

Caractérisation hydrologique, morpho-métrique et physicochimique d'un hydro-système urbain : le lac municipal d'Ebolowa (Sud-Cameroun)

**Adjia Ghislaine MADJIKI^{1*}, Annie-Claude PIAL¹, Ngoupayou Jules-Remy NDAM²
et Akoa AMOUGOU¹**

¹*Laboratoire des Biotechnologies Végétales et Environnement, Département de Biologie et Physiologie Végétales, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, BP 812 Yaoundé, Cameroun*

²*Laboratoire des Sciences Géotechniques et Hydrotechniques, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, BP 812 Yaoundé, Cameroun*

* Correspondance, courriel : ghislainemadjikiadjia@yahoo.fr

Résumé

La dégradation de la qualité des eaux de surface, constitue l'un des problèmes environnementaux majeurs auquel l'humanité est confrontée. Elle se caractérise par l'asphyxie des écosystèmes aquatiques, conséquence de la prolifération anarchique des algues qui consomment tout l'oxygène nécessaire à la vie de ces écosystèmes. Au Cameroun, de nombreuses sources de pollution des eaux ont été identifiées, mais l'absence d'une véritable stratégie de gestion des déchets est à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux de surface.

Dans l'optique d'évaluer le Lac Municipal d'Ebolowa (LME) sur les plans hydrologique, morphométrique et physicochimique, une étude a été menée de février à juillet 2012. L'échantillonnage s'est fait à une fréquence bimensuelle, entre la surface et 0.5 m de profondeur au niveau de trois points: S₁ situé à quelques mètres de l'entrée des eaux de la rivière Mfoumou dans le LME, S₂ situé au centre du LME à quelques mètres de son exutoire et S₃ situé à quelques mètres de l'entrée des eaux de la rivière Bengo'o. Ces échantillons prélevés dans des bouteilles en plastique, sont transportés au laboratoire et analysés suivant des techniques appropriées. Les résultats obtenus mettent en évidence une diminution de la profondeur et de la superficie du LME, un débit spécifique moyen de 0,28 m³/s, une transparence n'excédant pas les 50 cm et un temps de renouvellement des eaux largement inférieur à une année.

Ces résultats montrent que le LME se dégrade au fil des années, et se trouve au stade actuel d'hyper-eutrophie, conséquence de l'absence d'une politique de restauration développée et mise en œuvre par les autorités de la ville. En effet, aucune disposition particulière n'a été prise par les autorités en charge de la gestion du LME, pour y empêcher le déversement des déchets provenant à la fois du Marché Central, et des différentes structures qui le jouxtent. Au contraire, on assiste à Ebolowa à une augmentation des activités génératrices de déchets contribuant à aggraver la dégradation de ce lac. Cette situation laisse présager qu'à terme, on pourrait assister à une disparition totale de ce lac, ce qui ne serait pas nouveau car, des lacs de ce type ont déjà connu le même sort dans d'autres villes camerounaises (Bertoua et Yaoundé).

Mots-clés : *pollution, qualité des eaux, hypereutrophe, lac municipal d'Ebolowa.*

Abstract

Hydrological, morphometrical and hydrochemical characterization of an urban hydrosystem: the Ebolowa municipal lake (South-Cameroon)

Humanity is facing an important environmental problem, the degradation of surface waters quality, characterized by the asphyxia of aquatic ecosystems, as a result of the uncontrolled proliferation of algae that consume all oxygen necessary for the life of these ecosystems. In Cameroon many sources of water pollution have been identified but, the lack of a clearly defined wastes management strategy is the major reason of surface waters quality degradation. In order to evaluate the Ebolowa Municipal Lake (EML), hydrological, morphometrical and physicochemical parameters were studied from February to July 2012. Samples was collected twice a month, between the surface and 0.5 m depth at three sampling points : S_1 located at few meters of the entrance of Mfoumou river waters; S_2 located in the center of EML a few meters from its outlet and S_3 located at few meters of the entrance of Bengo'o river waters in EML. Those samples were collected in plastic bottles, transported to the laboratory and analyzed with appropriate techniques.

It appears from the results that the EML depth and area are continuously decreasing. The average specific flow is $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$, transparency is not exceeding 50 cm and the waters renewal time is below one year. According to these results, the quality of EML water is getting more and more degraded, and is currently in a hyper-eutrophic stage as a result of the absence of a restoration policy developed and implemented by Ebolowa city authorities. Unfortunately, No specific decisions have been taken by those authorities in order to prevent the discharge of wastes coming both from the Central Market and different structures situated around the lake. Instead, increase of waste generating activities in Ebolowa is contributing to the degradation of the lake. This suggests that there could be a total disappearance of the lake in the future, a situation which has been noticed in others lakes located in Cameroonian cities (Bertoua and Yaounde).

Keywords : *pollution, water quality, hyper-eutrophic, Ebolowa municipal lake.*

1. Introduction

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. La dégradation de la qualité des eaux de surface, constitue l'un des problèmes environnementaux majeurs auquel l'humanité est confrontée [1]. De par le monde, les eaux superficielles (lacs, réservoirs, marécages...) sont menacées par le phénomène d'eutrophisation du fait de la pollution provenant des sources ponctuelles et non-ponctuelles. Ce phénomène, principale problématique associée à la dégradation des eaux superficielles en zone tropicale [2] se caractérise par leur asphyxie, conséquence de la prolifération anarchique des algues qui consomment tout l'oxygène nécessaire à la vie de ces écosystèmes [3,4]. Au Cameroun, plusieurs sources ponctuelles de pollution ont été identifiées mais, si l'on considère le pays dans son ensemble, les principaux problèmes de pollution des eaux semblent surtout dus à l'absence d'une véritable stratégie de gestion des déchets, avec pour conséquence l'inexistence de réseaux de tout-à-l'égout [5]. Cette défaillance institutionnelle est couplée dans les grandes villes à l'incivisme des populations, qui considèrent le milieu aquatique comme le réceptacle de tous les déchets issus de leurs activités.

Le Lac Municipal d'Ebolowa (LME) n'échappe pas à cette caricature peu reluisante. Situé au cœur de la capitale régionale du Sud, il constitue le réceptacle indiqué des ordures issues des ménages riverains, du Marché Central (MC), haut lieu de fréquentation qui le jouxte mais aussi de l'Hôpital Régional d'Ebolowa (HRE). La caractérisation de quelques paramètres morphométriques, hydrologiques et physicochimiques de

cet hydrosystème urbain a été menée dans l'optique d'évaluer son degré de trophie, ceci dans le but d'améliorer à la fois sa surveillance et sa gestion.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

Le LME est une vaste étendue d'eau coincée entre les quartiers Angalé, Nko'ovos I et Ekombité. Situé derrière l'Hôpital Régional d'Ebolowa, il reçoit les eaux des rivières Mfoumou et Bengo'o [6].

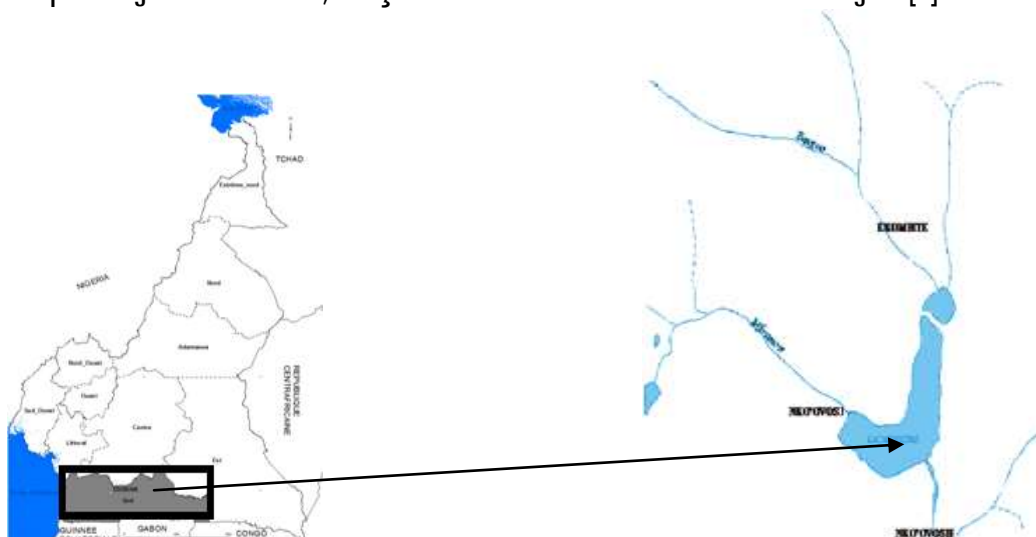


Figure 1 : *Bassin versant du LME.*

2-2. Echantillonnage

Selon les standards d'échantillonnage dans les lacs et réservoirs artificiels, les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en plastique, au niveau de trois points:

- S_1 situé à quelques mètres de l'entrée des eaux de la rivière Mfoumou dans le LME.
- S_2 situé au centre du LME, à quelques mètres de son exutoire.
- S_3 situé à quelques mètres de l'entrée des eaux de la rivière Bengo'o.

Le prélèvement des échantillons s'est effectué de façon à couvrir une saison sèche et une saison des pluies. L'échantillonnage s'est fait à une fréquence bimensuelle, entre la surface et 0.5 m de profondeur, comme indiqué pour les lacs peu profonds (profondeur maximale < 3 mètres) [7]. Les échantillons sont par la suite transportés au laboratoire dans une glacière de 20l, à 5°C. Les analyses au laboratoire débutent quatre heures après l'échantillonnage, et les quantités d'eau restantes sont conservées pour les vérifications ultérieures.

2-3. Méthode d'analyse des échantillons

2-3-1. Morphométrie du LME

La profondeur, la superficie, le périmètre, la forme, l'altitude, et le volume du LME sont les principaux paramètres morphométriques déterminés dans cette étude. La profondeur du LME est mesurée à chaque

point d'échantillonnage (PE), à l'aide d'un bâton en bois préalablement gradué. L'introduction des coordonnées géographiques prélevées aux abords du LME dans le logiciel de cartographie Arc GIS, Version 10, conduit à l'obtention d'une carte de laquelle sont déduites : sa superficie, son périmètre et sa forme. L'altitude par rapport au niveau de la mer, est obtenue grâce au GPS tandis que le volume du lac est donné par *l'équation (1)*.

$$V = Z_m \times S \quad (1)$$

Dans laquelle Z_m représente la profondeur moyenne du plan d'eau et S sa superficie [8].

2-3-2. Hydrologie

La superficie et le périmètre du bassin versant, le débit spécifique (Q_s), le débit moyen annuel (Q) à l'exutoire, le temps de renouvellement des eaux (T) ont été déterminés. La superficie et le périmètre du bassin versant sont obtenus après délimitation des contours du bassin à l'aide d'un GPS, et introduction des données dans le logiciel de cartographie Arc GIS version 10. Le débit spécifique, est mesuré à l'aide de la méthode dite du « jaugeage aux flotteurs » [9] tandis que le débit moyen à l'exutoire, est donné par *l'équation (2)*.

$$Q = Q_s \times A \times 3,156 \times 10^7 \quad (2)$$

Dans laquelle A représente la superficie du bassin versant du lac [8]. Le temps de renouvellement (T) en eau du lac est donné par *l'équation (3)*.

$$T = V/Q \quad (3)$$

V étant le volume du lac [8].

2-3-3. Physicochimie

Certains paramètres tels la température, le pH et la transparence de l'eau sont mesurés *in situ*. Les deux premiers sont mesurés grâce à un kit d'équipements portatifs tandis que la transparence est évaluée à partir de la profondeur de disparition (Z_d) d'un disque de Secchi blanc de 30 cm de diamètre. La conductivité électrique et l'oxygène dissous (OD) de l'eau sont mesurés à l'aide d'un conductimètre et un oxymètre. La concentration en oxygène dissous est convertie en pourcentage de saturation à l'aide d'un abaque de Mortimer. Les nitrates (NO_3^-) et orthophosphates (PO_4^{3-}), sont mesurés par colorimétrie (« NitraVer V et du PhosVer III ») à l'aide d'un spectrophotomètre.

3. Résultats

3-1. Eléments de morphométrie

3-1-1. Profondeur du LME

Les valeurs de la profondeur du LME déterminées au cours des descentes de terrain (février à juillet 2012) sont ci-dessous présentées.

On note que la profondeur du LME varie en fonction des mois de prélèvement, et donc des saisons. A l'échelle temporelle, on remarque que la profondeur est relativement plus faible pendant la saison des pluies comparativement à la saison sèche.

Tableau 1 : Valeurs de la profondeur du LME.

| Stations | Profondeur (cm) | | |
|----------------------------------|-----------------|---------|-----------|
| | Minimum | Maximum | Moyenne |
| S ₁ | 60 | 83 | 70 |
| S ₂ | 88 | 113 | 99 |
| S ₃ | 48 | 63 | 54 |
| Profondeur moyenne du LME | | | 74 |

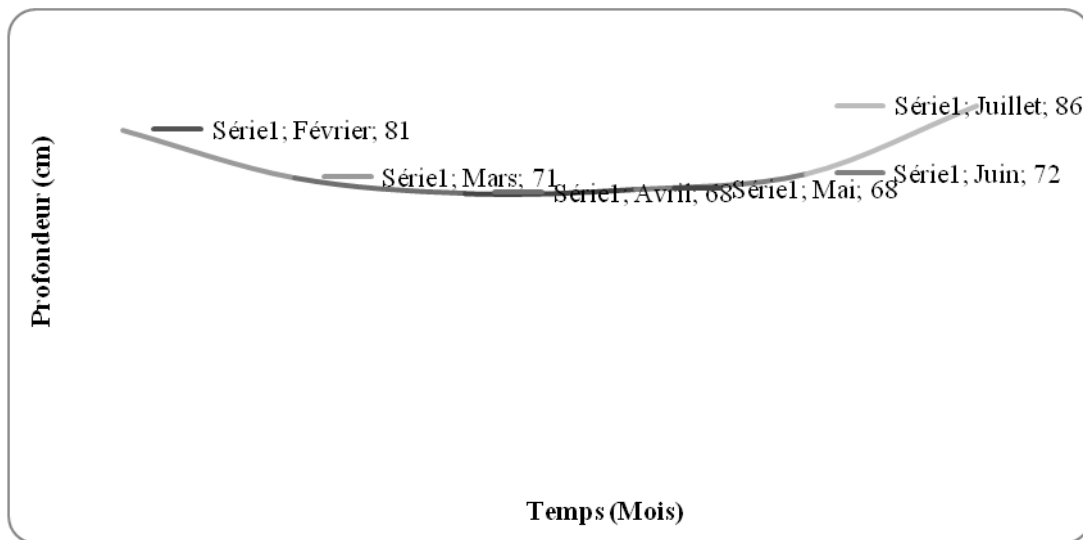


Figure 2 : Variation de la profondeur du LME.

3-1-2. Superficie et périmètre du LME

Les coordonnées géographiques prises aux abords du LME, exploitées à l'aide du logiciel de cartographie Arc GIS Version 10, sont superposées sur une carte satellitaire de la ville d'Ebolowa. Cela permet d'estimer à la fois la superficie et le périmètre de ce plan d'eau, qui sont respectivement de 13, 25 ha et de 2,13 km.

3-1-3. Forme, altitude et volume du LME

Les coordonnées géographiques du LME, positionnés sur la carte satellitaire de la ville, et reliés entre eux permettent d'avoir une idée précise de la forme de ce plan d'eau. Le LME présente donc une forme irrégulière en arc de cercle ou arquée. Situé à 578 m d'altitude par rapport au niveau de la mer, la capacité de ce plan d'eau est estimée à 980,5 m³.



Figure 3 : Forme du LME

Légende

- Point d'échantillonnage
- Cours d'eau
- == Voie principale
- = = Voie secondaire
- Infrastructure sanitaire
- Lac
- Végétation de Macrophytes
- Marécage

3-2. Eléments d'hydrologie

3-2-1. Débit spécifique, débit moyen à l'exutoire et temps de renouvellement

Les valeurs du débit spécifique (Q_s) du LME sont présentées ci-dessous. A partir de ces valeurs sont calculés le débit moyen à l'exutoire (Q), et le temps de renouvellement en eau (T) de ce lac.

Tableau 2 : Valeurs du débit spécifique du LME.

| Stations | Débit spécifique (m^3/s) | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------|-------------|
| | Minimum | Maximum | Moyenne |
| S ₁ | 0,21 | 0,41 | 0,31 |
| S ₂ | 0,17 | 0,37 | 0,27 |
| S ₃ | 0,16 | 0,36 | 0,26 |
| Débit spécifique moyen du LME | | | 0,28 |

Le débit spécifique (Qs) du LME est faible et présente des variations mensuelles. Les valeurs les plus élevées sont obtenues en saison pluvieuse (avril-mai).

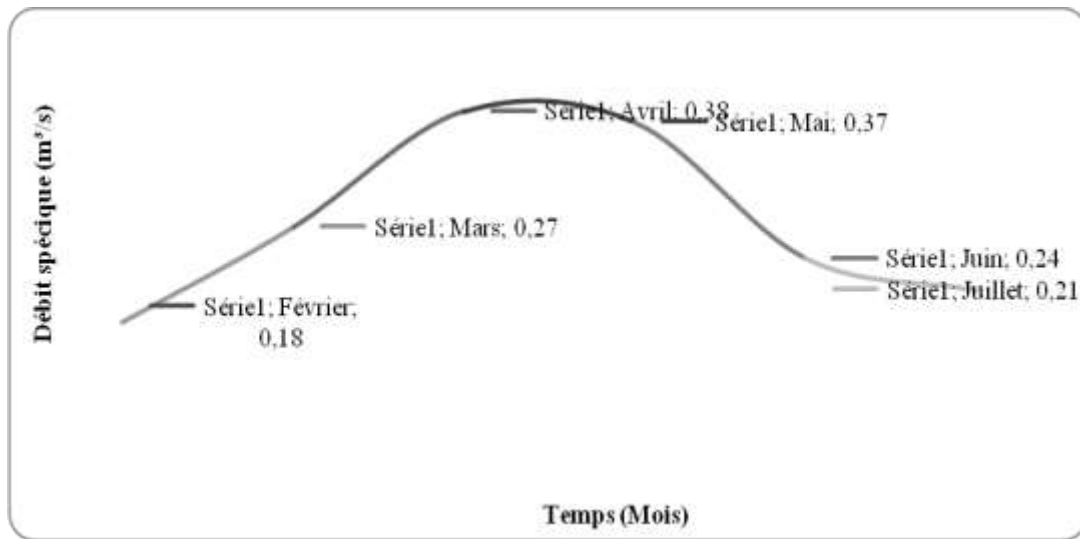


Figure 4 : Variation du débit spécifique du LME.

Les valeurs du débit moyen annuel à l'exutoire et du temps de renouvellement sont respectivement de $Q = 604 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{année}$ et $T = 1,62 \times 10^{-11} \text{ années}$. On observe que le temps de renouvellement complet du volume d'eau du lac (T) est largement inférieur à une année.

3-3. Physicochimie

3-3-1. Température et conductivité

Les valeurs de la température et de la conductivité de l'eau du LME, obtenues au cours des descentes de terrain sont présentés ci-dessous.

Tableau 3 : Valeurs de la température et de la conductivité de l'eau du LME.

| Station | Température (°C) | | | Conductivité (µS/cm) | | |
|----------------------------|------------------|-------|-------|-----------------------------|--------|--------|
| | Min | Max | Moy | Min | Max | Moy |
| S ₁ | 24,35 | 25,60 | 24,88 | 108,70 | 361,35 | 274,13 |
| S ₂ | 23,50 | 25,55 | 24,78 | 139,95 | 336,20 | 258,78 |
| S ₃ | 22,00 | 25,70 | 24,39 | 81,10 | 338,30 | 236,18 |
| Température moyenne | | | 24,69 | Conductivité moyenne | | 256,34 |

Pour ces deux paramètres, les valeurs les plus élevées sont observées en saison sèche. La valeur minimale pour les deux paramètres est obtenue au mois de mai (saison pluvieuse). Ces résultats laissent entrevoir que les eaux du LME ont une minéralisation insuffisante.

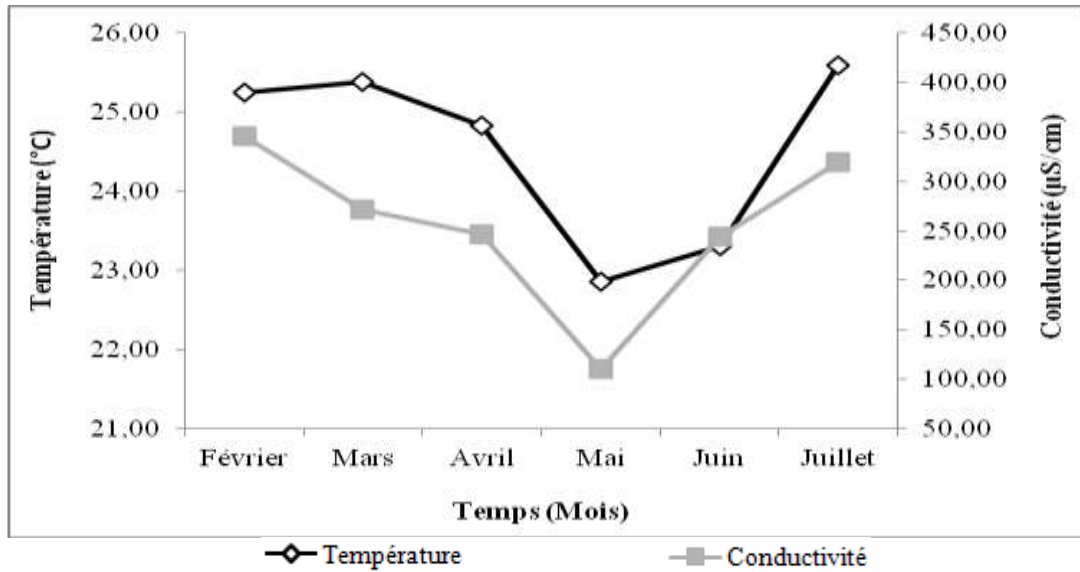


Figure 5 : Variation de la température et de la conductivité de l'eau du LME.

3-3-2. pH et transparence de l'eau

Les valeurs du pH obtenues durant la période d'échantillonnage avoisinent la neutralité, alors que la transparence n'exède pas les 50 cm. Cette transparence est relativement plus élevée pendant la saison sèche comparativement à la saison des pluies.

Tableau 4 : Valeurs du pH et de la transparence de l'eau du LME.

| Station | pH (UC) | | | Transparence (cm) | | |
|-----------------|---------|------|-------------|-----------------------------|-----|-----------|
| | Min | Max | Moy | Min | Max | Moy |
| S ₁ | 6,71 | 7,35 | 6,95 | 28 | 38 | 35 |
| S ₂ | 6,89 | 7,38 | 7,02 | 36 | 43 | 40 |
| S ₃ | 6,34 | 7,04 | 6,67 | 25 | 37 | 32 |
| pH moyen | | | 6,88 | Transparence moyenne | | 36 |

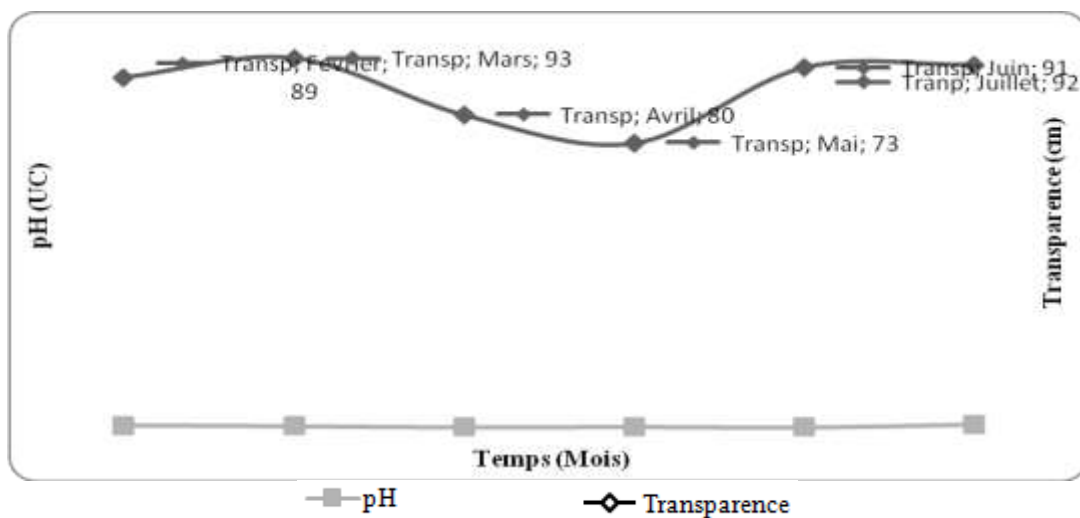


Figure 6 : Variation du pH et de la transparence de l'eau du LME.

3-3-3. Oxygène dissous (% de saturation)

Les valeurs du pourcentage de saturation en oxygène sont présentées ci-dessous. Elles sont plus élevées au mois de février avec une moyenne de 38,56 %. Ce résultat montre un fort déficit en oxygène dissous des eaux du LME.

Tableau 5 : Valeurs du pourcentage de saturation en oxygène de l'eau du LME.

| Station | Pourcentage de saturation en oxygène | | |
|--|--------------------------------------|---------|--------------|
| | Minimum | Maximum | Moyenne |
| S ₁ | 30,00 | 46,00 | 36,00 |
| S ₂ | 44,00 | 66,00 | 54,33 |
| S ₃ | 18,00 | 35,00 | 25,33 |
| % de saturation moyen de l'eau du LME | | | 38,56 |

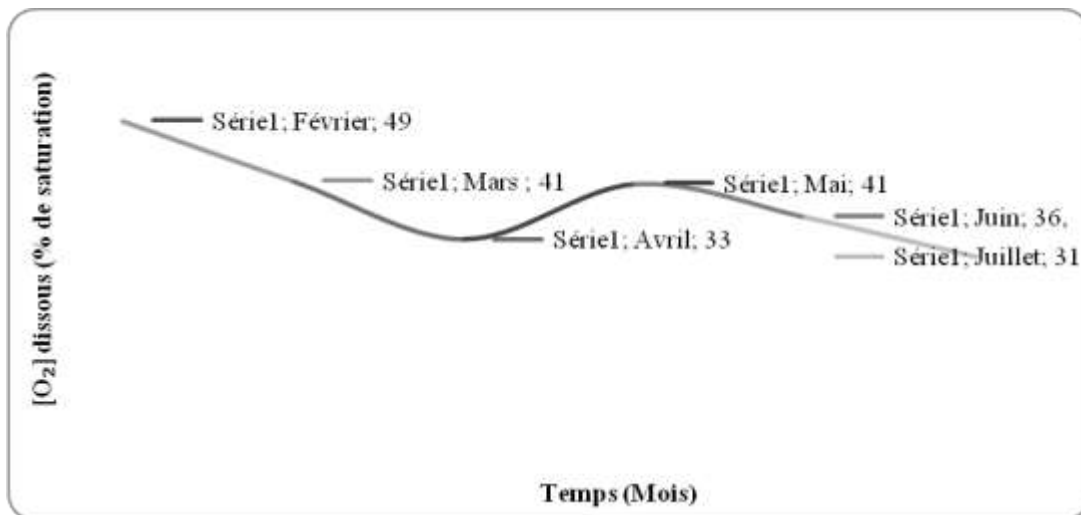


Figure 7 : Variation du pourcentage de saturation en oxygène de l'eau du LME.

3-3-4. Nitrates et orthophosphates

Les teneurs en NO₃⁻ et PO₄³⁻ de l'eau du LME mesurées durant la période d'échantillonnage, laissent entrevoir une variation mensuelle, donc saisonnière de ces ions dans l'eau. Les teneurs maximales en NO₃⁻ et PO₄³⁻ du LME sont obtenues pendant les mois de mars et de juillet respectivement. A l'échelle temporelle, les teneurs en NO₃⁻ baissent graduellement à partir de mars, pour atteindre des valeurs quasi-nulles en juillet.

Tableau 6 : Valeurs de la teneur en nitrates et en orthophosphates de l'eau du LME

| Station | Nitrates (mgNO ₃ ⁻ /l) | | | Orthophosphates (mgPO ₄ ³⁻ /l) | | | |
|---|--|------|-------------|--|------|------|-------------|
| | Min | Max | Moy | Min | Max | Moy | |
| S ₁ | 0,20 | 5,63 | 2,55 | 0,20 | 1,24 | 0,64 | |
| S ₂ | 0,00 | 6,40 | 2,69 | 0,03 | 0,47 | 0,22 | |
| S ₃ | 0,00 | 6,30 | 2,90 | 0,10 | 1,24 | 0,41 | |
| Teneur moyenne en NO₃⁻ | | | 2,71 | Teneur moyenne en PO₄³⁻ | | | 0,42 |

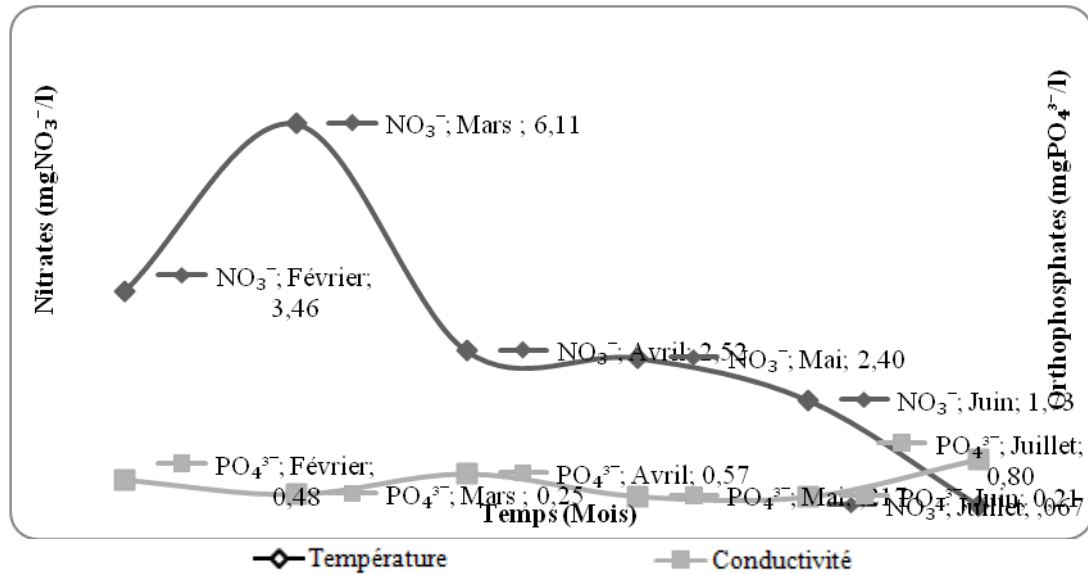


Figure 8 : Variation de la teneur en NO_3^- et en PO_4^{3-} de l'eau du LME.

4. Discussion

La profondeur moyenne du LME est de 74 cm. Cette profondeur varie en fonction du point d'échantillonnage à partir duquel elle est mesurée. Pendant la saison pluvieuse (mars-juin), la profondeur diminue. Cette diminution des valeurs de profondeur peut s'expliquer par le charriage des déchets et particules diverses, l'érosion et le lessivage des berges qui entraînent une accumulation des sédiments et autres éléments au fond du lac, réduisant ainsi sa profondeur. La profondeur maximale du LME (86 cm), est inférieure à celle obtenue au cours d'une étude réalisée en 2005 [6], dans laquelle elle était estimée à 1,60 m. En effet, depuis 2005, aucune disposition particulière n'a été prise par les autorités en charge de la gestion du LME, pour y empêcher le déversement des déchets provenant à la fois du Marché Central, mais aussi des différentes structures jouxtant ce plan d'eau. Au contraire, on assiste à Ebolowa à une augmentation de la démographie, et donc des activités génératrices de déchets qui contribuent à la réduction de la profondeur du lac. Cette situation laisse présager qu'à terme, on pourrait assister à une disparition totale de ce lac, ce qui ne serait pas nouveau au Cameroun. C'est en effet le cas de noter que, des lacs de ce type ont connu le même sort dans certaines villes à l'instar de Bertoua et Yaoundé.

Le débit spécifique moyen du LME ($0,28 \text{ m}^3/\text{s}$), est largement supérieure à celui observé dans la plus part des lacs situés à proximité des grandes municipalités. Il est par exemple de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ au lac Duhamel [8]. Pour ce qui est du temps de renouvellement en eau LME, il est largement inférieur à une année, ce qui le rend fortement vulnérable à l'eutrophisation, à cause de sa forte capacité de récupération. Au lac Duhamel, le temps de renouvellement complet du volume d'eau est estimé à 2,12 années [8], le rendant ainsi moyennement vulnérable à l'eutrophisation du fait de sa capacité de récupération faible à l'inverse du LME. L'analyse des données de terrain à l'aide du logiciel de cartographie Arc GIS, nous a permis d'estimer la superficie et le périmètre du LME, qui sont respectivement de 13,25 ha et de 2,13 km. Elles sont inférieures à celles obtenues dans une précédente étude, dans laquelle elles sont de 16 ha et 2,32 km [6]. Il apparaît au regard de ces résultats que de 2005 à 2012, le LME a perdu 17 % de sa superficie soit 2,75 ha. On y observe en effet une ceinture végétale bien marquée, caractéristique des lacs hautement pollués, conséquence de l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs.

Cette ceinture végétale est sans aucun doute à l'origine de la diminution des paramètres morphométriques du LME. Cette situation est fréquemment observée en cas de changement du degré de trophie [10] des plans d'eau. On assiste en effet à une diminution graduelle de la superficie des lacs, lorsqu'ils passent du stade mésotrophe aux stades eutrophe et hyper-eutrophe. Si rien n'est fait, la superficie du LME peut être recouverte totalement par les macrophytes, laissant ainsi place non plus à un lac mais à une prairie marécageuse comme observé dans la majorité des étangs de la ville de Yaoundé. La température de l'eau du LME dépend fortement de celle ambiante. Durant la période d'étude, elle a faiblement varié et a présenté des valeurs plus élevées en saison sèche. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans d'autres études réalisées au Lac Municipal de Yaoundé (LMY) ([11], [12]), ainsi qu'au barrage de la Mopfou [13]. Ces études montrent en effet qu'au niveau de l'épilimnion de ces plans d'eau, les variations de température sont très faibles.

La conductivité désigne la propriété qu'a une solution à conduire le courant électrique. Cette mesure permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau, c'est-à-dire la quantité de substances dissoutes ionisées qui y sont présentes. Les valeurs déterminées au niveau du LME sont relativement faibles, ce qui montre que les eaux de ce lac ont une minéralisation insuffisante [14]. Ce résultat est conforme à celui obtenu au LMY [10]. Le pH mesure la concentration en ions hydronium (H^+). Il présente une variation saisonnière, situation qui se justifie par la dilution des différents ions dans l'eau en saison pluvieuse, entraînant ainsi une diminution des valeurs de pH. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs au LMY ([10], [15]). La transparence de l'eau du LME n'excède pas les 50 cm, le classant ainsi dans la catégorie des lacs hyper-eutrophes d'après des classifications établies ([16], [17]). La diminution de la transparence de l'eau du LME pendant la saison des pluies a pour conséquence, la distribution plus ou moins anarchique des MES dans la colonne d'eau, mais aussi l'augmentation de la turbidité de l'eau.

L'oxygène est un paramètre très important permettant d'évaluer l'état de santé d'un lac. Au LME, la saturation en OD est faible ce qui met en évidence une faible activité photosynthétique de ses eaux. Cette situation peut s'expliquer par la pollution plus ou moins excessive que subit ce plan d'eau. Ce lac présente un fort déficit en OD car, le pourcentage moyen obtenu (38,56 %) est largement inférieur au minimum de 75 % de saturation en OD caractéristique des conditions biologiques normales [10]. Les apports du LME contiennent des NO_3^- et des PO_4^{3-} , éléments majeurs de l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques. La présence de ces éléments trouve certainement son origine dans les produits de lessive utilisés par les laveries satellites installées à proximité du LME. Formés en présence d'OD, les valeurs les plus élevées en NO_3^- dans les eaux du LME sont obtenues en début de saison pluvieuse (mars). Les teneurs en PO_4^{3-} pour leur part sont plus élevées en saison sèche car, ces substances sont plus concentrées en cette saison, alors qu'elles se dilueraient certainement pendant la saison pluvieuse. Cette situation a été observée au barrage de la Mopfou [13] et est contraire à celle observée au LMY [10].

5. Conclusion

Les lacs jouent un rôle important dans la récréation des populations, et par conséquent dans le développement économique et touristique d'un territoire. En améliorant la qualité de l'eau de ces hydrosystèmes, l'aspect esthétique est revalorisé, l'attrait et la demande augmentent pour ces lieux [18]. La caractérisation hydrologique, morphométrique et physicochimique du LME montre de façon générale que ce plan d'eau se dégrade au fil des années. Il est de ce fait engagé dans un processus d'eutrophisation accéléré qui l'a conduit au stade actuel d'hyper-eutrophe. Le déséquilibre de cet écosystème provient de son

approvisionnement continu en éléments nutritifs. Cette étude constitue donc un argumentaire scientifique et un outil d'aide à la décision pour les autorités de la ville d'Ebolowa, à partir duquel des dispositions fortes doivent être prises pour faciliter la restauration de cet hydrosystème urbain riche en biodiversité.

Références

- [1] - M. Zalewski, "Guidelines for the Integrated Management of the Watersheds. Phytotechnology and Ecohydrology", Newsletter and Technical Publications, Freshwater Management Series, UNEP (5) (2002) 237 p
- [2] - P. M. Hill and J. A. Coetzee, "Integrated control of water hyacinth in Africa", EPPO Bulletin 38 (2008) 452 – 457
- [3] - R. Ogutu Ohwayo, R. E. Hecky, S. A. Cohen and L. Kauf, "Human Impacts on the African Great Lakes", Environmental Biology of Fishes 50 (1997) 117–137
- [4] - Mama Daouda, "Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Benin)", Thèse de doctorat Université de Limoges (2010) 157 p
- [5] - E. Ngnikam, M. Tina et E. Tolale, "Stratégie municipale concertée d'accès à l'eau potable et à l'assainissement de la ville d'Ebolowa", Phase N°1 (2007) Diagnostic concerté.
- [6] - A. I. Ewane, "Etude de la pré faisabilité du projet d'aménagement du Lac Municipal d'Ebolowa", ERA Cameroun (2005) 100 p
- [7] - K. Izydorczyk, "How to assess phytoplankton biomass? In Integrated Watershed Management. Ecohydrology & Phytotechnology –Manual", eds. M. Zalewski and I. Wagner-Lotkowska (2004) 106-109
- [8] - Anonyme, "Lac Duhamel, résultats du suivi triennal 2007 et recommandations", Del Degan, Massé et Associés inc (2007) 18 p
- [9] - J. M. Tanguy, "Traité de l'hydraulique environnementale, ed. Hermes-Lavoisier". Tome 1, Volume 2 (2013) 380 p
- [10] - N. Kemka, "Evaluation du degré de trophie du lac municipal de Yaoundé : Etude du milieu, dynamique et structure du peuplement phytoplanktonique", Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle Université de Yaoundé I (2000) 193 p
- [11] - N. Kemka, T. Njine, S. H. Zebaze Togouet, D. Niyitegeka, A. Monkiedje, S. Foto Menbohan, M. Nola and P. Compère, "Quantitative importance of Cyanobacteria populations in an hypertrophic shallow lake in the subequatorial African region (Yaounde Municipal Lake, Cameroon)", "Arch Hydrobiol.", 983 (2003) 1-16
- [12] - T. Njine, N. Kemka, S. H. Zebaze Togouet, M. Nola, D. Niyitegeka, T. P. Ayissi Etoundi et Foto S. Menbohan, "Peuplement phytoplanktonique et qualité des eaux en milieu lacustre anthropisé : cas du lac municipal de Yaoundé (Cameroun)", "AJST, Science and Engineering Series", 8 (1) (2007) 39-51
- [13] - K. R. P. Djoko, "Evaluation de la qualité des eaux du barrage de la Mopfou à Yaoundé. Physico-chimie et peuplement algal", Mémoire DEA Université de Yaoundé I (2007) 67 p
- [14] - M. Nisbet and J. Vernaux, "Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition des classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques", "Annls Limnol.", 6(2) (1970) 161-190
- [15] - N. Kemka, S. H. Zebaze Togouet, R. P. Djogo Kinfack, M. Nola, S. Foto Menbohan and T. Njine, "Dynamic of phytoplankton size-class and photosynthetic activity in a tropical hypereutrophic lake: the Yaounde Municipal Lake Eutrophication of lakes in urbanized areas: The case of Yaounde municipal lake (Cameroon)", "Hydrobiologia", 625 (2009) 91-103

- [16] - C. Forsberg and S. O. Ryding, "*Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish water receiving lakes*", *Arch. Hydrobiol.*, 89 (1980) 189-207
- [17] - Anonyme, "*Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control*", Final report, Environment Directorate, OCDE, Paris, (1982) 154 p
- [18] - V. Clément, P. Morin, J. F. Bellemare et E. Lucas, "*Programme d'évaluation et de surveillance du Lac des Ecorces*", Rapport de synthèse, Biofilla Consultants en Environnement, Municipalité de Barkmere, (2005) 53 p