

Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot de la ville de Bocanda, Côte d'Ivoire

Amenan Lydie Clarisse MANGOUA-ALLALI^{1*}, N'da Adjo Chantal KOUAME¹
et Lacina COULIBALY^{1,2}

¹ Université Nangui Abrogoua, Laboratoire Environnement et Biologie Aquatique, Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Gestion de l'Environnement, 02 BP 802 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

² Université de Man, Département de Géologie et Matériaux, B.P.V 40 Man, Côte d'Ivoire

(Reçu le 15 Mai 2021 ; Accepté le 26 Juillet 2021)

* Correspondance, courriel : amelydi@yahoo.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif de connaître la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot de la ville de Bocanda en Côte d'Ivoire. Une observation directe et des analyses sont effectuées. L'observation directe consiste à faire l'état des lieux des ressources en eau et à choisir pour les analyses sept puits selon des critères définis et le marigot. Le pH, la conductivité, la turbidité, les matières en suspension, l'ammonium, le nitrite, le nitrate et les *Escherichia coli* sont déterminés selon les normes standards. Une cartographie des sources d'eau et fosses septiques est réalisée. Les résultats montrent que 12 puits sur 62 répertoriés, respectent la distance par rapport aux fosses septiques (supérieur à 15 m) de l'OMS. Seuls les pH de P2, P4 et P7 ne sont pas conformes à la norme (6,5-8,5) de l'OMS. Les eaux de P2 (62,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du marigot (157,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont faiblement minéralisées alors que celles de P1, P3, P4, P5, P6 et P7 sont fortement minéralisées. Tous les échantillons sont pollués en MES et *E. coli*. Par contre quatre sources (P2, P3, P6 et le marigot) subissent une pollution en ammonium et trois sources (P3, P4 et P7) en nitrate. En somme, les eaux des puits et du marigot présentent des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques non conformes aux normes OMS.

Mots-clés : *eaux de puits, marigot, Bocanda, paramètres physico-chimiques, E. coli.*

Abstract

Evaluation of the physical, chemical and bacteriological quality of Bocanda's well water and marigot, Côte d'Ivoire

The aim of this study is to know the physical, chemical and bacteriological quality of well water and marigot of the town of Bocanda in Côte d'Ivoire. For this purpose, observation method and analyses are carried out. The observation method consists in making an inventory of the water resources. Then, the water sources and septic tanks are mapped. The observation method also permits to choose the marigot and seven wells (P1, P2, P3, P4, P5, P6 and P7) according to well-defined criteria. The parameters analyzed are pH, conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS), ammonium, nitrite, nitrate and *Escherichia coli*. Analysis is performed according to standard methods. The results show that 12 wells out of 62 listed, respect the distance to septic

tanks (greater than 15 m) of the WHO. Only the pH of wells P2, P4 and P7 do not meet the WHO standard (6.5-8.5). The water from well P2 (62.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and the marigot (157.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$) are weakly mineralized while those from P1, P3, P4, P5, P6 and P7 are highly mineralized. All the sampled water sources are polluted by TSS and *E. coli*. On the other hand, four water sources (P2, P3, P6 and the marigot) are polluted by ammonium and three water sources (P3, P4 and P7) by nitrate. In sum, the physical, chemical and bacteriological characteristics of the water from the wells and the marigot do not meet WHO standards.

Keywords : *well water, marigot, Bocanda, physico-chemical parameters, E. coli.*

1. Introduction

L'eau est au cœur de multiples activités (agriculture, pêche, industrie, énergie, construction d'infrastructures, assainissement, etc.) [1]. Par ailleurs, elle a plusieurs usages (boisson, vaisselle, lessive, hygiène corporelle, etc.) indispensables au bien être des hommes. Par conséquent, l'Organisation des Nations Unies (ONU) préconise un accès de tous à l'eau et à l'assainissement et une gestion durable de ladite ressource [2]. Pour atteindre cette gestion durable, le cadre de Sendai prône de réduire nettement, la perturbation des services de base dont la fourniture de l'eau et les dommages causés par les catastrophes aux infrastructures essentielles [3]. En Côte d'Ivoire, les ressources en eau constituent un sujet d'intérêt pour diverses entités dont les chercheurs et le gouvernement. Au niveau des chercheurs, on pourrait citer entre autres, leurs travaux sur l'évaluation des dites ressources. Ces travaux ont été réalisées dans différentes zones. Il s'agit de régions, par exemple celle du Poro [4], de villes urbanisées à forte densité de population, telles que Yamoussoukro [5] et Korhogo [6], de villages, tels que Kouèpleu, Trogueu, Méantouo, Ouyatouo, Ity, Krozialé, Floleu et Biétouo [7]. Ces recherches ont permis de disposer d'amples informations sur la qualité et les types de ressources en eau des populations. Relativement au gouvernement, celui-ci s'est aligné sur les objectifs de l'ONU par la mise en place de programmes d'adduction en eau potable pour tous. Ainsi en 2018, les taux de couverture en hydraulique urbaine, hydraulique villageoise et hydraulique villageoise améliorée sont respectivement 82 ; 74,3 et 16 % [8]. Comparativement à la ville d'Abidjan, les villes de l'intérieur ont un accès difficile à l'eau potable [8]. En effet, ces villes sont alimentées par des ressources en eau qui tarissent, surtout en saison sèche.

Et par ailleurs, les stations de traitement en eau des dites villes n'ont plus la capacité de fournir une quantité suffisante d'eau vue la forte croissance démographique. D'où des pénuries dans certaines villes ; par exemple, Daloa [9], Boundiali [10], Bouaké [11]. 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 [9 - 12]. Pourtant ces eaux subissent des pollutions domestiques, agricoles et naturelles. 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 [13]. Des cas de pollution des eaux de consommation ont été observés en Côte d'Ivoire, par exemple dans la région de Soubré précisément à Gnipi 2 et Daba Dagnogo. [14], dans le village de Kpangouin à Man [15]. La ville de Bocanda au centre de la Côte d'Ivoire est confrontée aussi aux problèmes d'accès à l'eau potable. Dans ladite ville, les pénuries dans la distribution d'eau potable du réseau public (Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire) contraignent les ménages à utiliser les eaux de puits, de pluie et du marigot. En général, ces eaux sont utilisées pour la boisson, la cuisine, la toilette, la lessive et la vaisselle sans traitement. C'est dans ce contexte que la présente étude vise à connaître la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot utilisés par la population de Bocanda. De façon spécifique, il s'agira (i) d'analyser les paramètres tels que le pH, la conductivité, la turbidité, la salinité, les matières en suspension, l'ammonium, le nitrite, le nitrate et les *Escherichia coli*, (ii) de comparer les valeurs obtenues aux normes OMS et (iii) déduire les potentiels risques auxquels sont exposés les populations utilisatrices des dites sources d'eau.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Le département de Bocanda est situé au centre de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 7°3.540' et 7°4.320' nord et les longitudes 4°29.280' et 4°30.240' ouest (*Figure 1*). Sa superficie est de 4 200 km². Les sols sont faiblement ferrallitiques sur granites et schistes [16]. Par ailleurs, la végétation est de type savane arbustive. La pluviométrie de la ville de Bocanda est très irrégulière d'une année à l'autre [16]. Le climat a deux saisons sèches et deux saisons de pluie [17]. Quant au réseau hydrographique, il est constitué du fleuve N'zi et de ses affluents. Selon le recensement général de la population et de l'habitat en 2014, la population de la ville de Bocanda est estimée à 60 183 habitants.

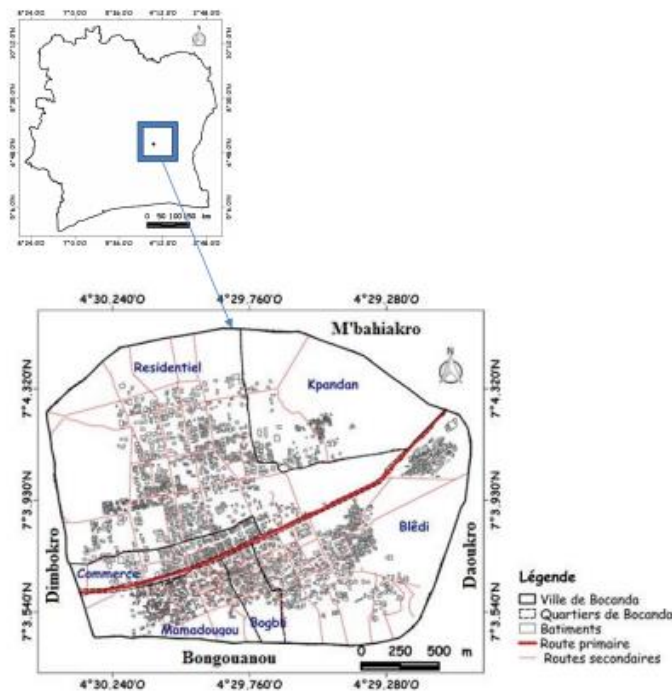


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-2. Cartographie

Un GPS de marque GARMIN ETREX 30 pour relever les coordonnées géographiques des puits, du marigot et des fosses septiques. Le logiciel QGIS 2.18 est utilisé pour positionner ces dites coordonnées.

2-3. Échantillonnage

La collecte des données s'est déroulée de septembre à octobre 2019. Elle consiste en une observation directe et une analyse des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques.

2-4. Observation directe

Il est question de faire d'abord l'état des lieux des ressources en eau. Cela consiste à répertorier les sources d'eau, leur nombre, leur distance par rapport aux sources de pollution. L'observation directe permet de choisir le marigot et sept puits pour les analyses. Les critères pris en compte pour les puits sont leur niveau

d'aménagement (couvercle sécuritaire, margelle et cuvelage), leur fréquence d'utilisation par les populations et leur proximité d'une source de pollution (au plus 15 m). Le **Tableau 1** présente les niveaux d'aménagement et coordonnées géographiques des dits puits et du marigot.

2-5. Analyse des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques

Les paramètres physiques (le pH, la conductivité, la turbidité, la salinité et les matières en suspension), chimiques (l'ammonium, le nitrite et le nitrate) et bactériologiques (*Escherichia coli*) sont déterminés. Le pH, la conductivité et la turbidité sont analysés par la méthode électrochimique à la sonde selon respectivement les normes NF T90-008, NF EN 27888 (94) et NF EN 27027 (94). L'équipement utilisé se compose d'un multiparamètre analyseur consort C 830 pour le pH, un conductimètre INOLAB 7310 pour la conductivité et un turbidimètre AL250T-IR pour la turbidité. S'agissant de la salinité, une catégorisation est effectuée à partir des valeurs de la conductivité. Concernant les matières en suspension (MES), elles sont déterminées par centrifugation à 105°C dans une étuve Néo-Tech SA suivant la norme NF T90-105-2. Les analyses de l'ammonium (NH₄⁺) par la norme NF T90-015 et du nitrite (NO₂⁻) selon la norme NF T 90-013 sont réalisées avec un spectrophotomètre DR 2010. Les méthodes respectives pour ces deux paramètres sont la spectrométrie d'absorption moléculaire au bleu d'indophénol et celle par diazotation à l'acide sulfanilique. La détermination du nitrate (NO₃⁻) est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre DR 890 selon la norme NF T90-045 et par spectrométrie d'absorption moléculaire après réduction au cadmium. L'analyse d'*Escherichia coli* est accomplie par filtration selon la Norme ISO 9308-1 : 1990. Le milieu de culture est la gélose TTC au Tergitol 7.

Tableau 1 : Niveaux d'aménagement et coordonnées géographiques des sources d'eau échantillonnées

Sources d'eau	Niveau d'aménagement	Coordonnées (X, Y)
Puits 1 (P1)	Présence de couvercle, margelle et cuvelage	(30N0334132, UTM0780634)
Puits 2 (P2)	Absence de couvercle, présence de margelle et cuvelage	(30N0335427, UTM0780430)
Puits 3 (P3)	Présence de couvercle, absence de margelle et cuvelage	(30N0334212, UTM0780548)
Puits 4 (P4)	Absence de couvercle et margelle, présence de cuvelage	(30N0334912, UTM0780731)
Puits 5 (P5)	Présence de couvercle et margelle et absence de cuvelage	(30N0334283, UTM0780646)
Puits 6 (P6)	Absence de couvercle et cuvelage, présence de margelle	(30N0334023, UTM0780582)
Puits 7 (P7)	Absence de couvercle, margelle et cuvelage	(30N0335455, UTM0781014)
Marigot (M)		(30N0335537, UTM0781148)

3. Résultats et discussion

3-1. Cartographie des sources d'eau

La **Figure 2** montre la cartographie de l'ensemble des puits (62) et le marigot répertoriés dans la zone. 50 puits sont à moins de 15 m des fosses septiques contrairement aux autres (12 puits) qui respectent les recommandations de l'OMS (supérieur à 15 m). Le non-respect de la distanciation exigée par l'OMS favoriserait une communication entre les puits et les fosses septiques [18]. Par conséquent, les lixiviats provenant des fosses septiques pourraient s'infiltrer et contaminer les puits. Les puits et le marigot sont préférentiellement repartis au sud-ouest et à l'ouest de la ville. Cette répartition s'expliquerait par des aptitudes géologiques et morphologiques, et par la profondeur de l'eau [19]. En effet, ces zones présenteraient des couches superficielles de dureté, de perméabilité, des caractéristiques topographiques (bas-fonds ou plaine), des couches d'altération de roches dures et une nappe phréatique peu profonde favorables à la réalisation de puits.

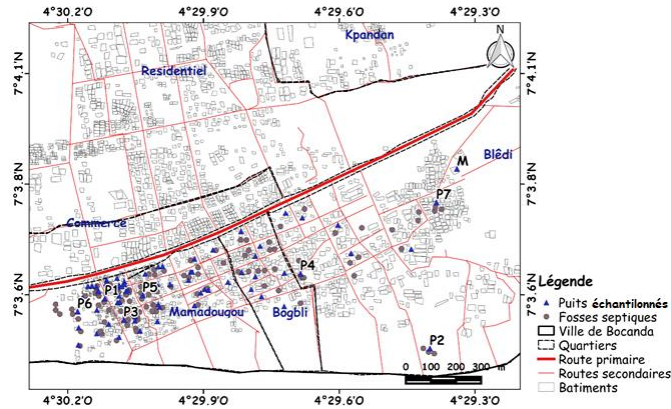


Figure 2 : Cartographie des puits, du marigot et des fosses septiques répertoriés dans la ville de Bocanda (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

3-2. Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot

3-2-1. pH

La **Figure 3** présente les pH obtenus dans les puits et le marigot. Les eaux des puits P1 (pH = 6,9), P2 (pH = 5,3), P4 (pH = 4,9), P6 (pH = 6,8), P7 (pH = 5,7) et du marigot (pH = 6,8) sont acides contrairement aux puits P3 et P5 où les pH respectifs (7,2 et 7,4) sont basiques. Les pH des puits P2, P4 et P7 ne sont pas conformes aux normes de l'OMS. Cet organisme recommande que le pH d'une eau de consommation soit compris entre 6,5-8,5 [13].

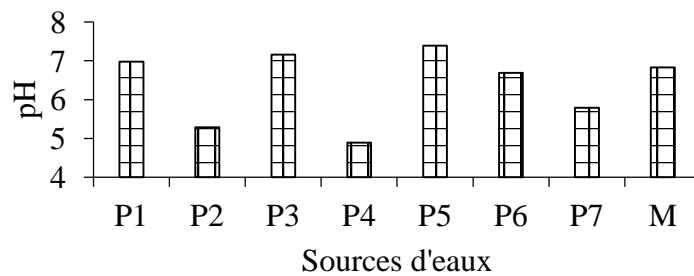


Figure 3 : Variation du pH en fonction des sources d'eaux échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

L'acidité des puits P1, P2, P4, P6, P7 et du marigot s'expliquerait par un déficit de saturation en bases causé par l'action de la roche-mère, la végétation et le défrichement [20]. En effet, les sols de la ville de Bocanda sont faiblement ferrallitiques sur granites et schistes, donc de pH acide. De ce fait, les eaux souterraines provenant de ces sols pourraient avoir un pH acide. Concernant la végétation, il faut dire que sa décomposition dans le sol s'accompagne d'une acidification de l'eau interstitielle du sol. La ville de Bocanda est une zone agricole, ainsi le défrichement des terres est fréquent. Ce défrichement entraîne une perte progressive des cations basiques du complexe absorbant donc une baisse du pH et un accroissement progressif d'aluminium échangeable. Ces pH acides proviendraient également de l'infiltration des eaux usées des fosses septiques non étanches à proximité des puits. Les résultats de mesure de pH des puits de la présente étude sont

similaires à ceux des travaux de recherche de la littérature [21]. Le pH n'a pas d'effet direct sur la santé [13]. 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. 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 [22].

3-2-2. Conductivité

Les conductivités enregistrées dans les eaux échantillonnées sont présentées par la **Figure 4**. Les valeurs fluctuent entre un minimum de 62,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un maximum de 2660 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux du puits P2 (62,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du marigot (157,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ont de faibles conductivités ($< 300 \mu\text{S}/\text{cm}$). Ce qui traduit que ces eaux seraient faiblement minéralisées et que des horizons de dépôts meubles traverseraient ces sources d'eau [23] DJAOUDA. Quant aux autres points d'échantillonnage, les conductivités sont 1788, 1425, 948, 2660, 1341 et 1155 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement pour les puits P1, P3, P4, P5, P6 et P7. Ces valeurs sont supérieures à 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc ces puits présentent de fortes conductivités. Par conséquent, les eaux des dits puits seraient fortement minéralisés. Ces valeurs élevées de conductivité proviendraient du lessivage de la roche encaissante au sein de laquelle les eaux séjournent [24]. Seules les conductivités de P2 et du marigot n'excèdent pas la valeur limite définie par l'OMS qui est de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité n'a pas d'impact direct sur la santé [25].

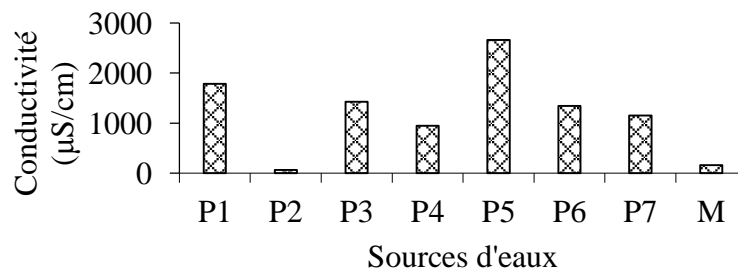


Figure 4 : Conductivité des sources d'eau échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

3-2-3. Salinité

L'organisme United States Department of Agriculture (USDA) détermine la salinité des eaux à partir de la conductivité [26]. En effet, les eaux dont la conductivité est inférieure à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ont une basse salinité. Pour des eaux de conductivité comprise entre 250 et 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la salinité est dite modéré. Dans le cas des eaux de conductivité oscillante entre 750 et 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, on parle de haute salinité. Les eaux de conductivité supérieure à 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sont de très haute salinité. Au regard de cette classification, les salinités des sources d'eau de la présente étude peuvent être déterminées. Ainsi, les eaux du puits P2 et du marigot ont une basse salinité. Par contre, les eaux des puits P1, P3, P4, P6 et P7 ont une haute salinité et les eaux du puits P5, une très haute salinité. La salinisation des eaux des puits pourrait provenir d'une dissolution de chlorures issus du substratum schisteux [27]. En effet, la zone d'étude est constituée de schistes renfermant des minéraux comme les biotites dans lesquelles se trouvent les anions de chlorures. Ces derniers passent en solution lors de l'altération des dits minéraux. Cette salinisation des eaux de puits serait également due à une intrusion d'eaux usées ou de déchets solides dissous [28]. Sur le plan sanitaire des études ont révélé qu'une salinité élevée dans les eaux de boisson provoquerait diverses maladies dont l'hypertension, la prééclampsie et l'hypertension gestationnelle [29].

3-2-4. Turbidité

La **Figure 5** présente les turbidités enregistrées dans les eaux des puits et du marigot. Les fortes valeurs sont rencontrées dans les eaux du puits P2 (66,10 NTU) et du marigot (55,70 NTU). Ensuite viennent les eaux des puits P6 (8,87 NTU) et P7 (6,25 NTU). En revanche, les valeurs de turbidité sont faibles dans les eaux des puits P1 (4,48 NTU), P3 (0,76 NTU), P4 (2,11 NTU) et P5 (2,32 NTU). Les fortes turbidités dans les puits P2 et le marigot auraient pour origine une intrusion massive de matière organique [30]. Cette matière organique pourrait provenir d'un ruissèlement d'eaux pluviales ou des activités humaines telles que la construction, l'agriculture, etc. Les eaux des puits P1, P3, P4 et P5 respectent la valeur seuil (5 NTU) de l'OMS et sont dites eaux claires [31]. Au contraire des turbidités des eaux des puits P2, P6, P7 et du marigot qui sont dites troubles car supérieures à ladite norme. Une eau de turbidité élevée contribuerait aux maladies gastro-intestinales [32]. En effet, les particules en suspension dans cette eau permettent la fixation des micro-organismes. Ces derniers peuvent alors proliférer. Ainsi, la consommation de cette eau provoquerait lesdites maladies.

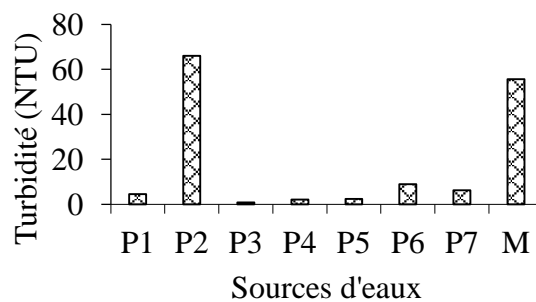


Figure 5 : *Turbidité des sources d'eau échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)*

3-2-5. Matières en suspension (MES)

La **Figure 6** présente les concentrations en MES des échantillons d'eaux de puits et du marigot. Les eaux du puits P1 enregistrent la concentration maximale (406,5 mg/L). Les eaux du marigot, des puits P2, P6 P4 et P3 suivent avec des concentrations respectives de 69 ; 41,5 ; 26 ; 19 et 12 mg/L. Les faibles concentrations (2 et 2,5 mg/L) sont mesurées respectivement dans les puits P5 et P7. Les fortes concentrations en MES s'expliqueraient par un apport important de particules au niveau des puits suite au ruissèlement d'eaux pluviales [33]. L'autre source proviendrait des puisettes déposées à même le sol. Des concentrations élevées en MES peuvent être vues comme une forme de pollution [33]. Les résultats en MES de toutes les sources échantillonnées sont supérieures à la valeur guide (1 mg/L) de l'OMS [34], tout comme les eaux du puits P2 et P3 de la ville de Brazzaville au Congo [34]. Les concentrations élevées en MES dans les eaux de puits favoriseraient la prolifération des micro-organismes pathogènes [33].

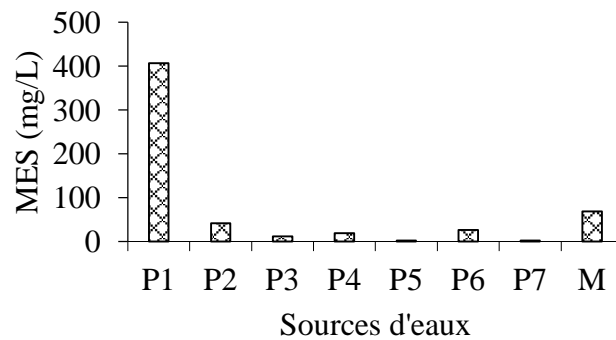


Figure 6 : Concentration de MES en fonction des sources d'eau échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

3-2-6. Ammonium (NH_4^+)

Les concentrations en ammonium des échantillons prélevés dans les puits oscillent entre 0,19 et 1,11 mg/L (**Figure 7**). Les concentrations en ammonium des eaux de puits P1 (0,24 mg/L), P4 (0,43 mg/L), P5 (0,28 mg/L) et P7 (0,19 mg/L) sont inférieures à la norme OMS (0,5 mg/L). S'agissant des autres puits P2 (0,61 mg/L), P3 (0,53 mg/L) et P6 (1,11 mg/L), leurs concentrations en ammonium sont supérieures de ladite norme. Ce constat est pareil pour le marigot. En effet, sa concentration en ammonium est de 6,28 mg/L et demeure la plus élevée. De ce fait, l'ammonium constitue un risque de pollution pour le marigot. Cette forte concentration pourrait avoir pour origine l'excrétion des organismes vivants, la biodégradation des déchets, les rejets domestiques et les fertilisants agricoles [22]. Les nuisances liées à l'ammonium sont dues à sa capacité de se combiner aux dérivés aminés pour donner des chloramines qui confèrent à l'eau de boisson un goût désagréable [35].

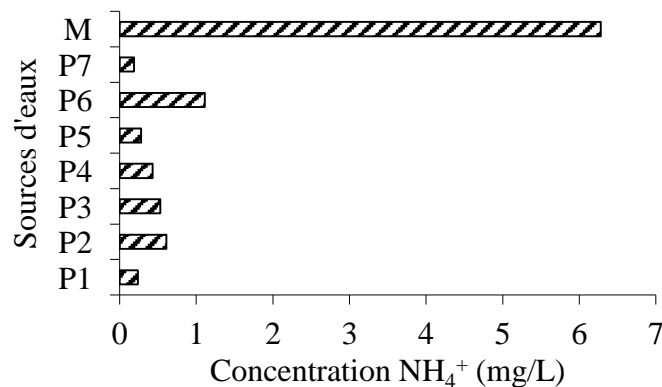


Figure 7 : Variation de la concentration de NH_4^+ dans les sources d'eaux échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

3-2-7. Nitrite (NO_2^-)

La **Figure 8** montre la concentration du NO_2^- dans les échantillons d'eaux de puits et marigot. Ces concentrations oscillent entre 0,01 et 0,21 mg/L. La concentration la plus élevée est enregistrée dans le puits P3 (0,21 mg/L) tandis que la plus faible concentration est dans le puits P6 (0,01 mg/L). Les autres concentrations sont 0,12 mg/L pour P2; 0,08 mg/L pour P7; 0,07 mg/L pour P1 ; 0,06 mg/L pour P5 et le marigot; 0,04 mg/L pour P4. Tous les échantillons ont une concentration en nitrite acceptable au regard de la norme (0,1 mg/L) de l'OMS [34].

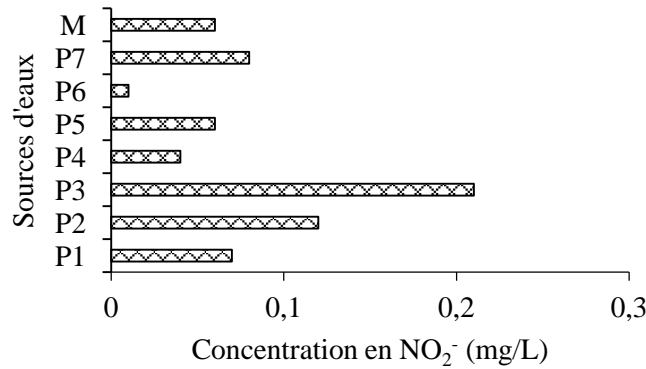


Figure 8 : Variation de la concentration de NO_2^- dans les sources d'eaux échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

3-2-8. Nitrate (NO_3^-)

La variation des concentrations de NO_3^- dans les eaux prélevées est présentée par la **Figure 9**. Les concentrations obtenues sont comprises entre 2,16 et 125,67 mg/L. Cinq points d'eaux échantillonnées P1 (44,55 mg/L), P2 (12,84 mg/L), P5 (19,81 mg/L), P6 (2,16 mg/L) et le marigot (3,88 mg/L) ont une concentration inférieure à la norme (50 mg/L) recommandée par l'OMS. En revanche, les concentrations restent supérieures à ladite norme dans les eaux des puits P3 (76,447 mg/L), P4 (111,32 mg/L) et P7 (125,67 mg/L). Cette situation pourrait se justifier par une contamination de ces puits par des sources de pollution à proximité. Il pourrait s'agir des eaux usées qui passeraient par les failles ou nœuds de faille pour contaminer les eaux de puits [13]. Selon cette même source, les concentrations élevées en nitrate engendrerait des problèmes de santé. En effet, chez les enfants, les nitrates sont réduits en nitrite à l'intérieur de leur appareil digestif. Et dans le sang, le nitrite transforme les hémoglobines en méthémoglobines qui inhibent le transport de l'oxygène vers les différents tissus du corps. C'est le syndrome des "enfants bleus" ou la méthémoglobinémie. 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 [34].

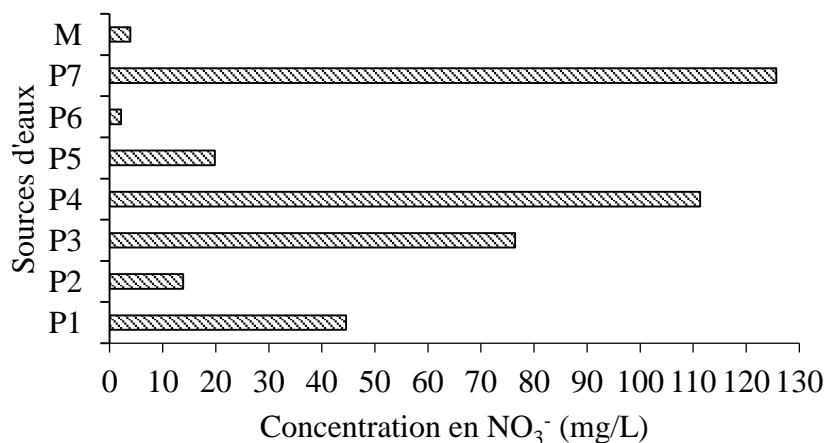


Figure 9 : Variation de la concentration de NO_3^- dans les sources d'eaux échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

3-2-9. *Escherichia coli*

La **Figure 10** présente le nombre de germes d'*Escherichia coli* dans les différentes eaux échantillonnées. *E. coli* est présent dans tous les échantillons. Ce qui ne respecte pas les normes OMS qui stipulent qu'il n'y ait aucune colonie dans 100 mL d'eau de consommation [13]. En outre, un nombre important de germes se trouve dans les eaux des puits P1 (5400 UFC/100 mL) et P5 (4700 UFC/100 mL). Cette présence d'*E. coli* dans les eaux échantillonnées indiquerait une pollution fécale de ces eaux par des sources diverses (proximité des latrines et défécation à l'air libre). Par ailleurs, ces *E. coli* peuvent être à l'origine de maladies gastro-intestinales, diarrhée et vomissement [13].

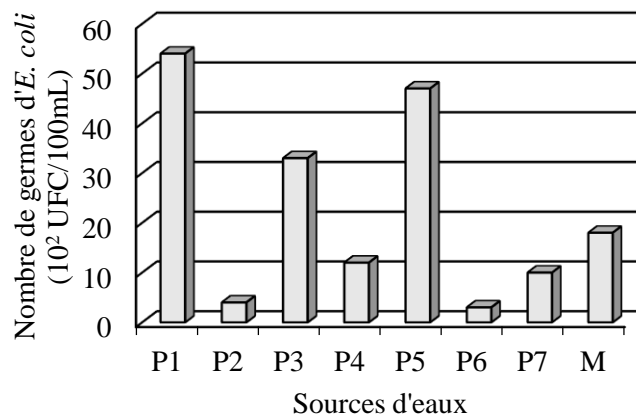


Figure 10 : Nombre de germes d'*E. coli* dans les sources d'eaux échantillonnées (P1 = puits 1, P2 = puits 2, P3 = puits 3, P4 = puits 4, P5 = puits 5, P6 = puits 6, P7 = puits 7 et M = marigot)

4. Conclusion

La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et marigot de la ville de Bocanda est connue. Au total, 62 puits et un marigot ont été répertoriés. 50 puits ne respectent pas la distance exigée par rapport aux fosses septiques par l'OMS. Le pH des eaux des puits P1, P2, P4, P6, P7 et du marigot sont acides et celui des eaux des puits P3 et P5 basique. Les eaux de P2, P4 et P7 ont un pH non conforme aux normes OMS. A l'exception de P2 et du marigot, les conductivités dans les autres sources excèdent ladite norme. La concentration élevée en MES dans les échantillons est propice à une prolifération de micro-organismes pathogènes. La pollution azotée se traduit en ammonium et nitrate dans les eaux de P2, P3, P4, P6 et du marigot. La présence de *E. coli* dans tous les échantillons indique une contamination fécale. En somme, les eaux des puits et du marigot à Bocanda sont de mauvaise qualité, donc présentent des risques sanitaires. Ces eaux doivent subir un traitement. La méthode préconisée serait les filtres biosand.

Références

- [1] - World Water Assessment Programme/Organisation des Nations Unis-Eau, <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/261466f.pdf> (2018), (27 juillet 2021)
- [2] - Objectifs de développement durable, www.globalcompact-France.org -documents-les 17 (2015), (03 août 2021)
- [3] - United Nations Office for Disaster Risk Reduction, https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf (2015), (03 juillet 2019)
- [4] - A. DIABAGATÉ, T. A. GOULA and G. E. SORO, *European Scientific Journal*, 15 (9) (2019) 247 - 262
- [5] - E. N. WANDAN, N. J. N'GORAN, K. B. KOUADIO and J.-G. BEDA, *European Scientific Journal*, 8 (10) (2014) 1857 - 7881
- [6] - R. M. KOUASSI, B. KONE, E. K. YAO, B. SILUE, G. CISSE and N. SORO, *Environnement Risque Santé*, 14 (2015) 230 - 241
- [7] - P. J. O. DJADE, A. TRAORE, K. J. T. KOFFI, K. N. KEUMEAN, G. SORO and N. SORO, *Journal of Applied Biosciences*, 150 (2020) 15457 - 15468
- [8] - Ministère de l'Hydraulique, <http://hydraulique.gouv.ci> (2019), (05 août 2021)
- [9] - D. F. AKÉ-AWOMON, M. COULIBALY, G. M. NIAMKE and D. S. SANTOS, *Revue Espace Territoires Sociétés et Santé*, (2018) 91 - 108
- [10] - K. S. D. DIOBO and H. B. N. YONGSI, *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, 47 (48) (2021) 43 - 60
- [11] - B. T. A. DOHO, Y. D. DELY and K. F. N'GUESSAN, *DaloGéo*, (2020) 1 - 21, <https://revuegeo-univdaloa.net/index.php/fr/taxonomy/term/438>
- [12] - F. N. N'GUESSAN, G. R. Y. KOFFI, K. KOUASSI and J. P. ASSI-KAUDJHIS, *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, (2018) 201 - 214
- [13] - WHO, "Guidelines for drinking water quality, 4 th ed.", Ed. WHO, Geneva, (2011)
- [14] - M. J. A. OHOU-YAO, L. Y. OUATTARA, O. B. YAPO, V. MAMBO, *Journal of Water Resource and Protection*, 9 (2017) 1634 - 1644
- [15] - K. E. AHOUSI, K. N. KEUMEAN, A. M. KOUASSI and Y. B. KOFFI, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (6) (2018) 3018 - 3033
- [16] - A. M. KOUASSI, K. A. YAO, K. E. AHOUSI, L. C SEKI, N. A. YAO, K. I. KOUASSI and J. BIEMI, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (5) (2010) 1816 - 1838
- [17] - Y. M. GNINRIN, Z. E. ZOGBO, N. P. YAO and A. DJAKO, *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, 3 (1) (2017) 2521 - 2125
- [18] - I. SY, D. TRAORÉ, A. N. DIÈNE, B. KONÉ, B. LÔ, O. FAYE, J. UTZINGER, G. Cissé and M. TANNER, *Santé Publique*, 29 (5) (2017) 741 - 750, <https://www.cairn.info/revue-sante-publique-2017-5-page-741.htm>
- [19] - J. P. JOURDA, K. J. KOUAME, M. B. SALEY, L. E. EBA, A. T. ANANI and J. BIEMI, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 28 (2) (2015) 119 - 137, <http://id.erudit.org/iderudit/1032294ar>
- [20] - A. BANSEPT, *Revue Forestière Française*, LXV, (3) (2013) 107 - 220
- [21] - M. DIALLO, "Évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits en fonction du traitement à l'hypochlorite de sodium", Thèse de doctorat d'état, Université de Bamako, (2010) 84 p.
- [22] - A. AKIL, T. HASSAN, E. H. FATIMA, B. LAHCEN and L. ABDERRAHIM, *European Scientific Journal*, 10 (23) (2014) 84 - 94
- [23] - M. DJAOUA, B. GAKE, S. H. Z. TOGOUET, Z. WADOUBE, M. NOLA and T. NJINE, *Afrique SCIENCE*, 14 (4) (2018) 209 - 224, <http://www.afriquescience.info>

- [24] - N. NOUAYTI, D. KHATTACH and M. HILALI, *Journal of Materials and Environmental Science*, 6 (4) (2015) 1068 - 1081
- [25] - A. BATOOL, S. AZIZ, S. IMAD, S. S. KAZMI, M. SHAFQAT and M. A. GHUFRAN, *International Journal of Hydrology*, 2 (6) (2018) 668 - 677
- [26] - L. GOUAIDIA, O. GUEFAIFIA, A. BOUDOUKHA and ML. HEMILA, *Geo-Eco-Trop*, 37 (1) (2013) 81 - 92
- [27] - E. NAJAT, "Caractérisation chimique et isotopique des eaux souterraines de l'Anti-Atlas occidental (Lakhssas-Taфраout) en vue d'évaluer la recharge, l'interaction eau-roche, la salinité et le temps de séjour", Thèse de doctorat, Université Ibnou Zohr, Agadir, (2013) 124 p.
- [28] - W. KLOPPMANN, A. BOUHANE, S. SCHOMBURGK and F. ASFIRANE, <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60186-FR.pdf> (brgm.fr), (2011) (18 août 2021)
- [29] - A. E. KHAN, P. F. D. SCHEELBEEK, A. B. SHILPI, Q. CHAN, S. K. MOJUMDER, A. RAHMAN, A. HAINES and P. VINEIS, *Plos one*, 9 (9) (2014) 1 - 9, <https://storage.googleapis.com/>
- [30] - R. K. OROU, K. J. COULIBALY, G. A. TANO, E. K. AHOUSI, P. E. K. KISSIEDOU, D. T. SORO and N. SORO, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 28 (2016) 243 - 272, https://revist.net/REVIST_28/REVIST_28_15.pdf
- [31] - É. ROBERT, *Bulletin de l'association de géographes français*, 91 (3) (2014) 355 - 372, <http://journals.openedition.org/bagf/1673>
- [32] - S. C. TINKER, C. L. MOE, M. KLEIN, W. D. FLANDERS, J. UBER, A. AMIRTHARAJAH, P. SINGER and P. E. TOLBERT, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 20 (2010) 19 - 28 <https://www.nature.com/articles/jes200868.pdf>
- [33] - A. D. N'DIAYE, O. THIAM, M. O. S. O. KANKOU and K. I. NAMR, *Larhyss Journal*, 14 (2013) 93 - 105
- [34] - T. A. BARHÉ and F. BOUAK, *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (5) (2013) 605 - 612
- [35] - J. LE ROUX, "Mécanismes de formation des nitrosamines et sous-produits halogènes lors de la chloramination de contaminants organiques azotés émergents", Thèse de doctorat, Université de Poitiers, Poitiers, (2011) 208 p.