



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Evaluation de la qualité des eaux d'une ferme rizipiscicole à Bonoufla, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire

Atto Delphin KOUADIO^{1*}, Barthélémy ZIE², Kouakou Séraphin KONAN¹,
Gokou Jean Marie DJEDJE¹ et Noël GROGA³

¹Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

²Laboratoire d'Environnement et Biologie Aquatique, UFR Science et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

³Laboratoire d'Amélioration et de Valorisation Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant ; E-mail : delphinkouadio2@gmail.com ; Tel.: (+225) 0749830086

Received: 18-08-2023

Accepted: 25-11-2023

Published: 31-12-2023

RESUME

Le maintien de la qualité optimale de l'eau pour la production de poissons dans les étangs rizipiscicoles constituent un défi majeur pour les pisciculteurs ivoiriens. L'étude visait à caractériser les paramètres physico-chimiques et la biomasse algale des eaux des étangs rizipiscicoles d'une ferme utilisant des sous-produits agricoles. Pour ce faire, les paramètres physico-chimiques et la biomasse algale ont été collectés mensuellement dans un barrage et dans quatre étangs rizipiscicoles de grossissement de *Oreochromis niloticus*. Les résultats ont montré que les eaux des étangs rizipiscicoles étaient faiblement oxygénées et moins transparentes avec une forte conductivité et de matières dissoutes. Ces eaux étaient fortement ou très polluées, mais avaient une bonne aptitude à l'aquaculture. Les moyennes du pH (5,05 à 6,4), de la conductivité (133,98 à 225,58 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de l'oxygène dissous (3,26 à 4,03 mg/l) de l'eau des étangs rizipiscicoles étaient comprises dans les fourchettes favorables pour une meilleure croissance du tilapia. Les teneurs en nitrate et en ammonium étaient significativement plus élevées dans les étangs rizipiscicoles que dans le barrage. La biomasse algale (8408,5 à 56313,5 $\mu\text{g}/\text{cl}$) et la demande biochimique en oxygène (10 à 24,15 mg/l) étaient significativement plus élevées dans l'Etang-4. Ces résultats démontrent l'enrichissement des eaux des étangs rizipiscicoles en sels nutritifs et en microalgues par l'usage sous-produits agricoles, ce qui optimiserait la productivité du poisson et du riz.
© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Rizipisciculture, Biomasse algale, pollution organique, sous-produits agricoles, Côte d'Ivoire

Waters quality assessment of a rice-fish farm in Bonoufla, Central-Western Côte d'Ivoire

ABSTRACT

A major challenge for fish farmers in Côte d'Ivoire is to maintain optimal water quality for fish production in rice-fish ponds. The study aimed to characterize the physico-chemical parameters and algal biomass of the water in rice-fish ponds on a farm using agricultural by-products. To accomplish this, physico-chemical parameters and algal biomass were collected monthly in a dam and in four rice-fish culture ponds where

Oreochromis niloticus grown. The results showed that the water in the rice-fish ponds was poorly oxygenated and less transparent, with high conductivity and dissolved solids. These waters were heavily or very heavily polluted, but had good suitability for aquaculture. The rice-fish pond water averages for pH (5.05 to 6.4), conductivity (133.98 to 225.58 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and dissolved oxygen (3.26 to 4.03 mg/l) were within the favorable ranges for tilapia growth. Nitrate and ammonium levels were significantly higher in the rice-fish ponds than in the dam. Algal biomass (8408.5 to 56313.5 $\mu\text{g}/\text{cl}$) and biochemical oxygen demand (10 to 24.15 mg/l) were significantly higher in Etang-4. These results demonstrate the enrichment of rice-fish pond water with nutrients and microalgae through the use of agricultural by-products, thereby optimizing fish and rice productivity.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Rice-fish culture, Algal biomass, Organic pollution, Agricultural by-products, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

La rizipisciculture est l'association de la culture du riz à l'élevage de poisson dans un même champ (Halwart et Gupta, 2010). Elle se caractérise par une durée d'exploitation assez courte (quelques mois) et par des conditions de milieu sévères au point de vue température et oxygénation des eaux (Assi-Kaudjhis, 2008). Dans les pays tropicaux et sous-développés comme la Guinée forestière, cette technique s'est montrée très productive (Hem et al., 2001) et constitue un système de résilience aux effets du changement climatique (Aldin et Carl, 2004).

Contrairement à la pisciculture et à la riziculture pratiquées séparément, la rizipisciculture est une activité récente en Côte d'Ivoire (Yao et al., 2017). La pratique de la rizipisciculture commence à se développer avec des connaissances scientifiques et techniques limitées sur la complexité de ses composantes environnementales (Avit et al., 2014). Les récents travaux d'enquête de (Yao et al., 2017), sur les pratiques piscicoles ivoiriennes ont montré que les aliments locaux à base de sous-produits agricoles et agroalimentaires sont les plus utilisés dans la production rizipiscicole. Pourtant, l'usage de ces aliments apporte des éléments nutritifs (azote et phosphore) qui favorisent la prolifération du plancton, des macroinvertébrés et des bactéries dans les structures d'élevage (Butler et al., 2005). Ce qui dégrade la qualité des eaux des étangs rizipiscicoles. La qualité de l'eau en pisciculture étant l'aptitude de l'eau pour satisfaire la survie et la croissance des

poissons, le maintien d'une qualité optimale pour la production de poissons dans les étangs rizipiscicoles constitue donc un défi majeur pour les pisciculteurs ivoiriens. En effet, le taux de survie, la production et la croissance des poissons sont fortement influencés par plusieurs facteurs tels que la température, le pH, l'oxygène dissous de l'eau et leur alimentation (Imorou Toko et al., 2013). La dégradation de la qualité de l'eau peut se traduire par la diminution de l'oxygène dissous et le bloom de certaines cyanobactéries pouvant occasionner la mortalité des poissons et la baisse de la productivité de la ferme. Cependant, il est important de connaître les paramètres de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau pour une meilleure croissance et survie des poissons. Les stratégies de recherche pour la bonne pratique de la rizipisciculture intensive doivent donc considérer les relations écologiques des étangs dans leur globalité.

L'objectif de cette étude était de caractériser les paramètres physico-chimiques et la biomasse algale de l'eau des étangs rizipiscicoles de la ferme de Kouadiokro-Bonoufla utilisant des sous-produits agricoles comme intrants alimentaires.

MATERIEL ET METHODES

Localisation et présentation générale de la ferme rizipiscicole

Les travaux ont été réalisés sur la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla (7°11'40" N et 6°31'38,5" W) située dans le Département de Vavoua à environ 12 km du village de Bonoufla. Ce village se trouve sur

l'axe Daloa-Vavoua (Figure 1). Localisé dans la Région du Haut-Sassandra, le Département de Vavoua bénéficie d'un climat tropical humide de transition. Le climat de cette Région est caractérisé par une saison sèche allant d'octobre à mars et une saison des pluies ayant deux maxima, l'un en juin et l'autre en septembre (Ligban et al., 2009). Le mois de février est le plus chaud de l'année, tandis que le mois le plus froid de l'année est celui d'août (Adjiri et al., 2020).

La ferme rizipiscicole s'étend sur une superficie de 3060 m² et est constituée de neuf étangs numérotés de E1 à E9. Ainsi, la superficie de ces étangs est comprise entre 200 et 675 m² avec des profondeurs allant de 0,5 à 1 m. Ces étangs sont alimentés en eau par gravité à partir d'un barrage d'un hectare. Le barrage est alimenté par une petite rivière traversant une plantation cacaoyère. La vase et le sable sont les substrats prédominants dans ces étangs. La ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla est entourée par des plantations cacaoyère et caféière dans lesquelles les herbicides sont souvent utilisés par les agriculteurs.

Matériel

Description des structures d'élevage échantillonnées

Dans cette étude, quatre étangs rizipiscicoles (E2, E3, E4 et E8) ont été choisis selon leur disposition par rapport au barrage. Sur ce barrage, deux points (B1 et B2) ont été aussi choisis vers les canaux d'alimentation en eau. Les quatre étangs choisis contenaient des plants de riz inondables (*Oryza glaberrima*) de cycle culturel de 6 mois. Ces plants ont été repiqués avec un espacement de 20 cm entre les poquets et 25 cm entre les lignes. Une densité de mise en charge de 1,5 poissons/m² était appliquée avec des juvéniles mâles de *O. niloticus* ayant un poids moyen de 38 ± 0,09 g. Les poissons étaient nourris avec des intrants composés essentiellement des sons de maïs et de riz.

Matériel de collecte de données

La mesure *in situ* des paramètres physico-chimiques de l'eau des structures d'élevage a nécessité l'usage d'un multi-

paramètre de marque HACH LANGE HQ40D muni d'un pH-mètre, d'un oxymètre, d'un conductimètre et d'un turbidimètre. Un disque de Secchi muni d'une corde graduée en cm a été utilisé pour la mesure de la transparence de l'eau des structures d'élevage.

Des flacons en polyéthylène et une glacière ont servi au prélèvement et au conditionnement des échantillons d'eau destinés à l'analyse au laboratoire des sels nutritifs, de la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO5) et de la biomasse algale. Une pompe à vide, des papiers filtres Whatman GF/C (0,45 µm de porosité et 90 mm de diamètre), un bain mari et un spectrophotomètre DR 6000 de marque HACH LANGE ont été utilisés pour le dosage de la chlorophylle *a*.

Méthodes

Mesure des paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau des structures d'élevage

Les paramètres physico-chimiques et biologiques ont été pris mensuellement dans quatre étangs rizipiscicoles de grossissement de *O. niloticus* et dans le barrage d'alimentation. A cet effet, six campagnes d'échantillonnage ont été effectuées entre septembre 2019 et février 2020. A l'exception de la transparence de l'eau mesurée à midi, toutes les données ont été prises dans la matinée entre 7 h et 10 h.

Pendant chaque campagne d'échantillonnage, le pH, l'oxygène dissous, la température, les solides totaux dissous (TDS) et la conductivité électrique de l'eau des structures d'élevage ont été mesurés *in situ* avec le multi-paramètre de marque HQ40d. La transparence a été déterminée *in situ* à midi par immersion d'un disque de Secchi. Des échantillons d'eau (1 L) de chaque structure d'élevage ont été collectés dans les flacons en plastiques. A chaque collecte, ces flacons sont rincés avec l'eau du milieu puis remplis jusqu'à ras bord et fermés hermétiquement. Ensuite, ils ont été conservés dans une glacière à une température basse d'environ 4°C et acheminés au laboratoire de chimie du Centre de Recherche Océanologique (CRO) de Côte d'Ivoire. Les analyses ont été réalisées dans ledit laboratoire au bout de 48 h après la prise

d'échantillons et ont porté sur la DBO5 ainsi que les sels nutritifs (orthophosphates, ammoniums, nitrates, nitrites, azote total et phosphore total). Le dosage de ces éléments a été effectué selon les méthodes analytiques de AFNOR (1994). Une quantité d'eau de 500 ml de chaque milieu a été également prélevés dans des flacons en plastique pour déterminer la teneur en chlorophylle *a*. Ces échantillons d'eau ont été emballés avec du papier aluminium afin d'empêcher la photosensibilité. Sous une pression de 200 KPa d'une pompe à vide, 250 ml de cette quantité d'eau ont été filtrés sur la membrane Whatman GF/C de 0,45 µm de porosité. Après filtration, la teneur en chlorophylle *a* a été déterminée suivant la méthode spectrophotométrique de Lorenzen (1967). La biomasse algale brute des différents milieux a été estimée à partir de la concentration en chlorophylle *a* de chaque milieu. D'après APHA (1992), la chlorophylle *a* représente environ 1,5% du poids sec de la matière organique des algues. Ainsi, la biomasse algale de chaque échantillon d'eau a été estimée en multipliant la teneur en chlorophylle *a* du milieu par un facteur de 67 et exprimée en µg/cl (Raschke, 1993).

Détermination de l'Indice de Pollution Organique des eaux de la ferme

L'indice de pollution organique (IPO) de Leclercq (2001) a été calculé pour apprécier la qualité chimique des eaux des structures d'élevages de la ferme impactées par la pollution organique réelle à partir des ions orthophosphates (PO_4^{3-}), ammoniums (NH_4^+), nitrites (NO_2^-) et la DBO5. Pour chacun de ces paramètres, cinq classes de valeurs ayant chacune une signification écologique sont distinguées (Tableau 1). Dans cette étude, la valeur de l'IPO d'une structure d'élevage correspond à la moyenne des numéros des classes de chaque paramètre et les valeurs obtenues sont réparties en cinq niveaux de pollution allant de moins pollué (classe 5) à plus pollué (classe 1) (Tableau 2).

Détermination de l'aptitude de l'eau à la pisciculture

Le Système d'Évaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau (SEQ-Eau) du MEDD et Agence de l'Eau (2003) a été utilisé pour

évaluer l'aptitude physicochimique de l'eau à l'aquaculture en général. Ce système utilise l'oxygène dissous, le TDS, la DBO5 et les sels nutritifs, etc. Il classe la qualité de l'eau pour l'aquaculture à l'aide des couleurs dont « Bleue = Très bon », « vert = Bon » et « rouge = Moyen » (Tableau 3). Dans cette étude, ce système a été complété par des valeurs seuils (Tableau 4) recommandées par certains auteurs pour la bonne croissance de *O. niloticus*. L'aptitude de l'eau à la pisciculture et à la bonne croissance de *O. niloticus* a été appréciée avec la moyenne des paramètres considérés.

Analyses statistiques

Les valeurs des paramètres obtenus dans les étangs rizipiscicoles ont été comparées entre elles et à celles enregistrées dans le barrage d'alimentation. Ainsi, les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney ont été effectués sur les données des composés nutritifs, la DBO5 et la biomasse algale qui ne suivaient pas la loi normale après le test W de Shapiro-Wilk. Pour les autres paramètres de taille > 30 , l'analyse de variances à un critère de classification (ANOVA 1) et le test LSD (Différence significative minimale) de Fisher ont été utilisés pour comparer les différentes moyennes. Les différences ont été considérées significatives au seuil de $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$).

Le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour établir les relations entre les paramètres pris deux à deux. Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) varie entre -1 et +1. La valeur -1 indique l'existence d'une relation inverse parfaite entre les deux paramètres, tandis que la valeur de +1 montre une corrélation positive parfaite. Lorsque $r = 0$, alors les deux variables sont indépendantes (relation nulle entre les deux variables) et plus r est proche de -1 ou +1, plus la relation linéaire entre les deux variables est forte. Par ailleurs, plus la valeur de r est proche de 0, plus la relation est faible (Kouyaté et al., 2021). Toutes ces analyses statistiques ont été réalisées sur l'interface RStudio du logiciel R version 3.0.2 (Core, 2021) à l'aide de son package « ade4 ».

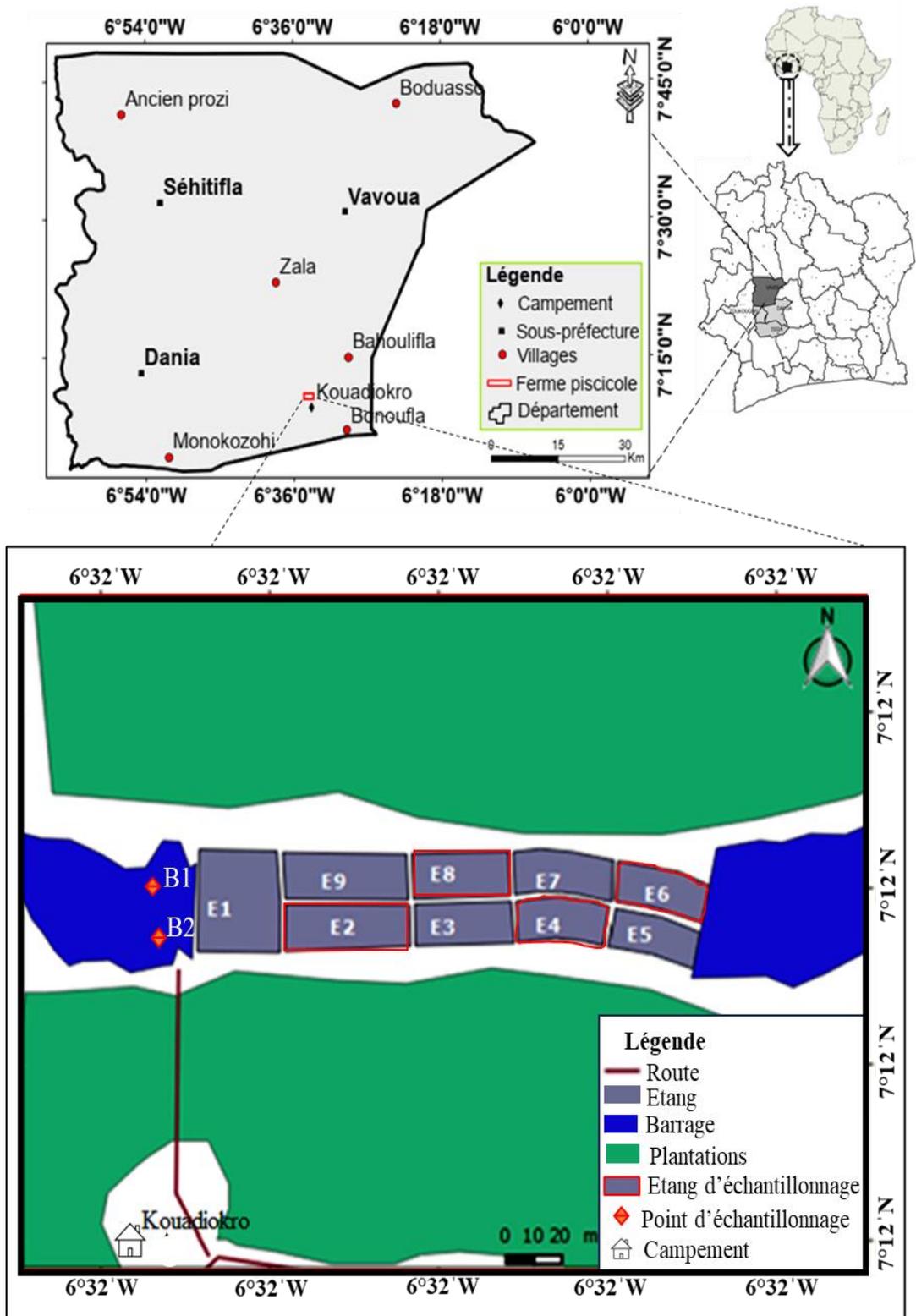


Figure 1 : Localisation de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla montrant les structures d'élevage échantillonnées.

Tableau 1 : Classes de l'Indice de Pollution Organique en fonction des valeurs limites de chaque paramètre.

Classes	Paramètres			
	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (µg/l)	PO ₄ ³⁻ (µg/l)	DBO5 (mg/l)
5	< 0,1	≤ 5	≤ 15	< 2
4	0,1 - 0,9	6 – 10	16 - 75	2 – 5
3	1 - 2,4	11 – 50	76 - 250	5,1 – 10
2	2,5 - 6	51 – 150	251 - 900	10,1 – 15
1	> 6	> 150	> 900	> 15

Tableau 2 : Classification du niveau de pollution en fonction de la valeur de l'Indice de Pollution Organique.

Valeur de l'IPO	5,0 - 4,6	4,5 - 4,0	3,9 - 3,0	2,9 - 2,0	1,9 - 1,0
Niveau de pollution organique	Null	Faible	Modérée	Forte	Très forte
Cartographie					

Tableau 3 : Système d'Évaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau (MEDD et Agence de l'Eau, 2003).

Indicateurs	Classe d'aptitude		
	Très bon	Bon	Moyen
Oxygène dissous (mg/l)	> 7	7 - 5	< 5
DBO5 (mg/l)	< 5	5 - 10	> 10
Ammonium (mg/l)	< 0,1	0,1 - 5	> 5
Nitrites (mg/l)	< 0,03	0,03 - 1	> 1
Nitrates (mg/l)	< 10	10 - 100	> 100
Phosphore total (mg/l)	< 0,01	0,01 - 3	> 3
TDS (mg/l)	< 10	10 - 50	> 50
pH	min 6,5	ND	ND
	max 8	ND	ND

ND : Valeur non déterminée dans le système.

Tableau 4 : Gamme de valeurs recommandées des paramètres physicochimiques pour l'élevage du tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Paramètres	Gammes optimales	Gammes tolérables	Sources
pH	6 à 8,5	5 à 11	Malcolm et al. (2000)
Oxygène dissous (mg/l)	> 3,2	0,1 à 3	Lacroix (2004) ; Tran-Duy et al. (2008)
Température (°C)	28 à 32	25 à 32	Malcolm et al. (2000) ; Lazard (2009)
Transparence (cm)	15 à 20	0,35 à 67,73	Mfossa (2007) ; Chikou et al. (2013)
Conductivités (µS/cm)	150 à 450	ND	Mamadou (1998)
Nitrites (mg/l)	< 2,1	ND	
Nitrates (mg/l)	< 2,3	ND	Balarin et Haller (1982)
Orthophosphates (mg/l)	< 0,5	ND	
DBO5 (mg/l)	3 à 20	ND	Boyd (2003)
Turbidité (mg/l)	25 à 100	ND	Malcom et al. (2000)

RESULTATS

Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés *in situ*

L'oxygène dissous a été faible dans les étangs rizipiscicoles avec des valeurs moyennes qui ont fluctué entre $3,26 \pm 0,73$ (Etang-4) et $4,03 \pm 0,51$ mg/l (Etang-2). La concentration en oxygène dissous du barrage a été de $5,04 \pm 0,73$ mg/l en moyenne. La moyenne du pH a été de $6,74 \pm 0,43$ au niveau du barrage, alors qu'elle a oscillé entre $5,05 \pm 0,56$ (Etang-4) et $6,4 \pm 0,39$ (Etang-2) dans les étangs rizipiscicoles. Statistiquement, les moyennes de l'oxygène dissous et du pH ont varié significativement d'une structure à l'autre (ANOVA 1, $p < 0,05$). Concernant la température, les valeurs ont été statistiquement identiques dans les étangs rizipiscicoles (Test LSD de Fisher, $p > 0,05$) et les moyennes ont oscillé entre $26,63 \pm 1,23$ (Etang-4) et $27,05 \pm 1,43^\circ\text{C}$ (Etang-6). Ces moyennes ont été significativement plus faibles par rapport à celle du barrage qui était de $29,50 \pm 1,42^\circ\text{C}$ (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$) (Tableau 5).

S'agissant de la conductivité et de la turbidité, les moyennes ont été relativement plus élevées dans les étangs rizipiscicoles notamment dans l'Etang-4, alors qu'elles ont été plus faibles dans le barrage. Les eaux des étangs rizipiscicoles étaient plus minéralisées avec les valeurs moyennes de la conductivité électrique qui ont oscillées entre $133,98 \pm 22,93$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ et $225,58 \pm 33,81$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les solides totaux dissous (TDS) dans les étangs rizipiscicoles ont varié moyennement entre $110,51 \pm 11,41$ mg/l (Etang-2) et $173,57 \pm 15,46$ mg/l (Etang-4). La moyenne des TDS obtenue dans l'eau du barrage de $109,13 \pm 17,66$ mg/l était statistiquement identique à celle enregistrée dans l'Etang-2 (Test LSD de Fisher, $p > 0,05$). Quant à la transparence, les moyennes enregistrées dans les étangs rizipiscicoles ont fluctué entre $20,11 \pm 2,97$ cm (Etang-2) et $35,17 \pm 3,98$ cm (Etang-4). Ces moyennes ont été plus faibles par rapport à celle du barrage qui a été de $44,97 \pm 7,20$ cm. Les tests de ANOVA à 1 facteur montrent que la transparence, mesurée dans les étangs rizipiscicoles sont significativement différents de ceux du barrage au seuil de 0,05.

Variation des sels nutritifs et de la chlorophylle *a*

Les teneurs en ions nitrites, nitrates, orthophosphates, ammoniums et du phosphore total des eaux de l'Etang-6, Etang-4 et Etang-8 ont été relativement plus élevées que celles de l'Etang-2 et du barrage (Tableau 6). Les concentrations moyennes de ces composés nutritifs varient significativement d'un milieu à l'autre (Test de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} = 0,000$).

Quant à la chlorophylle *a*, sa teneur dans l'eau des étangs rizipiscicoles a fluctué en moyenne entre $219,06 \pm 53,56$ $\mu\text{g}/\text{l}$ (Etang-2) et $582,83 \pm 223,50$ $\mu\text{g}/\text{l}$ (Etang-4). Les moyennes maximales de $582,83 \pm 223,50$ $\mu\text{g}/\text{l}$ et de $496,52 \pm 182,90$ $\mu\text{g}/\text{l}$ de la teneur en chlorophylle *a* ont été respectivement observées dans l'Etang-4 et l'Etang-8. Ces valeurs ont été significativement différentes de celles des autres étangs et du barrage (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Variation de la DBO5 et la biomasse algale

La DBO5 de l'eau des étangs rizipiscicoles échantillonnés a oscillé entre 10 et 24,15 mg/l avec de fortes concentrations dans l'Etang-4, Etangs-6 et l'Etangs-8 (Figure 2). La valeur maximale de la DBO5 a été enregistrée dans l'Etang-4 avec des valeurs allant de 21 à 24,15 mg/l, alors que la valeur minimale a été obtenue dans l'Etang-2 avec des extrêmes de 10 mg/l à 12,5 mg/l. En ce qui concerne la biomasse algale estimée, les valeurs ont fluctué globalement entre 8408,5 $\mu\text{g}/\text{cl}$ et 56313,5 $\mu\text{g}/\text{cl}$ avec de plus fortes biomasses obtenues également dans l'Etang-4, Etangs-6 et l'Etangs-8 (Figure 3). Excepté l'Etang-2, les valeurs de la DBO5 et la biomasse algale des étangs rizipiscicoles sont significativement plus élevées que celles du barrage (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Appréciation de la qualité chimique des eaux par l'Indice de Pollution Organique

L'indice de pollution organique de ces structures d'élevages a varié significativement d'une structure à l'autre (Test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les valeurs de l'IPO du

barrage ont fluctué entre 1,65 et 2,85 avec une médiane de 2,16 montrant que les eaux du barrage d'alimentation des étangs sont fortement polluées. Dans les étangs rizipiscicoles, les médianes des IPO ont oscillé entre 1,75 (Etang-4) et 2,84 (Etang-2). Ces valeurs indiquent que l'eau des étangs sont fortement polluées à très polluées (Figure 4).

Aptitude de l'eau des structures à la pisciculture

L'eau des étangs rizipiscicoles et du barrage ont eu respectivement une bonne et une très bonne aptitude à l'aquaculture. Les valeurs moyennes de la transparence, la turbidité et la concentration en ions orthophosphates des étangs rizipiscicoles et du barrage n'ont pas été incluses dans les gammes optimales pour l'élevage du tilapia (*O. niloticus*). Par contre, les valeurs moyennes de l'oxygène dissous, le pH et des teneurs en nitrites et nitrates de l'eau de toutes les structures d'élevage ont été comprises dans les fourchettes optimales pour une meilleure croissance de *O. niloticus*.

Relation entre les paramètres mesurés

A l'exception de la teneur en orthophosphate (PO_4^{3-}), les autres paramètres étaient significativement corrélés entre eux (Tableau 8). La turbidité a été corrélée négativement et

faiblement avec l'oxygène dissous ($r = - 0,66$), le pH ($r = - 0,62$) et la température ($r = - 0,54$) puis moyennement avec la transparence ($r = - 0,77$). Elle a été fortement et positivement corrélée avec la conductivité ($r = 0,84$), le taux de solides dissous ($r = - 0,80$) et la DBO5 ($r = - 0,84$). La transparence a été corrélée positivement et faiblement avec le pH ($r = 0,68$), l'oxygène dissous ($r = 0,69$) et la température ($r = 0,52$). Elle a été aussi faiblement corrélée, mais négativement avec la biomasse algale ($r = - 0,57$), les concentrations en ions nitrites, nitrates et ammoniums ($- 0,60 \leq r \leq - 0,65$). Quant à la DBO5, elle a été fortement corrélée positivement avec le taux de solide dissous ($r = 0,88$), moyennement corrélée positivement avec la conductivité, le nitrate, l'ammonium et la biomasse algale ($0,71 \leq r \leq 0,75$). Par contre, elle a été corrélée faiblement et négativement avec l'oxygène dissous ($r = - 0,61$), moyennement corrélée négativement avec le pH ($r = - 0,74$). Concernant la biomasse algale, elle a été faiblement et positivement corrélée avec la conductivité, le taux de solide dissous et le nitrite ($0,52 \leq r \leq 0,64$). De plus, elle a été positivement et fortement corrélée avec la concentration en nitrates ($r = 0,80$) et en ammonium ($r = 0,82$).

Tableau 5 : Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* dans l'eau de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla entre avril et octobre 2020.

Paramètres physico-chimiques	Structures d'élevage					P-value
	Etang-2	Etang-6	Etang-4	Etang-8	Barrage	
Oxygène dissous (mg/l)	4,03 ± 0,51 ^c	3,49 ± 0,71 ^b	3,26 ± 0,73 ^{ab}	3,28 ± 0,67 ^{ab}	5,04 ± 0,73 ^d	0,000
pH	6,4 ± 0,39 ^d	5,74 ± 0,42 ^b	5,05 ± 0,56 ^a	5,61 ± 0,51 ^b	6,74 ± 0,43 ^c	0,000
Température (°C)	26,72 ± 0,94 ^a	27,05 ± 1,43 ^a	26,63 ± 1,23 ^a	27,04 ± 0,50 ^a	29,50 ± 1,42 ^b	0,000
Conductivité électrique (µS/cm)	133,98 ± 22,93 ^b	187,04 ± 23,05 ^c	225,58 ± 33,81 ^d	182,67 ± 36,12 ^c	128,26 ± 30,67 ^a	0,000
Turbidité (NTU)	141,75 ± 26,48 ^b	205,14 ± 28,76 ^c	241,86 ± 34,11 ^d	199,95 ± 30,73 ^c	130,61 ± 27,20 ^a	0,000
TDS (mg/l)	110,51 ± 11,41 ^a	142,65 ± 22,05 ^b	173,57 ± 15,46 ^d	158,34 ± 19,47 ^c	109,13 ± 17,66 ^a	0,000
Transparence (cm)	35,17 ± 3,98 ^d	28,46 ± 3,97 ^c	20,11 ± 2,97 ^a	24,62 ± 3,50 ^b	44,97 ± 7,20 ^e	0,000

TDS : Taux de solides dissous. Les valeurs des lignes portant les lettres différentes en exposant sont significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$ (ANOVA et test LSD de Fisher).

Tableau 6 : Valeurs moyennes des teneurs en sels nutritifs et en chlorophylle *a* des eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla entre avril et octobre 2020.

Paramètres	Structures d'élevage					P-value
	Etang-2	Etang-6	Etang-4	Etang-8	Barrage	
Nitrites (mg/l)	0,04 ± 0,01 ^b	0,05 ± 0,02 ^c	0,07 ± 0,04 ^d	0,05 ± 0,15 ^c	0,02 ± 0,01 ^a	0,000
Nitrates (mg/l)	0,43 ± 0,12 ^{ab}	0,75 ± 0,27 ^{bc}	1,72 ± 0,72 ^d	0,92 ± 0,33 ^c	0,34 ± 0,14 ^a	0,000
Ammonium (mg/l)	0,21 ± 0,07 ^a	0,63 ± 0,27 ^b	1,07 ± 0,41 ^c	0,49 ± 0,28 ^{bc}	0,17 ± 0,08 ^a	0,000
Orthophosphates (mg/l)	0,51 ± 0,10 ^a	0,83 ± 0,20 ^b	1,01 ± 0,18 ^c	0,72 ± 0,18 ^b	0,57 ± 0,16 ^b	0,000
Phosphore total (mg/l)	0,81 ± 0,10 ^b	1,20 ± 0,32 ^c	1,81 ± 0,21 ^d	1,10 ± 0,14 ^c	0,30 ± 0,11 ^a	0,01
Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	219,06 ± 53,56 ^{ab}	424,54 ± 177,86 ^{bc}	582,83 ± 223,50 ^c	496,52 ± 182,90 ^c	172,72 ± 46 ^a	0,000

Les valeurs des lignes portant les lettres différentes en exposant sont significativement différentes (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, $\alpha = 0,05$).

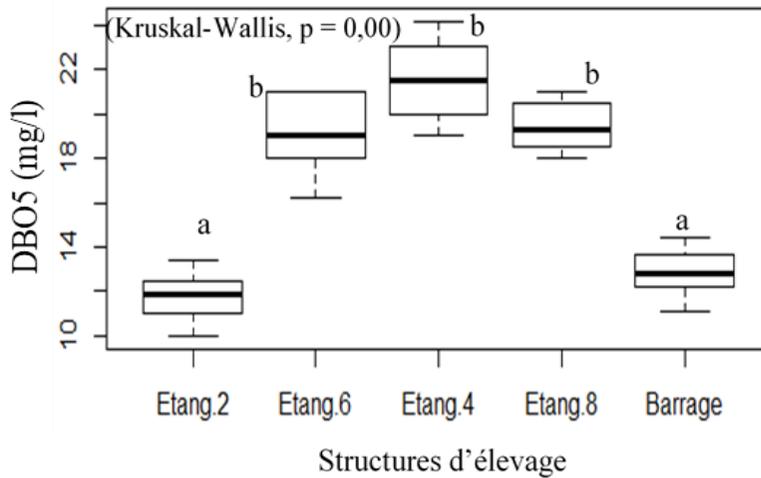


Figure 2 : Variation de la demande biochimique en oxygène (DBO5) des eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla entre avril et octobre 2020.

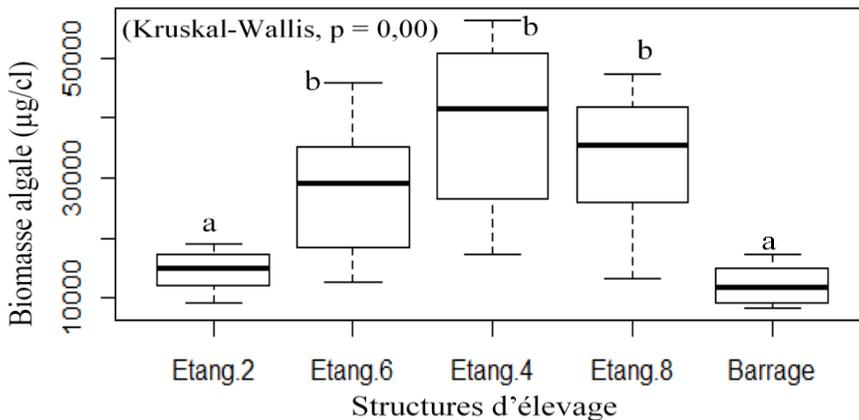


Figure 3 : Variation de la biomasse algale des eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro- Bonoufla entre avril et octobre 2020. Les valeurs des boxplots portant les lettres différentes sont significativement différentes (test de Mann-Whitney, $\alpha = 0,05$).

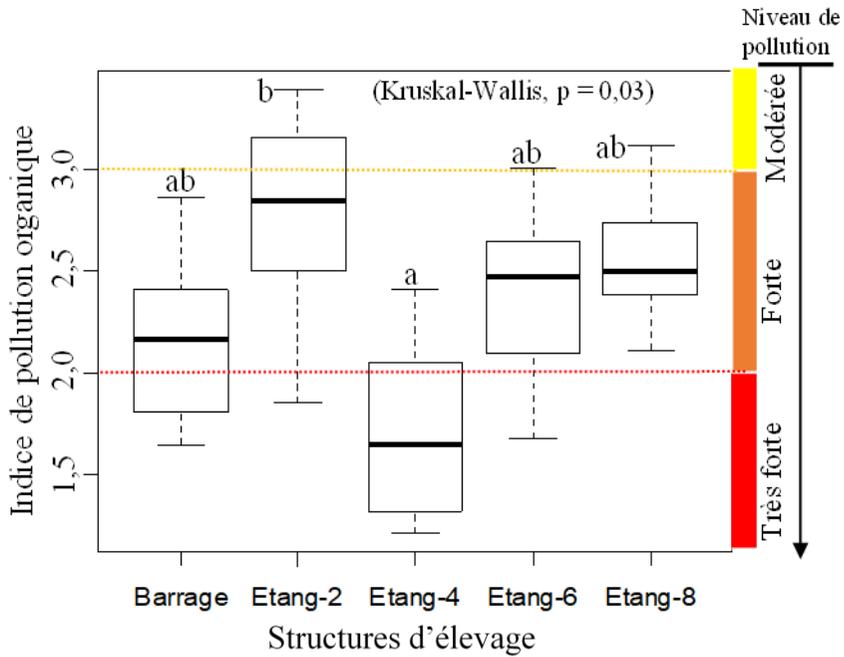


Figure 4 : Profil et cartographie de l'indice de pollution organique des eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla. Les boxplots portant les lettres différentes représentent une différence significative selon le test de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Tableau 7 : Diagnostic de l'aptitude des eaux des structures d'élevage à l'aquaculture.

	Structures d'élevage				
	Etang-2	Etang-6	Etang-4	Etang-8	Barrage
Oxygène dissous (mg/l)					
DBO5 (mg/l)					
Ammonium (mg/l)					
Nitrites (mg/l)					
Nitrates (mg/l)					
Phosphore total (mg/l)					
TDS (mg/l)					
pH					
Aptitude globale	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Très Bonne

Tableau 8 : Corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les sels nutritifs et la biomasse algale des eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla d'avril à octobre 2020.

	O ₂	pH	T°C	CE	Turb	TDS	Tran	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	DBO5	Bioal
O₂	1												
pH	0,52*	1											
T°C	0,55*	0,43	1										
CE	-0,62*	-0,62*	-0,48	1									
Turb	-0,66*	-0,62*	-0,54*	0,84*	1								
TDS	-0,65*	-0,72*	-0,42	0,75*	0,80*	1							
Tran	0,69*	0,68*	0,52*	-0,60*	-0,77*	-0,75*	1						
NO₂⁻	-0,53*	-0,61*	-0,25	0,64*	0,58*	0,61*	-0,60*	1					
NO₃⁻	-0,45	-0,62*	-0,46	0,54*	0,54*	0,68*	-0,65*	0,68*	1				
NH₄⁺	-0,57*	-0,61*	-0,47	0,71*	0,66*	0,70*	-0,61*	0,69*	0,81*	1			
PO₄³⁻	0,21	0,17	0,53*	-0,28	-0,42	-0,19	0,37	-0,07	-0,14	-0,14	1		
DBO5	-0,61*	-0,74*	-0,44	0,73*	0,84*	0,88*	-0,73*	0,65*	0,71*	0,71*	-0,17	1	
Bioal	-0,48	-0,67*	-0,58*	0,62*	0,65*	0,64*	-0,57*	0,52*	0,80*	0,82*	-0,18	0,75*	1

Les valeurs portant * présentent une corrélation significative au seuil de $\alpha = 0,05$. (O₂ : Oxygène dissous, CE : Conductivité électrique, T°C : Température, Turb : Turbidité, TDS : Taux de solides dissous, Tran : Transparence, DBO5 : Demande biochimique en oxygène, Bioal : Biomasse algale).

DISCUSSION

L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla a montré que l'oxygène dissous, le pH, la température et la transparence des eaux des étangs rizipiscicoles étaient significativement plus faibles par rapport à celles du barrage d'alimentation. Les températures moyennes enregistrées dans des structures d'élevage (26,63 à 29,50°C) étaient caractéristiques de celles des régions tropicales. Bien que ces moyennes n'étaient pas comprises dans l'intervalle idéale pour la croissance de *O. niloticus*, elles se situaient dans la gamme tolérable pour son élevage, qui est de 25 à 32°C d'après Lazard (2009). Les différences de température entre l'eau des étangs rizipiscicoles et celles du barrage pourraient être liées à la couverture érigée par les feuilles des plants de riz dans les étangs. En effet, la température de l'eau est très dépendante de son contact avec l'air ambiant et le feuillage des plants de riz réduirait l'exposition des eaux aux rayonnements solaires. D'après Roger (1996), la quantité de

la lumière solaire atteignant la surface de l'eau d'un étang rizipiscicole peut chuter jusqu'à 95% après deux mois de repiquage des plants de riz. Quant à la faible transparence de l'eau observée dans les étangs rizipiscicoles (20,11 à 35,17 cm), elle pourrait être attribuée à l'abondance du plancton dans ces étangs due à leur enrichissement en sels nutritifs (Schlumberger, 2002). Les faibles concentrations de l'oxygène dissous de l'eau des étangs rizipiscicoles (3,26 à 4,03 mg/l) s'expliqueraient par sa mesure faite en début de matinée. Car d'après Halwart et Gupta (2010), dans l'écosystème « riz-poisson », la respiration des poissons et la photosynthèse du phytoplancton et des plants de riz utilisent énormément l'oxygène dissous pendant la nuit. Les valeurs du pH des étangs (5,05 à 6,4) indiquent que les eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla sont légèrement acides. Les valeurs faibles du pH seraient attribuables à une grande quantité de CO₂ dans l'eau due à la décomposition des particules organiques, des tiges de riz de saison culturales précédentes (Chowdhary et al., 2000) et au

rejet des eaux de ruissellement contenant des produits chimiques provenant des activités agricoles autour de la ferme piscicole (Boni et al., 2016).

Les moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* dans les étangs rizipiscicoles concordent à celles de Kouadio et al. (2020) obtenues dans les étangs rizipiscicoles de prégrossissement de *O. niloticus* de la même ferme. Toutefois, elles étaient largement supérieures à celles rapportées par Avit et al. (2014) dans les étangs rizipiscicoles de la Station de Recherche en Pisciculture du CNRA à Bouaké (Côte d'Ivoire). Néanmoins, les concentrations en oxygène dissous obtenues dans les étangs rizipiscicoles étaient favorables à une meilleure croissance du tilapia. D'après Tran-Duy et al. (2008), la concentration minimale de l'oxygène dissous dans l'eau pour l'élevage de *O. niloticus* est de 3,2 mg/l, en-dessous de laquelle un stress respiratoire se manifeste. Les valeurs de la conductivité, la turbidité et des TDS étaient significativement plus élevées dans les étangs rizipiscicoles que dans le barrage d'alimentation. Cette différence serait liée à une forte minéralisation due à la disponibilité de la matière organique issue de la fraction des intrants alimentaires non consommée dans les étangs rizipiscicoles par rapport au barrage. En effet, l'apport d'aliment exogène dans les étangs semi intensifs pourrait augmenter la teneur en nutriments de ces étangs, par rapport au milieu naturel (Imorou Toko et al., 2010). Ce qui justifierait les valeurs élevées de la conductivité, la turbidité et du TDS observées dans nos étangs rizipiscicoles.

L'analyse de la variation des taux des composés nutritifs, de la chlorophylle *a* et la DBO5 a montré des différences significatives ($p < 0,05$) entre les structures d'élevage étudiées. L'étude révèle des fortes concentrations de sels nutritifs dans les étangs rizipiscicoles contrairement au barrage. Cette différence est en accord avec les travaux de

Coulibaly et al. (2019) effectués à la ferme piscicole en étang au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Les teneurs des ions nitrates (0,43 à 1,72 mg/l) et d'ammonium (0,21 à 1,07 mg/l) obtenues dans les étangs rizipiscicoles ont été plus élevées. Ces valeurs moyennes enregistrées dans nos étangs rizipiscicoles étaient supérieures à celles rapportées par Avit et al. (2014) dans les mêmes types d'étangs à Bouaké. Les teneurs obtenues proviendraient probablement de la minéralisation du reste des aliments exogènes non consommés par les poissons tel que signalé par Yapo et al. (2014). En revanche, les teneurs de sels nutritifs du barrage, indépendamment des apports exogènes, résulteraient des pollutions diffuses liées aux activités agricoles observées autour de la ferme telles que l'usage des herbicides. Les concentrations en ions orthophosphates dans ces étangs étaient supérieures au seuil recommandé pour la pisciculture. D'après Saikia et al. (2015), le phosphate est un nutriment essentiel pour la croissance des organismes aquatiques et peut limiter la production primaire. Dans le système rizipiscicole, la concentration élevée des nutriments stimule la croissance du phytoplancton et facilite le tallage du riz, ce qui conduit à un bon rendement du paddy et du poisson (Gurung et Walgle, 2005). Les valeurs plus élevées de la DBO5 dans les étangs rizipiscicoles seraient probablement dues à la décomposition du reste de sous-produits agricoles non consommés par les poissons ainsi que de leur déchet. En outre, les fortes concentrations des sels nutritifs dans les étangs rizipiscicoles pourraient accroître la prolifération des algues dans ces milieux (Mélard, 2006). Ce qui justifierait les plus fortes valeurs de la chlorophylle *a* (219,06 à 582,83 µg/l) et de la biomasse algale (9169,62 à 56313,5 µg/cl) enregistrées dans nos étangs par rapport à celles du barrage qui vont respectivement de 80,29 à 165,79 µg/l et de 8408,5 à 11252,65 µg/cl. Les valeurs extrêmes

de la biomasse algale déterminées dans nos étangs rizipiscicoles sont similaires à celles obtenues par Imorou Toko et al. (2010) dans les étangs piscicoles extensifs ($37996,06 \pm 523,50 \mu\text{g}/\text{cl}$) et semi-intensifs ($38082,42 \pm 1028,13 \mu\text{g}/\text{cl}$) au Bénin.

Les eaux du barrage d'alimentation des étangs ont été fortement polluées. Ce niveau de pollution organique résulterait principalement de la décomposition des débris, des feuilles et herbes mortes du barrage occasionnant une accumulation de matières organiques et nutritives. Cette pollution traduirait un état hyper-eutrophe des structures d'élevage. D'après Dédjiho et al. (2013), l'eutrophisation constitue une menace pour la qualité des eaux dans les usages à des fins piscicoles.

La matrice de corrélation établie entre les différents paramètres a révélé une forte corrélation positive de la biomasse algale avec les ions nitrates ($r = 0,80$) et ammoniums ($r = 0,82$). Cette forte corrélation pourrait s'expliquer par le fait que l'enrichissement de l'eau en composé azoté augmente le développement du phytoplancton (Butler et al., 2005). La corrélation négative de la transparence et la biomasse algale s'expliquerait par le fait que plus le phytoplancton est abondant dans l'eau, moins elle est transparente.

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser la qualité physico-chimique et biologique de l'eau des étangs rizipiscicoles de grossissement de *Oreochromis niloticus* d'une ferme utilisant les sous-produits agricoles. Il ressort que les eaux des étangs rizipiscicoles échantillonnés sont faiblement oxygénées et transparentes. Les eaux de la ferme rizipiscicole de Kouadiokro-Bonoufla sont acides avec des valeurs élevées de la conductivité et du taux de solide dissous. Les concentrations de la chlorophylle-*a*, du nitrate et de l'ammonium sont plus élevées dans les étangs rizipiscicoles

que dans le barrage d'alimentation. Il y a un enrichissement d'éléments azotés et une prolifération algale dans les étangs rizipiscicoles, donc une disponibilité d'aliments naturels pour les poissons. Les valeurs moyennes du pH, de l'oxygène dissous, de la température et de la conductivité sont comprises dans les gammes favorables à la croissance optimale de *O. niloticus*. L'eau de la ferme rizipiscicole est à un état hyper-eutrophe. Néanmoins, il serait important pour les propriétaires de la ferme de suivre l'évolution de la transparence, l'oxygène dissous et du phosphore afin d'éviter les cas de mortalités des poissons à long terme.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs du présent article signalent qu'il ne peut avoir d'intérêts concurrents.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration entre les auteurs. ADK a conçu le protocole, collecté les données de l'étude et rédigé ce manuscrit. BZ a conçu l'itinéraire technique de la rizipisciculture et contribué au repiquage du riz et à la collecte des données. GJMD a participé à la correction du manuscrit. NG et KSK ont assuré la supervision générale de ce travail. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié de l'aide de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) dans le cadre de son Programme d'Appui à la Transition Agro-Écologique en Afrique de l'Ouest (PATAE), financé par Agence Française de Développement (AFD). Nous remercions ces Institutions pour l'appui financier et logistique. Les auteurs voudraient aussi rendre hommage à feu Professeur Koffi Felix KONAN qui a bien voulu diriger ce travail jusqu'à terme, mais a aussitôt fait son rappel à Dieu.

REFERENCES

- Adjiri OA, Assoma TV, Soro G, Aka N, Bengaly I, Soro N. 2020. Evaluation des aptitudes d'usages des eaux de sources naturelles dans l'agriculture à partir de techniques hydrochimiques : cas de celles des départements de Daloa et Zoukougbeu, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, **16**(1) : 204 – 217.
- AFNOR (Association Française de Normalisation). 1994. Qualité de l'eau (Environnement). 1ère Edition, Paris, France, p. 862.
- Aldin H, Carl Y. 2004. La pisciculture à la ferme. Agrodok 21, 3ème Edition, Pays-Bas, p.76.
- APHA (American Public Health Association). 1992. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 18th Edition: Washington DC, USA, 9-45.
- Assi-Kaudjhis PJ. 2008. Crise agricole et reconversion des bas-fonds par la riziculture dans le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire : Enjeux de l'implication des femmes. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, **2** : 20 – 36.
- Avit JBLF, Bony KY, Konan KF, Kouassi CN, Traoré S, Yté WA. 2014. Paramètres environnementaux du grossissement de *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) (Cichlidae, Perciformes) en association avec le riz Djoukènin (*Oryza sativa*) en étang. *Livestock Research for Rural Development*, **26**(7): 123.
- Balarin JD, Haller RD. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. *Recent Advances in Aquaculture*, 266-355.
- Boni L, Coulibaly S, Nobah CSK, Atse BC, Kouamelan EP. 2016. Physical and chemical parameters and nutrients in the Ebrie lagoon, (Côte d'Ivoire, West Africa): impact on fish mortality. *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*, **4**(3): 1-16.
- Boyd CE. 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, **226**(1-4): 101-112. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00471-X
- Butler R, Reedyk S, Murrell S, Mah B. 2005. Use of barley straw for algal control in prairie dugouts. final report. Agriculture and Agri-Food Canada, Prairie Farm Rehabilitation Administration, Regina Saskatchewan, p. 43.
- Chikou A, Fagnon SM, Youssao I, Lalèyè P. 2013. Facteur de condition de *Sarotherodon melanotheron* (Pisces, Cichlidae) dans les eaux douces et saumâtres du Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, **17**(1): 43 - 50.
- Chowdhary MTH, Dewan S, Wahah MA, Uddin MJ, Thilshed SH. 2000. Water quality parameters of the rice fields used for rice cum fish culture. *Bangladesh Journal of Fisheries*, **23**: 25-29.
- Core TR. 2021. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. En ligne sur <http://www.R-project.org>. Consulté le 20/05/2021.
- Coulibaly S, N'goran KV, Atsé BC. 2019. Étude comparative de la qualité des eaux des étangs et du Barrage d'une ferme piscicole en étang au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, **15**(24): 42-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n24p42>
- Dèdjiho CA, Mama D, Tomètin L, Nougbodé I, Chouti W, Sohounhloù DCK, Boukari M. 2013. Evaluation de la qualité physico-chimique de certains tributaires d'eaux usées du lac Ahémé au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, **70**: 5608–5616.
- Gurung TB, Wagle GSK. 2005. Revisiting underlying ecological principles of rice-fish integrated farming for environmental, economic and social benefits. *Our Nature*, **3**: 1-12. DOI: 10.3126/on.v3i1.328.

- Halwart M, Gupta MV. 2010. L'élevage de poisson en rizière. Rome, FAO et WorldFish Center, p. 87.
- Hem S, Curtis MY, Sagla C, Sene S. 2001. Pisciculture Extensive en Guinée Forestière Modèle de développement intégré et rizipisciculture. Final report of the projet 7, Convention CEE / IRD, p. 85.
- Imorou Toko I, Attakpa EY, Elegbe H. 2010. Performances biologiques, zootechniques et nutritionnelles de *Tilapia guineensis* en milieux naturel et d'élevage. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **4**(5): 1629 - 1640. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i5.65577
- Imorou Toko I, Bachabi SF-X, Houndji AMB, Fiogbe ED, Kestemont P. 2013. Water quality and productivity of the traditional aquaculture system (whedos) in Oueme delta (Benin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **7**(3): 1298 - 1312. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.35>
- Kouadio AD, Grogna N, Konan KS, Ndjouondo GP, Salla M. 2020. Impact of agricultural by-products inputs to the juveniles of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) on phytoplankton diversity in rice-fish ponds (Central West, Côte d'Ivoire). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, **8**(6) : 162 - 171.
- Kouyaté A, Konan KS, Tigori MA, Sanou A, Kéita L, Dongui BK, Niamien PM, Trokourey A, Dibi B. 2021. Evaluation de la qualité chimique d'une ressource en eau dans la ville de Daloa, centre- ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Materials and Environmental Science*, **12**(02) : 373-383.
- Lacroix E. 2004. *Pisciculture en Zone Tropicale*. GTZ and GFA Terra Systems: Hamburg.
- Lazard J. 2009. La pisciculture des tilapias. *Cahiers Agricultures*, **18**(2-3) : 393 – 401.
- Leclercq L. 2001. Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Edition Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, p. 75.
- Ligban R, Gone LD, Kamagate B, Saley MB, Biemi J. 2009. Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **3**(1): 38-47. DOI: 10.4314/ijbcs.v3i1.42733
- Lorenzen CJ. 1967. Determination of chlorophyll a and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, **12**: 343-346. DOI: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343>
- Malcolm C, Beveridge H, McAndrew BJ. 2000. *Tilapia: Biology and Exploitation*. Institute of aquaculture. University of Stirling : Scotland ; p. 185.
- Mamadou E. 1998. Caractérisation zootechnique de *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758), *O. hornorum* (Trewavas, 1960) et de l'hybride issu du croisement de *O. niloticus* femelle × *O. hornorum* mâle. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 41.
- MEDD et Agences de l'eau. 2003. Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Rapport de Présentation SEQ-Eau (Version 2). France, p. 106.
- Mélard C. 2006. Base biologique de l'aquaculture : Note de cours à l'intention des étudiants du DES en Aquaculture, Tihange, ULG-FUNDP, Belgique, p. 302.
- Mfossa MD. 2007. Caractérisation des étangs d'inondation de la plaine des Mbô et analyse des facteurs influençant leur production piscicole. Diplôme d'Ingénieur des Eaux, Forêt et Chasses, Université de Dschang, FASA-, <https://www.memoireonline.com>. Consulté le 30-04-2021.

- Raschke RL. 1993. Guidelines for Assessing and predicting Eutrophication status of small southeastern piedmont Impoundments. United States, Environmental Protection Agency, Region IV, Science and Ecosystem Support Division, Ecological Assessment Branch, Athens, Georgia, p. 42.
- Roger PA. 1996. Biology and management of the floodwater ecosystem in rice fields. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, p. 250.
- Saikia R, Das T, Das DN. 2015. Physico-chemical qualities of water in high altitude rice fish farming system of Ziro valley, Arunachal Pradesh, India. *Journal of Environmental Biology*, **36**(5):1153-1159.
- Schlumberger O. 2002. Mémento de la pisciculture d'étang, 4e édition. CEMAGREF (Ed), Montpellier (France), p. 237.
- Tran-Duy A, Schrama JW, Van Dam AA, Verreth JAJ. 2008. Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, **275**(1-4): 152–162. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.024>
- Yao AH, Koumi AR, Atse BC, Kouamelan EP. 2017. Etat des connaissances sur la pisciculture en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, **29**(3): 227–244. DOI : <https://doi.org/10.4314/aga.v29i3>.
- Yapo ML, Sylla S, Edia OE, Atse BC, Kouassi P. 2014. Spatial variation of aquatic insect community in fish farms pond in Southern Côte d'Ivoire, Weast Africa. *International Journal of Biosciences*, **4**: 309-321. DOI : <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.10.309-321>.