



CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET ETAT DE POLLUTION PAR LES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DES EAUX SOUTERRAINES DE LOME (SUD TOGO) : CAS DU QUARTIER AGOE ZONGO

AHOUDI, H., GNANDI, K., TANOUAYI, G., OURO-SAMA, K.

Laboratoire de gestion, traitement et valorisation des déchets (GTVD),
Faculté des sciences, Université de Lomé, B.P : 1515 Lomé, Togo.

ahoudih@yahoo.fr /ahoudih@gmail.com

RESUME

Les populations des quartiers périphériques de la ville de Lomé utilisent les eaux de forages privés et de puits traditionnels pour leur alimentation. Mais ces eaux sont confrontées à la pollution anthropique. Pour mettre en évidence la pollution anthropique sur la qualité de ces eaux, la caractérisation physico-chimique de 26 échantillons d'eaux de puits et de 4 échantillons d'eaux de forages du quartier Agoê-zongo a été réalisée. Ainsi la mesure de certains paramètres comme le pH, la conductivité électrique, la minéralisation a pu montrer que 24% des puits ont des pH acides, 26% ont des conductivités électriques et des minéralisations supérieures aux normes recommandées. L'analyse des échantillons d'eaux de puits et de forages a pu révéler également des teneurs en nitrates allant jusqu'à 9 fois la norme de l'OMS et des teneurs en Plomb, Cadmium, et Nickel allant respectivement jusqu'à 78,26 ; 42,23 ; et 15,45 fois les normes de l'OMS. Les teneurs en potassium et sodium vont respectivement jusqu'à 9 fois et 1,8 fois les normes français. L'évaluation des risques sanitaires liés à la présence des éléments traces métalliques comme le Fer, Plomb, Cadmium, et le Nickel sur la santé des populations a montré que malgré que ces eaux souterraines soient polluées, leur consommation ne présente pas de risques.

Mots clés : Eaux souterraines, Risques sanitaires, Eléments traces métalliques, Agoè - Zongo

ABSTRACT

Populations of peripheral city of Lomé districts use private water boreholes and wells for their traditional diet. But these waters are facing anthropogenic pollution. To highlight anthropogenic pollution on the quality of these waters, the physico-chemical characterization of 26 water samples from wells and four water samples from boreholes of Agoè-zongo area was performed. Thus the measurement of parameters such as pH, electrical conductivity, and mineralization has been shown that 24% of the wells have acidic pH, 26% have electrical conductivities and mineralizations higher than recommended standards. Analysis of water wells and boreholes samples was also found nitrate levels up to nine times the WHO standards, and the concentrations of lead, cadmium, and nickel, respectively, up from 78, 26; 42.23; and 15.45 times the WHO standards. The levels of potassium and sodium are respectively up to 9 times and 1.8 times the French standards. The assessment of health risks linked to the presence of trace metals such as iron , lead, cadmium , and nickel on the health of populations showed that despite these groundwater are polluted , their use presents no risks.

Keywords: Groundwater, Health Risks, Trace metals, Agoè – Zongo.

INTRODUCTION

Dans les pays en développement, la croissance rapide de la population et l'extension démesurée de l'espace urbain posent les problèmes de pénurie, de pollution des ressources en eaux souterraines et de faibles taux de desserte en eau potable dans les quartiers périphériques. Au Togo, le cadre social de l'assainissement et de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Lomé est caractérisé par un taux d'assainissement de 31%, un taux de desserte en eau potable de 58% d'où un déficit en eau potable (Rapport de la conférence internationale Afrique-Eau, 2007). La société Togolaise des eaux (TdE) devant

desservir tous les quartiers de Lomé ne dispose pas de moyens financiers suffisants et des ouvrages nécessaires pour assurer une production suffisante d'eau potable (Kpongbegna, 2006). Dans le milieu urbain et surtout les quartiers périphériques comme Agoê – Zongo, une partie de la population se tourne ainsi vers les eaux de puits et de forages sans traitement préalable pour leur alimentation mais se trouvent confrontées à la qualité de ces eaux. Cette mauvaise qualité des eaux de puits et de forages s'explique par le fait qu'à Agoê-Zongo, il n'existe aucun système de traitement et d'évacuation des eaux usées et pluviales, les ordures ménagères sont irrégulièrement enlevées, (Gnandi, 1998), les vidanges des fosses septiques et les puisards sont directement déversés dans les champs et dans le bassin du fleuve Zio. Le déversement des eaux usées dans les cours de maisons ainsi que les vidanges de véhicules et des batteries riches en éléments traces métalliques entraîne des infiltrations qui polluent la nappe souterraine. Cette dégradation en plus de la raréfaction, limite la production d'une eau de bonne qualité (UNESCO, 1986). Ces eaux ne sont pas bonnes pour la consommation, mais malheureusement les populations de ces quartiers défavorisés en dépendent encore. Une enquête faite de décembre 2003 à Janvier 2004 dans les quartiers Vakpossito, d'Amadahomé et d'Agoê dans 146 ménages, a montré que près de 84% des ménages s'approvisionnent en eau de forages et de puits privés (Bouguido, 2003). Tous ces facteurs affectent dangereusement le cadre de vie et la santé des populations d'où l'objectif de cette présente étude est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines de boissons dans le quartier Agoê-Zongo et d'estimer les risques sanitaires encourus par la population.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

Le quartier Agoê-zongo est l'un des quartiers périphériques situé au nord de la ville de Lomé et fait partie de la plaine d'inondation du fleuve Zio, donc permanemment inondé toute la saison des pluies. Il fait partie du bassin sédimentaire côtier du Togo qui baigne dans un climat subéquatorial ou guinéen caractérisé par deux saisons de pluies. La première, la grande, dure de mars à juillet avec un paroxysme en juin ; la seconde, la petite, va de septembre à octobre. Le milieu est un sol plat, avec de nombreuses petites dépressions entraînant des plaques d'eau. Les eaux souterraines sont mobilisées, de la

surface vers la profondeur, dans trois principaux aquifères localisés dans les formations sablo argileuses du Continental Terminal, les formations sableuses et calcaires du Paléocène, et les formations sableuses du Maestrichtien (PNUD, 2007). Le réseau d'assainissement du quartier est de type embryonnaire. Les eaux usées et les eaux pluviales ainsi que les vidanges d'automobiles et des acides de batteries sont rejetés dans le milieu naturel sans aucun traitement.

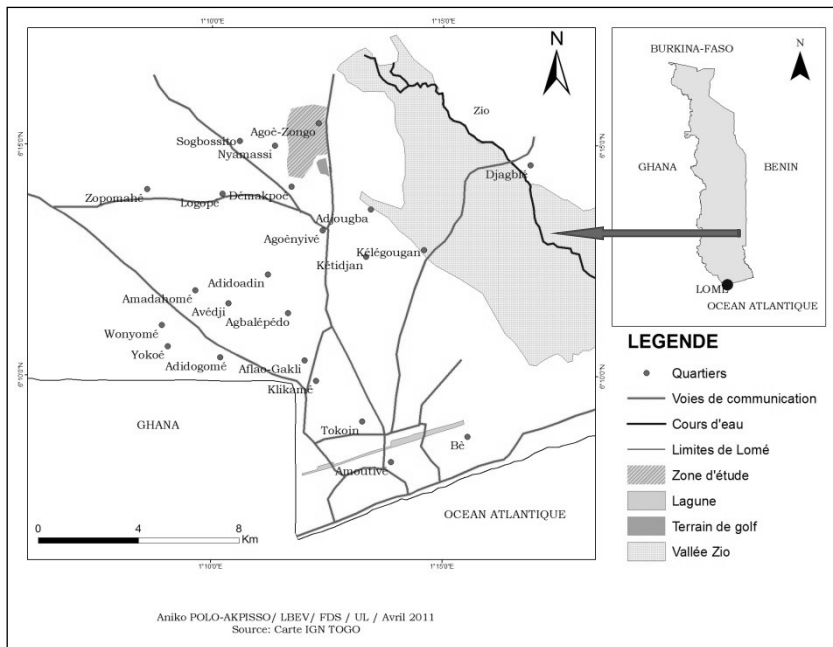


Figure 1 : Carte montrant la zone d'étude

Echantillonnage

Les analyses ont portées sur les eaux souterraines des puits et des forages du quartier Agoè-Zongo. Les points d'eau ont été choisis de façon à avoir une image d'ensemble de la nappe du continental terminal de la zone d'étude. Pour mieux appréhender l'étude qualitative de ces eaux, des échantillons ont été prélevés dans 26 puits et dans 4 forages et ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique et l'analyse de quelques éléments traces métalliques dans le laboratoire de la Gestion, Traitement et de la Valorisation des Déchets (GTVD)

et dans le laboratoire de chimie des eaux de l'université de Lomé. Les échantillons sont prélevés dans les flacons plastiques préalablement lavés à l'acide nitrique et rincés à l'eau distillée. Par ailleurs, les flacons sont remplis de manière à ce qu'il n'y ait pas d'air au-dessus de l'échantillon. Les échantillons sont acidifiés avec quelques gouttes d'acide nitrique avant le dosage des éléments traces métalliques (GCLME, 2009).

Analyses physico-chimiques

La mesure de certains paramètres indicateurs de la qualité des eaux comme la température, la conductivité électrique, et le pH a été effectuées sur les échantillons à l'aide d'un pH-mètre de type Crison pH25 et d'un conductimètre WTW cond 315i.

Le dosage des différents éléments minéraux dans l'eau est fait par le spectromètre d'absorption atomique du type Thermo Electron Corporation. S. Serie AA Spectrometer. Les éléments traces métalliques (Cd, Cu, Pb, et Ni) sont dosés directement dans les échantillons prélevés comme le recommande le manuel de formation pour la surveillance de la pollution côtière et marine de la région du GCLME (2009). La méthode spectrométrique d'absorption moléculaire a été utilisée pour le dosage des nitrates et des nitrites.

A partir de la conductivité des échantillons, on calcule leur minéralisation globale d'après la relation suivante (Hakmi, 1994) :

Minéralisation globale (mg/l) = K x Conductivité (20°C).

Les valeurs du coefficient K varient suivant les gammes de la conductivité comme indique le tableau suivant :

Tableau 1 : Relation entre la minéralisation et la conductivité

Conductivité (µS/cm)	Coefficient K
< 50	1,365079
50-166	0,947658
166-333	0,769574
333-833	0,715920
833-10000	0,758544
>10000	0,850432

Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des eaux polluées par les éléments traces métalliques (EQRS).

C'est une méthode qui permet d'estimer par calcul les risques d'origine industrielle ou naturelle pour la santé et auxquels est soumise une population donnée. L'EQRS permet alors de calculer soit un nombre de cas attendus de maladie, soit un pourcentage de population susceptible d'être touchée par une pathologie. Conventionnellement, la démarche d'EQRS comprend quatre étapes:

- L'identification des dangers : Cette étape permet de juger de la réalité du potentiel dangereux des polluants étudiés aux grâce aux résultats de la recherche (Epidémiologique, physiologique, pharmaceutique...)
- L'estimation de la relation Dose – effet : Cette étape permet d'estimer le risque en fonction de la dose. Elle permet de définir des valeurs toxicologiques de référence (VTR) qui traduisent le lien entre la dose de la substance toxique et l'occurrence ou la sévérité de l'effet étudié dans la population (Risk assessment in the Federal government: managing the process. Washington, D.C. National Academy Press, 1983).

Les VTR qui seront utilisées dans cette étude sont celles de INERIS (<http://www.ineris>).

Ces VTR choisies sont celles des études les plus récentes, dont les valeurs sont les plus faibles possibles c'est-à-dire les plus protectrices de la santé humaine.

Evaluation de l'exposition

Cette étape permet de définir les milieux contaminés, les voies de passage de la substance étudiée de la source vers le récepteur humain, les populations exposées, les niveaux et les durées d'exposition pour aboutir au calcul d'une DJE (mg/kg/j). Les scénarios d'exposition suivants sont considérés :

- 1) La consommation moyenne en eau de boisson est estimée à 2 l/j (soit 2kg/j) pour les adultes et à 1,5 l/j (soit 1,5kg/j) pour les enfants (Volatier, 2000). Il sera considéré que l'individu consomme cette quantité d'eau 7 jours/7 jours.
- 2) Le poids corporel moyen des enfants de 0 à 15 ans est de 28 kg et celui d'un adulte est conventionnellement égale à 70 kg selon US EPA (ASTEE, 2003 ; 2006).

$$DJE = C \cdot Q \cdot \frac{F}{P}$$

- DJE : Dose journalière d'exposition liée à la consommation de l'eau polluée (mg/kg/j) ;
- C : Concentration d'exposition relative à l'eau polluée exprimée en mg/kg;
- Q : Quantité de l'eau consommée par jour, exprimée en kg/j ;
- F : Fréquence ou taux d'exposition (sans unité): l'eau est consommée 7j/7j d'où F= 1;
- P : Poids corporel de la cible (kg)

Caractérisation du risque

Cette étape permet une estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine en raison de l'exposition à l'ensemble des substances. Pour les effets avec seuil la possibilité de survenue d'un effet toxique est représentée par un quotient de danger QD qui s'exprime comme suit :

$$QD = \frac{DJE}{RfD}$$

- DJE = Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/j)
- RfD = Dose de Référence (mg/kg/j) ou VTR
- Si $QD < 1$ il n'y a pas d'effets indésirables
- Si $QD > 1$ l'effet toxique peut apparaître

Contrôle de qualité

La validité des méthodes analytiques a été vérifiée par contrôle interne. Un blanc de procédure a été préparé simultanément avec le même acide (HNO₃ à 68 %) que pour les échantillons dans les mêmes conditions expérimentales et mesuré pour chacune des séries d'échantillons. Ce qui a permis de mettre en évidence la contamination de l'échantillon par des éléments traces métalliques et les éléments majeurs et d'éliminer les erreurs de quantification. Des solutions étalons pour chaque élément dosé ont été préparées et incorporées dans la série normale d'analyses à intervalles donnés afin de vérifier la fidélité interne de la méthode. En outre, afin de vérifier la répétabilité des résultats, des dosages multiples sur un même échantillon (les doublons) ont été incorporés dans le lot analytique de façons aléatoires, et ceci à l'insu de l'analyste.

Traitement des données

Les logiciels Microsoft Excel 2007 et Graph pad Prism 3 ont été utilisés pour le traitement des données. Le test *t* de Student au seuil de 5% a été utilisé pour comparer les concentrations en éléments traces métalliques trouvées aux valeurs normes préconisées par l'OMS et l'AFNOR.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le pH, la conductivité et la minéralisation des eaux des échantillons analysés.

Les résultats de cette étude sont exposés en discutant les valeurs moyennes relatives aux paramètres mesurés pendant la période d'étude, notamment les mesures effectuées in situ et celles effectuées au laboratoire.

Les résultats de l'analyse physico-chimique des teneurs des principaux paramètres et indicateur de pollution présentés dans ce travail, ont montré que le pH, des eaux de puits varie de 5,73 à 8,15 où les puits P9 (pH=5,73), P11 (pH=6,22), P13 (pH=5,8), P15 (pH=6,26), P22 (pH=6,36), et P26 (pH=6,18) soit 23,07% ont des pH acides et hors norme de l'OMS (OMS, 2003) alors que celui des eaux de forages varie de 5,82 à 7,04 où le forage F3(pH=5,82) a un pH acide et hors norme de l'OMS. Le reste des puits et forages ont leur pH répondant à la norme de sécurité de l'OMS (6,5 – 9,5).

La conductivité des eaux de puits varie de 2,04 à 1856 $\mu\text{s}/\text{cm}$ avec de fortes conductivités dans les puits P5, P6, P7, P9, P18, P19 et P24 qui sont supérieures à la norme française (250 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et donc hors norme. Les eaux de forage ont des conductivités allant de 3,52 à 11,13 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et compatibles avec la norme française (AFNOR, 1986). La moyenne des eaux de puits (498,78 $\mu\text{s}/\text{cm}$) est très significativement ($P = 0,018$ et $t = 3,29$) supérieure à celle des eaux de forages (4,7 $\mu\text{s}/\text{cm}$) traduisant l'infiltration des eaux de surfaces dans les nappes superficielles polluant ainsi ces eaux et celles des puits.

Les minéralisations des eaux de puits vont de 2,78 à 1578,4 mg/l où les puits P5, P6, P7, P9, P18, P19 et P24 ont des minéralisations supérieures à la norme de l'OMS (1000mg/l) et sont donc hors norme. Quant aux eaux de forages leurs minéralisations (6,41 mg/l) répondent à la norme de l'OMS (OMS, 2003). La moyenne des minéralisations des eaux de puits (426,013 mg/l) est significativement supérieure ($P = 0,0019$ et $t = 3,29$) à celles des eaux de

forages (6,41 mg/l) traduisant ainsi leur pollution par les eaux de surfaces à cause de leur faible profondeur.

Appréciation des teneurs moyennes en éléments traces métalliques des eaux

La figure 2 montre que la concentration minimale en fer (0,1508 mg/l) des eaux souterraines du quartier Agoè-zongo se trouve dans les eaux de forages et la concentration maximale (0,2240 mg/l) quant à elle dans les eaux de puits. La concentration en fer des eaux de forages est inférieure à la norme 0,2 mg/l de l'OMS (OMS, 2003), alors que celle des puits est supérieure à cette norme. Ceci démontre que dans l'ensemble les eaux de puits sont polluées en fer alors que les eaux de forages ne le sont pas. Cette pollution des eaux de puits serait due à leur faible profondeur par rapport celle des forages. Des différences significatives de teneur en Fer ont été notées (test t au seuil de 5%). La teneur moyenne en fer des eaux de forages est significativement inférieure à la norme de l'OMS: $t = 2,11$, $P = 0,0394$. La teneur moyenne en fer des eaux de puits est significativement supérieure à celle des eaux de forages ($t = 2,32$ et $p = 0,0275$). Cette figure montre que pour les eaux étudiées, la concentration minimale du plomb (0,579 mg/l) se rencontre dans les eaux de puits et la concentration maximale (0,7826 mg/l) dans les eaux de forage. Toutes ces concentrations sont nettement supérieures à la valeur limite 0,01 mg/l de l'OMS (OMS, 2003). Par conséquent ces eaux sont polluées par le plomb. Ainsi il ressort que les eaux du quartier Agoè-zongo sont très polluées par le plomb. La teneur moyenne en plomb des eaux de puits est significativement très supérieure à la norme OMS ($t = 24,88$ et $P = 0,0001$). Le test t montre aussi que la moyenne des eaux de puits est significativement très inférieure à celle des eaux de forages ($t = 3,34$ et $p = 0,0024$).

Ces concentrations sont toutes également supérieures à celles trouvées par Laboe (2004) dans les eaux de forages à kotokoli-zongo et de puits à Démakpoè qui sont respectivement 0,095 mg/l et 0,0515 mg/l et à celles trouvées par Tanouayi et al (2010) dans les eaux souterraines à Hahotoé, Dokondji et Goumou kopé qui sont respectivement 0,0593 mg/l; 0,196 mg/l et 0,2589 mg/l, mais l'exception est faite à la concentration trouvée à Kpogamé (0,742 mg/l) qui est supérieure à la concentration des eaux de puits du quartier Agoè - Zongo.

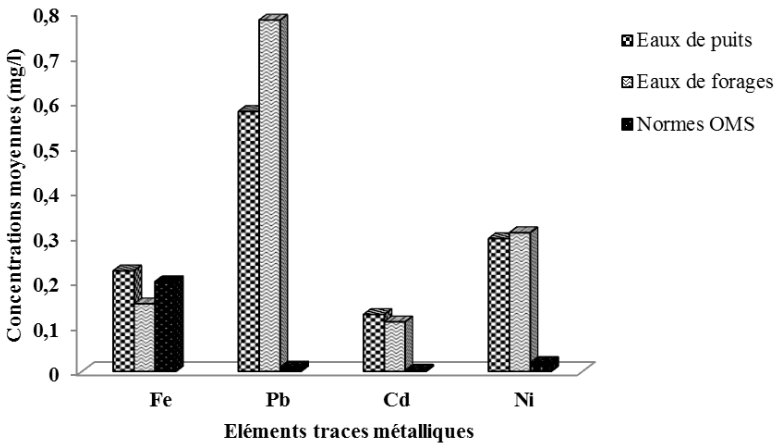


Figure 2 : Histogramme des teneurs moyennes en éléments traces métalliques des eaux

Les concentrations en cadmium obtenues (figure 2) montrent une valeur minimale (0,1106 mg/l) dans les eaux de forages et une valeur maximale (0,1267 mg/l) dans les eaux de puits. Toutes ces concentrations sont supérieures à la valeur limite fixée par l'OMS (0,003 mg/l), (OMS, 2003). La concentration moyenne en Cd des eaux de puits est significativement supérieure à la norme OMS ($t = 6,86$ et $P = 0,0001$) mais elle n'est pas significativement différente de celle des eaux de forages ($t = 0,31$ et $P = 0,7544$).

Nous constatons aussi que toutes ces teneurs en cadmium des eaux souterraines sont supérieures à celle trouvée par Tanouayi et al (2010), (0,0232 mg/l) à Hahotoé, qui est une zone d'exploitation des phosphates du Togo.

Les concentrations en nickel enregistrées (figure 2) au niveau de notre zone d'étude montrent une valeur minimale (0,296 mg/l) dans les eaux de puits et une valeur maximale (0,309 mg/l) dans les eaux de forages. On constate que toutes ces concentrations sont nettement supérieures à la limite de potabilité (0,02 mg/l) de l'OMS, (OMS, 2003). La teneur moyenne en Nickel des eaux de puits est significativement très, très supérieure à la norme OMS ($t = 10,16$ et $P = 0,0001$). Cependant cette teneur n'est pas significativement différente de celle des eaux de forages ($t = 0,02$ et $P = 0,979$). Toutes ces concentrations sont supérieures à celles trouvées par Tanouayi et al (2010) dans les eaux souterraines à kpogamé, Hahotoé, Doknodji et Goumou kopé qui sont respectivement 0,0168 mg/l; 0,01277 mg/l; 0,08105 mg/l et 0,08313 mg/l qui sont des zones d'influence des phosphates. Il apparaît alors que ces eaux sont également polluées par le nickel.

En effet le quartier Agoè-zongo abrite le garage automobile du port autonome de Lomé où les voitures d'occasion arrivant de l'occident et les véhicules poids lourds chargés de marchandises séjournent pour des formalités douanières avant tout départ vers les pays limitrophes ou les pays du sahel. Il est très fréquent que des activités de maintenance soient effectuées sur ces véhicules; ainsi il est très aisé de voir des huiles de vidanges ainsi que des acides des batteries d'occasion riches en éléments traces métalliques jetés à l'air libre dans le quartier. Cette activité de maintenance serait la cause principale de la contamination des sols du quartier par les éléments traces métalliques et par là, de la contamination des nappes souterraines par infiltration des eaux pluviales polluant ainsi les eaux des puits et des forages. A cette pollution s'ajoutent les infiltrations issues des dépotoirs sauvages retrouvés partout dans le quartier et des eaux usées des caniveaux contribuant ainsi à la dégradation de la qualité des eaux souterraines.

Appréciation des teneurs moyennes en éléments majeurs

Sur la figure 3 on constate que la concentration minimale en potassium (43,19 mg/l) se trouve dans les eaux de forages et la concentration maximale (68,77 mg/l) s'observe dans les eaux de puits. Quant au sodium sa teneur minimale (261,912 mg/l) se trouve dans les eaux de puits et la teneur maximale (303,35 mg/l) s'observe dans les eaux de forages sans toutefois une différence significative entre ces deux valeurs ($t = 1,24$ et $P = 0,2238$). La différence de concentration pourrait s'expliquer par le lessivage de ces éléments des horizons supérieurs de sols vers les horizons inférieurs. Ces concentrations en potassium et en sodium sont toutes supérieures aux normes françaises de l'eau potable qui sont respectivement 12mg/l et 150mg/l (<http://www.who.int/>). On peut déduire alors que les eaux souterraines de notre zone d'étude sont polluées par le sodium et le potassium.

Les concentrations en calcium observées sur la figure montrent une valeur minimale dans les eaux de forages (108,92 mg/l) et une concentration maximale (178,54 mg/l) dans les eaux de puits, mais il n'existe pas une différence significative entre ces deux valeurs ($t = 1,24$ et $P = 0,2238$). Toutes ces teneurs sont inférieures à la norme française de potabilité de l'eau (400mg/l), donc ces eaux ne sont pas polluées par le calcium. On remarque également que la concentration minimale en magnésium (38,10 mg/l) sur la même figure s'observe dans les eaux de puits et la teneur maximale (275,455 mg/l) se rencontre dans les eaux de forages. La teneur en magnésium des forages est toutefois significativement très très supérieure à celle des puits ($P < 0.0001$; $t = 26,36$). Les eaux de puits ont des concentrations en magnésium inférieures à 50

mg/l, donc conformes à la norme française (AFNOR, 1986) de l'eau potable mais celles des forages ont une teneur moyenne supérieure à la norme et sont donc impropres à la consommation. Ces teneurs en calcium et en magnésium de nos dosages seraient donc liées à la nature de la roche mère.

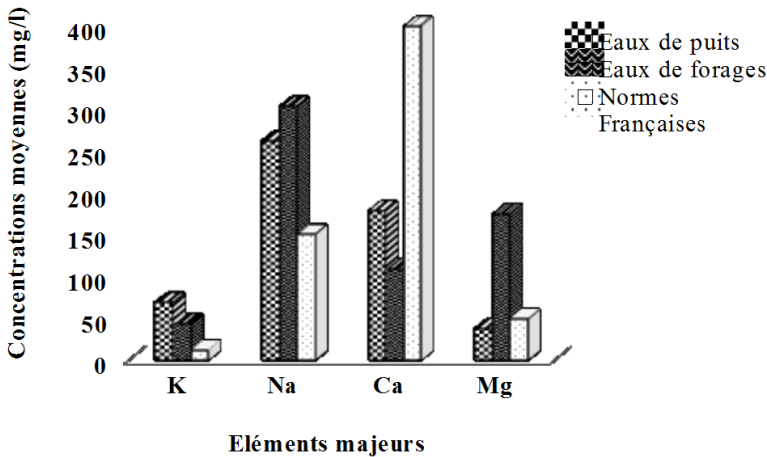


Figure 3 : Histogramme des teneurs moyennes en éléments majeurs

Tableau 2 : Résultats de dosage des nitrites (NO_2^-) et des nitrates (NO_3^-).

Paramètres	P5	P8	P10	P18	P25	Concentrations maximales OMS(*) - UE
NO_2^- (mg/l)	0,3	0,05	0,2	0,2	<0,05	3(*) - 0,1
NO_3^- (mg/l)	180,2	1,7	452,7	104,7	38,7	50(*) - 50

Dans le tableau 2, les concentrations en nitrites dans les 5 puits varient d'une valeur inférieure à 0,05 mg/l à 0,3 mg/l et sont donc conformes à la valeur norme de l'OMS (2003) soit 3 mg/l. Par contre sur les 5 puits dont les eaux ont été dosées, les concentrations en nitrates dans les puits P5, P10 et P18 sont supérieures à la norme de l'OMS (2003) soit 50 mg/l. Ces teneurs en nitrates supérieures aux normes de l'OMS indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et surtout les suintements des dépôts d'ordures et des vidanges de WC dans le quartier.

Evaluation du risque sanitaire consécutif à l'ingestion des eaux souterraines du quartier Agoè- zongo

Afin de déterminer les risques sanitaires liés à l'ingestion d'eaux souterraines de puits et de forages pollués du quartier Agoè-zongo, les éléments traces métalliques retenus sont le Fer, le Plomb, le Cadmium et le Nickel à cause de leur présence en quantité évaluable, de la disponibilité de leurs valeurs toxicologiques de références (VTR) et de la connaissance de leurs effets épidémiologiques sur l'homme. Notre étude porte sur la voie orale et concerne les expositions chroniques seulement. Ainsi, selon le rapport de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) (Bisson *et al.*, 2009), pour les effets chroniques à seuil, l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) recommande pour le Cd 2.10^{-4} mg/kg/j et pour le Fer $0,8.10^{-3}$ mg/kg/j, l'OMS préconise pour le Pb $3,5. 10^{-3}$ mg/kg/j et pour le Ni l'US EPA recommande $12. 10^{-3}$ mg/kg/j.

Les résultats de l'estimation des DJE par ingestion d'eau de puits chez les adultes et les enfants sont présentés dans les tableaux suivants:

Tableau 3 : Doses Journalières d'Exposition pour les adultes

Fer	Plomb	Cadmium	Nickel
DJE Eau de puits (mg/kg/j)			
$2,72 \times 10^{-6}$	$7,04 \times 10^{-6}$	$7,7 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-6}$
DJE Eau de forages (mg/kg/j)			
$9,12 \times 10^{-7}$	$4,75 \times 10^{-6}$	$6,69 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-6}$

Tableau 4 : Doses Journalières d'Exposition pour les enfants

Fer	Plomb	Cadmium	Nickel
DJE Eau de puits (mg/kg/j)			
$8,18 \times 10^{-5}$	$2,11 \times 10^{-4}$	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-4}$
DJE Eau de forages (mg/kg/j)			
$5,48 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-4}$	$4,02 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-4}$

Pour le cadmium, le nickel, le plomb et le fer, les résultats de l'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des eaux de puits et de forages du

quartier Agoè-zongo ainsi que les quotients de danger (QD) correspondants chez les adultes et les enfants pour les effets à seuil sont consignés dans les tableaux suivants:

Tableau 5 : Quotient de Danger(QD) pour les effets à seuil pour les adultes

Fer	Plomb	Cadmium	Nickel
QD Eau de puits			
0,0034	0,00028	0,0015	0,00015
QD Eau de forages			
0,00114	0,00019	0,0013	0,00015

Tableau 6 : Quotient de Danger(QD) pour les effets à seuil pour les enfants

Fer	Plomb	Cadmium	Nickel
QD Eau de puits			
0,102	0,0084	0,23	0,009
QD Eau de forages			
0,068	0,011	0,2	0,009

Les résultats des tableaux 3, 4, 5 et 6 montrent des doses journalières d'exposition (DJE) et des Quotients de danger (QD) très faibles ($QD \ll 1$) pour les adultes et pour les enfants s'alimentant en eaux de puits et de forages. En effet la survenue d'un effet toxique liée au fer, plomb, cadmium, et Nickel est très peu probable. On peut alors déduire que l'ingestion des eaux souterraines de puits et de forages du quartier Agoè-zongo ne représente pas un danger pour la santé des habitants dudit quartier en particulier aux personnes à risques.

CONCLUSION

La présente étude portant sur l'analyse des échantillons d'eaux souterraines du quartier Agoè-zongo nous a permis de connaître les teneurs en certains éléments majeurs (K, Na, Ca, Mg), éléments traces métalliques (Fe, Pb, Cd, Ni), les nitrates, les nitrites et les valeurs de certains paramètres descriptifs de la qualité de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité électrique et la

minéralisation. Une comparaison des valeurs de ces paramètres et de ces teneurs en éléments majeurs et en éléments traces métalliques par rapport aux normes admises pour les différents points d'échantillonnage a mis en évidence certaines valeurs supérieures aux normes admises. Bien que ces eaux soient polluées par le cadmium, le plomb et le Nickel, l'évaluation des risques sanitaires liés à la présence de ces quatre éléments traces métalliques montre que la consommation de ces eaux souterraines bien que polluées ne présente pas de risques pour la santé de la population.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR. (1986). Eaux : méthode d'essai, afnor, 3e Ed, Paris, 624p.
- ASTEE. (2003). Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement (ASTEE). Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une UIOM, 60p
- ASTEE .(2006). Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement (ASTEE). Guide méthodologique pour l'évaluation du risque sanitaire de l'étude d'impact des installations de compostage soumises à autorisation, 65p.
- BOUGUIDO G., (2003). Problématique d'approvisionnement en eau potable dans les quartiers périphérique de Lomé. Mémoire ESTBA UL. 64p.
- GCLME. (2009). Marine pollution monitoring manual. A training manual for coastal and marine pollution monitoring for the GCLME region. Guinea Current Large Marine Ecosystem Project. IGCC/UNIDO/UNDP/UNEP/GEP/NOAA/NEPAD, 101p.
- Gnandi, K., 1998. Cadmium et autres polluants inorganiques dans les sols et sédiments de la région côtière du Togo : une étude géochimique, thèse, Université d'Erlangen-Nuremberg, Germany.
- Guidelines for drinking water quality, third edition. (2003). Volume 1, recommandations incorporating first and second addenda. World Health Organisation. En ligne <http://www.Who/>.
- Guidelines for drinking water quality. (2004). World Health Organisation. En ligne <http://www.who.int/>
- HAKMI A. (1994). Traitement de l'eau de source Bousfer Oran, Université des sciences et de la Technologie Oran, Maroc. En ligne <http://www.Memoireonline.com/02/09/1994>
- <http://www.ineris.fr/rapportsd'etude/toxicologie-et-environnement/fiches-de-donnees-toxicologiques-et-environnementales> .
- Kpongbegna V.K. (2006). Eau et assainissement : la situation de la ville de Lomé, capitale du Togo, pp8-13.

- Laboe P. (2004). Evaluation de la pollution des eaux de forage et des eaux de puits par les éléments azotés métalliques dans les quartiers péri-urbains de Lomé. Mémoire ESTBA-UL 41p.
- National Research Council (1983). Committee on the institutional means for assessment of risks to public health. Risk assessment in the Federal government: managing the process. Washington, D.C.: National Academy Press.
- PNUD, Ministère de l'environnement et des ressources forestières. (2007). Projet plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques; Étude de vulnérabilité, identification des principales mesures d'adaptation
- Rapport de la conférence internationale Afrique-Eau, Ottawa/Gatineau, 24 et 25 mai 2007, Québec, PP1-2.
- Tanouayi G., Gnandi K., Ahoudi, H., Ouro-Sama, K. (2010). La contamination métallique des eaux de surfaces et des eaux souterraines de la zone minière d'exploitation des phosphates de Hahotoé-Kpogamé (Sud Togo) : Cas du Cadmium, Plomb, Cuivre et Nickel, 16p.
- UNESCO. (1986). Pollution et protection des aquifères, 434 P.
- Volatier J.L. (2000). Enquête INCAA, Individuelle et Nationale sur les Consommations Alimentaires. CREDOC, AFSAA.