

Niveau de contamination physico-chimique et bactériologique des eaux du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire)

Wognin Affou Seraphin^{1,*}, Traoré Sylvain Gnamien¹, KPIDI Yapo Habib³, Adon Tana Pelagie² et Yapo Ossey Bernard⁴

¹Département de Biochimie-Génétique, Université Peleforo Gon Coulibaly, B.P. 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire. seraphinwn@gmail.com et traore.sylvain@csrs.ci

²Laboratoire de Microbiologie, d'Ecotoxicologie et de Radioécologie, Centre Ivoirien Anti-Pollution (CIAPOL), 04 BPV 541 Abidjan 04, Côte d'Ivoire. pelaadon@gmail.com

³Laboratoire des Sciences de l'Environnement (LSE), Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02. kpidiyapoh@gmail.com

⁴Département des sciences et gestion de l'environnement, Université Nangui Abrogoua d'Abidjan, Abidjan, Côte d'Ivoire, 02 BP 801 Abidjan 02. yapossey@gmail.com

*Auteur-Correspondant : WOGNIN Affou Séraphin, E-mail : seraphinwn@gmail.com, phone : (+2250707850875)

Submission 25th September 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31st January 2024. <https://doi.org/10.35759/JABs.193.6>

RESUME

Objectif : L'étude menée sur les eaux du fleuve Bandama en Côte d'Ivoire avait pour objectif d'évaluer le niveau de pollution bactériologique de ce plan d'eau.

Méthodologie et résultats : Quarante-huit échantillons d'eaux ont été prélevés semestriellement (Juillet et décembre) en 2019 sur 12 stations du fleuve Bandama. Les pathogènes fécaux ont été recherchés. Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ*. La variation de la température des eaux était de 27,85 à 32,2°C, du pH 6,38 à 7,34 et les teneurs en Oxygène dissous de 1,4 à 7,03 mg/L. Les analyses bactériologiques indiquaient des charges moyennes en coliformes totaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux oscillant respectivement entre 3,94 à 5,09 Log UFC/100 mL, 2,39 à 3,64 Log UFC/100 mL et 1,45 à 3,39 Log UFC/100 mL.

Conclusion et application des résultats : Les eaux du fleuve Bandama ont présenté des charges moyennes assez importantes en coliformes totaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux. Les valeurs de la température, le pH et l'oxygène dissous mesurés offrent un environnement idéal à la multiplication des microorganismes. La présence des pathogènes indicateurs de contamination fécale dans les eaux du fleuve Bandama représente un potentiel risque sanitaire pour les populations utilisatrices de ces eaux pour les activités de ménage, de pêche. Une campagne de sensibilisation à l'hygiène corporelle et du cadre de vie des populations environnantes s'avère nécessaire afin d'éviter d'éventuelles menaces sanitaires d'origine hydrique.

Mots clés : Bandama, pollution fécale, Coliformes, *Escherichia coli*, Streptocoques fécaux.

Physico-chemical and bacteriological contamination of Bandama river waters (Ivory Coast) »

ABSTRACT

Objective: The aim of the study carried out on the waters of the Bandama River in Ivory Coast was to assess the level of bacteriological pollution in this body of water.

Methodology and results: Forty-eight water samples were taken semi-annually (July and December) in 2019 at 12 stations on the Bandama River. The samples were tested for Fecal pathogens. Physico-chemical parameters were measured in situ. Water temperature ranged from 27.85 to 32.2°C, pH from 6.38 to 7.34 and dissolved oxygen levels from 1.4 to 7.03 mg/L. Bacteriological analyses showed average loads of total coliforms, *Escherichia coli* and fecal streptococci ranging respectively from 3.94 to 5.09 Log UFC/100 mL, 2.39 to 3.64 Log UFC/100 mL and 1.45 to 3.39 Log UFC/100 mL.

Conclusion and application of results: The waters of the Bandama River showed fairly high average loads of total coliforms, *Escherichia coli* and fecal streptococci. The temperature, pH and dissolved oxygen values measured provide an ideal environment for the multiplication of microorganisms. The presence of fecal contamination of the Bandama River means that these waters are likely to contain pathogenic microorganisms responsible for epidemic diseases.

The presence of pathogens indicator of fecal contamination in the waters of the Bandama River represents a potential health risk for the populations that use these waters for household activities, fishing. A campaign to raise awareness of personal and environmental hygiene among the surrounding population is necessary to avoid potential waterborne health threats.

Keywords: Bandama, fecal pollution, Coliforms, *Escherichia coli*, Fecal Streptococci

INTRODUCTION

La dégradation des écosystèmes aquatiques et surtout les ressources en eau est devenue une préoccupation mondiale (Aka *et al.*, 2013 ; Dimane *et al.*, 2017). Des travaux sur le milieu aquatique ont mis en évidence la dégradation de la qualité de ces milieux, notamment les eaux de surface (Ajonina *et al.* ; 2015 ; Kasperen *et al.*, 2016 ; Ulrich *et al.*, 2016). Cette dégradation est due à un enrichissement des plans d'eau en polluants chimiques, organiques et microbiologiques. En effet, les eaux de surface sont vulnérables à la pollution en raison du rôle qu'elles jouent en accueillant les déchets industriels, municipaux et les eaux de ruissellement des terres agricoles dans leurs bassins de drainage (Singh *et al.*, 2004). Les rejets des eaux usées domestiques dans les cours d'eau constituent le contributeur majeur de la pollution bactériologique des eaux de surface (Massoud *et al.*, 2010 ; Govindan *et al.*, 2015). En Côte d'Ivoire, les lagunes et les fleuves sont sujets à de nombreuses pressions anthropiques par les barrages hydroélectriques, l'utilisation des pesticides et des fertilisants dans l'agriculture, les rejets ponctuels et/ou diffus de détritiques et d'eaux usées de tout genre (Kouakou *et al.*, 2015 ; Gnonsoro *et al.*, 2016 ; Kadjo *et al.*, 2016). Ces eaux sont aussi le lieu d'aisance de la population riveraine n'ayant pas accès à un système de défécation approprié (Toulé *et al.*, 2017). Parmi ces cours d'eau, le fleuve Bandama dont le bassin versant occupe une super-

ficie de 97500 km² représente une sorte de cordon ombilical reliant les zones humides du Sud aux régions sèches du Nord. Il se comporte comme une artère nourricière qui entretient les conditions de vie pour l'homme (Kouassi *et al.*, 2017). Malheureusement, comme la plupart des eaux de surface, le fleuve Bandama est soumis à d'intenses pressions anthropiques qui détériorent sa qualité. Cette pollution de l'eau dont les causes sont diverses (naturelles, domestiques, agricoles ou industrielles), peut représenter une véritable source de maladies d'origine bactérienne et chimique. La prévention et le contrôle de la pollution des eaux de surface doivent reposer sur une analyse fiable de la qualité de l'eau et l'identification des sources de polluants (Shrestha & Kazama, 2007 ; Khatri & Tyagi, 2015). Il est donc nécessaire d'évaluer la qualité des principales eaux de surface dont le fleuve Bandama qui est l'un des principaux réceptacles des eaux usées industrielles, municipales et hospitalières non traitées. C'est donc dans ce cadre que s'inscrit cette étude qui vise à évaluer le niveau de pollution bactériologique du fleuve Bandama. De manière spécifique, il s'est agi de : (i) mesurer quelques paramètres physico-chimiques (température, pH et oxygène dissous) ; (ii) déterminer les niveaux de contamination bactériologique des eaux par l'isolement des pathogènes indicateurs de contamination que sont *E. coli*, les coliformes totaux, les Streptocoques fécaux et *Clostridium perfringens*.

MATERIEL ET METHODES

Matériel d'étude : Le matériel d'étude est composé d'échantillons d'eau prélevés du fleuve Bandama.

Matériel de prélèvement : Le matériel de prélèvement est composé de flacons stériles de 500 mL (bouteille en pyrex) servant à recueillir les échantillons, de glacière contenant des

carboglaces congelées pour le transport des échantillons sous régime de froid (+4°C).

Méthodes

Échantillonnage : Il a été réalisé durant la période 2018-2019 avec une campagne par semestre, soit 2 fois par an (les mois de Juillet et décembre). Au total, 48 échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de douze (12)

stations de prélèvement du fleuve Bandama (Figure 1) et les coordonnées GPS des stations de prélèvement ont été répertoriées dans le Tableau 1. Des mesures *in situ* de température, de pH et d'oxygène dissous ont été effectuées. Les flacons contenant les prélèvements ont été

rangés dans une glacière avec des carboglaces, puis acheminés au Laboratoire Central de l'Environnement du Centre Ivoirien Anti-Pollution (CIAPOL) pour les analyses bactériologiques.

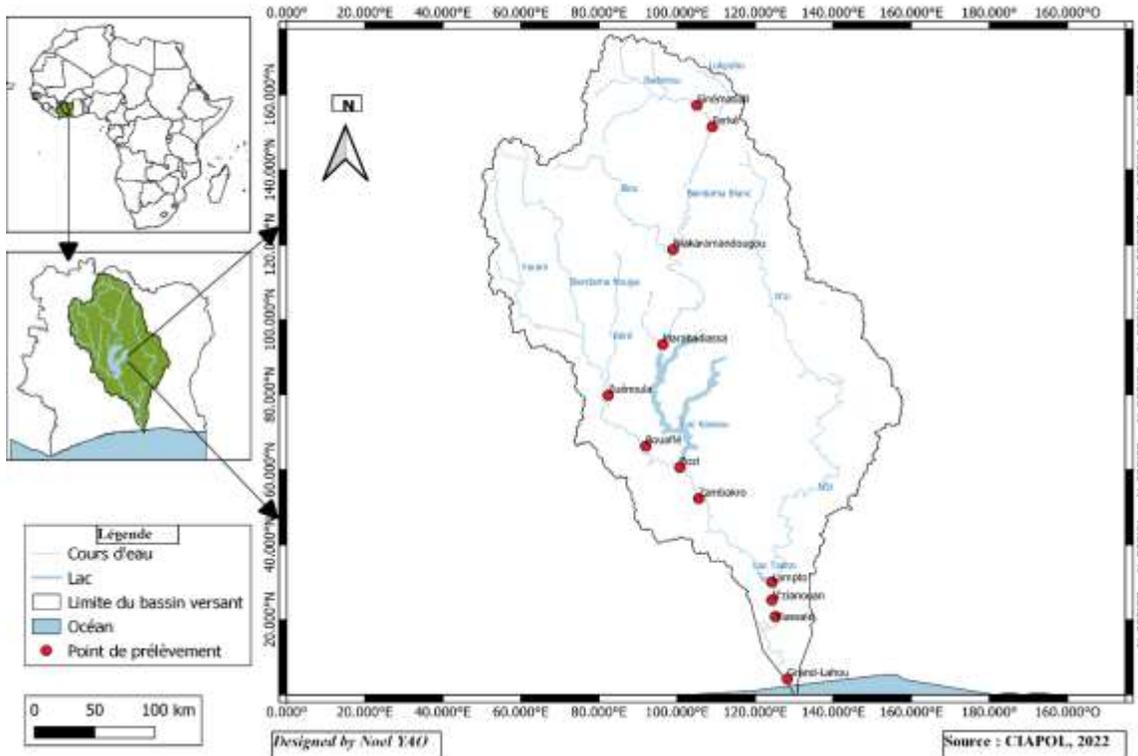


Figure 1 : Carte du bassin versant du Bandama et les douze stations de prélèvements

Tableau 1 : Coordonnées GPS des stations de prélèvements

| Stations | Coordonnées GPS | |
|------------------|-----------------|-------------|
| | Latitude N | Longitude W |
| Grand-Lahou | 05°15,780' | 004°58,025' |
| Tiassalé | 05°53,072' | 004°49,537' |
| N'Zianoua | 06°00,261' | 004°49,330' |
| Lampto | 06°12,784' | 005°01,480' |
| Zambakro | 06°43,893' | 005°25,276' |
| Bozi | 06°54,855' | 005°31,715' |
| Bouaflé | 06°58,817' | 005°45,320' |
| Zuenoula | 07°34,989' | 006°07,135' |
| Marabadiassa | 08°06,768' | 005°27,375' |
| Niakaramandougou | 08°45,792' | 005°31,586' |
| Sinémantiali | 09°36,181' | 005°19,558' |
| Ferké 2 | 09°18,884' | 005°21,831' |

Préparation des milieux de culture : Les milieux de culture utilisés lors de cette étude ont été préparés conformément aux indications des fabricants.

Déterminations des différents paramètres

Détermination des paramètres *in situ* : Les paramètres *in situ* mesurés sont la température, le pH et l’oxygène dissous respectivement selon les méthodes NFT 90-100, NFT 90-008 et NF EN 25814. Les mesures ont été faites à l’aide des sondes multi paramétriques HACH.

Dénombrement des indicateurs de contamination

Dénombrement des Coliformes totaux et *Escherichia coli* : Le dénombrement des coliformes totaux et *Escherichia coli* a été réalisé respectivement selon la norme NF ISO 4832 pour le dénombrement des coliformes dans les produits destinés à l’alimentation humaine, et suivant le protocole ISO 16140. Le milieu Rapid-*E. coli* a été utilisé et la technique d’ensemencement était la filtration sur membrane de porosité 0,45µm. Ainsi, 1 mL de chaque échantillon et de ses dilutions 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³ a été prélevé puis filtré sur la membrane à l’aide d’une rampe de filtration. Après cela, chaque membrane a été retirée et déposée dans des boîtes de Pétri contenant la gélose Rapid-*E. coli* puis incubées à 37°C pendant 24 heures. Les colonies caractéristiques sont de couleur rose à violet pour *Escherichia coli* et l’ensemble des colonies de couleur bleue et rose à violet sont des Coliformes totaux.

Dénombrement des Streptocoques fécaux : Le dénombrement des streptocoques fécaux s’est effectué sur le milieu Bile Esculine Azide (BEA) (Norme ISO 7899-2). La technique d’ensemencement était la filtration sur membrane de porosité 0,45µm. Pour ce faire,

5mL et 1mL de chaque échantillon puis 1mL de la dilution 10⁻¹ de l’échantillon ont été prélevés et filtrés. L’incubation a été faite à 37°C pendant 24 heures. Après incubation, les colonies entourées d’halo noir ont été prises en compte.

Expression des résultats

Calcul du nombre de microorganismes : Le calcul du nombre N de microorganismes s’est fait à l’aide de la formule ci-dessous :

$$N = \log \frac{\sum \text{Colonies}}{\sum \text{Vf.d}} \times 100$$

Avec :

N : Nombre de bactéries par 100 mL d’eau, exprimé par log UFC colonies : somme des colonies des membranes interprétables ;

ΣVf : Somme des volumes d’eaux filtré sur les membranes interprétables (en mL) ;

d : Facteur de dilution.

Traitement statistique : Les traitements statistiques et les représentations graphiques ont été réalisés respectivement à l’aide du logiciel graphpad prism version 8.0 et Excel 2016.

L’analyse de variance a été effectuée avec le logiciel graphpad prism version 8.0 pour étudier le degré de différence entre les différents paramètres étudiés. En cas de différence significative entre les paramètres étudiés, le classement des moyennes (groupes homogènes) est effectué avec le test de Tukey. Le seuil de signification (α) est de 0,05. Les différences statistiques avec une valeur de probabilité inférieure à 0,05 sont considérées comme significatives. Quand la probabilité est supérieure à 0,05, les différences statistiques ne sont pas significatives.

RÉSULTATS

Variation de la température : La température des eaux du fleuve Bandama varie autour de 30°C. La plus faible valeur a été obtenue à Sinématiali (27,85°C). Par contre, la plus

grande valeur est mesurée à Niakaramadougou (32,2°C) (Tableau 2). Les coefficients de variations (CV) compris entre 1,5 et 9,4% (inférieur à 30%) montrent que la température

ne varie pas significativement d’un site à un autre. Il n’existe aucune différence significative entre les températures moyennes des eaux du fleuve Bandama ($p > 0,05$).

Tableau 2 : Variation de la température des eaux du fleuve Bandama

| Sites de prélèvements | Température (°C) | CV (%) |
|-----------------------|---------------------------|--------|
| Grand Lahou | 30,85 ± 1,34 ^a | 4,34 |
| Tiassalé | 29,35 ± 2,05 ^a | 6,98 |
| N’Zianouan | 29 ± 0,99 ^a | 3,41 |
| Lamto | 28,2 ± 1,55 ^a | 5,5 |
| Zambakro | 28,2 ± 0,85 ^a | 3,01 |
| Bozi | 31,15 ± 0,49 ^a | 1,57 |
| Bouaflé | 30,5 ± 1,98 ^a | 6,49 |
| Zuénoula | 29,75 ± 2,76 ^a | 9,28 |
| Marabadiassa | 29,05 ± 1,77 ^a | 6,09 |
| Niakaramadougou | 32,2 ± 2,12 ^a | 6,58 |
| Sinématiali | 27,85 ± 2,33 ^a | 8,37 |
| Ferkessédougou | 29,35 ± 2,76 ^a | 9,40 |

Les valeurs portant les mêmes lettres sont égales selon le test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Variation du pH dans les eaux : Les valeurs de pH montrent une neutralité des eaux du fleuve Bandama. Les coefficients de variations restent inférieurs à 30%, ce qui signifie que le pH varie très faiblement d’un site à l’autre et est compris entre 6,38 et 7,34 comme l’indique

le Tableau 3. Ces valeurs de pH sont conformes aux valeurs guides des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux de surface (5,5-9). Aucune différence significative ($p > 0,05$) n’a été obtenue.

Tableau 3 : Variation du pH des eaux du fleuve Bandama

| Site de prélèvements | pH | CV (%) |
|----------------------|--------------------------|--------|
| Grand Lahou | 7,16 ± 0,07 ^a | 0,98 |
| Tiassalé | 7,34 ± 0,04 ^a | 0,54 |
| N’Zianouan | 6,98 ± 0,63 ^a | 9,02 |
| Lamto | 7,04 ± 0,52 ^a | 7,39 |
| Zambakro | 7,11 ± 0,17 ^a | 2,39 |
| Bozi | 7,32 ± 0,13 ^a | 1,77 |
| Bouaflé | 7,34 ± 0,25 ^a | 3,4 |
| Zuénoula | 7,11 ± 0,4 ^a | 5,62 |
| Marabadiassa | 7,32 ± 0,14 ^a | 1,91 |
| Niakaramadougou | 7,09 ± 0,47 ^a | 6,63 |
| Sinématiali | 6,5 ± 0,28 ^a | 4,31 |
| Ferkessédougou | 6,38 ± 0,07 ^a | 1,1 |

Les valeurs portant les mêmes lettres sont égales selon le test de tukey ($\alpha = 0,05$)

Variation en oxygène dissous : Les teneurs moyennes en oxygène dissous varient différemment d’un site à l’autre. La plus faible concentration moyenne en oxygène dissous a été obtenue dans l’eau provenant de Ferkessédougou (1,4 mg/L), tandis que la concentration la plus élevée est obtenue à Tiassalé (7,03 mg/L). Les coefficients de variation sont compris entre 1,66 et 24,28%,

inférieur à 30%, ce qui signifie que les teneurs moyennes en oxygène dissous ne varient pas significativement d’un site à un autre. Il n’existe pas de différences significatives ($p > 0,05$) entre les concentrations moyennes en oxygène dissous des sites de Grand-Lahou, N’Zianouan, Lamto et Ferkessédougou (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Variation de l’oxygène dissous (mg/L) des eaux du fleuve Bandama

| Sites prélèvements | Oxygène dissout | CV |
|--------------------|---------------------------|-------|
| Grand Lahou | 6,56 ± 0,47 ^a | 7,16 |
| Tiassalé | 7,03 ± 0,77 ^a | 10,95 |
| N’Zianouan | 3,46 ± 0,06 ^b | 1,73 |
| Lamto | 2,96 ± 0,05 ^{bc} | 1,69 |
| Zambakro | 6,62 ± 0,11 ^a | 1,66 |
| Bozi | 6,16 ± 0,6 ^a | 9,74 |
| Bouaflé | 5,48 ± 1,5 ^{ab} | 27,37 |
| Zuénoula | 5,67 ± 0,11 ^{ab} | 1,94 |
| Marabadiassa | 6,63 ± 0,37 ^a | 5,58 |
| Niakaramadougou | 5,03 ± 0,1 ^{ab} | 1,99 |
| Sinématiali | 4,65 ± 0,27 ^{ab} | 5,81 |
| Ferkessédougou | 1,4 ± 0,34 ^{bd} | 24,28 |

Les valeurs portant les mêmes lettres sont égales selon le test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Les indicateurs de contamination fécale

Les coliformes totaux : Les résultats obtenus montrent que les échantillons d’eau du fleuve Bandama analysés contiennent des charges moyennes en coliformes totaux qui varient de 3,91 à 5,59 Log UFC/100 mL. Les tests statistiques révèlent qu’il n’existe aucune

différence significative ($p > 0,05$) entre les charges moyennes de coliformes totaux obtenus dans ces échantillons analysés au seuil $\alpha = 0,05$. La charge la plus élevée (5,59 Log UFC/100 mL) est obtenue à Bouaflé et, la charge la plus faible (3,91 Log UFC/100 mL) a été obtenue à Sinématiali (**Figure 2**).

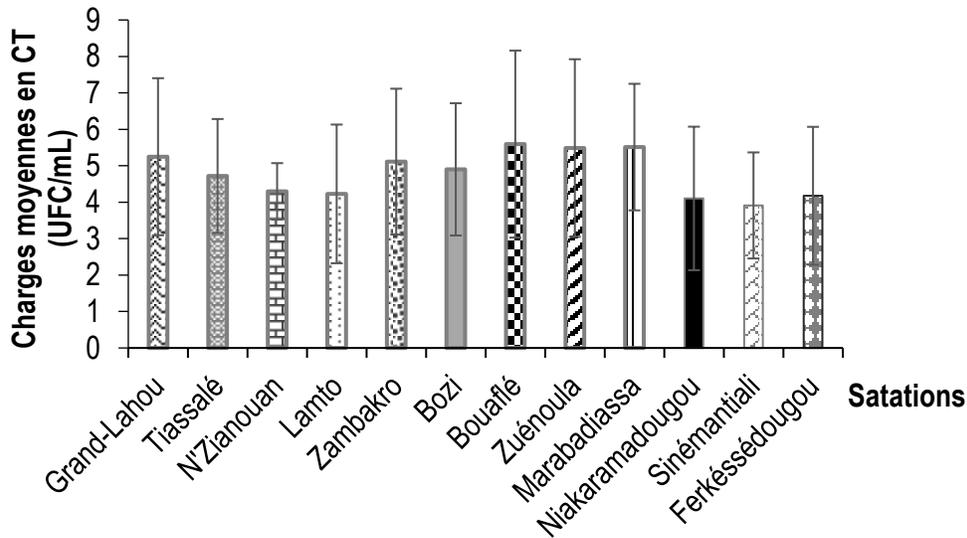


Figure 2 : Variation des charges de coliformes totaux (Log UFC/100 mL) des eaux du fleuve Bandama

Charges en *Escherichia coli* : La **Figure 3** montre des charges moyennes d'*Escherichia coli* allant de 2,47 à 4,48 Log UFC/100 mL dans les eaux prélevées. Il n'existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les différentes charges moyennes d'*Escherichia*

coli observées dans les échantillons d'eau. La charge la plus élevée et la charge la moins élevée se trouvent respectivement dans l'échantillon de Grand-Lahou et Sinématiali avec des charges respectives de 4,48 Log UFC/100 mL et de 2,47 Log UFC/100 mL.

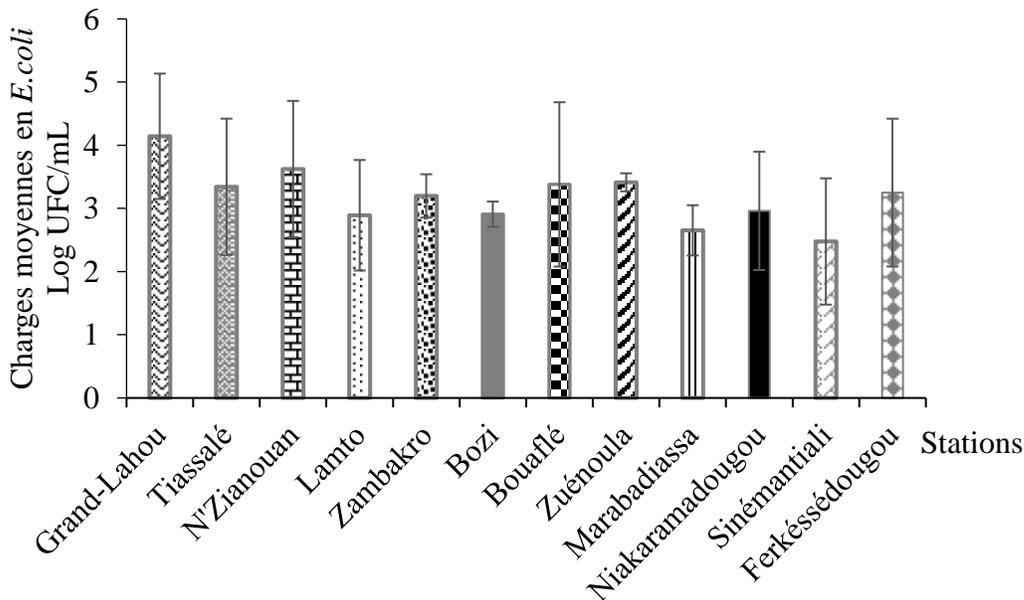


Figure 3 : Variation des charges en *Escherichia coli* (Log UFC/100 mL) des eaux du fleuve Bandama

Charges en Streptocoques fécaux : Les résultats obtenus montrent des charges moyennes en Streptocoques fécaux qui oscillent entre 1,65 et 3,67 Log UFC /100 mL. Ainsi, on note une charge plus élevée de streptocoques sur le site de Bouaflé (3,67 Log

UFC /100 mL) tandis que la charge dans l’échantillon de Niakaramadougou est la plus basse avec une valeur de 1,65 Log UFC/100 mL (**Figure 4**). Il n’existe aucune différence significative entre les différentes charges moyennes ($p > 0,05$).

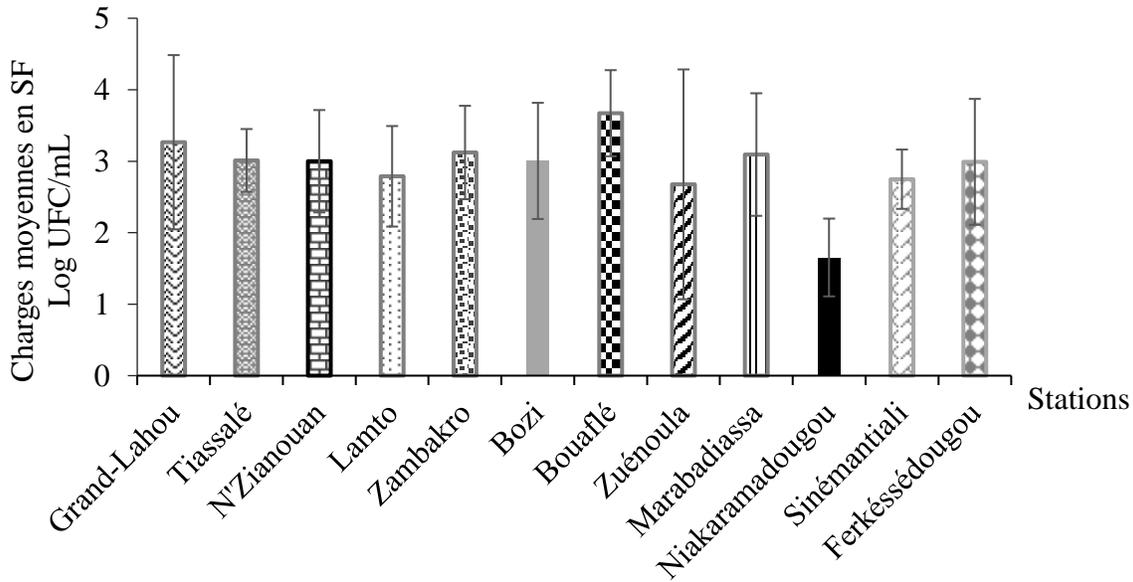


Figure 4 : Variation des charges de streptocoques fécaux (Log UFC/100 mL) des eaux du fleuve Bandama

DISCUSSION

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux du fleuve Bandama ont permis d’observer des valeurs de température qui varient entre 27,85 et 32,2°C, des valeurs moyennes de pH comprises entre 6,38 et 7,34 et des concentrations moyennes en oxygène dissous qui oscillent entre 1,4 à 7,03 mg/L. Des charges moyennes importantes en Coliformes totaux, d’*Escherichia coli* et des Streptocoques fécaux ont été observées dans les échantillons d’eaux. Les températures moyennes observées supérieures à 15°C sont favorables au développement des microorganismes en général et à celui des coliformes en particulier, compte tenu du fait que ces pathogènes sont des bactéries mésophiles. Nos résultats, du point de vue de la température, sont similaires à ceux obtenus par Toulé *et al.* (2017) sur la lagune Ebrié

(28,2°C à 30,1°C), par Diaya (2016) sur les eaux du fleuve Sassandra (26,72 °C à 29,51°C) et par Kambiré (2014) sur la lagune Aby (26,9°C à 29,4°C). Dans l’ensemble, le pH des eaux du fleuve Bandama est propice au développement de la plupart des microorganismes en général, et à celui des coliformes en particulier. Les valeurs obtenues par Toulé *et al.*, 2017 sur la lagune Ebrié (5,7 à 7,6), par Diaya (2016) sur les eaux du fleuve Sassandra (7,02 à 7,46) et par Kambiré (2014) sur la lagune Aby (6,5 à 7,6), sont identiques à celles obtenues dans cette étude (6,38 à 7,34). Selon Rodier *et al.* (2009), la concentration en oxygène dissous est en lien avec les facteurs physiques (température, échange atmosphérique et salinité), chimique (oxydation chimique) et biochimique (photosynthèse, respiration, régénération).

Cette teneur en oxygène dissous diminue en raison de sa plus faible solubilité mais aussi à cause de la consommation accrue par les êtres vivants et les bactéries qui se multiplient lorsque la température augmente. Les concentrations en oxygènes dissous obtenues dans cette étude (1,4 et 7,03 mg/L) restent différentes de celles obtenues par Diaya (2016) sur le fleuve Sassandra et Kambiré *et al.*, (2012) sur lagune Aby. En effet, ces auteurs ont obtenu des concentrations moyennes qui variaient respectivement de 4,4 à 8,2 mg/L et de 5,8 à 6,98 mg/L. Les résultats de cette étude montrent que les sites de Grand-Lahou, Tiassalé, Marabadiassa, Zambakro, Bozi présentent des concentrations en oxygène dissous élevées. Ces valeurs pourraient être attribuées au débit important enregistré des eaux du fleuve Bandama au cours de la période d'étude. En effet, le débit élevé peut augmenter l'échange de l'oxygène avec l'atmosphère et faciliter ainsi la circulation de l'air et par la suite influencer la concentration en oxygène dissous (Makhoukh *et al.*, 2011). Aussi, observe-t-on des faibles teneurs en oxygène dissous dans les eaux de Ferkessedougou, Lamto et N'Zianouan. Ces faibles teneurs en oxygène dissous observées à ces stations résulteraient de la charge organique des rejets émanant des habitations environnant les sites. L'oxygène dissous se réduit par l'activité des bactéries en décomposant la matière organique présente (Makhoukh *et al.*, 2011 ; Fekhaoui & Patee, 1993). Les résultats de l'analyse bactériologique des eaux du fleuve Bandama montrent que les charges moyennes en

coliformes totaux, *E. coli*, et streptocoques fécaux ont varié respectivement de 3,91 à 5,59 Log UFC/ 100 mL, de 2,47 à 4,48 Log UFC/100 mL et de 1,65 à 3,47 Log UFC/100 mL. Au regard des charges moyennes en *E. coli* et en Streptocoques fécaux, les eaux des stations de Grand-Lahou, Bouaflé, N'zianouan et Zuénoula sont de mauvaise qualité (charges en *E. coli* et Streptocoques fécaux supérieures à 3,3 log UFC/100 mL) pour les loisirs et sports aquatiques selon les normes du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable du Canada et l'Agence de l'eau du Canada. Ces charges élevées en indicateurs de contaminations fécales sur ces sites résulteraient soit des installations sanitaires construites non loin des différents sites ou soit à la présence d'élevage de bétail. Ce qui participerait significativement donc à l'apport d'un grand nombre de pathogènes de contamination fécale. Selon Ahoussi *et al.* (2012), la présence de ces indicateurs de contamination dans les eaux traduit une pollution microbiologique d'origine animale ou humaine. Concernant les Streptocoques fécaux, les résultats sont presque identiques à ceux obtenus par Kambiré *et al.* (2012), dans une étude réalisée dans les eaux de la lagune Aby. En effet, ces auteurs ont obtenu des charges moyennes en Streptocoques fécaux qui oscillaient entre 1,18 à 2,63 Log UFC/100 mL. Pour ce qui est de *E. coli*, ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ahoussi *et al.* (2012) qui ont observé des charges en *E. coli* qui étaient comprises entre 2,65 et 4,18 Log UFC/100 mL.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude a permis de déterminer le niveau de contamination des eaux du fleuve Bandama. Les résultats ont révélé des charges moyennes assez importantes en coliformes totaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux principalement dans les stations de Grand-Lahou, Bouaflé, N'zianouan et Zuénoula. Ces résultats indiquent que les normes d'hygiène et

de protection de ce plan d'eau ne sont pas correctement respectées au niveau de ces stations. Les niveaux élevés enregistrés pour les indicateurs de contamination fécale indiquent une insuffisance dans l'application de la réglementation en matière environnementale. La présence des indicateurs de contamination fécale dans les eaux du

le fleuve Bandama représente un potentiel risque sanitaire pour les populations utilisatrices de ces eaux pour les activités de ménage, de pêche. Le fleuve Bandama serait donc par endroit impropre à l'activité humaine. Une

campagne de sensibilisation à l'hygiène corporelle et du cadre de vie des populations environnantes s'avère nécessaire afin d'éviter d'éventuelles menaces sanitaires d'origine hydrique.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Centre Ivoirien Antipollution, l'Université Peleforo Gon Coulibaly, l'Institut National d'Hygiène

Publique (INHP) et le Center for Disease Control and Prevention (CDC) pour leurs contributions à la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- Ahoussi KKY., Kouassi A., Soro G., Soro N., Biémi J., 2012. Caractérisation Physico-chimique et Bactériologique des Ressources en eau des localités Sstuées aux abords de la lagune Ébrié dans la commune de Marcory (District d'Abidjan, Côte Ivoire) : cas du village d'Abia Koumassi. *Euro. Journal. Sciences. Resource*, 89(3) : 359-383.
- Ahoussi KKY., Kouassi A., Soro G., Soro N., et Biémi J., 2012. Caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'ZI : cas de la commune de N'Zianouan (Sud de la Côte Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4) : 1854-1873.
- Ajonina C., Buzie C., Rubiandini RH., Otterpohl R., 2015. Microbial pathogens in wastewater treatment plants (WWTP) in Hamburg. *J Toxicol Environ Health A.*, 78 (6) :381. doi.org/10.1080/15287394.2014.989626.
- Aka N., Bamba S., Soro G., Soro N., 2013. Étude hydrochimique et microbiologique des nappes d'Altérites sous climat tropical humide : cas du Département d'Abengourou (Sud-est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss*, ISSN 1112-3680, 6, 31-52.
- Ayeche R., 2012. Treatment by coagulation flocculation of dairy wastewater with the residual lime of National Algerian Industrial Gases Company (NIGC-Annaba). *Energy procedia*, 18, 147-156.
- Borrego AF., and Romero P., 1982. Study of microbiological pollution of malaga littoral area II, Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci, 8^{ème} journée études. *Pollution Cannes*, 561-569 pp.
- Dimane F., Haboubi K., Hanafi I., El Himri A., Aridaloussi K., 2017. Impact des facteurs de pollution sur la qualité des eaux de la zone aval de la vallée de l'oued Nekor (Al-Hoceima, Maroc). *European Scientific Journal*, 13(3), 43-60.
- Diaya S., 2016. Caractérisation physico-chimique des eaux du fleuve Sassandra dans le département de Soubré. Mémoire de master. Université Nangui Abrogoua. 68 p.
- Fekhaoui M., Pattee E., 1993. Impact de la ville de Fés sur l'oued Sebou : étude physico-chimique. *Bull. Ins.Sci. (Rabat)*, 17 : 1-12.
- Gnonsoro UP., Yao KM., Yao BL., Kouassi NLB., Dembele A., Métongo SB., Kouassi AM., Trokourey A., 2016. Aldicarbe et crimidine dans les eaux et les sédiments aux alentours de la décharge municipale d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire) : niveaux et fréquences de contamination. *International Journal of*

- Biologicaland Chemical Sciences 10(1): 400-411.
- Govindan K, Diabat A, and Shankar K M, 2015. Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach. *Journal of cleaner production*, 96, 182-193.
- Kadjo V, Ethchian OA, Blé CM, Soro D, Yapi J-N, Otchoumou A, 2016. Caractérisation de la pêche aux crevettes d'eau douce *Atyascabra* (Leach, 1815) (Decapoda: Atyidae) dans la rivière Bia, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biologicaland Chemical Sciences* 10(2): 620-631.
- Kambiré O., 2014. Surveillance des eaux de surface : cas de la pollution bactériologique et organique de la lagune Aby, Thèse de doctorat. Université Nangui Abrogoua Abidjan. 182 p.
- Kambiré O., Adingra AA., Kakou AC., Koffi NR., 2012. Indicateurs de pollution fécale dans une lagune tropicale à forte influence continentale (Lagune Aby, Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, 24(2) : 89-100.
- Kaspersen BS., Jacobsen TV., Butts MB., Boegh E., Müller H G., Stutter M., Kjaer T., 2016. Integrating climate change mitigation into river basin management planning for the Water Framework Directive—A Danish case. *Environmental Science & Policy*, 55:141-150.
- Khatri N., and Tyagi S., 2015. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in life science*, 8(1) : 23-39.
- Koffi NR., Assi-Clair BJ., Koussémon M., Wognin AS., 2012. Origine des témoins de contamination fécale de l'eau d'arrosage de la laitue (*lactuca sativa*) cultivée dans la zone péri-urbaine d'Abidjan. *Journal of Applied Biosciences*. 52: 3669 - 3675.
- Kouakou R., Kouassi AM., Kwa-Koffi EK., Gnonsoro UP., Trokourey A., 2015. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in a tropical coastal lagoon (Grand-Lahou lagoon, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biologicaland Chemical Sciences*, 9(2): 1120-1129.
- Kouassi AM., Assoko AVS, Kouakou KE., Djè KB., Kouame KF., Biémi J., 2017. Analyse des impacts hydrologiques de la variabilité climatique en Afrique de l'ouest: cas du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, 31;19- 40
- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Clooster MV., 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, 1112 (3680) : 149-169.
- Malek A., Kahoul M., and Bouguerra H., 2019. Groundwater's physicochemical and bacteriological assessment: Case study of well water in the region of Sedrata, North-East of Algeria. *Journal of Water and Land Developpement*, (41).
- Massoud MA., Fayad R., El-Fadel M., Kamleh R., 2010. Drivers, barriers and incentives to implementing environmental management systems in the food industry: A case of Lebanon. *Journal of cleaner production*, 18(3), 200-209.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. L'analyse de l'eau. Dunod. Paris, France, 820p.
- Shrestha S., and Kazama F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475.
- Toulé AC., Adingra A., Kouadio NN., Kambiré O., Koffi NR., Koussémon

M., 2017. Physicochemical and bacteriological characterization of waters in Layo and Jacquville aquaculture stations (Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6): 2842-2855.