



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal)

Maoudo HANE, Ibrahima DIAGNE, Momar NDIAYE*, Birame NDIAYE,
Cheikh Tidiane DIONE, Dame CISSE et Abdoulaye DIOP

*Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Chimie Physique Organique et d'Analyse
Environnementale (LCPOAE) - UCAD, Dakar, Sénégal.*

**Auteur correspondant, E-mail: momndiaye@hotmail.com*

Received: 05-03-2020

Accepted: 18-12-2020

Published: 31-12-2020

RESUME

Au Sénégal, la majeure partie des régions n'est pas desservie par les réseaux d'adduction d'eau potable. Le phénomène est plus accentué en milieu rural notamment dans la commune de Sinthiou Maléme. Ainsi, les communautés qui vivent dans ces zones ont souvent recours à l'eau des puits et des forages. Ce présent travail a été entrepris en vue d'évaluer la qualité physico-chimique des ressources en eaux consommées par ces populations. Au total 24 échantillons d'eaux ont été prélevés de l'unique forage et de 02 puits publics, soit 8 prélèvements par sources d'eaux. Pour apprécier la qualité de ces différentes sources, les paramètres physiques (conductivité électrique, pH, totale des solides dissous et dureté) et chimiques (F^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Fe et NO_2^-) ont été analysés par la méthode photométrique. Les résultats obtenus montrent que, du point de vue physique, les eaux de forage sont fortement minéralisées, légèrement dures et présentent une tendance basique contrairement à celles des puits. L'analyse chimique montre que les eaux de puits sont fortement chargées en ions phosphates et nitrites. Sur la base des paramètres analysés, la qualité des eaux de forage est chimiquement acceptable. Des études sur les éléments traces métalliques seront envisagées pour mieux apprécier la qualité de ces eaux de consommation.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Sources d'eaux, photométrie, potable, paramètres chimiques.

Comparative study of the physicochemical quality of water of wells and drilling consumed in the commune of Sinthiou Maléme in the area of Tambacounda (Senegal)

ABSTRACT

In Senegal, the majority of the regions are not served by the drinking water supply networks. The phenomenon is more pronounced in rural areas, particularly in Sinthiou Maléme commune. For example, communities living in these areas often use well water and borehole. This work has been undertaken to evaluate the physicochemical quality of the water resources consumed by these populations. A total of 24 water samples were taken from the single borehole and 02 public wells, let be 8 samples per source of water. To assess the

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.34>

8471-IJBACS

quality of these different sources, the physical parameters (electrical conductivity, pH, total dissolved solids and hardness) and chemical parameters (F^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Fe and NO_2^-) were analyzed by the photometric method. The results obtained show that, from the physical point of view, drilling water is highly mineralized, slightly hard and has a basic tendency, unlike wells. Chemical analysis shows that well waters are heavily loaded with phosphate ions and nitrites. Based on the parameters analyzed, the quality of the drilling water is chemically acceptable. Studies on the elements of metallic traces will be envisaged to better assess the quality of this drinking water.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Sources d'eaux, photométrie, potable, paramètres chimiques.

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément indispensable à la vie des êtres vivants, surtout celle de l'homme et des animaux. La disposition de l'eau en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé (Tamungang et al., 2016). Selon le forum mondial de l'eau, plus d'un milliard de personnes dans le monde n'a pas accès à l'eau potable et près de deux milliards et demi, soit le tiers de la population mondiale, seront confrontés à une pénurie d'eau d'ici 2025 (World Water Forum, 2006). Parmi les sources en eaux exploitées, celles souterraines constituent la principale source d'approvisionnement. Elles sont la plus abondamment consommées (plus de 70%) et constituent une ressource naturelle très précieuse pour diverses activités humaines (Buhungu et al., 2018).

Au Sénégal, particulièrement en milieu rural notamment dans la commune de Sinthiou Maléme, l'épuisement et la dégradation de ces ressources hydriques sont notables. Ces phénomènes sont dus à la croissance incontrôlée de l'urbanisation, au développement des activités agricoles et industrielles (Hounsou et al., 2010). On note également une occupation anarchique de l'espace, une inadaptation ou même une absence d'assainissement (Ahoussi et al., 2010). La qualité de ces eaux demeure une préoccupation grandissante pour la communauté nationale et internationale. Cependant, très peu de travaux ont été réalisés dans cette zone. L'objectif de cette étude est d'apprécier la qualité physico-chimique de ces différentes sources d'eaux (puits et forage) consommées dans la commune de Sinthiou Maléme.

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude et échantillonnage

La présente étude a été effectuée dans la commune de Sinthiou Maléme, située à 27 Km de Tambacounda (12°20 et 15°10 de latitude Nord et 11°20 et 14°50 de longitude Ouest). Elle couvre 1207 Km² sur une population de 20357 habitants. Elle est soumise à un climat de type Sahélo - Soudanien caractérisé particulièrement par l'harmattan et par trois saisons distinctes. La première est chaude et sèche, allant de mars au mois de juin avec un maximum en mai (40 °C). La deuxième est humide, marquée par une forte pluviométrie allant de juin au mois d'octobre avec une température moyenne de 28 °C. La troisième est fraîche et s'étend entre décembre et février. La région de Tambacounda est richement arrosée avec une pluviométrie annuelle estimée entre 600 à 1300 mm/an. Les profondeurs des nappes varient entre 35 et 45 m (phréatique) et 130 m (maestricien). Sur le plan hydraulique, la commune est relativement dotée en eaux souterraines exploitées à partir des puits traditionnels ou hydrauliques et des forages. La commune dispose de potentialités agropastorales très importantes qui constituent les principales activités économiques dominantes (Figure 1).

Deux puits publics et l'unique forage fonctionnel ont été échantillonnés en huit (8) mois soit au total vingt-quatre (24) échantillons collectés à l'aide des bouteilles en polyéthylène de 500 mL. Ces bouteilles ont été préalablement lavées au détergent, rincées à l'eau distillée et plusieurs fois avec l'eau à analyser avant le prélèvement (AQUAREF, 2011). Les échantillons d'eaux ont été conservés dans une glacière à une température

de l'ordre de 4 °C et transportés jusqu'au laboratoire et analysés automatiquement (Rodier et al., 2009).

Méthodes d'analyses

Les paramètres physiques tels que le pH, la conductivité et le TDS ont été mesurés à l'aide d'un appareil portatif HANNA instruments et la dureté par un dosage colorimétrique.

Les paramètres chimiques (fluorures, sulfates, phosphates, fer et nitrites) ont été détectés par un photomètre PF-11 à cuve ronde.

Les analyses par le photomètre ont été faites en quatre étapes:

Préparation de l'échantillon et le blanc : le blanc peut être constitué de l'eau déminéralisée ou l'échantillon à analyser sans les réactifs. La préparation de l'échantillon à analyser consiste à ajouter des réactifs dans 5 ou 10 mL d'eaux prélevées. Il est très important de respecter le temps de lecture indiqué dans le protocole d'analyse pour assurer la réaction des réactifs avec la substance à analyser.

Préparation du photomètre : allumer l'appareil et choisir la méthode indiquée (Visicolor, Visicolor Eco ou nanocolor) dans le protocole et le numéro du filtre pour doser l'élément.

Réglage du zéro de la concentration : Le zéro de la concentration doit être réglé avant chaque détermination pour établir une référence pour la mesure. Pour cela, placer le tube contenant le blanc dans le puits de mesure et presser le bouton zéro. Le photomètre affiche zéro puis indique que l'échantillon est prêt à être analysé.

Mesure de l'échantillon préparé : Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure et presser la touche M pour obtenir directement la concentration de l'échantillon sur l'écran de l'appareil, en mg/L.

Analyse statistique

Le logiciel SPSS statistique a été utilisé pour l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

RESULTATS

Les paramètres physiques

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique (CE), des Solides

Totaux Dissous (TDS), du pH et de la dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH) mesurés dans les échantillons d'eaux sont regroupées dans le Tableau 1, en plus de leurs écarts types.

L'analyse des résultats montre que les eaux de forages présentent les valeurs les plus élevées pour la CE, les TDS et le pH avec, respectivement 667,37 μ S/cm, 340,87 ppm et 7,94. Pour le (TH), les valeurs les plus élevées sont trouvées dans les eaux des puits P₁ et P₂ avec respectivement 11,46 et 7,56 °F.

Les paramètres chimiques

Les valeurs moyennes des teneurs en fluorures, phosphates, sulfates, fer et nitrites, relevées dans les échantillons d'eaux, sont regroupées dans le Tableau 2 ainsi que leurs écarts types.

L'analyse des résultats révèle que la concentration en fluorure est plus élevée au niveau des échantillons provenant du forage avec 1,02 mg/L. Les teneurs des puits P₁ et P₂ sont respectivement de 0,25 et 0,60 mg/L. Celles des ions ortho phosphates sont plus importantes au niveau des puits. Elles sont de 1,70 mg/L pour P₁ et 2,58 mg/L pour P₂ alors qu'au niveau du forage, on relève 0,79 mg/L. Les ions sulfates ne présentent pas de différence significative entre le forage 34,50 mg/L et le puits P₂ (34,00 mg/L). La teneur maximale a été enregistrée au niveau du puits P₁ avec 41,00 mg/L. La concentration minimale en fer a été observée au niveau du forage (0,16 mg/L) tandis que la teneur maximale a été enregistrée au niveau des puits P₁ (0,21 mg/L) et P₂ (0,23 mg/L). La concentration en ions nitrites est de 0,06 mg/L pour l'échantillon provenant du forage. Elle est de 0,08 et 0,61 mg/L pour les échantillons des puits P₁ et P₂ respectivement.

Cependant, les résultats donnés par les analyses des paramètres physiques et chimiques (Tableau 1 et 2), dans les échantillons des différentes sources d'eaux, sont en phase avec les normes recommandées par l'OMS (OMS, 2017). Une exception est faite, cependant, pour la conductivité mesurée au niveau du forage, les ions phosphates et nitrites pour le puits P₂. Néanmoins, ces valeurs ne s'avèrent pas dangereux pour la santé humaine.

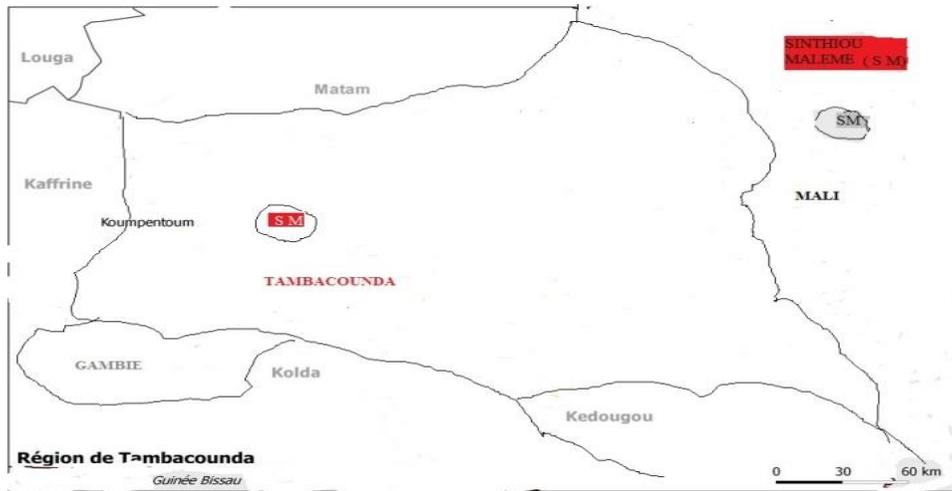


Figure 1 : Carte des sites de prélèvement.

Tableau 1: Valeurs moyennes et écart type des paramètres physiques en fonction des sites.

| Sites Eléments | Forage | Puits 1 | Puits 2 | Normes (OMS) |
|-------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|
| CE (µS/cm) | 667,37 ± 59,71 | 258,37 ± 116,07 | 231 ± 15,56 | 400 |
| TDS (ppm) | 340,87 ± 29,60 | 143,87 ± 72,85 | 112,50 ± 7,78 | 500 |
| pH | 7,94 ± 0,38 | 6,85 ± 0,44 | 7,52 ± 0,18 | 6,5-8,5 |
| TH (°F) | 5,89 ± 1,34 | 11,46 ± 5,22 | 7,56 ± 0,63 | 19,94 |

CE: Conductivité Electrique, TDS: Total Solides Dissous, pH: potentiel Hydrogène, TH: Titre Hydrotimétrique.

Tableau 2 : Concentrations moyennes et écarts type des paramètres chimiques en fonction des sites.

| Sites Elements | Forage | Puits 1 | Puits 2 | Normes (OMS) |
|---|---------------|-------------|-------------|--------------|
| [F ⁻] (mg/L) | 1,02 ± 0,35 | 0,25 ± 0,24 | 0,60 ± 0,35 | 1,50 |
| [PO ₄ ³⁻] (mg/L) | 0,79 ± 0,56 | 1,70 ± 0,86 | 2,68 ± 1,58 | 0,50 |
| [SO ₄ ²⁻] (mg/L) | 30,50 ± 15,18 | 41 ± 22,01 | 34 ± 11,28 | 500 |
| [Fe] (mg/L) | 0,16 ± 0,11 | 0,21 ± 0,08 | 0,23 ± 0,15 | 0,30 |
| [NO ₂ ⁻] (mg/L) | 0,06 ± 0,07 | 0,08 ± 0,07 | 0,61 ± 0,58 | 0,50 |

DISCUSSION

Les paramètres physiques

Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, et dépend de sa teneur en sels minéraux. Elle donne une idée de la minéralisation et constitue un bon marqueur de l'origine d'une eau. Elle permet aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Ould Cheikh et al., 2011).

Les grands écarts observés entre les valeurs de la conductivité du forage et des autres sources (Figure 2) excepté la campagne M5 (période de renouvellement des nappes) sont probablement dû à la profondeur des nappes captées. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Maoudombaye et al. (2015).

Total des solides Dissous (TDS)

Le TDS représente la concentration totale des substances (ions) dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques (calcium, magnésium, potassium, carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates) (Gouissi et al., 2019), de quelques matières organiques provenant des activités humaines et d'un certain nombre de sources naturelles. Une haute concentration de TDS seule n'est pas dangereuse pour la santé mais elle peut avoir

des effets indésirables (tâcher les appareils ménagers, corroder les tuyaux et avoir un goût métallique). Le TDS peut aussi indiquer la présence de polluants nuisibles comme le fer, le manganèse, le sulfate, le bromure et l'arsenic.

Le total des solides dissous et la conductivité mesurée sur ces différentes sources sont en parfaite corrélation (Figure 2 et 3). Cette observation concorde avec celle faite par Buhungu et al. (2018) sur l'eau de la rivière de Kinyankonge.

pH

Le pH nous renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu. La valeur acceptable par l'OMS pour l'eau de boisson est dans l'intervalle 6,5 et 8,5. En dessous de la valeur minimale, l'eau a un goût amer, métallique corrodant ainsi le matériel. Au-delà de la valeur maximale, les effets indésirables sont une sensation de glissement, un goût de soda et une présence de dépôts. Le pH d'une source peut varier naturellement en fonction de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé.

Les résultats obtenus montrent que les pH des eaux de forage sont à tendance basique et que ceux des eaux de puits sont proches de la neutralité excepté la campagne M8. Ceci est probablement dû à la qualité de l'air au

moment de l'échantillonnage (Figure 4). La profondeur des nappes captées pourrait justifier cette différence puisque les eaux de puits sont les plus superficielles de la nappe phréatique.

Dureté d'une eau ou Titre Hydrotimétrique (TH)

La dureté d'une eau indique globalement sa teneur en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Dans l'eau naturelle, elle dépend de la structure géologique des sols traversés. L'eau dure n'est pas dangereuse pour la santé (Kahoul et al., 2014). Les inconvénients sont plutôt d'ordre domestique en raison de la précipitation du calcaire (carbonate de calcium) diminuant ainsi l'efficacité des détergents (Mahamane et Guel, 2015). Dans les échantillons analysés (Figure 5), ce paramètre présente une grande variation entre les sources. Les eaux de puits sont plus dures donc non conseillées aux lessives et linges. La présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol augmentant ainsi la dissolution des ions responsables de la dureté justifierait cette variation. Cependant, ces résultats ne concordent pas avec ceux obtenus par Ould Cheikh et al. (2011) dans les eaux d'alimentation de la ville de Tijikja.

Les paramètres chimiques

Fluorures

Les fluorures sont des composés contenant l'élément fluor. Ils sont présents à l'état naturel dans le sol, l'eau (douce et salée), l'air, les plantes, les animaux et dans divers aliments (Degbey, 2011). Ils aident à prévenir les caries dentaires. Cependant, à forte concentration, ils peuvent endommager les dents (fluorose dentaire) et les os (fluorose osseuse). Dans l'eau, le fluor provient principalement de la dissolution des minéraux naturels présents dans les roches et les sols (Matini et al., 2009).

Les teneurs en fluorures observées (Figure 6) dans la zone sont faibles, pour les

campagnes M5 et M6, dans toutes les sources d'eaux. Le fréquent renouvellement des nappes serait à l'origine de ce phénomène. Dimé et al. (2018) ont rapportés des teneurs similaires dans les eaux de puits de Ngoundiane.

Phosphates

Les phosphates sont naturellement présents dans le sol (matières minérales organiques) mais leur principale source dans les eaux souterraines sont les activités agricoles (lessivage et infiltration) (Azanga et al., 2016). Des teneurs élevées peuvent contribuer aux problèmes de turbidité liés au verdissement des eaux (eutrophisation).

Les valeurs enregistrées au niveau des puits sont nettement supérieures à celles du forage (Figure 7). Cette différence s'explique par le fait que les eaux les plus superficielles (puits) sont plus proches des sols cultivés donc plus exposés à la pollution des phosphates. Ces puits seraient donc situés dans des zones agricoles. Ainsi, les eaux de puits peuvent, également, être considérées comme polluées du fait de leurs teneurs en phosphates dépassant largement les normes de l'OMS. Lagnika et al. (2014) ont obtenues des teneurs inférieures dans les eaux de puits de la commune de Pobè.

Sulfates

Les sulfates sont des anions très solubles, présents dans les eaux sous forme de soufre dissous. Ils ont essentiellement une origine géochimique (gypse, pyrite) et atmosphérique (eaux de pluie). Ils peuvent aussi provenir des activités humaines (utilisation d'engrais sulfatés, combustion de charbon et de pétrole, etc) (Akil et al., 2014). Les eaux sulfatées peuvent avoir un goût désagréable, favoriser la corrosion des équipements de distribution, en particulier ceux en cuivre et donc entraîner la présence des métaux lourds, comme le plomb (Pb), dans le réseau.

Les différences observées entre les sources M1, M6 et M8 (Figure 8) semblent être

liées à l'utilisation excessive d'engrais qui affectent directement les nappes superficielles après lessivage des sols. Néanmoins toutes ces eaux restent dans les normes recommandées par l'OMS.

Fer

Le fer est naturellement présent dans les eaux souterraines sous forme ferreux (Fe^{2+}) soluble ou sous forme ferrique (Fe^{3+}) insoluble pouvant être complexé, colloïdal ou précipité (Matini et al., 2009). Il est beaucoup plus bénéfique que nuisible sur la santé. L'OMS fixe les teneurs maximales acceptable et admissible à 0,3 et 1,0 mg/L, respectivement. Cependant sa présence dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui le précipitent, corrodant ainsi les canalisations ou tâchant le linge (Belghiti et al., 2013). La Figure 9 montre que les teneurs en fer dans les puits et forage sont très variables mais restent dans les normes établies par l'OMS pour l'eau de boisson. A l'absence d'activités industrielles dans la zone d'étude, la présence du fer dans les différentes sources d'eaux pourrait être d'origine géologique (décomposition de la roche et des minéraux).

Nitrites

Les nitrites sont assez largement présents dans les sols, les eaux, les produits alimentaires et l'atmosphère, mais à des niveaux plus faibles que les nitrates. Ils peuvent provenir d'une oxydation incomplète des matières organiques, à la réduction des nitrates par les anaérobies sulfito-réducteurs ou encore à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (Bengoumi et al., 2004). Leur présence dans l'eau en quantité importante peut dégrader sa qualité et affecter la santé humaine du fait de son important pouvoir oxydant.

Les résultats du dosage des nitrites dans les eaux des différentes sources ont révélé des teneurs plus élevées au niveau des puits (Figure 10) durant les campagnes M6, M7, M8. Ces

périodes coïncident avec celle de lessivage des sols. Ce phénomène explique la forte concentration de ces minéraux dans les puits. Ainsi, le lessivage des fertilisants agricoles peut entraîner une contamination importante en nitrites des nappes peu profondes. Ces teneurs sont, cependant, supérieures à celles obtenues par Lalami et al. (2014). Leurs travaux effectués sur les eaux de puits et de sources, de la région de Fès, ont révélé des teneurs inférieures à 0,11 mg/L.

Analyse en composante principale

La méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) est largement utilisée pour interpréter les données hydro-chimiques (Yapo et al., 2010 ; Kanohin et al., 2017). Pour ce travail, 4 variables physiques (pH, conductivité électrique (CE), Totale des Solides Dissous (TDS), dureté ou titre hydrotimétrique (TH)) et 5 paramètres chimiques (PO_4^{3-} , NO_2^- , SO_4^{2-} , F, Fe) ont été utilisés.

La Figure 11 donne la projection des variables dans l'espace des axes (composante 1 et 2). L'analyse factorielle des eaux souterraines de la zone d'étude met en évidence des regroupements, des oppositions et des tendances directionnelles.

La composante 1 est la plus importante, avec une variance exprimée de 58,3% opposant le groupe (I) composé des variables (F, CE, TDS, pH) et le groupe (II) formé des éléments (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , TH). Le groupe (I) domine dans le forage alors que le groupe (II) est plus présent dans les puits. Cette composante montre une légère alcalinité et une minéralisation. Elle traduit également une pollution anthropique d'origine agricole des puits. La composante 2 est représentée avec 41,6% de la variance exprimée, dominée par le groupe (III) (Fe et NO_2^-). Le cumul des deux composantes fournit 99,9% des informations contenues dans les variables étudiées.

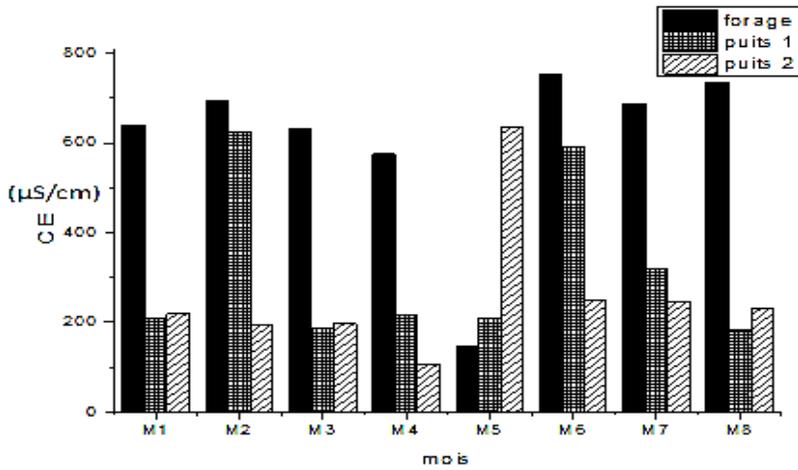


Figure 2 : Variations de la conductivité électrique (CE) en fonction des sources d'eaux.

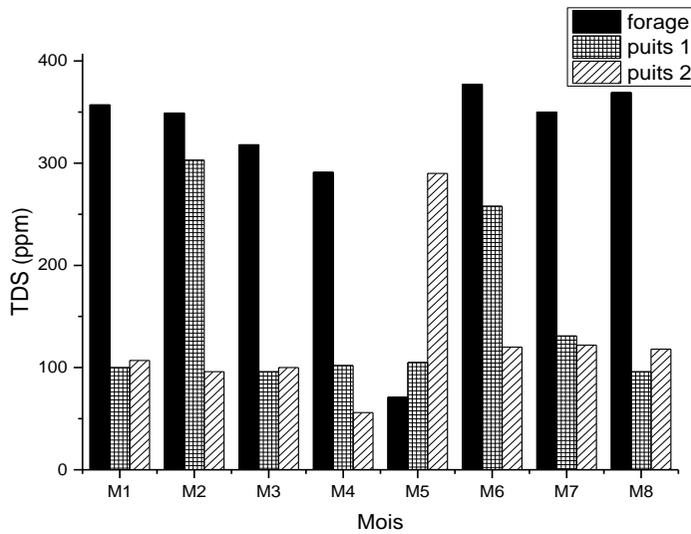


Figure 3 : Variations du Total des solides Dissous (TDS) en fonction des sources d'eaux.

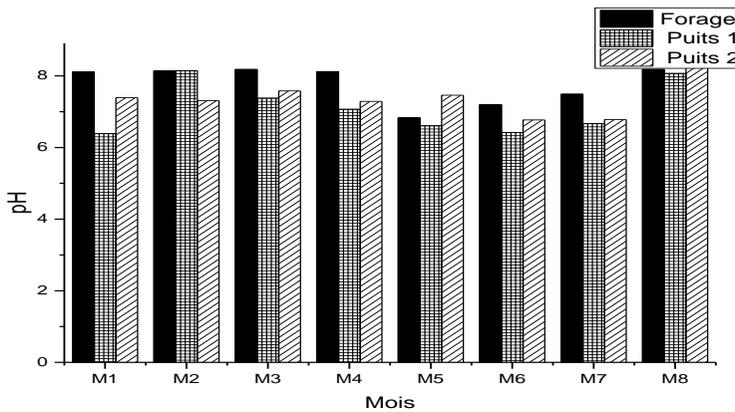


Figure 4 : Variations du pH en fonction des sources d'eaux.

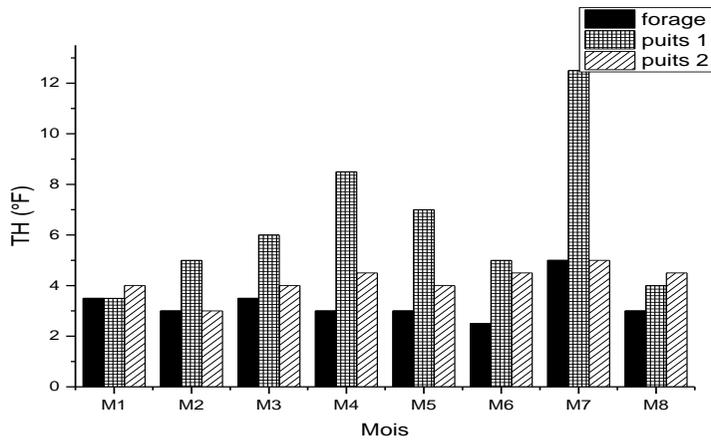


Figure 5: Variations de la dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH) en fonction des sources d'eaux.

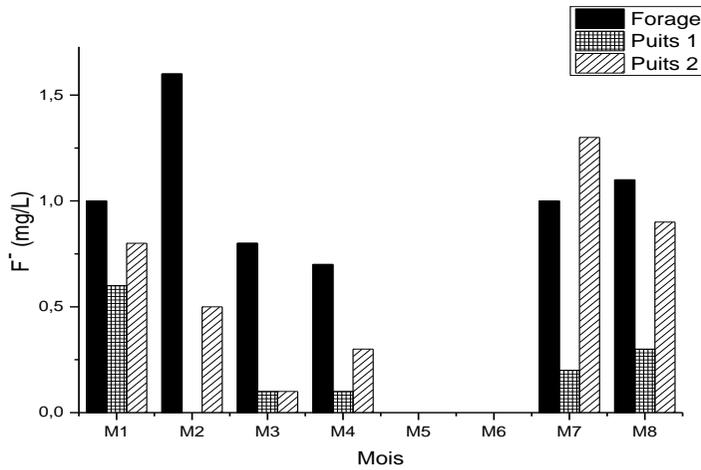


Figure 6 : Variations des teneurs en fluorures en fonction des sources d'eaux.

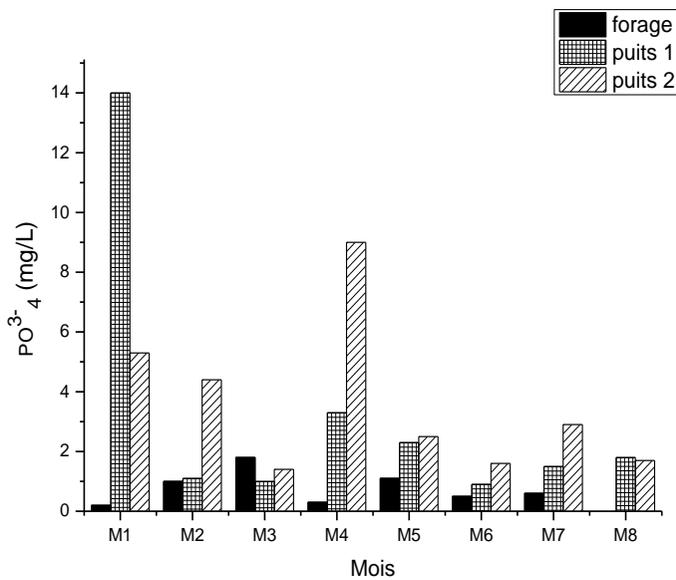


Figure 7 : Variations des teneurs en phosphates en fonction des sources d'eaux.

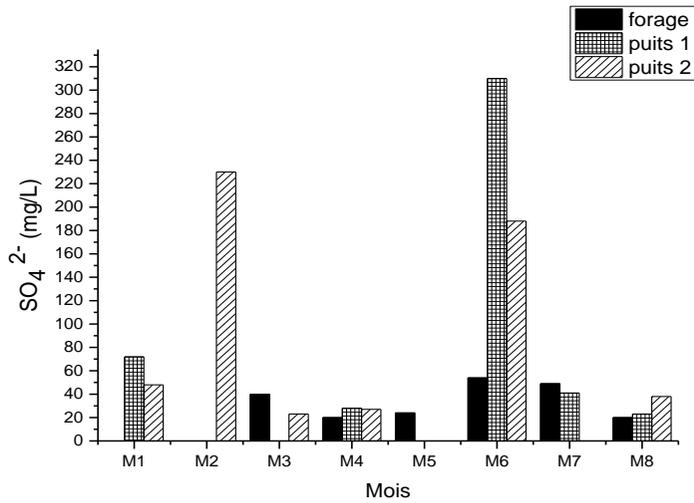


Figure 8 : Variations des teneurs en sulfates en fonction des sources d'eaux.

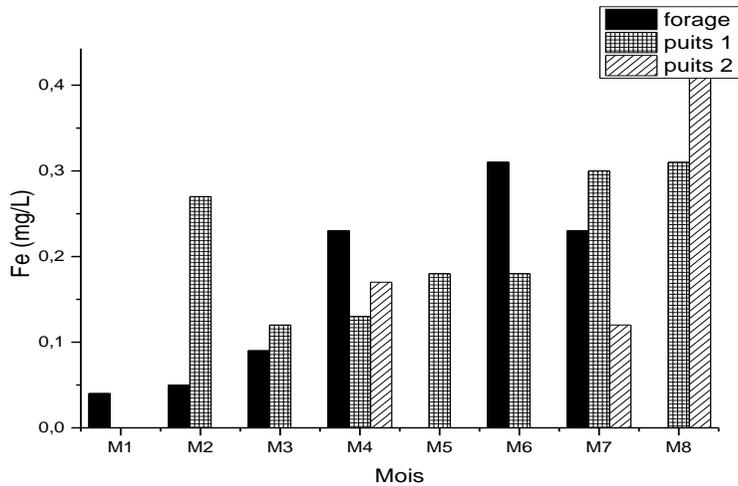


Figure 9 : Variations des teneurs en fer en fonction des sources d'eaux.

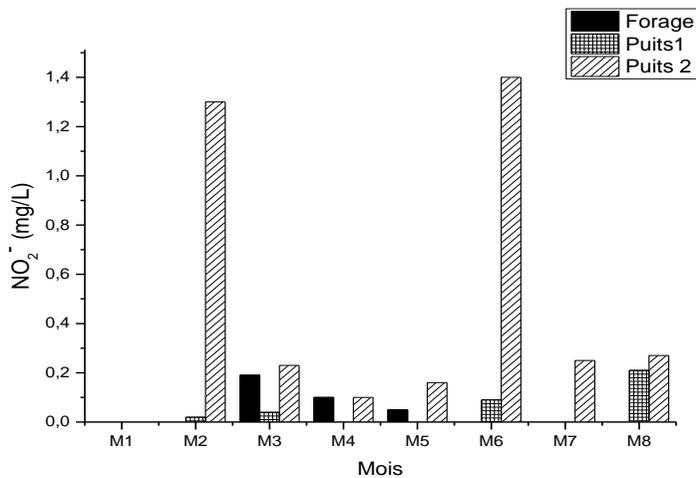


Figure 10 : Variations des teneurs en nitrites en fonction des sources d'eaux.

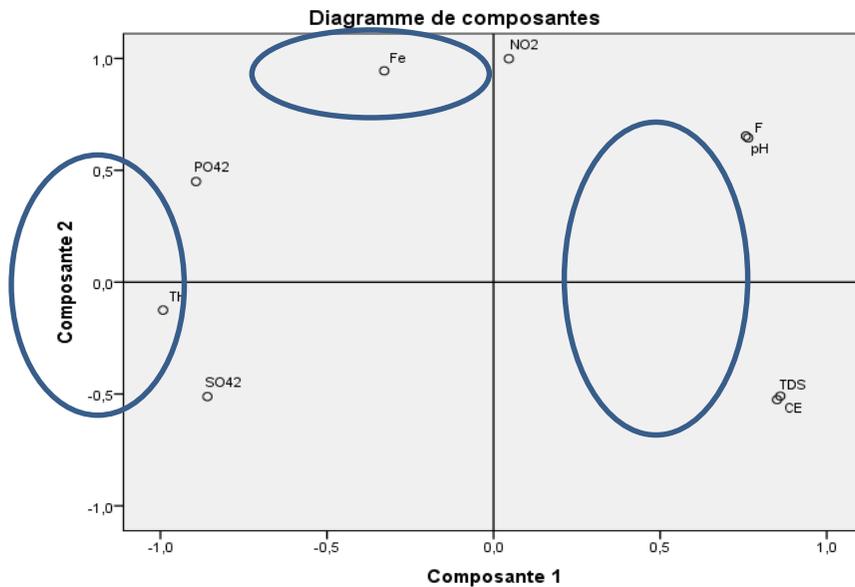


Figure 11 : Diagramme des composantes.

Conclusion

Il ressort de ce travail que les eaux du forage peuvent être considérées comme admissibles et ne présentent aucun danger pour la consommation. Par contre les eaux de puits présentent des indices de pollutions avec des teneurs excessives en phosphates et nitrites provenant probablement des activités agricoles. Elles ont une dureté inadéquate aux linges. Ainsi, des précautions doivent être envisagées pour lutter contre la pollution des eaux de puits. La réduction de l'utilisation des engrais peut s'avérer nécessaire. De même, leur épandage en période appropriée et le respect de leur mode d'emploi sont recommandés. Les phénomènes de ruissellement et d'érosion des sols sont, également, à éviter. Afin de mieux apprécier la qualité de ces eaux de consommation, des études sur la teneur des éléments traces métalliques sont envisagées

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Les travaux ont été effectués au Laboratoire de Chimie Physique Organique et d'Analyses Environnementales (LCPOAE) du Département de Chimie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, dirigé par le Professeur Abdoulaye DIOP. L'encadrement de l'équipe de recherches est assuré par MN qui a élaboré le sujet et a supervisé le travail. MH est l'investigateur principal. CTD et DC ont participé à l'échantillonnage et à la réalisation des mesures. ID et BN ont participé à l'interprétation des résultats.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la société Macherey Nagel qui nous a offert le spectrophotomètre et les kits de standards et Monsieur Paul Nkeng de l'Université de Strasbourg.

REFERENCES

Abdou KDD, Galass D, El Hadji TD, Modou F. 2018. Caractérisation physico-chimique de la nappe phréatique située dans une zone à forte pollution industrielle: Cas de la commune de

- Ngoundiane. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, **046** : 23-28. <http://www.soachim.org>.
- Abboudi A, Tabyaoui H, El Hamichi F, Benaabidate L, Lahrach A. 2014. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, **23**.
- El Ouali LA, EL-Akhal F, Berrada S, Bennani L, Raiss N, Maniar S. 2014. Evaluation de la qualité hygiénique des eaux de puits et de sources par l'utilisation d'une analyse en composantes principales (ACP) : Une étude de cas de la région de Fès (Maroc). *J. Mater. Environ. Sci.*, **5**(S1). <http://www.jmaterenvirosci.com>.
- AQUAREF. 2011. guide des prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques opérations d'échantillonnage en cours d'eau (eaux et sédiments) en milieu continental. AQUAREF.
- Azanga E, Majaliwa M, Kansime F, Mushagalusa N, Korume K, Tenywa MM. 2016. Land-use and land-cover, sediment and nutrient hotspot areas changes in Lake Tanganyika basin. *African Journal of Rural Development*, **1**: 75-90.
- Belguiti ML, Chahlaoui A, Bengoumi D, EL Moustaine R. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Meknés (Maroc) *Larhyss Journal*, **14** : 21-36.
- Bengoumi M, Traoure A, Bouchriti N, Bengoumi D, El Hraiki A. 2004. Qualité de l'eau en aviculture [Poultry water quality]. *Revue Trimestrielle d'Information Scientifique et Technique*, **3**(1): 5-29.
- Degbey C. 2011. Facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson et la santé des populations dans la commune d'Abomey-calavi au Bénin. Thèse de doctorat en Sciences de la santé publique, Ecole de santé publique. Université Libre de Bruxelles (ULB).
- Ahoussi E K, Soro N, Kouassi AM, Soro G, Koffi YB, Zade SP. 2010. Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des métaux lourds (Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} et Pb^{2+}) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**: 1753-1765.
- Gouissi FM, Fassinou NM, Aguessy CC, Toffa DD, Bessan GK, Johnson RC, Gnonhossou PM. 2019. Physico-chemical quality of the Okpara River waters and well waters in the commune of Parakou in northeastern Bénin. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, **15**(6): 110-121.
- Otchoumou FK, Yapo OB, Dibi B, Bonny AC. 2017. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11** (5): 2495-2509. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.43>
- Kahoul M, Derbal N, Alioua A, Ayad W. 2014. Evaluation de la qualité physico-chimique Des de puits dans la région de Berrahal (Algérie). *Larhyss Journal*, **18** : 169-178.
- Matini L, Moutou JM, Kongo-Mantono MS. 2009. Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*, **5**: 82 – 98.
- Mahamane AA, Guel B. 2015. Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**: 517-533. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.44>.
- Maoudombaye T, Ndoutamia G, Seid Ali M., Ngakou. 2015. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad. *Larhyss Journal*, **24** : 193-208.
- Hounsou MB, Agbossou EK, Ahamide B, Akponikpe I. 2010. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé: cas des coliformes totaux et

- fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(2): 377-390.
- Lagnika M, Ibikounle M, Montcho J-P C, Wotto VD, Sakiti NG. 2014. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, **79**(1): 6887-6897. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v79i1.13>.
- Tamungang NEB, Biosengazeh NF, Alakeh MN, Tameu DY. 2016. Contrôle de la qualité des eaux domestiques dans le village Babessi au Nord-Ouest Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(3): 1382-1402. DOI: 10.4314/ijbcs.v10i3.37
- OMS. 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson. OMS.
- Ould Cheikh MEK, El Kacemi K, Idrissi L. 2011. Caractérisation physico-chimique des eaux d'alimentation de la ville de Tijikja (Mauritanie). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(5): 2133-2139. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.33>.
- Rodier J, Legube B, Merlet N. 2009. *L'analyse de l'Eau* (9eme éd). Dunod : Paris-France.
- Buhungu S, Montchowui E, Barankanira E, Sibomana C, Ntakimazi G, Bonou CA. 2018. Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(1): 576-595. DOI: 10.4314/ijbcs.v12i1.44
- Yapo OB, Mambo V, Seka A, Ohou MJA, Konan F, Gouzile V, Tidou A. S, kouame KV et Houenou P. 2010. Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(2): 289-307. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i2.58111