

Paramètres physico-chimiques des eaux du bassin du Haut-Bandama (Côte d'Ivoire)

Tieligounon Ali SORO^{*(1)}, Kigbavori Dieudonné SILUÉ⁽²⁾, Zéré Marius GOGBÉ⁽³⁾, Lacina COULIBALY⁽⁴⁾,
Gouli GOORÉ BI⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratoire Milieux Naturel et Conservation de la Biodiversité, et ⁽²⁾Laboratoire de Biologie et santé,
Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

⁽³⁾Dépt. de Biologie Animale, UFR Sc. Biologiques, Université Péléforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

⁽⁴⁾Laboratoire de chimie, SUCAF-CI Ferkessedougou, Côte d'Ivoire

Article Info

Article history:

Received 12/10/2020

Revised 16/12/2031

Accepted 19/12/2021

Keywords:

Upper Bandama, Lokpoho
river, Bandama river,
Physico-chemical, water

Mots clés

Haut-Bandama, Rivière
Lokpoho, fleuve Bandama,
Physico-chimique, eau

ABSTRACT

The objective of this study is to characterize the physico-chemical environment of the Upper Bandama basin waters. The physical parameters were measured in-situ with the appropriate equipment. For the analysis of the chemical parameters, one liter of water was taken from each station and then measured in the laboratory using a NALCO DR900 multi-parameter. Sampling was done 3 times during the dry season and 4 times during the rainy season, from October 2017 to September 2018. The analyses show that the seasonal variations of the physico-chemical parameters are much more pronounced than their spatial variations. Moreover, the variations of physico-chemical parameters during the rainy season are also more heterogeneous than those during the dry season. Dissolved oxygen, water velocity, silicon content, temperature and ions (nitrate, nitrite, phosphate, ammonium, zinc and chlorine) have higher average values in the rainy season than in the dry season. On the other hand, average values for conductivity, potassium, transparency and pH are higher in the dry season than in the rainy season. Besides, the stations in the lake areas are the most mineralized in the Upper Bandama basin. We can be retained that agropastoral and industrial activities contribute to increase the concentrations of chemical elements in the waters of Upper Bandama, and that the physical parameters are rather influenced by climatic variations.

RESUME

L'objectif de la présente étude est de caractériser l'environnement physico-chimique des eaux du bassin du Haut-Bandama. Les mesures des paramètres physiques ont été réalisées *in-situ* avec le matériel adapté. Pour l'analyse des paramètres chimiques, un litre d'eau a été prélevé sur chaque station puis dosé au laboratoire à l'aide d'un multiparamètre NALCO DR900. Les échantillonnages ont été faits 3 fois en saison sèche et 4 fois en saison des pluies, d'octobre 2017 à septembre 2018. Il ressort des analyses que les variations saisonnières des paramètres physico-chimiques sont beaucoup plus marquées que leurs variations spatiales. De plus, les variations des paramètres physico-chimiques au cours de la saison des pluies sont également plus hétérogènes que celles de la saison sèche. L'oxygène dissous, la vitesse de l'eau, le taux de silicium, la température et les ions (le nitrate, le nitrite, le phosphate, l'ammonium, le zinc et le chlore) ont des valeurs moyennes plus élevées en saison des pluies qu'en saison sèche. En revanche, les valeurs moyennes de la conductivité, le potassium, la transparence et le pH sont plus élevées en saison sèche qu'en saison des pluies. Par ailleurs, les stations des zones lacustres sont les plus minéralisées dans le bassin du Haut-Bandama. On peut retenir de cette étude que les activités agropastorales et industrielle participent à augmenter les concentrations des éléments chimiques dans les eaux du Haut-Bandama, et que les paramètres physiques sont plutôt influencés par les variations climatiques.

Corresponding Author: tieligounon@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle indispensable pour la survie de l'humanité et pour toute espèce animale ou végétale. Elle constitue une ressource importante pour la pratique des activités humaines (agriculture, élevage, activités industrielles, etc.). Malheureusement, toutes les eaux de la terre ne sont pas utilisables pour les besoins des hommes. L'eau douce utilisable représente seulement 0,32 % du volume total d'eau sur la terre (Detay, 2003). En effet, la pérennité d'une ressource suffisante et de qualité en eau pour satisfaire les besoins d'une population en forte croissance démographique demeure l'une des préoccupations majeures à travers le monde (Nyamsi et al., 2014). En Côte d'Ivoire, les eaux douces utilisables pour les besoins humains sont réparties dans quatre principaux bassins fluviaux : le Cavally, le Sassandra, la Comoé et le Bandama. Ce dernier, qui prend sa source au Nord, est le seul fleuve entièrement situé en Côte d'Ivoire. Le Bandama est divisé en deux grandes parties : le Bas-Bandama (partie Sud du bassin) et le Haut-Bandama (partie Nord du bassin) (Lévêque et al., 1983). Le bassin du Haut-Bandama est l'un des principaux bassins qui irriguent, pendant toute l'année, les savanes ivoiriennes.

Cette zone des savanes ivoiriennes a subi au cours des années 1970 l'une des sécheresses les plus importantes du vingtième siècle (Soro et al., 2013). Cette sécheresse a emmené l'État ivoirien à créer des barrages hydroagricoles dans le Nord. Parmi ces barrages, le barrage Lopkoho, construit sur la rivière Lokpoho, et le barrage Morrisson, construit sur le cours principal du fleuve Bandama, font partie des grands barrages les plus importants de la région des savanes. La construction de ces deux barrages a créé deux réservoirs d'eau douce importants pour le développement de l'agriculture et l'élevage dans la région (Sarr, 2010). Ce développement agropastoral a favorisé une augmentation des activités anthropiques aux alentours des cours d'eau du bassin du Haut-Bandama. Cependant, toutes ces variations anthropiques ne restent pas sans conséquence sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux du bassin du Haut-Bandama. Pourtant, il n'existe pas encore d'étude sur la qualité physico-chimique des eaux de cette partie de la Côte d'Ivoire. Ainsi, l'absence de données relative aux paramètres physico-chimiques et la nécessité de mobiliser des données de base pour la gestion durable des eaux du bassin du Haut-Bandama, face au développement des activités agropastorales et aux changements climatiques, ont suscités cette étude.

L'objectif de la présente étude est de caractériser l'environnement physico-chimique des eaux du bassin du Haut-Bandama dans le but d'avoir une base de données pour les études hydrologiques postérieures d'une part et d'autre part, afin d'aider à une gestion durable des ressources aquatiques et pour la surveillance de ces eaux.

MATERIEL ET METHODES

1-Milieu d'étude

Le bassin du Haut-Bandama est localisé au Nord de la Côte d'Ivoire, entre les longitudes 3°50 et 7° Ouest et entre les latitudes 5° et 10°20 Nord (Figure 1). Le climat est de type tropical sub-humide ou sub-soudanien de transition (Guillaumet et Adjanohoun, 1971), avec deux saisons : l'une humide (juin à septembre) et l'autre sèche (octobre à mai). Au cours de la saison sèche, de décembre à février, le bassin du Haut-Bandama est également soumis à l'harmattan (alizé boréal) qui est un vent chaud et sec en provenance du Sahara. La pluviométrie annuelle est de 1 200 mm avec un régime uni-modal centré en août-septembre. Durant cette période, 600 à 700 mm de pluie soit 50 à 60 % de la pluviométrie annuelle totale sont enregistrés (Péné et Kéhé, 2005). Un total de huit stations a été visité. Cinq de ces stations sont situées sur la rivière Lokpoho et trois stations sur le cours principal du fleuve Bandama. Le choix des stations s'est fait sur la base de l'accessibilité aux stations d'échantillonnage et de la variété d'activités anthropiques aux abords des cours d'eau.

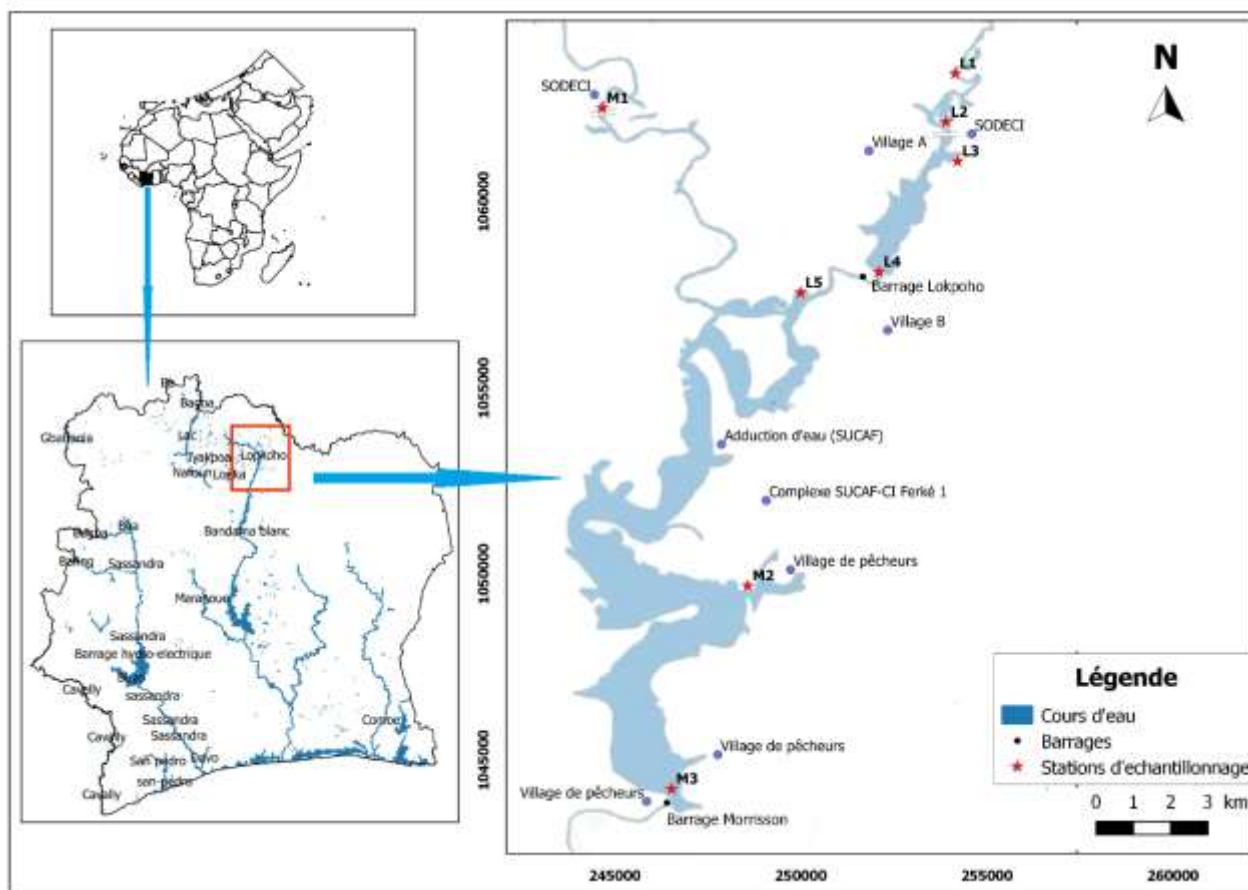


Figure 1 : Localisation du bassin du Haut Bandama et des sites d'échantillonnage sur la rivière Lokpoho (L) et le fleuve Bandama (M).

2- Collecte et analyse des données

La stratégie d'échantillonnage adoptée dans cette étude a visé à couvrir toutes les saisons hydrologiques et climatiques. Ainsi, trois campagnes d'échantillonnage ont été effectuées pendant la saison sèche et quatre pendant la saison pluvieuse. La température et l'oxygène dissous ont été mesurés *in situ* à l'aide de l'appareil portatif de marque AZ 8403. Le pH et la conductivité ont été mesurés *in situ* respectivement avec un pH-mètre et un conductimètre de marque PANCELENT tous deux. La transparence et la profondeur ont été évaluées respectivement avec un disque de Secchi et une corde graduée et lestée. La vitesse de l'eau a été déterminée grâce à une bouteille d'un litre à moitié pleine et un chronomètre. Pour les paramètres chimiques tels que le nitrate, le nitrite, le phosphate, l'ammonium, le chlorure, le potassium, le magnésium, le zinc et le silicium, des échantillons d'eau ont été prélevés, emballés dans du papier aluminium et soigneusement conservés à basse température ($T \leq 4^{\circ}\text{C}$) dans une glacière puis ont été analysés au laboratoire au moyen d'un multiparamètre de marque NALCO DR 900.

Les tests de Student et d'Anova ont été effectués pour apprécier la variation spatio-saisonnière des paramètres physico-chimiques. Ces tests ont été réalisés avec le logiciel R version 3.5.2. Ce dernier a aussi été utilisé pour faire l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette analyse a permis d'établir la corrélation entre les paramètres physico-chimiques. L'ACP, à travers la représentation factorielle, a permis également de faire la typologie combinée, en saison sèche et en saison des pluies, des stations.

RESULTAT ET DISCUSSIONS

1-Variations spatiales et saisonnières des paramètres physico-chimiques

Les valeurs de la température, dans la rivière Lokpoho (Figure 2A) varient de 25°C à la station L1 en saison des pluies à $31,8^{\circ}\text{C}$ à la station L4 en saison sèche. Dans le fleuve Bandama (Figure 2B), la température est comprise entre $24,4^{\circ}\text{C}$ à la station M1 en saison sèche et $33,1^{\circ}\text{C}$ à la station M3 en saison sèche. L'amplitude thermique annuelle des eaux du Haut-Bandama est de $8,7^{\circ}\text{C}$. Au plan statistique, la différence n'est pas significative entre les températures des stations du Haut-

Bandama (Anova, $p > 0,05$). Dans les deux cours d'eau, la température moyenne est significativement plus élevée en saison sèche (Lokpoho = 30,19 °C ; Bandama = 28,76 °C) qu'en saison des pluies (Lokpoho = 27,22 °C; Bandama = 28,68 °C) (test-t, $p < 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho (Figure 2C), le taux d'oxygène varie de 0,28 mg/l à la station L2 à 9,39 mg/l à la station L3. Les valeurs moyennes sont plus élevées en saison des pluies (3,75 mg/l) qu'en saison sèche (3,52 mg/l). Dans le fleuve Bandama (Figure 2D), le maximum (8,48 mg/l) et le minimum (0,79 mg/l) sont enregistrés à la station M2 au cours de la saison des pluies. Les valeurs moyennes de l'oxygène sont de 4,50 mg/L en saison sèche et 4,75 mg/L en saison des pluies. L'oxygène dissous des eaux des deux cours d'eau ne présente aucune différence significative ni en fonction des stations (Anova, $p > 0,05$) ni en fonction des saisons (test-t, $p > 0,05$). Cependant, le fleuve Bandama (4,63 mg/l) est significativement plus oxygéné que la rivière Lokpoho (3,64 mg/L) (test-t, $p < 0,05$).

Les valeurs extrêmes du pH dans le bassin du Haut-Bandama ont été observées dans la rivière Lokpoho à la station L1 (6,14) et à la station L3 (8,01) (Figure 2E). La valeur moyenne dans la rivière Lokpoho est de 6,71 en saison sèche et de 6,64 en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama (Figure 2F), les valeurs de pH sont comprises entre 6,2 à la station M2 et 6,8 à la station M3. Le pH moyen dans le fleuve Bandama est de 6,64 en saison sèche et de 6,53 en saison des pluies. Dans les deux cours d'eau, ce paramètre ne révèle aucune différence significative entre les eaux ni en fonction des stations (Anova ; $p > 0,05$) ni en fonction des saisons (test-t ; $p > 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho (Figure 3A), la transparence moyenne de l'eau oscille de 0,66 m en saison sèche à 0,25 m en saison des pluies. Les valeurs de transparence mesurées varient de 0,20 m à 0,97 m respectivement à la station L3 et L4. Dans le fleuve Bandama (Figure 3B), la transparence moyenne est de 0,77 m en saison sèche et de 0,21 m en saison des pluies. Les mesures y varient entre 0,15 m à la station M1 et 1,20 m à la station M3 (Figure 3B). La transparence de l'eau ne diffère pas significativement d'une station à l'autre dans les deux cours d'eau (Anova, $p > 0,05$). Cependant, la transparence de la saison sèche est significativement plus élevée que celle de la saison des pluies dans les deux cours d'eau (test-t, $p < 0,05$). Par ailleurs, la transparence moyenne est significativement plus élevée dans le fleuve Bandama (0,97 m) que dans la rivière Lokpoho (0,40 m) (test-t, $p < 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho, la vitesse de l'eau varie de 0,00 m/s en saison sèche sur toutes les stations à 0,59 m/s en saison des pluies à la station L1 (Figure 3C). La vitesse moyenne s'élève à 0,03 m/s en saison sèche et à 0,21 m/s en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama, La vitesse de l'eau fluctue de 0,00 m/s en saison sèche sur toutes les stations à 0,75 m/s à la station M1 en saison des pluies (Figure 3D). La vitesse moyenne en saison sèche est de 0,06 m/s et elle est de 0,30 m/s au cours de la saison des pluies. Sur les deux cours d'eau, la vitesse de l'eau reste sensiblement identique sur les stations (Anova, $p > 0,05$). Cependant, la vitesse des eaux du cours principal du fleuve Bandama (0,18 m/s) est significativement plus élevée que celle de la rivière Lokpoho (0,12 m/s) (test-t ; $p < 0,05$). Également, la vitesse de l'eau est significativement plus élevée en saison des pluies qu'en saison sèche dans les deux cours d'eau (test-t ; $p < 0,05$).

La profondeur de la rivière Lokpoho est comprise entre 1,9 m à la station L5 en saison sèche et 7,2 m à la station L4 en saison des pluies. La profondeur moyenne est de 3,66 m en saison sèche et 4,52 m en saison des pluies (Figure 3E). La profondeur des eaux diffère significativement entre les stations de la rivière Lokpoho (Anova, $p < 0,05$). Dans le fleuve Bandama (Figure 3F), la profondeur moyenne est de 4,83 m en saison sèche et 5,40 m en saison de pluies. Les valeurs mesurées oscillent entre 3,20 m à la station M2 en saison des pluies et 6,50 m à la station M3 en saison des pluies également. La profondeur à la station M2 est significativement plus petite que celles mesurées aux stations M1 et M3 (Anova, $p < 0,05$). La profondeur du fleuve Bandama (5,12 m) est significativement plus élevée que celle de la rivière Lokpoho (4,1 m) (test-t ; $p < 0,05$).

La conductivité électrique de la rivière Lokpoho oscille entre 28 $\mu\text{S/cm}$ à la station L1 en saison des pluies et 72 $\mu\text{S/cm}$ à la station L3 en saison sèche (Figure 4A). Les valeurs moyennes enregistrées pendant les saisons sèche et pluvieuse sont respectivement de 59,48 $\mu\text{S/cm}$ et 48,07 $\mu\text{S/cm}$. Dans le fleuve Bandama (Figure 4B), la conductivité varie de 26 $\mu\text{S/cm}$ à la station M1 en saison des pluies à 91 $\mu\text{S/cm}$ à la station M2 en saison des pluies également. La conductivité moyenne est de 57,52 $\mu\text{S/cm}$ en saison sèche et 56,71 $\mu\text{S/cm}$ en saison des pluies.

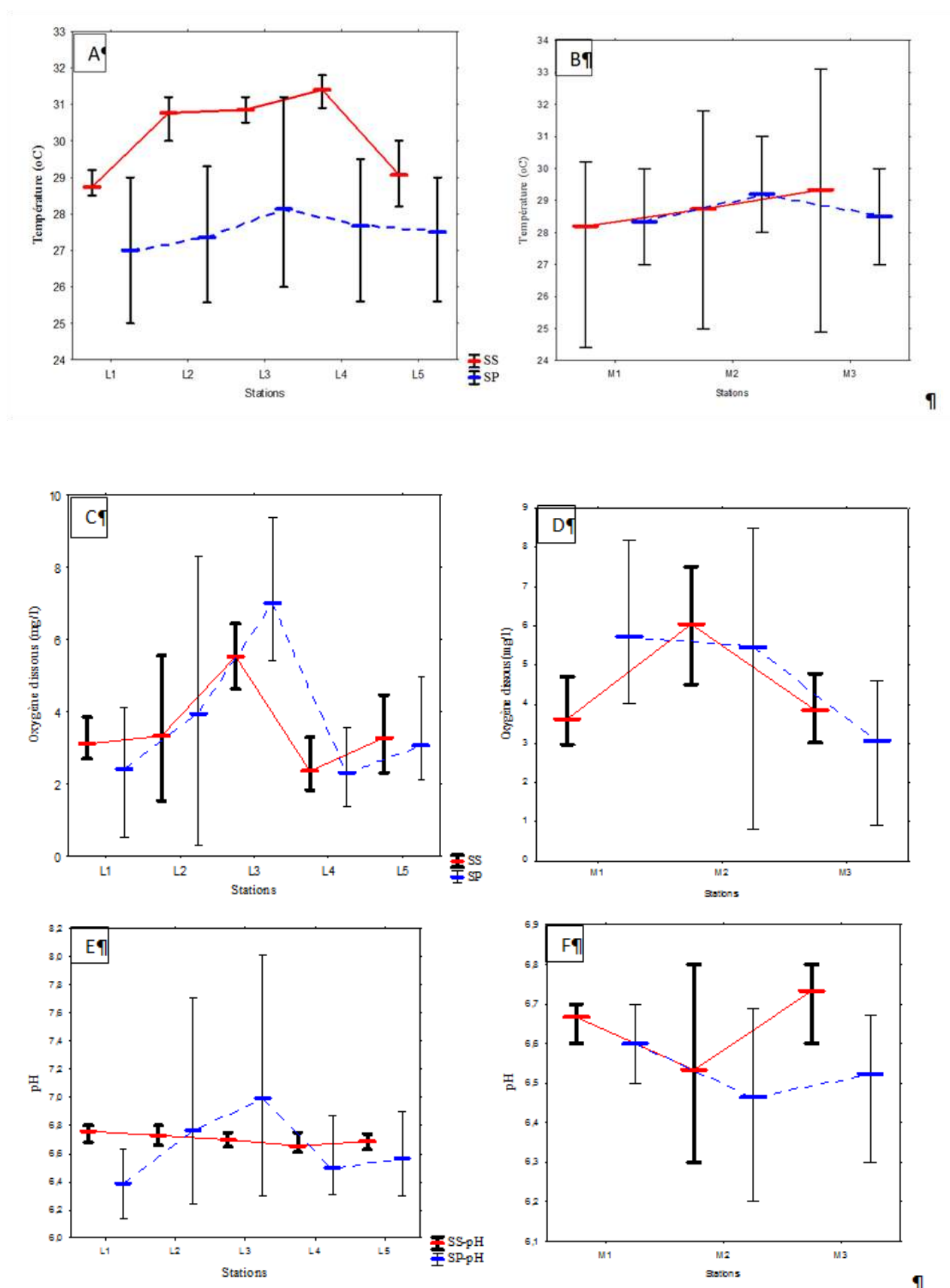


Figure 2 : Variations spatio-saisonnières de la température (A et B), de l'oxygène dissous (C et D) et du pH (E et F) dans les eaux du bassin du Haut-Bandama, d'octobre 2017 à septembre 2018. L1 à L5 = stations de la rivière Lokpoho ; M1 à M3 = Stations du fleuve Bandama.

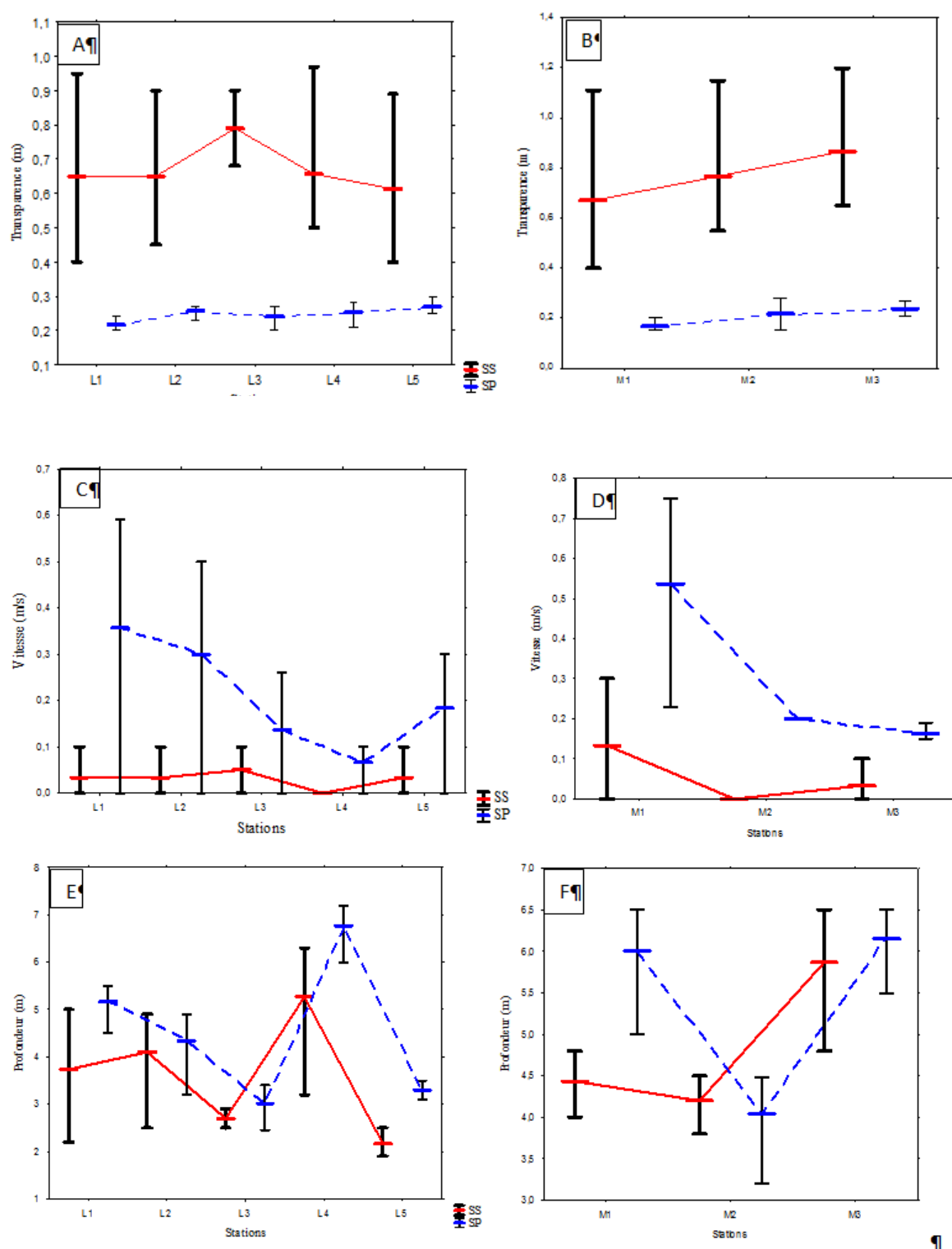


Figure 3 : Variations spatio-saisonnières de la transparence (A et B), de la vitesse de l'eau (C et D) et de la profondeur (E et F) dans les eaux du bassin du Haut-Bandama, d'octobre 2017 à septembre 2018. L1 à L5 = stations de la rivière Lokpoho ; M1 à M3 = Stations du fleuve Bandama

L'analyse d'ANOVA ($p > 0,05$) n'a pas révélé de différence significative entre les valeurs de la conductivité en fonction des stations dans les deux cours d'eau. Cependant, la conductivité moyenne de la rivière Lokpoho est significativement plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies (test-t ; $p < 0,05$).

De façon générale, les teneurs du nitrate sont plus élevées en saison des pluies qu'en saison sèche. Dans la rivière Lokpoho (Figure 4C), la concentration du nitrate varie de 0,02 mg/l à la station L1 en saison sèche à 0,13 mg/l à la station L3 en saison des pluies. La concentration moyenne de nitrate est de 0,032 mg/l en saison sèche et 0,073 mg/l en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama (Figure 4D), les valeurs de nitrate varient de 0,01 mg/l à la station M1 en saison sèche à 0,13 mg/l à la station M2 en saison des pluies. La moyenne dans ce cours d'eau est de 0,026 mg/l en saison sèche et 0,071 mg/l en saison des pluies. Dans les deux cours d'eau, la concentration du nitrate est significativement plus élevée en saison des pluies qu'en saison sèche (test-t, $p < 0,05$).

Tout comme le nitrate, la concentration de nitrite est plus élevée en saison des pluies qu'en saison sèche sur toutes les stations du Haut-Bandama (Figure 4E) (test-t, $p < 0,05$). Les valeurs maximales dans les deux cours d'eau ont été enregistrées pendant la saison des pluies (Figure 4E et F). Elles sont de 0,013 mg/l au niveau de la station L3 dans la rivière Lokpoho et de 0,020 mg/l à la station M2 du fleuve Bandama. Les valeurs minimales sont obtenues en saison sèche dans les deux cours d'eau. Elles sont de 0,001 mg/l au niveau de la station L1 dans la rivière Lokpoho et de 0,002 mg/l au niveau de la station M1 dans le fleuve Bandama. Ce paramètre a révélé une différence significative entre la station L1 et les autres stations de la rivière Lokpoho en saison sèche (Anova, p -value $< 0,05$). Cependant, en saison des pluies, la concentration de nitrite des deux cours d'eau ne diffère pas significativement entre les stations (Anova, $p > 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho, la concentration d'ammonium varie de 0,1 mg/l à la station L1 en saison sèche à 0,40 mg/l à la station L3 en saison des pluies (Figure 5A). Elle est significativement plus élevée en saison des pluies (0,35 mg/l) qu'en saison sèche (0,31 mg/l) (test-t, $p < 0,05$). Ce paramètre révèle une différence significative entre les concentrations en ammonium de la station L1 et celles des autres stations de la rivière Lokpoho (Anova, $p < 0,05$). Dans le fleuve Bandama (Figure 5B), le taux d'ammonium oscille entre 0,2 mg/l à la station M1 en saison sèche et 0,40 mg/l à la station M2 en saison des pluies. Le test-t (p -value $> 0,05$) n'a révélé aucune différence significative entre la concentration d'ammonium de la saison sèche et celle de la saison pluvieuse dans le fleuve Bandama. En revanche, la concentration en ammonium à la station M1 est significativement plus faible que celles des stations M2 et M3 (Anova, $p < 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho, la concentration en potassium des eaux varie de 1,5 mg/l à la station L1 en saison sèche à 4,5 mg/l à la station L3 en saison sèche. Les moyennes saisonnières sont de 3,38 mg/l en saison sèche et 2,94 mg/l en saison des pluies (Figure 5C). Le taux de potassium présente une différence significative entre la station L1 et les autres stations de la rivière Lokpoho (Anova, $p < 0,05$). Le potassium du fleuve Bandama (Figure 5D) varie de 1,9 mg/l à la station M1 en saison sèche à 4,1 mg/L à la station M2 en saison sèche également. Les moyennes saisonnières y sont de 2,78 mg/l en saison sèche et 2,94 mg/l en saison des pluies. La saisonnalité de la concentration du potassium n'est pas marquée dans les deux cours d'eau (test-t, $p > 0,05$).

Les concentrations de phosphate dans la rivière Lokpoho fluctuent entre 1 mg/l à la station L1 en saison sèche et 7,02 mg/l à la station L3 en saison des pluies (Figure 5E). Les valeurs moyennes de phosphate y sont de 2,73 mg/l en saison sèche et 4,14 mg/L en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama (Figure 5F), la concentration de phosphate la plus faible est obtenue à la station M1 (1,92 mg/l) en saison sèche et la plus élevée est obtenue à la station M2 (6,40 mg/l) en saison des pluies. Les valeurs moyennes de phosphate dans la rivière Lokpoho et dans le fleuve Bandama sont significativement plus élevées en saison pluvieuse qu'en saison sèche (test-t, $p < 0,05$). Également, la concentration de phosphate est significativement plus élevée dans la rivière Lokpoho que dans le fleuve Bandama (test-t, $p < 0,05$).

La concentration de chlorure varie de 0,6 mg/l à la station L1 en saison sèche à 17 mg/l à la station L3 en saison des pluies dans la rivière Lokpoho (Figure 6A). La moyenne saisonnière y est de 1,70 mg/l en saison sèche et 5,91 mg/l en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama (Figure 6B), la concentration de chlorure varie de 0 mg/l à la station M1 en saison sèche à 10,20 mg/l à la station M2 en saison des pluies. La moyenne y est de 1,41 mg/l en saison sèche et 4,56 mg/l en saison des pluies. La différence de concentration de chlorure est statistiquement significative entre la saison des pluies et la saison sèche dans les deux cours d'eau (test-t, $p < 0,05$).

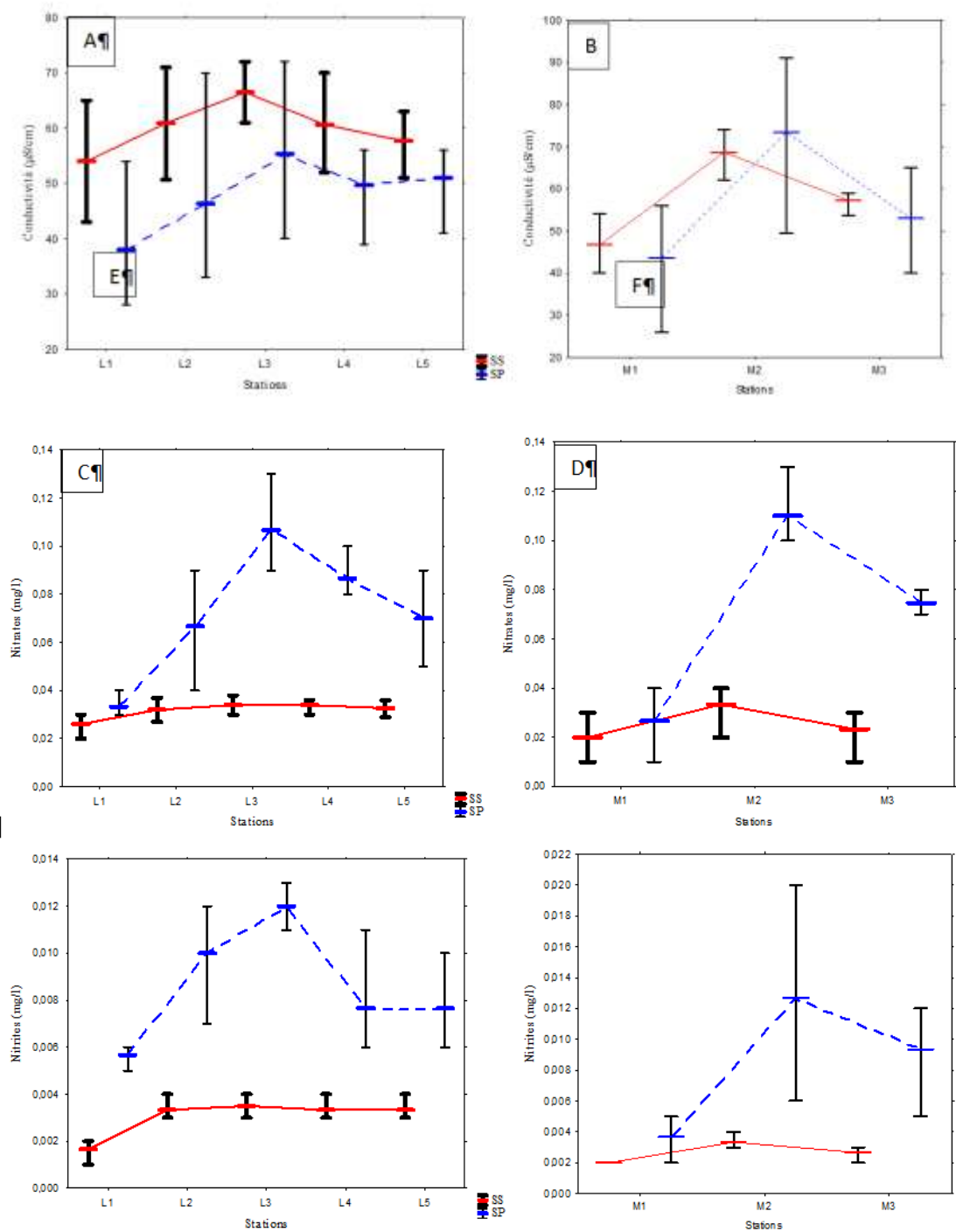


Figure 4 : Variations spatio-saisonniers de la conductivité (A et B), du nitrate (C et D) et du nitrite (E et F) dans les eaux du bassin du Haut-Bandama, d'octobre 2017 à septembre 2018. L1 à L5 = stations de la rivière Lokpoho ; M1 à M3 = Stations du fleuve Bandama.

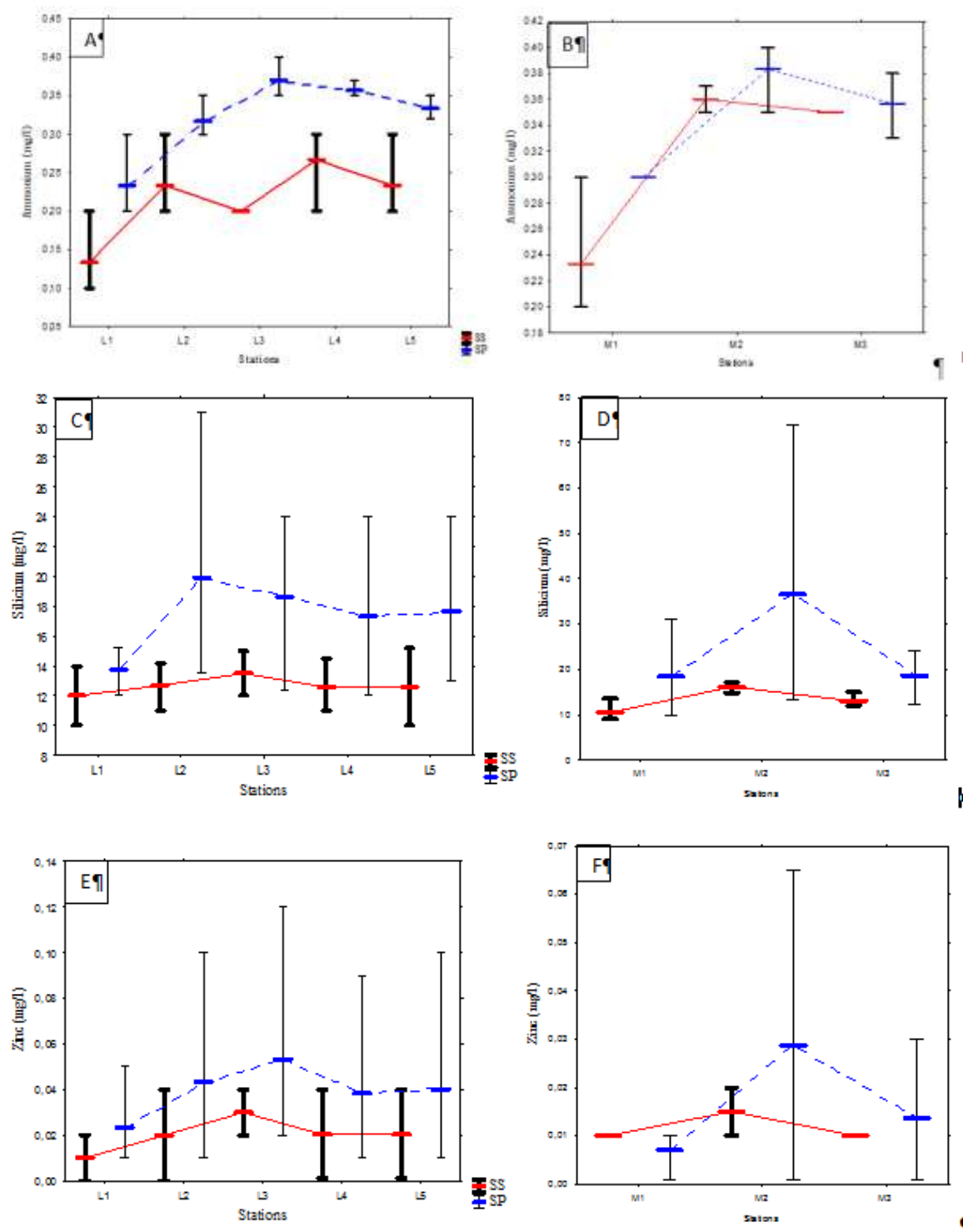


Figure 5 : Variations spatio-saisonnières de l'ammonium (A et B), du potassium (C et D) et du phosphate (E et F) dans les eaux du bassin du Haut-Bandama, d'octobre 2017 à septembre 2018. L1 à L5 = stations de la rivière Lokpo ; M1 à M3 = Stations du fleuve Bandama

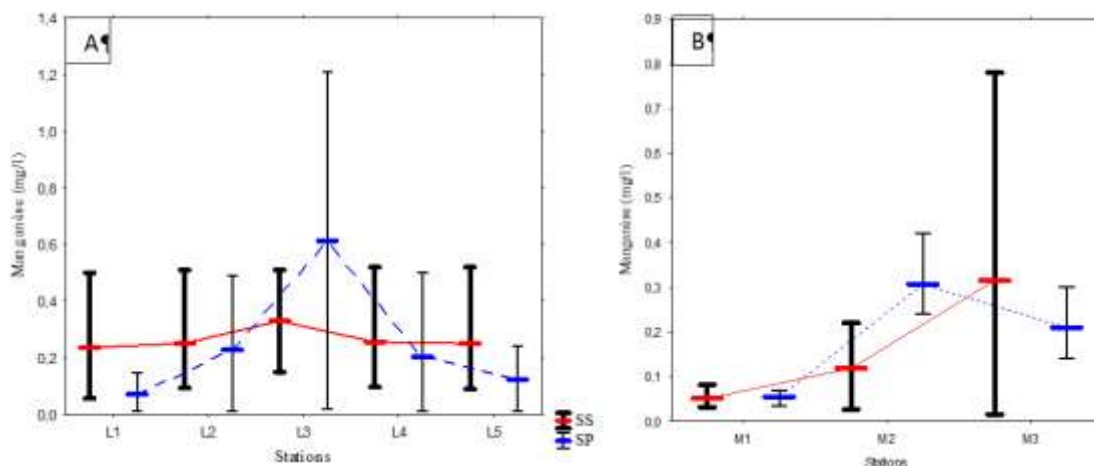


Figure 6 : Variations spatio-saisonnières du chlorure (A et B), du silicium (C et D) et du zinc (E et F) dans les eaux du bassin du Haut-Bandama, d'octobre 2017 à septembre 2018. L1 à L5 = stations de la rivière Lokpoho ; M1 à M3 = Stations du fleuve Bandama

La concentration de silicium fluctue entre 10 mg/l à la station L1 en saison sèche et 31 mg/l à la station L2 en saison des pluies dans la rivière Lokpoho (Figure 6C). Dans le fleuve Bandama, elle varie de 9 mg/l à la station M1 en saison sèche à 74 mg/l à la station M2 en saison des pluies (Figure 6D). Dans les deux cours d'eau, la concentration moyenne de silicium en saison des pluies (Lokpoho = 17,46 mg/l et Bandama = 24,59 mg/l) est significativement plus élevée que celle de la saison sèche (Lokpoho = 12,61 mg/l et Bandama = 13,27 mg/l) (test-t, $p < 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho (Figure 6E), Le taux de zinc varie de 0 mg/l à la station L1 en saison sèche à 0,12 mg/l à la station L3 en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama (Figure 6F), il varie de 0,01 mg/l à la station M1 en saison des pluies à 0,07 mg/l à la station M2 en saison des pluies également. Dans les deux cours d'eau, la concentration moyenne de zinc est plus élevée en saison des pluies (Lokpoho = 0,04 mg/l ; Bandama = 0,02 mg/l) qu'en saison sèche (Lokpoho = 0,02 mg/l ; Bandama = 0,01 mg/l) (test-t, $p < 0,05$). Cependant, le taux de zinc ne montre aucune différence significative entre les stations des deux cours d'eau (Anova, p -value $> 0,05$).

Dans la rivière Lokpoho (Figure 7A), la concentration de manganèse oscille de 0,01 mg/l à la station L1 en saison des pluies à 1,21 mg/l à la station L3 en saison des pluies également. Elle oscille dans le fleuve Bandama (Figure 7B) entre 0,02 mg/l à la station M3 en saison sèche et 0,78 mg/l à la station M3 en saison sèche. Dans la rivière Lokpoho, la concentration moyenne en saison sèche (0,23 mg/l) est plus élevée que celle mesurée en saison des pluies (0,17 mg/l) (test-t, $p > 0,05$). Le taux moyen de manganèse est plus faible en saison sèche (0,16 mg/l) qu'en saison pluvieuse (0,19 mg/l) dans le fleuve Bandama (test-t, $p > 0,05$). La variation spatiale du taux de manganèse n'est pas significative dans les eaux du Haut-Bandama (Anova, $p > 0,05$).

Figure 7 : Variations spatio-saisonnière du manganèse (A et B) dans les eaux du bassin du Haut-Bandama, d'octobre 2017 à septembre 2018. L1 à L5 = stations de la rivière Lokpoho ; M1 à M3 = Stations du fleuve Bandama

2-Typologie abiotique des stations en saison sèche et en saison pluvieuse

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), à partir des variables physico-chimiques enregistrées par saison et par stations sont présentés par la figure 8. L'analyse a porté sur 16 paramètres physico-chimiques mesurés sur 8 stations en saison sèche et en saison des pluies.

L'Axe 1 (40,93 %) et l'axe 2 (25,64 %) cumulent ensemble plus de la moitié de la variance totale (66,57 %) associée aux variables physico-chimiques. Le cercle de corrélation des variables (Figure 8) montre que 7 variables physico-chimiques (nitrates, nitrites, chlorure, ammonium, phosphate, zinc et silicium) sont corrélées positivement à l'axe 1 et une seule variable (transparence) est négativement corrélée à l'axe 1. La température, la conductivité, le manganèse, le potassium, le pH et l'oxygène dissous sont positivement corrélés à l'axe 2. La profondeur et la vitesse de l'eau sont négativement corrélées à l'axe 2.

À l'issue de l'analyse de *classification ascendante hiérarchique (CAH)*, 3 groupes de stations se distinguent (Figure 9).

Le groupe 1 réunit les stations SP-L2, SP-L3, SP-L4, SP-L5, SP-M2 et SP-M3. Ce groupe contient les stations des lacs de barrage Lokpoho (L3 et L4) et Morrisson (M2 et M3) en saison des pluies. Les eaux des stations de ce groupe se distinguent significativement de celles des autres groupes (Groupe 2 et Groupe 3) par une forte concentration des éléments chimiques suivants : nitrate, nitrite, chlorure, phosphate, ammonium, zinc et silicium (Figure 8 ; Tableau I).

Le groupe 2 rassemble les stations SS-L2, SS-L3, SS-L4, SS-L5, SS-M2 et SS-M3 en saison sèche. Ce groupe prend en compte les stations des lacs de barrage Lokpoho (L3 et L4) et Morrisson (M2 et M3) en saison sèche. Les eaux de ces stations se caractérisent par des valeurs de température, de transparence, de potassium et conductivité significativement élevées par rapport aux autres groupes (Figure 8 ; Tableau I).

Le groupe 3 comprend les stations SS-L1 et SS-M1 en saison sèche et les stations SP-L1 et SP-M1 en saison des pluies, localisées en amont des lacs de barrage Lokpoho et Morrisson. Ces stations se distinguent significativement de celles des autres groupes (Groupe 1 et 2) par une grande vitesse des eaux (Figure 8 ; Tableau I).

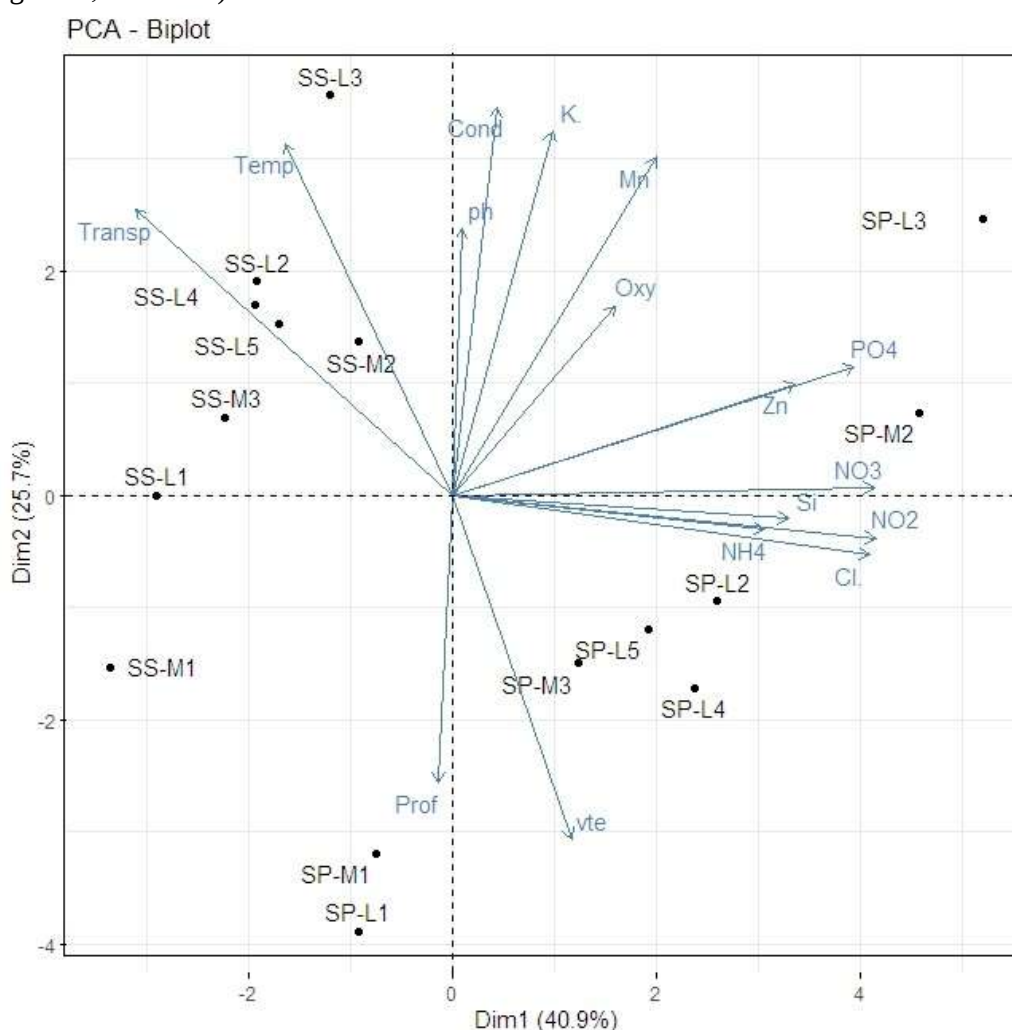


Figure 8 : Représentation des résultats de l'Analyse en Composantes principales (ACP) sur la base de seize paramètres physico-chimiques mesurés dans le fleuve Bandama et la rivière Lokpoho du bassin du Haut-Bandama dans la région de Ferkessédougou, entre octobre 2017 et septembre 2018

SS-L= station de la rivière Lokpoho en saison sèche, SP-L = station de la rivière Lokpoho en saison des pluies, SS-M= station de la rivière Lokpoho en saison sèche, SP-M = station de la rivière Lokpoho en saison des pluies, Transp = transparence ; Prof = profondeur ; vte = vitesse ; pH = potentiel d'hydrogène ; Cond = conductivité ; K = potassium ; Mn = manganèse ; Oxy = oxygène dissous ; PO_4 = phosphate ; Zn = zinc ; NH_4^+ = Ammonium ; Si= silicium ; NO_3^- = nitrates ; NO_2^- = nitrite ; Cl = chlorure ; Temp = température. Dim = dimension des axes de l'analyse factorielle

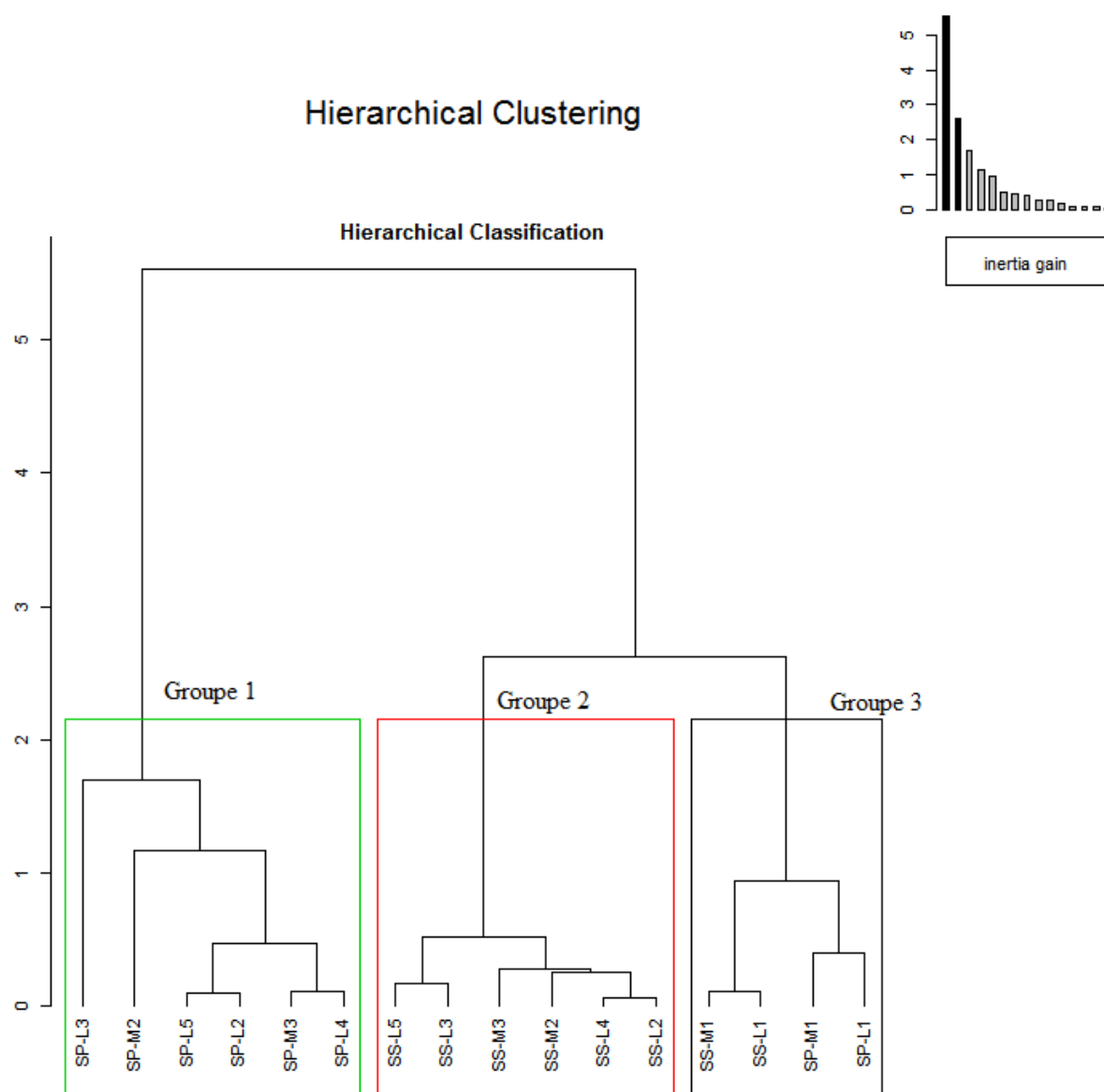


Figure 9 : Dendrogramme présentant les groupes de stations après l'analyse de classification hiérarchique en fonction des saisons dans les eaux du Haut-Bandama prospectées d'octobre 2017 à septembre 2018 (SS-L1 à SS-L5 = station de la rivière Lokpoho en saison sèche ; SP-L1 à SP-L5 = stations de la rivière Lokpoho en saison des pluies ; SS-M1 à SS-M3 = stations du fleuve Bandama en saison sèche ; SP-M1 à SP-M3 = stations du fleuve Bandama en saison des pluies).

Tableau I : Test de comparaison d'ANOVA réalisés entre les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des 3 groupes de milieu d'échantillonnage issus de l'Analyse en Composantes principales (ACP)

Groupes	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Moyennes	p
Zinc (mg/l)	0,04±0,04	0,02±0,01	0,01±0,01	0,02±0,01	0,04
Manganèse (mg/l)	0,28±0,29	0,25±0,23	0,10±13	0,22±0,24	0,13
Profondeur (m)	4,60±1,54	4,13±1,60	4,83±1,17	4,49±1,48	0,42
Température (°C)	28,06±1,76	29,98±2,22	28,07±1,90	28,75±2,14	0,01
Oxygène (mg/l)	4,14±2,85	3,98±1,73	3,72±1,84	3,98±2,21	0,88
PH	6,64±0,50	6,67±0,13	6,60±0,19	6,64±0,33	0,86
Transparence	0,25±0,04	0,72±0,24	0,43±0,32	0,46±0,30	<0,001
Silicium (mg/l)	21,47±14,22	13,43±2,05	13,70±5,87	16,58±9,98	0,03

Vitesse (m/s)	0,18±0,14	0,02±0,04	0,27±0,28	0,14±0,19	0,001
Nitrates (mg/l)	0,09±0,02	0,03±0,01	0,03±0,01	0,05±0,03	<0,001
Nitrites (mg/l)	0,01±0,004	0,00±0,001	0,00±0,002	0,01±0,004	<0,001
Ammonium (mg/l)	0,35±0,03	0,28±0,07	0,23±0,08	0,30±0,08	<0,001
Potassium (mg/l)	3,12±0,54	3,58±0,72	2,15±0,37	3,04±0,80	<0,001
Phosphate (mg/l)	4,51±1,50	2,67±1,45	1,80±1,03	3,15±1,76	<0,001
Chlorure (mg/l)	6,24±4,53	1,76±0,93	1,98±1,43	3,54±3,61	<0,001
Conductivité (µS/cm)	54,80±15,93	61,67±7,51	45,58±12,15	54,93±13,72	0,006

Gras = le groupe qui a la plus grande valeur du paramètre considéré et les *p*-values significatives

3-Discussion

L'intervalle de variation de la température observé dans les eaux du bassin du Haut-Bandama est similaire aux mesures faites par **Aboua (2012)**, **Lozo (2016)** dans les eaux du fleuve Bandama et **N'Da et al. (2015)** dans la rivière Bagoé. Egalement, les valeurs moyennes sont conformes à celles observées par **Iltis et Lévêque (1982)** dans les rivières de Côte d'Ivoire. Selon lui, la température moyenne annuelle des cours d'eau ivoirien est de 28°C et descend rarement en dessous de 25 °C. Toutes ces similarités seraient dues au fait que les milieux d'études de ces auteurs, y compris celui de la présente étude, soient dans la même zone tropicale de l'Afrique. Les valeurs moyennes de la température sont plus élevées en saison sèche qu'en saison des pluies dans les eaux du bassin du Haut-Bandama. Ceci s'expliquerait par le fait que pendant la saison sèche, la température de l'air liée au rayonnement solaire soit à son maximum à cette période. En effet, pendant la saison sèche, l'air est sec et chaud, la vitesse de l'eau est nulle et la couverture de la canopée est nulle, surtout au niveau des stations lacustres. Tous ces facteurs participent à réchauffer l'eau pendant la saison sèche.

Le taux d'oxygène dissous est plus élevé pendant la saison des pluies qu'en saison sèche dans les eaux du bassin du Haut-Bandama. Cela s'explique par la vitesse d'écoulement élevée et le renouvellement rapide des eaux pendant la saison des pluies. Le fleuve Bandama est plus oxygéné que la rivière Lokpoho. Cela est encore lié à la vitesse d'écoulement qui est plus grande dans le fleuve Bandama que dans la rivière Lokpoho. On pourrait aussi l'expliquer par le fait que les eaux de ruissellement qui arrivent dans la rivière Lokpohors des pluies sont plus chargées en matières organiques que celles qui arrivent dans le fleuve Bandama. En effet, la décomposition de ces composés organiques, étant associée à la consommation d'oxygène, va engendrer une perte en oxygène dissous des eaux (**Laane et al., 1985**). D'après **Galvez-Cloutier et al. (2002)** la baisse d'oxygène dans un milieu peut aussi être due à une croissance excessive d'algues et de macrophytes aggravant ainsi les problèmes d'eutrophisation. En outre, la température a aussi une influence sur la capacité de l'eau à se charger en oxygène dissous, car lorsque la température augmente, cela provoque en retour une réduction de l'oxygène dissous (**Villeneuve et al., 2006**) des eaux les plus exposées.

Le fleuve Bandama, jusqu'au barrage Morrisson, reste acide pendant toute l'année. Cette acidité constante serait liée partiellement au rejet des produits de traitement de l'usine sucrière SUCAF-CI qui se trouve à proximité du cours d'eau Bandama. Les mêmes résultats ont été trouvés par **Aboua (2012)** dans ses stations du fleuve Bandama proches de l'usine SUCRIVOIRE. Dans les deux cours d'eau, la saison des pluies enregistre un pH moyen plus faible qu'en saison sèche. Cette baisse du pH en saison des pluies serait liée, en grande partie, à l'entrée des effluents agricoles et pastoraux, auxquels s'ajoutent les ruissèlements en provenance de la ville de Ferkessédougou et des villages. En effet, le pH est influencé par les processus biologiques et géologiques se produisant dans un plan d'eau, et par la nature des terrains traversés (**N'Douba, 2000**). En outre, les processus biologiques sont fortement affectés par la température de l'eau auxquelles s'ajoutent les activités anthropiques menées dans le bassin versant.

Les valeurs de la transparence sont situées entre 0,15 m et 1,2 m. Ces valeurs sont en partie dans l'intervalle de transparence trouvé par **Arfi et al. (2007)** dans les petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire. Cet auteur indique une transparence des petits barrages du Nord comprise entre 0,5 m et 2,8 m. La transparence maximale donnée par cet auteur est largement plus élevée que celle de la présente étude. En effet, les petits barrages sont plus stables et moins turbides que les rivières et les fleuves. Les eaux sont plus transparentes en saison sèche qu'en saison des pluies dans le Haut-Bandama. Le même résultat a été obtenu par **Lévêque et al. (1983)** dans le fleuve Bandama. Cela s'explique par le fait

qu'en saison sèche, le milieu étant lentique, les débris de la colonne descendent par gravité pour s'accumuler au fond des cours d'eau. La transparence est plus grande dans le fleuve Bandama que dans la rivière Lokpoho, en raison de la profondeur qui est plus importante dans le fleuve Bandama. Les transparences des stations prospectées en saison des pluies sont quasiment identiques car, pendant cette période, toutes les stations ont une communication rapide entre elles. Cette communication rapide est provoquée par la vitesse d'écoulement rapide de l'eau de l'amont vers l'aval des cours d'eau.

Les faibles valeurs de la vitesse des eaux ont été enregistrées pendant la période sèche. Ce même constat a été fait par **Aboua (2012)** dans le fleuve Bandama et **N'da et al. (2015)** dans la rivière Bagoé. En effet, pendant la période sèche, il n'y a pas de pluie et les digues des barrages Morrisson et Lokpoho sont capables de bloquer l'eau dans les lacs de barrage pendant toute la saison sèche. Ainsi, l'eau reste stagnante durant la saison sèche. Les stations L1 et M1 ont les valeurs de vitesse les plus grandes en saison sèche à cause de leurs altitudes et pentes plus fortes que les autres parties des cours d'eau.

La profondeur moyenne actuelle de la rivière Lokpoho est en dessous de la profondeur mesurée par **Traoré (1996)**. Celui-ci estimait une profondeur maximale du lit mineur à 8,5 m. Cette valeur est plus grande que la profondeur maximale (7,2 m) enregistrée dans la présente étude. Deux raisons peuvent l'expliquer : (1) Soit les mesures n'ont pas été faites effectivement au niveau des zones les plus profondes de la rivière Lokpoho, ce qui est peu probable ; (2) soit la diminution de la profondeur s'expliquerait par l'accumulation progressive au fil du temps du sable transporté depuis la partie amont vers le lac de barrage Lokpoho, diminuant ainsi la profondeur de l'eau. En effet, le barrage de la rivière Lokpoho ne s'ouvre jamais et n'est pas entretenu contrairement au barrage Morrisson. L'accumulation de sable provoquerait donc une baisse de la quantité d'eau de réserve que le barrage peut conserver pour passer les huit mois de la saison sèche et pour servir les populations en eau potable, pour les activités agricoles et pour les activités pastorales. Par exemple, la fin des saisons sèches (FSS) 2015 et 2018 ont été catastrophiques, parce que les cours d'eau avaient quasiment tari sous l'effet de l'évaporation et de la pression des activités humaines, provoquant des pénuries d'eau dans les villes de Ferkessédougou, Sinématiali et Korhogo.

La conductivité varie de 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les eaux du bassin du Haut-Bandama. Le maximum est enregistré en saison sèche. Les stations L3 et M2 ont enregistré les valeurs de conductivités les plus élevées car, ces deux stations reçoivent directement la majorité des effluents d'eau chargés de matières organiques en provenance des agrosystèmes, de la ville de Ferkessédougou et de l'usine sucrière Ferké 1. Dans la rivière Lokpoho et le fleuve Bandama, c'est principalement au niveau des stations proches de la digue des barrages que les activités agricoles et pastorales s'intensifient. Cela explique les fortes valeurs de conductivité de ces parties des cours d'eau. Les valeurs moyennes obtenues dans cette étude sont quasiment proches de celle de **Lévêque et al. (1983)** (59 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dans le Bandama blanc. Cependant, elles sont faibles par rapport à celles obtenues par **Lozo (2016)**, **Aboua (2012)** et **Berté (2009)** dans les eaux de la partie centrale et sud du fleuve Bandama. Les variations des moyennes, d'un auteur à un autre, pourrait s'expliquer par l'irrégularité des débits comme l'a souligné **Ittis (1983)** et par le fait que le fleuve Bandama de par son orientation Nord-Sud, traverse différents sols, climats et régimes hydrologiques. Cette comparaison montre aussi que les eaux de la partie Sud du fleuve Bandama (Bas-Bandama), où **Lozo (2016)**, **Aboua (2012)** et **Berté (2009)** ont investigués, est plus minéralisée que les eaux du bassin du Haut-Bandama (partie Nord du Bassin).

Les sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, orthophosphate, ion chlorure, zinc, Manganèse) dosés dans les eaux du Haut-Bandama ont des concentrations plus importante en saison des pluies qu'en saison sèche. En effet, pendant la saison pluvieuse, les ruissellements sont chargés de sels nutritifs transportés ou érodés dans les zones agricoles et anthropisées, vers les deux principaux cours d'eau de la région des Savanes (rivière Lokpoho et fleuve Bandama Nord). Ces résultats et explications corroborent les études d'**Arfiet al. (2007)** dans les petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire. Celui-ci explique que la plupart des lacs de petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire apparaissent eutrophes ou hyper-eutrophes. Cette eutrophisation des petits lacs de barrage est provoquée par leur enrichissement nutritif au début de la saison des pluies. À cette enrichissement nutritif s'ajoutent les réserves organiques des sites non déforestés, les recharges sporadiques à partir du sédiment (orages, déstratification), et des apports allochtones (déjections) liés à la fréquentation des plans d'eau par les troupeaux de bœufs. La concentration de l'ion Potassium est plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies, contrairement aux autres sels nutritifs. Cela est en accord avec les études d'**Orou et**

al. (2016) dans le département d'Agboville. Même si ce dernier a mené l'étude sur les eaux souterraines, en raison du lien d'infiltration qui existe entre les eaux de surface et les eaux souterraines (**Bouanani, 2000**), la concentration en potassium des eaux souterraines peut être influencée par celle des eaux de surface. En outre, le potassium étant un élément libre dans les tissus végétaux et essentiel dans la composition des végétaux, une décomposition de ceux-ci peut augmenter le taux de potassium dans les eaux stagnantes en saison sèche (**Leroy, 1968**), dont la vitesse d'écoulement est nulle. Les sels nutritifs peuvent être d'origine naturelle, par décomposition de la matière vivante ou inerte (lessivage des sols par exemple) (**Laurent, 2012**). Cependant, leur présence dans les cours d'eau Lokpoho et Bandama est plutôt, en grande partie, d'origine agricole, industrielle, pastorale et anthropique. Le silicium des eaux fluviales vient principalement de la dissolution des roches métamorphiques des bassins versants.

La classification combinée, en saison sèche et en saison des pluies, des stations a permis : (1) de montrer que les caractéristiques physico-chimiques des eaux des stations du bassin du Haut-Bandama changent d'une saison à l'autre ; (2) d'obtenir 3 groupes de station de caractéristiques physico-chimiques différentes. Le groupe I est le plus dégradé en raison des concentrations élevées de plusieurs paramètres chimiques. En effet, les stations de ce groupe reçoivent, en saison des pluies, la majorité des effluents en provenance de la ville de Ferkessedougou, des agrosystèmes de la région et de la pêche chimique menée par certains pêcheurs. Toutes ces activités seraient à l'origine de la dégradation physico-chimique des eaux du bassin du Haut-Bandama, notamment en saison des pluies.

CONCLUSION

Un total de seize paramètres physico-chimiques ont été suivis, entre octobre 2017 et septembre 2018 dans les eaux du bassin du Haut-Bandama. Il ressort des analyses que les variations saisonnières des paramètres physico-chimiques sont beaucoup plus marquées que leurs variations spatiales. L'oxygène dissous, la vitesse de l'eau, le taux de silicium, la profondeur, la température et les ions (le nitrate, le nitrite, le phosphate, l'ammonium, le zinc et le chlore) ont des valeurs moyennes plus élevées en saison des pluies qu'en saison sèche. Au contraire, les valeurs moyennes de la conductivité, le potassium, la transparence et le pH y sont plus élevées en saison sèche qu'en saison des pluies. Par ailleurs, les stations des zones lacustres (L3, L4, M2, M3) semblent les plus perturbées par les activités anthropiques de la région. Ces stations ont enregistré une forte concentration des éléments chimiques tels que les nitrate, nitrite, chlorure, phosphate, ammonium, zinc et silicium en saison des pluies. Cependant, en saison sèche, celles-ci sont caractérisées par des valeurs significativement élevées de température, transparence, potassium et conductivité. Les stations localisées en amont des lacs de barrage ne diffèrent pas d'une saison à une autre, et elles sont caractérisées par une vitesse d'écoulement des eaux élevée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Aboua B.R.D., 2012. Développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 227 p
- Arfi R., Bouvy M., Cecchi P., Pagano M., Saint-Jean L. & Thomas S., 2007. Facteurs limitant la productivité phytoplanctonique dans 49 petits barrages. In : L'eau en partage : Les petits barrages de Côte d'Ivoire. IRD, 295p.
- Berté S., 2009. Biologie et écologie de *Distichodusrostratus* (Günther, 1864) dans un hydro-système particulier en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université d'Abidjan-Cocody, 180 p.
- Bouanani A., 2000. Hydrologie, transport solide et modélisation. Étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse de Doctorat d'État, Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM, Algérie, 255p
- Detay M., 2003. Origine contingente de l'eau sur terre : Éléments de synthèse déduits des données géologiques, géochimiques et des modèles astronomiques et planétologiques. *La houille blanche*, N° 6, 13p.
- Galvez-Cloutier R., Ize S. & Arsenault S., 2002. La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyen de lutte contre l'eutrophisation, Gestion de l'eau. *Vecteur environnement*, 35 (6) : 18-37.
- Ilitis A. & Lévêque C., 1982. Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 15: 115-130.
- Koné N. 2009. Étude du peuplement ichthyologique du fleuve Bandama : secteur Yamoussoukro – Bouaflé (Côte d'Ivoire) et variation spatio-temporelle. *Mémoire de DEA*. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 62 p.

- Laane D.J., Pace B., Olsen G.J., Stahl D.A., Sogin M.L., Pace N.R., 1985. Rapid determination of 16S ribosomal RNA sequences for phylogenetic analyses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 82 : 6955-6959
- Laurent F., 2012. Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. *Sciences de l'environnement*. Université du Maine, 185p
- Leroy P., 1968. Variation saisonnières des teneurs en eau en éléments minéraux des feuilles de chene (*Quercus pedunculata*). *Annales des Sciences Forestières*, 25 (2) : 83-117.
- Lévêque C., Dejoux C. & Iltis A., 1983.-Limnologie du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*, 100 : 113-141.
- Lozo R. N., 2016. Composition floristique et distribution des peuplements de micro-algues du fleuve Bandama. *Thèse de Doctorat*, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 161p
- N'Da S. A., Etilé R. N., N'zi K. G., Berté S. & N'douba V., 2015. Composition and Distribution of Zooplankton Relationship to Environmental Factor in a Tropical River: (Bagoé, Côte d'Ivoire). *International Research Journal of Biological Sciences*, 4 (11) : 1-11
- N'Douba V., 2000. Biodiversité des monogènes parasites des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire : cas des poissons des rivières Bia et Agnèbi. *Thèse de Doctorat d'État*, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 250p.
- Nyamsi T. N. L., Foto M. S., Zébazé T. S. H., Onana F. M., Adandedjan D., Tchakonté S., Yémélé T. C., Koji E. & Njiné T., 2014. Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) Pour L'évaluation Biologique de la Qualité des Eaux de Cours D'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, 123 (4): 412-430.
- Orou R. K., Soro G., Soro D. T., Fossou R. M. N., Onetie O. Z., Ahoussi E. K. & Soro N., 2016. Variation Saisonnière De La Qualité Physico Chimique Des Eaux Souterraines Des Aquifères d'Altérites Du Département d'Agboville (Sud-Est De La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12 (17) : 213-240
- Sarr M.A., 2010. Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. *Cybergeo*, document 472.
- Soro T. D., Kouakou B. D., Kouassi E. A., Soro G., Kouassi A.M., Kouadio K. E., Yéi M. S. O et Soro N., 2013. Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire). *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13 (3), 24p.
- Traoré K., 1996. Etat des connaissances sur les pêcheries continentales ivoiriennes. *Rapport de consultation FAO*, IDESSA, Bouaké
- Villeneuve V., Légaré S., Painchaud J., Warwick V., 2006. Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Revue des Sciences de l'Eau*, 19 (4) : 259-274.