

## Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution d'un écosystème aquatique: La rivière Sô et son bassin versant (Sud Benin, Afrique de l'Ouest)

### [ Characterization of the vulnerability to pollution of an aquatic ecosystem: The Sô river and its watershed (South Benin, West Africa) ]

Tohozin Florence<sup>1</sup>, F. Avahounlin Ringo<sup>1</sup>, and Vissin W. Expédit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, FAST, UAC), Benin

<sup>2</sup>Institut de Géographie, de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement (IGATE, UAC), Benin

---

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Population growth is now causing increasing pressure on the environment. In view of the consequences that flow from it, the safeguarding and protection of ecosystems is a fundamental necessity for the biodiversity of fish species. At the scale of the Sô watershed and its tributary stream, anthropogenic actions have considerably influenced the quality of the available water resources. The purpose of this study is to assess the state of vulnerability of the water resource. From the physicochemical and bacteriological data of the water taken from three points of the outlet of the basin, various forms of water pollution have been proved. The results showed a strong variation of physicochemical parameters, a seasonal dynamics of pollution and differentiated mineralization processes. With high photosynthetic activity in the river, a high concentration of dissolved oxygen, COD, nitrates, nitrites, ammonium and other ions is observed in the dry season. The observed presence of coliforms and streptococci confirmed the state of organic pollution and bacteriological and toxicological risks at the basin scale. This situation now calls on the authorities at various levels and managers of the basins to take the necessary measures to avoid public health problems to the neighboring populations, this situation has an impact on the current development of the locality.

**KEYWORDS:** Sô river, aquatic ecosystems, vulnerability to pollution, physicochemical and bacteriological parameters.

**RESUME:** La croissance démographique entraîne de nos jours une pression de plus en plus remarquable sur l'environnement. Au regard des conséquences qui y découlent, la sauvegarde et la protection des écosystèmes sont d'une nécessité fondamentale pour la biodiversité des espèces halieutiques. A l'échelle du bassin versant de la rivière Sô et de son cours d'eau tributaire, les actions anthropiques ont considérablement influencé la qualité de la ressource en eau disponible. Cette étude a pour l'objectif l'évaluation de l'état de vulnérabilité à la pollution de la ressource en eau. A partir des données physico-chimiques et bactériologiques des eaux prélevées à trois points de l'exutoire du bassin, il a été prouvé diverses formes de pollution des eaux. Les résultats ont montré une forte variation des paramètres physico-chimiques, une dynamique saisonnière de la pollution et des processus de minéralisations différenciés. Avec une grande activité photosynthétique dans la rivière, on note en saison sèche une forte concentration de l'Oxygène dissous, de la DCO, des nitrates, des nitrites, de l'ammonium et autres ions. La présence remarquable des coliformes et streptocoques a confirmé l'état de pollution organique et bactériologiques et les risques de toxicologie à l'échelle du bassin. Cette situation interpellent désormais les autorités à divers niveaux et gestionnaires des bassins à prendre les dispositions nécessaires afin d'éviter des problèmes de santé publique aux populations riveraines, cette situation a sans doute un impact sur le développement actuelle de la localité.

**MOTS-CLEFS:** rivière Sô, écosystèmes aquatiques, vulnérabilité à la pollution, paramètre physico-chimiques et bactériologiques.

## **1 INTRODUCTION**

Les points d'eau naturels sont d'une importance capitale pour la satisfaction des divers besoins de la population. Cependant, ces derniers ne sont toujours pas de la qualité requise. La qualité physico-chimique de l'eau est le socle de l'écologie du cours d'eau ; elle sert de support à la vie aquatique (DCE, 2000). L'étude de la qualité physico-chimique et l'évaluation du niveau trophique des cours d'eau permettra de caractériser les éléments minéraux qui dégradent la qualité des eaux et menacent la vie aquatique (Mama et al., 2011).

Au Bénin, les différents écosystèmes comme la rivière Sô subissent une forte pression démographique liée à leur situation en zones humides. Dans cette rivière, les apports massifs de nutriments liés aux multiples activités anthropiques ont provoqué très souvent l'eutrophisation, caractérisée par la prolifération de la jacinthe d'eau (Ogutu – Ohwayo et al., 1997 ; Mama, 2010). Les rejets domestiques et les eaux des collecteurs sont fortement chargés de matières organiques qui s'oxydent en consommant de l'oxygène. Ces divers rejets contribuent à la présence des matières organiques, des contaminants microbiologiques (coliformes fécaux, coliformes totaux, streptocoques, etc.) et des polluants chimiques (phosphates, nitrates, nitrites, ammonium, métaux lourds etc.) dans cet écosystème qui ne sont pas sans incidence sur la vie des espèces aquatiques (Tométin, 2008 ; 2013). En effet, la rivière Sô et sa berge sont devenues un réceptacle de déchets solides et liquides jetés par les populations, de nombreuses déjections de porcs et des bœufs et enfin du trafic frauduleux des hydrocarbures (pétrole essence, gasoil, huile à moteur) (Kiossa, 2011).

En absence de toute mesure conservatoire d'hygiène et d'assainissement de la rivière Sô et de son bassin versant, les risques écotoxicologiques sont à craindre, la qualité des eaux est compromise et la faune aquatique reste fortement menacée. Il urge donc que des mesures soient prises pour une gestion intégrée de l'écosystème aquatique. Si plusieurs études menées à nos jours dans le secteur d'étude et ses environs portent sur la biologie et l'écologie d'une espèce de poisson *Heterotis niloticus* (Adité et al., 2006) , la caractérisation physico-chimique du système (Koudenoukpo et al, 2017), la pollution physico-chimique et bactériologique du lac Nokoué (Flavien et al, 2011), la caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Daouda et al, 2011) ; aucune d'entre elles ne proposent d'approche de gestion intégrée du bassin. La présente étude en caractérisant la vulnérabilité à la pollution de la rivière Sô et de son bassin versant propose un moyen de gestion intégrée de l'écosystème aquatique.

## **2 MATERIELS ET METHODES D'ETUDE**

### **2.1 MILIEU D'ÉTUDE**

La rivière Sô est comprise entre 6°24' et 6°32' Latitude Nord et 2°27' et 2°30' Longitude Est. Elle est située dans la commune de Sô-Ava, commune à laquelle elle doit son nom. D'une longueur de 84,4 Km, la rivière Sô prend sa source dans le lac Hlan et est reliée au fleuve Ouémé par des marigots. Cette rivière est l'une des anciens bras du fleuve Ouémé, qui entre temps s'en est détachée, et qui déverse ses eaux au Nord-Ouest du lac Nokoué au niveau de la cité lacustre de Ganvié (Lalèyè, 1995). Tout au long du bassin de cette rivière, les riverains pratiquent d'importantes activités agricoles (patates, manioc, maïs et cultures) nécessitant l'usage des engrais et l'élevage des porcs et bœufs laissées en divagation sur les berges. De même pour leurs activités de pêche, de nombreux branchages sont utilisés pour la réalisation des acadjas qui abondent la rivière et enfin le trafic frauduleux des hydrocarbures qui s'observe quotidiennement sont autant d'activités anthropiques qui se développent dans ce milieu.

### **2.2 DONNÉES D'ÉTUDE**

Les données utilisées concernent les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau échantillonnées. Les paramètres physiques déterminés sont le pH, la conductibilité, la température, la salinité, les turbidités (TDS) et la couleur. Les paramètres chimiques prennent en compte les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les Fluorures (F<sup>-</sup>), les Phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), les Iodures (I<sup>-</sup>), le Fer total ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ), les Chlorures (Cl<sup>-</sup>), les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), l'Oxygène dissous ( $\text{O}_2$ ), la DCO, la Dureté totale et l'Alcalinité. La microbiologie concernent les taux respectifs de DBO, Coliformes totaux de Coliformes Fécaux et des Streptocoques Fécaux. Ces données ont été extradiées de trois stations situées à l'exutoire du bassin versant délimitant la rivière Sô. Le choix des points d'échantillonnage a été effectué de façon raisonnée afin d'avoir des informations plus précises sur le secteur d'étude. Un point S1 est situé sur la branche quittant le village lacustre de Ganvié (l'objectif de ce prélèvement est d'avoir une estimation de l'impact du village lacustre de Ganvié sur la qualité de l'eau) ; un point S2, situé à Sô – Ava (renseigne sur la qualité de l'eau de la rivière Sô) et le point S3 est situé à l'entrée du village Sôtchanhoué en partant de la seconde branche de la Sô (Il permet

d'apprécier l'influence des eaux du fleuve Ouémé). La figure 1 présente la localisation géographique du bassin de la rivière et des stations d'étude.

### 2.3 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué mensuellement pendant 12 mois (Janvier 2016 à Décembre 2016). Les mesures et prélèvements in situ des eaux ont eu lieu tôt le matin. Lors de chaque campagne un dispositif de mesure approprié est utilisé : un disque de Secchi ; un multi paramètre, Model SX736 pH/mV/Conductivity/DO Meter. Avec ce dispositif, les paramètres physiques sont sur place mesurés. Ensuite les prélèvements d'eau ont été faits dans des bouteilles en polyéthylène à double bouchage de contenance 1000mL, conservés dans une glacière à 4°C puis ramener au laboratoire. Au laboratoire, les paramètres chimiques ont été dosés par chromatographie ionique à l'aide d'un Chromatographe ionique DIONEX ICS-1000 respectivement au Nesler, Diazotation, Réduction au Cd, Nessler et Acide ascorbique selon Rodier (2009). Le dosage par chromatographie ionique est une technique analytique qui permet l'analyse qualitative (par séparation des espèces présentes) et quantitative des espèces ioniques présentes dans un échantillon liquide dépourvu de Matières en suspension (Rodier, 2009). Pour les analyses bactériologiques, les échantillons d'eaux ont été pris dans des bouteilles en verre de 250 ml. Le mode opératoire consiste à filtrer 10 à 100 ml de l'échantillon d'eau préalablement dilué à travers une membrane cellulosique filtrante. Toutes les bactéries présentes dans l'échantillon sont retenues à la surface de la membrane ; celle-ci est ensuite mise sur des milieux de cultures gélosés favorables à la nutrition des bactéries. Les lectures sont faites 48 heures après une incubation à 37 °C. Les différents milieux solides utilisés pour cette analyse bactériologique ont permis la détermination des coliformes et des streptocoques. Ces différentes analyses ont été effectuées au Laboratoire de la Direction Générale des Ressources en Eau au Bénin.

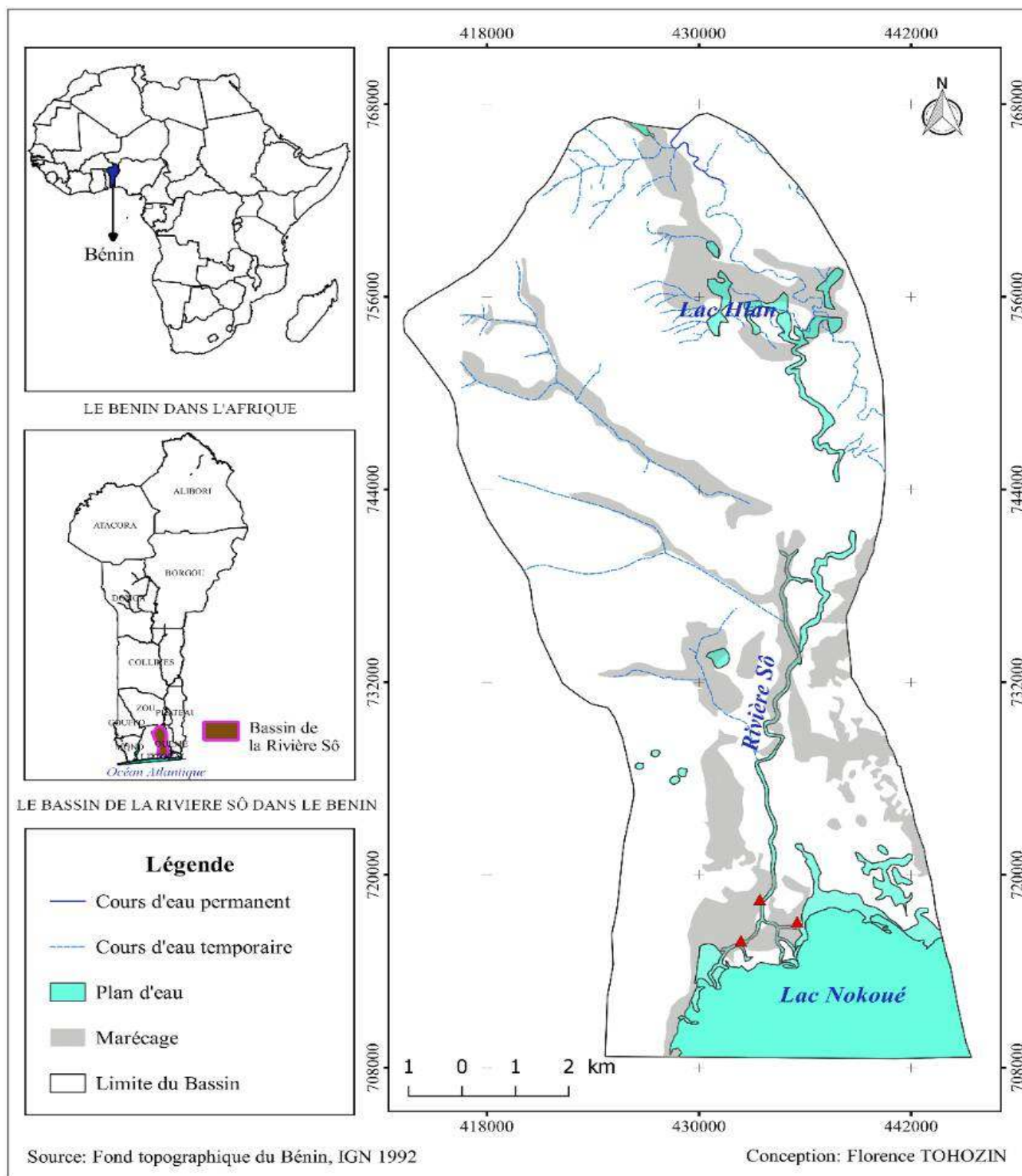


Fig. 1. Situation géographique du secteur d'étude et points de prélèvements

#### 2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Les séries de données observées est faite d'une matrice de 27 paramètres – trois stations – 12 mois. Des statistiques descriptives ont été constituées au moyen du logiciel SPSS. En effet différents tests statistiques ont été appliqués aux séries de données constituées. Le test de Mann-Whitney combiné au test de Kruskal-Wallis a été appliqué pour vérifier l'homogénéité

des paramètres et leur variabilité entre les mois et les stations définies. A partir du groupage des stations et campagne effectuée obtenu par Classification Hiérarchique Ascendante (ACH) telle que préconisée par Belkhir et al, (2010), le test de Manova est appliquée afin de vérifier la redondance des différentes variables en jeu. De plus une analyse canonique discriminante a été réalisée sur les valeurs moyennes des différents groupes obtenus après la classification. Enfin la méthode d'analyse PEIR (Pression, Etat, Impact, Réponse) a permis de déterminer les différentes causes de la pollution chimique et bactériologique de l'eau du lac, les risques écotoxicologiques liés à cette pollution et les mesures à prendre pour atténuer la dégradation de cet écosystème aquatique.

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques, les différentes investigations documentaires ont été obtenus et sont présentés suivant l'objectif de l'étude. Les tableaux 1 et 2 déterminent les statistiques descriptives des différents paramètres mesurés à toutes les stations combinées et campagne effectuée. A l'exception de la température, des ions nitrites, fluorures, phosphates, iodures et du fer total on note une forte variation des paramètres physico-chimiques mesurés. Ceci semble lié à la différence des périodes et stations de mesure. Toutefois les apports respectifs du fleuve Ouémé ou des activités anthropiques sont susceptibles de contribuer à cette variation observée.

**Tableau 1 : Statistiques descriptives des paramètres physiques**

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyennes	Ecart-type
pH (In situ)	6,51	7,615	6,84725	0,2716886
pH (labo)	6,63	7,37	6,900028	0,1896351
Conductivité	82,4	2,75	6,085748	<b>7,829834</b>
Température de l'eau	23,3	29,9	2,740833	<b>1,7941771</b>
Température de l'air	0	30,8	7,863889	<b>12,9144914</b>
TDS	82	2,75	6,087306	<b>7,8334022</b>
Salinité (mg/L)	0	17,1	3,074722	<b>4,8215738</b>
Couleur	0	320	1,614444	<b>110,992778</b>

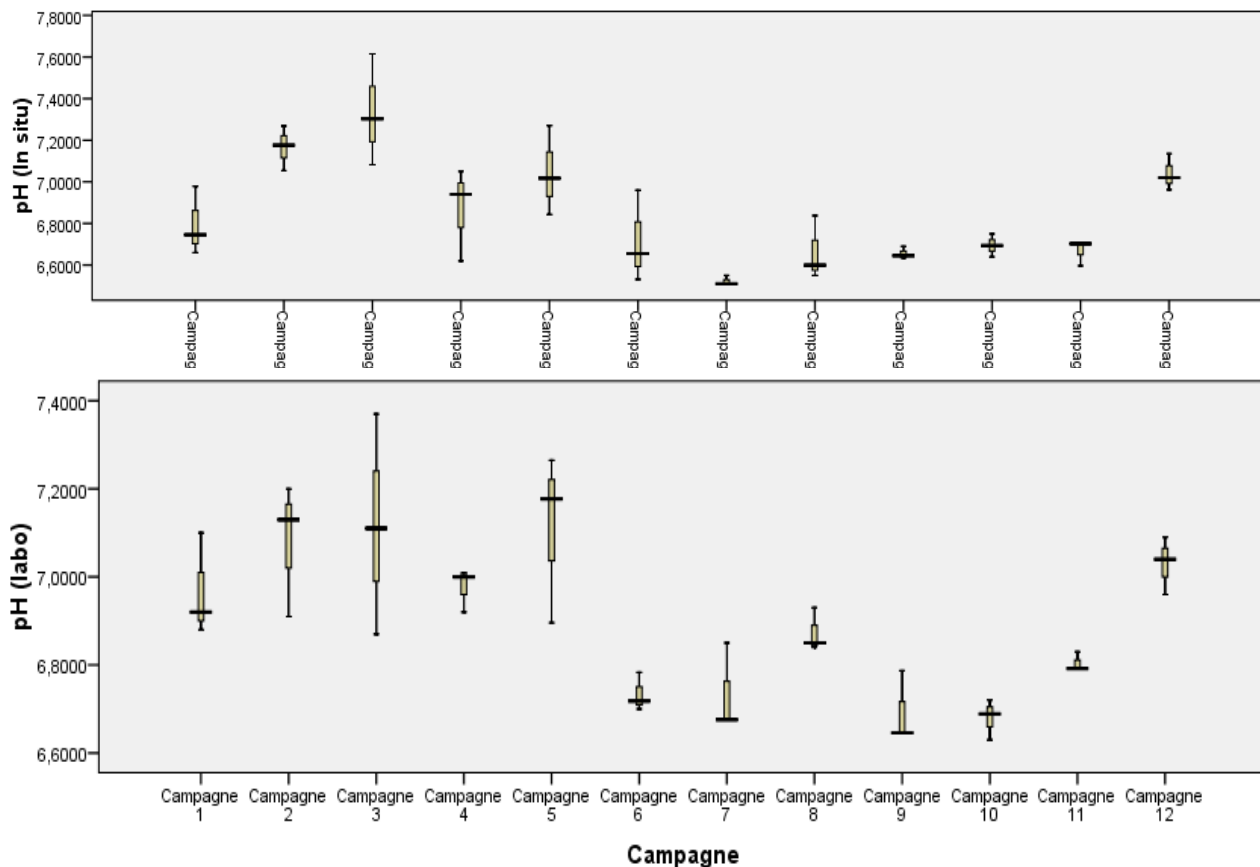
**Tableau 2 : Statistiques descriptives des paramètres chimiques**

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyennes	Ecart-type
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	4,84	1,171944	<b>1,626744</b>
NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,4	4,74	1,341233	<b>1,1510678</b>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0	0,299	0,099325	0,111183
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	535	1,278333	<b>173,780075</b>
F <sup>-</sup>	0	1,21	0,351667	0,3742612
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,11	2,69	0,409444	0,4623848
I <sup>-</sup>	0	1,68	0,375	0,3351375
Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup>	0,01	2,24	0,962222	0,811961
Cl <sup>-</sup>	10,046	9,23	1,63314	<b>2,3098424</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,4	97,6	3,009583	<b>33,9010079</b>
Mg <sup>2+</sup>	2,9184	457,216	9,314547	<b>126,436832</b>
Ca <sup>2+</sup>	5,6112	167	4,390181	<b>46,0002856</b>
Dureté totale	28	2,24	4,839444	<b>604,009553</b>
Alcalinité	10	1	1,345833	<b>269,797212</b>
O <sub>2</sub> dissous	0	4,8	1,401667	<b>1,4205502</b>
DCO	0	145,608	3,243154	<b>32,0337886</b>

#### 3.1 VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DES PARAMÈTRES PHYSIQUES

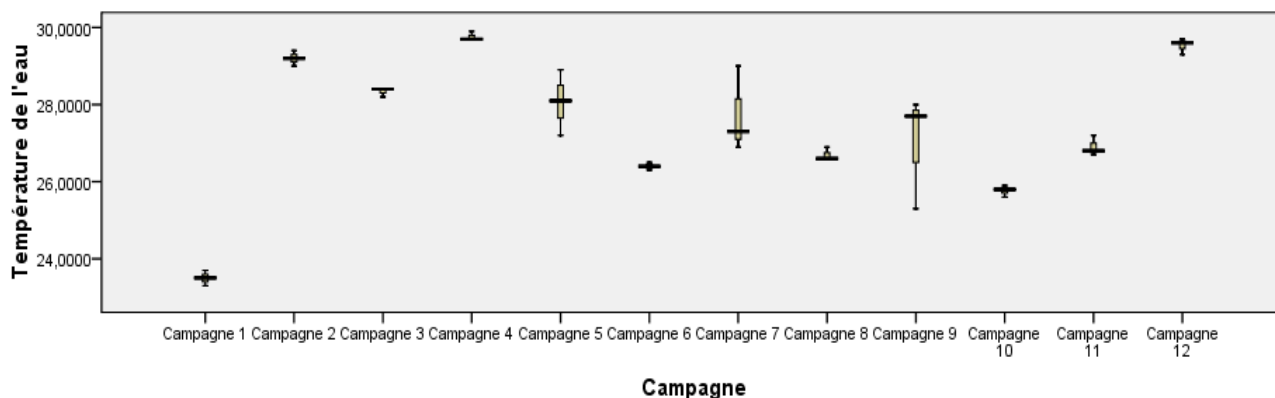
L'eau naturelle pure est neutre c'est à dire pH égal à 7. Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. La figure 2 présente les pH (in situ et au laboratoire) obtenu au cours de l'année (Janvier à Décembre). De Décembre à Juin les pH enregistrés sont de l'ordre 6,7 à 7,6 puis d'ordre inférieur 7 de Juillet à Novembre. Le taux de variation des pH est très faible (inférieur à 1,2) pour l'ensemble des stations de prélèvement avec par endroit de forte valeurs (stations ST1 et ST3). En effet le système d'évaluation de la qualité de l'eau au Bénin permet

d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités : maintien des équilibres biologiques, production d'eau potable, etc. Les valeurs du pH de la rivière étant comprises dans la limite des normes qui est de 6,5-8,5 (Dovonou et al, 2011) la rivière Sô est classé eutrophe. Les fortes valeurs par endroit obtenues peuvent être liées à l'activité photosynthétique des phytoplanctons.



**Fig. 2. Variabilité saisonnière des pH des eaux**

Sur l'ensemble des stations la température quant à elle varie de 25,1 – 29,4 entre Octobre et Mai et 26,4 – 28,5 entre Juin et Septembre. Les températures expriment mieux les périodes de mesure, faible en saison pluvieuse et forte en saison sèche.



**Fig. 3. Variabilité saisonnière des températures de l'eau**

La figure 4 présente le complexe conductivité – turbidité TDS- salinité à différentes campagne. La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Les conductivités observées sont très élevées en période de saison sèche (valeur supérieure à 5000 $\mu$ S/Cm) et faible en saison pluvieuse. Cette variation saisonnière de la conductivité est accompagnée au même degré par la turbidité et la salinité, ce qui explique une forte minéralisation de la rivière.

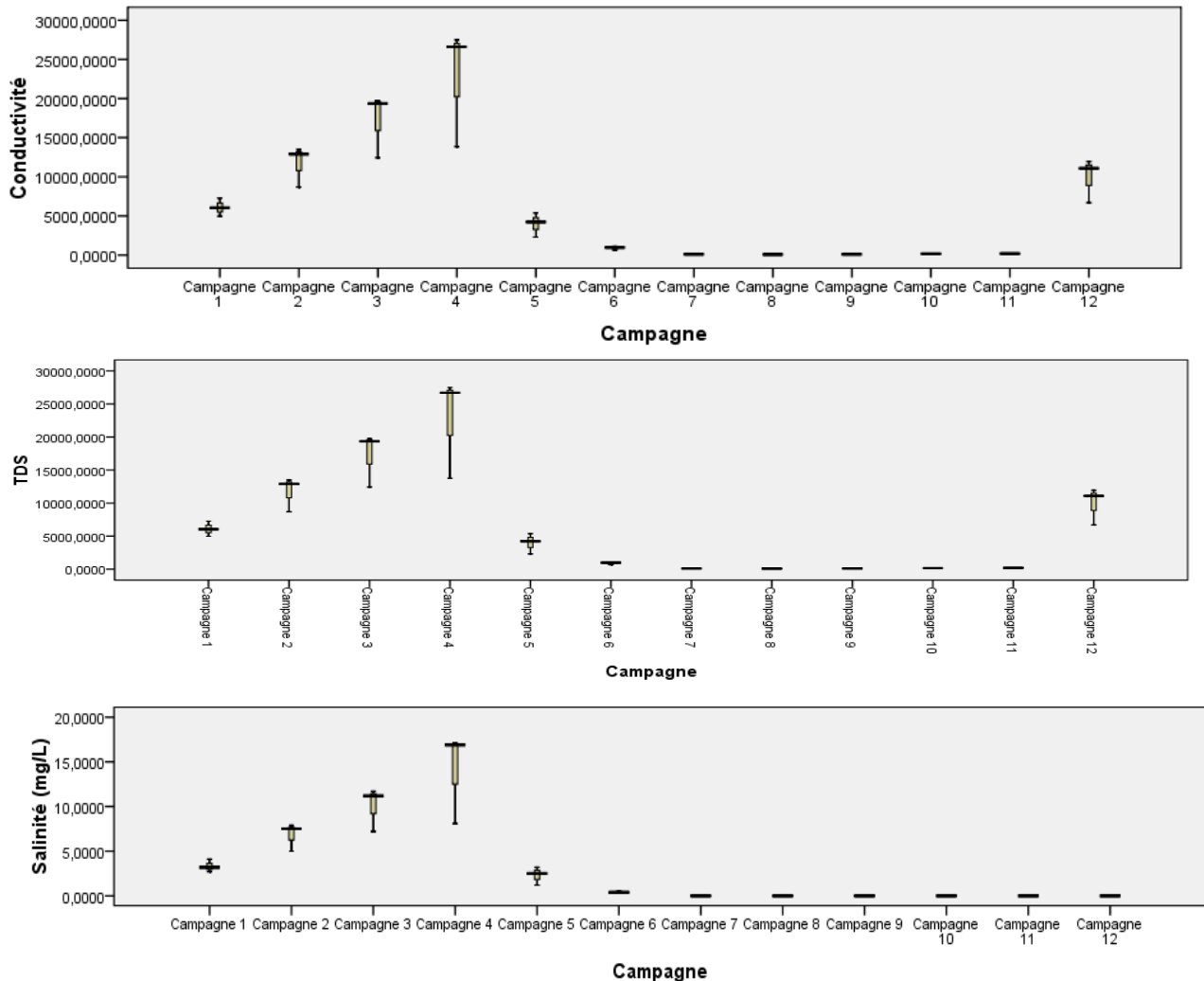


Fig. 4. Variabilité saisonnière du complexe conductivité – turbidité – salinité de l'eau

### 3.2 VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DES PARAMÈTRES CHIMIQUES

Les graphiques de la figure 5 présentent les teneurs en oxygène dissous et les demandes biologique et chimique en oxygène des eaux de la rivière Sô. La teneur (en mg/L) d'oxygène dissous est de 2,5 à 4,8 en période sèche et inférieure à 1 en saison pluvieuse. Considérant les normes requises, l'eau de la rivière est fortement polluée en saison pluvieuse (une valeur de 1 à 2 mg d'O<sub>2</sub> par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible) et est de bonne qualité en saison sèche (une teneur de 4 à 6 mg d'O<sub>2</sub> par litre caractérise une eau de bonne qualité). Toutefois les fortes valeurs (de l'ordre de 4 mg/L) sont susceptibles de perturber la vie de certains poissons sensibles. L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation de dioxygène (O<sub>2</sub>). La mesure de cette demande en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables, donc son degré de pollution ou sa qualité. Il est évalué par la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) et la demande chimique en oxygène (DCO). Les DBO<sub>5</sub> mesurés sont compris entre 10 mg/L et 30 mg/L avec de fortes valeurs en saison pluvieuses. Cette forte valeur de DBO<sub>5</sub> en saison pluvieuse se corrèle

avec de faibles valeurs de DCO (inférieur à 20 mg/L) qui peuvent atteindre les 140 mg/L. Ceci témoigne d'une quantité élevée de matières organiques présentes dans l'échantillon.

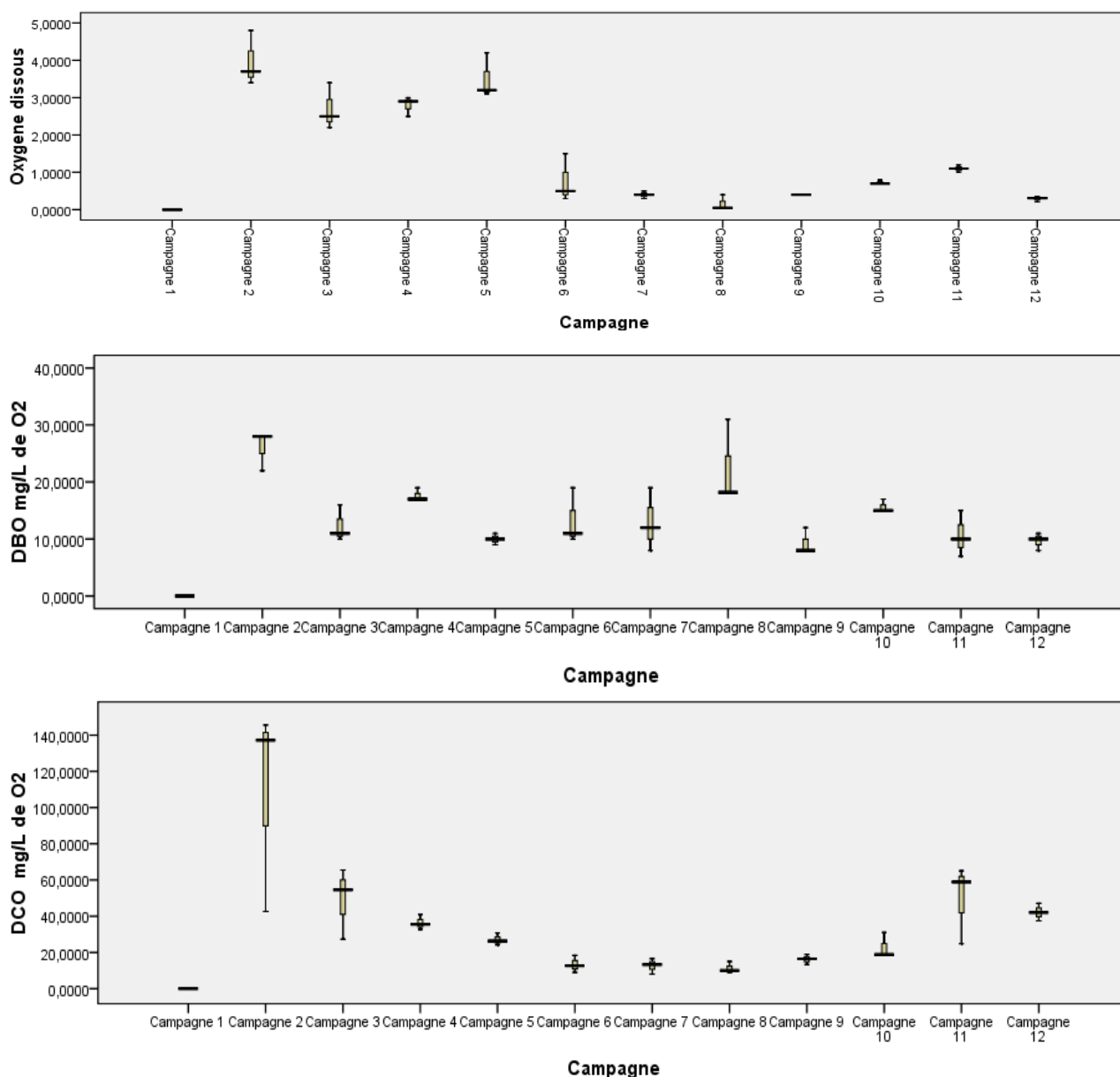


Fig. 5. Variation des teneurs en Oxygène dissous, DBO<sub>5</sub> et DCO de l'eau

L'évaluation du taux de nitrites présente des valeurs inquiétantes (figure 6). En effet, les nitrites proviennent de la réduction du nitrate sous l'influence des bactéries. En période sèche toutes les stations présentent une concentration de nitrite supérieure (comprise entre 0,15 mg/L et 0,28 mg/L) à la limite admissible de 0,06 mg/L correspondant au seuil inférieur de la gamme de toxicité aiguë (Djibril, 2001). La contamination de l'eau par le nitrate constitue un danger eu égard le rôle que joue cette dans le quotidien des populations riveraines installé dans le bassin versant. L'effet le plus grave et le plus anciennement connu des nitrates est la méthémoglobinémie. Ces concentrations élevées en nitrites nuisibles pour les jeunes poissons témoignent de la présence de matières toxiques. Mais compte tenu de la teneur en Oxygène dissous durant cette saison sèche les différentes concentrations de l'ammonium obtenues sont largement inférieures aux normes de qualité (8 mg/L) sur toutes les stations.



Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques. Quel que soit la période de prélèvement, les valeurs obtenues (comprise entre 0,5 µg/L et 2,5 µg/L sont largement inférieure à la norme universelle (50 µg/L), ceci explique les problèmes d'eutrophisation sur la rivière (figure 7).

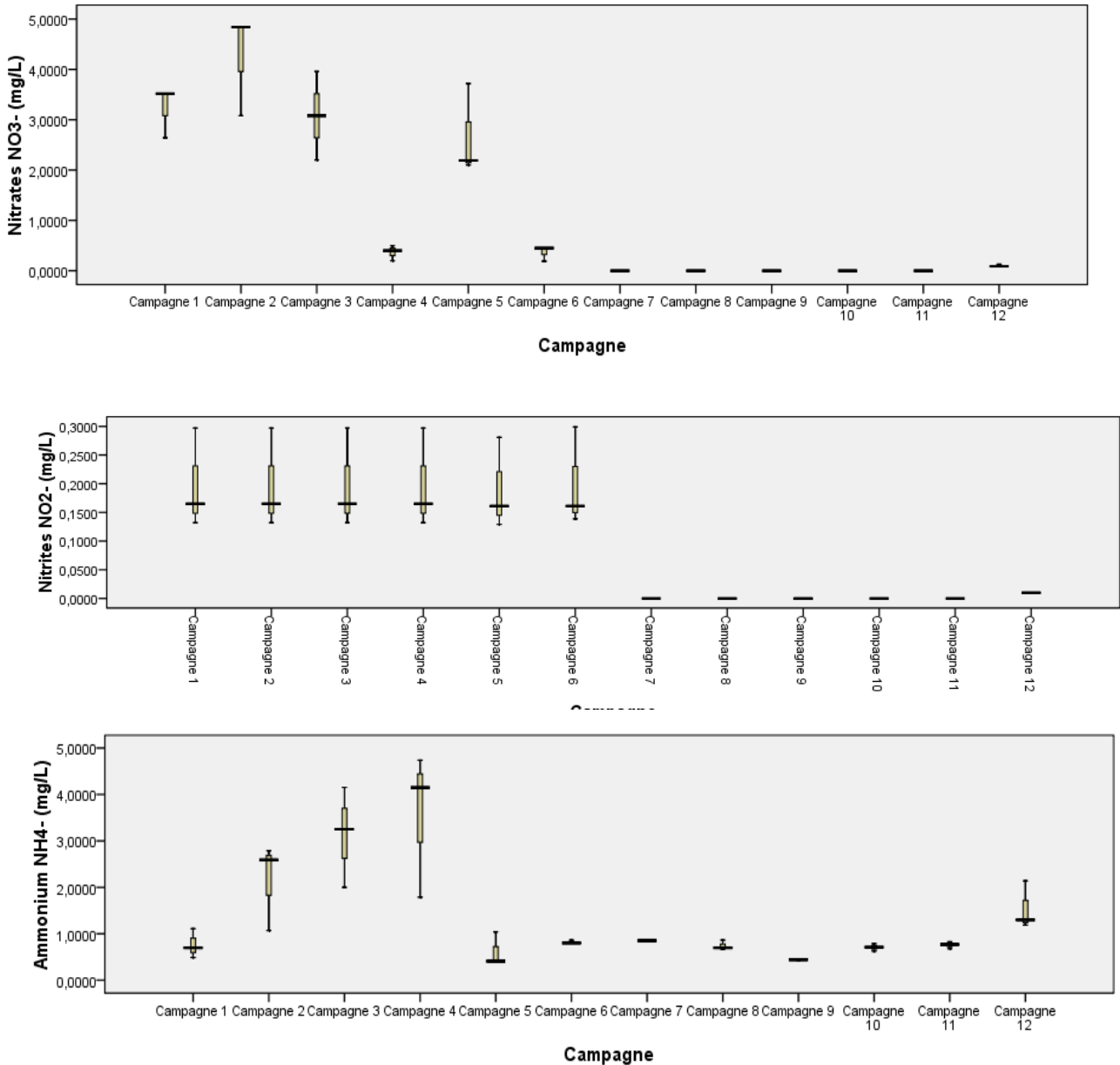


Fig. 6. Variation des teneurs en nitrates, nitrites et Ammonium dans l'eau

En effet, les algues diffèrent de la vie animale microscopique de nos plans d'eau à cause de leur mode de respiration : elles libèrent plus d'oxygène durant la journée qu'elles en utilisent, et absorbent plus de dioxyde de carbone qu'elles n'en relâchent, alors que les animaux et les organismes photosynthétiques libèrent le dioxyde de carbone et absorbent l'oxygène de leur environnement. Les algues réagissent habituellement d'une façon opposée pendant la nuit, lorsqu'elles agissent comme des matières organiques mortes augmentant ainsi la DBO. Par ailleurs d'autres éléments chimiques non moins importants à savoir les bicarbonates, le magnésium et les ions calcium sont observés à des concentrations relativement faibles en période sèche. La présence de ces deux cations (magnésium et calcium) dans l'eau rassure du faible degré de toxicité en métaux lourds. Au total les différents regroupements saisonniers des paramètres physico-chimiques ont été confirmés par l'application du test de manova où des processus de minéralisations et autres activités physiques sont observés soit en saison pluvieuse ou en saison sèche.

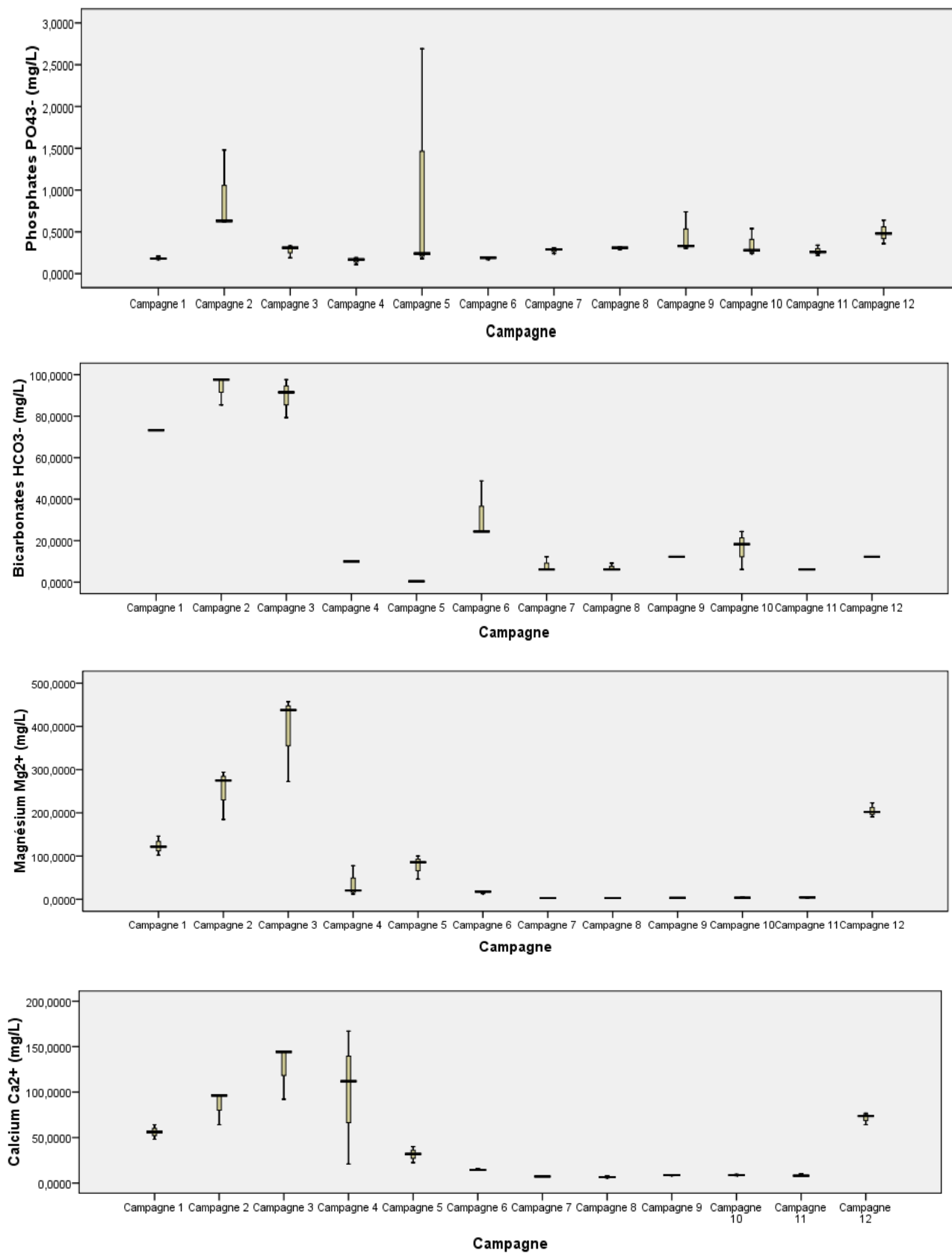
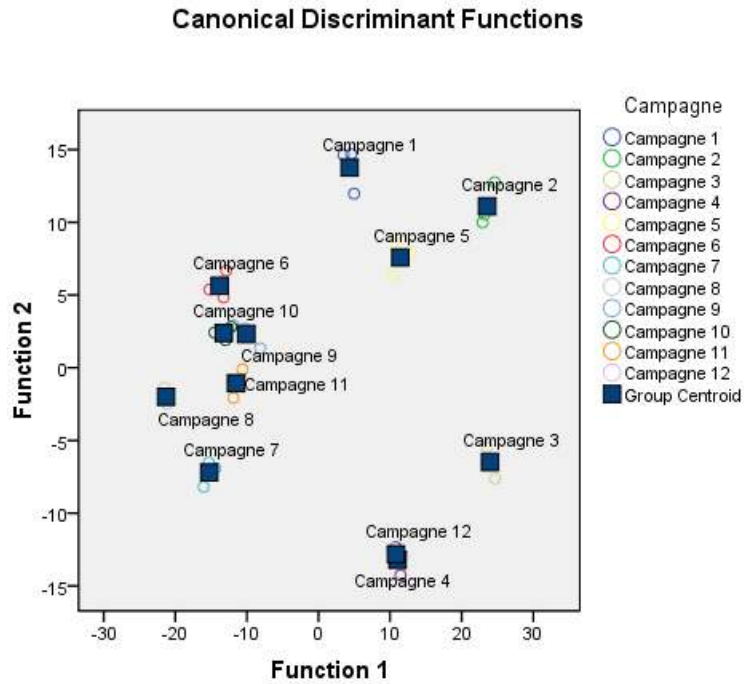


Fig. 7. Variation saisonnières des teneurs en phosphates, bicarbonates, magnésium et calcium dans l'eau



**Fig. 8.** Groupage des campagnes par application du test de Manova

### 3.3 ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE ET DEGRÉ DE POLLUTION DES EAUX

Les résultats des analyses bactériologiques de l’eau de la rivière sont représentés sur les graphiques de la figure 9. On note une concentration de coliformes et streptocoques en saison sèche. Durant la saison pluvieuse, la diminution de leur concentration serait à la rareté de l’oxygène indispensable au suivi de ces microorganismes.

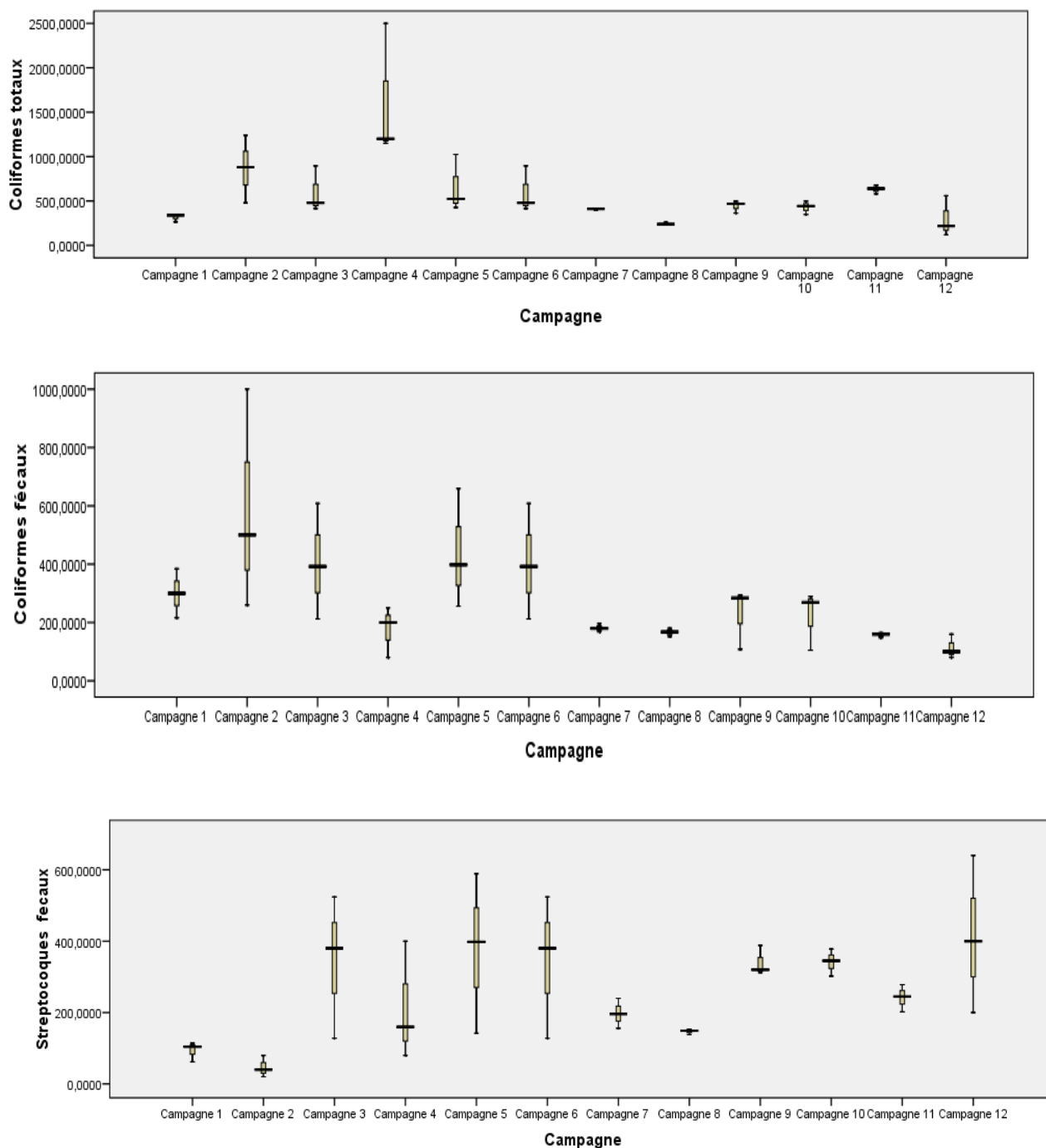


Fig. 9. Variation saisonnière du taux des espèces microbiologiques déterminés dans les eaux

La présence en plein temps de ces microorganismes confirme l'influence d'une forte pollution fécale de la rivière. Ces derniers justifient la prévalence élevée de maladies diarrhéiques et de dermatoses signalée par les agents de santé des localités riveraines. Se référant à la limite des classes de l'Indice de Pollution Organique (Leclercq, 2001), l'indice de pollution organique des eaux a été évalué à différent point de prélèvement. Ce dernier est nul le long de la rivière puis sur faible ces deux bras. En effet les principales sources de pollution organique de la rivière sont d'une part le dépôt des branchages d'acajas, les dépotoirs sauvages d'ordures implantés le long de la berge du cours d'eau. Les apports de phosphore par lessivage des bassins versants en amont généralement occupés par des déchets solides ménagers. Un fonctionnement différent concernant l'enrichissement du milieu en azote et phosphore peut être envisagé. Il apparaît que les eaux usées jouent un rôle majeur dans les apports

d'azote, alors que le fleuve Ouémé qui draine les eaux du bassin de l'Ouémé supérieur à forte exploitation d'engrais pour les champs de coton apporterait une grande partie du phosphore (Mama et al, 2011).

### 3.4 DISCUSSION

La pollution des eaux de surface pourrait être source de diverses maladies (choléra, typhoïde, hépatites, bilharziose et intoxications chimiques). Le long du bassin versant de la rivière Sô, Les intenses activités agricoles et l'importante quantité de branchages servant à la construction de piège à poissons qui y sont quotidiennement déversées par les pêcheurs dans le cadre des activités halieutiques libèrent de grandes masses d'éléments chimiques. Les produits chimiques libérés peuvent pénétrer l'écosystème et s'intégrer dans les matières en suspension, ce qui représente un énorme danger pour les organismes aquatiques (Noumon et al, 2015).

Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques étudiés montrent de grandes variations suivant la saison pluviométrique. La température des eaux est généralement supérieure à 25°C, température favorable pour le développement des bactéries, des parasites, des larves de moustique et autres germes microbiens (Pouomogne, 1998), arrivant à un maximum de 29,4°C en saison sèche. Ces valeurs confirment plusieurs travaux dans le secteur d'étude ou des milieux similaires (Tchakonté et al, 2015). Les pH des eaux se situent entre 6,7 à 7,6 et sont comprises dans la limite des normes requises ; la rivière Sô est classé eutrophe. Ces valeurs proches de la neutralité sont caractéristiques de la majorité des eaux de surface et n'indiquent ni pollution acide ni pollution basique des eaux de la rivière. Elles traduisent selon la grille de Beaux (1998) des eaux de bonne qualité et surtout pour l'aquaculture. Toutefois de fortes valeurs par endroit obtenues témoignent l'activité photosynthétique des phytoplanctons, L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.

Une forte minéralisation des eaux de la rivière en saison sèche est à signalée compte tenu des valeurs de la conductivité électrique enregistrées (valeur supérieure à 5000µS/Cm). Cette augmentation de la conductivité électrique avec la température en période sèche serait liée à la concentration des sels dans l'eau (Bontoux, 1993). Ce qui justifie les fortes teneurs en salinité salinité, facteur limitant pour certaines espèces larvaires (Louah, 1995). La minéralisation des eaux de la rivière Sô indique des proportions d'éléments chimiques en suspension (les bicarbonates, le magnésium et les ions calcium) à des concentrations relativement faibles en période sèche. La présence de ces deux cations (magnésium et calcium) dans l'eau rassure du faible degré de toxicité en métaux lourds. Ceci pourra être vérifié par un dosage des métaux lourds en présence. Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Les valeurs obtenues montrent que les eaux de la rivière sont très bien oxygénées, le cours d'eau est en bon état. Ces résultats sont semblables à ceux de Chouti et al, (2010). D'après Koudénoukpo et al (2017), ces auteurs indiquent que la teneur en oxygène donne des indications sur la santé en des cours d'eau et permet, entre autres d'évaluer la qualité des habitats des poissons. Les valeurs d'oxygène comprise dans cette gamme est acceptable pour le stade initial et les autres stades de vie dans les écosystèmes tropicaux conformément aux recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (CCME, 2011).

Les valeurs d'oxygène trouvées sont accompagnées par une augmentation des solides totaux dissous traduisant des conditions plus favorables à la dégradation de la charge organique. Ce paramètre fait partie intégrante du métabolisme de l'écosystème. Les poissons et autres animaux en consomment pour le maintien de leur métabolisme (phénomène de respiration cellulaire). La satisfaction des besoins en oxygène est assurée par la DBO<sub>5</sub> et la DCO. Les valeurs très élevées obtenues en saison sèche expliquent la décomposition des macrophytes dans la rivière et l'absence de dilution par les eaux douces (fleuve Ouémé ou eaux de pluie). La décomposition de tous ces végétaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu, en particulier à l'interface eau/sédiment. Les eaux de la rivière Sô présentent des quantités non négligeables d'éléments azotés. L'ammoniaque représentée souvent sous forme d'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) présente des valeurs faibles. D'après Hébert et Légaré (2000), dans un milieu bien oxygéné, l'ammonium est rapidement utilisé et sa concentration est faible. Les teneurs retrouvées, ne présentent donc pas un risque pour la rivière Sô car celle-ci est bien oxygénée. Les concentrations élevées de nitrate s'expliquent prioritairement par la présence des déchets ménagers et commerciaux de toutes sortes produits par les riverains. Les nitrites présents peuvent affecter le développement des espèces aquatiques, car une eau renfermant des nitrites même à faible doses, peut être considérée comme suspecte, voire létale, pour les poissons (Vissin et al, 2010). Dans ces travaux dans le même secteur d'étude, Koudénoukpo et al (2017) ont montré que ces taux s'expliquent par les conditions d'anaérobiose existants par endroits par l'abondance des macrophytes et favorisant une nitrification assez poussée des matières organiques. Les teneurs en sels nutritifs surtout azotés et phosphorés sont drainés par les eaux de ruissellement chargées de produits de lessivage des bassins versants et par l'arrivée des eaux continentales, riches en matières organiques (Dovonou et al, 2011). Elle est également liée à

l'usage abusif des engrais chimiques lors des activités agricoles qui se développent le long du bassin versant de la rivière ainsi qu'à l'élevage des porcs et bœuf qui sont laissés en divagation laissant d'importantes quantités de déjections dans la rivière.

#### **4 CONCLUSION**

Les résultats de ce travail ont permis d'évaluer l'état de vulnérabilité à la pollution de la rivière Sô. Les informations obtenues montrent une évolution saisonnière des paramètres physico chimiques et bactériologiques. Les concentrations en nutriments déterminent un système eutrophe. La charge de matière phosphorée issue du contact avec le fleuve Ouémé est plus importante. En période de hautes eaux, on assiste à un effet de dilution importante surtout pour la charge organique dont les apports semblent plus dépendre des villages lacustres. Si la pollution organique n'est pas trop poussée à l'échelle du secteur d'étude, la présence des composés azotés et la pollution chimique plus au moins importante, d'origine agricole peut influencer directement le régime des eaux souterraines, puisque la majeure partie de la pollution des eaux souterraines vient de l'eau de surface polluée. D'ailleurs, l'usage excessif et non-raisonnable des pesticides dans l'agriculture est un facteur de pollution principal des eaux de surfaces comme il a été également rapporté par plusieurs auteurs. Face à cette situation, pour éviter toute crise liée à la santé publique, des dispositions nécessaires doivent être prise en vue d'une meilleure gestion intégrée de la rivière et de son bassin versant.

#### **REFERENCES**

- [1] Adité A, Winemiller KO, Fiogbé ED, 2006 : Population structure and reproduction of the African bonytongue, *Heterotis niloticus* in the Sô River foodplain system (West Africa): implications for management. *Ecology of Freshwater Fish* 2006: 15: 30-39.
- [2] Afnor xp x30 – 411. 1996. Guide d'élaboration de procédures d'échantillonnage.
- [3] Beaux JF, 1998 : L'environnement, Repères pratiques, Nathan, 160p
- [4] Belkhiri L, Boudoukha A, Mouni L, Baouz T, 2010 : Multivariate statistical characterisation of groundwater quality in Ain Azel plain, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*.Vol.4(8), pp.526-534.
- [5] BONTOUX J. (1993) : Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles eaux usées, eaux de boisson. Cebedoc ed., Liège, p169.
- [6] Chouti W, Mama D et Alapini F, 2010 : Études des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Journal of Applied Biosciences* 4 (4): 1017-1029.
- [7] Dèdjiho C. A., Mama D., Tomètin L., Nougbodé I., Chouti W., Sohounhloùè D.C.K. et Boukari M., 2013 : Évaluation de la qualité physico-chimique de certains tributaires d'eaux usées du lac Ahémé au Bénin. *Journal of Applied Biosciences* 70 : 5608- 5616.
- [8] Djibril R. 2001 : Impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides sur la qualité de l'eau de surface dans la réserve de la biosphère de la Pendjabi. Mémoire de fin de formation CPU/UAC, 160 p.
- [9] Flavien DOVONOU, Martin AINA, Moussa BOUKARI, Abdoukarim ALASSANE, 2011 : Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : cas du lac Nokoué au Sud Bénin, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(4): 1590-1602, August 2011
- [10] Kioffa C, 2011 : Biodiversité et exploitation de la rivière de la rivière Sô au Bénin. Mémoire de fin d'étude de Master, Université d'Abomey-Calavi, 102 p.
- [11] Koudenoukpo Zinsou Cosme, Chikou Antoine, Adandedjan Delphine, Hazoumé Rodrigue, Youssao Issaka, Mensah Guy Apollinaire, Lalèyè A. Philippe, 2017 : Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest..*J. Appl. Biosci.* 2017
- [12] Lalèyè P, 1995 : Écologie comparée de deux espèces de *Chrysichthys*, poissons Siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire « Lac Nokoué-Lagune de Porto-Novo » au Bénin. Thèse de doctorat, Université de Liège, 199p.
- [13] LOUAH M.A. (1995) : Ecologie des Culicidae (Diptères) et état du paludisme dans la péninsule de Tanager, Thèse d'état Es-sciences Fac. Sc. Tétouan, p 266
- [14] Mama D, Chouti W, Alassane A, Changotade O, Alapini F et Boukari M, 2011 : Étude dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Int J. Chem. Sci* 5 (3) :1278-1293.
- [15] Mama D. 2010 : Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Benin). Thèse de doctorat, Université de Limoges ; 157p.
- [16] Noumon CJ, Mama D, Dèdjiho CA, Agbossou E et Iboureira S, 2015 : Evaluation de la qualité physico-chimique et du risque d'eutrophisation de la retenue d'eau de Kogbétohouè (SudBénin). *Journal of Applied Biosciences* 85: 7848- 7861.
- [17] Ogutu –Ohwayo R, Hecky RE, Cohen SA, Kauf L. 1997 : Human Impacts on the African Great Lakes. *Environmental Biology of Fishes*, 50: 117–137.

- [18] Pouomogne V, 1998 : Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poisson à coût modéré. Presse Universitaire d'Afrique, Yaoundé, 263p.
- [19] Rodier J, 2009 : L'analyse de l'eau. Dunod, 9ème édition, 1526 p.
- [20] Tchakonté S, Ajeegah G, Diomandé D, Camara A, Konan M et Ngassam P, 2015 : Impact of anthropogenic activities on water quality and Freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroun. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 4: 183 194.
- [21] Tométin Lyde 2008 : Etude de la biodisponibilité et de la mobilité du phosphore des sédiments, responsable du phénomène d'eutrophisation du lac Nokoué. Mémoire de DEA, FAST, Université d'Abomey Calavi
- [22] Vissin E, Sintondji L et Houssou C, 2010 : Étude de la pollution des eaux et de la contamination du Tilapia guineensis du chenal de Cotonou par le plomb. RGLL, n°08.