



Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest)

Moïssou LAGNIKA^{1,2*}, Moudachirou IBIKOUNLE¹, Jean-Pierre C. MONTCHO², Valentin D. WOTTO³, Nestor G. SAKITI¹

¹Département de zoologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP : 526 Cotonou, Bénin.

²Laboratoire d'analyses des eaux, Service de l'Eau du Borgou, Direction Départementale de l'Énergie et de l'Eau, BP : 197 Parakou, Bénin.

³Laboratoire de Chimie Physique, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey Calavi, 02 BP : 353 Cotonou, Bénin.

*Auteur correspondant, E-mail : moissou@yahoo.fr

Original submitted in on 23rd April 2014. Published online at www.m.elewa.org on 31st July 2014. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v79i1.13>

RÉSUMÉ

Objectif : L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau des puits à partir de ses caractéristiques physico-chimiques dans la commune de Pobè.

Méthodologie et résultats : L'étude entreprise entre juin 2012 et mars 2013 a permis de mesurer au niveau de quinze puits les paramètres physiques tels que le pH, la conductivité électrique (CE) et la température (T) de l'eau ainsi que les paramètres chimiques suivants : bicarbonates (HCO_3^-), chlorures (Cl^-), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), titre hydrotimétrique ou dureté totale (TH), ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), sulfates (SO_4^{2-}), phosphates (PO_4^{3-}) et fluorures (F^-). Les valeurs moyennes annuelles sont comparées aux normes relatives à la qualité de l'eau de boisson. L'analyse statistique multivariée dont l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a été également appliquée à l'ensemble des paramètres mesurés. L'eau des puits est légèrement acide avec un pH moyen de $5,83 \pm 0,6$. Elle est faiblement minéralisée et légèrement dure avec une conductivité moyenne de $236,62 \pm 135,54 \mu\text{S/cm}$ et une dureté totale moyenne de $107,8 \pm 40,63 \text{ mg/L}$. La pollution azotée est un indicateur majeur de la qualité de l'eau des puits étudiés. Cette pollution se traduit par des taux élevés en nitrates et en ammonium dans plus de 50 % des puits. Une forte corrélation est signalée entre la conductivité électrique et les paramètres suivants : pH, NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , TH, Cl^- , HCO_3^- et Ca^{2+} . La typologie est principalement gouvernée par cette conductivité qui permet de classer les puits selon leur qualité physico-chimique.

Conclusion et applications : L'eau des puits est soumise à une pollution organique dans la commune de Pobè. Cette pollution d'origine anthropique serait liée à l'infiltration des eaux usées et des engrais chimiques. Les fortes teneurs en nitrates et en ammonium montrent que cette eau est chimiquement non appropriée à la consommation humaine et nécessite dans la majorité des puits un traitement préalable.

Mots clés : Physico-chimie, eau de puits, pollution, analyses multivariées, Pobè.

Physicochemical characteristics of well water in Pobè municipality, Benin, West Africa

ABSTRACT

Objective : The aim of this study is to evaluate the quality of well water for its physical and chemical characteristics in the municipality of Pobè.

Methodology and Results: The study conducted from June 2012 to March 2013 measured in fifteen wells the level of physical parameters such as pH, electrical conductivity and water temperature as well as the following chemical parameters: bicarbonate (HCO_3^-), chloride (Cl^-), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), total hardness (TH), ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-), sulphate (SO_4^{2-}), phosphate (PO_4^{3-}) and fluoride (F^-). The annual mean values are compared to standards for drinking water quality. Statistical multivariate analysis including Principal Component Analysis and hierarchical clustering was also applied to all measured parameters. Well water is slightly acidic with an average pH of 5.83 ± 0.6 . It is weakly mineralized and slightly hard with an average of $236.62 \pm 135.54 \mu\text{S/cm}$ electrical conductivity and a total hardness of $107.8 \pm 40.63 \text{ mg/L}$. Nitrogen pollution is a major indicator of well water quality. This pollution finds expression in high rates of nitrate and ammonium in more than 50 % of the wells. It was observed that electrical conductivity show good positive correlation with pH, NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , TH, Cl^- , HCO_3^- and Ca^{2+} . The typology is mainly governed by the conductivity for classifying the wells according to their physical and chemical quality.

Conclusion and applications : Well water is subjected to organic pollution in the municipality of Pobè. This anthropogenic pollution is linked to the infiltration of sewage and chemical fertilizers. The high levels of ammonium and nitrate indicate that the water is chemically unsuitable for human consumption and requires that water in most wells be pretreated.

Keywords : Physicochemical, well water, pollution, multivariate analysis, Pobè.

INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable dans la vie des hommes, des animaux et des végétaux. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. Mais elle peut être aussi source de maladies du fait de sa pollution par des rejets industriels, des eaux usées, des déchets ménagers ou agricoles, des excréta et divers déchets organiques (Scalon *et al.*, 2005 ; El-Naqa *et al.*, 2007 ; Eblin *et al.*, 2014). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, environ 1,1 milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et 2,4 milliards n'ont pas accès à un système d'assainissement adéquat. Plus de 2 millions de personnes, surtout des enfants de moins de cinq ans des pays en développement où les mesures d'hygiène et d'assainissement sont insuffisantes, meurent chaque année des maladies diarrhéiques (OMS, 2011). Or, à l'échelle mondiale, près de 90 % des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau de boisson et à un assainissement insuffisant des

eaux usées. L'eau est devenue aujourd'hui un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable (Servais *et al.*, 2009). Ainsi, l'approvisionnement en eau potable des populations en quantité suffisante en toutes saisons demeure l'un des soucis majeurs des différents gouvernements (Hawa, 2002). L'eau de boisson est un élément vital dont les sources d'approvisionnement sont très diversifiées. Au Bénin, près d'un tiers de ménages utilise l'eau courante comme eau de boisson. 22,6% des ménages s'approvisionnent en eau de puits non protégés et en eau des rivières (13,2%) qui sont des sources d'eau non potable. Les ménages s'approvisionnent aussi en eau de fontaine et des pompes villageoises (21,2%) et en eau de puits protégés dans 8,3% des cas (INSAE, 2003). Une eau non potable nécessite un traitement avant sa consommation. Le traitement de l'eau regroupe les principales opérations suivantes : la coagulation, la floculation, la sédimentation, la filtration et la

désinfection (Fatombi et al., 2012). Le département du plateau et plus particulièrement la commune de Pobè fait partie des communes les moins desservies par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB). En effet, sur les cinq arrondissements que compte cette commune, un seul est en partie desservi par cette société. Les populations ont recours à l'eau des forages et surtout à celle des puits dans l'ensemble des arrondissements. Si l'eau provenant des forages

est en général de bonne qualité, celle provenant des puits reste d'une qualité douteuse. En effet, les études réalisées sur la qualité de l'eau des puits dans d'autres régions du sud-Bénin ont montré qu'elle est impropre à la consommation humaine (Comlanvi, 1994; Dégbey et al., 2008; Makoutodé et al., 1999). La présente étude a été entreprise afin d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau provenant des puits dans la commune de Pobè.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude : La commune de Pobè est limitée au Nord par la commune de Kétou, au sud et à l'Ouest par la commune d'Adja-Ouèrè et à l'est par le Nigéria (Fig.1). Elle a une superficie de 400 km² représentant 0,46 % de celle du Bénin. Elle est composée de quarante quatre villages et quartiers de ville qui sont répartis dans cinq arrondissements dont un urbain et quatre ruraux. Le climat est de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches qui s'alternent. Les précipitations atteignent 1100 à 1200 mm par an. Le relief est constitué par une zone de plateaux de 50 à 200 mètres au dessus du niveau de la mer et d'une altitude moyenne de 100 mètres avec une dépression qui n'est rien d'autre que la continuité de la dépression médiane qui traverse tout le Bénin de l'Ouest à l'Est. Elle découpe la commune en deux zones orographiques : une zone de dépression et une zone de plateau. La zone de dépression comporte une grande partie de l'arrondissement d'Issaba jusqu'à la latitude d'Onigbolo et les arrondissements d'Ahoyéyé, d'Igana et de Towé. Celle de plateaux regroupe tout le reste de la commune. Sur celle-ci, on rencontre plusieurs plateaux dont le plateau de Pobè ayant une altitude moyenne de 100 mètres. Dans la commune de Pobè, on distingue deux types d'unité pédologique : un sol hydromorphe et un sol ferrallitique. Le sol hydromorphe très fertile où se pratiquent les principales cultures agricoles est situé dans la dépression d'Issaba. Cette zone riche en calcaire a permis

l'implantation de l'usine cimentière gérée par la société Lafarge à Onigbolo. Le sol ferrallitique situé sur le plateau Pobè-Sakété est composé de sable, de grès et d'argile. C'est un sol rouge occupant le quart (1/4) de la superficie de la commune. Le réseau hydrographique est quasi nul mais quelques ruisseaux sont presque permanents tels que la réserve botanique de l'ex. IRHO, l'Itchèko, Itché, Iwin, Ebé, Idi et Ikpori. Aussi des retenues d'eau importantes sont relevées pendant la saison des pluies (Bani, 2006).

Choix des stations : Quinze stations sélectionnées sont constituées de puits répartis sur l'ensemble des cinq arrondissements (Fig.1). Cinq d'entre eux sont choisis dans l'arrondissement urbanisé et les autres répartis dans les arrondissements ruraux. Le tableau 1 présente les différentes caractéristiques des stations étudiées. Parmi les quinze puits, les puits Pb2, Pb3, Pb4, Pb5, Pb9, Pb12, Pb13 et Pb14 sont équipés chacun d'une pompe électrique et l'eau est vendue aux populations grâce à ces postes d'eau autonomes installés par des particuliers. Un poste d'eau autonome par définition est un ensemble d'équipements électrique, électromécanique et hydraulique destiné à pomper, stocker et distribuer de l'eau. L'autonomie traduit l'existence d'un temps pendant lequel l'approvisionnement en eau se fait sans nouvel apport d'énergie et sans intervention extérieure (Ingabiré Zannou, 2006).

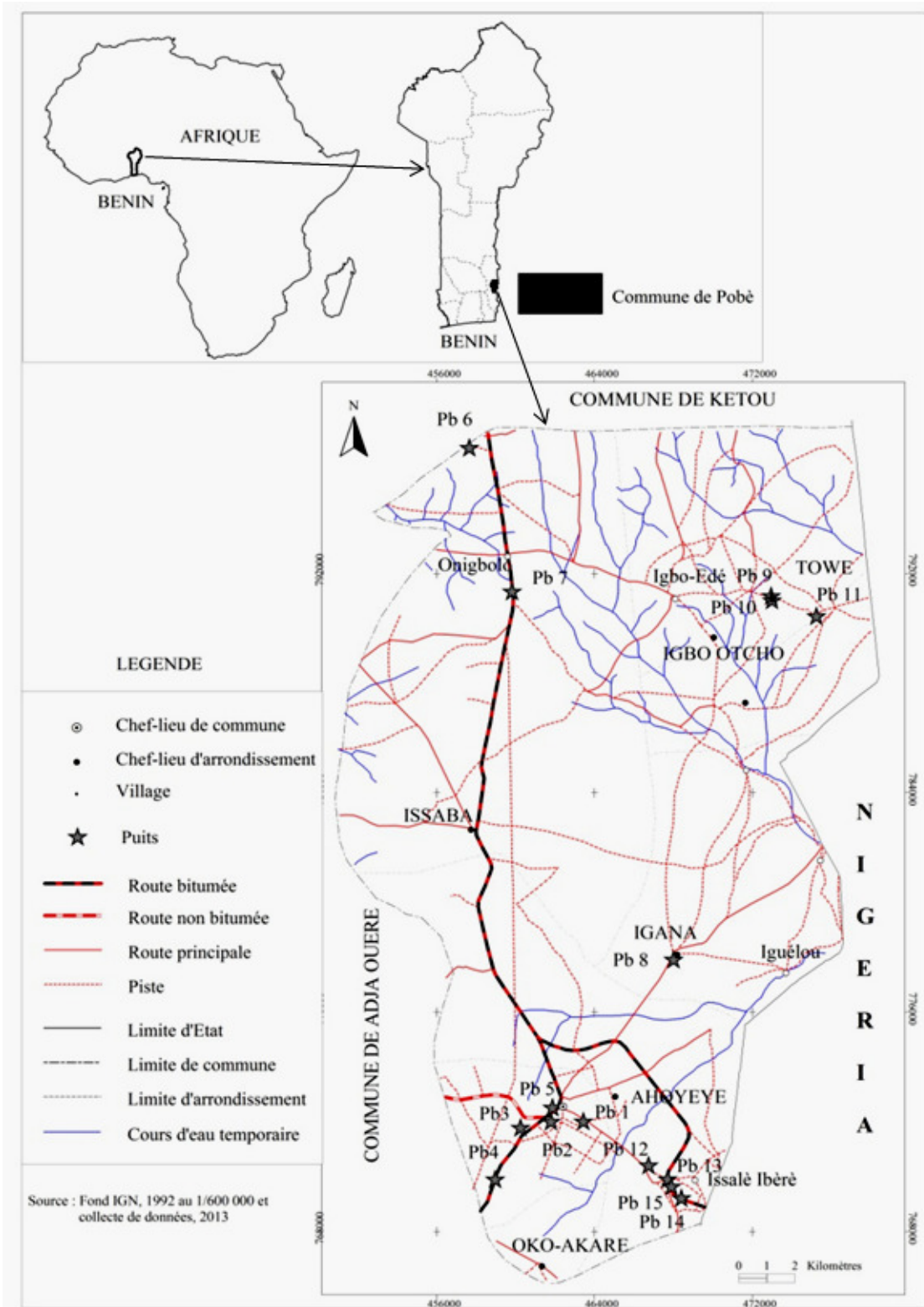


Figure 1 : Carte de la zone d'étude avec indication des stations

Tableau 1 : Description des caractéristiques et environnement des stations étudiées

Stations	Profondeur totale (m)	Margelle (m)	Etat de la paroi du puits	Couverture du toit	Source probable de pollution de l'eau
Pb1	17.30	0.80	Non cimenté	Sans couverture	Infiltration des eaux
Pb2	36.08	0.80	Cimenté	Dalle	Proximité des latrines
Pb3	40.80	0.80	Cimenté	Dalle	Non identifiée
Pb4	50.50	0.80	Cimenté	Dalle	Non identifiée
Pb5	16.20	0.50	Cimenté	Dalle	Infiltration des eaux
Pb6	19.60	0.40	Cimenté	Planches	Agriculture
Pb7	6.10	0.28	Non cimenté	Tôle	Agriculture
Pb8	26.27	0.90	Cimenté	Sans couverture	Agriculture
Pb9	19.25	0.95	Cimenté	Bois	Agriculture
Pb10	17.60	0.70	Cimenté	Sans couverture	Infiltration des eaux
Pb11	13.90	0.80	Non cimenté	Tôle	Infiltration des eaux
Pb12	14.90	0.25	Cimenté	Dalle	Non identifiée
Pb13	34.52	0.20	Cimenté	Dalle	Non identifiée
Pb14	36.00	0.85	Cimenté	Dalle	Proximité des toilettes
Pb15	31.00	0.60	Cimenté	Sans couverture	Non identifiée

Échantillonnage et analyse de l'eau :

L'échantillonnage a été réalisé entre juin 2012 et mars 2013. Quatre prélèvements ont été réalisés par puits et par saison. Les prélèvements ont été effectués au niveau de chaque puits à l'aide d'un petit seau lesté puis conservés pendant 72 heures au frais dans des plastiques d'eau minérale de 1,5 L pour les analyses. Toutefois, le pH, la conductivité et la température ont été mesurés sur le terrain grâce à un multimètre portable (HANNA, HI 991300). Les bicarbonates, les chlorures, le calcium, le magnésium et la dureté totale ont été mesurés par titrimétrie tandis que l'ammonium, les nitrates, nitrites, sulfates, phosphates et fluorures ont

été déterminés par un spectrophotomètre (HACH, DR 2400) conformément aux méthodes préconisées par Rodier (2009).

Analyses statistiques : L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée sur les valeurs moyennes annuelles des paramètres physico-chimiques caractérisant les quinze puits (Tableau 2). Cette analyse a permis de faire ressortir les corrélations existantes entre les différents paramètres de l'eau. Afin d'obtenir une meilleure affectation des individus à leur classe, cette analyse a été complétée par une Classification Hiérarchique Ascendante telle que préconisée par Belkhir *et al.* (2010).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau : Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau des puits étudiés sont consignés dans le tableau 2. Le tableau 3 regroupe les normes de qualité de l'eau de boisson, les valeurs moyennes et extrêmes des différents paramètres physico-chimiques mesurés de l'eau des puits. La température de l'eau des puits de

Pobè est en moyenne de $28,15 \pm 0,32$ °C. Elle est comprise entre 27,6 °C et 28,7 °C. La valeur obtenue est similaire à celle obtenue par Nwala *et al.* (2007) et par Dégbey *et al.* (2008). La conductivité électrique a donné des valeurs comprises entre 74,8 et 538,2 $\mu\text{S/cm}$ avec une moyenne de $236,62 \pm 135,54$ $\mu\text{S/cm}$ pour l'ensemble des puits étudiés.

Tableau 2 : Valeurs moyennes annuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau des quinze puits

Variables	T	C E	pH	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Puits	°C	µS/cm		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Pb1	27,6	538,2	6,19	91,7	0,598	0,388	26,0	2,84	0,05	41,76	12,90	149,0	67,45	35,07
Pb2	28,1	288,5	5,29	107,0	0,023	0,009	8,5	1,46	0,01	22,34	18,77	98,5	50,14	13,72
Pb3	28,4	90,7	5,46	11,9	0,021	0,032	1,3	0,46	0,09	18,71	11,88	83,5	20,44	27,45
Pb4	28,4	153,1	5,17	14,9	0,012	0,009	1,0	0,80	0,03	11,35	9,80	80,0	36,38	17,53
Pb5	28,1	192,0	5,27	74,0	0,017	0,406	6,7	0,58	0,20	19,00	12,51	90,0	29,28	25,92
Pb6	28,2	310,0	6,16	99,8	0,019	0,088	3,8	0,36	0,11	18,43	13,02	103,0	30,17	29,73
Pb7	28,5	274,2	6,26	4,3	0,086	0,053	17,5	0,22	0,09	23,61	18,96	114,0	33,72	45,75
Pb8	27,7	287,7	6,87	6,8	0,011	1,087	17,0	0,65	0,52	41,46	20,39	150,0	31,95	58,71
Pb9	28,7	494,7	6,88	127,0	0,139	0,048	4,7	0,62	0,36	74,29	11,77	232,0	34,61	83,87
Pb10	28,7	320,5	6,66	62,1	0,038	0,126	8,3	0,94	0,09	59,31	5,81	121,0	25,74	59,47
Pb11	28,2	239,7	6,10	13,3	0,019	0,519	1,5	0,77	0,18	42,01	6,17	104,0	22,19	48,80
Pb12	28,1	112,5	5,42	9,0	0,013	0,023	0,7	0,47	0,13	9,89	10,17	54,0	23,07	32,02
Pb13	28,1	74,8	5,18	11,7	0,031	0,074	1,0	0,31	0,03	15,20	14,34	82,0	31,95	28,97
Pb14	27,7	76,0	5,32	16,9	0,029	0,026	0,5	0,35	0,15	16,55	15,02	70,5	17,75	31,26
Pb15	27,8	96,7	5,29	29,1	0,019	0,019	0,8	0,43	0,09	10,15	22,92	85,5	21,74	29,73

La faible minéralisation de l'eau des puits obtenue est contraire aux résultats de Tampo et al. (2014). En effet les valeurs de la conductivité variaient entre 554 et 4460 $\mu\text{S/cm}$. Toutefois, les valeurs obtenues au cours de la présente étude sont comparables à celles mesurées par Adejuwon et Mbuk (2011). Elles variaient entre 22 et 315 $\mu\text{S/cm}$ au niveau des puits. Le pH de l'eau est acide avec des valeurs comprises entre 5,17 et 6,88 pour une moyenne de $5,83 \pm 0,6$. Cette acidité des puits est très proche de celle mesurée par Bawa et al. (2008). Les nitrates représentent les anions les plus dominants et la concentration varie de 4,3 à 127 mg/L avec une moyenne de $45,30 \pm 40,80$ mg/L. L'azote est fixé à l'origine à partir de l'atmosphère et ensuite minéralisé par les bactéries du sol en ammonium. Les sources anthropiques d'azote comprennent l'azote du sol, les engrais, les eaux usées, les fosses septiques, les déchets animaux, les engrais verts et les résidus de plantes. Dans des conditions aérobies, l'azote est finalement convertit en nitrate par les bactéries nitrifiantes (Tindall et al., 1995). Six puits présentent des valeurs en nitrates hors normes (Tableau 2). Parmi ces puits, la moitié se retrouve dans les arrondissements ruraux et la seconde moitié dans le seul arrondissement urbanisé. Cette augmentation de la concentration en nitrates serait liée à l'infiltration des eaux usées ou l'usage des engrais chimiques à proximité de ces puits (Mpakam, 2009). Sa forte concentration dans l'eau potable est toxique et provoque le syndrome du bébé bleu ou méthémoglobinémie chez les enfants et des

carcinomes gastriques (Gilly et al., 1984). Les composés suivants présentent des moyennes suivantes : les nitrites ($0,072 \pm 0,14$ mg/L), les sulfates ($6,616 \pm 7,26$ mg/L), les phosphates ($0,751 \pm 0,61$ mg/L), les fluorures ($0,142 \pm 0,13$ mg/L), les chlorures (17,75 et 67,45 mg/L) et les carbonates ($37,870 \pm 17,22$ mg/L). Ces composés présentent des valeurs en dessous des normes (Tableau 3). Les moyennes des cations étudiés sont les suivants : le calcium ($28,27 \pm 18,06$ mg/L), le magnésium ($13,63 \pm 4,62$ mg/L) et l'ammonium ($0,193 \pm 0,28$ mg/L). Deux puits (Pb8 et Pb11) présentent des concentrations en ammonium au delà des normes (Tableau 2 et 3). L'eau de ces puits est donc impropre à la consommation humaine. Le Titre Hydrotimétrique ou dureté de l'eau est provoquée par le calcium dissous et dans une moindre mesure par le magnésium. Elle présente des valeurs comprises entre 54 et 232 mg/L avec une moyenne de 107,8 mg/L. Selon Sawyer et Mc Carty (1967), l'eau est douce au niveau des puits Pb12 et Pb14, dure dans les puits Pb8 et Pb9 et légèrement dure dans le reste des puits (Tableau 2 et 4). Ces valeurs sont toutes inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (2011). Toutefois, un seul puits (Pb9) présente une eau dont la valeur de la dureté est supérieure à celle admissible par les normes béninoises. Elle ne présente pas d'effet majeur pour la santé humaine, cependant elle peut entraîner une consommation excessive de savon et un dépôt de tartre dans les ustensiles de cuisine.

Tableau 3 : Comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques avec les normes

Paramètres	Unité	Normes OMS	Normes béninoises	Minimum	Maximum	Moyenne + Ecart-type
Ph	-	6,5-8,5	6,5-8,5	5,17	6,88	$5,83 \pm 0,6$
T	$^{\circ}\text{C}$	-	-	27,6	28,7	$28,15 \pm 0,32$
CE	$\mu\text{S/cm}$	-	-	74,8	538,2	$236,62 \pm 135,54$
Ca^{2+}	mg/L	-	100	9,89	74,29	$28,27 \pm 18,06$
Mg^{2+}	mg/L	-	50	5,81	22,92	$13,63 \pm 4,62$
NO_3^-	mg/L	50	45	4,3	127,0	$45,30 \pm 40,80$
NO_2^-	mg/L	3	3,2	0,011	0,598	$0,072 \pm 0,14$
NH_4^+	mg/L	-	0,5	0,009	1,087	$0,193 \pm 0,28$
PO_4^{3-}	mg/L	-	-	0,22	2,84	$0,751 \pm 0,61$
SO_4^{2-}	mg/L	250	500	0,50	26,00	$6,616 \pm 7,26$
Cl^-	mg/L	250	250	17,750	67,450	$31,772 \pm 11,94$
HCO_3^-	mg/L	-	-	13,72	83,87	$37,870 \pm 17,22$
TH	mg/L	100-500	200	54	232	$107,8 \pm 40,63$
F^-	mg/L	1,5	1,5	0,01	0,52	$0,142 \pm 0,13$

Tableau 4 : Qualité de l'eau des puits selon sa dureté (Sawyer et Mc Carty, 1967)

Classe de qualité de l'eau	Dureté totale en mg/L	Nombre de puits	Pourcentage (%)
Douce	< 70	2	13,33
Légèrement dure	75-150	11	73,33
Dure	150-300	2	13,33
Très dure	> 300	0	0

Corrélations entre les différents paramètres physico-chimiques de l'eau : L'Analyse en Composantes Principales réalisée sur les 14 paramètres physico-chimiques montre que les deux premiers axes cumulent 66,8 % de la variance totale (le premier axe explique 43,39 % et le deuxième axe 23,41 % de cette variance). L'axe 1 est fortement corrélé du côté positif avec la conductivité électrique, le pH, les nitrates, les nitrites, les sulfates, la dureté totale, les chlorures, les bicarbonates et le calcium. Cet axe exprime à la fois la minéralisation et la pollution organique de l'eau. La mesure de la conductivité pourrait donc suffire pour prédire la qualité de l'eau en ce qui concerne les paramètres précités. Ceci fournit

un moyen plus simple et plus rapide pour le suivi de la qualité de l'eau dans une région. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de Sunitha *et al.* (2005) et Raman et Geetha (2005) qui ont montré que la qualité de l'eau souterraine peut être prédite avec précision seulement par la mesure de la conductivité électrique. A l'inverse, l'axe 2 est fortement corrélé du côté négatif avec la température et les fluorures et corrélé du côté positif avec les chlorures et les phosphates. Cet axe exprime moins la minéralisation de l'eau comparativement à l'axe 1. L'ammonium et le magnésium sont moins corrélés avec les deux premiers axes (Fig. 2).

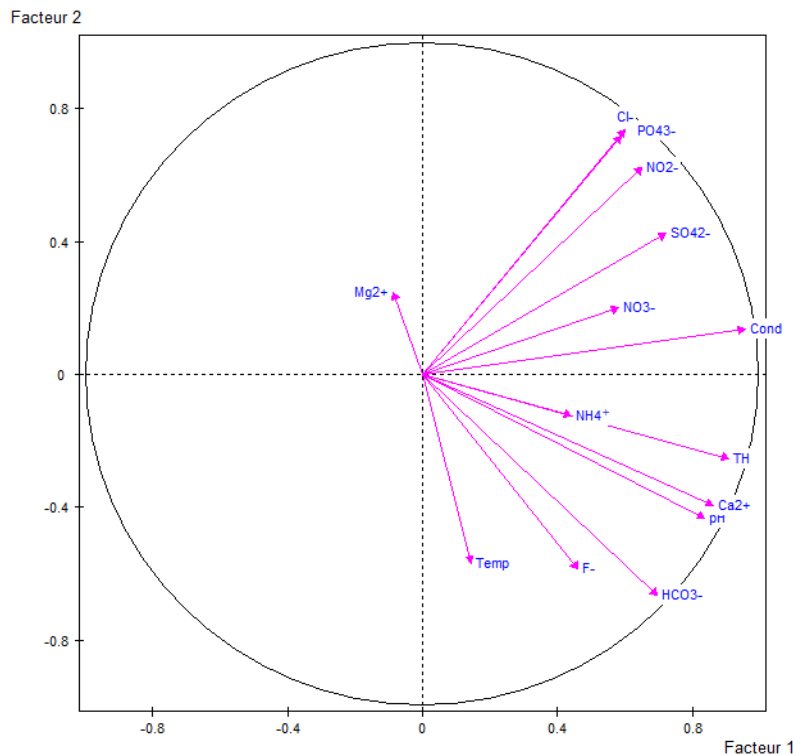


Figure 2 : Projection des paramètres physico-chimiques de l'eau des puits sur les deux premiers axes de l'ACP. Cond : conductivité ; Temp : température

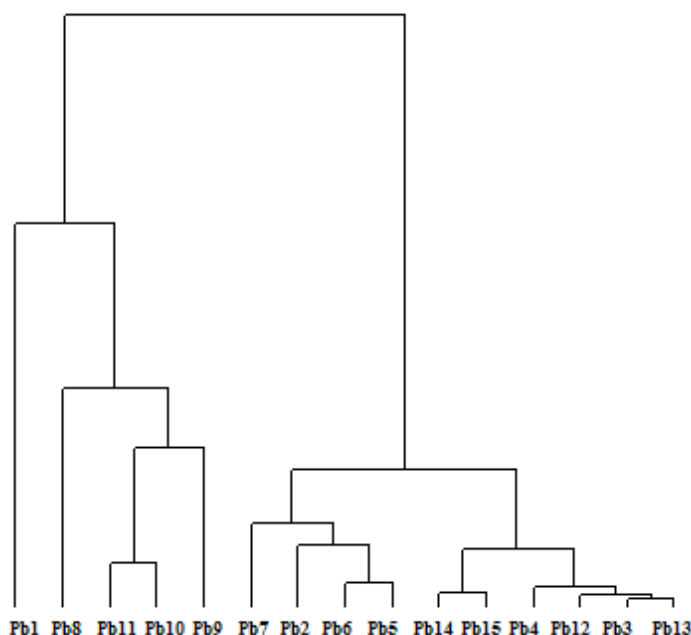


Figure 3 : Dendrogramme représentant la classification hiérarchique ascendante des 15 puits obtenue à partir des paramètres physico-chimiques de l'eau

Typologie des stations : Le dendrogramme représentant la classification hiérarchique des puits (Fig. 3) obtenue à partir des données physico-chimiques fait apparaître à un premier niveau de partition trois groupes de stations :

-Groupe 1 : il est constitué essentiellement du puits Pb1. La conductivité électrique est de 538,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la concentration en nitrates de 91,7 mg/L. L'eau est minéralisée accompagnée d'une pollution azotée.

-Groupe 2 : il regroupe les puits Pb8, Pb9, Pb10 et Pb11. La conductivité électrique est en moyenne de 335,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la concentration moyenne en nitrates est de 52,3 mg/L. L'eau est peu minéralisée avec une pollution azotée qui se manifeste par une concentration élevée en nitrates au niveau des puits Pb9, Pb10 et une concentration en ammonium hors normes au niveau des puits Pb8 et Pb11 (Tableau 2).

CONCLUSION

Au terme de cette étude, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits ont été déterminées dans la commune de Pobè. Parmi les quatorze paramètres mesurés, les concentrations en nitrates et en ammonium sont au dessus des normes relatives à la qualité de l'eau de boisson dans la majorité des puits.

-Groupe 3 : il réunit la majorité des puits (10) et comporte deux sous-groupes. La conductivité moyenne est de 166,85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la concentration moyenne en nitrates est de 37,86 mg/L. L'eau est en général très peu minéralisée et sans pollution azotée.

Le sous-groupe 3-a rassemble les puits Pb2, Pb5, Pb6 et Pb7. La conductivité moyenne est de 266,175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la concentration en nitrates de 71,275 mg/L en moyenne. L'eau est peu minéralisée et caractérisée par une pollution azotée excepté le puits Pb7.

Le sous-groupe 3-b rassemble les puits Pb3, Pb4, Pb12, Pb13, Pb14 et Pb15. La conductivité électrique moyenne est de 100,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la concentration en nitrates de 15,58 mg/L. L'eau est très peu minéralisée avec de très faibles concentrations en ions azotés.

La pollution serait liée aux activités anthropiques notamment l'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture. Elle constitue un risque sanitaire pour les populations qui sont tributaires de l'eau de puits pour leur besoin. Pour limiter la pollution de l'eau des puits, les mesures suivantes sont

à préconiser : isoler les nappes profondes des nappes superficielles par un cuvelage résistant, protéger le toit des apports extérieurs, installer les ouvrages d'assainissement à l'aval hydraulique des puits, éloigner les dépôts de déchets des puits, réduire

l'utilisation des engrais chimiques. Cette étude a également montré l'importance de l'utilisation des analyses multivariées pour caractériser les puits dans le cadre des programmes de planification et de suivi de la qualité de l'eau dans une région.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Commission de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine, le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique du Bénin ainsi que les autorités du Service

de l'Eau du Borgou pour leur soutien technique et financier. Ils expriment leur gratitude au Professeur Claude BOUTIN qui a initié et accompagné cette recherche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adejuwon J. O., Mbuk C. J., 2011. Biological and physiochemical properties of shallow wells in Ikorodu town, Lagos Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*. Vol. 3(6), pp. 161-168.
- Bani G., 2006. Monographie de la Commune de Pobè, Afrique Conseil, 40 p.
- Bawa L. M., Tchakala I., Djanéyé-Boundjou G., 2008. Détermination de la demande en chlore des eaux de puits et de forages d'un quartier périurbain de la ville de Lomé : incidence sur la désinfection. *Journal des Sciences et Technologie*. Vol. 7 n° 2 pp.19-24.
- Belkhiri L., Boudoukha A., Mouni L., Baouz T., 2010. Multivariate statistical characterization of groundwater quality in Ain Azel plain, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 4(8), pp. 526-534.
- Comlanvi F.M., 1994. Amélioration de la qualité des eaux de puits dans la ville de Cotonou : cas de quelques quartiers. Mémoire de fin de formation DIT, aménagement, protection de l'environnement, CPU, UNB, Bénin, 78p.
- Dégbey C., Makoutode M., Ouendo E.-M., Fayomi B., De Brouwer C., 2008. La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin. *Environnement, Risques et Santé*. Vol. 7, n° 4, pp 279-283.
- Eblin S. G., Sombo A. P., Soro G., Aka N., Kambiré O., Soro N., 2014. Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké. *J. Appl. Biosci*. 75: 6259-6271.
- El-Naqa A., Al-Momani M., Kilani S., Hamouri N., 2007. Groundwater deterioration of shallow groundwater aquifers due to overexploitation in northeast Jordan. *Clean Soil, Air, Water* 35:156-166.
- Fatombi K. J., Ahoyo T. A., Nonfodji O., Aminou T., 2012. Physico-Chemical and Bacterial Characteristics of Groundwater and Surface Water Quality in the Lagbe Town: Treatment Essays with *Moringa oleifera* Seeds. *Journal of Water Resource and Protection*. 4: 1001-1008.
- Gilly G., Corrao G., Favilli S., 1984. Concentrations of nitrates in drinking water and incidence of gastric carcinomas: First descriptive study of the Piemonte region Italy. *Sci. Total Environ*, 34: 35-37.
- Hawa S., 2002. Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S. des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Thèse de Doctorat d'état en Pharmacie, 77 p.
- Ingabiré Zannou F., 2006. Phénomène des postes d'eau autonomes privés au Bénin : Diagnostic, impacts et solutions alternatives. Mémoire de DESS-MEQuE, FAST-UAC. 86 p + annexes.
- INSAE, 2003. Institut National de Statistique et de l'Analyse Economique, recensement général de la population et de l'habitat 3. 42 p.
- Makoutodé M., Assani A. K., Ouendo E. M., Agueh V. D., Diallo P., 1999. Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique noire*, 46 (11): 528-534.
- Mpakam H. G., 2009. Vulnérabilité à la pollution des ressources en eaux à Bafoussam et incidences socio-économiques et sanitaires : modalités d'assainissement. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I, 267 p.
- Nwala C. O., Akaninwor J. O., Abbey B. W., 2007. Physico-chemical parameters of monopumps and well waters in Igbo Etche. *J. Nig. Environ. Soc.*, 4(1): 78-87.

- OMS, 2011. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Quatrième édition. Publication Organisation Mondiale de la Santé. Genève, Suisse. pp.307-447.
- Raman S. B. K., Geetha G., 2005. Correlation analysis and prediction of characteristic parameters and water quality index of ground water. *Pollut. Res.*, 24:197-200.
- Rodier J., 2009. L'analyse de l'eau. Dunod, 9^{ème} édition, 1526 p.
- Sawyer C. N., Mc Carty P. L., 1967. Chemistry of Sanitary Engineers. 2nd Edn., Mc Grow Hill, New York, 518 pp.
- Scanlon B. R., Reedy R. C., Stonestrom D. A., Prudic D. D. D. E., Dennehy K. F., 2005. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Biol.*, 11: 1577-1593.
- Servais P., Billen G., Garcia-Armisen T., George I., Goncalvez A., Thibert S., 2009. La contamination microbienne dans le bassin de la Seine. Edition. Agence de l'Eau Seine Normandie. 50 pp. ISBN: 978-2-918251-07-1.
- Sunitha V., Sudarshan V., Reddy B. R., 2005. Hydrogeochemistry of groundwater, Gooty area, Anantapur district Andhra Pradesh, India. *Poll. Res.*, 24: 217-224.
- Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakala I., Boguido P., Bawa L., Djaneye B., 2014. Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé. *J. Appl. Biosci.* 75: 6272-6281.
- Tindall J. A., Petrusak R. L., Mc Mohan P. B., 1995. Nitrate transport and transformation process in unsaturated porous media. *J. Hydrol.*, 169, 51-94.