

Caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin

ZINSOU Hermann Léonce (1), ATINGLI Arthur Hermas (1), GNOHOSSOU Pierre (2), ADANDEDJAN Delphine (1), LALEYE Philippe (1)

¹Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

²Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département d'Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles (AGRN), BP 123, Parakou, Bénin.

Auteur correspondant : leoncezinsou@yahoo.fr Tel : +229 97 09 02 25

Original submitted in on 18th November 2015. Published online at www.m.elewa.org on 31st January 2016
<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v97i1.3>

RESUME

Objectif : La présente étude a pour objectif de caractériser les paramètres physico-chimiques des eaux du delta de l'Ouémé au Bénin et de faire une évaluation du niveau de pollution organique à partir des paramètres déterminés.

Méthodologie et résultats : Treize paramètres physico-chimiques ont été mesurés dans huit stations entre avril 2014 et mars 2015. Les données ont fait l'objet d'une analyse statistique descriptive univariée, et d'une Analyse Canonique Discriminante (ACD) pour mettre en évidence la variabilité spatiale et temporelle des paramètres étudiés, ainsi que leur contribution à la discrimination des stations. L'Indice de pollution Organique de Leclercq (2001) a été utilisé pour apprécier le niveau de pollution des eaux. Les résultats de l'ACD ont révélé une variabilité dans la distribution des paramètres physico-chimiques en fonction des stations et de la saison. En outre, l'analyse canonique discriminante pas à pas a montré que la température, la transparence, la vitesse, les substances azotées et les orthophosphates sont les paramètres les plus pertinents qui discriminent les groupes de stations du moyen et du bas delta. Enfin, l'indice de pollution organique traduit une pollution modérée (3,60) dans les stations du moyen delta et une pollution organique forte dans les stations en bas du delta (2,66).

Conclusion et application : Les valeurs des paramètres physico-chimiques indiquent une tendance à la pollution organique sur l'ensemble des stations, avec une sévérité prononcée pour les stations du bas delta. Elles interpellent les gestionnaires et les aménagistes quant à la dégradation de la qualité de l'eau dans cette partie la plus productive du fleuve Ouémé.

Mots-clés : Physico-chimie, pollution, cours d'eau, eutrophisation, Ouémé.

Physico - chemical characteristic and pollution of water of the Oueme delta in Benin

ABSTRACT

Objective: The present study aims to characterize the physico - chemical parameters of waters of the Ouémé delta in Benin and to make an assessment of the organic pollution level from the determined parameters.

Methodology and results: Thirteen physico-chemical parameters have been measured in eight stations between April 2014 and March 2015. The data were submitted to descriptive statistical analysis and Canonical Discriminant Analysis (CDA) to highlight the spatial and temporal variability of the physico-chemical parameters

and their contribution in the discrimination of the stations. Leclerq (2001) index of Organic pollution has been used to appreciate the level of pollution of stations. The results of the CDA revealed high variability of physico-chemical parameters according to season and station (respectively Wilks' Lambda = 0.00016; ddl = 91; Prob < 0, 0001 and Wilks' Lambda = 0.2095; ddl = 13; Prob < 0, 0001). Stepwise discriminative canonical analysis showed that the temperature, the transparency, the velocity, the nitrogenous substances and the orthophosphates are the most relevant parameters that discriminate the groups of station. Finally, the organic pollution index revealed a moderate pollution (3.60) in the stations of the middle delta and a strong organic pollution in the stations at the low delta (2.66).

Conclusion and application: The values of the physico-chemical parameters of waters shows tendency to organic pollution, principally in the low delta. Making important issues for stakeholders as the water quality is rapidly deteriorating in this most productive part of the Ouémé delta.

Key words: Physicochemistry, pollution, stream, eutrophication, Oueme.

INTRODUCTION

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs de la qualité de l'eau (Bli-Effert et Perraud 2001). L'étude de la qualité des eaux notamment celle du delta du fleuve Ouémé revêt un intérêt particulier du fait que son bassin versant est parcouru par plusieurs agglomérations faisant subir au milieu un stress d'origine anthropique. L'agriculture intensive, la pêche, l'extraction de sable, les rejets d'effluents domestiques, la construction des routes et des barrages sont entre autres les principales perturbations qui affectent la qualité de l'eau et la morphologie du cours d'eau avec pour conséquences l'eutrophisation et la modification de la dynamique

des peuplements (Aguilar-Ibarra, 2004 ; Chikou, 2006). Cette dégradation de la qualité de l'eau a des impacts majeurs sur les services environnementaux et sur leur valeur pour la société (Walmsley, 2002). La prise en compte de ces altérations provoquées par les activités humaines sur les cours d'eau apparaît donc actuellement comme une préoccupation majeure (Adandédjan, 2012). En effet, Une bonne connaissance des caractéristiques physico-chimiques, permet d'apprécier le degré de productivité et la qualité l'écosystème. Le présent travail s'intéresse à l'étude spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques des eaux du delta de l'Ouémé en vue d'apprécier son niveau de pollution (Leclerq, 2001).

METHODOLGIE

Milieu d'étude : Situé entre 6°30' et 10° de latitude Nord et 0°52' et 3°05' de longitude Est, l'Ouémé est le plus long fleuve du Bénin (510 km). Il prend sa source au Nord du pays dans le Département de l'Atacora et coule jusqu'au Sud où il alimente le système lagunaire Lac Nokoué - Lagune de Porto-Novo (Lalèyè, 1995). Il est caractérisé par divers types d'habitats comportant des zones de rapides, de calmes et une vaste plaine d'inondation (Lalèyè et al., 2004). Son delta qui sert de cadre à cette étude est compris entre les parallèles 6°33'N et 8°15' et les méridiens 1°50' et 2°00' E (Figure 1). Il a une forme allongée et mesure 90 km du Nord au Sud. La lagune de Porto-Novo constitue sa façade méridionale. A l'Ouest, la vaste plaine deltaïque est limitée par les marais de la rivière Sô et à l'Est par le plateau de Pobè-Porto-Novo (Lalèyè, 1995 ; Chikou, 2006). Les caractères climatiques

du milieu d'étude sont influencés par le climat de type subéquatorial, caractérisé par deux saisons pluvieuses d'inégales importances et deux saisons sèches. Par contre son régime hydrologique est tributaire du climat soudanien (nord-Bénin). Ainsi on note une période de basses eaux, qui dure en général sept mois (novembre à juin), et par une période de crue, de juillet à octobre (Lalèyè, 1995). L'apparition de la crue entraîne une élévation de plusieurs mètres du niveau des eaux qui débordent du lit principal du fleuve pour s'étaler dans les plaines environnantes. Inversement, il ne subsiste à la décrue (étiage) qu'un faible volume d'eau dans le lit mineur du fleuve et toute la plaine inondable s'assèche donnant lieu à l'installation des cultures (Chikou, 2006; Toko, 2007). Les formations végétales le long du delta se caractérisent par des marécages peuplés de végétaux flottants dominés par la

jacinthe d'eau (*Eichornia crassipes*), le nénuphar (*Nimphaea lotus*), la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) et le lemna (*Lemna pairciostata*). On y rencontre aussi des forêts marécageuses non drainées souvent peuplées de boisement où dominent le palmier raphia (*Raphia hookeri*) et le palmier à huile (*Elaeis guineensis*). La partie de la

vallée recouverte par les eaux est très productive en poissons. Ceux-ci trouvent en effet dans les zones herbeuses inondées des conditions très favorables de multiplication et de croissance grâce au développement abondant de micro-organismes favorisé par l'accumulation de matières organiques en saison sèche (Lalèyè, 1995).

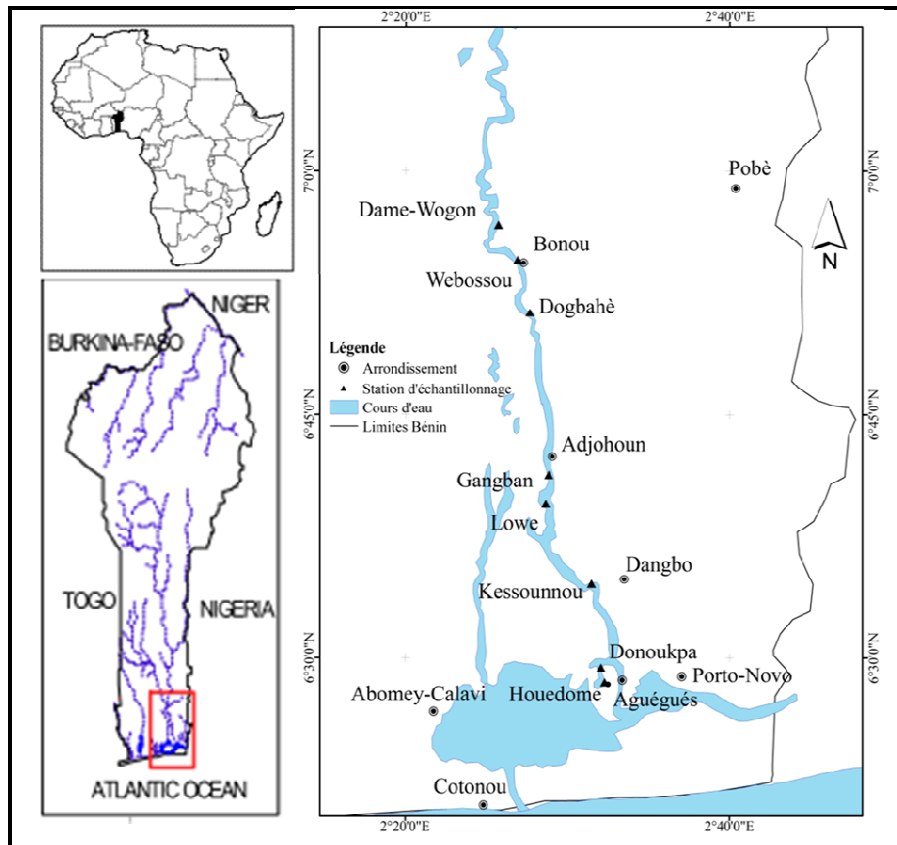


Figure 1 : Carte du Delta de l'Ouémé mettant en évidence les stations d'échantillonnage

Mesures des paramètres physico-chimiques : Pour la réalisation de cette étude, huit stations ont été prospectées d'amont en aval sur ce cours d'eau (Figure. 1). Le choix de ces stations repose sur leur situation par rapport aux agglomérations, et à leur accessibilité. A chaque station, les mesures mensuelles des variables physico-chimiques ont été réalisées entre avril 2014 et mars 2015 couvrant ainsi une période d'étiage (novembre à juin) et une période de crue (juillet à octobre). Les paramètres physico-chimiques mesurés in situ entre 06h et 11h sont la température, le pH, l'oxygène dissous (O_2) en mg/l et en pourcentage de saturation (%), la conductivité en $\mu S/cm$, le TDS (Total Dissolved Solids) en mg/l, la transparence en cm, la profondeur de l'eau (m) et la vitesse du courant en m/s. Concernant les sels dissouts les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide d'une

bouteille de Van Dom à 1 mètre de profondeur et conservés dans des flacons en plastique de 1 litre. Les sels nutritifs dont les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), l'ammonium (NH_4^+) et les orthophosphates (PO_4^{3-}) ont été dosés au chromatographe ionique de marque DIONEX ICS-1000 au laboratoire de la qualité des eaux de la Direction de l'eau et de l'Hydraulique. L'ensemble de ces paramètres mesurés permet d'identifier la nature exacte des perturbations et les teneurs qu'ils peuvent atteindre, notamment les teneurs maximales importantes pour leur effet direct sur la faune et sur la qualité de l'eau.

Analyse et traitement des données : Les valeurs des paramètres mesurées ont fait l'objet d'une analyse statistique descriptive univariée (moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum) et leurs variations de ces paramètres sont exprimées sous forme de boîtes à

moustaches. Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour tester l'hétérogénéité des valeurs moyennes des paramètres. Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour mettre en évidence d'éventuelle différence entre les périodes hydrologiques (étiage et crue). Aussi, l'ensemble des paramètres physico-chimiques est comparé simultanément suivant les différentes stations et périodes hydrologiques (étiage / crue) grâce à la méthode d'analyse multivariée de la variance (MANOVA) basée sur le modèle fixe croisé. En cas de différence significative, une analyse canonique discriminante (ACD) est réalisée pour décrire la structure des moyennes des facteurs (station et période hydrologique). En outre l'analyse canonique discriminante pas à pas (ACD) est utilisée pour identifier les variables physico-chimiques les plus pertinents suivant la combinaison station et période hydrologique. Pour la réalisation de la statistique descriptive, de MANOVA, d'ACD, et d'ACD pas à pas le logiciel SAS 9.2 a été utilisé. Préalablement à l'exécution de MANOVA, les conditions

de normalité multivariée et d'homogénéité des variances ont été vérifiées, respectivement grâce au test de Mardia et de Levene (Zar, 1999) suite à la transformation logarithmique et à la standardisation des variables physico-chimiques. Pour l'évaluation de la pollution organique, nous avons utilisé ici l'Indice de Pollution Organique (Leclercq et Vandevenne, 1987) calculé à partir des mesures d'ammonium, nitrites et orthophosphates ; la DBO_5 n'ayant pas été mesurée dans cette étude. Leclercq (2001) indique que cet indice peut être obtenu avec les valeurs de ces trois paramètres, du fait qu'ils sont des formes déjà minérales, résultant directement de la minéralisation des matières organiques et reflètent bien la pollution organique. Ainsi, le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes, et de déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne (Tableau 1).

Tableau 1 : Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique (Leclercq, 2001)

Classes	NH_4^+ (mg/l)	NO_2 (μ g/l)	PO_4^{3-} (μ g/l)
5	< 0,1	< 5	< 15
4	0,1 - 0,9	6 - 10	16 - 75
3	1 - 2,4	11 - 50	76 - 250
2	2,5 - 6	51 - 150	251 - 900
1	> 6	> 150	> 900

IPO= Indice de Pollution Organique donné par la moyenne des numéros des classes des 03 paramètres :

IPO= 5,0 – 4,6 : pollution organique nulle.

IPO= 4,5 – 4,0 : pollution organique faible.

IPO= 3,9 – 3,0 : pollution organique modérée.

IPO= 2,9 – 2,0 : pollution organique forte.

IPO= 1,9 – 1,0 : pollution organique très forte.

RESULTATS

Caractéristiques physico-chimiques : Les résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux du delta de l'Ouémé sont présentés sur la figure 2. Il ressort que la moyenne générale de la température de l'eau est de $26,20 \pm 0,47$ °C. La valeur la plus faible 22 °C a été enregistré pendant la crue à la station Damè-Wogon et la plus forte $30,5$ °C pendant l'étiage à la station Gangban situé dans le moyen delta. La profondeur moyenne de l'eau pour toute la période de l'étude est de $3,44 \pm 0,93$ m, avec un minimum de $0,7$ m à l'étiage à Wébossou. Pendant cette période, le lit du fleuve est caractérisé par un faible volume d'eau, avec un écoulement faible (vitesse de l'ordre de 5 cm/s), et les eaux ont une coloration verte foncée atteignant ainsi leur

niveau d'eutrophisation le plus élevé. La profondeur maximale de $7,5$ m a été mesurée à Kessounou pendant la crue du fait de l'installation de la grande saison des pluies. La vitesse d'écoulement est très forte et reste supérieure à 10 cm/s dans toutes les stations. Quant à la transparence de l'eau, elle est minimale (10 à 15 cm) pendant la crue et maximale (35 à 100 cm) durant l'étiage. Globalement, le pH moyen obtenu pendant l'étude est de $6,28 \pm 0,32$, avec des valeurs qui fluctuent entre $4,1$ et $7,5$. Ces valeurs enregistrées sont faibles pendant l'étiage et élevées pendant la crue. Quant à la conductivité et le TDS, ils ont présenté une même tendance avec des valeurs moyennes qui ont augmenté d'amont en aval. Les valeurs de la conductivité ont varié entre $59,8$ et 238 μ S/cm et

celle du TDS entre 28 et 119,5 mg/l. En outre, les valeurs faibles de ces paramètres ont été enregistrées pendant la crue et les fortes valeurs pendant l'étiage. La teneur moyenne en oxygène est de $5,67 \pm 0,44$ mg/l. Les valeurs faibles (3,18 et 4 mg/l) ont été enregistrées pendant l'étiage et les valeurs fortes (4,96 et 6,19 mg/l) pendant la crue. Pour ce qui est de la saturation en oxygène dissous,

on observe que les pourcentages présentent les mêmes variations que celles exprimées en mg/l. Les eaux sont saturées à près de 100 % et ceci pendant la crue. Les teneurs en azote ammoniacal, ont varié de 0,016 à 0,978 mg/l, et celles des nitrates de 0 à 6,94 mg/l. Quant aux nitrites et orthophosphates, leurs concentrations sont très faibles et proche de 0 mg/l.

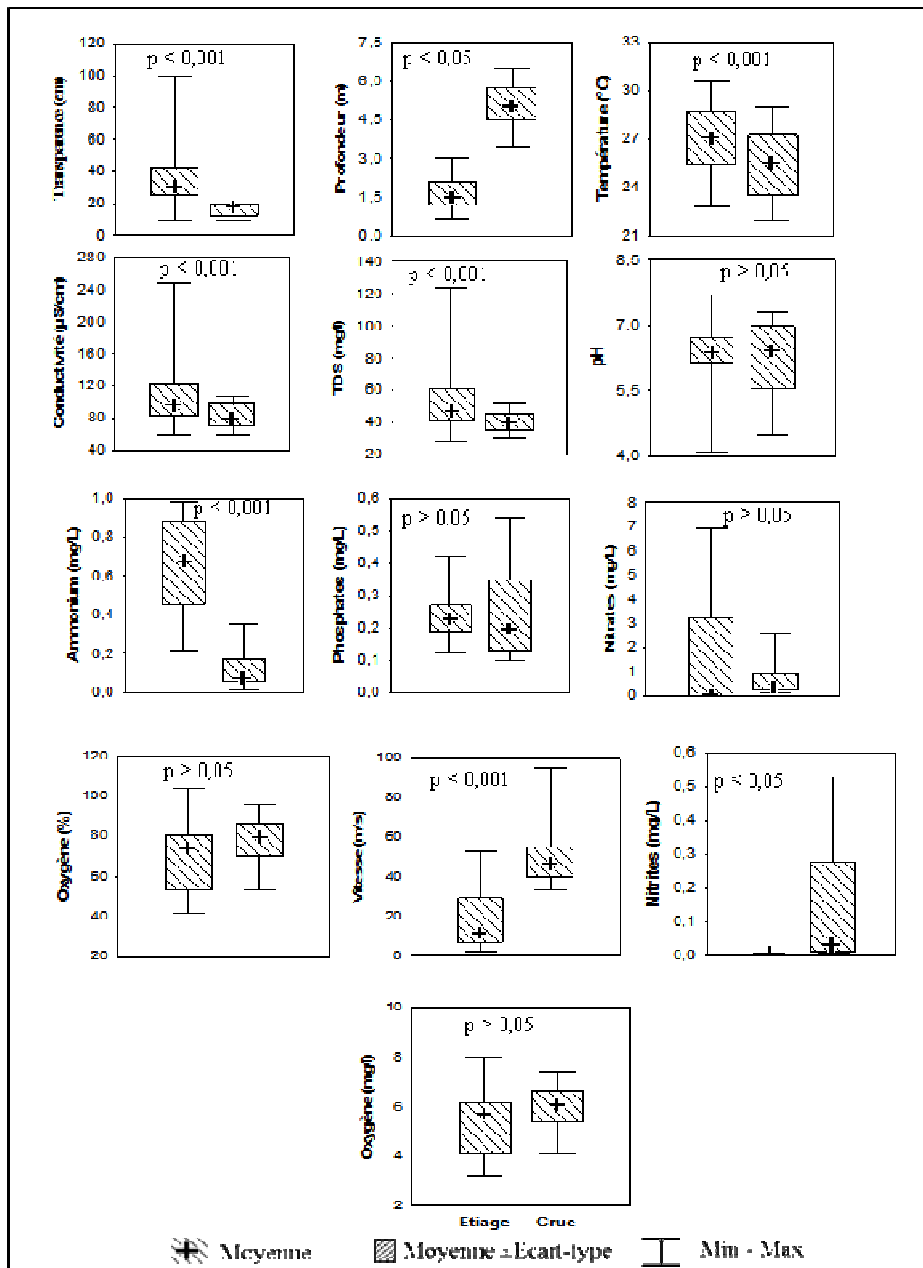


Figure 2 : Variations saisonnières des paramètres physiques de l'eau du delta de l'Ouémé au Bénin. p = résultat du test de Mann-Whitney entre les deux périodes hydrologiques.

Structure des moyennes des facteurs (station et période saisonnière) : Le tableau 2 présente les résultats de la MANOVA des paramètres physico-chimiques en fonction des facteurs « Station » et « Période » et de l'interaction « Station*Période. Les effets des facteurs

stations et périodes considérés isolément influencent significativement les paramètres physico-chimiques au seuil de 1 % (Tableau 2). Par contre l'effet simultané de la période et stations (l'interaction « Station*Période ») n'est pas significatif au seuil de 5 %.

Tableau 2 : Résultats de la MANOVA des paramètres physico-chimiques en fonction des facteurs Station et Période.

Facteurs	Wilks'Lambda	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
Station	0,0001	15,99	91	432,38	<,0001
Période	0,1419	31,62	13	68	<,0001
Station*Période	0,2299	1,26	91	432,38	0,0661

Variation spatiale des paramètres physico-chimiques : L'analyse canonique discriminante (ACD) effectuée sur les stations à partir des paramètres physico-chimiques indiquent une variabilité très significative (Wilks' Lambda = 0,00016; ddl = 91; Prob <0,0001) entre les huit stations. Les deux premiers axes expliquent à eux seuls 89,30 % des informations liées aux différentes stations. Le résultat

de cette analyse est le graphique suivant (Figure 2) qui montre 4 groupes de stations homogènes entre eux et distants les uns des autres. La qualité de la classification vérifiée par le test de validation croisée (significativité des distances de Mahalanobis) a révélé des distances très hautement significatives (Prob <0,0001) entre les groupes de stations.

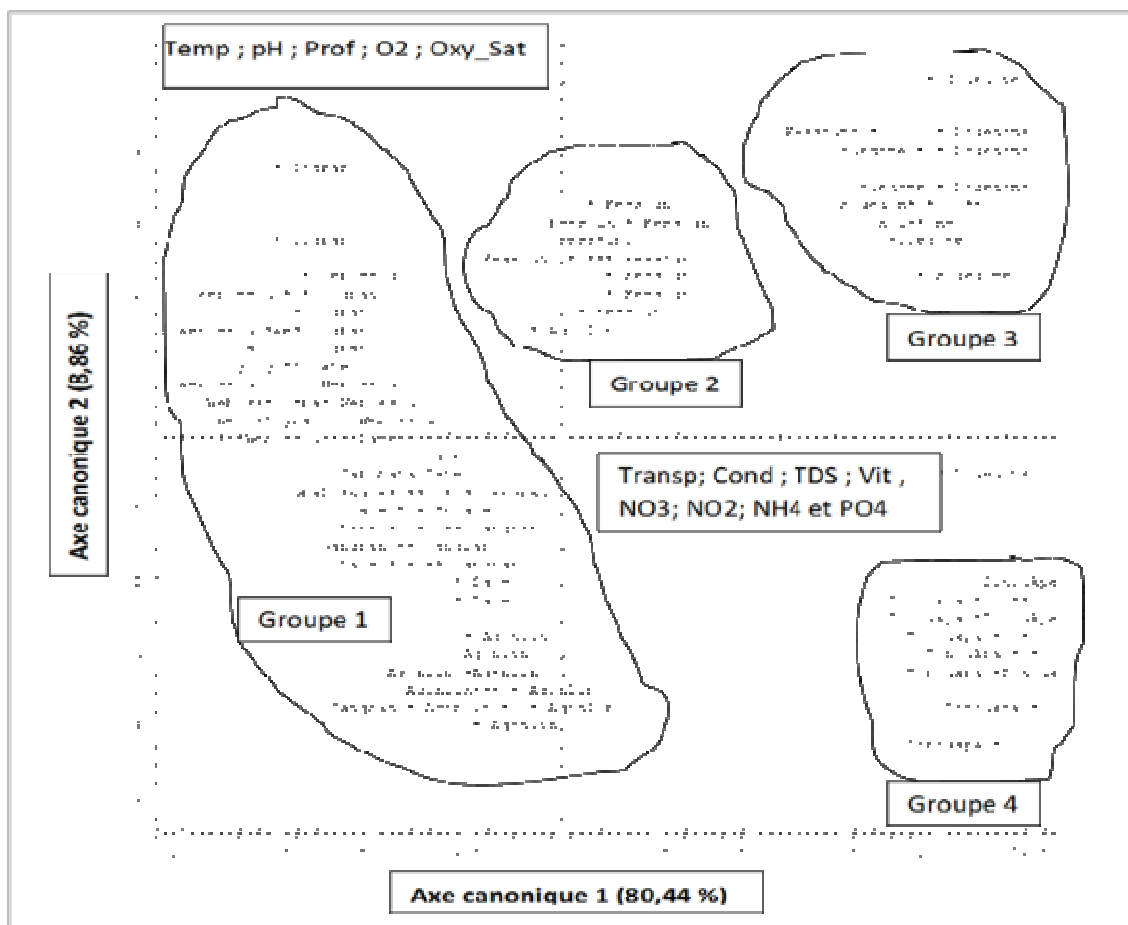


Figure 3 : Projection des sites dans le système des axes canoniques 1 et 2. Transp=Transparence ; Prof= Profondeur ; Temp= Température ; Cond=Conductivité ; TDS= Total Dissolved Solids ; O2= Oxygène ; Oxy_sat= pourcentage de saturation en oxygène ; vit= Vitesse;NO₂=Nitrites; NO₃=Nitrates; NH₄⁺= Ammonium; PO₃⁴⁻=Orthophosphates

Ainsi, le groupe 1 est constitué par les stations Agonlinlowé, Gangban, Dogbahè, Wébossou, Damè-wogon situées dans le moyen delta et est caractérisé par de fortes valeurs en oxygène, en pourcentage de saturation, en profondeur, température et pH élevés. Les groupes 2 (Kessounou), 3 (Houedomey) et 4 (Donoukpa) en aval du delta, sont caractérisés par de fortes valeurs de transparence, de conductivité, de TDS, de la vitesse, de nitrites, nitrates, ammonium et orthophosphates. Après cette analyse de la répartition abiotique des stations du delta, nous avons tenté de dégager, en nous appuyant sur l'évolution temporelle de ces facteurs, les paramètres les plus pertinents qui expliquent cette répartition des stations.

Variation temporelle des paramètres physico-chimiques : Les résultats de l'analyse canonique discriminante (ACD) effectuée sur les périodes saisonnières (étiage et crue) à partir des paramètres physico-chimiques considérés indiquent une différence très hautement significative (Wilks' Lambda = 0,2095 ; ddl = 13 ; P <0,0001) entre ces périodes. Ces mêmes résultats révèlent que le seul axe explique à lui seul 100 % des informations liées aux deux périodes. Ce qui est suffisant pour les discriminer. Ainsi en se basant sur l'inter-corrélation entre les paramètres physico-chimiques et l'axe canonique d'une part et d'autre part, sur le test de discrimination par la distance de Mahalanobis qui a révélé une distance très hautement significative (Prob. <0,0001)

entre les deux périodes, il en découle que la période d'étiage est caractérisée par des valeurs élevées de la transparence, de la température, du pH, de la conductivité, du TDS, des nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphates. Par contre la période de crue est caractérisée par de forte profondeur des stations, une vitesse élevée du courant et par de forts taux d'oxygène et en pourcentage de saturation. En outre, l'analyse des résultats du ACD pas à pas réalisée sur les variables physico-chimiques selon la combinaison station et période saisonnière indique que les variables PO₃⁴⁻, NO₃, NH₄⁺, NO₂ Température, Vitesse et Transparence sont les plus pertinents au seuil de 1% (Prob. (Wilks' Lambda) < 0,0001; R² >= 50 %), dans la discrimination des groupes de stations obtenus.

Evaluation du niveau de pollution de l'eau des stations étudiées : Les valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) et les niveaux de qualité correspondants sont donnés dans le tableau 5. Globalement, ces valeurs oscillent entre 2,33 (pollution organique forte) et 4 (pollution organique faible). On note que les stations situées en aval du delta sont fortement polluées avec des valeurs faibles de l'IPO qui tournent autour de 2. Ensuite l'IPO remonte pour atteindre la valeur 4 (station Gangban) qui traduit une pollution faible. Enfin les valeurs de l'IPO chute et se stabilise à un niveau de pollution modérée dans les autres stations situées en amont du delta.

Tableau 5 : Indice de Pollution Organique (IPO) des stations

Stations	IPO	Pollution
DON	2,67	Forte
HOU	2,33	Forte
KES	3	Modérée
AGL	3,66	Modérée
GAN	4	Faible
DOG	3,66	Modérée
WEB	3,33	Modérée
DAW	3,33	Modérée

DISCUSSION

L'étude de la qualité de l'eau du delta du fleuve Ouémé à travers les caractéristiques physico-chimiques mesurées permet de constater que les descripteurs considérés varient dans l'espace et selon les périodes hydrologiques. Globalement, pendant la crue la plupart des variables

(conductivité, TDS, matières azotées et phosphorées) sont faibles à cause des apports d'eau que le milieu reçoit et qui contribuent à leur dilution. En effet, les paramètres comme la conductivité et le TDS sont étroitement liés à la nature et à la concentration de substances dissoutes du

milieu. Ainsi, une faible conductivité pour un cours d'eau est également synonyme d'une faible minéralisation des sels en présence dans le milieu. (Ben Moussa et al., 2012). En revanche, pendant l'étiage, on enregistre des valeurs élevées de la transparence et du pH. Ces tendances observées sont corroborées par les études de Chikou (2006) dans le delta de l'Ouémé. Les valeurs moyennes de phosphates montrent des teneurs maximales observées pendant l'étiage dans les stations du bas delta. Ces valeurs moyennes observées traduisent une forte anthropisation liées probablement aux rejets domestiques. En effet, les rejets urbains domestiques directement déversés dans l'eau par les populations vivants sur pilotis, et les apports des eaux de ruissellement induisent de grandes variations de cette composante en particulier après le retrait des eaux de la période pluvieuse (Alhou et al., 2009 ; Zirirane et al., 2014). Selon Jen (2002) les eaux usées domestiques contiendraient beaucoup de détergents qui sont les sources de phosphores. Quant aux nitrites, les teneurs obtenues sont faibles dans toutes les stations et sont comprises entre 0,004 et 0,13 mg/l et ceci est dû à l'oxydation rapide qui les transforme en nitrates. Ces résultats sont conformes à ceux de Yehouenou-Pazou (2005) qui a trouvé des valeurs largement inférieures à 0,5 mg/l par endroit et seulement des traces dans certaines stations du fleuve Ouémé. Uzoukwu et al. (2004) ont retrouvé dans la rivière d'Ubu dans le delta du Niger au Nigeria des teneurs en nitrites similaires à nos résultats. Par ailleurs, quand bien même la toxicité des nitrites sur les poissons est fonction des espèces, il faut déjà souligner que pour des valeurs proches de 0.015 mg/l de nitrite certains poissons meurent par hypoxie (Gray et al., 2002). Nos valeurs atteignant donc les maxima de 0,13 mg/L doivent attirer l'attention des conservateurs et aménagistes au sujet de la mortalité inexplicable de certains poissons régulièrement constaté dans l'Ouémé. Quant aux nitrates, leur présence dans les cours d'eau est due, soit au lessivage des terres agricoles, soit aux réactions oxydatives de l'azote ammoniacal et des nitrites (Saad et al., 2004 ; Khalaf et al., 2007). Dans l'ensemble des stations, les concentrations enregistrées sont inférieures à 0,5 mg/l sauf dans les stations de Donoukpa, Houedomey et kessounou qui sont des réceptacles des effluents domestiques et agricoles issus de l'activité anthropogénique venant de l'amont du fleuve Ouémé et particulièrement du delta. Les valeurs élevées ont été enregistrées pendant l'étiage, et sont probablement liées à l'intensification du processus de dénitrification (Groga, 2012). Par ailleurs, du fait du caractère légèrement basique de l'eau observée au cours de l'étude, les faibles concentrations obtenues pendant la

crue peuvent résulter d'une volatilisation du NH_4^+ sous forme de NH_3 (Tchobanoglous et al., 2003). Aussi, dans toutes les stations échantillonnées, les teneurs en ammonium sont plus élevées que celles des nitrites. Ceci résulte d'un processus de dégradation incomplète de la matière organique et cela en présence des faibles quantités de matières toxiques (Sondergaard et al., 2003) ce qui entrainerait une faible nitrification des eaux. Les valeurs moyennes de la transparence de l'eau enregistrées ont montré une variation saisonnière hautement significative ($p < 0,001$) avec les faibles valeurs pendant la crue et les plus fortes pendant l'étiage. En effet, à l'étiage, l'écoulement des eaux est très faible ou quasiment nul ainsi que l'apport extérieur de matières en suspension. Des observations semblables ont été faites par Diomandé (2001) sur la rivière Agnéby et révèlent plutôt que c'est le caractère stagnant du milieu qui favorise la décantation des matières en suspension ce qui traduit une augmentation du paramètre en saison sèche. Alors que pendant la crue on assiste à un apport important de particules solides issues du lessivage des sols du bassin versant. D'autres auteurs (Chikou, 2006; Alhou, 2007) ont montré que la transparence de l'eau est considérablement réduite pendant la crue. Cette variation de la transparence serait liée aux importantes activités qui sont exercées par la population locale notamment l'exploitation des acadjas dont les débris polluent le cours d'eau, à l'effet des marées et à la présence des agglomérations environnantes et des habitations sur pilotis. L'un des facteurs qui joue un rôle important dans la répartition et le développement des organismes aquatiques est la température de l'eau (Panfili et al. 2002). Les valeurs moyennes de la température de l'eau étudiée sont similaires dans toutes les stations. Les valeurs les plus élevées sont obtenues à l'étiage et les plus faibles à la crue. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Chikou (2006) et Lalèye et al. (2003) dans le delta de l'Ouémé. Par ailleurs, ces valeurs moyennes sont de nature à favoriser la croissance des organismes aquatiques puisqu'elles sont en phase avec les préférences écologiques ou physiologiques de ces organismes dont les fonctions comme la consommation d'oxygène, de nourriture et la vitesse de réaction de certaines enzymes dépendent de la température de l'eau (Covich et al., 1999). Enfin, la vitesse de l'eau d'une rivière est fortement corrélée avec les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, la géomorphologie et la diversité de l'habitat (Aguilar-Ibarra, 2004). Il joue le rôle de régulateur de la distribution et de l'abondance des espèces en transportant les sédiments fins et les débris organiques et en créant des nouveaux habitats à l'aval (Poff et al., 1997). Dans la présente étude, les valeurs de

la vitesse du courant enregistrées ont montré une distribution saisonnière marquée et hautement significative (Prob < 0,001), avec des valeurs très faibles obtenues surtout pendant l'étiage. Ces résultats sont conformes à ceux de (Diomandé, 2001) avec des valeurs très faibles surtout pendant la petite saison sèche et la petite saison pluvieuse. Les variations spatio-temporelles des paramètres étudiés ont été hautement significatives (Wilks' Lambda ; Prob <0,0001). L'Analyse Canonique Discriminante effectuée, a permis d'obtenir quatre groupes de stations essentiellement discriminés par les paramètres liés à la minéralisation (transparence, température, ammonium nitrites, nitrates, phosphates) et la vitesse de l'eau. Les stations du groupe I (Damè-Wogon, Webosou, Dogbahê, Agonlin-lowé et Gangban) situées dans le moyen delta sont caractérisées par de faibles valeurs de ces paramètres, mais par des teneurs élevées en oxygène dissous ce qui indique le niveau de pollution organique modérée (IPO oscillant entre 3 et 4) observé. Par contre

CONCLUSION

Au terme de cette étude, les grandes tendances révèlent une variation spatiale et saisonnière des paramètres physico-chimiques étudiés et mettent en évidence une évolution de la pollution entre l'amont et l'aval du delta. Les analyses réalisées montrent que les eaux du delta

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient le Projet de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) du Programme Cadre

REFRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adandédjan D, 2012. Diversité et déterminisme des peuplements de macroinvertébrés benthiques de deux lagunes du Sud- Bénin : la Lagune de Porto-Novo et la Lagune Côtière. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi-Bénin. 261 pp.
- Aguilar-Ibarra A, 2004. Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse de doctorat ès sciences, Institut National Polytechnique de Toulouse (France), 178pp.
- Alhou B, 2007. Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger. Thèse de doctorat. Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix Namur. 300p.
- Alhou B, Micha JC, Dodo A, Awaiss A, 2009. Etude de la qualité physicochimique et biologique des eaux

les groupes 3 (Houedomey) et 4 (Donoukpa) et dans une moindre mesure le groupe 2 (Kessounou) qui renferment les stations situées dans le bas delta sont caractérisés par des valeurs élevées des substances azotées et phosphorées mais aussi par un déficit en oxygène. Les quantités élevées de matières organiques mises en évidence par les faibles valeurs de l'IPO (2,33 – 2,67) traduisent une forte pollution organique due à la faible minéralisation des matières organiques. En effet, au cours du lessivage des terres agricoles, et des rejets des effluents domestiques les stations situées en aval sont plus impactées par la pollution que celles d'amont (Yehouénou-Pazou, 2005). Selon plusieurs auteurs (Ansa-Asare et al., 2000; Li et al., 2009) les activités humaines engendrent une forte concentration de nutriments (azote et phosphore) et contribuent au déséquilibre des mécanismes naturelles de recyclages de ces nutriments dans le milieu aquatique (Sondergaard et al., 2003).

sont affectées par la pollution organique sur l'ensemble des stations, avec une sévérité prononcée pour les stations situées en aval du delta. Cette pollution se traduit par la baisse du taux d'oxygène dissous et l'excès des nutriments (phosphore, ammonium).

d'Appui à la diversification agricole (ProCAD) pour avoir financé ces travaux.

- du fleuve Niger à Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*3:240-254.
- Ansa-Asare OD, Marr IL, Cresser MS, 2000. Evaluation of modeled and measured patterns of dissolved oxygen in a freshwater lake as an indicator of the presence of biodegradable organic pollution. *Water Research*, 34(4), 1079–1088.
- Ben Moussa A, Chahlaoui A, Rour El H, (2012) : Évaluation de la pollution physico-chimique des eaux de l'Oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(6): 7096-7111.
- Bli-Effert C. et Perraud R, 2001. « Chimie de l'environnement – air, eau, sols, déchets », ed. DeBoeck Université.
- Chikou A, 2006. Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Teleostei, Siluriformes) dans le

- delta de l'Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique. 459 p.
- Covich AP, Palmer MA, Crowl TA, 1999. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *Biosciences*, 49: 119-127.
- Diaz-Fierros FT, Puerta J, Suarez J, 2002. Contaminant loads of CSOS at the wastewater treatment plant of a city in NW Spain. *Urban Water*, 4: 291-299.
- Diomandé D, 2001. Macrofaune benthique et stratégies alimentaires de *Synodontysbatiani* (Daget, 1948) et *S. schall* (Bloch & Schneider, 1801) (Bassins Bia et Agnébi; Côte d'Ivoire) Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamè (Abidjan), 243 pp.
- Gray JS, Wu RSS, Or YY, 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Maine. Ecology Progress Series.*, 238: 249-279.
- Groga N, 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse d'écologie fonctionnelle, Université de Toulouse, INP-Ensat, 224pp.
- Jen O, 2002. The perceived Environmental Impact of Car Washing. Ramsey-Washington Metro Watershed District, 9pp.
- Khalaf G, Slim K, Saad Z, Nakhlé K, 2007. Evaluation de la qualité biologique des eaux du Nahr el Jaouz (Liban) : application des méthodes indicelles. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon*, 76 (9-10): 255- 268.
- Lalèyè PA, 1995. Ecologie comparée de deux espèces de *Chrisichthys*, poissons siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège (Belgique), 152 pp.
- Lalèyè P, Chikou A, Ezin A, Philippart JC, Welcomme RL, 2003. Fish and fisheries of the Oueme Delta, Benin (West Africa). In: *Technical Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. Phnom Penh. Cambodia. 20 p.
- Lalèyè P, Chikou A, Philippart J-C, Teugels G, Vandewalle P. 2004. Étude de la diversité ichtyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cybiurn* 28 (4): 329-339.
- Leclercq L, 2001. Les eaux courantes : caractéristiques et moyens d'étude, dans *Les zones humides*. Actes des colloques organisés en 1996 par le Ministère de la Région Wallonne dans le cadre de l'Année Mondiale des Zones Humides, Jambes, Région Wallonne, DGRNE. pp. 67-82.
- Leclercq L et Vandevenne L, 1987. Impact d'un rejet d'eau chargée en sel et d'une pollution organique sur les peuplements de diatomées de la Gander (Grand-Duché de Luxembourg). *Cahiers de Biol. Mar.*, 28(2), 311-318.
- Le Loeuf P, 1999. La macrofaune d'invertébrés benthiques des écosystèmes à salinité variable le long des côtes atlantiques de l'Afrique tropicale ; variations de la biodiversité en relation avec les conditions climatiques actuelles (précipitations) et l'histoire climatique régionale. *Zoosystema*, 21 (3): 557 – 571.
- Li M, Xie GQ, Dai CR, Yu LX, Li FR, Yang SP, 2009. A study of the relationship between the water body chlorophyll a and water quality factors of the off coast of Dianchi Lake. *Yunnan Geographic Environment Research*, 21(2), 102-106.
- Panfili J, De Pontual H, Troadec H, Wright PJ, 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. Co-Editions IFREMER/IRD, 464 pp.
- Poff NL, Allan D, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE, Stromberg JC, 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioSci.* 47:769-784.
- Saad Z, Slim K, Khalaf G, Elsamad O, 2004. Impact des rejets des eaux résiduaires sur la qualité physico-chimique et algologique du Nahr Antélias. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles*, 127: 69-82.
- Sondergaard M, Jensen LP, Jeppensen E, 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506-509, p.135-145.
- Tchobanoglous H, Burton FL, Stensel HD, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. International edition ISBN0-07-112250-8, pp. 54-1078.
- Uzoukwu AB, Ngoka C, Nneji N, 2004. Monitoring of seasonal variation in the water quality of Uburiver in Ekwusigo and Nnewi local government areas of Anambra State, Nigeria. *Environ. Manage.* 33: 886-898.
- Walmsley JJ, 2002. Framework for measuring sustainable development in catchment systems. *Environ. Manage.* 29: 195-206.
- Yehouenou-Pazou AE, 2005. Les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans les eaux, les sédiments et les espèces aquatiques du bassin versant du fleuve Ouémé et du lac Nokoué.

- Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, p. 217.
- Zar JH, 1999. *Biostatistical Analysis* (4th edn) Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey.
- Zirirane DD, Bagalwa JJ, Isumbisho M, Mulengezi M, Mukumba I, Bora M, Mucheso JM, Lukamba A, Iragi G, Irengi B, Kibangu F, Kamangala R, 2014. Évaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques. *Vertigo* DOI: 10.4000/vertigo.15365