



Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'adduction publique de la Société Tchadienne des Eaux à N'djamena au Tchad

Mahamat Seid Ali Malloum ¹, Maoudombaye Theophile ¹, Abdelsalam Tidjani ², Ndoumtamia G¹, Loukhman Bichara³

¹ Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Doba,

² Faculté des Sciences de la Santé Humaine de l'Université de N'Djamena, B.P. 1117, N'Djamena, TCHAD

³ Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de l'Université de N'Djamena, B.P. 1117, N'Djamena, TCHAD

Adresses téléphoniques et mail : MAHAMAT SEID ALI MALLOUM : (+235) 66 29 67 16 ; seidaligarga@gmail.com

Maoudombaye Theophile : (+235) 66269097 ; theomaoudombaye@gmail.com

Original submitted in on 2nd October 2015. Published online at www.m.elewa.org on 30th November 2015

<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v95i1.7>

RÉSUMÉ

Objectif : Le présent travail a pour objectif de faire une étude comparée de la qualité physico-chimique des eaux brutes et des eaux traitées de la Société Tchadienne des Eaux du Tchad, la seule, qui exploite les eaux souterraines pour l'alimentation de la ville de N'djamena.

Méthodologie et résultats : Au total trente échantillons de ces eaux ont été prélevés et soumis aux analyses. Sur chaque échantillon, le pH, la turbidité, la conductivité électrique, la dureté totale, les ions sodium, ammonium, potassium, magnésium, calcium, fluor, chlore, nitrites, nitrates, phosphates, sulfates et carbonates ont été déterminés. Les paramètres physiques ont été déterminés in situ grâce aux appareils électriques automatiques. Les paramètres chimiques sont analysés par les méthodes colorimétrique et spectrophotométrique. Les valeurs des paramètres physicochimiques des eaux brutes et des eaux traitées obtenus soumis aux traitements statistiques se présentent respectivement comme suit : pH (7,259±0,43 et 6,848±0,82), température (28,522±2,66 et 28,546±2,27), turbidité (0,424±1,16 et 0,116±0,08), conductivité (360,99±127,77 et 261,932±67,67), TH (47,457±20,61 et 42,66±11,73), Na⁺ (28,230±28,55 et 17,81±3,57), NH₄⁺ (4,118±4,68 et 1,564±1,03), K⁺ (6,004±1,27 et 5,414±0,94) Mg²⁺ (10,921±4,45 et 8,39±2,22), Ca²⁺ (40,244±17,97 et 34,272±10,00), F⁻ (0,516±0,13 et 0,422±0,09), Cl⁻ (14,882±10,31 et 17,086±8,45), NO₂⁻ (0,07±0,15 et 0,026±0,05), NO₃⁻ (12,112±13,48 et 9,954±8,83), PO₄³⁻ (0,152±0,28 et 0,226±0,33), SO₄²⁻ (16,36±13,59 et 10,52±3,36) et HCO₃⁻ (146,98±53,75 et 115,802±29,68). Les résultats obtenus ont montré des différences significatives entre les valeurs de pH, de turbidité, de conductivité, des ions NH₄⁺, Mg²⁺, K⁺ et HCO₃⁻ des eaux brutes et celles des eaux traitées. Ces résultats ont montré que le processus de traitement a significativement réduit la quantité de ces ions dans les eaux traitées.

Conclusion et application des résultats : Ces résultats attestent de la justesse du traitement préalable des eaux brutes, permettant de ramener les paramètres physico chimiques aux normes d'exigence et de qualité, avant leur utilisation. En dépit des valeurs moyennes des ions ammonium largement supérieures à la norme de l'OMS, ces résultats montrent que les eaux d'adduction publique de la ville de N'djamena ne présenteraient pas de danger majeur pour la santé de la population.

An evaluation of the physico-chemical quality of public waters of the National water Company of Chad

ABSTRACT

Objective: This work aims at making a comparative study to assess the physico-chemical quality of treated and raw waters of the Chadian National Company of Water, the only one that exploits underground waters to supply the city of N'Djamena.

Methods and findings: In total thirty (30) samples of these waters were collected and subjected to analyses. The pH, turbidity, electrical conductivity, total hardness, and sodium ions, ammonium, potassium, magnesium, calcium, fluorine, chlorine, nitrites, nitrates, phosphates, sulphates, and carbonates have been determined on each sample. The physical parameters were determined thanks to automatic electrical devices. The chemical parameters are analyzed through the colorimetric and spectrophotometric methods. The values of the physico-chemical parameters of raw and treated waters obtained subject to the statistical treatments were as follows: pH (7.259 ± 0.43 ; 6.848 ± 0.82), temperature (28.522 ± 2.66 ; 28.546 ± 2.27), turbidity (0.424 ± 1.16 ; 0.116 ± 0.08), Conductivity (360.99 ± 127.77 ; 261.932 ± 67.67), TH (47.457 ± 20.61 ; 42.66 ± 11.73), Na^+ (28.230 ± 28.55 ; 17.81 ± 3.57), NH_4^+ (4.118 ± 4.68 ; 1.564 ± 1.03), K^+ (6.004 ± 1.27 ; 5.414 ± 0.94), Mg^{2+} (10.921 ± 4.45 ; 8.39 ± 2.22), Ca^{2+} (40.244 ± 17.97 ; 34.272 ± 10.00), F^- (0.516 ± 0.13 ; 0.422 ± 0.09), Cl^- (14.882 ± 10.31 ; 17.086 ± 8.45), NO_2^- (0.07 ± 0.15 ; 0.026 ± 0.05), NO_3^- (12.112 ± 13.48 ; 9.954 ± 8.83), PO_4^{3-} (0.152 ± 0.28 ; 0.226 ± 0.33), SO_4^{2-} (16.36 ± 13.59 ; 10.52 ± 3.36) and HCO_3^- (146.98 ± 53.75 ; 115.802 ± 29.68).

Conclusion and application of results: These results demonstrate the accuracy of the pre-treatment of raw water, which allows aligning the physico-chemical parameters with the standards of requirements and quality, before their use. In spite of the average values of the ammonium ions widely above the standard of WHO, these results show that the public water supply of the city of N'djamena does not present any major danger for the health of the population.

Key words: physico-chemical quality, raw waters, treated waters, National Company of Water (NCW), N'Djamena, Chad.

INTRODUCTION

En Afrique, les eaux souterraines subissent de multiples contraintes dues à une forte croissance démographique et à l'inadaptation ou même l'absence d'assainissement (Boubakar, 2010). En effet, les réseaux d'égouts, les fosses septiques, les eaux usées des usines et les déchets solides sont les sources principales de pollution des eaux souterraines dans le secteur urbain. Dans les zones périurbaines et rurales, l'agriculture, par l'intermédiaire des intrants agricoles, contribue aussi à dégrader la qualité des nappes et cours d'eau (Bricha *et al.*, 2007). Le Tchad dispose d'importantes ressources en eau avec des vastes régions constituées de formations sédimentaires (sables, grès), sièges d'aquifères continus sous forme de nappes libres et de nappes profondes captives ou semi-captives (SDEA, 2003). Il est classé à la sixième place des pays dont les

besoins en eau sont les plus importants (WHO/UNICEF, 2008). En outre, la croissance démographique galopante des dernières années a soumis les grands centres à une forte extension. De ce fait, ces centres évoluent sans plan réel de planification spatiale et d'aménagement urbain. La plupart des nouveaux quartiers des grands centres sont installés dans des zones quelquefois impropres à l'habitation. De plus, le réseau d'adduction d'eau ne suit pas cette extension. Les quelques quartiers desservis sont soumis aux coupures intempestives. Cette situation amène certains ménages disposant des moyens à se doter des forages à motricité humaine dont la qualité de l'eau n'a pas toujours été évaluée par des équipes techniques qualifiées. Certains ménages vivant dans la précarité et loin des forages manuels, se contentent des eaux de puits

traditionnels pour la consommation. Au vu de la gestion irrationnelle des différentes sources de contamination et des risques potentielles qui

pèsent sur la qualité de ces eaux, des analyses physico chimiques des eaux des forages de la SNE de la ville de Ndjamen ont été effectuées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Caractéristiques de la zone d'étude : a capitale, Ndjamen, se situe au confluent des fleuves Chari et Logone et comptait 993 492 habitants en 2009 (INSEED, 2011). Elle est subdivisée en 10 communes urbaines, érigées en arrondissement (Djim-adjim, 2013). L'accroissement démographique galopant et l'aménagement des espaces urbains et périurbains constituent un véritable défi à Ndjamen. L'urbanisation de la ville de Ndjamen s'avère délicate à la fois en raison de la nature des terrains (limons, argiles fines, argiles gonflantes) et des difficultés rencontrées pour les drainer. En effet, le site, particulièrement plat, voire mené à contre-pente par rapport au fleuve Chari, ne favorise pas le drainage des eaux pluviales et provoque parfois de vastes inondations (BCEOM, 1992). La ville de Ndjamen jouit d'un climat tropical sec qui a évolué du type soudano-sahélien vers le type sahélien. Elle connaît deux saisons, dont une longue saison sèche (7-8 mois, de novembre à mai) et une courte saison humide (3-5 mois, de mai à octobre). Les précipitations oscillent entre 400 et 700 mm/an sous forme d'averses plus ou moins violentes. Les températures observées à Ndjamen sont comprises entre 20°C et 45°C en

saison sèche et entre 18°C et 30°C en saison des pluies (FAO, 2012). Le relief de la ville de Ndjamen est, dans son ensemble, légèrement plat. Il s'agit d'un ensemble de plaines inondables et exondées s'étendant de part et d'autre du fleuve Chari. La ville de Ndjamen est le domaine des vertisols et des sols hydromorphes. Ces sols, qui se différencient les uns des autres par un régime hydrique légèrement dissemblable, sont tous argilo-sableux à argileux, à nodule calcaire assez riche en éléments fertilisants, phosphore mis à part (Pias, 1972). On y trouve partout des bas-fonds ou des faibles dépressions accumulant les eaux de pluie pendant la période d'hivernage et le début de la saison sèche. La Société Nationale d'Eau (SNE), sous tutelle du Ministère de l'Énergie et du Pétrole, est la seule société à desservir la population.

Prélèvement : Les prélèvements sont constitués des eaux brutes et des eaux traitées de la SNE, effectués selon un dispositif complètement randomisé, dans 15 sites à N'Djamen. Ces sites sont constitués notamment de forages et de stations de pompage des infrastructures hydrauliques de cette société.

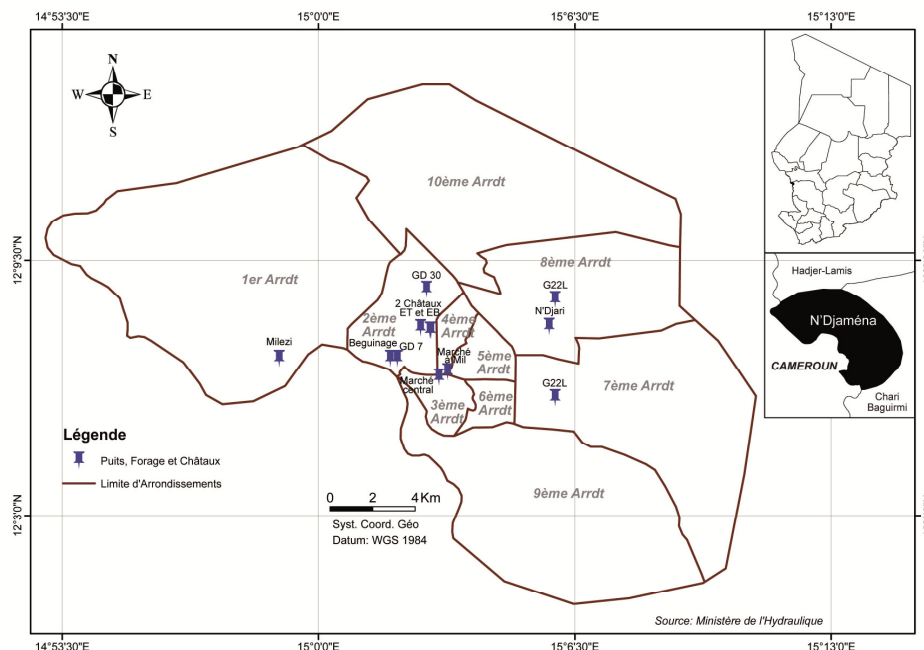


Figure 1 : Localisation des Infrastructures Hydrauliques de la Commune de Ndjamen

Méthodes : Sur chaque échantillon sont testés 5 paramètres physiques et 12 paramètres chimiques. Les paramètres physiques tels que la température, le pH et la conductivité ont été déterminés in situ à chaque prélèvement. Les appareils de mesure de ces paramètres préalablement calibrés sont mis sous tension quelques minutes avant chaque manipulation. Ils sont ensuite plongés dans l'échantillon d'eau prélevé et la valeur s'affiche à l'écran. Le pH/°C mètre INSTRUCTIONS : WAG-WE30020 pH sur grand écran imperméable à l'eau / testeur de température de jonction double affiche la valeur du pH en fonction de la température. Le TESTEUR Conductivité : WAG-WE30055 large écran imperméable à l'eau de conductivité est un testeur qui affiche la conductivité en fonction de la température. La turbidité a été évaluée grâce au TURBI QUANT 1500 IR. Pour les paramètres chimiques, les échantillons d'eau sont collectés dans des bouteilles en polyéthylène de 1L (Pacheco *et al.*, 2001). Ces bouteilles ont été préalablement lavées au

détergent, rincées à l'eau de robinet puis à l'eau distillée. Avant le prélèvement, chaque bouteille a été rincée avec l'eau à analyser. Les échantillons d'eau ont été conservés dans une glacière à une température de l'ordre de 4°C et transportés jusqu'au laboratoire où ils ont été soumis aussitôt à l'analyse. Sur chaque échantillon, les paramètres chimiques notamment les ions Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, HCO₃⁻ ont été analysés. Les ions Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ ont été analysés grâce à un Spectrophotomètre DRL/2400. Les ions PO₄³⁻, SO₄²⁻ et HCO₃⁻ ont été analysées à l'aide du Photomètre AQUALYTIC PC spectro.

Traitement des données : Le traitement des données a été effectué avec le logiciel Statgraphics 5.0 (Manugistics, Rockville, Maryland, USA, 1997). Les données obtenues ont été exprimées sous forme de moyenne ± écart type. Le test t a été utilisé pour la comparaison des moyennes des eaux brutes et des eaux traitées à un seuil de signification de 5%.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sont présentés dans le Tableau 1 et 2. Les normes pour la qualité de l'eau de boisson de l'OMS ont servi de base à l'interprétation de nos résultats.

Tableau 1 : Valeurs des paramètres physiques des eaux brutes et traitées

Paramètres	pH	T (°C)	Turbidité (NTU)	Conductivité (µS/cm)	TH (mg/l)
Eaux non traitées	7,259±0,43	28,522±2,66	0,424±1,16	360,99±127,77	47,457±20,61
Eaux traitées	6,848±0,82	28,546±2,27	0,116±0,08	261,932±67,67	42,66±11,73

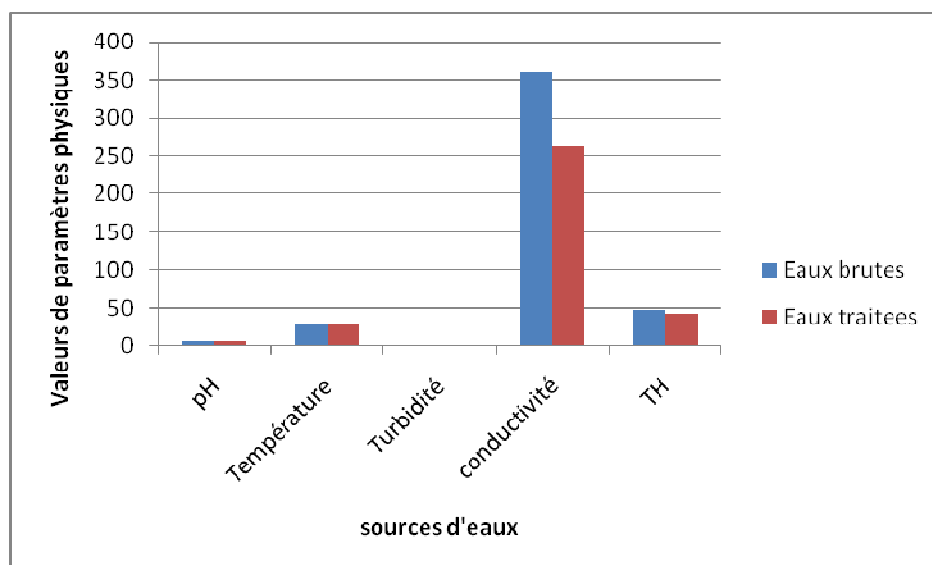


Figure 2 : Variations des paramètres physiques en fonction des sources d'eaux

pH: Le pH représente la concentration en ions hydrogènes dans une solution. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Dans les eaux naturelles, les valeurs du potentiel d'Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 (Chapman *et al.*, 1996). De même, l'OMS attribue une valeur allant de 6,5 à 8,5 pour l'eau de boisson de qualité. Le pH des eaux brutes ($7,259 \pm 0,43$) diffère significativement de celui des eaux traitées ($6,848 \pm 0,82$). Cette différence entre les valeurs de pH serait due au traitement apporté par la société. Toutefois, les valeurs moyennes de pH obtenues se situent dans l'intervalle de pH recommandé par l'OMS. Nos résultats corroborent avec ceux de Mickael *et al.*, (2010) et sont supérieurs à ceux de Lagnika *et al.*, (2014) qui ont trouvé les moyennes de 6,53 ($\pm 0,51$) et de 5,83 ($\pm 0,6$) respectivement dans les eaux de la nappe phréatique de Cotonou et dans l'eau des puits de la commune de Pobé au Bénin. Pour le pH, les eaux de la SNE sont, de manière générale, acceptables.

Température : La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels, de même que les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (WHO, 1987). En rapport avec les normes de potabilité de l'eau fixées par l'OMS (1994), l'eau est : excellente lorsque la température varie entre 20 et 22 °C ; passable lorsqu'elle oscille dans l'intervalle de 22 à 25 °C ; médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30 °C. Il n'y a pas de différence significative entre la température des eaux brutes ($28,522 \pm 2,66$) et celle des eaux traitées ($28,546 \pm 2,27$). Les valeurs de température enregistrées sont supérieures à la température maximale acceptable de l'OMS qui est fixée à 25°C. Ces valeurs élevées de température seraient dues aux températures ambiantes généralement très élevées dans la ville de Ndjamen. Les valeurs comprises entre 23,5 et 31,9 °C avec une 30,6 ($\pm 2,78$) ont été trouvées par Mickael *et al.*, (2010) à Cotonou au Bénin.

Turbidité : La turbidité est causée par des matières telles que l'argile, le limon, les matières organiques et inorganiques fines, le plancton et d'autres organismes microscopiques en suspension dans l'eau. Les matières en suspension peuvent protéger les micro-organismes pathogènes contre la désinfection chimique ou aux rayons ultraviolets (UV) (Santé Canada, 2003).

Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. La turbidité de l'eau distribuée doit être inférieure ou égale à 5 UTN en tout temps (Environnement Québec, 2004). Il y a une différence significative entre la valeur moyenne de la turbidité des eaux brutes ($0,424 \pm 1,16$) et celle des eaux traitées ($0,116 \pm 0,08$). Cette différence significative serait due à la filtration opérée sur les eaux brutes lors du processus de traitement. Toutes les deux moyennes de turbidité sont inférieures à la valeur maximale acceptable de l'OMS qui est de 5 UTN.

Conductivité : La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration (GHAZALI D *et al.* 2013). Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod, 1985 ; Rodier, 1984). La conductivité varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration, de leur mobilité et de la température de l'échantillon. Elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (IBGE, 2005). L'OMS retient une valeur 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme la norme. Il y a une différence significative entre la valeur de la conductivité des eaux brutes ($360,99 \pm 127,77$) et celle des eaux traitées ($261,932 \pm 67,67$). Cette différence significative serait liée à l'élimination de certains ions lors du processus de traitement. Les valeurs moyennes de la conductivité électrique de nos échantillons se situent en deçà de la norme de l'OMS. Les eaux de la SNE peuvent être considérées comme des eaux de minéralisation moyenne ayant une conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Rodier, 2009). Kahoul et Touhami, (2014) ont trouvé des valeurs moyennement minéralisées comprises entre 300 et 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les eaux de consommation de la ville d'Annaba en Algérie.

Dureté totale : La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français) ; 1°F correspond à 10 mg de carbonate de calcium dans 1 l d'eau (Belghiti *et al.*, 2013). L'OMS retient un intervalle allant de 100 à 500 mg/l comme critères de potabilité de l'eau de boisson. Il n'y a pas de différence significative entre la valeur moyenne de la dureté totale

des eaux brutes (47,457±20,61) et celle des eaux traitées (42,66±11,73). Ces valeurs sont en deçà de l'intervalle de valeurs de l'OMS. Elles sont très faibles comparées à celles obtenues dans les eaux de

consommation de la ville d'Annaba en Algérie par Kahoul et Touhami (2014) dont les valeurs les plus élevées étaient de 510 mg/l et 540 mg/l.

Paramètres chimiques

Tableau 2 : Valeurs des cations dans les eaux brutes et traitées

Paramètres	Na ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
Eaux brutes	28,230 ±28,55	4,118 ±1,68	6,004 ±1,27	10,92 ±4,45	40,244 ±17,97	0,516 ±0,13	14,882 ±10,31	0,07 ±0,15	12,112 ±13,48	0,152 ±0,28	16,36 ±13,59	146,98 ±53,75
Eaux traitées	17,81 ±3,57	1,564 ±1,03	5,414 ±0,94	8,39 ±2,22	34,272 ±10,00	0,422 ±0,09	17,086 ±8,45	0,026 ±0,05	9,954 ±8,83	0,226 ±0,33	10,52 ±3,36	115,80 ±29,68

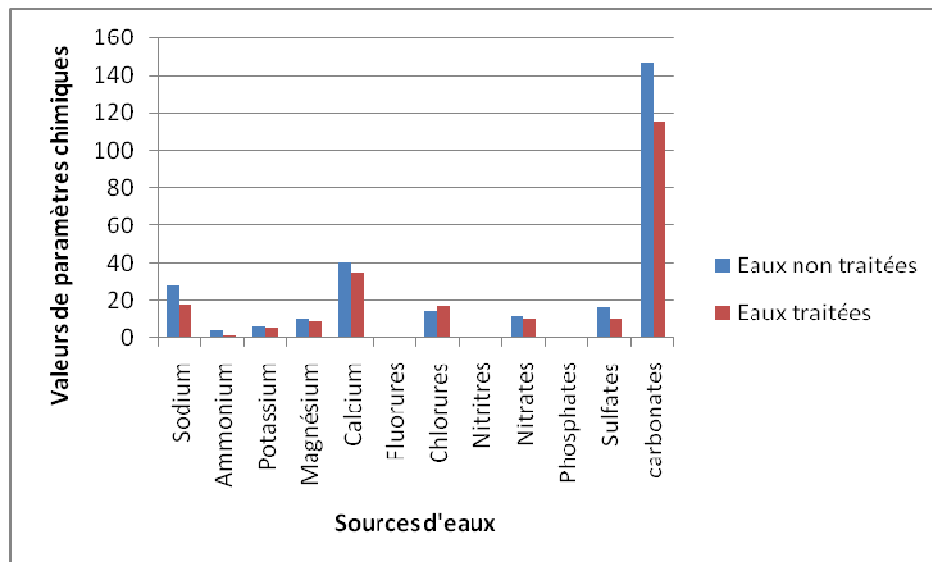


Figure 3 : Valeurs des paramètres chimiques en fonction des sources d'eaux

Les cations majeurs ont, de manière générale, des valeurs faibles par rapport aux normes de l'OMS sauf les ions ammonium (Tableaux 2). Il y a une différence significative entre leur valeur des ions ammonium des eaux brutes (4,118±1,68) et celle des eaux traitées (1,564±1,03). Ces valeurs sont très élevées par rapport à 0,5 mg/l fixé par l'OMS. Ces valeurs élevées seraient dues aux activités anthropiques et industrielles, aux fosses septiques et aux déchets animaux. Le stockage de déchets animaux, des eaux usées situées entre 3 et 6 mètres de profondeur et du fumier à la surface du sol contenaient de l'ammoniac dans une fourchette de 1 à 15 mg/L (Liebhart *et al.*, 1979). Les infiltrations provenant de fosses septiques ont pollué les eaux d'un puits dans une cour d'école à la hauteur de 0,733 mg/L

d'ammoniac (Rajagopal, 1978). Toutefois, les valeurs élevées obtenues ne s'avèreraient pas toxiques pour les consommateurs car les ions ammonium sont naturellement produits dans le tractus digestif de l'homme par la dégradation bactérienne des composés azotés ingérés. Environ 4200 mg/j sont ainsi produits et plus de 70 % sont synthétisés ou libérés par le colon et dans les selles. La quantité absorbée est de 4 150 mg/j soit 99 % de la quantité produite (Summerskill et Wolpert, 1970). L'absorption des NH₄⁺ est également totale (Fürst *et al.*, 1969). L'ammoniac est métabolisé lors du premier passage hépatique en urée et glutamine. Les ions ammonium sont absorbés par le tractus gastrointestinal puis transportés via le système veine porte directement dans le foie où ils sont

métabolisés. Par cette voie, une quantité très faible gagne la circulation systémique sous forme d'ammoniac ou de dérivés de l'ammonium (Brown *et al.*, 1957 ; Pitts, 1971 ; Salvatore *et al.*, 1963 ; Summerskill et Wolpert, 1970). Il y a une différence significative entre les valeurs moyennes des eaux brutes et celles des eaux traitées pour les ions Mg^{2+} et K^+ . Ces résultats montrent que le processus de traitement a significativement réduit la quantité de ces ions dans les eaux traitées. Par contre, les valeurs moyennes des ions Na^+ et Ca^{2+} des eaux brutes ne diffèrent pas significativement de celles des eaux traitées. Le processus de traitement n'a pas eu d'effet significatif sur ces ions. Les valeurs $9,74 \pm 8,07$, $4,05 \pm 4,66$, $24,8 \pm 19,41$ et $6,5 \pm 9,5$ ont été trouvées respectivement pour le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium dans les nappes d'Altérites sous climat tropical humide d'Abengourou au Sud-est de la Côte d'Ivoire par Aka *et al.*, (2013). Les valeurs similaires pour les mêmes paramètres ont été trouvées

par Boubakar, (2010) dans l'horizon fissuré du Socle et dans les réservoirs d'Altérites au Niger. Les anions analysés ont des valeurs toutes faibles comparées à celles fixées par l'OMS aussi bien pour les eaux traitées que pour les eaux brutes. Toutefois, les différences significatives ont été observées pour les ions HCO_3^- et Cl^- . La valeur moyenne élevée des ions Cl^- dans les eaux traitées serait due à l'ajout du chlore dans les eaux brutes pour la désinfection bactérienne. Les ions HCO_3^- seraient éliminés au cours du processus de traitement. Par contre, les valeurs des ions SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- et F^- sont les mêmes pour les eaux brutes et les eaux traitées. Les valeurs moyennes respectives de $0,142 \pm 0,13$; de $31,772 \pm 17,22$; de $0,072 \pm 0,14$; de $45,30 \pm 40,80$; de $0,751 \pm 0,61$; de $6,616 \pm 7,26$; et de $37,870 \pm 17,22$ pour les fluorures, les chlorures, les nitrites, les nitrates, les phosphates, les sulfates et les carbonates ont été obtenues par Lagnika *et al.*, (2014).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belghiti M., Chahlaoui A., Bengoumi D. et El Moustaine R., 2013. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la Région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 14, Juin 2013, pp.21-36
- Aka N., Bamba S., Soro G. et Soro N., 2013. Étude hydrochimique et microbiologique des nappes d'Altérites sous climat tropical humide : Cas du Département d'Abengourou (Sud-est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss*, ISSN 1112-3680, n°16, Décembre 2013, pp. 31-52
- Boubakar Hassane A., 2010. Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique: Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER), Thèse de l'Univ. Abdou Moumouni de Niamey (Niger), 198 p.
- Bricha S., K. Ounine, S. Oulkheir, N. El Haloui et B. Attarassi, 2007. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc), *Revue Afrique Science* 03 (3), 391-404.
- Brown R.H., Duda G.D., Korkes S. and Handler P., 1957. A colorimetric micromethod for determination of ammonia; the ammonia content of rat tissues and human plasma. *Arch Biochem Biophys*, 66, 301-309.
- Bureau central d'études pour les équipements d'Outre-mer (BCEOM), 1992.
- Chapman D. and 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 and FN Spon, London, pp. 59-126.
- Djim-adjim T., 2013. Étude de la contribution des salmonelles aviaires aux salmonelloses humaines au Tchad : Cas de la ville capitale, N'Djamena. Thèse de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). 151 p.
- Environnement Québec, 2004. Règlement sur la qualité de l'eau potable. Québec Source de Fiert. Edition 2004. 4457-04-02
- FAO, 2012. Étude sur la foresterie urbaine et périurbaine de Ndjamen, Tchad. Rôle et place de l'arbre en milieu urbain et périurbain. Appui à la formulation d'une stratégie et d'un plan d'action de la foresterie urbaine et périurbaine à Ndjamen, République de Tchad. Document de travail sur la foresterie urbaine et périurbaine n°6. 95 pages. Rome.
- Fürst P., Josephson B., Maschio G. and Vinnars E., 1969. Nitrogen balance after intravenous and oral administration of ammonium salts to man. *J Appl Phys*, 26, 13-22.
- GHAZALI D., ZAID A., 2013. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (REGION DE

- MEKNES/MAROC). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 12, Janvier 2013, pp. 25-36
- IBGE, 2005. Qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles" Novembre 2005.
- INSEED, 2011. Deuxième Recensement Général de la Population et de l'Habitat en 2009 au Tchad (RGPH2). Rapport provisoire, 219 p.
- Kahoul M. et Touhami M., 2014. Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, pp. 129-138
- Lagnika M., Moudachirou I., Jean-Pierre C., Valentin D. et Nestor G., 2014. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobé (Bénin, Afrique de l'Ouest). Journal of Applied Biosciences 79 :6887-6897. ISSN 1997-5902.
- Leynaud G., 1968. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- Liebhart W.C., Golt C. and and Tupin J., 1979. Nitrate and ammonium concentrations of ground water resulting from poultry manure applications. J Environ Qual, 8, 211-215.
- Mickael S., Boniface Y., Honor S., Roger G. et Henri S., 2010. Impacts des déchets de l'abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique. J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2010) 030, 79-91.
- OMS, 1994. Directives de la qualité pour les eaux de boisson ; Volume1-Recommandation. Organisation Mondiale de la Santé 2^e édition.
- OMS, 2004. Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres - mise à jour de novembre 2004. Genève.
- Pacheco J., Marin L., Cabrera A., Steinich B. et Escolero O., 2001. Nitrate temporal and spatial patterns in Environmental Geology N° 40, pp 708-715.
- PESCOD M.B., 1985. Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescodand Arar, 93-114.
- Pias, 1972. Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. OROSTOM. 398 p. Paris.
- Pitts R.F., 1971. The role of ammonia production and excretion in regulation of acid-base balance. N Engl J Med, 284, 32-38.
- RODIER J., 1984. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. Analyse de l'eau, 9e Ed. DUNOD (éditeur), Paris, France. 1579 p.
- Salvatore F., Bocchinti V. and Cimino F., 1963. Ammonia intoxication and its effects on brain ammonia levels. Biochem Pharmacol, 12, 1-6
- Santé Canada, 2003. Questions et réponses sur les dispositifs de traitement de l'eau de consommation, Accessible : www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/dpc/eau_qualité/faq_dteq.htm, Consulté en : Mai 2003.
- SDEA, 2003 : Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement du Tchad.
- Summerskill W.H.J. and Wolpert E., 1970. Ammonia metabolism in the gut. Am J Clin Nutr, 23, 5, 633-639.
- W.H.O., 1987. Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring System, WHO, UNEP.
- WHO/UNICEF, 2008: Progress on drinking water and sanitation, JMP report.