



## Etude de la variabilité saisonnière des précipitations sur le plateau de Mbé au Pool-Nord (Congo-Brazzaville) : impacts sur les eaux de surface et souterraines

Harmel Obami-Ondon<sup>1</sup>, Médard Ngouala Mabonzo<sup>2</sup>, Urbain Gampio Mbilou<sup>3</sup>, and Bernard Mabiala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Mécanique, Energétique et Ingénierie, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (Université Marien Ngouabi), B.P. 69 – Brazzaville, République du Congo

<sup>2</sup>Département de Géographie, Faculté des Sciences Sociales et des Arts, B.P. 69 – Brazzaville, République du Congo

<sup>3</sup>Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques (Université Marien Ngouabi), B.P. 69 – Brazzaville, République du Congo

**Correspondence:** Harmel Obami-Ondon (harmelobami@gmail.com)

Published: 16 November 2021

**Résumé.** Cette étude porte sur l'impact de la variabilité saisonnière des précipitations sur les eaux du Plateau de Mbé. 120 échantillons d'eau ont été prélevés dans huit (08) points d'eau (1 puits, 4 forages et 3 rivières) entre novembre 2017 et août 2018. L'analyse au laboratoire de ces échantillons, permettent de caractériser les éléments physico-chimiques des eaux. Ces résultats sont traités à partir d'une méthode hydrochimie, en utilisant les diagrammes : de Piper, de Schoeller Berkloff, de Stiff, et de Wilcox. Les données traitées montrent que les valeurs obtenues après les analyses des eaux des saisons ne présentent pas une variation considérable et sont toutes conformes aux normes prescrites par l'OMS pour l'eau de boisson, en dehors de la température qui est légèrement supérieure à la normale avec une moyenne de 27 °C. Le pH a une moyenne de 5.0 ; ce qui confirme le caractère acide des eaux dans toute cette zone d'étude.

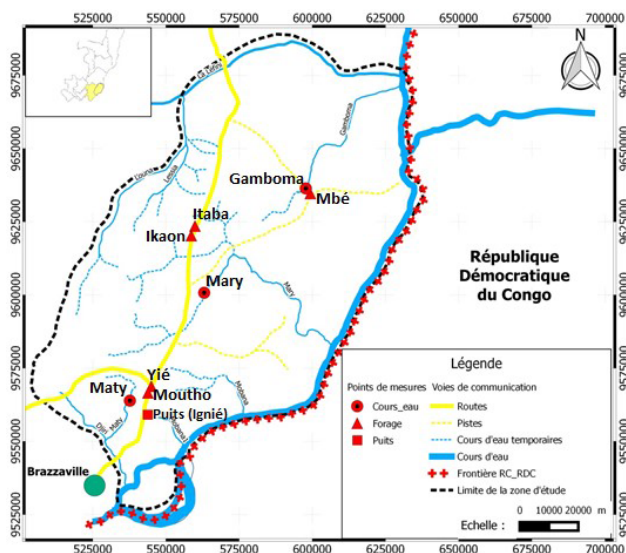
**Abstract.** This study examines the impact of seasonal rainfall variability on the Mbé Plateau waters. 120 water samples were taken from eight (08) water points (1 well, 4 boreholes and 3 rivers) between November 2017 and August 2018, analyzed in the laboratory, to characterize the physicochemical elements of the water. These results are processed from a hydrochemical method, using the diagrams : of Piper, Schoeller Berkloff, Stiff, Wilcox. They show that the water values analyzed between the 4 seasons do not vary considerably and all comply with the standards prescribed by the WHO for drinking water, except for the abnormal temperature with an average of 27 °C and average pH of 5.0 which confirms the acidity of the waters throughout this study area.

### 1 Introduction

Depuis une vingtaine d'années, les différents États accordent de plus en plus un intérêt croissant à la notion de changement climatique qui demeure une notion très vaste (réduction de la pluviométrie, augmentation de la température, effet de serre, etc.). En Afrique particulièrement, la notion de changement climatique se résume en grande partie à une baisse drastique de la pluviométrie, principal facteur climatique comme identifié dans plusieurs études (Hubert et

al., 1989 ; Mahé et Olivry, 1995 ; Bricquet et al., 1997 ; Servat et al., 1999). Cette baisse de la pluviométrie a eu plusieurs conséquences, le plus souvent dramatiques (sécheresse des années 1970 et 1980, 1984, 2006 dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest).

Au Congo-Brazzaville, sur le plateau de Mbé (Fig. 1), la question de la qualité et de la quantité de l'eau s'est posée avec acuité étant donné le manque de points d'eau en surface, la mauvaise qualité des eaux dans et dans bien des cas leur assèchement en saison sèche (Le Marechal, 1966).



**Figure 1.** Localisation de la zone d'étude et les points de prélèvements.

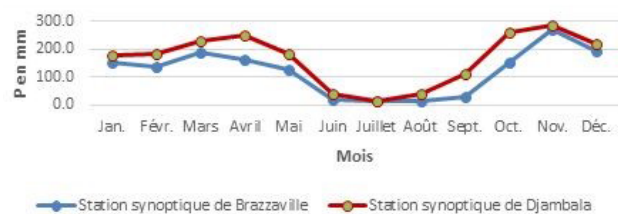
Plusieurs rapports font le point de cette situation : Sauter, 1952, 1953 ; Hudeley, 1952 ; Mermollod, 1961 ; Archambault, 1960 ; Palausi, 1960 et les rapports de quelques projets. Mais, il n'existe aucune étude détaillée sur l'impact de la variabilité saisonnière des pluies sur les eaux du plateau de Mbé. Il convient donc de caractériser ces eaux en fonction des saisons, afin d'étudier son impact sur les ressources en eau qui peut différer d'une saison à une autre.

## 2 Problématique

La rareté des eaux de surface et la non pérennité de cette ressource en surface sur le plateau de Mbé est due aux conditions géologiques constituées essentiellement des sables, qui ont favorisé l'utilisation de la nappe profonde comme palliatif pour satisfaire les besoins des populations (Le Marechal, 1966 ; Moukolo, 1992). Cette nappe est alimentée essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie dans le sol (Le Marechal, 1966 ; Moukolo, 1992). Actuellement, beaucoup d'opérateurs économiques ont entrepris différentes activités (l'élevage, l'agriculture, industrie agroalimentaire, etc.) sur ce plateau (Obami-Ondon et al., 2018). Cette étude se propose donc de voir l'impact de ces activités humaines sur les eaux de la zone d'étude.

## 3 Méthodologie

Les huit (08) points d'eau (1 puits, 4 forages, 3 cours d'eau) échantillonnés en 4 saisons ont été localisés par leurs coordonnées géographiques à l'aide du GPS et 120 échantillons ont été recueillis pour les analyses physico-chimiques entre novembre 2017 et mai 2018 (Fig. 1). Les prélèvements



**Figure 2.** Variation des précipitations moyennes mensuelles sur les stations de Brazzaville et Djambala pour la période (1987–2018), source ANAC de Brazzaville.

ont été effectués et conditionnés dans des flacons de 1.5 L en polyéthylène spécialement préparés à cet effet. Les prélèvements pour les forages munis de robinets ont été effectués après avoir fait couler l'eau dans le vide pendant plusieurs minutes. Les flacons d'échantillonnage avant remplissage ont été rincés plusieurs fois avec l'eau à prélever et immédiatement stockés dans une glacière à 4 °C. Les analyses ont été effectuées rapidement dans les 24 h qui suivaient. L'analyse a concerné les éléments physiques, majeurs, quelques métaux lourds et bien d'autres au laboratoire de l'IRSEN à l'aide d'un spectrophotomètre en utilisant les méthodes classiques préconisées par les normes françaises (AFNOR). Une comparaison des teneurs en éléments physiques et chimiques des eaux en fonction des saisons et des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, Genève, 2004 et 2017) a été effectuée. Ensuite pour connaître les faciès des eaux, une étude géochimique a été réalisée à l'aide des digrammes de Piper, de Schoeller-Berkalof et de Wilcox pour la potabilité. La qualité des analyses a été contrôlée grâce à la balance ionique pour la fiabilité des résultats.

## 4 Résultats

### 4.1 Fluctuation des moyennes mensuelles interannuelles de la pluviométrie entre 1987–2018

La variation des indices pluviométriques de la zone d'étude est représentée pour les stations synoptiques de Brazzaville et Djambala (Fig. 2). L'analyse de l'évolution des indices pluviométriques montre une période pluvieuse (sept-mai) de 9 mois avec une diminution des pluies (mi-janvier-février) et une période sèche (juin-août) de 3 mois.

La Fig. 2 montre la variation des précipitations moyennes mensuelles sur les stations de Brazzaville et Djambala. Cette figure montre clairement une diminution des pluies entre le mois de mai et septembre, ce qui marque la saison sèche sur la zone d'étude.

La variation des paramètres physiques (pH, T, °C, CE et TDS) des 8 points prélevés est représentée sur la Fig. 3 et cette analyse de l'évolution des paramètres physiques (Fig. 3) est faite en fonction de la variabilité saisonnière. Sur la Fig. 3 nous constatons que les températures diminuent sur tous les points échantillonnés au mois d'août et cela correspond à la

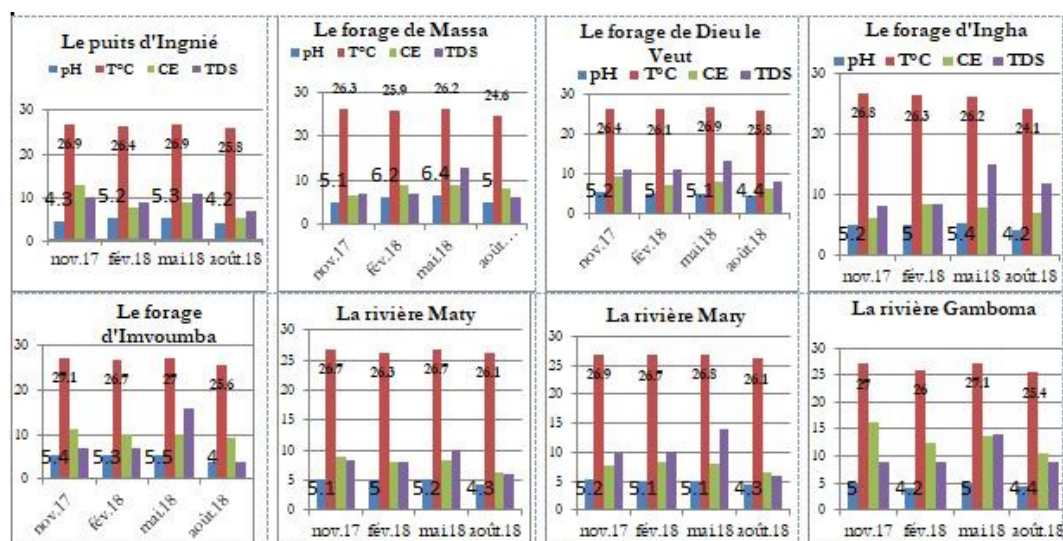


Figure 3. Variation saisonnière du pH,  $T$ , CE et TDS au cours de l'année 2017–2018.

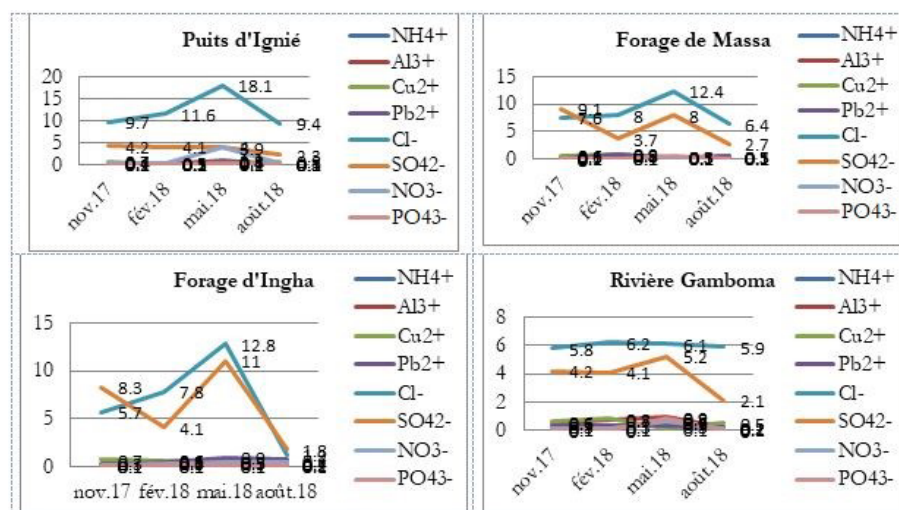


Figure 4. Variation saisonnière des métaux lourds et les polluants mesurés au cours de l'année 2017–2018.

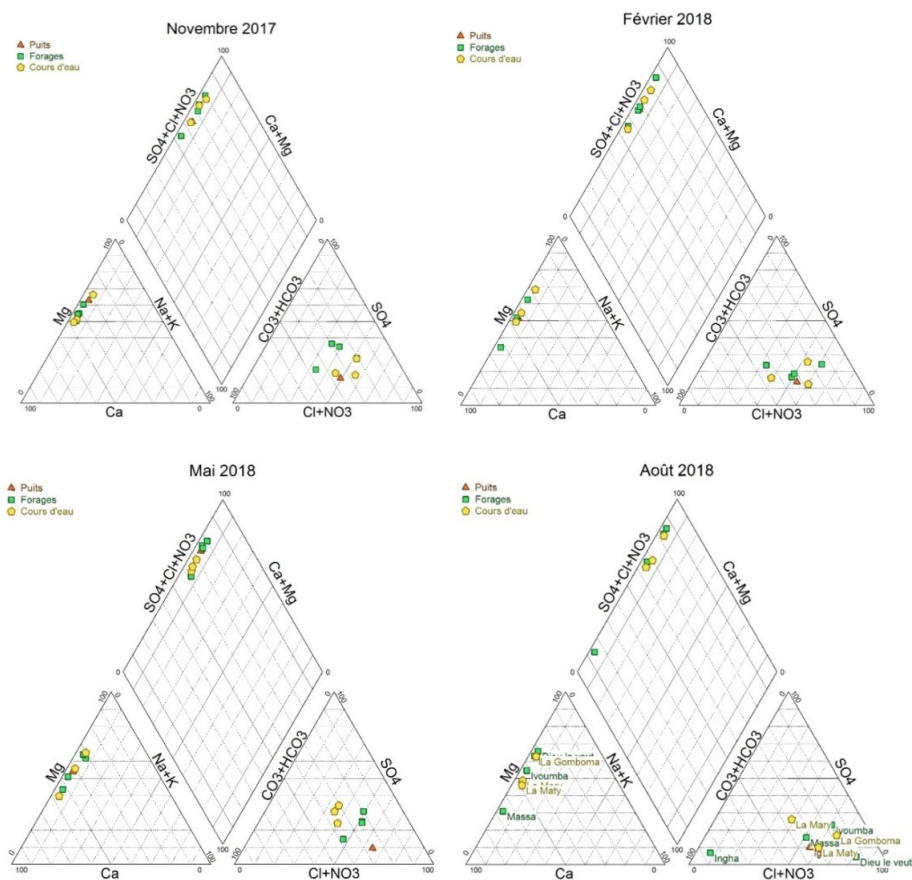
grande saison sèche (Fig. 2). Cependant, les TDS présentent une augmentation dans tous points pendant la campagne de Mai. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'au mois d'avril on observe le deuxième pic de la pluviosité dans la zone et le mois de Mai étant le dernier mois de la saison de pluie enregistre des conséquences dues aux apports des précipitations du mois d'avril ; mais toutefois, les valeurs restent inférieures aux normes prescrites par l'OMS pour l'eau de boisson (Directive, 2004). On peut aussi noter que, le pH connaît une dynamique (de mai jusqu'en août, il décroît) peu significative dans l'ensemble de la zone d'étude. On peut donc dire, que la variabilité saisonnière n'influe pas de façon directe sur les paramètres physiques des eaux de notre région.

Parmi les métaux et polluants étudiés (Fig. 4), on note que tous les autres métaux sont quasiment inexistantes. Par contre

les  $\text{Cl}^-$  et les  $\text{SO}_4^{2-}$ , bien que les valeurs soient inférieures à celles prescrites par l'OMES (Directive, 2017), ils présentent une dynamique exceptionnelle dans tous les points pendant la campagne de mai. Cette variation, serait due au temps de transfert des eaux de pluie dans la nappe. Ce même mois, les TDS (Fig. 3) ont connus aussi une évolution dans tous les points d'eau de la zone d'étude.

Il découle de la projection des résultats des campagnes, qu'un (01) seul faciès du diagramme de Piper est représenté (Fig. 5) : le faciès chloruré calcique. Mais, la campagne d'août 2018 (saison sèche) s'est avérée différente en présentant deux faciès, notamment le faciès chloruré calcique et le Faciès bicarbonaté calcique. Ce deuxième faciès est marqué par le forage de Massa qui s'écarte des autres. On constate que, dans le triangle des cations, le même forage du village





**Figure 5.** Diagramme de piper au cours de l'année 2017–2018.

Massa s'éloigne des autres. Ceci, serait certainement dû aux activités domestiques qui déversent les eaux usées des ménages et la présence des cochons aux alentours du puits.

En général, les eaux du plateau de Mbé sont chlorurées calcique toute l'année et ne présentent pas une dynamique importante.

Les cations sont représentés à gauche et les anions à droite. Selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff (Fig. 6), les ions dominants sont les chlorures pour les anions et le magnésium pour les cations. Sur la Figure de la saison sèche, le forage de « Dieu Le Veut » présente la concentration des chlorures plus élevée que celle obtenue par Obami-Ondon et al. (2018) (saison des pluies). Le même constat est fait dans le forage d'Ingha par la concentration de  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ . On pourrait donc souligner que, pendant la saison sèche le profil des forages de Dieu le Veut, Ingha et le cours d'eau La Mary, présente un contraste très différent de la saison des pluies. Ceci peut s'expliquer par la présence des activités humaines autour des forages. Car les éléments qui présentent plus de variation sont les chlorures.

Dans le cadre de la potabilité des eaux de la région, les 120 échantillons représentés sur le diagramme de Wilcox (Fig. 7)

se répartissent en 1 seule groupe (Excellent) en saison des pluies tout comme en saison sèche.

## 5 Discussion

Sur le Plateau de Mbé, la température moyenne des eaux est de  $27^\circ\text{C}$ . Cette température correspond aux variations saisonnières des températures atmosphériques ambiantes définies par les données météorologiques ( $30^\circ\text{C}$ ). Le pH des eaux varie de 4.02 à 6.4; avec une moyenne de 5.0. Cela indique que les eaux sont acides, donc corrosifs. En effet, l'acidité des eaux a été observée dans plusieurs régions du monde. Il s'agit notamment du plateau Mbé (Essouli et al., 2019), de Brazzaville (Matini et al., 2009), des régions de Tiassalé (Oga et al., 2009), de Katiola (Oga et al., 2010) et région de San-Pédro (Lasm et al., 2011). L'acidité des eaux en zone tropicale humide est selon Matini et al. (2009) principalement liée à la décomposition de la matière organique végétale, avec la production de  $\text{CO}_2$  dans les premières couches du sol.

Les teneurs en métaux lourds observées dans les eaux de la zone sont faibles. Cela serait dû à la géologie et au manque d'industries dans la zone d'étude. Ces résultats sont en re-

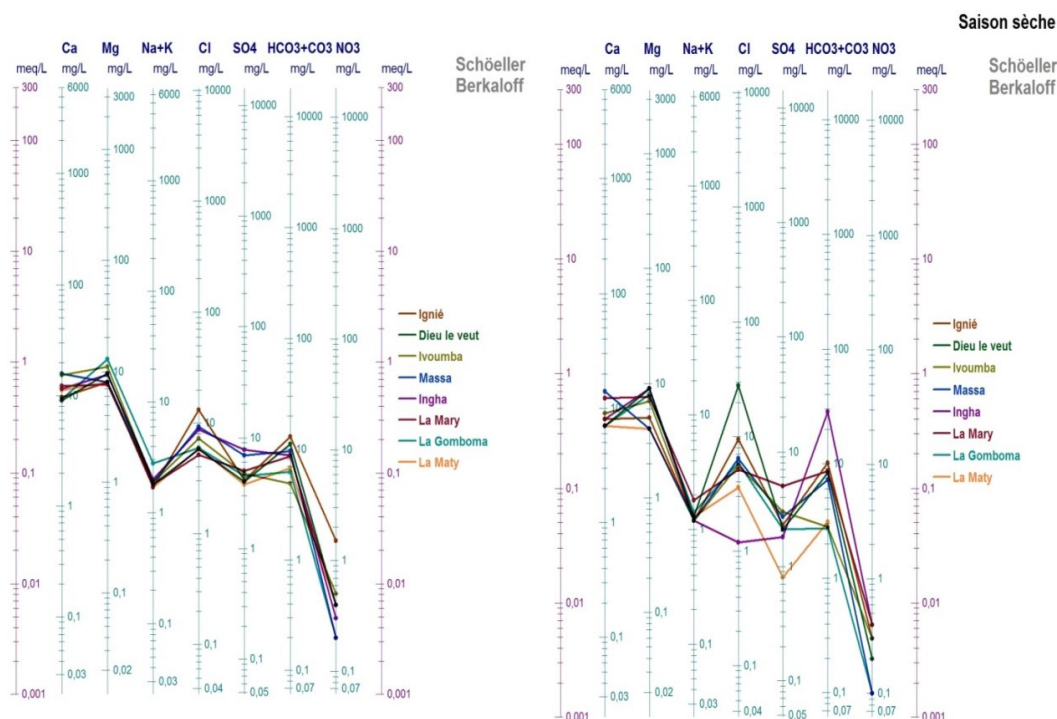


Figure 6. Diagramme de SchöellerBerkaloff entre les 2 grandes saisons.

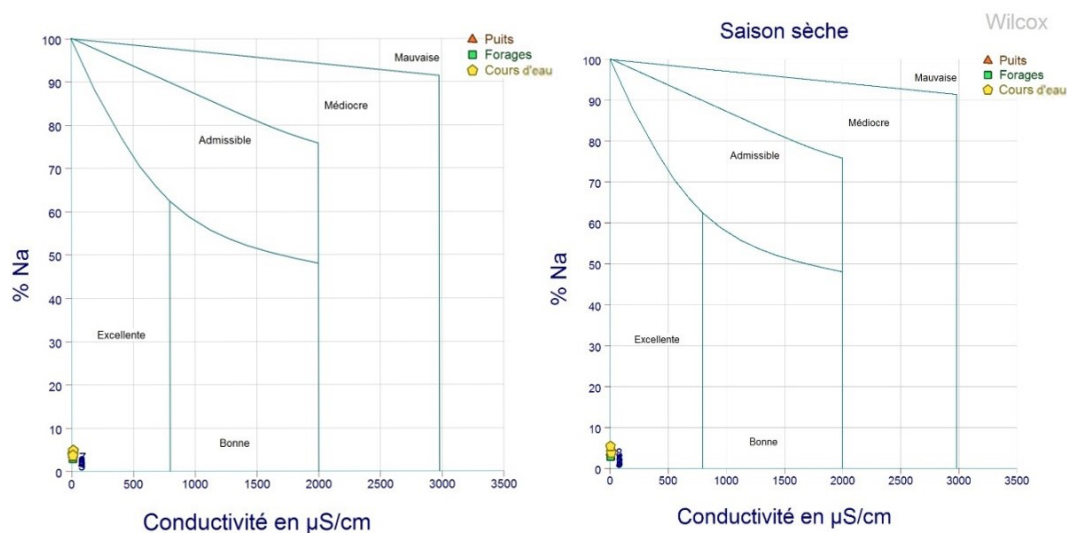


Figure 7. Diagramme de Wilcox en saison des pluies et sèche.

joignant ceux des travaux les plus récents Obami-Ondon et al. (2018) et d'Essouli et al. (2019) dans la zone d'étude.

Du point de vue hydrofaciès, les eaux de la zone d'étude appartiennent au faciès chloruré calcique. Mais, la campagne d'août 2018 (saison sèche) s'est avérée différente en présentant deux faciès, notamment : le faciès chloruré calcique et le Faciès bicarbonaté calcique. Ces résultats sont en conformité avec celui obtenu par Matini et al., 2009; Obami-Ondon et

al. (2018); Essouli et al. (2019) dans la zone d'étude. Selon ces auteurs ; la quasi-homogénéité des hydrofaciès de la zone d'étude est liée à sa faible hétérogénéité lithologique.

Les valeurs de la conductivité électrique obtenues montrent que les eaux de cette zone sont faiblement minéralisées et cela a été montré dans les travaux de Matini et al., 2009; Essouli et al. (2019). Ces résultats en majorité coïncident avec ceux Obami-Ondon et al. (2018).

## 6 Conclusions

Cette étude a permis de caractériser les paramètres physico-chimiques en suivant la variabilité saisonnière de la région. Elle a révélé que tous les paramètres mesurés pendant les quatre (04) saisons sont tous conformes aux normes de l'OMS pour les eaux de boisson et ne présentent pas une variation correspondante à la variation des saisons. Cependant, les températures des eaux de surface et souterraines sont comprises entre 24.1 et 27.1 °C, et ne présente pas une dynamique particulière en fonction des saisons ; ces températures sont proches de celles recommandées par l'OMS. Elles sont acides avec des pH qui varient entre 4.02 et 6.4 ; elles sont donc agressives. Cette variation ne suit pas celle des saisons. Quant aux valeurs de conductivité électrique, elles varient de 5.14 à 16.3 µS/cm.

En somme, nous retenons que les indices locaux de contaminations par les activités humaines sont faibles et que ces eaux peuvent être consommées sans danger majeur par les populations qui n'ont pas d'autres sources de ravitaillement en eaux.

**Collaborateurs.** HOO : il a fait la conception de la recherche, l'élaboration, la rédaction et discussion des résultats, la révision et l'acceptation de la version finale. MNM : Il a participé à la conception et élaboration de la recherche. UGM : il a participé à la discussion des résultats et la révision de la version finale avant soumission. BM : il a fait la relecture et la mise en forme de la version finale avant soumission.

**Intérêts concurrents.** The contact author has declared that neither they nor their co-authors have any competing interests.

**Clause de non-responsabilité.** Publisher's note : Copernicus Publications remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**Déclaration du numéro spécial.** This article is part of the special issue "Hydrology of Large River Basins of Africa". It is a result of the 4th International Conference on the "Hydrology of the Great Rivers of Africa", Cotonou, Benin, 13–20 November 2021.

**Remerciements.** Nous tenons à remercier la bonne collaboration de l'Ambassade de France en République du Congo (SCAC) avec l'Université Marien Ngouabi et le laboratoire HydroSciences de Montpellier (France).

## Références

- Archambault, J. : Note sur le Plateau Koukouya, BUBGEAPR., 282, Rapport ronéo 4 pp., 1960.
- Bricquet, J. P., Bamba, F., Mahe, G., Toure, M., et Olivry, J. C. : Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique, *Journal des sciences hydrologiques*, 16, 83–95, 1997.
- Directives de qualité pour l'eau de boisson : 3e Ed., volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, Genève, 2004.
- Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e Ed., intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality : 4th Ed. incorporating first addendum], Organisation mondiale de la Santé, Genève, 2017.
- Essouli, O. F., Matini, L., Miyouna, T., Fouroux, M. A., Boudzoumou, et F., Faye, S. : Prospection Hydrogéologique et Géophysique du Système Aquifère du Plateau de Mbé, District de Ngabé, Congo, *European Scientific Journal* October 2019 edition Vol. 15, No. 30 ISSN : 1857-7881 (Print) ISSN 1857-7431, 2019.
- Frédéric, L. : Fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du Miocène du bassin de Carpentras, Thèse Doctorat Hydrogéologie, LHA, Univ. Avignon, 2006.
- Hubert, P., Servat, E., Paturel, J. E., Kouame, B., Bendjoudi, H., Carbonnel, J. P., et Lubes-Niel, H. : La procédure de segmentation, dix ans après, *Publication IAHS*, 250, 267–273, 1998.
- Hudeley, H. : Etude hydrogéologique du Plateau Koukouya et de la région de Djambala, *Rapport ORSTOM*, 13 pp. + annexes, 1952.
- Lasm, T., De Lasmé, O., Oga, Y.M.-S., Youan, T. M., Baka, D., Kouamé, F., et Yao, K. T. : Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de SanPedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5, 642–662, 2011.
- Le Marechal, A. : Contribution à l'étude des plateaux batéké ; géologie, géomorphologie hydrogéologie, *Rapp.ORSrOM-Brazzaville Cote M.C.*, 137, 43 pp., 1966.
- Mahé, G. et Olivry, J. C. : Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989, *Bulletin sécheresse*, 6, 109–170, 1995.
- Matini, L., Moutou, J. M., et Kongo, M. S. : Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au sud-ouest de Brazzaville, Congo, *Afrique Science*, 5, 82–98, 2009.
- Mermollod, M. : Compte rendu de mission sur le Plateauau Koukouya, (8-12 Juin1960) rapport ronéo IRGM Brazzaville. Réf. AH-T., 20, 1961.
- Obami-Ondon, H., Mbilou, U. G., Tomodiatounga, D. N., Mabonzo, M. N., Elenga, R. G., et Mabiala, B. : Physicochemical Characterization of Water of the Plateau of Mbe in Pool-North in Republic of Congo Brazzaville, *American Journal of Environmental Protection*, 7, 40–54, <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20180703.11>, 2018.
- Oga, M. S., Lasm, T., Yao, T. K., Soro, N., Saley, M. B., Kouassi, D., et Gnamba, F. : Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture : Cas de La Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire, *European Journal of Scientific Research*, 31, 72–87, 2009.
- Oga, M. S., Gnamba, F. M., Lasm, T., Gnanagne, T., Baka, D., Soro, N., et Biemi, J. : Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de Katiola (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire), *BIO-TERRE, Revue Internationale des Sciences de la Terre*, 10, 7–25, 2010.

- Palausi, G. : Note préliminaire sur le forage du Plateauau Koukouya, BRGM Brazzaville, 1960.
- Sautter, G. : L'eau sur les Plateaux Batékés, Rapport ronéo, ORSTOM géographie Brazzaville, 1952.
- Sautter, G. : Les villages des Plateaux Batékés et le problème de l'eau, Rapport ronéo ORSTOM Géographie, Brazzaville, D35, 17 pp., 1953.
- Servat, E., Paturel, J.-E., Lubes-Niel, H., Kouame, B., Masson, J. M., Travaglio, M., et Marieu, B. : De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne, *Revue des sciences de l'eau*, 12, 363–387, 1999.