

Available online at <http://www.ifg-dg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(2): 846-859, April 2016

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

**International Journal
of Biological and
Chemical Sciences**

Original Paper<http://ajol.info/index.php/ijbcs><http://indexmedicus.afro.who.int>

Etude de l'évolution des éléments précurseurs d'eutrophisation des eaux du Barrage n°3 de Ouagadougou, Burkina Faso

Fidèle Wend-bénédo TAPSOBA^{1*}, François Dakelgba KERE², Jean DIARRA²,
Abdourahimou BARRY³, Hagrétou SAWADOGO-LINGANI⁴, Dayéri DIANOU⁵
et Mamoudou Hama DICKO¹

¹Université de Ouagadougou, Laboratoire de Biochimie Alimentaire, d'Enzymologie, de Biotechnologie Industrielle et de Bioinformatique (BAEBIB), 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

²Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA),
Laboratoire central. 01 BP 170 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

³Ministère de l'Environnement et du Développement Durable,
Laboratoire National d'Analyse des Eaux, 03 BP 7044 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

⁴Département de Technologie Alimentaire (DTA) / IRSAT / CNRST, Ouagadougou 03 BP 7047, Burkina Faso.

⁵Institut de Recherche en Sciences de la Santé, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique,
03 BP 7192 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

*Auteur correspondant, E-mail : tapfidelew@gmail.com

RESUME

Dans le cadre du suivi de la qualité des eaux de surface destinées à la potabilisation, l'évolution des éléments précurseurs d'eutrophisation (matières azotées et phosphorées) du barrage n°3 de Ouagadougou a été investiguée durant la période de septembre 2012 à décembre 2012. Les paramètres chimiques ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption moléculaire et les paramètres physiques par la méthode électrochimique. Les analyses physicochimiques ont mis en évidence des corrélations entre la teneur en nitrates et la chlorophylle A ($r = 0,715$) et entre la température et la chlorophylle A ($r = 0,838$). La teneur en orthophosphate est faiblement corrélée avec la teneur en chlorophylle A du barrage ($r = 0,171$). Il n'a été observé aucune différence significative entre les concentrations en orthophosphates des quatre mois de la période d'étude ($p < 0,05$). La plus forte valeur (1,3 mg/l) a été observée au cours du mois de septembre et la plus faible valeur (0,14 mg/l) au cours du mois de novembre. Cependant, les teneurs en nitrates, température et chlorophylle A des eaux étaient plus fortes au cours du mois d'octobre (respectivement, 6,6 mg/l; 29,14 °C ; 0,04 µg/l) et plus faibles en décembre (respectivement, 3 mg/l ; 23,25 °C ; 0,02 µg/l). Ces résultats indiquent que les mois d'octobre et novembre sont des périodes à risque d'eutrophisation du barrage n°3 de Ouagadougou. Il ressort des résultats que l'eau du barrage est de bonne qualité au plan physico-chimique et revêt un état trophique oligo-mésotrophe.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Eutrophisation, chlorophylle A, état trophique, nitrates, température, barrage n°3 de Ouagadougou.

Study of eutrophication's precursors items of Ouagadougou's 3rd dam's waters, Burkina Faso

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

2650-IJBCS

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.32>

ABSTRACT

In a framework of monitoring the quality of surface water intended for drinking, the evolution of eutrophication's precursors (nitrogenous substances and phosphorus) of Ouagadougou's third (rd) dam has been done in the standard base period from September 2012 to December 2012. The chemical measures have been determined by molecular absorption spectrophotometry method and the physical parameters by electrochemical method. The physicochemical tests underlined interrelated the relationship between nitrate content and the chlorophyll A ($r=0.715$) and between the temperature and chlorophyll A ($r=0.838$). The content of orthophosphates is feebly correlative with the chlorophyll A content of dam ($r=0.171$). Any significant distinction hasn't been observed between the orthophosphates' mergers of four months' studying ($p=0.05$). The strongest value (1.3 mg/l) has been checked in the course of the month of September and the weakest value (0.14 mg/l) during the month of November. Meanwhile, the nitrate's content, temperature and chlorophyll A of waters were strongest in the course of October (respectively, 6.6 mg/l ; 29.14 °C ; 0.4 ug/l) and lowest in December (respectively, 3 mg/l ; 23.25 °C ; 0.02 ug/l). These results showed that October's and December's months are periods that cover the eutrophication's risk of Ouagadougou's third dam. It comes out from the results that, water from the dam of good quality from the physicochemical stand point and covers with the statement of tropical mesotrophy's traces.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Eutrophication, chlorophyll A, tropical statement, nitrate, temperature, Ouagadougou's 3rd dam.

INTRODUCTION

Partout où la population s'accroît, la ressource en eau disponible diminue. Bien que 89% de la population mondiale ait actuellement accès à des sources améliorées d'eau potable, 783 millions de personnes n'ont toujours pas accès à une eau de qualité, et près de 1,5 million d'enfants âgés de moins de 5 ans meurent chaque année du fait de maladies d'origine hydrique (OMS/UNICEF, 2012). Sur le continent africain, plus de 400 millions de personnes, soit presque la moitié de la population africaine, ne disposent pas d'un accès correct à une ressource en eau saine et en quantité suffisante (OMS/UNICEF, 2012). Au Burkina Faso, le taux d'accès à l'eau potable en milieu urbain est évalué à 80% en 2011, tandis qu'en milieu rural, ce taux est estimé à 56,63% (MAH, 2011). Les consommations spécifiques restent éloignées de l'objectif de 20 l/j/personne en raison des distances à parcourir dans les zones à faible densité des Points d'Eau Moderne (PEM) et de la concurrence des sources d'eau non potable qui restent d'usage très fréquent (MAH, 2011). Dans le contexte d'une raréfaction globale de la ressource et de demandes sans cesse croissantes, d'importantes questions relatives à la durabilité de ces ressources, en quantité

comme en qualité, se posent : pollutions domestiques, agricoles et eutrophisation sont ainsi deux des menaces les plus sérieuses identifiées au Burkina Faso (GIRE, 2001). Les lacs et réservoirs du Burkina Faso connaissent comme dans le monde entier, des problèmes liés à l'eutrophisation. Les barrages n°1 et 2 de Ouagadougou, connaissent une prolifération de la jacinthe d'eau à leur surface, caractéristique d'un état eutrophe (Nitiéma et al., 2013). Cependant, ces deux barrages communiquant directement avec le barrage n°3, pourraient induire un état eutrophe à ce barrage si aucun suivi n'est fait.

D'où l'objet de la présente étude, qui a pour but de quantifier les teneurs des éléments précurseurs d'eutrophisation de l'eau du barrage n°3 de Ouagadougou, d'étudier leurs cinétiques d'évolution et d'évaluer l'état trophique du barrage.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

L'étude s'est effectuée dans la ville de Ouagadougou et a concerné le barrage n°3 (longitude Nord : 12°23'26.6" et longitude Ouest : 01°30'34.6". La latitude 12°29' et l'altitude 284,20 m par rapport au niveau de la mer) (Figure 1).

Echantillonnage

Les prélèvements ont été effectués à une distance de 50 cm au-dessus du plan d'eau, en partant de la berge à 50 cm de profondeur, à l'aide d'une canne : FD T90-523-1, Février 2008 (Rodier, 2009). Les prélèvements ont été faits une fois par semaine de septembre 2012 à décembre 2012 et tôt le matin (7h), pour éviter l'incidence des rayons du soleil qui peut occasionner certaines réactions d'ordre physicochimique et biochimique. Les récipients utilisés à toutes les étapes (recueil, stockage, transport des échantillons), ont été convenablement rincés à l'eau distillée. De plus, chaque fois que cela était possible, ces récipients étaient également rincés plusieurs fois avec l'eau destinée à être analysée. Les prélèvements ont été effectués une fois par semaine et à quatre endroits du barrage (côtés Est, Nord, Sud et Ouest).

Conservation des échantillons

Le transport des échantillons à la température de 4 °C à l'obscurité, s'est effectué dans des emballages isothermes, ce qui permet d'assurer une conservation satisfaisante (Rodier, 2009). Une fois au laboratoire, les échantillons ont été conservés dans un réfrigérateur à -4 °C.

Analyse des échantillons

Les analyses ont été conduites au Laboratoire Central de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) et au Laboratoire National d'Analyse des Eaux (LNAE) selon des méthodes standard (Clescerl et al., 1998; Rodier, 2009).

La conductivité et la température ont été mesurées par méthode électrochimique, à l'aide d'un conductimètre 197i/Multi 340i (ISO 7888 :1985). La mesure de l'oxygène dissous a été effectuée à l'aide d'un oxymètre WTW Oxi 3310 avec sonde Cellox 325, suivant la méthode ISO 5814 : 1990. La turbidité de l'eau a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre optique WTW Turb 550 selon la méthode NF EN ISO 7027 : 2000. Le pH a été mesuré par méthode électrochimique (électrode de verre), à l'aide d'un pH-mètre WTW INOLAB pH 730 équipé d'une électrode combinée SenTix 41, suivant la méthode ISO

10523 :1994. Les dosages des concentrations en nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphates ont été réalisés par la méthode de spectrophotométrie avec le spectrophotomètre Lange Hach DR 3800, selon les méthodes ISO 7890-3 : 1988, ISO 6777 : 1984, ISO 15681-2 : 2003 et ISO 11732 : 2005, respectivement pour les nitrates, nitrites, orthophosphates et l'ammonium. Les matières en suspension (MES) ont été mesurées par pesée (une première pesée du filtre à vide : masse M_0 et une deuxième pesée du filtre plus échantillon : masse M_1), après filtration d'un volume d'eau connu (V), sur une membrane de 0,45 µm de porosité et séchage à 105 °C pendant 1h dans une étuve Binder GMBH 14D-78532 Tuhlingen, selon la méthode NF T 90-105-2. La teneur des matières en suspension (**p**) est calculée comme suit :

La mesure de la chlorophylle A, qui avait pour but d'évaluer l'activité de la photosynthèse dans les plans d'eau a été effectuée après séparation des matières en suspension par filtration sur disques en filtre de verre d'un volume V d'échantillon, suivie d'une extraction de la chlorophylle à l'éthanol. La lecture a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre Dr 2800, après 16h d'extraction à l'obscurité dans un réfrigérateur (-4°C). L'absorbance a été mesurée à 750 nm et 665 nm, avec l'éthanol comme blanc. La méthode est basée sur la spectrophotométrie et ne fait pas actuellement l'objet d'une norme ISO, mais fait référence à la norme française NF T 90 117 (Décembre 1999). Les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$\text{Chlorophylle A totale } (\mu\text{g/l}) = \frac{\text{Absorbance}(665-750) \times 10 \times 1000}{83,4 \times V}$$

10 est le volume de l'éthanol en ml et 83,4 est le coefficient d'absorption spécifique de la chlorophylle A dans l'éthanol. V est le volume de départ filtré en ml.

Evaluation de l'état trophique et de la qualité de l'eau du barrage

L'état trophique des eaux a été évalué suivant les classifications de l'OCDE (1986) (Figure 2). L'évaluation de la qualité de l'eau

du barrage a été réalisée grâce à l’outil SEQ-Eau (Système d’Evaluation de la Qualité des eaux superficielles) (Tableau 1), qui définit des classes de qualité pour différents paramètres. En ce qui concerne les matières phosphorées et azotées, les classes ont été définies pour les phosphates (orthophosphates), les nitrates et l’ammonium.

Analyses statistiques

Toutes les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), et à une analyse en composante principale (ACP) avec le logiciel statistique XLSTAT-Pro 7.5 et les moyennes ont été comparées en utilisant le test de Student Newman Keuls (SNK) au seuil de probabilité $p= 0,05$. Les courbes ont été obtenues à l’aide de Microsoft Excel 2007.

Tableau 1: Evaluation de la qualité des cours d’eau par l’outil SEQ-Eau (MEDD et Agences de l’Eau 2003, France).

Classes de qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Nitrates (mg/l de NO_3^-)	0 - 2	2 - 10	10 - 25	25 - 50	>50
Phosphates (mg/l de PO_4^{3-})	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1	1- 2	>2
Ammonium (mg/l de NH_4^+)	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 2	2 - 5	>5

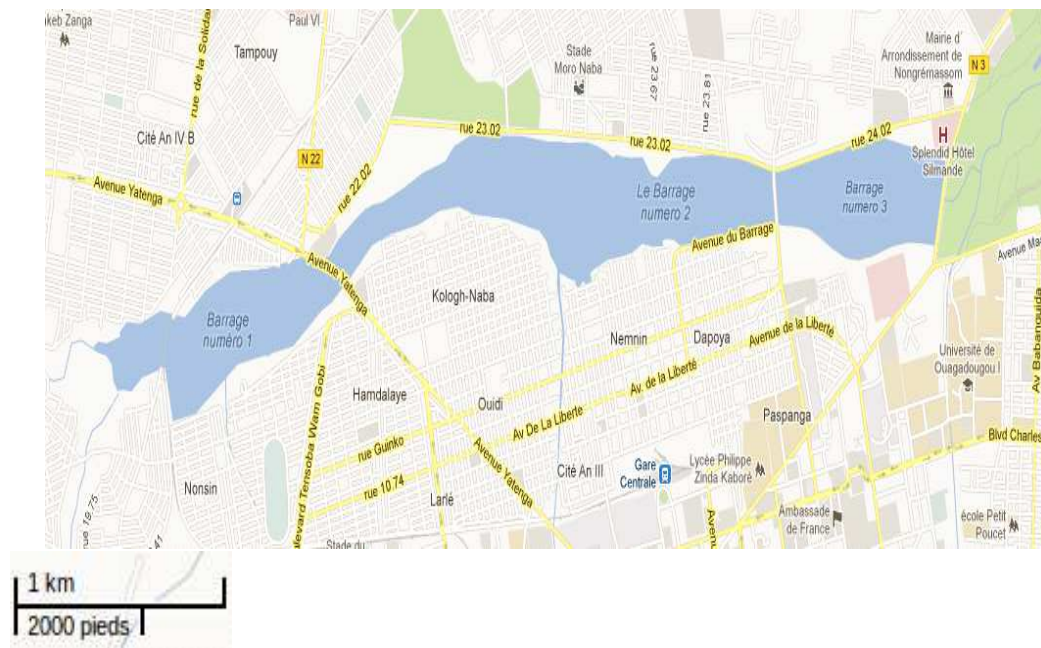


Figure 1 : Localisation du site d’étude (Barrage n°3 de Ouagadougou), (Google map, 2012).

RESULTATS

Caractéristiques physicochimiques de l'eau du barrage

Les Tableaux 2 (a, b) présentent les analyses de variance mensuelle des paramètres physicochimiques de l'eau du barrage. Les paramètres physicochimiques de l'eau du barrage, sont présentés dans le Tableau 3 (moyenne par mois). L'analyse de variance mensuelle (Tableaux 2a et 2b) révèle que seuls les nitrites, la conductivité, la température, la chlorophylle A et la turbidité apparaissent significativement en lien avec la période d'échantillonnage ($p < 0,01$). Le pH, les nitrates, les MES et l'oxygène dissous, apparaissent également significativement influencés par la période d'échantillonnage ($p < 0,05$). Par contre, l'ammonium et les orthophosphates ($p = 0,630$ et $p = 0,370$) n'apparaissent pas en lien avec la période d'échantillonnage. Les moyennes des paramètres mesurés font ressortir des variations mensuelles significatives et non significatives durant la période d'étude ainsi qu'il suit:

Le pH

Les moyennes de pH des mois de décembre et novembre sont significativement plus élevées que celle de septembre ($p < 0,05$), Tableau 3. Les valeurs enregistrées durant la période d'étude s'accordent avec les valeurs recommandées par l'OMS (1989) pour les eaux usées et par Rodier (2009) et avec la norme nationale pour les eaux à la potabilisation. La valeur minimale (7) a été observée au cours du mois de septembre et la valeur maximale (7,9) au cours du mois de décembre (Tableau 3).

La conductivité

Les valeurs de conductivité des mois d'octobre, novembre et décembre ne sont pas significativement différentes. Cela s'explique par le fait qu'il y a eu une minéralisation de l'eau entre le mois de septembre et d'octobre, et cette minéralisation est restée presque constante jusqu'en décembre. Toutefois, les valeurs enregistrées durant la période d'étude

s'accordent avec les valeurs recommandées par la norme nationale. La plus forte valeur ($321,2 \mu\text{S/cm}$) a été observée au cours du mois de décembre et la plus faible valeur ($251 \mu\text{S/cm}$) au cours du mois de septembre. La valeur moyenne ($297,85 \mu\text{S/cm}$) (Tableau 3) est comprise entre 200 et $333 \mu\text{S/cm}$, ce qui traduit une minéralisation moyenne de l'eau du barrage (Rodier, 2009). Ces valeurs sont supérieures à celles de Ouattara et al., sur le barrage de ziga.

La température

La valeur de la température moyenne au cours du mois de décembre est significativement différente de celles trouvées au cours des mois de septembre, octobre et novembre (Tableau 3), en raison des facteurs climatiques. Toutefois, les valeurs enregistrées durant la période d'étude s'accordent avec les valeurs recommandées par la norme nationale. Il n'y a aucune norme OMS en vigueur pour ce paramètre. La plus forte valeur de la température ($29,6 \text{ }^\circ\text{C}$) a été observée au cours de la semaine S5 et la plus faible valeur ($21,7 \text{ }^\circ\text{C}$) au cours de la semaine S15. La valeur moyenne était de $27,07 \text{ }^\circ\text{C}$.

La chlorophylle A

La teneur en chlorophylle A du mois de décembre est significativement différente de celles des mois de septembre, octobre et novembre (Tableau 3). Sur un plan d'ensemble, les valeurs de Chlorophylle A des mois de septembre, octobre et novembre sont significativement plus élevées que celle de décembre ($p < 0,05$). La baisse de la température et la montée des matières en suspension au cours du mois de décembre ne favorisent pas l'activité photosynthétique ; ce qui a entraîné la diminution de la teneur en chlorophylle A au cours de ce mois. La plus forte valeur ($0,04 \mu\text{g/l}$) a été observée au cours des mois de septembre, octobre et la plus faible valeur ($0,02 \mu\text{g/l}$) au cours du mois de décembre. Ces valeurs corroborent celles de Ouattara et al. (2012) sur le barrage de ziga, qui trouvent des valeurs largement inférieures

à 1 µg/l. Il n'existe aucune norme OMS, ni nationale en vigueur pour ce paramètre.

La turbidité

Les moyennes de turbidité des mois de septembre et décembre sont significativement plus élevées que celle d'octobre ($p < 0,05$). La plus forte valeur (47,6 NTU) a été observée au cours du mois de septembre et la plus faible valeur (10,2 NTU) au cours du mois d'octobre. Il est recommandé une valeur de turbidité < 5 NTU pour les eaux de consommation (OMS, 2004). On obtient sur les eaux de surface des valeurs qui oscillent entre 10 et 50 NTU, mais après de fortes précipitations, elles peuvent dépasser 100 voire 200 NTU (Rodier, 2009). Il n'existe aucune norme nationale en vigueur pour ce paramètre.

Les matières en suspension

Les moyennes des matières en suspension des mois de septembre et décembre sont significativement plus élevées que celle d'octobre ($p < 0,05$). La valeur la plus élevée (25,5 mg/l MES) a été observée au cours du mois de septembre et la plus faible (9,5 mg/l) au cours du mois d'octobre. Il n'y a aucune norme OMS en vigueur pour ce paramètre. Toutefois, les valeurs enregistrées durant la période d'étude s'accordent avec les valeurs recommandées par la norme nationale, excepté le mois de septembre.

Les nitrates

Les moyennes des nitrates des mois de septembre et octobre sont significativement plus élevées que celles novembre et décembre ($p < 0,05$). Cette différence de concentration s'est traduite par une baisse de la concentration en nitrates au cours des mois de novembre et décembre, traduisant une consommation des nitrates par le phytoplancton au cours des mois de septembre et octobre. La plus forte valeur (8,6 mg/l) a été observée au cours du mois de septembre et la plus faible (3 mg/l) au cours du mois de décembre (Tableau 3). Ces valeurs s'accordent avec les valeurs recommandées

par l'OMS (2004), et la norme nationale pour les eaux à la potabilisation.

Les nitrites

Les moyennes des nitrites des mois de septembre et octobre sont significativement plus élevées que celles des mois de novembre et décembre ($p < 0,05$). La valeur la plus élevée (0,4 mg/l) a été observée au cours du mois de septembre et la plus faible (0,03 mg/l) au cours du mois de novembre, pour une valeur moyenne de 0,13 mg/l. Ces valeurs enregistrées durant la période d'étude s'accordent avec les valeurs recommandées par l'OMS (2004) pour les eaux à la potabilisation, excepté les mois de septembre et octobre pour la norme nationale.

L'azote ammoniacal

Aucune différence significative entre les concentrations en ammonium n'a été observée pour les mois de septembre, octobre, novembre et décembre ($p < 0,05$). La plus forte valeur (0,31 mg/l) a été observée au cours du mois de décembre et la plus faible (0,22 mg/l) au cours du mois d'octobre. La valeur de la moyenne était de 0,26 mg/l. Ces valeurs sont en harmonie avec celles recommandées par l'OMS (2004) et la norme nationale pour les eaux à la potabilisation.

Les orthophosphates

Il n'a été observé aucune différence significative entre les concentrations en orthophosphates des quatre mois de la période d'étude (septembre, octobre, novembre et décembre) ($p < 0,05$). La plus forte valeur (1,3 mg/l) a été observée au cours du mois de Septembre et la plus faible (0,14 mg/l) au cours du mois de novembre (Tableau 3). La valeur de la moyenne était de 0,678 mg/l. Ces valeurs enregistrées durant la période d'étude s'accordent avec celles recommandées par l'OMS (2004).

L'oxygène dissous

Les moyennes de la teneur en oxygène dissous des mois de septembre et décembre sont significativement plus élevées que celles

d'octobre et novembre ($p < 0,05$). La valeur la plus élevée (5,65 mg/l) a été observée au cours du mois de septembre et la plus faible valeur (3,88 mg/l) au cours du mois d'octobre. La valeur moyenne était de 4,64 mg/l. Les eaux de surface ont une oxydabilité qui oscille le plus souvent entre 3 et 8 mg/l. Au-delà de 10 mg/l, elles présentent des difficultés pour la production d'eau potable (Rodier, 2009). Il n'y a aucune norme OMS, ni nationale en vigueur pour ce paramètre.

Relation entre la teneur en chlorophylle A, la température et la teneur en Nitrates

La Figure 3 présente l'évolution de la température et de la teneur en chlorophylle A au cours des semaines de prélèvement entre septembre 2012 et décembre 2012. Il ressort de cette figure que durant le mois d'octobre, la teneur en chlorophylle A et la température était à leur maximum et on observe une baisse significative de ces deux paramètres au cours du mois de décembre ($r = 0,838$).

La Figure 4 présente l'évolution de la concentration en nitrates et de la teneur en Chlorophylle A au cours des semaines de prélèvement entre septembre 2012 et décembre 2012. Cette figure montre deux pics

similaires des deux paramètres au cours des mois d'octobre et de novembre. Par contre, on assiste à une baisse de la teneur en chlorophylle A et du taux de nitrates de fin novembre à fin décembre ($r = 0,715$).

Evaluation de l'état trophique et de la qualité de l'eau du barrage n°3 de Ouagadougou

D'après Graham (2004) cité par Marjolaine (2006), un réservoir peut devenir limité par le phosphore lorsque le rapport azote total sur phosphore total (Ntot/Ptot) devient supérieur à 17. Dans cette étude, ce rapport (6,07) est inférieur à ce dernier. Cela traduit le fait que le phosphore n'est pas l'élément limitant du développement de la biomasse algale du barrage. Ce qui en outre est confirmé par l'absence de corrélation significative entre la concentration en orthophosphates et la teneur en chlorophylle A ($r = 0,171$). Nous pourrions même dire au vu de la matrice de corrélation que, ce sont les nitrates dans ce cas présent, qui influent sur le développement de la biomasse algale de l'eau du barrage, la chlorophylle A ayant un coefficient de corrélation de + 0,715 avec les nitrates.

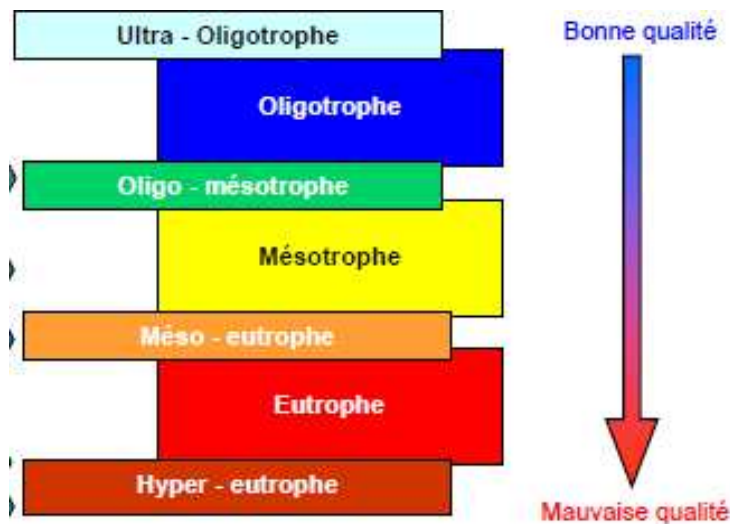


Figure 2: Système de classification trophique de l'OCDE (1986).

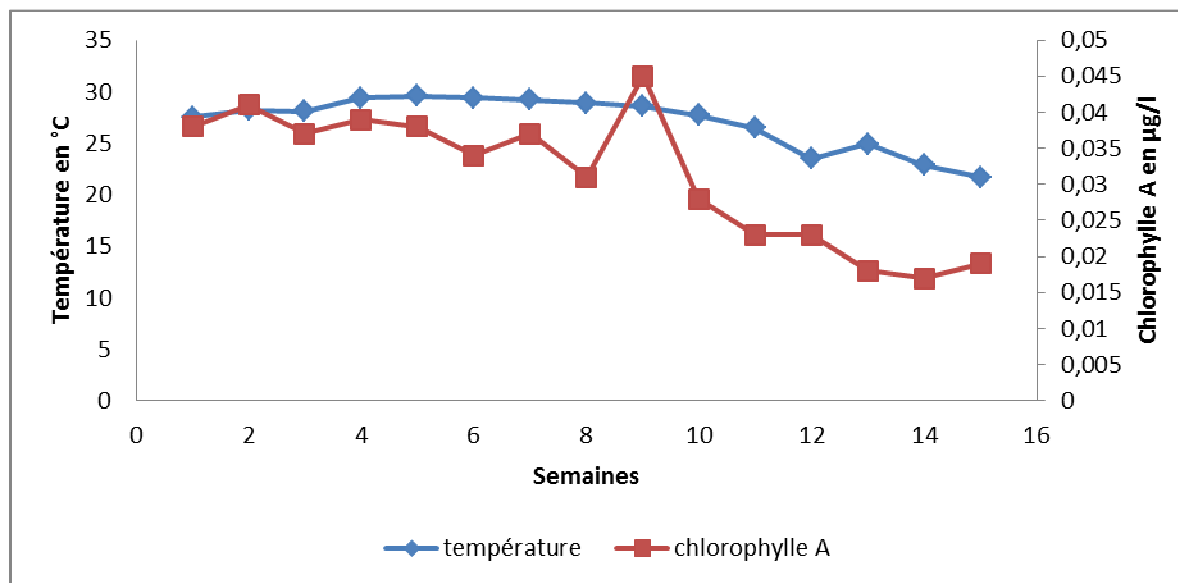


Figure 3 : Evolution de la température et de la teneur en chlorophylle A au cours des semaines entre septembre et décembre 2012.

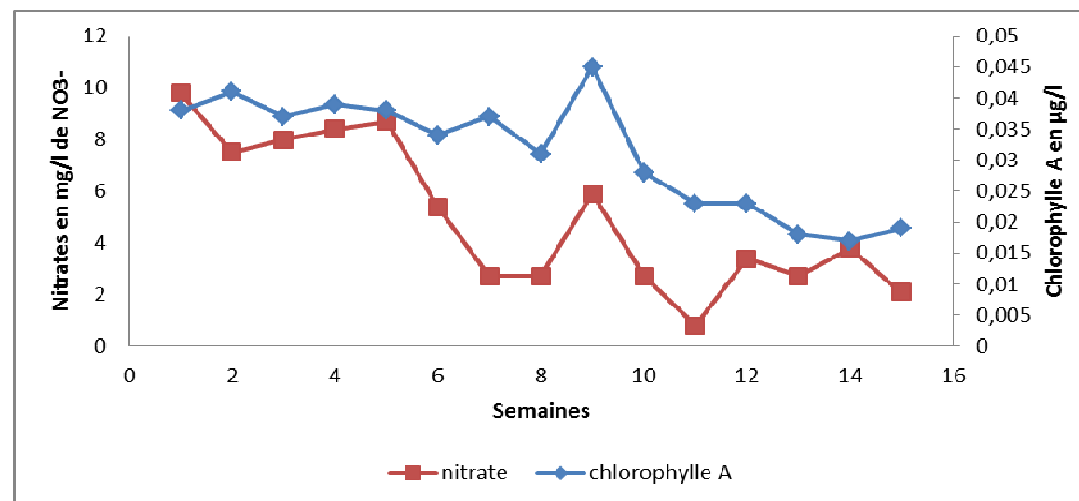


Figure 4 : Evolution de la concentration en nitrates et de la teneur en chlorophylle A au cours des semaines entre septembre et décembre 2012.

Tableau 2a: Analyse de variance mensuelle des paramètres physicochimiques de l'eau du barrage en fonction de la période d'échantillonnage (septembre 2012 à décembre 2012).

Source de variation	ddl	Nitrates (mg NO ₃ ⁻ /l)		Nitrites (mg NO ₂ ⁻ /l)		pH		Conductivité (µS/Cm)		Température (°C)		Chlorophylle A (µg/l)		Turbidité (NTU)	
		CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p
Période	3	23,895	0,011*	0,074	<0,0001**	0,514	0,022*	2617,194	0,000**	27,978	<0,0001**	0,000	0,001**	847,496	0,005**

CM = carré moyen ; * = significatif au seuil de 5% ; ** = significatif au seuil de 1% ; MES : Matières en suspension.

Tableau 2b : Analyse de variance mensuelle des paramètres physicochimiques de l'eau du barrage en fonction de la période d'échantillonnage (septembre 2012 à décembre 2012).

Source de variation	ddl	Ammonium (mg NH ₄ ⁺ /l)		Orthophosphate (mg PO ₄ ³⁻ /l)		Oxygène dissous (mg/l O ₂)		MES (mg/l)	
		CM	p	CM	p	CM	p	CM	p
Période	3	0,007	0,630 ^{ns}	0,746	0,370 ^{ns}	3,096	0,013*	231,680	0,023*

CM = carré moyen ; * = significatif au seuil de 5% ; ns = non significatif.

Tableau 3: Valeurs mensuelles des paramètres physicochimiques de l'eau du barrage durant la période de septembre 2012 à décembre 2012 (moyenne des semaines).

Période	Température (°C)	Conductivité (µS/Cm)	Chlorophylle A (µg/l)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	pH	Nitrate (mg/l)	Nitrite (mg/l)	Ammonium (mg/l)	Orthophosphate (mg/l)	Oxygène dissous (mg/l)
Septembre	27,85 ^b ± 0,49	251 ^a ± 22,62	0,04 ^b ± 0,00	47,6 ^c ± 30,05	25,5 ^b ± 15,9	7 ^a ± 0,70	8,6 ^b ± 1,6	0,4 ^c ± 0,1	0,3 ^a ± 0,03	1,3 ^a ± 1,5	5,65 ^b ± 0,07
Octobre	29,14 ^b ± 0,59	300 ^b ± 13,43	0,04 ^b ± 0,00	10,2 ^a ± 1,58	9,5 ^a ± 2,4	7,3 ^{ab} ± 0,4	6,6 ^b ± 2,5	0,2 ^b ± 0,7	0,22 ^a ± 0,07	0,92 ^a ± 1,04	3,88 ^a ± 0,47
Novembre	27,92 ^b ± 1,07	319,2 ^b ± 4,85	0,03 ^b ± 0,01	15,4 ^{ab} ± 6,31	14,3 ^{ab} ± 7	7,8 ^b ± 0,2	3 ^a ± 2,1	0,03 ^a ± 0,01	0,27 ^a ± 0,11	0,14 ^a ± 0,06	4,17 ^a ± 0,65
Décembre	23,25 ^a ± 1,33	321,2 ^b ± 11,38	0,02 ^a ± 0,75	31,5 ^{bc} ± 8,57	24,8 ^b ± 6	7,9 ^b ± 0,1	3 ^a ± 0,7	0,05 ^a ± 0,01	0,31 ^a ± 0,14	0,6 ^a ± 0,29	5,57 ^b ± 1,12
Normes*	18-40	1000	-	-	25	5,5-9	50	0,2	1,5	0,7	-

Pour chaque colonne les valeurs ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différentes selon le test de Student Newman Keuls au seuil de 5%.

*Normes nationales sur la qualité des eaux potabilisables par degré de pollution (décret n°2001-185 /PRES/PM/MEE portant fixation des normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol).

DISCUSSION

Paramètres physiques

Les températures enregistrées (Tableau 3) sont relativement proches de celles obtenues par Dédjiho (2011) sur l'aire marine de Gbèzoumè à Ouidah (26 °C à 32 °C). Elles sont comprises dans la fourchette des températures allant de 24 °C à 35 °C qui selon Poumongne (1998), sont favorables à une bonne croissance des espèces piscicoles couramment élevées. Par ailleurs, les valeurs de pH obtenues sont bonnes en aquaculture car situées entre 6,5 à 9 (Kanagire, 2001). Ces valeurs sont proches de celles de Ouattara et al., 2012 sur le barrage de ziga. Pour ce qui est de la diminution de la teneur en oxygène dissous au cours du mois d'octobre, cela s'explique par le fait qu'au cours de ce mois il y'a eût consommation d'oxygène par les êtres vivants aquatiques du barrage, ce qui a entraîné une diminution de la teneur en oxygène. Chouti et al. (2010) indiquent que la teneur en oxygène donne des indications sur la santé des cours d'eau et permet, entre autres, d'évaluer la qualité des habitats des poissons.

Nutriments

La faible valeur des orthophosphates laisse penser à une source endogène certaine de nutriments provenant du relargage à partir des sédiments. Plusieurs facteurs sont considérés comme responsables des taux de relargage : le potentiel d'oxydoréduction, la concentration en nitrates, la minéralisation, la libération, la bioturbation, les effets du phytoplancton et des macrophytes, les caractéristiques des sédiments, un pH élevé et le brassage éolien (Mama 2010). Cela pourrait s'expliquer aussi par le fait qu'il n'y a pas eu d'apport extérieur significatif en phosphore dans l'eau, à cause du rehaussement de la digue et des berges non facilement accessibles aux riverains. La valeur moyenne des nitrates (5,3 mg/l) enregistrée au cours des différents mois de l'étude sont en accord avec celles trouvées par Mama et al., (2011) et Somé et al., (2008), qui ont trouvé des valeurs de 7 mg/l. Ces

valeurs sont supérieures à celles de Ouattara et al., 2012 sur le barrage de ziga.

Relation entre la teneur en chlorophylle A et les différents paramètres

Quand la température s'élève, la teneur en oxygène dissous diminue en raison de sa plus faible solubilité, mais aussi à cause de la consommation accrue par les êtres vivants du barrage et les bactéries qui s'y multiplient, probablement favorisées en cela par la réduction des nitrates en nitrites à pH>5 (Rodier, 2009). La prolifération des microorganismes aquatiques en particulier des cyanobactéries, est souvent favorisée par une bonne oxygénation de la colonne d'eau, une luminosité suffisante, des températures élevées (25 à 30 °C) (Figure 3) et des apports importants en éléments nutritifs (azote, phosphore, oligo-éléments,...), (GIRE, 2001). Quand la teneur en nitrates diminue, la teneur en chlorophylle A diminue (Figure 4). Cela est dû au fait que les plantes et les microorganismes photosynthétiques ont besoin des nitrates pour leur métabolisme. La teneur en nitrates a donc un impact sur la teneur en chlorophylle A, qui représente en moyenne 1 à 2% du poids sec des algues phytoplanctoniques (Rodier, 2009). La baisse de la chlorophylle A, pourrait être due à l'augmentation de la teneur en matières en suspension du barrage qui ne laisse pas passer la lumière, indispensable à l'activité photosynthétique. La faible détection d'activité photosynthétique dans les retenues d'eau en zone sahéenne est donc due en partie à la charge trop élevée en particules en suspension qui réduit la pénétration de la lumière (Maiga et al., 2007). En effet, selon plusieurs auteurs, même lorsque des facteurs limitants de la productivité primaire (azote, phosphore) sont satisfaits, la production primaire reste limitée lorsque l'intensité lumineuse est faible (Lhote, 2000). La charge colloïdale et particulaire élevée des retenues d'eau de la zone sahéenne semble être donc

le facteur limitant et inhibiteur de la photosynthèse (Maiga et al., 2007).

Evaluation de l'état trophique et de la qualité physico-chimique de l'eau du barrage

Le ratio calculé selon Graham (2004) a montré que le phosphore n'était pas le facteur limitant du développement de la biomasse algale mais plutôt les nitrates; ces résultats sont en accord avec ceux de Maiga et al. (2007), qui ont trouvé également des teneurs en azote ammoniacal et en nitrates moins élevées, mais suffisantes pour ne pas être limitantes dans les activités de photosynthèse. Il apparaît donc que contrairement au milieu tempéré où le phosphore est fréquemment limitant, une tendance claire ne puisse être dégagée à la réponse trophique des retenues d'eau des milieux tropicaux (Lhote, 2000). Selon les teneurs en nitrates et ammonium (Tableau 3), l'eau du barrage est de bonne qualité (Tableau 1) et le barrage revêt un état oligo-mésotrophe (Figure 2).

Sur un plan d'ensemble, ces risques de pollution et d'eutrophisation ainsi évalués, n'intègrent pas certains facteurs environnementaux qui cependant apparaissent déterminants dans certains contextes sur la pollution et l'eutrophisation des cours d'eau. Au nombre de ces facteurs, on peut citer l'aménagement des berges, le curage des eaux et les activités anthropiques à proximité des cours d'eau (Nitiéma et al., 2013 ; Dianou et al., 2011).

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude indiquent que les teneurs en nitrates, la température et la turbidité de l'eau ont une influence significative sur l'activité photosynthétique. En effet, les périodes où les teneurs en matières en suspension sont basses, avec une température assez élevée (25-30 °C) et ayant des teneurs en sels nutritifs importantes, sont des périodes à risque d'eutrophisation, notamment les mois d'octobre et novembre.

La forte turbidité des eaux paraît être un facteur limitant les activités photosynthétiques. Le système de classification des eaux de surface indique une qualité relativement bonne de l'eau au plan physicochimique et un état trophique oligo-mésotrophe d'après le système de classification des états trophiques de l'OCDE (1986). Cependant cet état risque d'évoluer vers un état eutrophe si aucun suivi n'est fait quant à l'aménagement des berges et le rehaussement des digues qui pourraient contribuer à lutter contre l'eutrophisation des barrages. Une sensibilisation autour de mesures d'hygiène et de préservation de la quantité et de la qualité des eaux en fonction des usages, est nécessaire pour mieux préserver et assurer la pérennité des ressources en eau.

La période de cette étude étant très restreinte (septembre à décembre), une étude sur une année, tant en saison pluvieuse qu'en saison sèche, serait nécessaire pour mieux apprécier l'état trophique de l'eau du barrage et sa qualité.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

FW-BT, FDK, JD et AB ont participé à l'obtention des résultats au laboratoire. FW-BT, HS-L, DD et MHD ont participé à la rédaction de cet article.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de l'ONEA, le LNAE et l'Université de Ouagadougou à travers le BAEBIB.

REFERENCES

Chouti W, Mama D, Alapini F, 2010. Études des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(4): 1017-1029. Doi: 10.4314/ijbcs.v4i4.63040

- Clescerl LS, Greenberg AE, Eaton AD, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th edn). published by the American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) and the Water Environment Federation (WEF): Washington, D.C. 1-1112.
- Dèdjiho CA. 2011. Évaluation de la chaine trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de lagune de Gbèzoumè (commune de Ouidah). Mémoire de DEA.FAST/UAC, Bénin.
- Dianou D, Savadogo B, Zongo D, Zougouri T, Poda J.N, Bado H, Rosillon F, 2011. Surface Waters Quality of the Sourou Valley: The Case of Mouhoun, Sourou, Debe and Gana Rivers in Burkina Faso, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(4): 1571-1589.
- FD T90-523-1. 2008. Qualité de l'eau. Guide de prélèvement pour le suivi de qualité des eaux dans l'environnement-partie 1 : prélèvement d'eau superficielle (indice de classement T90-523-1). p.15. Février 2008.
- GIRE. 2001. Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Version finale. Direction Générale des Ressources en Eau. Ouagadougou, Burkina Faso, 10-25.
- Graham JL, Jones JR, Jones SB, Downing JA, Clevenger TE. 2004. Environmental factors influencing microcystin distribution and concentration in the Midwestern United States. *Water Research*, **38**: 4395-4404.
- Kanangire CK. 2001. Effet de l'alimentaire des poisons avec Azolla sur l'écosystème agro piscicole au Rwanda. Dissertation présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en sciences. Faculté Universitaire Notre Dame de la Paix. Faculté des sciences. Namur-Belgique, p.220.
- Lhote A. 2000. Critères d'évaluation de la qualité de l'eau d'un système lacustre tropical. Approche statistiques, p.154.
- MAH (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique). 2011. Annuaire statistique 2011 de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées et excréta, p.9.
- Maiga AH, Konate Y, Denyigba K, Karambiri H, Wethe J. 2007. Eutrophisation et comblement des petites retenues d'eau en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Dans Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, Ouagadougou. 2-5.
- Mama D, Aïna M, Alassane A, Chouti W, Boukary OT, Deluchat V, Bowen J, Afouda A, Baudu M, 2011. Caractérisation physicochimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(5) : 2076-2093. Doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.29>
- Mama D. 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de doctorat de l'université de Limoges (France), p.1-177.
- Marjolaine W. 2006. Licence génie de l'environnement, suivi au phyto-pam d'expériences mixtes d'enrichissements et d'opacifications des communautés phytoplanctoniques du réservoir de loubila (burkina faso) réservoir de loubila (burkina faso). IUP Génie de l'Environnement, Université Paris 7 - Denis Diderot. p.21.
- MEDD, Agences de l'eau. 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau). Grilles d'évaluation version 2, 1-40.
- Nitiema LW, Savadogo B, Zongo D, Kabore A, Poda JN, Traoré AS, Dianou D. 2013. Microbial quality of wastewater used in urban truckfarming and health risks issues in developing countries:case study of ouagadougou in burkina faso. *Journal of Environmental*

- Protection*, **4**: 575-584.
Doi:10.4236/jep.2013.46067
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économique). 1982. Eutrophisation des eaux : Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Document OCDE. Paris ; 1-65
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2004. Guidelines for drinking-water quality, third edition, incorporating first addendum, 18-20, Organisation Mondiale de la Santé.
- OMS/UNICEF (Fonds des Nations unies pour l'enfance). 2012. Progrès en matière d'eau potable et d'assainissement Mars 2012 update World Health Organization : Geneva ; 11-16. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html
- Ouattara Y, Guiguemde I, Diendere F, Diarra J, Bary A. 2012. Pollution des eaux dans le bassin du Nakambe: cas du barrage de Ziga. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6): 8034-8050. Doi : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.47>
- Pouomogne V. 1998. *Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment Produire du Poisson à Coût Modéré*. Presse Universitaire d'Afrique : Yaoundé ; 263.
- Rodier J. 2009. *L'Analyse de l'Eau* (9ème éd). Dunod: Paris; 1-1579.
- Some K, Dembele Y, Some L, Millogo-Rasolodimby J, 2008. Pollution des eaux dans le bassin du Nakambe: cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtedo au Burkina Faso. *Sud Sciences et Technologies*, **16**: 14-22.