

Qualités physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau de puits dans la commune de Ouessè, centre-Bénin

Alfred Okoungla DENONSI*, Norbert AGOÏNON et Jean Bosco Kpatindé VODOUNOU

Université de Parakou, Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Laboratoire de Cartographie et des Géosciences de l'Environnement (LaCaGE), BP 123 Parakou, Bénin

(Reçu le 24 Janvier 2023 ; Accepté le 07 Mars 2023)

* Correspondance, courriel : denonsialfred@gmail.com

Résumé

Cette étude a pour objectif d'analyser les qualités physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau de puits consommée dans la commune de Ouessè. Une observation directe de l'état des lieux et l'administration de questionnaires permettant de répertorier les puits selon des critères définis ont été réalisées. Les méthodes d'analyses au spectrophotomètre, à la titrimétrie et de la filtration sur membrane sont utilisées dans le cadre de cette étude pour analyser les 10 échantillons d'eaux de puits sélectionnés de façon aléatoire. Les résultats montrent que les variables physiques telles que la couleur (00 UCV à 38 UCV) ; la turbidité (OUTN à 8 UTN) ; la dureté totale (170 mg/L à 460 mg/L) ; la température (28,7 °C à 29,9 °C) ; le pH (7 à 8,72) et l'alcalinité (10 mg/L à 35 mg/L) ont présenté des valeurs qui excèdent par endroits la norme de l'OMS ou du Bénin utilisée. Sur le plan chimique, sont pollués, les puits (P₃ = 1,8 mg/L et P₁₀ = 2,2 mg/L) par les ions fluorures ; (P₂ = 150mg/L ; P₃ = 175 mg/L ; P₅ = 60, mg/L P₆ = 80 mg/L ; P₇ = 85 mg/L ; P₉ = 80 mg/L et P₁₀ = 81 mg/L) par les ions nitrates et (P₃ = 50,1 mg/L et P₁₀ = 80,25mg/L) par les ions magnésiums. Par contre, les ions calciums, chlorures, nitrites, ammoniums et bicarbonates ont des valeurs inférieures aux normes utilisées. Toutes les valeurs obtenues en *Escherichia-coli* (40 UFC/100 mL (P₂) à 740 UFC/100 mL (P₅) et en coliformes totaux (309 UFC/100 mL (P₁) à 9440 UFC/100 mL (P₄) excèdent la norme du Bénin (0UFC/ 100 mL). En définitive, tous les échantillons d'eau sont pollués et sont inappropriés pour une consommation directe par l'homme.

Mots-clés : *Ouessè, qualités, puits, hydriques, pollués.*

Abstract

Physical, chemical and bacteriological qualities of well water in the commune of Ouessè, Centre - Bénin

The aim of this study is to analyse the physical, chemical and bacteriological qualities of the well water consumed in the administrative district of Ouessè. Direct observation of the situation and the distribution of questionnaires to identify wells according to defined criteria have been carried out. Spectrophotometer, titrimetric and membrane filtration methods have been used in this study to analyse the 10 randomly selected well water samples. The results show that physical variables such as colour (00 UCV to 38 UCV); turbidity (OUTN to 8 UTN); total hardness (170 mg/L to 460 mg/L); temperature (28.7 °C to 29.9 °C); pH (7 to 8.72) and

alkalinity (10 mg/L to 35 mg/L) have shown values that have exceeded the WHO or Benin standard used in places. Chemically, the wells (P3 = 1.8 mg/L and P10 = 2.2 mg/L) are polluted by fluoride ions ; (P2 = 150 mg/L; P3 = 175 mg/L; P5 = 60 mg/L; P6 = 80 mg/L; P7 = 85 mg/L; P9 = 80 mg/L and P10 = 81 mg/L) by nitrate ions; and (P3 = 50.1 mg/L and P10 = 80.25mg/L) by magnesium ions. On the other hand, calciums, chlorides, nitrites, ammoniums and bicarbonates have values lower than the standards used. All the values obtained for *Escherichia coli* (40 CFU/100 mL (P2) to 740 CFU/100 mL (P5) and total coliforms (309 CFU/100 mL (P1) to 9440 CFU/100 mL (P4) have exceeded the Benin standard (0 CFU/100 mL). All water samples are polluted and unsuitable for direct human consumption.

Keywords : *Ouessè, quality, wells, water, polluted.*

1. Introduction

L'eau est une ressource naturelle limitée, nécessaire à la vie. Elle est utilisée à des fins, des fonctions et des services variés [1]. L'eau, comme l'air, est une ressource vitale indispensable à tous les êtres vivants. Elle est l'un des moteurs de l'organisation et du développement des territoires [2]. Elle est la plus importante des ressources naturelles qui rendent la vie possible sur terre tant pour les animaux, les Hommes que pour les végétaux. Elle est à ce titre, selon [3], le noyau du système écologique. Pour ce faire, la demande mondiale en eau ne cesse de s'augmenter d'environ 1 % par an en fonction de la croissance démographique, le développement économique et l'évolution des modes de consommation, entre autres facteurs, et elle continuera à croître considérablement au cours des deux prochaines décennies. La grande majorité de la demande croissante en eau se produira dans les pays en développement ou émergents [4]. Pour satisfaire donc leurs besoins en eau, ces populations ont recours à des sources alternatives notamment les eaux de puits, de marigot et de pluie [5, 6]. Les données sur la population béninoise montrent que près d'un tiers des ménages utilise l'eau de diverses sources comme eau de boisson [7]. L'eau demeure une ressource épuisable et fragile, car vulnérable à divers types de pollutions [8, 9]. En effet, la pollution des eaux des cours d'eau et des lacs entraîne une dégradation de plus en plus accrue de la nappe phréatique superficielle voire profonde par endroits. Ce qui constitue ainsi un risque sanitaire pour les populations [10]. La consommation des eaux de mauvaise qualité contribue à la propagation et à la pérennisation des maladies hydriques [11]. Il est alors nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur la vulnérabilité des ressources en eau [12]. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, plus de 2 millions de personnes, surtout des enfants de moins de cinq ans des pays en développement meurent chaque année des maladies diarrhéiques du fait de l'insuffisance des mesures d'hygiène et d'assainissement [13]. Les intenses activités anthropiques (agricoles, l'orpaillage etc.) peuvent affecter la qualité des eaux qui par ricochet constitue un facteur critique qui influence la santé humaine et la production agropastorale [14, 15]. Les effets de ces pollutions sont des maladies (gastro-entérites, les dysenteries, la schistosomiase, le choléra, les cancers, etc.) parfois mortelles pour les personnes vulnérables [16]. L'insuffisance des points d'eau potable pour la couverture totale de la zone d'étude en eau de bonne qualité et en quantité suffisante pour la consommation humaine, est l'un des problèmes actuels du milieu d'étude. La présente étude s'intéresse à analyser les qualités physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau de puits utilisée comme eau de consommation dans la commune de Ouessè.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

La commune de Ouessè est l'une des sept communes du département des collines situées entre 2° 10' et 2° 47' de longitude Est et entre 8° 07' et 8° 47' de latitude Nord (**Figure 1**). Elle est limitée au Nord par la commune de Tchaourou, au sud par les communes de Savè et de Glazoué, à l'Est par la République Fédérale du Nigéria et à l'Ouest par les communes de Bantè et de Bassila. Elle compte 9 arrondissements et 39 villages [17] et s'étend entre l'Okpara à l'Est et l'Ouémé à l'Ouest sur une superficie d'environ 3 200 km², soit 2,56 % de la superficie nationale [18]. Elle est sous l'influence d'un climat de transition soudano-guinéenne à deux saisons : une saison sèche (novembre à mi-mars) et une saison de pluie (mi-mars à octobre) avec une intensité maximale qui se situe généralement en septembre avec une hauteur pluviométrique annuelle qui va parfois au-delà de 1200 mm. En effet, le relief de la zone d'étude est caractérisé par une pénéplaine cristalline à l'intérieur de laquelle émergent par endroits des dômes granitiques ou granito-gneissiques [19]. Elle est surnommée « Pays des sept rivières », pour ses sept principaux cours d'eau à savoir : Ouémé, Okpara, Gbeffa, Kilibo, Liga, Nonomi et Toumi [18]. La population de la commune de Ouessè est estimée à 142017 habitants et compte 21867 ménages [20].

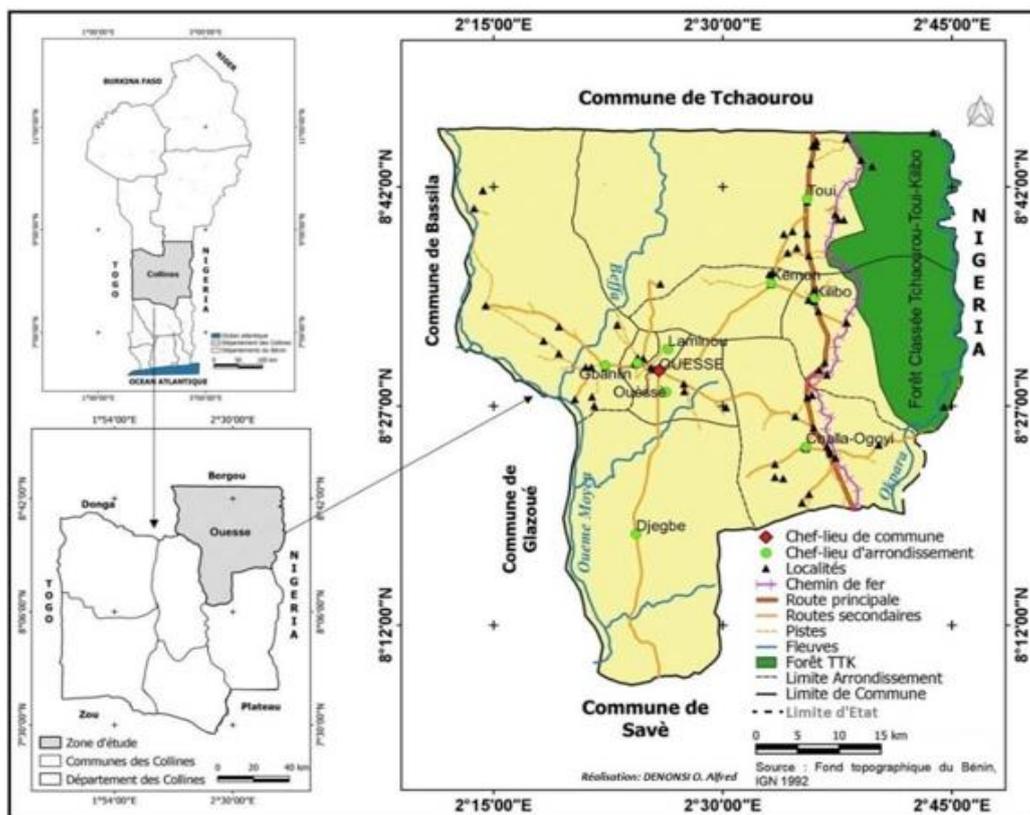


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (commune de Ouessè)

2-2. Matériel

Pour cette étude, plusieurs outils ont été utilisés. Parmi ceux-ci, il y a des flacons de 250 mL et des bouteilles de 1,5 L utilisés pour le prélèvement des échantillons d'eau sur le terrain. L'application Survey 123 a permis de collecter les données à partir du terrain. En outre, le spectrophotomètre, le pH-mètre et le multi paramètre de type wtw multi 3420, etc sont utilisés au laboratoire pour la réalisation des diverses analyses.

2-3. Méthodes

2-3-1. Méthodes d'enquête, de prélèvement et de conditionnement des échantillons

Pour parvenir aux différents résultats obtenus, un questionnaire d'enquête fut préalablement élaboré et administré aux enquêtés. En effet, sont inventoriés dans le cadre de cette recherche, les puits dont deux (02) ménages au mois utilisent son eau pour la consommation. Ensuite, deux (02) personnes de chacun de ces ménages ont été enquêtées. Au total, 189 puits ont été échantillonnés (**Figure 2**) et 378 personnes ont été enquêtées. De même, une grille d'observation élaborée à cet effet a permis de noter les observations directes faites sur le terrain. Pour cette étude, un choix aléatoire de dix (10) échantillons d'eau de puits à raison d'au moins un échantillon d'eau par arrondissement a été effectué. En effet, dix (10) flacons en verre de 250 mL (pour l'analyse bactériologique) et dix (10) bouteilles de polyéthylène téréphtalate de 1,5 L (pour l'analyse physique et chimique) sont stérilisés et hermétiquement fermés. Au niveau de chaque puits, l'eau est prélevée du puits et transvasée dans un flacon de 250 mL et dans une bouteille de polyéthylène téréphtalate de 1,5 L pour les analyses. Ces flacons de verre et bouteilles de polyéthylène téréphtalate sont fermés, référencés et mis immédiatement dans la glacière après remplissage à ras bord, et sont enfin conduits au laboratoire d'analyses des eaux de la Direction Départementale de l'Eau et des Mines du Borgou sise à Parakou pour les diverses analyses.

2-3-2. Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques

Pour procéder aux différentes analyses, des méthodes standardisées ainsi que celles d'analyse au spectrophotomètre et à la titrimétrie, de même que la méthode de filtration sur membrane ont été utilisées. Les paramètres physiques tels que la température (T) ; le potentiel d'Hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE), sont déterminés directement à l'aide d'un multi paramètre de type (wtw multi 3420). La turbidité et la couleur sont déterminées par un spectrophotomètre. Pour l'alcalinité, 100 ml de l'échantillon d'eau ont été prélevés avec une éprouvette ou une fiole, auxquels une gélule de vert de bromocrésol ou 5 gouttes d'indicateur mixte, et enfin on a ajouté avec une burette graduée la solution d'acide sulfurique à 0,2 N jusqu'au virage de la solution. Si V est le volume de la solution utilisée, le calcul de la concentration en alcalinité se fait comme suit : Alcalinité en $\text{CaCO}_3 = V \times 100 \text{ mg/L}$. La dureté totale de l'eau est déterminée suivant le mode opératoire ci-après : prélèvement de 50 mL d'eau à analyser à l'aide d'une éprouvette graduée ou une fiole jaugée de 50 mL, on ajoute ensuite 2 mL d'une solution tampon (pH = 10) à l'aide d'une burette jusqu'à ce que la solution vire du au bleu. Si le volume V de la solution d'EDTA 0,02 N utilisé ; la Dureté totale = $V \times 20 \text{ mg/L}$. Dans le contexte de cette recherche, des variables chimiques telles que : le nitrate, le nitrite, l'ammonium et le fluorure ont été déterminées grâce à un spectrophotomètre de type HACH (DR 1900) et d'autre part le bicarbonate, le chlorure, le magnésium et le calcium ont été déterminés par titrimétrie. Pour l'analyse de la qualité de l'eau de puits du milieu d'étude, seuls les germes d'*Escherichia-coli* et de Coliformes Totaux sont recherchés. Le milieu de culture utilisé est le Chrom-Agar suivi d'ensemencement et de dénombrement. En effet, pour y parvenir, 26,5 g de poudre sont versés dans un (1) litre d'eau distillée. Cette solution est portée doucement à ébullition en agitant jusqu'à dissolution complète. Il est prélevé à l'aide de micropipette 1 mL de l'échantillon dans la boîte de pétri stérile sous flambeur allumé et refroidir entre 45 °C et 50 °C le milieu de culture. Ensuite, répartir dans chacune des boîtes de pétri de 25 mL suivi d'homogénéisation. Le tout est laissé à la solidification pour un temps d'incubation des boîtes de pétri de 18 à 24 heures sous une température de 37 °C. Enfin, le dénombrement des colonies est effectué.

3. Résultats et discussion

3-1. Cartographie des puits

Dans le cadre de cette recherche, 189 puits ont été inventoriés dans la commune de Ouessè comme sources d’approvisionnement en eau dont chacun d’eux est exploité pour la consommation dans au moins deux (02) ménages (*Figure 2*).

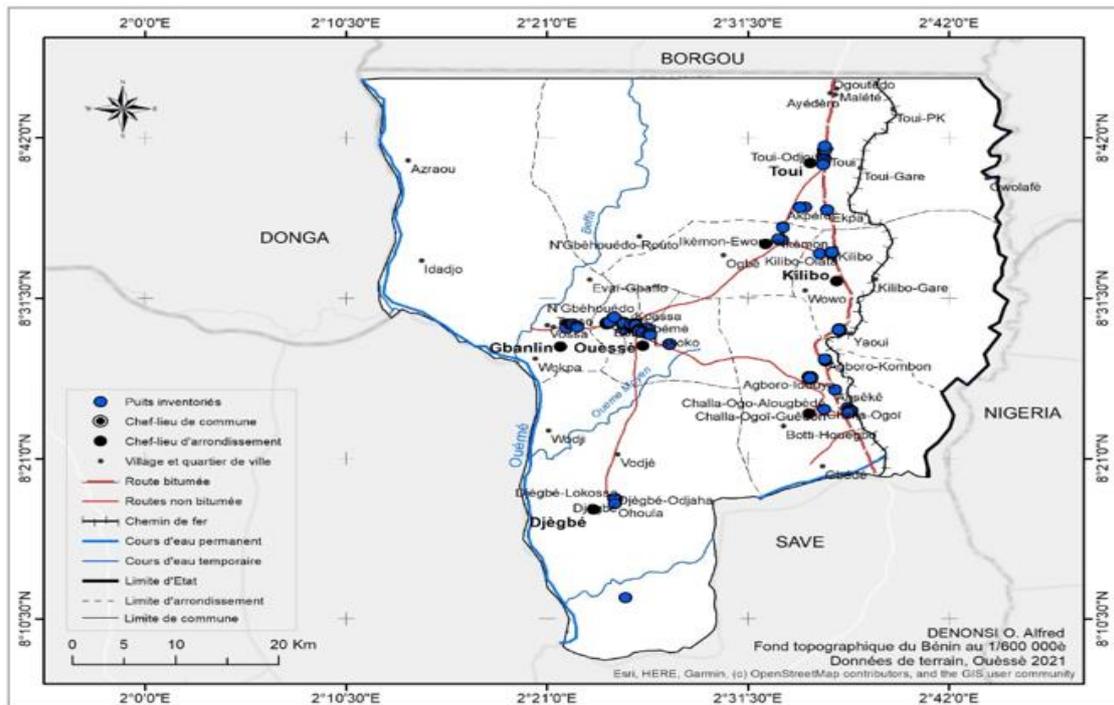


Figure 2 : Cartographie des puits répertoriés dans la zone d’étude

3-2. Mode de gestion des puisettes

L’enquête de terrain, a permis d’identifier les différents types de puisettes qui servent à puiser l’eau du puits et leur mode de gestion (*Figure 3*). La *Figure 3 A et B*, montrent des puisettes déposées sur les couvertures des puits et la *Figure 3 C* montre quant à elle, l’une des puisettes déposées par terre dans la zone d’étude.

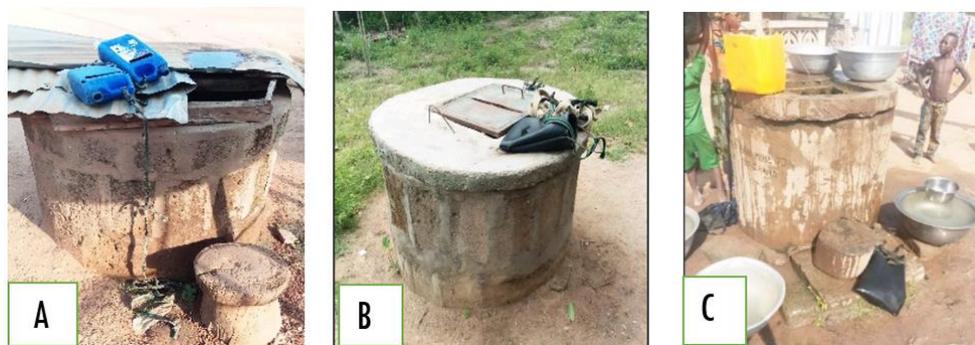


Figure 3 : Puisettes sur des margelles (A et B) et puisette laissée par terre (C)

Prise de vue : A.O. DENONSI, juin 2021

Lors de l'enquête de terrain, 76 puisettes sont retrouvées par terre (**Figure 3 C**) et 127 puisettes sont laissées sur les margelles (**Figure 3 A et B**) après puisage. D'après le résultat de l'enquête, plus de la moitié des enquêtés (soit 78 %) utilisent leur propre puisette pour puiser l'eau du puits. En effet, la mauvaise gestion des puisettes et l'usage des puisettes individuelles mal entretenues par certains usagers du puits favorisent la pollution des eaux par des germes microbiens. Cette mauvaise pratique de prélèvement de l'eau dans les puits [13] justifierait le résultat de l'analyse bactériologique obtenu dans le contexte de cette étude qui a révélé un fort taux de pollution par les *Escherichia-coli* et les coliformes totaux au niveau des puits. Parmi les 276 puisettes enregistrées, 46 % sont laissées sur la margelle et 26 % sont laissées par terre. Les études de [3, 21] à Abomey-Calavi et Pobè au Bénin, ont montré que la pollution des eaux de puits dépend en grande partie de la mauvaise gestion des puits par les usagers.

3-3. Caractéristiques des puits et leurs aspects environnementaux

L'hygiène des alentours du puits et son entretien contribuent à la protection de son eau contre certains types de pollutions et lutte contre la prolifération des moustiques. Toutefois, les paramètres tels que : état des parois et des couvercles de puits, hauteur de la margelle et profondeur des puits ont été mis en étude. De cette étude, 80 % des puits ont une profondeur comprise entre 3 à 10 mètres et 57 % des puits inventoriés sont sans couverture. Il est à noter en ce qui concerne la distanciation entre puits et W-C., que 38 puits sont situés entre 5 et 10 mètres des W-C., puis 31 puits sont situés entre 10 et 15 mètres et 120 puits sont retrouvés à plus de 15 mètres des fosses septiques et ou d'aisances. En effet, il est à noter que 18 % des puits sont sans margelles et plus de 19 % ont de margelle dont la hauteur est comprise entre 00 à 0,25 mètres. Ces puits sans margelle et dont les margelles sont de faible hauteur sont exposés aux eaux de ruissellement qui provoqueraient éventuellement leur pollution. Les puits du milieu d'étude sont majoritairement mal structurés et mal entretenus par leurs usagers. Ces résultats obtenus à l'issue des recherches, sont similaires à ceux trouvés par [22] à Parakou.

3-4. Raisons liées à la consommation de l'eau de puits

Dans la zone d'étude, les eaux de puits sont plus utilisées par les enquêtés pendant la saison sèche et pendant la poche de sécheresse. Les trois raisons liées à la consommation de l'eau de puits dans le milieu d'étude sont présentées par la **Figure 4**.

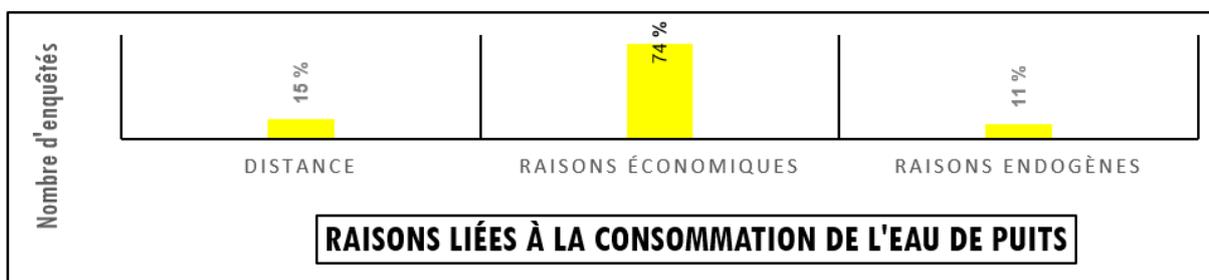


Figure 4 : Raisons liées à la consommation de l'eau de puits

De cette **Figure 4**, il est à retenir que la consommation de l'eau de puits par les ménages ciblés dépend de certains facteurs tels que le facteur endogène, le facteur géographique et le facteur économique. En effet, 11 %, 15 % et 74 % ont évoqué respectivement des raisons endogènes, de distanciation (entre sources d'eau potables et ménages) et économiques qui les contraignent à consommer l'eau de puits. Or, la consommation des eaux de puits de qualité douteuse expose les consommateurs à des maladies hydriques qui affectent la

santé et par ricochet freinent le développement économique, social et politique des victimes et de leur groupe d'appartenance. Ce présent résultat est en partie similaire à celui de [23] où la majorité de la population utilisent l'eau de puits pour des raisons économiques.

3-5. Maladies d'origines hydriques enregistrées

Parmi les maladies hydriques enregistrées, certaines telles que la diarrhée (76 %), le choléra (70 %) et la fièvre typhoïde (25 %) sont dues à la consommation d'eau de mauvaise qualité provenant du puits ou de la nourriture contaminée par des déchets d'origine animale ou humaine. Des études similaires réalisées par [21, 24] ont révélé également la recrudescence de plusieurs cas de maladies hydriques dans leurs zones d'étude.

3-6. Analyses physiques, chimiques et bactériologiques des eaux de puits

Dans le cadre de cette recherche, certaines variables physiques, chimiques et bactériologiques ont été mises en évidence pour déterminer la qualité de l'eau de puits consommée dans les ménages ciblés à cet effet dans la commune de Ouessè. Les positions géographiques des puits dont les eaux ont été prélevées et analysées sont présentées par la *Figure 5*.

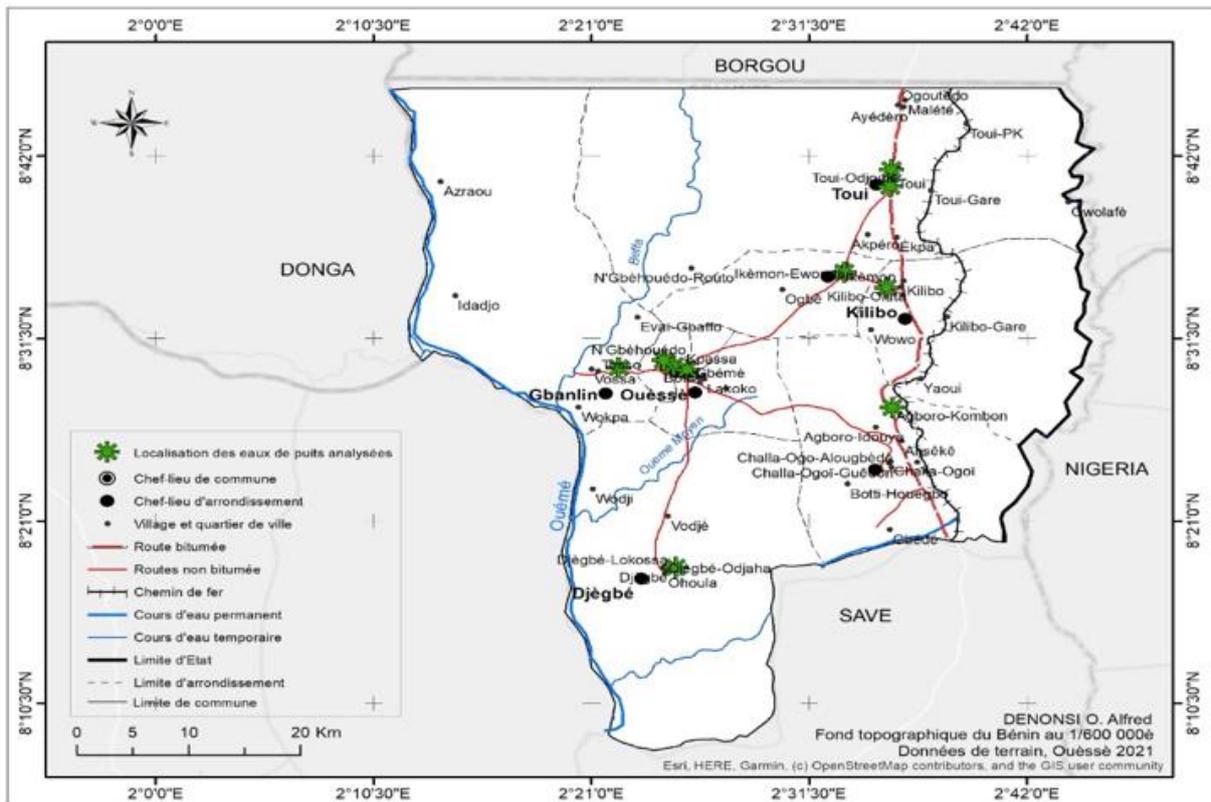


Figure 5 : Cartographie des points d'eaux de puits analysées

3-6-1. Cas de l'analyse physique

Plusieurs variables physiques telles que la couleur, la turbidité, la dureté totale, la conductivité électrique, la température, le potentiel d'hydrogène et l'alcalinité ont été mises en étude pour l'analyse de la qualité physique de dix (10) échantillons d'eau de puits consommés dans la zone d'étude.

3-6-1-1. Couleur, turbidité et dureté totale

La turbidité désigne la teneur de l'eau en particules suspendues qui la troublent. Une forte turbidité peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte [25]. Les valeurs des variables physiques (couleur, turbidité et dureté totale) obtenues à l'issue de l'analyse sont présentées par la **Figure 6**.

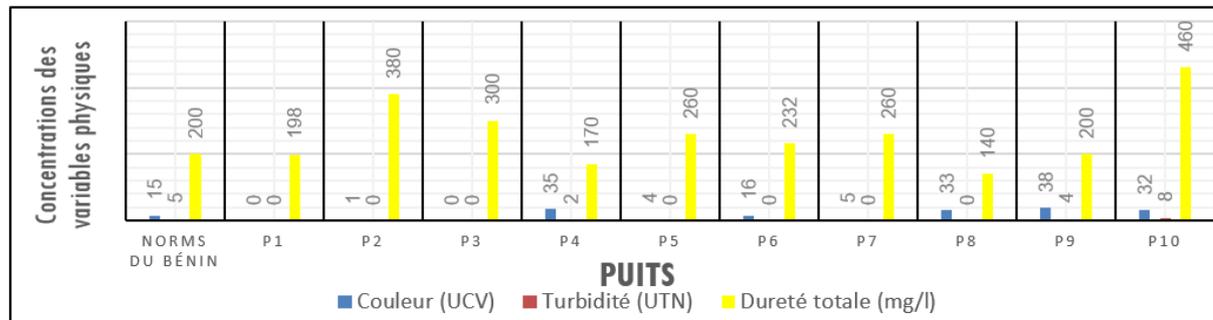


Figure 6 : Valeurs de la couleur, de la turbidité et de la dureté totale de l'eau de puits

Les valeurs de la couleur au niveau des puits varient de 00 UCV (P₁ et P₃) à 38 UCV (P₉). En effet, 5/10 des échantillons d'eau ont des valeurs supérieures à celle du Bénin (15 UCV). Ces eaux ont un caractère organoleptique très élevé et sont inadmissibles pour la consommation humaine. S'agissant de la turbidité, il est à noter que la seule forte valeur obtenue est 8 UTN (P₁₀), une valeur supérieure à celle fixée par le Bénin qui est 5 UTN [31]. La forte turbidité dans le puits (P₁₀) aurait pour origine une intrusion massive de matières organiques. Il ressort que ce puits turbide expose par conséquent ses consommateurs à la gastro-intestinale car les particules en suspension dans cette eau permettent la fixation des micro-organismes. Ce résultat est dans le même ordre que celui de [23] obtenu dans la commune rurale d'Antanifosty (Madagascar) où seulement 16,67 % de l'échantillonnage ont des valeurs supérieures à la norme de l'OMS (5 UTN). Les valeurs de la dureté totale obtenues oscillent entre 170 mg/L (P₄) et 460 mg/L (P₁₀). Au niveau de cette variable, six (6) eaux de puits soit 6/10 ont des valeurs dépassant la norme de 200 mg/L. En effet, 1/10, 7/10 et 2/10 ont respectivement une qualité légèrement dure, dure et très dure. Ce constat est contraire à celui fait par [26] à Pobè (Bénin). Il est à noter qu'aucune des eaux mise en étude ne présente la qualité douce qui est recommandée pour les eaux de consommation humaine par le Bénin.

3-6-1-2. Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et température ($T^{\circ}\text{C}$)

La conductivité d'une eau indique son aptitude à conduire le courant, qui dépend de la teneur de l'eau en sels minéraux [27]. Quant à la température, elle constitue un facteur important dans l'environnement aquatique. Elle conditionne la vie des organismes animaux et végétaux aquatiques comme les algues [28]. La **Figure 7** présente le résultat de l'analyse physique réalisée sur les variables physiques à savoir la conductivité électrique et la température des eaux de puits en étude.

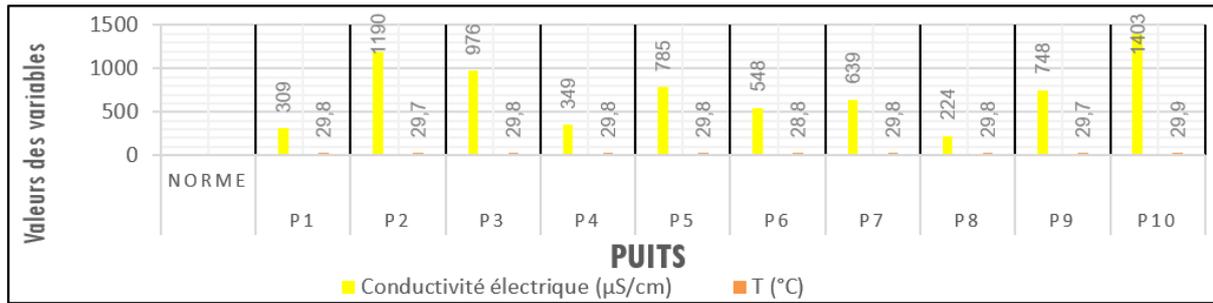


Figure 7 : Valeurs de la conductivité électrique et de la température de l'eau de puits

Les valeurs de la conductivité électrique obtenues lors de cette étude varient de 224 µS/cm (P₈) à 1403 µS/cm (P₁₀). Ces eaux en étude sont minérales. Ces valeurs obtenues sont également dans le même sens que celles de [2] obtenues à Dassa-Zoumè (Bénin). Par contre, ce même résultat est contraire à celui de [2] obtenu à Cotonou sur les eaux de puits (Bénin). Les valeurs obtenues des températures des eaux en étude oscillent entre 28,7 °C (P₆) et 29,9 °C (P₁₀). Cette condition thermique est très favorable pour la prolifération des germes microbiens recherchés qui a pour conséquences le développement des maladies hydriques. Ce constat est justifié par l'enregistrement de forte présence des germes recherchés dans les eaux de puits mises en étude. En effet, ce résultat est contraire à celui obtenu par [23] dans la commune rurale d'Antanifosty (Madagascar). En définitive, la conductivité est fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente [25].

3-6-1-3. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre de contrôle de la qualité de l'eau vu son influence sur les relations d'équilibres physico-chimiques entre les gaz dissous, les ions carbonates et bicarbonates [29] et détermine la concentration en ions H⁺ de l'eau. La Figure 8 présente le résultat du potentiel d'Hydrogène obtenu des échantillons.

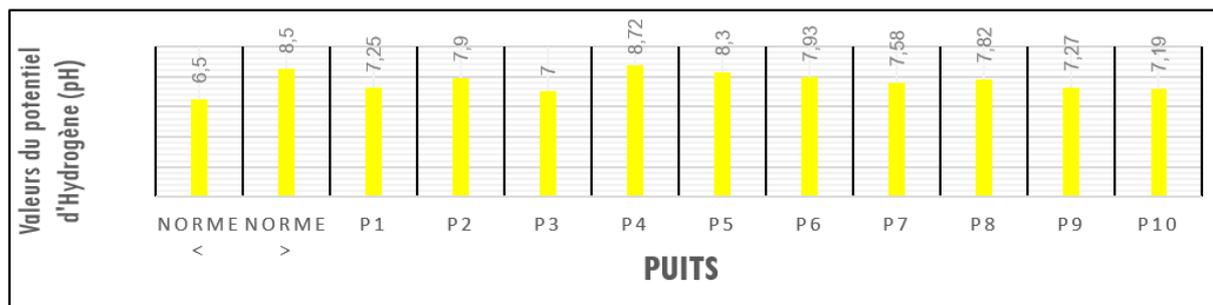


Figure 8 : Valeurs du potentiel d'Hydrogène (pH) des eaux de puits

Les valeurs du pH obtenues varient de 7 (P₃) à 8,72 (P₄). En effet, seul le puits P₄ a présenté une valeur supérieure à la valeur maximale fixée à 8,5 par le Bénin. En effet, 9/10 des eaux de puits sont dans la tranche de 6,5 à 8,5 fixée par le Bénin. Les eaux de puits du milieu d'étude sont alcalines car aucune des valeurs obtenues n'est inférieure à 7. Les consommateurs de ces eaux sont épargnés de l'ostéoporose qui est une maladie causée par une alimentation très acidifiante. Toutefois, pour des valeurs inférieures à 6,5 l'eau est corrosive et au-delà de 8,5 il y a un risque d'entartrage. Les résultats de mesure de pH des puits de la présente étude sont contraires à ceux des travaux de recherche de la littérature [30].

3-6-1-4. Alcalinité

L'eau alcaline permet de réduire les taux sanguins de cholestérol, de glucose et de triglycéride, tout en améliorant le fonctionnement métabolique. Les concentrations des eaux de puits en alcalinité est présentée par la **Figure 9**.

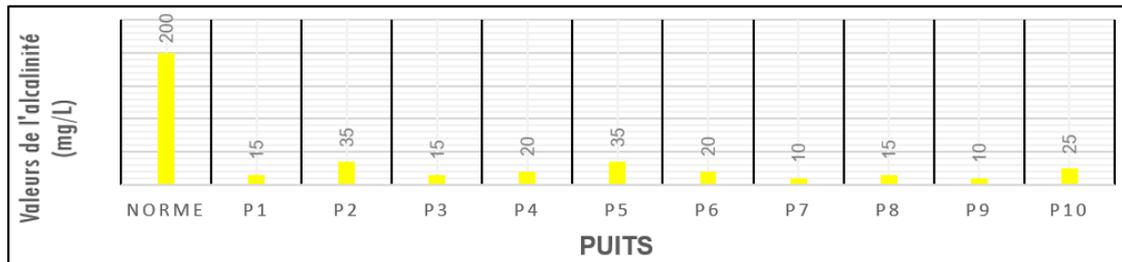


Figure 9 : Concentrations des eaux de puits en alcalinité

Les valeurs en alcalinité enregistrées varient de 10 mg/L (P₇ et P₉) à 35 mg/L (P₂ et P₅). Toutefois, ces valeurs obtenues sont considérablement inférieures à la valeur seuil admise par le Bénin qui est 200 mg/L. Mais tel n'est pas le cas au niveau des puits du secteur d'étude. Il est alors nécessaire que ces eaux de puits soient alcalinisées avant toute consommation humaine. Les valeurs de l'alcalinité obtenues sont toutes inférieures à la norme fixée à 200 mg/L par le Bénin. Ce résultat est semblable à celui de [22] enregistré à Parakou où toutes les eaux analysées ont présenté des valeurs inférieures à la norme du Bénin.

3-6-2. Cas de l'analyse chimique

Dans le cadre de déterminer la qualité chimique des eaux de puits consommées dans le milieu d'étude, huit variables chimiques telles que le calcium, le magnésium, le chlorure, le nitrite, l'ammonium, le fluorure, le bicarbonate et le nitrate ont été mises en évidence.

3-6-2-1. Calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et chlorure (Cl)

Les ions calciums qui contribuent à la formation des dents et à la coagulation sanguine peuvent provoquer des douleurs musculaires et des fourmillements en cas de son insuffisance dans l'organisme. Quant aux ions magnésiums, ils jouent un rôle essentiel dans le système nerveux central. La **Figure 10** présente les concentrations en mg/L des variables chimiques (calcium ; magnésium et chlorure).

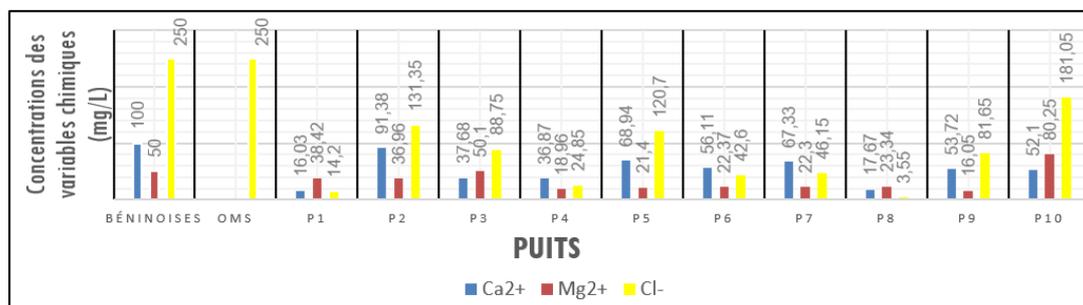


Figure 10 : Concentrations en ions calciums, magnésiums et chlorures de l'eau de puits

Les teneurs des ions calciums, magnésiums et chlorures dans ces eaux de puits varient respectivement de 16,03 mg/L (P₁) à 91,38 mg/L (P₂); de 16,05 mg/L (P₉) à 80,25 mg/L (P₁₀) et de 3,55 mg/L (P₈) à 181,05 mg/L (P₁₀). Les concentrations des eaux en ions calciums obtenues sont inférieures à la norme 100 mg/L fixée par

le Bénin. En définitive, seules les eaux de ces puits ne peuvent combler les attentes des consommateurs en ions calciums. Les faibles valeurs en ions calciums obtenues sont dans le même ordre que celles de [2] à Dassa-Zoumè (Bénin) où les concentrations en ions calciums de l'eau de consommation varient de 57,31 mg/L à 60,120 mg/L et celles de [22] à Parakou (Bénin). Les valeurs en ions magnésiums de 8/10 des eaux de puits sont inférieures à la norme préconisée par le Bénin et l'OMS qui est 50 mg/L. En effet, ces eaux de puits présentant une très faible teneur en ions magnésiums par endroits à l'instar de [26] à Pobè (Bénin) et celui de [22] à Parakou (Bénin), exposent ses consommateurs à la déshydratation, aux crampes musculaires et de même à la détérioration de la fonction rénale. Les différentes valeurs enregistrées de l'analyse des eaux de puits en étude sur l'ion chlorure corrobore le résultat de [22].

3-6-2-2. Nitrite (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+) et Fluorure (F^-)

La **Figure 11** présente les résultats issus de l'analyse chimique des variables telles que les ions nitrites, ammoniums et chlorures.

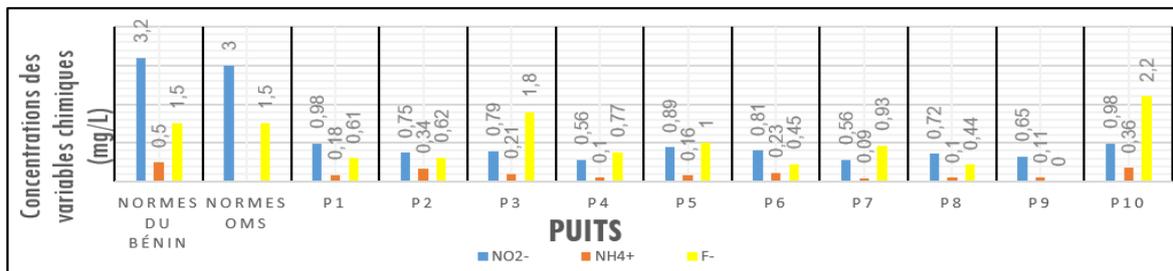


Figure 11 : Concentrations en ions nitrites, ammoniums et fluorures des eaux de puits

Les concentrations des ions nitrites enregistrées, varient de 0,56 mg/L (P_4 et P_7) à 0,98 mg/L (P_1 et P_{10}). Toutes les eaux de puits en étude ont présenté des valeurs inférieures aux normes du Bénin (3,2 mg/L) et de l'OMS (3 mg/L) [26, 30]. En effet, tous les échantillons ont une concentration en ions nitrites tolérables au regard des normes béninoises et de l'OMS. Quant aux ions ammoniums, les concentrations obtenues varient de 0,1 mg/L (P_4 et P_8) à 0,36 mg/L (P_{10}). Toutes les valeurs en ions ammoniums obtenues sont inférieures à 0,5 mg/L contrairement aux différentes valeurs obtenues par [22, 30]. Les teneurs en ions fluorures enregistrées oscillent de 00 mg/L (P_9) à 2,2 mg/L (P_{10}). Ces valeurs en ions fluorures sont en grande partie inférieures à la norme 1,5 mg/L fixée par le Bénin. Par contre, les puits (P_3 et P_{10}) ont présenté des valeurs qui sont supérieures à cette norme. Les consommateurs de ces eaux de puits sont exposés à la fluorose dentaire qui est une maladie causée par la consommation excessive de chlorure. Cette maladie est observée lors de l'enquête de terrain dans les localités de Gbanlin et de Djègbè où se trouvent les puits (P_3 et P_{10}).

3-6-2-3. Bicarbonate (HCO_3^-) et Nitrate (NO_3^-)

Les résultats des variables chimiques (bicarbonates et nitrates) sont présentés par la **Figure 12**.

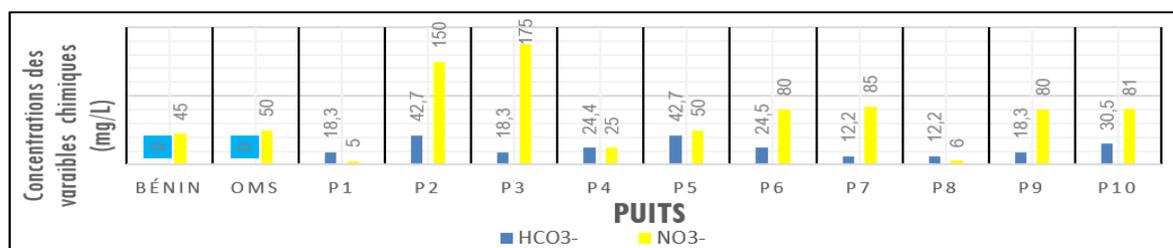


Figure 12 : Concentrations des eaux de puits en ions bicarbonates et nitrates

Les concentrations en mg/L des ions bicarbonates oscillent de 12,2 mg/L (P₇ et ₈) à 42,7 mg/L (P₂ et ₅). Ce résultat va dans le même ordre que les valeurs obtenues par [26] à l'issue de l'analyse des eaux de puits sur les ions bicarbonates qui vont de 13,72 mg/L à 83,87 mg/L. Les teneurs en ions nitrates obtenues varient de 5 mg/L (P₁) à 175 mg/L (P₃). Toutefois, 7/10 des eaux en étude ont des valeurs inacceptables au regard de la norme (45 mg/L) du Bénin [30]. En effet, chez les enfants, la consommation des eaux polluées par le nitrate peut provoquer le syndrome du bébé bleu ou de la méthémoglobinémie qui inhibent le transport de l'oxygène vers les différents tissus du corps. Chez l'adulte, les nitrates sont transformés en nitrites au niveau de la bouche, ensuite en nitrosamines et autres composés nitrosés au niveau de l'estomac [32]. Cette pollution chimique de l'eau de puits est aussi observée par [26] où 43 % des eaux de puits ont présenté des valeurs qui ont dépassé largement la norme (45 mg/L) fixée par le Bénin.

3-6-3. Cas de l'analyse bactériologique

Les variables bactériologiques telles que l'*Escherichia-coli* et les coliformes totaux sont mises en étude pour la détermination de la qualité bactériologique des eaux de puits de la commune de Ouessè qui est la zone d'étude.

3-6-3-1. *Escherichia-coli* et coliformes totaux

Les germes *Escherichia-coli* représente l'espèce majoritaire des coliformes thermotolérants qui constitue un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C [33]. Le résultat de l'analyse bactériologique des eaux de puits du milieu d'étude est présenté par la **Figure 13**.

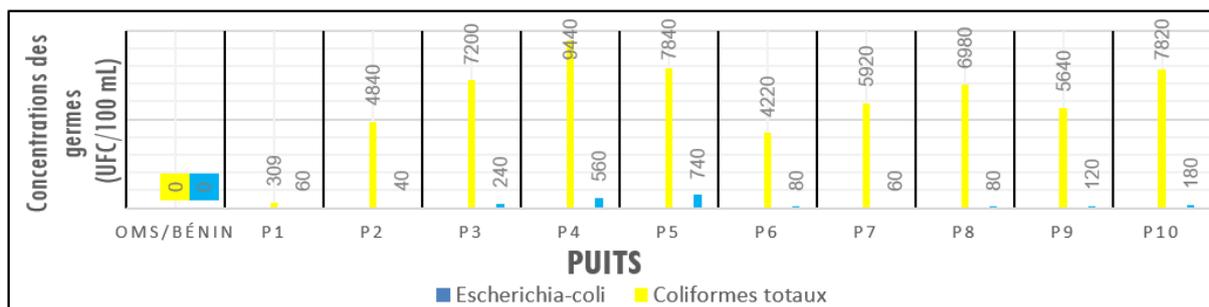


Figure 13 : Concentrations des eaux de puits en *Escherichia-coli* et coliformes totaux

Les résultats d'analyses bactériologiques des échantillons d'eau montrent des valeurs en *Escherichia-coli* qui varient de 40 UFC/100 mL (P₂) à 740 UFC/100 mL (P₅). Quant aux concentrations des coliformes totaux, elles oscillent entre 309 UFC/100 mL (P₁) à 9440 UFC/100 mL (P₄). Or, 0 UFC/100 mL est la norme préconisée par le Bénin et l'OMS pour les germes microbiens mis en évidence. En définitive, toutes les eaux de puits en étude sont hors norme [34]. Ces germes microbiens d'origine fécale ont pour conséquent le développement des maladies hydriques. En prélude des analyses bactériologiques, les résultats d'enquête ont révélé une recrudescence des maladies hydriques. En effet, parmi les personnes enquêtées, d'autres ont déclaré avoir contracté au moins l'une des maladies hydriques telles que la diarrhée (76 %), le choléra (70 %) et la fièvre typhoïde (25 %). Cette recrudescence de maladies hydriques enregistrées dans cette recherche a été également enregistrée par [24] ainsi que le fort taux de pollution bactériologique enregistré lors de cette étude. Cette forte pollution microbienne des eaux de puits est la même que celle de [35].

4. Conclusion

La présente étude sur les qualités physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau de puits dans la commune de Ouessè a permis de répertorier les puits servant à l'approvisionnement en eau de consommation dans les ménages. Il est aussi observé un nombre de facteurs qui a influencé la qualité de l'eau de puits de la zone d'étude. Il s'agit de la mauvaise gestion des puits et puisettes, le mauvais état structurel des puits et de leurs alentours immédiats ainsi que le non-respect par endroits de la distanciation de 15 mètres entre puits et fosses septiques recommandée par l'OMS. Les eaux de puits analysées ont un caractère organoleptique élevé, des particules en suspension qui ne facilitent pas le traitement de l'eau et sont à plus de 50 % dures pour la consommation. Les différentes variables chimiques mises en étude ont montré que les eaux des puits (P₃ et P₁₀) sont polluées par les ions magnésiums et fluorures et (P₂; P₃; P₅; P₆; P₇; P₉ et P₁₀) par les ions nitrates. Par contre, les valeurs en ions calciums, chlorures, nitrites, ammoniums et bicarbonates sont inférieures aux normes de l'OMS et du Bénin. Bactériologiquement, les eaux sont polluées par les *Escherichia-coli* et les coliformes totaux. Ces eaux de puits du milieu d'étude doivent subir un traitement avant toute consommation.

Références

- [1] - F. DENIER-PASQUIER, "La gestion et l'usage de l'eau en agriculture. Conseil économique, social et environnemental". *Les éditions des JOURNAUX OFFICIELS*, NOR : CESL100011X, (2013) 90 p.
- [2] - V. GBOHAIDA, P. C. D. AGBANGNAN, B. M. NGOSSANGA, E.S. MEDOATINSA, C. F. DOVONON, V. D. WOTTO, F. AVLESSI et D. K. C. SOHOUNHLOUE, Etude de la qualité physico-chimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin : Cotonou et Dassa-Zoumè. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (1) ISSN 1997-342X (Online), (2016) 422 - 434
- [3] - A. N. NGOUH, A. KPOUMIE, G. N. ETAME, A. K. LEBGA, E. NDJENG et J. R. N. NGOUPAYOU, *European Scientific Journal*, Vol. 16, N°15 (May 2020) ISSN : 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857 - 7431
- [4] - UNESCO, "Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau ", (2018) 156 p.
- [5] - D. F. AKÉ-AWOMON, M. COULIBALY, G. M. NIAMKE and D. S. SANTOS, *Revue Espace Territoires Sociétés et Santé*, (2018) 91 - 108
- [6] - F. N. N'GUESSAN, G. R. Y. KOFFI, K. KOUASSI and J. P. ASSI-KAUDJHIS, *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, (2018) 201 - 214
- [7] - INSAE, "Quatrième recensement général de la population et de l'habitation, Principaux indicateurs sociodémographiques, Direction des études démographiques", Cotonou, (2013) 12 p. <http://www.insae.bj>
- [8] - R. VILAGINES, "Eau, environnement et santé publique", 3^e Edition, Lavoisier (Éditeur), Paris, (2010) 128 p.
- [9] - R. P. N. ANANGA, G. A. AJEAGAH, Z. A. ELNAGA et P. NGASSAM, *European Scientific Journal*, Vol. 16, N°3 (2020) ISSN : 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857
- [10] - RT, "Etude pilote sur la pollution des eaux de surface et souterraines et son impact sur la santé des populations riveraines". Cameroun, Yaoundé, (2013) 277 p.
- [11] - N. C. KELOME, M. CAGASSOUNON DJIKPO TCHIBOZO, L. AYI FANOU, J. VIHOTOGBE et D. MAMA, Etude des caractéristiques physico-chimique et bactériologique des eaux de quelques puits à grand diamètre : communes de Parakou et Tchaourou au Bénin, *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 6, 2 (2012) 210 - 226
- [12] - M. L. BELGHITI, A. CHAHLAQUI, D. BENGOUNI et R. EL MOUSTAINE, Etude 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, 6 (2013) 21 - 36
- [13] - OMS, "Surveillance de la qualité de l'eau de boisson". Genève, 1977 (2014) 143 p.

- [14] - C. MILLOGO, "Caractérisation hydrologique et hydrogéologique du bassin versant du lac Bam au Centre Nord du Burkina Faso (Afrique de l'ouest) : perspectives d'amélioration des techniques d'implantation de forages d'eau en terrains cristallins", Thèse de doctorat unique, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso, (2019) 307 p.
- [15] - Q. ZHENG, T. MA, Y. WANG, Y. YAN, L. LIU et L. LIU, *Procedia Earth and Planetary Science*, 17 (2017) 368 - 371, doi: 10.1016/j.proeps.2016.12.093
- [16] - WHO, "Guidelines for drinking water quality, 4th ed.", Ed. WHO, Geneva, (2011)
- [17] - F. O. HOUETO, J. V. MAMA, A. CHABI, S. CHABI-ADIMI et T. F. DOVONOU, Analyse des occurrences des feux de végétation dans la commune de Ouessè. *OSFACO 2019*, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin, (2019) 1 - 20
- [18] - C. F.M. M. DOHOU, G. H. A. AKUESON, J. Y. A. AKOSSOU, L'alimentation en eau potable (AEP) dans la gestion déléguée des ouvrages hydrauliques. *LACEEDE*, N°33 (2022) 42 - 54
- [19] - J. V. MAMA, J. OLOUKOI, C. F. BIAOU, R. TETE, Dynamiques sociale et spatio-temporelle résultat de la colonisation agricole dans la commune de Ouessè au centre du Bénin. *J. Rech Sci.Univ. Lomé*, (Togo) 19 (13) (2017) 219 - 235
- [20] - INSAE, "Cahier des villages et quartiers de ville du département des collines", (2016) 28 p.
- [21] - E. W. VISSIN, S. S. H. AIMADE, L. D. DOUGNON, M. SOUHOUNOU, E. Y. ATIYE, G. A. A. ATCHADE, Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'Ouest). *J. Appl. Biosci*, ISSN 1997-5902, N°106 (2016) 10300 - 10308
- [22] - J. B. K. VODOUNOU, A. O. DENONSI, Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits dans la ville de Parakou, Centre-Bénin. *Afrique SCIENCE*, 14 (3) (2018) 336 - 352
- [23] - C. HERIARIVONY, B. RAZAMPARANY, J. E. RAKOTOMALALA, Caractères physiques chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la commune rurale d'Antanifosty, région Vakinankaratra, Madagascar. *Larhyss Journal*, 24 (2015) 7 - 17
- [24] - P. F. NGUEMA, B. EFON, C. DEFO, Z. M. MOUNIR et E. K. OUM, Impacts des pratiques d'hygiène et d'assainissement sur les eaux de surface et souterraines dans la ville de Yaoundé, Cameroun, *Afrique SCIENCE*, 19 (2) (2021) 68 - 80, <http://www.afriquescience.net>
- [25] - D. GHAZALI et A. ZAID, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N° 12 (Janvier 2013) 25 - 36
- [26] - M. LAGNIKA, M. IBIKOUNLE, J-P. C. MONTCHO, V. D. WOTTO et N. G. SAKITI, Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'Ouest). *J. App. Biosci*, 79 (2014) 6887 - 6897
- [27] - F. DIMON, F. DOVONOU, N. ADJAHOSSOU, W. CHOUTI, D. MAMA, A. ALASSANE et M. Boukari, *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 037 (2014) 36 - 42
- [28] - L. AKATUMBILA, M. MABIALA, A. LUBINI, K. PWEMA et E. A. MUSIBONO, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°26 (2016) 7 - 29 p.
- [29] - A. AKIL, T. HASSAN, E. H. FATIMA, B. LAHCEN and L. ABDERRAHIM, *European Scientific Journal*, 10 (23) (2014) 84 - 94
- [30] - A. L. C. MANGOUA-ALLALI, N. A. C. KOUAME et L. COULIBALY, Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot de la ville de Bocanda, Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE*, 19 (3) (2021) 16 - 27, <http://www.afriquescience.net>
- [31] - E. W. VISSIN, H. S. S. AIMADE, L. D. DOUGNON, M. SOHOUNOU, E. Y. ATIYE et G. A. A. ATCHADE, Qualités de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'Ouest), *J. Appl. Biosci*, 106 (2016) 10300 - 10308
- [32] - T. A. BARHÉ and F. BOUAK, *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (5) (2013) 605 - 612

- [33] - IFREMER, “Etude de la contamination microbiologique du milieu littoral : identification des sources de contamination fécale et évaluation de la persistance des bactéries entériques dans l’environnement”, Rapport d’activités de recherches En vue de l’obtention du Diplôme habilitation à diriger des recherches. Présenté par Michèle Gourmelon, (2014) 113 p.
- [34] - T. A. EBANDA OBOUGOU, F. Y. ATEBA, D. NDONGO MINDONGO, M. DJAMILA, J. G. NZIELEU TCHAPGNOUO et A. OMBOLO, Physico-chimie et bactériologie des eaux du Lac Municipal d’Ebolowa (LME) et risques pour la santé humaine et environnementale, *Afrique SCIENCE*, 21 (3) (2022) 76 - 88, <http://www.afriquescience.net>
- [35] - K. SONCY, B. DJERI, K. ANANI, M. EKLOU-LAWSON, Y. ADJRAH, D. S. KAROU, Y. AMEYAPOH et C. de SOUZA, Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo. *Journal of Applied Biosciences*, 91, ISSN 1997-5902, (2015) 8464 - 8469