées à l'hôpital provincial de la ville de Mao. Il est similaire à celui de [26] dans quatre communes défavorisées d'Abidjan. Il peut s'expliquer par l'absence d'un service d'assainissement adéquat souvent caractérisé des fosses septiques et rejets d'eau usée dans la nature sans traitement préalable, le lessivage de déjections animales, les eaux de ruissellement. Pendant et après des précipitations, des bactéries et d'autres micro-organismes dangereux peuvent pénétrer dans les ouvrages d'eau mal construits ou mal entretenus et accroître les risques de contamination.

Les Entérocoques fécaux et les Flores aérobies totales sont présents dans 7 forages (Bozonga1, Hydraulique, Lycée Alifa Zezerty, Hôpital de Mao, STE Gouvernorat, Ecole Normale d'Instituteur). Ces germes sont des indicateurs de la pollution ancienne. Leur présence dans l'eau indique que la contamination est due aux micro-organismes entéropathogènes qui sont les salmonelles responsables de la maladie de fièvre typhoïde. Les flores aérobies sont des germes globaux qui poussent en présence d'oxygène à une température comprise entre 25 et 30°C. La présence de ces bactéries serait due à l'infiltration de l'eau chargée de la matière organique pour atteindre la nappe. De plus il ressort du constat du terrain que certains forages réalisés dans la ville de Mao ne respectent pas la distanciation de minimum de 10 mètres avec les latrines. Tout cela aurait contribué à cette situation alarmante.

En définitive, la potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao est un défi à l'autorité communale. Elle est caractérisée par:

- Des paramètres physiques (température, potentiel d'hydrogène et la conductivité électrique) qui respectent la norme nationale d'eau de consommation;
- Des paramètres chimiques qui globalement sont acceptables sauf cinq forages qui présentent des concentrations anormales en fer total, en ammonium et en nitrate. Ces forages imposent un suivi d'exploitation voire un dispositif de traitement par filtration et aération avant toute consommation pour éviter des effets nocifs à long terme
- Des paramètres microbiologiques accablant pour 7 forages, ce qui représente 35% des points d'eau recensés et analysés. Dans ces ouvrages, on détecte la présence des germes d'*Escherichia coli*, des coliformes fécaux, des entérocoques fécaux et flores aérobies totales dans des concentrations variables. Or la directive nationale en matière de l'eau de consommation impose que la concentration maximale acceptable dans l'eau potable soit égale à aucun micro-organisme détectable par volume de 100ml. Cela signifie donc que pour se conformer à la directive en vigueur, la présence de coliformes totaux ou d'*Escherichia coli*, des entérocoques fécaux ou flores aérobies totales ne doit pas être détectée dans un volume de 100 ml d'eau potable.

4. CONCLUSION

L'objectif assigné à cette étude était de faire le point sur l'état de potabilité de l'eau de consommation distribuée dans la ville de Mao, province du Kanem au Tchad. Les résultats auxquels nous sommes parvenus montrent une contamination des eaux de consommation par des bactéries coliformes, entérocoques et flores aérobies totales détectée dans 35% des ouvrages prélevés et analysés dans la ville de Mao. 25% d'ouvrages présentent des concentrations anormales en nitrate, fer total et

ammonium. Une corrélation deux à deux de ces éléments chimiques ne montre aucun résultat significatif. Cela présage qu'ils proviennent probablement des activités humaines locales.

L'étude hydrodynamique a permis de déterminer le sens d'écoulement des eaux et de mettre en évidence deux dômes piézométriques au centre et des dépressions piézométriques aux alentours de la ville de Mao. Elle montre en général une faible piézométrie sur l'ensemble de la zone d'étude. L'étude de la corrélation entre le taux de mortalité ou de morbidité de la population de la ville de Mao et la concentration anormale des éléments chimiques ou bactériologiques constitue un résultat non atteint de l'étude. Notre souhait est de voir les prochaines études s'appesantir sur cet aspect. [25] Njitchoua et al. (1996) ont montré que naturellement, les eaux souterraines renferment de nitrate, de fer. Ceux-ci proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales telles que légumineuses par des cyanobactéries ou de la dégradation la roche mer. Mais lorsque les concentrations dépassent les normes d'un pays, les investigations scientifiques sont les voies qui permettent de faire l'état des lieux et fournir des outils d'aide à la décision. Il est en définitive nécessaire d'informer, d'éduquer et de communiquer avec les décideurs locaux de la nécessité d'un service continu et sanitaire de la distribution d'eau potable à la population dans la ville de Mao, province du Kanem au Tchad.

REMERCIEMENTS

Mes vives reconnaissances et remerciements s'adressent à la coopération SUISSE au Tchad pour son soutien apporté au cours de la réalisation de cette étude. Nous remercions également le personnel du Laboratoire Nationale des Eaux section provinciale de Mao et le Délégué de l'hydraulique urbaine et rurale pour leurs collaborations.

REFERENCES

- [1] Karambiri H, García Galiano S, Giraldo J, Yacouba H, Ibrahim B, Barbier B and Polcher J (2011). Assessing the impact of climate variability and climate change on runoff in West Africa: the case of Senegal and Nakambe River basins, *Atmospheric Science Letters* 12 (1), 109–115.
- [2] WHO, (2008). chemical hazards in drinking-water, water sanitation and health, drinking water quality.
- [3] OMS, (2010), Rapport sur l'amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le monde: coûts et avantages. 189p
- [4] PAQUEROT S., 2005. Eau douce-la nécessaire refondation du droit international, presse de l'université de Québec (ISBN: 2-7605-1323-8).
- [5] OMM AND UNESCO 1997. Y aura-t-il de l'eau sur la terre, OMM Nr857. ONU (1992). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, *New York: Nations Unies*.
- [6] Baron C., 2009. L'eau en Afrique: disponibilité et accès. *Revue Futuribles* N°359.
- [7] JMP, (2015) le programme conjoint de suivi de l'OMS et de l'UNICEF.
- [8] Dieng Y., Tandia A., Wane. A.T., Gaye O., DIOP E. S.; DIALLO S. (1999). Les parasitoses intestinales chez les habitants d'une zone périurbaine a nappe phreatique polluee par les nitrates d'origine fecale (Yeumbeul, Sénégal). *Cahiers santé*; 9: 351-356.
- [9] Rouabhia A., Baali. F., Kherici N., Djarbi L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algerie). *Sécheresse*; 15: 347-52.
- [10] Degbey C., Makoutodé M., Agueh V., Dramaix M.; Debrouwer C. (2011). Facteurs associés à la qualité de l'eau de puits et prévalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey Calavi (Bénin). *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*, 21: 47-55.
- [11] Memotec n°11: L'élimination de l'ammonium dans l'eau potable, REVISION A DATE: 01/01/2006
- [12] Cocco, P., G. Broccia, et al. (2003) Nitrate in community water supplies and incidence of non-Hodgkin's lymphoma in Sardinia, Italy. *J Epidemiol Community Health*. 57 (7): 510-1.
- [13] Thouez J-P, Beauchamp Y, Simard A. (1981) Cancer and the physicochemical quality of drinking water in Quebec. *Soc Sci Med.*; 15D: 213-223.
- [14] Gulis, G., M. Czompolyova, et al. (2002) An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District, Slovakia. *Environ Res*. 88 (3): 182-7.
- [15] Morales Suarez-Varela, M., Llopis Gonzalez, A., Tejerizo Perez, M. L. & Ferrandiz Ferragud, J. (1993). Concentration of nitrates in drinking water and its relationship with bladder cancer. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 12, 229-36.
- [16] Sandor, J., Kiss, I. & Ember, I. (1998) Threshold for gastric cancer causing effect of nitrate in drinking water. *Anticancer Res*. 18, 4940.
- [17] Girard, P. AND Hillaire-Marcel, C., 1996. Determining the source of nitrate pollution in Niger discontinuous aquifers using the natural $15\text{N}/14\text{N}$ ratios. *Journal of Hydrology*, 199,3-4, pp.239-251.

- [18] Walvoord, M.A.Philips.F.M; stonestrom, D.A Evans, R.D., Hartsoungh, PC Newman, B.D., et Striegl, R.C., 2003. A reservoir of nitrate beneath desert soils sciences 302, pp.1021-1024
- [19] Stadler. et al. 2008, Understanding the origin and fate of nitrate in groundwater of semi-aride environments. *Journal of Environment*, 72: 1830-1842
- [20] Mehdaoui O., Venanta A., Fekhaoui M. (2000). Contamination par les pesticides organochlorés et les nitrates de la lagune de Moulay Bouselham, Maroc. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*; 10: 381-12
- [21] Sebei A., CHaabani F., Souissi F., Saadi A. (2004). Hydrologie et qualité des eaux de la nappe de Grombalia (Tunisie nord-orientale). *Sécheresse*; 15: 159-66.
- [22] Arumi J.L., Nunéz J., Salgado L., Claret M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. *Rev Panam Salud Publica*, 20: 385-392. doi: 10.1590/S1020-49892006001100004.
- [23] Mouni L., Merabet D., Arkoub H., Moussaceb K. (2009). Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algerie). *Sécheresse*; 20: 360-6. doi: 10.1684/sec.2009.0209
- [24] Scott t.m, rose j.b, jenkins t.m, farrah s.r, lukasik j. (2002). microbial source tracking: current methodology and future directions. *applied and environmental microbiology*, vol.6, p. 5796-803.
- [25] MOGOBAYE.P, (2018), mémoire de master, Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau de consommation de la ville de Bol et ses environs, Université de Ndjaména, 55P
- [26] Yapo.O, MAMBO.V, SEKA. OHOU.M, (2010), Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan en cote d'Ivoire, *Int.J.Biol.Chem.Sci.*, 4 (2) 289-307
- [27] Njitchoua R., Dever L., Fontes J.C. And Naah E., 1996. Geochemistry, origin and recharge mechanisms of groundwaters from the Garoua Sandstone aquifer, northern Cameroon. *Journal of Hydrology*, 190: 123 140.