

# CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET CAPACITE DE CHARGE COMPLEMENTAIRE DU COMPLEXE LAGUNAIRE TOHO-TODOUGBA (SUD-OUEST, BENIN)

R. AIZONOU<sup>1\*</sup>, H. AGADJIHOUEDE<sup>1\*</sup>, L. GANGBE<sup>2</sup>, M.E. ACHOH<sup>1</sup>, S. AHOUANSSOU-MONTCHO<sup>1</sup>, E. MONTCHOWUI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences Animales et Halieutiques, Université Nationale d'Agriculture, BP 43 Kétou, Benin

<sup>2</sup>Institut National de Recherche Agricole du Bénin, 01 BP 884 Cotonou, Benin

\*Auteurs correspondants: raizonou@gmail.com; agadjihouede@gmail.com

## RESUME

La détermination de la capacité de charge est établie pour permettre une utilisation durable des écosystèmes aquatiques tout en maximisant le profit par rapport à la production aquacole. L'objectif de cette étude est de déterminer la capacité de charge en poisson, du complexe lagunaire Toho-Todougba surtout du fait qu'il fait déjà l'objet d'une exploitation intense de production aquacole sans qu'aucune étude préalable n'ait été effectuée. En effet, la concentration en phosphore ainsi que les paramètres hydrologiques et hydrobiologiques ont été mesurées pendant douze mois. La variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques a été présentée et la capacité de charge a été déterminée en suivant la méthode de Dillon et Rigler (1974). Il en résulte que les paramètres physico-chimiques sont recommandables pour les ressources halieutiques malgré les variations constatées par endroit. La capacité de charge déterminée pour la production de tilapia est de 7315,9413 t.an<sup>-1</sup>. Cependant, cette capacité est de loin ce qui est supportable par l'écosystème puisqu'on considère que le niveau actuel de production est zéro alors que des centaines de cages sont déjà en production. En conséquence, d'autres pisciculteurs peuvent installer leurs unités de production sur le complexe tout en ayant comme référence infranchissable la capacité de charge déterminée.

**Mots clés :** Capacité de charge, lagune Toho-Todougba, Dillon et Rigler, Bénin

## ABSTRACT

### **PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS AND COMPLEMENTARY CARRYING CAPACITY OF THE LAGOON COMPLEX TOHO-TODOUGBA (SOUTH-WEST, BENIN)**

*The determination of the carrying capacity is established by Dillon and Rigler to allow a sustainable use of the aquatic ecosystems while drawing the maximum profit from the aquaculture production. The objective of this study is to determine the fish carrying capacity of the Toho-Todougba lagoon complex, especially since it is increasingly being intensively exploited for aquaculture production without any prior study having been conducted. Indeed, the phosphorus concentration of the ecosystem was measured during twelve months as well as the hydrological and hydrobiological parameters. The spatio-temporal variation of the physico-chemical parameters was presented and the carrying capacity was determined following the method of Dillon and Rigler. The result is that the physico-chemical parameters are viable for the fishery resources despite the variations observed in some places. The carrying capacity determined for tilapia production is 7315.9413 tons.year<sup>-1</sup>. However, this capacity is by far what is sustainable for the ecosystem since the current level of production is considered to be zero while hundreds of cages are already in production on the lagoon. Consequently, other fish farmers can install their production units on the complex for fish production while having as an impassable reference the determined carrying capacity.*

**Keywords:** Load capacity, Toho-Todougba lagoon, Dillon and Rigler, Benin

## INTRODUCTION

La croissance démographique dans le monde est arrimée avec l'augmentation de la demande en ressources alimentaires en occurrence les ressources protéiniques. Dans le monde et surtout dans les pays en voie de développement où la situation est encore cruciale concernant les ressources protéiniques d'origine animale, la demande en poissons est passée à 98,6 millions de tonnes en 2020 contre 62,7 millions de tonnes en 1997 (Delgado *et al.*, 2013). L'organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture présente que la consommation de viande devrait connaître une augmentation de 73 % d'ici 2050 (FAO, 2011). Face à ce contexte actuel où toutes les forces sont concentrées sur l'atteinte de la sécurité alimentaire pour tous (FAO, 2018), l'intensification et la diversification de la production piscicole est indispensable. A ce titre, Tacon et Halwart (2007) ont soutenu que l'aquaculture en cage se révèle très importante pour combler efficacement la demande en poisson dans le monde.

Au Bénin, l'autosuffisance alimentaire est une lutte quotidienne de la politique gouvernementale qui envisage atteindre une production aquacole de 20 000 tonnes au moins en 2025 contre 5000 tonnes en 2016. Dans cette perspective, le Programme National de Développement de la Filière Aquaculture a retenu la pisciculture en cage (cages fixes et flottantes) comme la méthode de production à même de conduire rapidement aux objectifs du fait de la richesse hydrographique dont dispose le pays (PDDAC/MAEP, 2019). C'est ainsi que les regards sont tournés vers le complexe lagunaire Toho-Todougba comme écosystème de la pisciculture en cage au Bénin vu sa position géographique par rapport aux grandes villes consommatrices des poissons d'élevages du pays.

Cependant, la pisciculture en cage est couplée avec les rejets de matières organiques dans l'écosystème (Schenone *et al.*, 2011; Gorch-Lira *et al.*, 2013; Yoboue *et al.*, 2018). Beveridge (1984) a montré que chaque tonne de tilapia produit libère entre 23 kg à 29 kg de phosphore total dans l'environnement. Les matières organiques rejetées influencent l'équilibre physique et chimique de l'écosystème aquatique (Degefu *et al.*, 2011) et conduit à l'eutrophisation voire une perte de la biodiversité (Mama *et al.*, 2011; Yoboue *et al.*, 2018; Vodougnon *et al.*, 2018). En plus, lorsqu'elles sont rejetées en

grande quantité dans le milieu aquatique, les matières organiques engendrent le réchauffement climatique par la production de gaz à effet de serre sous l'action des bactéries (Davidson *et al.*, 2015; Deemer *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2019). Face à ces dommages engendrés par l'aquaculture en cage, un monitoring des charges organiques des plans d'eau est nécessaire pour la conservation des ressources (Guo et Li, 2013). A ce titre, Dillon et Rigler (1974) ont développé un modèle de détermination de la capacité de charge des plans d'eau qui est la biomasse standard d'une espèce qu'on peut produire dans un écosystème sans le polluer (Buyukcapar et Alp, 2006). Ce modèle est basé sur le bilan du phosphore total dans l'écosystème.

En conséquence, il est important de déterminer la capacité de charge du complexe lagunaire Toho-Todougba afin d'éviter une perturbation écologique de cet écosystème fortement convoité pour la pisciculture en cage au Bénin.

## MATERIEL ET METHODES

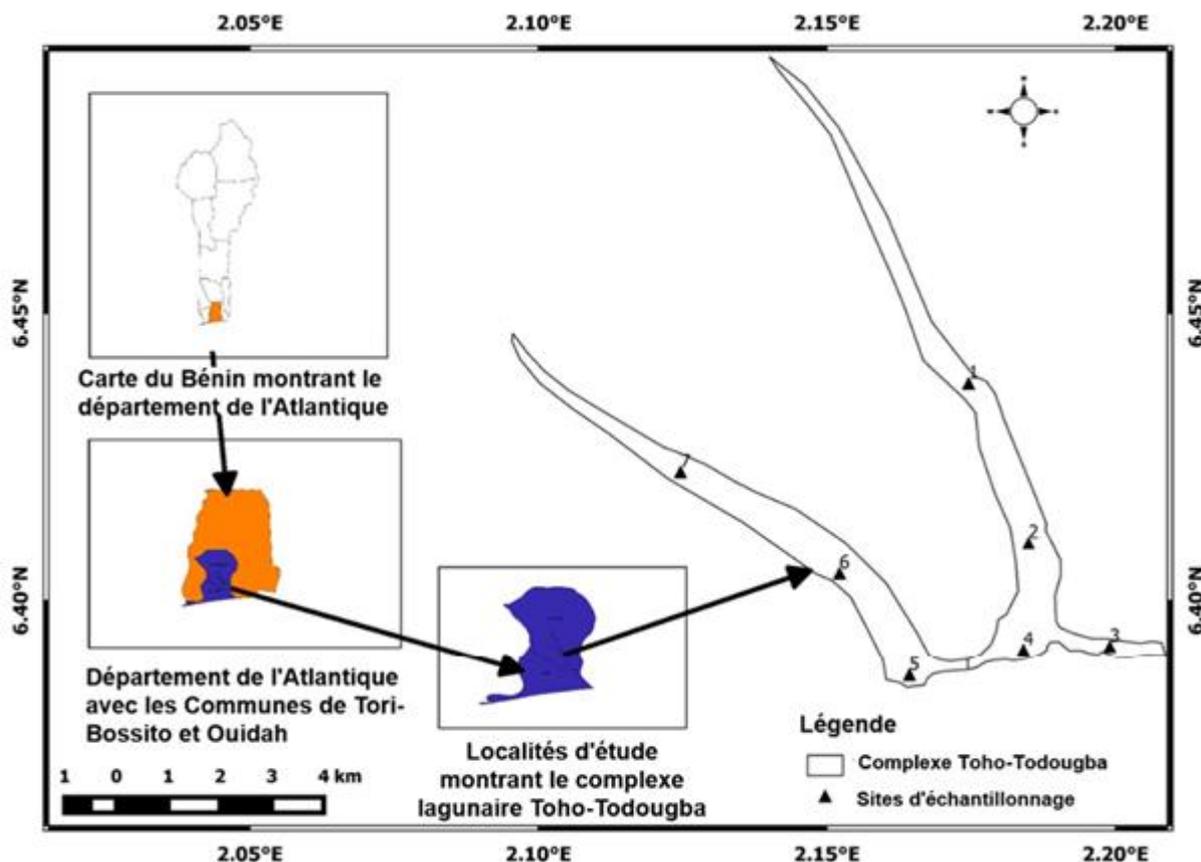
### MILIEU D'ETUDE ET STATION D'ECHANTILLONNAGE

Le Complexe lagunaire Toho-Todougba représente une portion importante des lagunes anciennes (lagune à cinq doigts) et située entre 6° 23' et 6° 27' N et 2° 07' et 2° 13' E au cœur du site Ramsar 1017. Un traking effectué en février 2019 a montré que le complexe a une superficie de 914,25 ha. En période de haute eaux, sa superficie s'élargie et inonde les végétations et les plantations de palmier à huile environnantes. A la suite des travaux de construction du pont de Godomey, le complexe lagunaire Toho-Todougba ne communique plus avec le lac Nokoué (Chippaux *et al.* 1990). Il est devenu un écosystème encaissé alimenté exclusivement par les eaux de pluie et de ruissellement. Les végétations caractéristiques de cet écosystème sont composées de savanes herbeuses, de prairies, de formations marécageuses à *Raphia gigantea* (Capo-Chichi, 2006). Le climat de la zone est caractérisé par deux saisons de pluie et une grande saison sèche avec une pluviométrie annuelle variant entre 936 et 1 200 mm/an.

Pour mener cette étude, sept stations d'étude ont été choisies de sorte à couvrir l'ensemble

du complexe de l'amont vers l'aval pour ses deux bras. La localisation géographique de chacune des stations a été présentée sur la figure 1. En fonction du sens de l'écoulement

de l'eau, le complexe a une entrée et une sortie. L'entrée est au niveau de la station de Savi I et la sortie se trouve au niveau de la station de Adjadji.



**Figure 1** : Carte du milieu d'étude (1-station Adjadji, 2-station Lokohoué, 3- station Savi I, 4-station Savi II, 5-station Tchiakpè, 6-station Tonon, 7-station Pont).

*Map of the study area (1-Adjadji station, 2-Lokohoué station, 3-Savi I, 4-Savi II station, 5-Chiakpè station, 6-Tonon station, 7-Bridge station).*

#### MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU ET DETERMINATION DU PHOSPHORE TOTAL

De juin 2019 à mai 2020, les paramètres physico-chimiques (température en °C, oxygène dissous en mg/L, pH, salinité en ‰, transparence en cm, profondeur en m) ont été mesurés au niveau de chaque station une fois par mois entre 6 h 30 et 8 h 30. Le tableau 1 présente la méthode utilisée avec la norme AF NOR correspondantes.

Parallèlement aux mesures des paramètres physico-chimiques in situ, l'eau de la lagune a été prélevée chaque mois dans la zone euphotique (40 cm – 50 cm) à l'aide d'une bouteille de Van-Dorn et a été versée dans des bouteilles sombres de capacité 0,5 litre ; puis gardée sous réfrigération jusqu'au laboratoire pour analyse. Les concentrations en phosphore total ont été déterminées au laboratoire par spectrophotométrie dans les 72 heures qui suivent l'échantillonnage.

**TABLEAU 1** : Méthodes de détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau.*Methods for determining the physico-chemical parameters of water.*

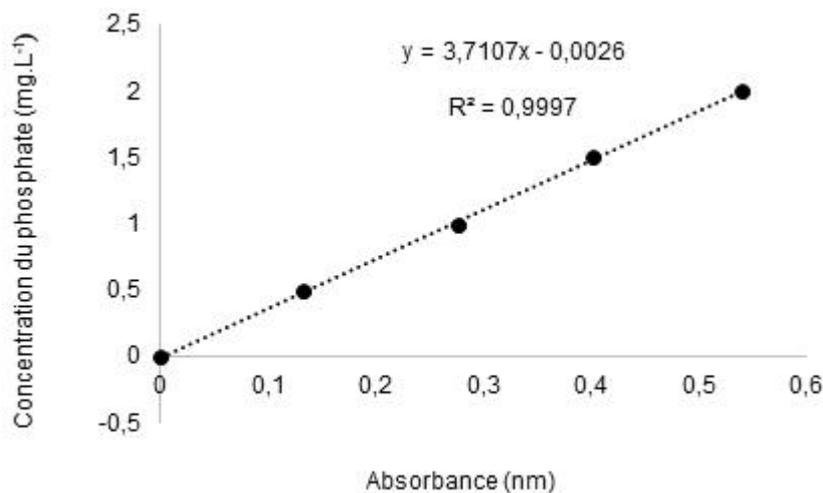
| Paramètres   | Méthodes             | Norme AFNOR                      | Précision |
|--------------|----------------------|----------------------------------|-----------|
| Température  | Electrométrie -      | NFT 90-100                       | ± 0,01°C  |
| Oxygène      | Electrométrie        | -NF EN 25814                     | ± 0,01    |
| pH           | Electrométrie        | NFT 90-008                       | ± 0,01    |
| Salinité     | Electrométrie        | Métrie les techniques - ii-80-20 | -         |
| Transparence | Secchi               | NF EN ISO 7027                   | -         |
| Profondeur   | Corde lestée graduée | -                                | -         |

## DETERMINATION DU PHOSPHORE TOTAL

Les analyses de l'eau pour la détermination du phosphore total ont été effectuées selon la méthode par digestion au persulfate en milieu acide (méthode n° 8190 de Hach Compagny, 2005).

En effet, 25 ml de l'échantillon d'eau ont été versés dans un Erlenmeyer de 125 ml auquel une pochette de réactif de persulfate de potassium a été ajoutée puis le mélange a été homogénéisé. Ensuite, 2 ml de la solution d'acide sulfurique de concentration 5,25N a été ajouté au contenu de l'Erlenmeyer à l'aide d'un compte-gouttes gradué de 1 ml.

L'Erlenmeyer est placé ensuite sur une plaque chauffante pour faire bouillir à feu doux pendant 30 minutes sans laisser s'évaporer. L'échantillon est laissé refroidir à température ambiante. A l'aide d'un compte-gouttes gradué de 1 ml, 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium de concentration 5N a été ajoutée au contenu dans l'Erlenmeyer et l'ensemble a été homogénéisé. Ensuite, le contenu a été transféré dans une éprouvette graduée puis complété au trait de 25 ml avec l'eau désionisée de rinçage de l'Erlenmeyer. Les mesures ont été ensuite réalisées au spectrophotomètre. Les solutions étalons de concentrations respectives de 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 et 2 mg/L ont permis de déterminer la concentration en phosphore total à travers la courbe d'étalonnage ci-dessous : figure 2

**FIGURE 2** : Courbe d'étalonnage des orthophosphates.*Orthophosphate calibration curve.*

## DETERMINATION DE LA CAPACITE DE CHARGE EN POISSON DU COMPLEXE LAGUNAIRE TOHO-TODDOUGBA

La capacité de charge du Complexe lagunaire Toho-Todounga a été déterminée en utilisant le modèle de Dillon et Rigler (1974). En effet, le modèle établi par ces auteurs est actuellement le meilleur pour l'évaluation du budget de phosphore dans les eaux continentales (Mueller, 1982). Ce modèle adopté pour plusieurs études (Pulatsü, 2003; Buyukcapar et Alp, 2006 ; Mhlanga *et al.*, 2013 ; Hasnaoui et Droussi, 2017) est décrit en une série d'étapes comme suit :

la concentration du phosphore total [P]<sub>i</sub> du plan d'eau doit être évaluée avant l'exploitation en état stationnaire ;

le niveau de productivité souhaité [P]<sub>f</sub> doit être soigneusement déterminé bien qu'il soit très complexe puisque les ressources en eau varient en fonction du temps ;

la capacité d'exploitation du plan d'eau (ÄP) est déterminée par la différence entre la concentration du phosphore total [P]<sub>i</sub> avant l'exploitation et le niveau final de productivité souhaité (concentration de phosphore finale [P]<sub>f</sub>).

$$* \Delta P = [P]_f - [P]_i \quad \text{Equation 1}$$

$\Delta P$  est lié à la charge en phosphore provenant des cages de poisson noté  $L_{\text{poisson}}$ , à la superficie du plan d'eau, au taux du renouvellement de l'eau et à la fraction du phosphore retenue dans le sédiment. Cette fraction retenue est notée  $R_{\text{poisson}}$ . Ainsi,

$$* \Delta P = \frac{L_{\text{poisson}} (1 - R_{\text{poisson}})}{z p} \quad \text{Equation 2}$$

$$* L_{\text{poisson}} = \frac{\Delta P z p}{(1 - R_{\text{poisson}})} \quad \text{Equation 3}$$

$R_{\text{poisson}}$  est le paramètre complexe à estimer. Au moins, une proportion de 45 % à 55 % du phosphore total provenant des poissons de cages sont susceptibles de sédimenter et estimés comme suit:

$$* R_{\text{poisson}} = x + [1 - x]R \quad \text{Equation 4}$$

Où :

x est la fraction du phosphore total éliminée en permanence dans le sédiment et variant entre 45 % et 55 % ;

$$* R = 1 / (1 + 0,747 p^{0,507}) \quad \text{Equation 5}$$

avec R le coefficient de rétention du phosphore et  $\tilde{n}$  le Taux de renouvellement (an<sup>-1</sup>) ;

la concentration totale admissible du phosphore notée ( $L_a$ ) est estimée en multipliant  $L_{\text{poisson}}$  par la surface du plan d'eau ;

la capacité de production de poisson en cage du plan d'eau (t.an<sup>-1</sup>) peut être estimée en divisant la concentration totale admissible de phosphore ( $L_a$ ) par la quantité moyenne de phosphore par tonne de production de poisson.

Il faut noter que la vitesse de l'eau servant au calcul du débit de l'eau à la sortie du complexe lagunaire a été déterminée par la méthode des flotteurs. La méthode a consisté à définir au niveau de la sortie, une section de longueur 450,25 m, de largeur 5,36 m avec une profondeur 3,2 m. A l'intérieure de la section, la vitesse de l'eau est calculée à l'aide un flotteur laissé à la surface de l'eau dans le même sens que le courant et le temps mis pour parcourir la largeur a été chronométré. Cette mesure a été prise au moins trois fois.

La vitesse est obtenue par l'équation suivant :

$$V = \frac{D}{T} \quad \text{Equation 6}$$

Avec D la distance parcourue (ici la largeur de 5,26 m) et T le temps de parcours du flotteur qui est en moyenne de 40,2 s pour les mesures effectuées.

Le débit au niveau de la sortie a été obtenu à partir de la formule suivante :

$$Q = V x \alpha x S x z \quad \text{Equation 7}$$

Avec Q est le débit (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), V est la vitesse de l'eau (m.s<sup>-1</sup>), S est la surface de la section considérée (m<sup>2</sup>) égale à la longueur multipliée par la largeur, z est la profondeur (m) et une constante  $\alpha = 0,8$ .

Pour déterminer le débit total annuel (Qt) exprimé en m<sup>3</sup>.an<sup>-1</sup>, il convient de multiplier le débit à la seconde par le nombre total de secondes contenues dans une année de 365 jours. Ceci est égal à 525600 secondes (24 x 365).

$$Qt = Q x 525600 \quad \text{Equation 8}$$

## TRAITEMENTS ET ANALYSES DES DONNEES

La variation spatiale des paramètres physico-chimiques est présentée sous forme de tableau

et regroupe les moyennes, les écarts type et les minima-maxima. Quant à la variation temporelle des différents paramètres, elle a été présentée sous forme de graphique (réalisé dans Statistica v6.1) montrant une courbe des valeurs moyennes et une barre d'erreur qui représente l'Ecart-type à chaque moment. Pour chaque paramètre, les moyennes ont été comparées entre les stations au moyen de l'analyse multivariée ANOVA 1 (p-value=0,05) après vérification de la normalité et de l'homogénéité des données par le test de Shapiro-Wilk et celui de Levene respectivement.

Les données des variables entrant dans la détermination de la capacité de charge ont été résumées dans un tableau tout en suivant un processus d'étapes de calcul aboutissant à la capacité de charge.

## RESULTATS

Les paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés pendant douze (12) mois ont été résumés dans le tableau 2. Il ressort du tableau que l'oxygène dissous, le pH, la salinité et la profondeur présentent une différence significative entre les stations (p-value<0,05). Par contre la température et la transparence de l'eau ne présentent aucune différence significative entre les stations (p-value >0,05). Au cours de l'étude, les valeurs de la température, de l'oxygène dissous et du pH ont enregistré des moyennes variant respectivement entre 26,8 - 32,6°C, 1,20 - 8,10 mg.L-1 et 5,29 - 9,1. Quant à la profondeur, elle varie de 1 - 6,65 m et la transparence, de 24 - 85 cm. La salinité quant à elle varie entre 1 ‰ et 3 ‰.

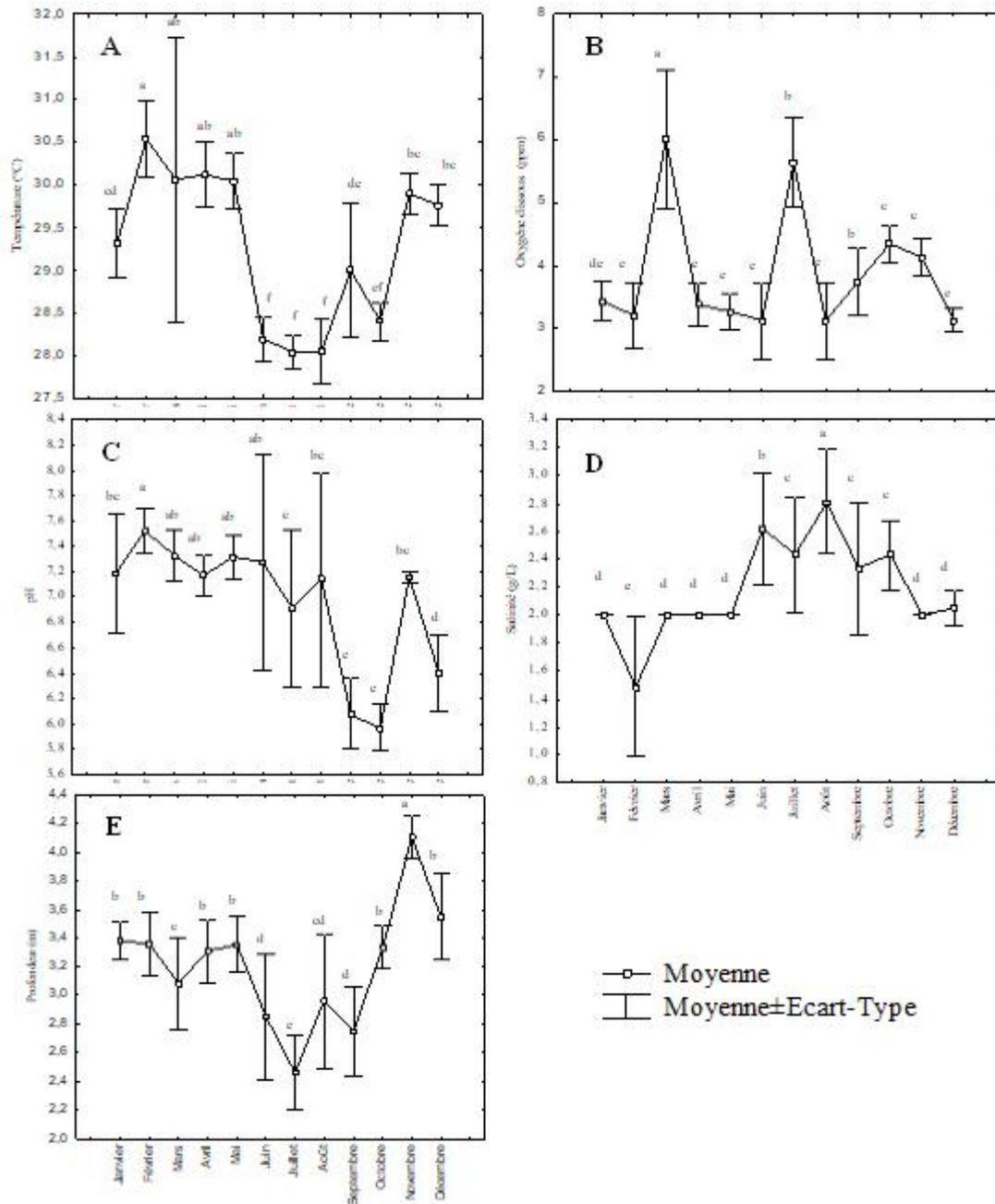
**TABLEAU 2:** Variation des paramètres physico-chimiques par station.  
*Variation of physico-chemical parameters by station.*

| Sites    | T (°C)           | O <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> ) | pH                        | Transp (cm)   | Sal (‰)                   | Prof (m)                   |
|----------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------|
| Adjadji  | Moy ± Ecart-type | 29,22 ± 1,45                         | 7,03 ± 0,83 <sup>ab</sup> | 44,74 ± 0,32  | 2,19 ± 0,52 <sup>ab</sup> | 3,13 ± 0,71 <sup>bc</sup>  |
|          | Min-Max          | 27 - 32,6                            | 1,2 - 6,60                | 40 - 70       | 1,0 - 3,0                 | 2,0 - 4,98                 |
| Lokohoue | Moy ± Ecart-type | 29,3 ± 1,34                          | 4,72 ± 0,99 <sup>ab</sup> | 46,28 ± 0,33  | 2,19 ± 0,57 <sup>ab</sup> | 3,35 ± 0,61 <sup>a</sup>   |
|          | Min-Max          | 26,8 - 32,6                          | 1,60 - 6,90               | 41 - 80       | 1,0 - 3,0                 | 2,20 - 4,79                |
| Pont     | Moy ± Ecart-type | 29,5 ± 1,19                          | 4,17 ± 1,11 <sup>a</sup>  | 47,06 ± 0,35  | 2,17 ± 0,56 <sup>b</sup>  | 3,18 ± 0,56 <sup>abc</sup> |
|          | Min-Max          | 28,00 - 32,1                         | 2,44 - 7,4                | 40 - 78       | 1,0 - 3,0                 | 2,20 - 4,5                 |
| Savi 1   | Moy ± Ecart-type | 29 ± 3,34                            | 3,5 ± 1,38 <sup>bc</sup>  | 44,83 ± 0,32  | 2 ± 0,0 <sup>c</sup>      | 3 ± 0,68 <sup>c</sup>      |
|          | Min-Max          | 29,10 - 32,2                         | 1,20 - 7,7                | 24 - 85       | 2,0 - 2,0                 | 1,80 - 4,8                 |
| Savi 2   | Moy ± Ecart-type | 29,36 ± 1,20                         | 3,99 ± 1,34 <sup>a</sup>  | 45,77 ± 0,324 | 2,33 ± 0,47 <sup>a</sup>  | 3,24 ± 1 <sup>ab</sup>     |
|          | Min-Max          | 27,1 - 31,80                         | 2,5 - 8,10                | 40 - 78       | 2,0 - 3,0                 | 2,0 - 6,65                 |
| Tchiakpe | Moy ± Ecart-type | 29,29 ± 1,09                         | 4,06 ± 1,25 <sup>a</sup>  | 47,75 ± 0,345 | 2,22 ± 0,42 <sup>ab</sup> | 3,37 ± 0,49 <sup>a</sup>   |
|          | Min-Max          | 27,90 - 32,2                         | 2,40 - 6,9                | 37 - 89       | 2,0 - 3,0                 | 2,65 - 4,3                 |
| Tonon    | Moy ± Ecart-type | 29,29 ± 1,05                         | 4,16 ± 1,22 <sup>a</sup>  | 46,7 ± 0,34   | 2,14 ± 0,54 <sup>bc</sup> | 3,23 ± 0,41 <sup>ab</sup>  |
|          | Min-Max          | 27,50 - 31,7                         | 2,5 - 7,3                 | 40 - 98       | 1,0 - 3,0                 | 2,10 - 4,3                 |
| p-value  | 0,741            | 0,00012                              | 0,00157                   | 0,998         | 0,00487                   | 0,0133                     |

Les moyennes portant les lettres différentes sur la verticale sont différentes l'une de l'autre au seuil de 5 %; Moy = moyenne Min = Minimum; Max = Maximum; T = Température; Transp = Transparence; Sal = Salinité; Prof = profondeur

La variation temporelle des paramètres physico-chimiques de la lagune Toho-Todounga est présentée sur la figure 3. La température (Figure 3A) a connu une variation significative ( $p < 0,05$ ) avec une plus forte moyenne de  $30,5 \pm 0,4^\circ\text{C}$  dans le mois de février. La plus basse température moyenne enregistrée est de  $28,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$  en juillet et août. Quant à l'oxygène dissous (Figure 3B), les variations étaient également significatives. L'eau du complexe lagunaire était plus oxygénée en mars ( $6,1 \pm 1,1 \text{ mg/L}$ ) et en juillet ( $5,6 \pm 0,7 \text{ mg/L}$ ). Elle était par contre moins oxygénée en juin, août et décembre ( $3,1 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ ). L'eau de la lagune

avait un pH (Figure 3C) moyennement neutre avec une légère acidité ( $6,0 \pm 0,2$ ) en octobre ( $p < 0,05$ ). En ce qui concerne la salinité (Figure 3D), l'eau de la lagune est restée douce pendant toute l'étude. La plus forte salinité enregistrée était de 3,4 ‰ en août pour une moyenne de  $3,0 \pm 0,5 \text{ ‰}$ . Au regard de la profondeur du complexe lagunaire (Figure 3E), une variation significative a été observée ( $p < 0,05$ ). La plus grande profondeur moyenne ( $4,1 \pm 0,1 \text{ m}$ ) a été observée pendant le mois de novembre alors que la plus faible ( $2,5 \pm 0,2 \text{ m}$ ) a été enregistrée en juillet.



**FIGURE 3** : Variation temporelle des paramètres physico-chimique. A : Température, B : Oxygène dissous, C : pH, D : Salinité, E : Profondeur. Les moyennes portant les mêmes lettres sur leur barre d'erreur ne sont pas significativement différentes ( $p > 0,05$ ).

*Temporal variation of physico-chemical parameters. A: Temperature, B: Dissolved oxygen, C: pH, D: Salinity, E: Depth. Different letters on the error bars indicate significant differences ( $p > 0.05$ ).*

#### CAPACITE DE CHARGE DU COMPLEXE LAGUNAIRE TOHO-TODOUGBA

La détermination de la capacité de charge a été faite selon la méthode de Dillon et Rigler (1974)

confère la partie (matériels et méthodes). Cette détermination a été faite en une série clé d'étapes et de calculs dont les résultats sont résumés dans le tableau 4.

**TABLEAU 3:** Variables de calcul de la capacité de charge.*Variables for calculating the load capacity.*

| Variables   | Unité                                | Symbole et Formule               | Valeur   |
|---|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| x   |                                      |                                  | 0,5 (Pulatsü, 2003)  |
| Superficie  | m <sup>2</sup>                       | S                                | 9142593,46   |
| Volume  |                                      | V                                | 29256299,07  |
| Profondeur moyenne                                | m                                    | z                                | 3,2  |
| Débit total annuel à la sortie                    | m <sup>3</sup> .an <sup>-1</sup>     | Qt                               | 397422895,1  |
| Taux de renouvellement (an <sup>-1</sup> )        |                                      | $\rho=Q/V$                       | 43,46938282  |
| Temps de remplissage (an)                         |                                      | $T_w=1/\rho$                     | 0,023004697  |
| Coefficient de rétention du phosphore             |                                      | R                                | 0,165102464  |
| Phosphore permmissible                            | mg.m <sup>-3</sup>                   |                                  | 65   |
| Phosphore actuel                                  | mg.m <sup>-3</sup>                   |                                  | 0,1613   |
| $\Delta P$  |                                      |                                  | 64,8387  |
| R <sub>poisson</sub>                              |                                      |                                  | 0,582551232  |
| L <sub>poisson</sub>                              | mg.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup> |                                  | 21605,51226  |
| L <sub>poisson</sub>                              | g.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>  |                                  | 21,60551226  |
| L <sub>a</sub>                                    | g                                    |                                  | 197530415,1  |
| L <sub>a</sub>                                    | kg                                   |                                  | 197530,4151  |
| Quantité de phosphore perdue dans l'environnement |                                      |                                  | -Une tonne d'aliment de tilapia contient 20 Kg de phosphore<br>-Le taux de conversion FCR=1,5<br>-Le phosphore au niveau de l'aliment est alors de 30 Kg ;<br>La teneur en phosphore au niveau de la chair du poisson est de 0,3% soit 3 Kg par tonne de poisson produits.<br>Soit P <sub>pe</sub> la quantité de phosphore perdue dans l'environnement pour une tonne de poissons produits. La concentration de phosphore perdue dans l'environnement est égale à : P <sub>pe</sub> =30 Kg -3 Kg<br>P <sub>pe</sub> = 27 Kg |
| Capacité de charge pour tilapia                   | t.an <sup>-1</sup>                   | L <sub>a</sub> / P <sub>pe</sub> | 7315,9413  |

La capacité de charge du complexe lagunaire Toho-Todougba pour la production du tilapia est 7315,9413 t.an<sup>-1</sup>.

## DISCUSSION

### PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET PARAMETRES DE PRODUCTION

Le fonctionnement physico-chimique de l'eau est en lien avec les usages qu'on en fait et avec les facteurs environnementaux. Autrement dit, le niveau d'exploitation d'un écosystème aquatique dépend des caractéristiques physiques et chimiques qu'il offre. La température est le facteur clé des milieux aquatiques. Dans ces écosystèmes, tout est régi par la température, et nécessite un équilibre au sein du milieu. L'alimentation et la croissance des poissons sont meilleures dans leur préférendum. Pour ce complexe lagunaire, les

valeurs moyennes de température tournant autour de 29°C montrent que l'eau est restée relativement chaude tout au long de la période d'étude. Les valeurs limites de température enregistrées dans le complexe (minimum : 26,8°C et maximum : 32,6°C) correspondent à celles souvent observées dans les milieux aquatiques à climat subéquatorial (Agadjihouédé *et al.*, 2016) et aux préférendums des espèces élevées sur le complexe Toho-Todougba. Les valeurs du pH enregistrées sur le complexe se situant entre 5 et 9 constituent le meilleur intervalle de pH pour la pisciculture. Le pH légèrement acide par endroit peut être expliqué par la décomposition plus prononcée de la matière organique au niveau de ces endroits (Beaune *et al.*, 2018). Selon Dupont (2004), les limites de pH à l'origine des premiers dommages

biologiques sont entre 5,5 et 6,5 tranches dans lesquelles les espèces les plus intolérantes disparaissent. Quant à l'oxygène dissous, une moyenne allant 3,19 mg.L-1 à 4,33 mg.L-1 est obtenue de façon générale bien que de faibles valeurs soient enregistrées par moment et par endroit. Selon Houssou *et al.* (2017), ces valeurs moyennes enregistrées ne peuvent pas influencer négativement la biologie des ressources aquatiques. La salinité, un autre paramètre qui caractérise les lagunes est restée entre 1 et 3 ‰ tout au long de l'année. L'eau de cette lagune est donc douce (eau caractérisée par une salinité variant 0 et 5 ‰) ou oligohaline (eau de salinité variant entre 0,5 et 5 ‰) (Vidy, 2000 ; Panfili *et al.*, 2006). Ceci est dû au fait que la lagune n'a plus un contact direct avec le milieu marin suite à l'ensablement des couloirs et aux travaux d'endiguement de Nokoué au niveau du pont de Godomey. La variation de la transparence de l'eau, un des indicateurs de santé des hydrosystèmes fluctuant sur le complexe lagunaire Toho-Todougba entre 40 et 90 cm montre que le milieu n'est trop chargé et présente une caractéristique acceptable. Les fortes valeurs de transparence du milieu seraient dues au développement des communautés zooplanctoniques qui contribuent par le broutage du phytoplancton, à la clarification des eaux dans les lacs et réservoirs (Assougnon *et al.*, 2017). La profondeur du complexe lagunaire allant au-delà de 4 m est bonne pour une activité piscicole en cages.

#### CAPACITE DE CHARGE

La capacité de charge est la quantité de biomasse qu'on peut produire dans un écosystème et garder cet écosystème durablement viable. Calculée à partir de la méthode de Dillon et Rigler (1974), la capacité de charge en poisson (tilapia) du complexe lagunaire Toho-Todougba est estimée à 7315,9413 tonne.an-1. En considérant la situation actuelle où l'aquaculture exploite déjà environ 604 cages (Aïzonou *et al.*, 2019), la capacité de charge déterminée vient alors en complément à la quantité de biomasse qui se produisait en cages sur le complexe. Cette capacité de charge prend en compte l'influence des activités anthropiques autres que la pisciculture sur la ressource en eau du complexe lagunaire. En effet, on note une floraison de restaurants, de places des fêtes et d'hôtels au bord de ce complexe aujourd'hui et même des virés lacustres qui sont susceptibles

de produire du phosphore dans la lagune.

La biomasse supportable par le complexe pour être écologiquement viable est supérieure à celle déterminée dans ce travail. En effet, la présente capacité de charge déterminée a considéré le niveau actuel de production comme niveau zéro. Ceci dit les politiques de promotion de l'aquaculture peuvent envisager l'installation de nouvelles cages, après une régulation des autres activités anthropiques (agriculture, installation des restaurants, des hôtels et des sites touristiques) autour de l'écosystème, de sorte à booster la production nationale tout en ayant un regard sur la limite à ne pas excéder.

Par ailleurs, il est à signaler, la capacité de charge déterminée à travers cette étude concerne seulement *Oreochromis niloticus*. Ceci est lié au fait qu'actuellement le tilapia est la seule espèce élevée sur ce complexe et les autres espèces signalées par Aïzonou *et al.* (2019) n'y sont plus élevées. En effet, les paramètres de qualité de l'eau, la qualité nutritionnelle de l'aliment et la particularité de l'espèce de poissons influence la capacité de charge des réservoirs et lacs (Bueno *et al.*, 2017). Ainsi, la capacité de charge du complexe doit être suivie et actualisée suivant la qualité de l'eau et l'espèce de poissons à élever.

#### CONCLUSION

Le complexe lagunaire Toho-Todougba présente de bonnes caractéristiques physico-chimiques pour la production aquacole. La capacité de charge calculée dans la présente étude est une première sur le complexe lagunaire Toho-Todougba bien que la production aquacole soit déjà en cours sur cet écosystème. Il ressort de cette étude que la capacité supportable par l'écosystème pour être durablement viable est de 7315,9413 tonne.an-1 sans considérer la quantité de poissons qu'on produit déjà sur le plan d'eau. Il en découle alors que la biomasse réelle supportable par l'écosystème dépasse la valeur obtenue et qu'en conséquence, de nombreux pisciculteurs peuvent bénéficier de l'autorisation pour installer leur unité de production.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le gouvernement béninois à travers le programme d'appuis aux doctorants pour les moyens financiers mis à disposition au

cours de cette recherche et les évaluateurs anonymes pour leur contribution à la qualité scientifique de ce travail.

## REFERENCES

- Agadjihouèdé H. A. C. Bonou, S. Ahouansou Montcho, E. Montchowui and P. Lalèyè 2016. Composition et abondance du peuplement zooplanctonique des étangs piscicoles du périmètre rizicole de Malanville (Nord Bénin). Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin– Numéro spécial Agronomie, Société, Environnement & Sécurité Alimentaire : 70-78.
- Aïzonou, R., M. E., Achoh, and H. Agadjihouèdé. 2019. Analysis of Practice of Cage Aquaculture System in TohoTodougba Lagoon, Southern Benin (West Africa). *AquaSt*, 19(2), 113-123.
- Assougnon D.L., H. Agadjihouèdé, A.P. Kokou and P. Lalèyè. 2017. Caractérisation physico-chimique et diversité du peuplement phytoplanctonique des mares au sud de la réserve de faune de Togodo (Sud-Togo). *Int. J. Biol. Chem.* 11(4):1920-1936
- Beveridge M.C.M. 1984. Cage and pen fish farming: Carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 255:1–131.
- Beaune D. Y. S., G. Luquet and F. Grandjean. 2018. Freshwater acidification/ :An example of an endangered crayfish species sensitive to pH. *Hydrobiologia*, 813(1), 41–50.
- Bueno G.W. D., J. O. S.-H. Bureau, R. Roubach., F.T. de Mattos and F.E.M. Bernal. 2017. Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. *Pesq. agropec. Brasília* 52 (9):695-706.
- Buyukcapar H.M., A. Alp. 2006 The carrying capacity and suitability of the Menzelet Reservoir (Kahramanmaras, Turkey) for trout culture in terms of water quality. *J. Appl. Sci.*6:2774–2778.
- Capo-Chichi J.Y. 2006. Monographie de la commune de Ouidah. Programme d'Appui au démarrage des Communes. Cabinet « Afrique Conseil », p38
- Chippaux, J. P., A. Massougbodji, A. Zomadi, and B. M. Kindafodji. (1990). Etude épidémiologique des Schistosomes dans un complexe lacustre côtier de formation récente. *Bulletin de la Société de Pathologie. Ex* 83, 498-509.
- Davidson T., J. Audet, J. C. Svenning, T.Lauridsen, M. Søndergaard, F. Landkildehus S.Larsen, and E. Jeppesen. 2015. Eutrophication effects on greenhouse gas fluxes from shallow-lake mesocosms override those of climate warming. *Glob. Chang. Biol.* 21, 4449-4463
- Deemer B. R., J. A. HarrisonLi, J. J.Beaulieu, T. Delsontro, N.Barros, J. F.Bezerra-Neto, S. M.Powers, M. A. Dos Santos, and ARIE A. J. Vonk, 2016. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces A New Global Synthesis. *BioScience* XX, 1-16.
- Degefu F., S. Mengistu, and M. Schagerl . 2011. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture* 316, 129-135
- Delgado C.L., N. Wada, M. W. Rosegrant, S.Meijer, M. Ahmed. 2003. Fish to 2020:Supply and Demand in Changing Global Markets. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington and WorldFish Center, Penang, Malaysia, 226 pp.
- Dillon P. J. and F. Rigler, 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 31(11), 1771-1778.
- Dupont J. 2004. La problématique des lacs acides au Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, *Enviroduq* no ENV/2004/0151, collection no QE/145, p 18
- FAO. 2018. «La situation Mondiale de la Pêche et de l'Aquaculture. Atteindre les objectifs de développement durable,» Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. 2011. *World Livestock 2011 Livestock in food security.* Rome, FAO.
- Gorlach-Lira K., C. Pacheco, L. C. T. Carvalho, H. N.Melo Junior, and M. C. Crispim. 2013. The influence of fish culture in floating net cages on microbial indicators of water quality. *Braz. J.I of Biol.* 73, 457-463.
- Guo, L., Z. Li. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture*, 2003;226: 201–212
- Hasnaoui M. and M. Droussi. 2017. Adaptation aux changements climatiques par une aquaculture rurale:Potentielle capacité de charge du Lac de Barrage de Hassan 1er (Maroc). *JWES*, 1, 100-105.

- Houssou A., S. Ahouansou Montcho, E. Montchowui, and C. Bonou. 2017. Spatial and Seasonal Characterization of Water Quality in the Ouémé River Basin (Republic of Benin, West Africa). *Egypt. J. Chem.*, 60(6), 1077–1090.
- Institut Numérique de Recherche (IRN)., 2013. Analyse des phénomènes hydro pluviométriques extrêmes en relation avec les inondations de Cotonou, 2010. 2 p.
- Mama D., M. Aina, A. Alassane, O. T. Boukari, W. Chouti, V. Deluchat, J. Bowen A. Afouda, and M. Baudu. 2011. Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). *Int. J. Biol. Chem.* 5(5):2076-2093
- Mhlanga L., W. Mhlanga, P. Mwera, 2013. The application of a phosphorus mass balance model for estimating the carrying capacity of Lake Kariba. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 37 (3), 316-319.
- Mueller D.K. 1982 Mass balance model estimation of phosphorus concentrations in reservoirs. *JAWRA*, 1982;18: 377–382.
- Panfili, J., D. Thior, J. M. Ecoutin, P. Ndiaye, and J. I. Albaret. 2006. Influence of salinity on the size at maturity for fish species reproducing in contrasting West African estuaries. *J. Fish Biol* 69, 95-113.
- PDDAC/MAEP. 2019. Programme De Développement Durable de L'Aquaculture Continentale en République du Benin. p 71
- Pulatsü S. 2003. The application of a phosphorus budget model estimating the carrying capacity of Kesikköprü Dam Lake. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 27(5), 1127-1130.
- Schenone N. F., L. Vackova, and A. F. Cirelli, 2011. Fish-farming water quality and environmental concerns in Argentina a regional approach. *Aquac. Int.* 19, 855-863.
- Tacon A.G.J., and M. Halwart. 2007. Cage aquaculture a global overview. In: M. Halwart, D. Soto, J. R. Arthur. (Eds.), *Cage Aquaculture – Regional Reviews and Global Overview*. FAO Fisheries Technical Paper No. 498, pp. 1–16, Rome, FAO, 241 pp.
- Vidy G. 2000. Estuarine and mangrove systems and the nursery concept: which is witch? The case of the Sine Saloum system (Senegal). *Wetlands Ecol. Manage.* 8, 37-51
- Vodougnon H., D. Lederoun, G. Amoussou, D. Adhibogoun and P. Lalèye. 2018. Ecology stress in fish population of Nokoué and Porto-Novo Lagoon in Benin. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 6 (3): 292-300
- Yang Y., J. Chen, T. Tonga, B. Li, T. Hec, Y. Liud, and S. Xie, 2019. Eutrophication influences methanotrophic activity, abundance and community structure in freshwater lakes. *Sci. Total Environ.* 662, 863-872.
- Yoboue K. P., D. B. R. Aboua, S. Berte, J. K. Coulibaly, N. I. Ouattara, and E. P. Kouamelan. 2018. Impacts des exploitations piscicoles en cages flottantes sur la structure des macroinvertébrés benthiques de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem* 12, 769-780.