

Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la ville de Bembèrèkè au Nord-Est du Bénin

[Physico-chemical and bacteriological characterization of underground water in Bembèrèkè town in the North-east (Republic of Benin)]

Serge Fredys Rodrigue Olawalé SENOU¹, Roger Gérard JOSSE¹, Rock Modéran TOKLO¹, K. Jacques FATOMBI², Nikita TOPANOU², and Bruno COULOMB³

¹Laboratoire d'analyse physico-chimique des milieux aquatiques (LAPMIA/FAST/CHIMIE/UAC) BP 526 Cotonou, Benin

²Laboratoire de chimie de l'eau et de l'environnement de l'Ecole Normale Supérieure de Natitingou, Benin

³Aix-Marseille Université-CNRS, LCE FRE 3416, Marseille, France

Copyright © 2018 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: The objective of this study is to evaluate the quality of underground water according to the standards of Beninese and international drinkability. The choice of watering place centres on daily usages as beverage. The physicochemical and bacteriological parameters have been determined according to the conventional methods. The obtained results show that the studied waters are characterized by an acidic- pH (6.74 – 6.95), a temperature which varies from 27.3°C to 30.4°C, a weak electric conductivity (8.9µS/cm – 588 µS/cm), weak TDS (5mg/L – 270mg/L) and a low potential of reduction-oxidation (202 mV – 344 mV). Besides, the following medium concentrations have been obtained : Sulphate (0.19 mg / L – 36.55 mg / L), Nitrate (4.60 mg / L – 53.28 mg/L), Calcium (0.7 mg/L – 57.46 mg/L), Potassium (0.22 mg/L – 21.02 mg/L), Magnesium (0.01 mg/L – 18.33 mg/L), ammonium (0.02 mg/L – 18.33 mg/L) and Chloride (0.20 mg / L – 55.55 mg/L). Among the studied places, only the well P₁ revealed contents in potassium and in nitrate beyond the standards of drinkability. The results of bacteriological analysis confirm the presence in very appreciable numbers of fecal contaminated indicators (Total Coliforms, Fecal Coliforms and Escheriachia-Coli) in the wells except the well P₅. Moreover, the Fecal Streptococci have been displayed prominently in the well P₆. So at the end of this study, we can deduce that wells studied waters roughly present the serious health risks to the population contrary to the drilling wells and springs water.

KEYWORDS: Domestic water, quality, standards of drinkability, physicochemical, bacteriological parameters and Bembèrèkè.

RESUME: La présente étude a pour but d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la ville de Bembèrèkè en référence aux normes de potabilité Béninoise et internationale. Le choix des points d'eaux étudiées repose sur leurs usages quotidiens comme eau de consommation. Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été déterminés, selon des méthodes conventionnelles. Les résultats obtenus montrent que les eaux étudiées sont caractérisées par un pH acide (6,74 – 6,95), une température variant de 27,3°C à 30,4°C, une faible conductivité électrique (8,9 µS/cm – 588 µS/cm), une faible TDS (5 mg/L – 270 mg/L) et un bas potentiel d'oxydo-réduction (202 mV – 344 mV). En outre, les concentrations moyennes suivantes ont été obtenues : sulfates (0,19 mg/L à 36,55 mg/L), nitrates (4,60 mg/L à 53,28 mg/L), calcium (0,7 mg/L à 57,46 mg/L), potassium (0,22mg/L à 21,02 mg/L), magnésium (0,01 mg/L à 18,33 mg/L), ammonium (0,02 mg/L à 18,33 mg/L) et chlorure (0,20 mg/L à 55,55 mg/L). Parmi ces points étudiés, seul le puits P₁ a révélé des teneurs en potassium et en nitrate au-delà des normes de potabilité. Les résultats d'analyses bactériologiques confirment la présence en nombre très appréciable des indicateurs de contamination fécale (Coliformes totaux, coliformes fécaux et Escherichia coli) dans les puits à l'exception du puits P₅. Par ailleurs, les streptocoques fécaux ont été mis en évidence dans le puits P₆. Ainsi à l'issue de la présente étude nous pouvons

déduire que, les eaux des puits étudiés présentent globalement des risques sanitaires sérieux à la population contrairement aux forages et aux sources.

MOTS-CLEFS: Eaux de consommation, qualité, paramètres physico-chimiques, microbiologiques et Bembèrèkè.

1 INTRODUCTION

L'eau potable est essentielle à la vie ; pourtant elle peut aussi être source d'exposition à des pathogènes et des contaminants physiques et chimiques [1]. Dans les pays en voie de développement comme le Bénin, l'accès à l'eau potable constitue un problème majeur. La décennie (2005 – 2015) internationale d'action, « L'eau, source de vie » et la conférence des chefs d'Etats d'Antananarivo (Madagascar) 2016 sont autant d'indicateurs qui prouvent que la communauté internationale est très préoccupée par l'approvisionnement en eau potable et l'assainissement de base dans nos pays. Les maladies infectieuses engendrées par les microorganismes, comme les diarrhées restent encore aujourd'hui une des principales causes de mortalité à l'échelle mondiale [2]. De plus l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), estime à 30 millions le nombre de personnes qui meurent chaque année des suites de la consommation d'une eau insalubre, dont particulièrement les enfants de moins de 5 ans [3]. Dans les infections hydriques, les deux types de risques prépondérants sont liés aux substances chimiques et aux agents microbiologiques [4]. Ainsi, l'analyse des eaux consommées au Bénin, plus précisément dans la ville de Bembèrèkè permettrait de diagnostiquer les risques de maladies infectieuses (fièvre typhoïde, diarrhée, choléra, gastro-entérite,...) liées à la consommation des eaux de cette région. Dans la ville de Bembèrèkè, les ressources en eau souterraine sont principalement utilisées comme eau de consommation, même dans les secteurs desservis par le réseau de la Société Béninoise des Eaux du Bénin (SONEB). Dans cette région où les conditions d'assainissement sont encore précaires, les statistiques sanitaires de 2012 montrent que près de 10,48% de la population ont consulté un agent de santé à cause des affections gastro-intestinales [5]. Ainsi, la présente étude vise à évaluer la qualité des eaux de puits, de forages et de sources, consommées dans la ville de Bembèrèkè. Elle se fonde sur la comparaison des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux et des valeurs guides béninoises et de l'Organisation Mondiale de la Santé pour les eaux à usage domestique.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La ville de Bembèrèkè est le chef-lieu de la commune qui porte son nom. Elle correspond administrativement, à la partie Nord-Est du Bénin et se situe dans le bassin sédimentaire de Kandi et le bassin Voltaïen. Elle est située entre 09°58 ' et 10°40' de Latitude Nord et entre 02°04' et 03° de longitude Est (figure 1).

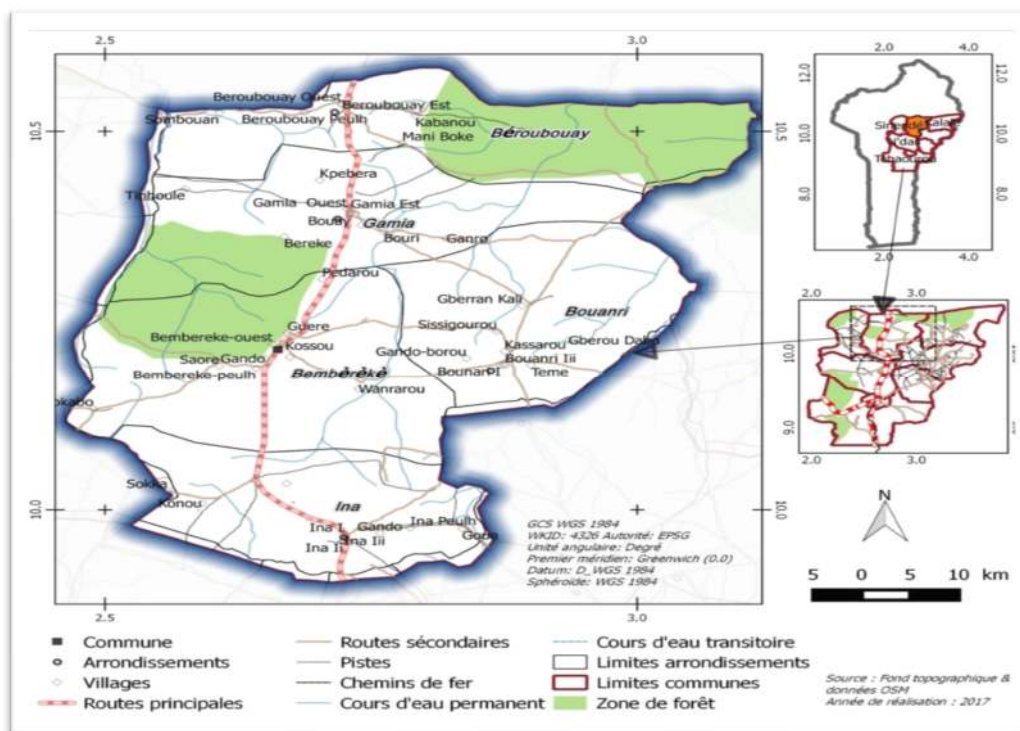


Fig. 1. Localisation géographique de la ville de Bembèrèkè

La ville de Bembèrèkè compte dix (10) quartiers couvrant une superficie d'environ 684 km² soit 0,59% de la superficie nationale, avec une population de 31176 habitants en 2013 [6]. Le climat est de type soudano-guinéen marqué par une saison pluvieuse (Mai - octobre) et une saison sèche (novembre - Avril) intercalée par l'harmattan (décembre – février). La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1300 mm. La température annuelle s'établit autour de 26°C avec un maximum de 32°C en mars et un minimum de 23°C courant décembre-janvier. L'humidité relative oscille entre 30 et 70%. La région est constituée d'une immense pénéplaine jalonnée de collines et de buttes. On y rencontre deux principaux types de sols : sols sablo-argileux et sols granito-gneissiques. Les céréales dominent le système d'assolement avec une prédominance du maïs sur le sorgho. On y cultive également de l'igname et du coton.

2.2 ECHANTILLONNAGE

Le choix des points d'eaux souterraines prélevées est guidé par leur utilisation comme eau de consommation et leur proximité avec les sources de pollution. Au total, 6 puits, 5 forages et 4 sources ont été échantillonnés pour caractériser l'impact des polluants urbains et des excréta sur la qualité de ces eaux souterraines à usage domestiques. Les coordonnées géographiques des points échantillonnés sont déterminées grâce à un Global Positioning System (tableau 1). La figure 2 illustre la représentation des différentes stations d'échantillonnage.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des différents points d’eaux échantillonnés

Codification	Quartiers	Coordonnées géographiques		Altitude (m)
		Longitude	Latitude	
S ₁	Gando (Derra*)	N10°12'10,4''	E002°39'02,9''	427,6
S ₂	Kpébéra	N10°13'29,2''	E002°39'36,8''	458,3
S ₃	Kpébéra (Wèrèrè*)	N10°13'42,4''	E002°39'48,0''	445,1
S ₄	Guéré	N10°14'39,8''	E002°40'08,5''	467,7
F ₁	Gando	N10°12'08,7''	E002°39'24,0''	395,9
F ₂	Guéré	N10°14'18,6''	E002°40'31,8''	398,1
F ₃	Kossou	N10°13'37,0''	E002°40'28,5''	396,8
F ₄	Dangbinoukou	N10°12'11,1''	E002°40'58,6''	371,8
F ₅	Sakarasson	N10°12'58,1''	E002°39'59,3''	395,1
P ₁	Kossou	N10°13'41,4''	E002°40'18,3''	402,0
P ₂	Kossou	N10°13'29,7''	E002°40'38,0''	397,1
P ₃	Sakarasson	N10°12'50,7''	E002°40'15,4''	393,8
P ₄	Kpébéra	N10°13'21,9''	E002°39'53,8''	440,7
P ₅	Sakarasson	N10°13'03,4''	E002°39'59,1''	405,0
P ₆	Sakarasson	N10°13'02,0''	E002°39'56,6''	409,10

S : source d’eau – F : Forage à motricité humaine – P: Puits à grand diamètre.

Indications : (*) Nom par lequel on désigne la source d’eau.

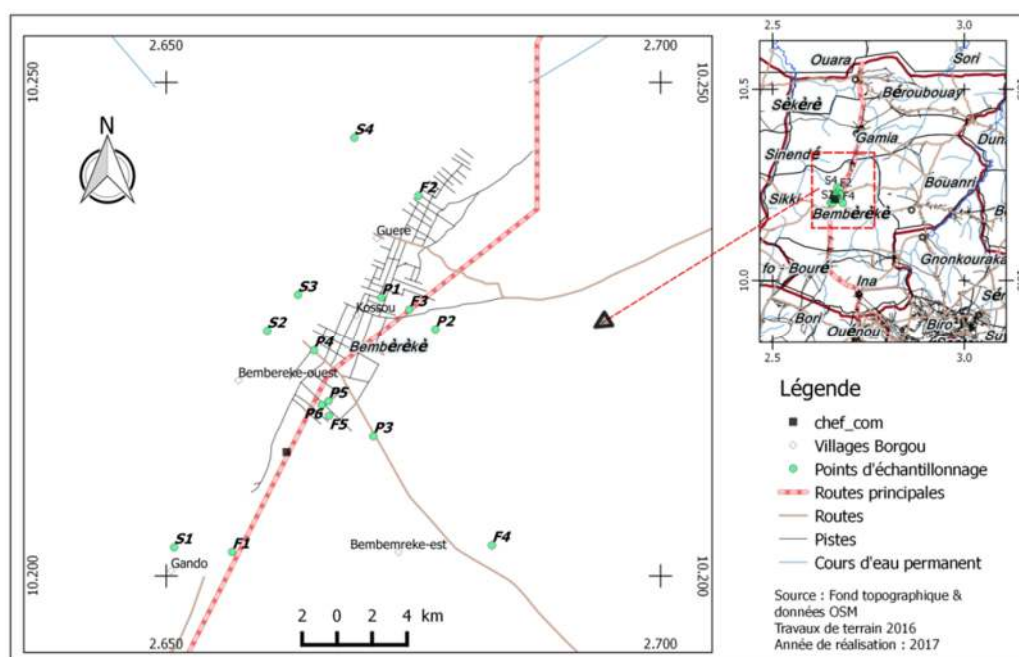


Fig. 2. Présentation spatiale des stations suivies

Deux campagnes d’échantillonnages ont été réalisées pour cette étude : septembre 2016 et Juillet 2017. Les échantillons d’eaux ont été prélevés conformément au protocole proposé par J. Rodier [7]. Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en polyéthylène de 330 mL soigneusement lavés et rincés. Chaque flacon est rincé trois fois avec l’eau à prélever, puis rempli jusqu’au bord et fermé hermétiquement. Pour les analyses bactériologiques, nous avons effectué un double échantillonnage dans des bouteilles en verre de 250 mL préalablement stérilisées à l’autoclave à 120°C pendant 15 minutes. Lors du remplissage des bouteilles, un espace d’environ 3 cm est laissé entre la surface de l’échantillon et le bouchon du contenant de prélèvement afin d’assurer une bonne agitation [8]. Les échantillons sont transportés dans une glacière isotherme et stockés au réfrigérateur à une température de moins de 4°C, à l’abri de la lumière [7]. Une fois au laboratoire, ceux destinés à l’analyse des cations et des éléments traces métalliques sont filtrés avec un filtre de porosité 0,45µm et de diamètre 25 mm, avant d’être acidifiés à 1% d’acide nitrique à 65%.



Fig. 3. Echantillons d'eaux destinées aux analyses en laboratoire (septembre 2016 et juillet 2017)

Pour chaque point échantillonné, 21 paramètres ont été mesurés dont 15 paramètres physico-chimiques et 06 microbiologiques. Le choix de ces paramètres est guidé simultanément par le Décret n°2001-094 du 20 février 2011 fixant les normes de qualité de l'eau potable en république du Bénin et la norme OMS des eaux de consommation. L'appareillage utilisé sur le terrain pour la mesure de la température (T°), du potentiel Hydrogène (pH), de la Conductivité Electrique (CE) et des Solides Totaux Dissous (STD) est un analyseur multi paramètre portable de marque WTW 340i. Le potentiel redox (POR) est déterminé par un pH-mètre type pH 330 / SET-1 MERCK.

2.3 MÉTHODES D'ANALYSES

2.3.1 ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses chimiques sont réalisées au Laboratoire d'Analyses Physico-chimiques des Milieux Aquatiques (LAPMIA) de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'université d'Abomey-Calavi et dans le Laboratoire de Chimie de l'Eau et de l'environnement de l'Université de Marseille (France). Le tableau 2 résume les paramètres chimiques déterminés, les méthodes d'analyses et l'appareillage utilisé à cet effet.

Tableau 2 : Méthodes d'analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire

Paramètres chimiques	Mode opératoire	Intitulé
Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+	NF EN ISO 11885	spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif (ICP-AES) séquentiel.
NH_4^+	MO 60	Analyse en flux (FFA et FIA) détection spectrométrique
NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^-	NF EN ISO 10304	Méthode par chromatographie ionique Marque DIONEX ICS 3000

2.3.2 ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques ont été réalisées au Laboratoire de la Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA) sis à Porto-Novo (Rép. Bénin). Le tableau 5 présente les germes-tests recommandés pour l'analyse des eaux de consommation, les méthodes de dénombrement utilisées et les milieux de culture.

Tableau 3: Germes recherchés et méthodes de dénombrement dans les eaux analysées

Paramètres	Méthodes et intitulé	Milieus de culture	Température / durée d'incubation
Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)	NF V 08-51, Février 1999 Technique d'ensemencement par incorporation	Gélosée <i>plat count Agar</i> (PCA)	30°C / 72 h.
Clostridium Sulfito-Réducteurs (ASR)	AFNOR, 2001 Technique d'ensemencement par incorporation	BSA+6 gouttes de citrate d'ammonium de fer	37°C / 24 h
Streptocoques Fécaux (SF)	NF EN ISO 9308-3 Méthode en tubes multiples	Test présomptif Rothe Test confirmatif EVA	Test présomptif : 37°C / 48h Test confirmatif : 37°C / 24h
Coliformes (CT ; CF) et E-coli	NF T90-413 Méthode en tubes multiples	Test présomptif : BLBVB Test confirmatif : BLBVB (CF) et EPS (E-coli)	Test présomptif : 37°C/24 h Test confirmatif : 44°C/24h (CF et E.coli)
Salmonelles	NF ISO 7218, mai 1996 Méthode en tubes multiples	Préenrichissement : EPT Enrichissement : Sélénite-Cystine Isolement : Hektoen	Chaque étape est incubée à 37°C pendant 24 h.

CT : Coliformes Totaux - CF : Coliformes Fécaux - BSA : Sérum albumine Bovine - EVA : milieu Litsky à l'éthyl violet et Azide de sodium - BLBVB : Bouillon Lactosé Billé au Vert Brillant - EPS : Eau Peptonée Simple et EPT : Eau Peptonée Tamponnée

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUES

Les résultats des mesures physico-chimiques des eaux de puits, sources et de forages sont récapitulés dans le tableau 4.

Les valeurs des températures des différents points d'eaux souterraines étudiées varient de 27,3°C à 30,2°C avec une valeur moyenne de 29,56 ± 2,26°C. Ces valeurs sont légèrement au-dessus des valeurs mesurées pour les puits de la commune de Pobé au Sud du Bénin [9]. Les températures élevées pourraient s'expliquer par l'influence de la chaleur ambiante sur les eaux prélevées [10]. La température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme [11]. Cependant, une température élevée (supérieure à 20 °C), à l'image de celle des eaux étudiées favorise le développement des micro-organismes [7]. Toutes ces valeurs sont légèrement au-dessus de la valeur admise par l'OMS qui est de 25°C.

Le pH est compris entre 6,74 et 6,95 avec une moyenne de 6,89 ± 0,15. Ces eaux ont une tendance acide (pH < 7) avec un pH proche de la neutralité. Ces valeurs respectent aussi bien la plage de pH des eaux souterraines qui est de 5,5 et 8 [12] et répondent aussi bien aux normes de potabilité Béninoise [13] et de l'OMS (6,5–8). Les STD et la conductivité électrique montrent une faible variation de la composition chimique des eaux. La conductivité varie entre un minimum de 8,9µS/cm et un maximum de 588 µS/cm avec une moyenne de 16,8 µS/cm pour les sources, de 165,7 µS/cm pour les puits et 338,64 µS/cm pour les forages. Ces valeurs de la CE satisfont à la norme de potabilité de l'OMS [3] qui est d'au plus 2000µS/cm. Les STD oscillent entre un minimum de 5 mg/L et un maximum de 270 mg/L avec des valeurs moyennes de 137,5 mg/L, 83,33 mg/L et de 168 mg/L respectivement pour les sources, les puits et les forages. Au regard de la classification des eaux de boisson en fonction de la conductivité selon Pelon *et al.* [14] ces eaux sont globalement d'une excellente qualité. Toutefois on note une forte CE au forage F₂ (588 µS/cm) qui pourrait traduire l'infiltration des eaux usées dans la nappe phréatique. Les valeurs des potentiels d'oxydoréduction varient entre 202 mV à 344 mV et ne répondent pas à la norme de l'OMS qui recommande une valeur au moins supérieure ou égale à 650 mV.

Les concentrations en cations majeurs (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) présentent une grande variabilité d'un point à un autre. L'abondance relative des cations dans ces eaux est globalement du type Ca²⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ > K⁺. Les teneurs moyennes en Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ et K⁺ sont respectivement de 15,65 mg/mL, 8,25 mg/mL, 4,90 mg/mL et 4,03 mg/mL. Les plus faibles teneurs en cations majeurs sont observées au niveau des sources. Seul le puits P₁ présente une teneur en magnésium dépassant la norme

de potabilité de l'OMS. Les teneurs en ion ammonium dans les eaux prospectées sont inférieures 0,19 mg/mL, valeurs respectant le taux normal de potabilité des eaux de consommation selon les normes Béninoise et de l'OMS. A l'exception des eaux de sources, les forages et les puits prospectés ont une teneur en nitrate variant entre 4,69 mg/mL et 53,28 mg/mL avec une moyenne de 26,04 mg/mL. Le puits P₁ présente une teneur en nitrate de 53,28 mg/mL supérieure à la norme OMS qui est de 50 mg/mL et est donc impropre à la consommation humaine. Il présente un risque de méthémoglobinémie chez les enfants nourris au biberon. Les teneurs en nitrate de 46,67% des points étudiés sont supérieures à 10 mg /L et traduisent une faible contamination anthropique [15]. La contamination de ces eaux serait due aux eaux d'infiltration étant donné que ces puits et forages se trouvent dans la zone résidentielle. Ces eaux ne contiennent pas des nitrites à des teneurs quantifiables. Les sulfates ne sont pas présents dans les eaux de sources, mais leur teneur varie de 0,19 mg/L à 26,90 mg/L pour les puits et de 1,13 mg/L à 97,15 mg/L pour les eaux de forages.

Tableau 4: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux de puits, de forages et de sources de la ville de Bembèrèkè (septembre 2016 et Juillet 2017)

Stations et Normes	T° (C)	pH	CE μS/cm	TDS mg/L	POR mV	Na ⁺ mg/mL	Ca ²⁺ mg/mL	Mg ²⁺ mg/mL	K ⁺ mg/mL	NH ₄ ⁺ mg/mL	NO ₂ ⁻ mg/mL	NO ₃ ⁻ mg/mL	Cl ⁻ mg/mL	SO ₄ ²⁻ mg/mL
Paramètres physico-chimiques														
S ₁	29,0	6,81	30,7	30	305	1,13	1,81	0,97	1,52	0,06	-	-	0,83	-
S ₂	29,6	6,84	8,9	10	344	0,76	0,07	-	0,22	-	-	-	0,59	-
S ₃	28,0	6,88	16,3	10	323	0,78	1,72	0,58	0,53	-	-	-	0,63	-
S ₄	27,3	6,93	11,3	05	316	0,83	0,83	0,21	0,34	-	-	-	0,60	-
P ₁	29,7	6,93	376	180	278	19,61	25,77	5,86	21,02	0,04	-	53,28	30,73	26,90
P ₂	29,7	6,93	197,4	100	274	7,59	18,78	0,01	3,75	0,19	-	6,69	11,23	1,68
P ₃	30,1	6,94	75,7	40	334	6,68	3,5	1,59	1,29	0,02	-	14,26	7,57	-
P ₄	30,4	6,91	114,0	60	302	5,58	8,42	2,36	4,15	0,03	-	9,74	6,08	4,39
P ₅	29,9	6,91	160	80	317	13,65	9,61	1,30	3,54	-	-	20,00	17,44	0,96
P ₆	29,5	6,94	71,1	40	283	5,08	3,94	1,82	2,43	0,07	-	4,60	4,54	0,19
F ₁	29,8	6,74	272	150	228	8,87	24,09	10,77	4,42	0,16	-	32,03	2,93	-
F ₂	30,2	6,91	588	270	202	16,29	57,46	18,33	5,60	0,03	-	47,72	55,55	36,55
F ₃	30,2	6,93	328	160	236	13,13	28,71	12,12	3,67	-	-	37,76	20,47	27,69
F ₄	30,1	6,95	139,2	80	269	8,01	13,61	3,32	3,90	-	-	17,31	0,20	1,13
F ₅	30,0	6,85	366	180	251	15,85	36,51	13,30	4,10	0,03	-	25,13	0,28	97,15
ABeNor 2003	25	6,5-8,5	2100	-	-	-	100	50	-	0,5	3,2	45	250	500
Valeur guide OMS		6,5-8,5	2000	500	650	150	-	50	12	2	3	50	250	250

ABeNor : Agence Béninoise pour la Normalisation

3.2 CARACTÉRISATION BACTÉRIOLOGIQUE

Les résultats des analyses bactériologiques des différents points d'eaux souterraines étudiées sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5: Charges bactériologiques moyennes dans eaux de puits, de sources et forages de la ville de Bembèrèkè.

Stations et normes	FMAT UFC/mL	CT UFC/100 mL	CF (E-Coli) UFC/100 mL	SAR UFC/100mL	SF UFC/100 mL	Salmonelles / 25 mL
S ₁	2000	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
S ₂	< 30	< 0,0	< 0,0	< 1	< 0,3	Abs
S ₃	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
S ₄	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
P ₁	22000	11000	11000	< 1	< 0,3	Abs
P ₂	120000	2400	2400	< 1	< 0,3	Abs
P ₃	15000	2400	2400	< 1	< 0,3	Abs
P ₄	13000	9400	9400	< 1	< 0,3	Abs
P ₅	16000	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
P ₆	700	9400	9400	< 1	4600	Abs
F ₁	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
F ₂	< 30	< 0,0	< 0,0	< 1	< 0,3	Abs
F ₃	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
F ₄	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
F ₅	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
Norme Béninoise	50	0	0		0	0
Normes OMS 2004	50	0	0	0	0	Absence

Le dénombrement des germes aérobies mésophiles permet de recenser un groupe relativement varié d'espèces de bactéries sans égard de pathogénicité. Dans les eaux de consommation leur teneur maximale admissible est de 50 UFC/mL selon l'OMS [16] et la norme Béninoise. Les analyses ont montré que, dans la source S₁ et dans tous les puits prospectés, les valeurs obtenues sont supérieures aux normes. Leurs nombres varient entre 700 UFC / mL (P₆) et 1,2.10⁵ UFC/mL (P₂). Bien que la charge mésophile ne soit pas un paramètre d'appréciation de la qualité bactériologique, elle renseigne sur le degré de potabilité des eaux étudiées [17]. L'évaluation statistique de la teneur en Coliformes Totaux, en Coliformes Fécaux et en Escherichia-Coli révèle qu'ils sont présents seulement dans les puits à l'exception du puits P₅. Ainsi 5 puits sur 6 analysés sont non-conformes vis-à-vis des critères de la réglementation Béninoise et de l'OMS. Les concentrations en Coliformes Totaux, en Coliformes Fécaux et en Escherichia-Coli sont de 2400UFC/100mL à 11000 UFC/100mL pour les puits contaminés et confirment une pollution fécale causée par les rejets domestiques et l'existence des fosses septiques dans le voisinage de ces puits. La présence des E.coli dans ces puits indique une contamination récente des eaux par du matériel fécal humain ou animal à sang chaud [11]. Les streptocoques fécaux, ne sont détectés seulement que dans le puits P₆ (4600UFC/100 mL). La recherche des salmonelles et des Spores de Clostridium Sulfito-réducteurs (< 1UFC/20 mL) montre qu'ils sont absents dans tous les points d'eaux étudiés.

En considérant, l'ensemble des germes recherchés, il ressort que les forages de la ville de Bembèrèkè sont de qualité bactériologique acceptable. Il en est de même des eaux de source, à l'exception de la source S₁ située à Gando. Les facteurs de pollution de la source S₁ et des puits sont liés à l'hygiène autour de ces points d'eau au regard de la concentration élevée des flores bactériennes. D'ailleurs la température des échantillons variant entre 27,3°C à 30,4°C, témoigne des conditions de culture favorables pour le développement des flores aérobies vérifiables. Les germes à craindre restent les E-coli qui sont des germes tests de contamination fécale présents dans presque tous les puits. Un entretien régulier des puits garantirait sûrement la qualité bactériologique des eaux des puits traditionnels dans la ville de Bembèrèkè. Il est important de souligner que, si aucune action n'est menée sur les puits de la ville de Bembèrèkè leur consommation pourrait être à l'origine de la propagation des infections urinaires, des diarrhées, des gastro-entérites, des septicémies.

4 CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons évalué la qualité physico-chimique et bactériologique des ressources en eau souterraine (puits traditionnels, forages à motricité humaine et sources) consommées par les populations de la ville de Bembèrèkè. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré des valeurs satisfaisantes pour le pH, la conductivité, les

STD, les sulfates, les nitrates, les nitrites, les sulfates, le calcium, le potassium, le magnésium et les ions ammonium pour toutes les stations étudiées, à l'exception du puits P₁ qui a révélé une teneur en potassium et en nitrate au-delà des normes de potabilité. On note une faible contamination des eaux de puits et de forages par les eaux d'infiltration au regard de leur teneur élevée en nitrate (4,60 mg/mL – 53,28 mg/mL). Par ailleurs, cette étude a montré que les forages et les sources à l'exception de la source S₁ sont d'une qualité chimique et bactériologique acceptables. Les eaux de puits de la zone d'étude présentent de forts taux de germes totaux, de coliformes fécaux et la présence d'*Escherichia coli*, conséquence d'une pollution d'origine humaine récente. Pour éviter d'éventuels risques sanitaires liés à la consommation des eaux de puits et de la source de S₁ sise à Gando, des mesures préventives (assainissement des points d'eau) et de traitements correctifs (chloration ou traitement photochimique) sont d'une importance capitale et doivent être conseillées à cette frange de la population qui a encore recours à ces sources d'eau.

REFERENCES

- [1] Boyd, D. R. (2006). L'eau que nous buvons : les normes et recommandations en matière de qualité de l'eau potable-une comparaison internationale. *Fondation David Suzuki*. 36p.
- [2] Heriarivony S. C., Razanamparany B., Rakotomalala J. E. (2015) : Caractérisations physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la commune rurale d'Antanifotsy, Région Vakinankaratra, Madagascar. *Larhyss Journal*, ISSN 1112 – 3680, n°24, pp 7 – 17.
- [3] Organisation Mondiale de la Santé (2008) : Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition, incorporating the first and second Addenda, Recommendations, Geneva, Volume 1, p 515.
- [4] Hospitalier-Rivillon J., Poirier R. (2008) : L'eau destinée à la consommation humaine : Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement; 69 : 496-505
- [5] Ministère de la Santé. Direction de la programmation et de la Prospective. Service des Statistiques Sanitaires et de la documentation (2013) : Annuaire des statistiques sanitaires 2012. 89 P.
- [6] INSAE (2016) : Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin, (RGPH4, 2013). P.26.
- [7] Rodier J. (2009) : L'analyse de l'eau. 9^e Ed revue et corrigée. 1579 p.
- [8] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2003) : dénombrement des salmonelles ; méthode par tubes multiples. MA. 700 – Sla-tm 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 19p.
- [9] 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.
- [10] Degbey C. Makoutode M., Ouendo E. M. et De Brouwer C. (2010) : Pollution physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin en 2009. *Int. J. Biol. Chem. Sci* 4(6) : 2257 – 2271.
- [11] Zerhouni J., RhaziFilali F., Aboukacem A. (2015) : Qualité et facteurs de risque de pollution des eaux souterraines périurbaines de la ville de SEBAA AYOUNE (MEKNES, MAROC) ; *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°22, pp. 91-107.
- [12] Sarah A. A. et Mama B. (2014) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux embouteillées algérienne et vérification d'étiquetage. Mémoire de master II. Rép. Algérienne et démocratique – Université des Sciences et Technologie d'Oran. 83p.
- [13] Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de potable en république du Bénin.
- [14] Pelon J.L. et Zysman K. (1993) : Guide des analyses d'eau potable. 155p.
- [15] Sciancalepore S. (2003) : Les maladies d'origine hydriques. *Revue de presse thématique* n°27. Groupe Agence Française de développement. 4p.
- [16] OMS (2004) : Directives de la qualité pour l'eau de boisson. vol 1, 3^{ème} éd (les recommandations), 110p.
- [17] TOURAB Hafsa (2013) : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz. Mémoire de fin de Licence. Université Cadi Ayyad (Marrakech). Spécialité : Eau et environnement. 82p.