

Distribution saisonnière du phytoplancton en fonction des caractéristiques physico-chimiques du lac de Zowla (Lac Boko) dans le Sud- Est du Togo : cas de la petite saison sèche et de la grande saison sèche

ATANLE Kossivi^{1,2*}; BAWA L. Moctar¹; KOKOU Kouami^{2,3}; DJANEYE-BOUNDJOU Gbandi¹, EDORH M. Thérèse²

¹Laboratoire de Chimie des Eaux, FDS, Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo

²Laboratoire d'Algologie et de Palynologie, FDS, Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo

³Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, FDS, Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo

*Auteur correspondant : ATANLE Kossivi, email : luatanle@yahoo.fr, Tel : (+228) 91 90 21 71

Original submitted in on 12th February 2013. Published online at www.m.elewa.org on 25th April 2013.

RESUME

Objectif : L'objectif de cette étude est de déterminer la répartition du phytoplancton en fonction des caractéristiques physico-chimiques du lac de Zowla.

Méthodologie et résultats : Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée aux variables environnementales et biotiques déterminées en petite et grande saison sèche. Elle a montré que le lac de Zowla a connu au cours de ces saisons deux types de gradients : un gradient de minéralisation et un gradient de charge en matières organiques et sels nutritifs. Ces deux gradients ont permis de différencier au sein du lac trois grands systèmes hydriques. Le secteur proche de la mer correspond au pôle d'enrichissement en matières organiques et sels nutritifs en petite saison sèche et au pôle d'enrichissement en sels dissous en grande saison sèche. Le secteur proche des rivières Hato et Voukpo a connu le contraire : il correspond au pôle d'enrichissement en sels dissous en petite saison sèche et au pôle d'enrichissement en matières organiques et sels nutritifs en grande saison sèche. Le secteur proche des rivières Boko et Elia est pour sa part moins pollué durant les deux saisons. La plupart des classes recensées à l'exception des Dinophycées ont une affinité pour la matière organique. La matrice de corrélation de Pearson montre que les Diatomophycées en petite saison sèche de même que les Conjugatophycées durant les deux saisons sont bien corrélées positivement avec l'ammonium. Les Dinophycées le sont avec les sels dissous.

Conclusion et applications des résultats : Les résultats de cette étude montrent que le secteur proche des rivières Boko et Elia serait représentatif des conditions de référence du lac de Zowla pour sa restauration. Des Diatomophycées et des Conjugatophycées sont indicatrices d'une pollution en ammonium et des Dinophycées indicatrices d'une intense minéralisation du milieu.

Mots clés : Pollution, Système hydrique, Phytoplancton, Restauration.

Seasonal distribution of phytoplankton based on physico-chemical characteristics of Lake Zowla (Lake Boko) in the southeastern Togo: the case of the short dry season and long dry season

ABSTRACT

Objective: The objective of this research work is to determine the seasonal phytoplanktonic pattern based on physicochemical characteristics of Lake Zowla.

Methodology and results: Principal component analysis (PCA) was applied to the environmental and biotic variables determined in short and long dry season. It showed that Lake Zowla experienced during both seasons two types of gradients: a gradient of mineralization and a gradient of organic load and nutritive salts. Both gradients made it possible to differentiate within the lake three major hydrological systems. The area near the sea corresponds to the center of enrichment in organic matter and nutritive salts during the short dry season and to the center of enrichment in dissolved salts during the long dry season. The area near rivers Hato and Voukpo experienced the opposite : it corresponds to the center of enrichment in dissolved salts during the short dry season and to the center of enrichment in organic matter and nutritive salts during the long dry season. The area near rivers Boko and Elia for its part is less polluted during both seasons. Most classes identified except Dinophyceae have an affinity for organic matter. Pearson correlation matrix shows that Diatoms in short dry season as well as Conjugates during the two seasons are well correlated positively with ammonium. Dinophyceae species are well and positively correlated with dissolved salts.

Conclusion and applications of results: The results of this study show that the area near rivers Boko and Elia would be representative of reference conditions of Lake Zowla for its restoration. Diatoms and Conjugates are indicative of pollution by ammonium and Dinophyceae species indicative of intensive mineralization in the area.

Key words: Pollution, Hydrological system, Phytoplankton, Restoration.

INTRODUCTION

Le phytoplancton (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau (Rolland, 2009). Il s'agit de cellules, colonies ou filaments qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints. Si les organismes phytoplanctoniques représentent seulement 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques sur Terre, ils assurent 45 % de la production primaire (Chisholm, 1995 ; Behrenfeld et al., 2001). Ils sont ainsi à la base de la chaîne trophique pélagique (Azam et Malfatti, 2007) et sont donc responsables d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques.

Le Togo par son réseau hydrographique dispose d'un nombre important d'écosystèmes d'eau douce dont la qualité ne cesse de se dégrader de jour en jour. Mais peu d'études sont consacrées à la pollution de ces écosystèmes. Parmi ces cours d'eau, il y a le lac de Zowla qui semble très affecté par la pollution à cause de l'ouverture quasi-permanente de la passe entre la mer et le système lagunaire et du drainage par les rivières tributaires du lac des déchets de phosphate provenant de l'exploitation du minerai au sud du Togo. Or

Chikhaoui et al. (2008) ont révélé que la disponibilité des nutriments constitue le principal facteur qui contrôle le phytoplancton lorsque les conditions de lumière et de température sont adéquates. Selon Jiang et Shen (2006), une augmentation continue de la quantité de phosphore pourrait être le facteur principal d'eutrophisation d'un lac. Ceci conduit à une augmentation de la biomasse phytoplanctonique constituée surtout d'algues microscopiques, à une eau trouble et à des changements biologiques indésirables. A l'instar des lacs pollués, celui de Zowla a perdu beaucoup d'atouts qu'il procurait aux populations riveraines notamment les produits halieutiques commercialisés, la navigation, le sport nautique, le tourisme, etc. Aujourd'hui beaucoup d'espèces animales et végétales y ont disparu car les changements biologiques occasionnés par la pollution des eaux d'un cours d'eau (Gulati et Van Donk, 2002) incluent le plus souvent la perte de biodiversité comme la disparition de macrophytes submergés, des bouleversements dans la lignée des poissons et la diminution du contrôle des zooplanctons sur les phytoplanctons (Xie et Xie, 2002). La connaissance de l'état de pollution des eaux du lac peut alors amener à trouver des approches de solution. Face à cette situation, cette étude a été initiée afin de connaître les impacts de la pollution sur la distribution du phytoplancton dans l'écosystème du lac de Zowla.

MATERIEL ET METHODES

Cadre d'étude : Localisé dans la Région Maritime au Togo, le lac de Zowla est à cheval sur les Préfectures des Lacs et de Vo. Il mesure 5,5 km de long sur 2,1 km de large et a une superficie de 6,55 km². Sa profondeur est comprise entre 1 et 1,5 m en Juin 2007 (Atanlé et al, 2012). Le lac de Zowla se jette dans la mer à Aného. Il est alimenté en eau douce par les rivières Boko, Elia, Hato et Voukpo (figure 1), puis par le fleuve Mono avec

lequel il est en communication à travers le chenal de la Gbaga. Il peut alors subir l'influence de l'eau de mer et de l'eau douce. Le bassin versant du lac de Zowla, à l'instar de toute la Région Maritime du Togo, jouit d'un climat de type subéquatorial ou guinéen à deux saisons de pluies alternant avec deux saisons sèches. Les principales activités économiques des riverains sont la pêche, l'agriculture et/ou l'élevage.

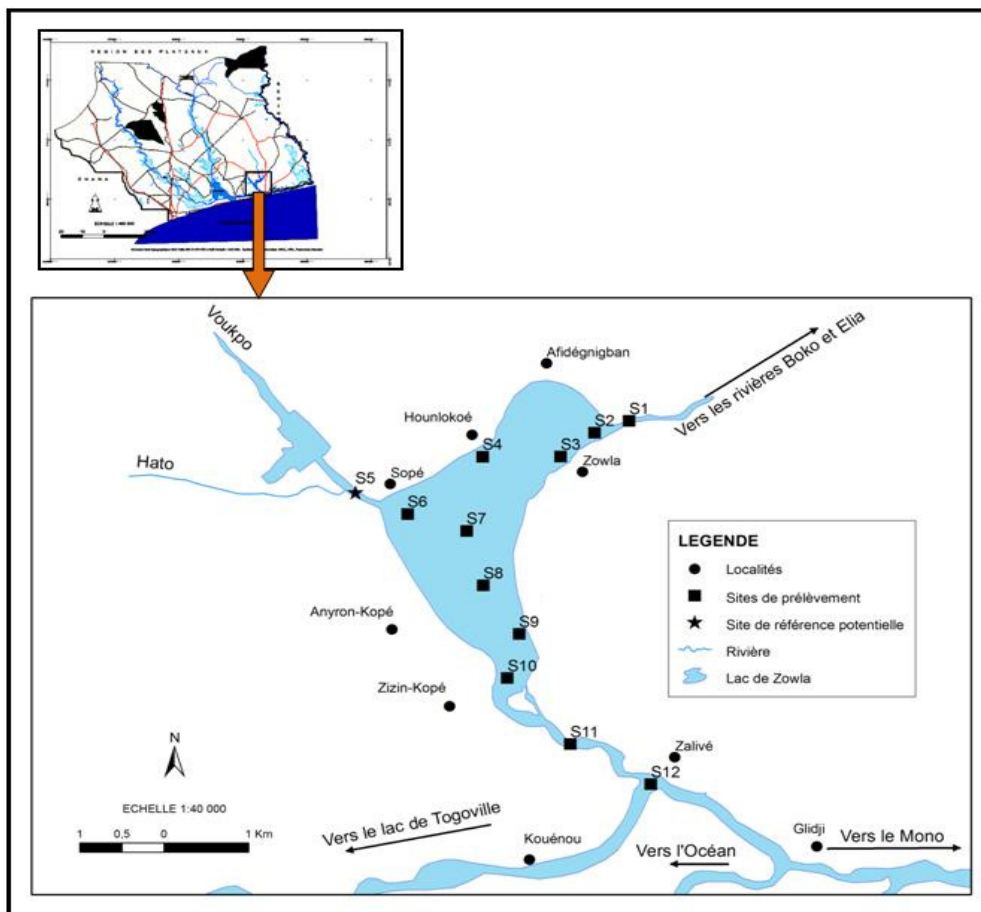


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

Collecte des données : Les données de ce travail proviennent de 12 sites de prélèvement couvrant l'ensemble du lac de Zowla (figure 1). Les paramètres physico-chimiques concernés sont : la température, la conductivité électrique, la turbidité, la zone euphotique, le pH, la salinité, les sels dissous (HCO_3^- , Ca_2^+ , Mg_2^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), les sels nutritifs, (PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^-), le fer, la silice, l' O_2 dissous et l'oxydabilité au KMnO_4 . Les paramètres biotiques étudiés sont la biomasse phytoplanctonique (teneur en chlorophylle *a*) et les abondances des classes phytoplanctoniques recensées.

Pour ce faire, des échantillons d'eau ont été prélevés à 20 cm de la surface et à 20 cm au-dessus des sédiments en Août 2009 correspondant à la petite saison sèche et en Février 2010 correspondant à la grande saison sèche. Les paramètres physico-chimiques ont été déterminés grâce aux méthodes AFNOR (1997). Les teneurs en chlorophylle *a* ont été déterminées par la méthode de Jeffrey et Humphrey (1975) et les abondances des différentes classes d'algues par un dénombrement semi-quantitatif réalisé selon la méthode décrite par Andersen-Leitao et al. (1983). Pour un site donné, les valeurs de la

surface et du fond ont été moyennées car, selon Talling (1992), le phénomène de stratification des eaux ne persiste pas dans les lacs peu profonds sous l'action du vent et la convection fréquente qui affecte la colonne d'eau.

Analyse statistique des données: Dans le but de déterminer la distribution du phytoplancton en fonction des caractéristiques physico-chimique dans le lac de Zowla, une étude statistique par l'ACP (Analyse en Composantes Principales) du programme de traitement statistique Xlstat (Fahmy, 2006) a été effectuée. L'ACP est une technique mathématique qui permet de réduire un système complexe de corrélations en un nombre de dimensions plus faibles. Elle considère simultanément toutes les variables et leurs corrélations, révélant des relations qui ne sont pas souvent évidentes dans les représentations graphiques courantes ou dans les simples corrélations (Lefebvre, 1980). L'ACP se décompose en deux étapes successives : l'analyse des variables et l'analyse des individus (projections des

variables et des individus dans les premiers plans factoriels).

Dans le cadre de cette étude, une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à l'ensemble des données recueillies au niveau des 12 sites de prélèvement en Août 2009 et en Février 2010, soit 18 variables abiotiques (paramètres physico-chimiques) et sept variables biotiques (abondances des classes phytoplanctoniques et leur biomasse). Les valeurs propres associées aux composantes principales en Août et Février indiquent que les trois premières composantes principales F1, F2 et F3 expliquent respectivement 79,98% et 79,75% des variances totales. Mais les informations contenues dans les deux premiers plans factoriels (62,93% pour Août et 63,71% pour Février) se sont avérées suffisantes pour l'analyse. La matrice de corrélation (Pearson (n)) a permis de déterminer les coefficients de corrélation les plus significatifs entre les variables abiotiques et les variables biotiques. Le logiciel utilisé pour la réalisation de cette analyse statistique est le XLStat-Pro version 7.5.2.

RESULTATS

Interrelations entre les variables abiotiques, biotiques et les sites de prélèvement en petite saison sèche :

L'analyse de l'organisation des variables sur les plans factoriels F1xF2 de l'ACP, représentée sous forme de cercle de corrélations (figure 2) a révélé que l'axe factoriel F1 est défini par les éléments de minéralisation. Ce sont la conductivité (Cond), la salinité (TDS) et le magnésium (Mg²⁺) dont les corrélations avec cet axe sont de 0,937, les chlorures (Cl⁻) (0,88), les sulfates (SO₄) (0,901), le calcium (0,902). La composante principale F1 définit donc un gradient de minéralisation, autrement dit d'enrichissement en sels dissous. Elle délimite ainsi un pôle minéral du côté droit. L'axe factoriel F2 est caractérisé par la matière organique (KMnO₄) (0,865), les sels nutritifs à savoir orthophosphates (PO₄) (0,698) et nitrates (NO₃) (0,565), la turbidité (Turb) (0,523). Ces variables décrivent un gradient d'enrichissement en matières organiques et sels nutritifs et sont opposées à la transparence représentée ici par la zone euphotique (Zeup) corrélée négativement avec l'axe factoriel F2 (-0,807). Il délimite en haut un pôle organique. Pour ce qui concerne les relations entre les abondances relatives des différentes classes phytoplanctoniques et les autres variables, la matrice de corrélation de Pearson révèle que l'abondance des Cyanophycées (Dcya) est corrélée significativement et positivement avec l'ammonium (r = 0,518), de même que celles des Conjugatophycées (Dcon) (r = 0,582) et des

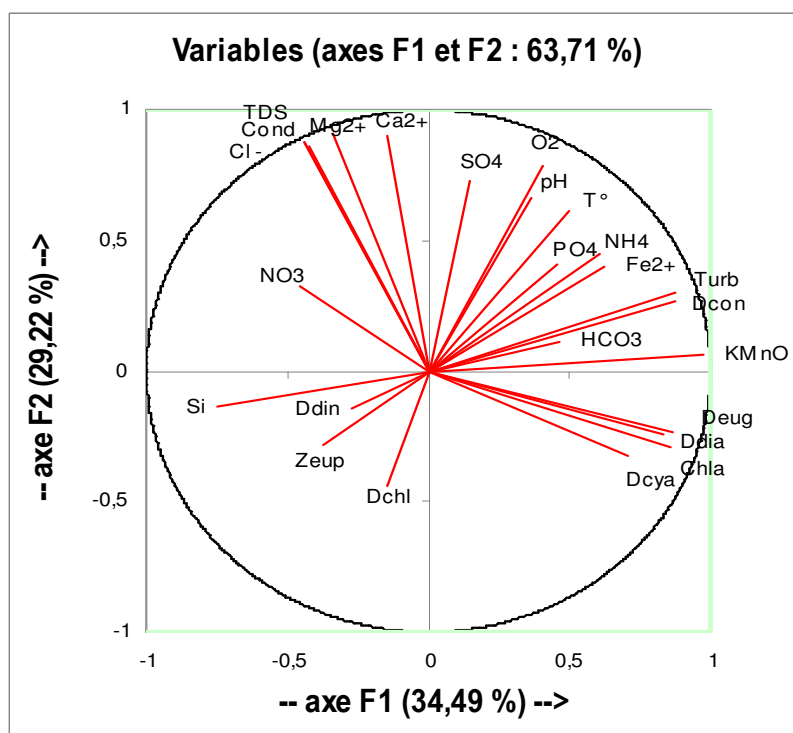
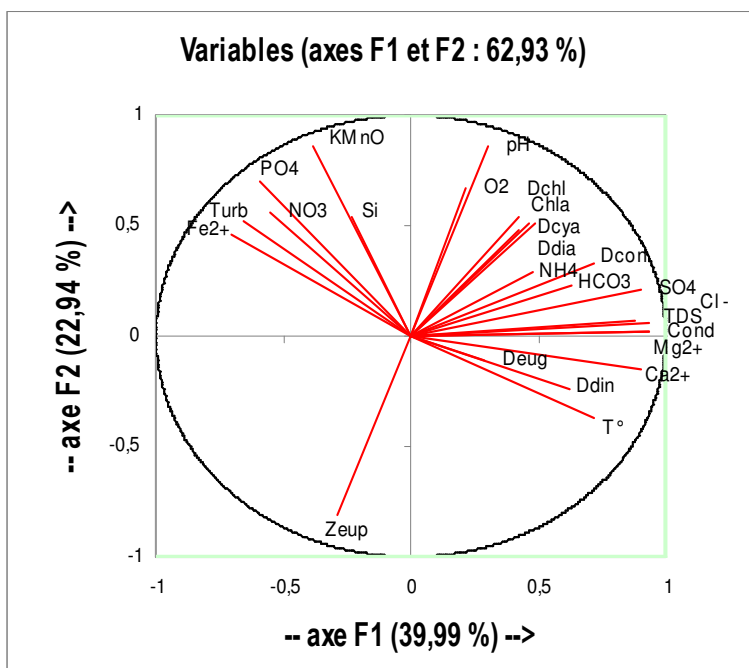
Diatomophycées (Ddia) (r = 0,553). Les abondances relatives des trois classes sont aussi positivement et significativement corrélées avec la teneur en chlorophylle a (Chla) : r = 0,771 avec les Cyanophycées ; 0,539 avec les Conjugatophycées ; 0,855 avec les Diatomophycées et 0,878 avec les Chlorophycées. Les Conjugatophycées sont significativement liées à certains éléments de minéralisation comme le magnésium (r = 0,523), les chlorures (r = 0,522) et les sulfates (r = 0,676). A part la teneur en chlorophylle a, les Chlorophycées ne sont corrélées qu'avec le pH (r = 0,553). Les Dinophycées (Ddin) sont très corrélées avec tous les éléments de minéralisation avec des coefficients de corrélation dépassant 0,7 à l'exception des sulfates avec r = 0,617. Comme on le voit, les Cyanophycées, les Conjugatophycées et les Diatomophycées prolifèrent dans des milieux à forte teneur en ammonium pouvant provenir de la décomposition de la matière organique en cette saison. Mais les Conjugatophycées peuvent se développer dans des milieux minéralisés à l'instar des Dinophycées. Les projections des individus ou sites de prélèvement sur les axes F1 et F2 (figure 3) comparées à celle des variables sur les mêmes axes (figure 2) laissent entrevoir clairement que les sites 3 à 8 coïncident avec le pôle minéral et sont alors soumis à une forte pollution minérale. Mais le site 4 apparaît être le site le plus minéralisé avec la présence de Dinophycées. Le site 5 est celui où prolifèrent plus les Cyanophycées, les

Chlorophycées, les Diatomophycées et les Conjugatophycées avec des teneurs en ammonium assez élevées. Les sites 9 à 12 appartiennent au pôle organique et ont alors un fort taux de matières organiques, d'orthophosphates et de fer qui seraient probablement apportés par le fleuve Mono en période de crue. Ce qui a entraîné une turbidité élevée. Les sites 1 et 2 se révèlent être les moins pollués et les plus transparents. Ainsi, le gradient de minéralisation et le gradient d'enrichissement en matières organiques et sels nutritifs ont permis de différencier au sein de l'écosystème du lac de Zowla trois grands systèmes hydriques. Le premier système hydrique coïncide avec le secteur proche du fleuve Mono ou de la mer. Les sites correspondant sont groupés en haut et à gauche autour de l'axe F1. Ce secteur comprend les sites 9 à 12. Ils seraient à hydrologie fluviale prépondérante, donc sous une grande influence du fleuve Mono qui aurait complètement anéanti l'influence de la mer dont a été souvent sujet le lac en grande saison pluvieuse. Leurs eaux auraient des teneurs en matières organiques, nitrates et orthophosphates très élevées. Le second système hydrique s'apparente au secteur proche des rivières Hato et Voukpo (figure 1). Les sites correspondants se sont retrouvés plus dispersés que ceux du secteur proche de la mer, dans le côté positif de l'axe F1 (figure 3). A ce secteur appartiennent les sites 3 à 8 qui sont dans le prolongement ou plus proches des rivières Hato et Voukpo (figure 1). Ils seraient sujets à une forte pollution minérale. Le troisième système hydrique correspond au secteur proche des rivières Boko et Elia. Les sites lui correspondant sont les sites 1 et 2. Ils se retrouvent dans le côté négatif à gauche de l'axe F2. Ils seraient sous l'influence de ces deux rivières qui auraient apporté moins de matières organiques vers la fin de la grande saison pluvieuse, d'où une faible minéralisation.

Interrelations entre les variables abiotiques, biotiques et les sites de prélèvement en grande saison sèche :

Le cercle de corrélations montrant l'organisation des variables sur les plans factoriels F1xF2 de l'ACP (figure 2) a révélé que l'axe factoriel F1 est cette fois-ci défini par la matière organique (KMnO) (0,977), la turbidité (0,873), le fer (0,625) et le sel nutritif ammonium (0,61). Ces variables décrivent un gradient d'enrichissement en matières organiques et sels nutritifs. L'axe F2 est défini

par des éléments de minéralisation. Il s'agit de la conductivité dont la corrélation avec cet axe est de 0,878 ; la salinité (0,877), le calcium (0,904), le magnésium (0,908), les chlorures (0,858) et les sulfates (0,725). La composante principale F2 définit donc cette fois-ci un gradient de minéralisation ou d'enrichissement en sels dissous. Le pôle minéral et le pôle organique ont alors permuté de place par rapport à la petite saison sèche. La matrice de corrélation de Pearson montre une forte corrélation positive entre les abondances relatives des Conjugatophycées et le fer ($r = 0,725$), les orthophosphates ($r = 0,678$), l'ammonium ($r = 0,902$), la turbidité ($r = 0,962$). Excepté les Chlorophycées et les Dinophycées, les autres classes sont significativement et positivement corrélées avec la matière organique et la chlorophylle *a*. Hormis les bicarbonates provenant de la minéralisation de la matière organique en saison sèche ($r = 0,792$), les Diatomophycées ne sont plus corrélées avec aucun sel dissous. Elles sont aussi corrélées significativement et positivement avec la turbidité ($r = 0,555$). Les projections des individus (sites de prélèvement) sur les axes F1 et F2 (figure 3) comparées à celle des variables sur les mêmes axes (figure 2) montrent que le site 5 et le site 6 sont ceux qui ont connu une plus grande pollution organique. Les Conjugatophycées prolifèrent plus au site 6. Les Cyanophycées, les Euglénophycées et les Diatomophycées se sont plus développées au site 5, y occasionnant du coup une biomasse phytoplanctonique (chl_a) plus élevée. Les sites 9 à 12 coïncident avec le pôle minéral, renferment donc plus de sels dissous et sont alors soumis à une pollution minérale. Les sites 1 et 2 restent toujours les moins pollués. Le gradient de minéralisation et le gradient d'enrichissement en matières organiques et sels nutritifs ont encore permis de différencier au sein du lac de Zowla à peu près les mêmes systèmes hydriques qu'en petite saison sèche, seulement que le secteur proche de la mer (site 7 à 12) serait maintenant sous influence marine et subirait de ce fait une pollution minérale et le secteur proche des rivières Hato et Voukpo (sites 5 et 6) subirait une grande pollution organique occasionnée par les matières organiques et sels nutritifs provenant des rivières Hato et Voukpo (figure 2 et 3). Le secteur proche des rivières Boko et Elia (site 1 à 4), lui, subirait encore une faible pollution minérale et organique.



T° : Température, Cond : Conductivité électrique, Turb : turbidité, Zeup : Zone euphotique, pH : pH, HCO₃ : bicarbonates, Ca²⁺ : Calcium, Mg²⁺ : Magnésium, TDS : Salinité, Cl⁻ : Chlorures, SO₄ : Sulfates, PO₄ : Orthophosphates, NH₄ : Ammonium, NO₃ : Nitrates, O₂ : Oxygène dissous, KMnO : Oxydabilité au KMnO₄, Fe²⁺ : Fer, Si : Silice, Chla : Teneur en chlorophylle a, Abondance des Cyanophycées (Dcya), des Euglénophycées (Deug), des Conjugatophycées (Dcon), des Chlorophycées (Dchl), des Dinophycées (Ddin), des Diatomophycées (Ddia).

Figure 2 : Plan factoriel F1xF2 des variables en Août 2009 (en haut) et en Février 2010 (en bas).

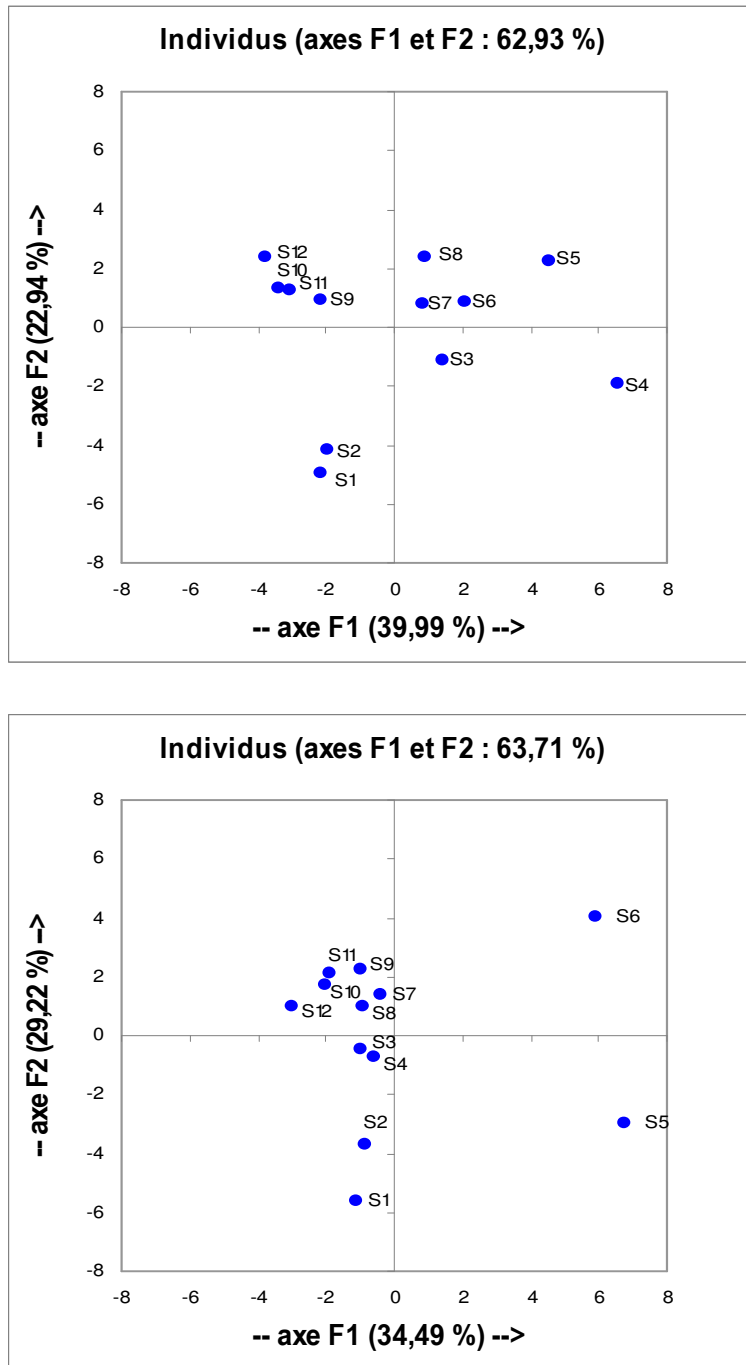


Figure 3 : Plan factoriel F1xF2 des individus en Août 2009 (en haut) et en Février 2010 (en bas).



Pinnularia lata (Diatomophycée)



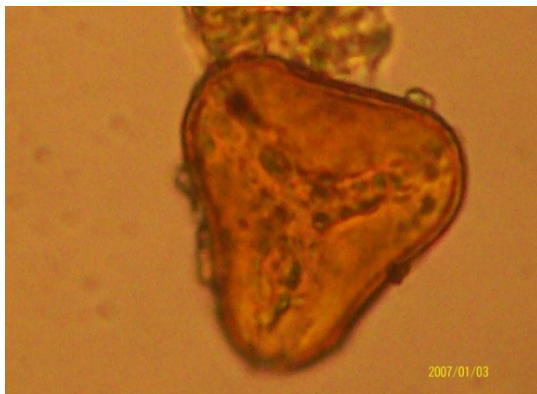
Anabaena affinis (Cyanophycée)



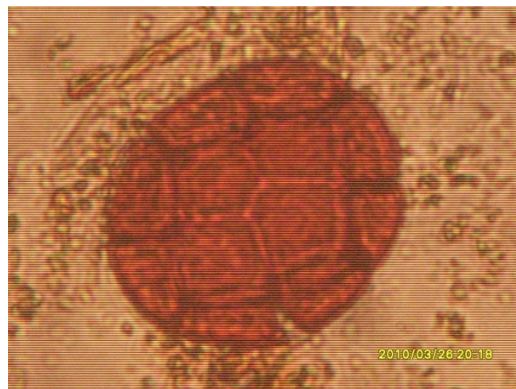
Euglena oxyuris (Euglénophycée)



Actinastrum hantzschii (Chlorophycée)



Staurastrum orbiculare (Conjugatophycée)



Peridinium sp (Dinophycée)

Figure 4 : Quelques espèces phytoplanctoniques.

DISCUSSION

L'analyse de l'organisation des variables sur les plans factoriels F1xF2 de l'ACP, représentée sous forme de cercle de corrélations en Août (figure 2) a révélé que l'axe factoriel F2 est défini par la matière organique, les sels nutritifs (orthophosphates et nitrates). Cela montre que ces différents éléments auraient une même origine en cette saison. Aussi, les projections des individus ou sites de prélèvement sur les axes F1 et F2 (figure 3) avaient-elles montré que les sites 9 à 12 par où le fleuve Mono

rentre en contact avec le lac, sont les sites qui ont un fort taux de matières organiques, d'orthophosphates, de nitrates et de fer. Ces différents éléments seraient alors probablement apportés par le fleuve Mono en période de crue pendant cette saison (Atanlé et al, 2012). La forte corrélation positive de la matière organique et du fer avec la turbidité montre que cette dernière est due aux fortes teneurs en matières organiques et fer particulière en suspension dans l'eau. C'est d'ailleurs la raison pour

laquelle la transparence représentée ici par la zone euphotique est corrélée négativement avec cet axe. Une forte turbidité diminue alors la transparence de l'eau. Les orthophosphates et les nitrates proviendraient des engrais utilisés en agriculture en amont et autour du fleuve Mono. L'entrée de l'eau douce du Mono a alors dilué de façon considérable l'eau au niveau de ces sites. Ce qui a fait que le pôle minéral se retrouve alors loin, principalement au niveau des sites 4 et 5 (figures 2 et 3). Cette minéralisation pourrait provenir de la dégradation de la matière organique apportée vers ces sites à la fin de la grande saison pluvieuse.

De fortes corrélations positives ont été établies entre la chlorophylle *a* et les abondances des Cyanophycées, des Diatomophycées et des Chlorophycées. Ces classes contribueraient donc plus à la biomasse phytoplanctonique de l'eau du lac évaluée à partir de la teneur en chlorophylle *a*. Les Dinophycées sont très corrélées positivement avec tous les éléments de minéralisation avec des coefficients de corrélation dépassant 0,7. Ce qui est en parfaite harmonie avec les travaux de Benabdellouahad (2006). En effet, selon cet auteur, les plus fortes densités cellulaires de cette classe d'algues concordent très bien avec les salinités les plus élevées; c'est le groupe le plus important des microalgues marines. Pour Peña et Pinilla (2002), les Dinoflagellés (dinophycées) sont mieux adaptés à des environnements océaniques. C'est d'ailleurs ce qui explique la présence de Dinophycées au site 4, le plus minéralisé au cours de cette saison. En grande saison sèche, c'est plutôt l'axe factoriel F1 qui est caractérisé par la matière organique et sels nutritifs (figure 2). Les projections des individus ou sites de prélèvement sur les axes F1 et F2 (figure 3) montrent que les sites 5 et 6 par où les rivières Hato et Voukpo débouchent dans le lac sont les sites qui ont un fort taux de matières organiques. La matière organique au cours de cette saison serait alors apportée par ces deux rivières. Les mêmes projections montrent que les sites les plus minéralisés se situent du côté de la mer. La tendance de la petite saison sèche est alors inversée au cours de cette saison. Le cercle de corrélation (figure 2) montre que la matière organique représentée par l'oxydabilité au KMnO_4 est toujours corrélée très positivement avec la turbidité et très négativement avec la transparence représentée par la zone euphotique.

Pour ce qui concerne la corrélation entre les variables environnementales et les variables biologiques, la matrice de corrélation de Pearson révèle qu'en grande saison sèche, il existe une forte corrélation positive entre la densité des Diatomophycées et la turbidité. Mais à part

les bicarbonates provenant de la minéralisation de la matière organique (Sane, 2006), les Diatomophycées n'ont plus de corrélation très positivement significative avec les autres sels dissous. Benabdellouahad (2006) a fait la même observation dans l'estuaire du Bou Regreg au Maroc. Selon ce chercheur, les Diatomophycées foisonnent dans les eaux les plus dessalées beaucoup plus turbides et avec de grands taux de nutriments. La même constatation a été faite par Corchuelo et Moreno (1983), puis par Castillo (1984). Selon ces auteurs, les Diatomées prolifèrent dans des environnements plutôt côtiers qu'océaniques. Cette turbidité élevée serait due à l'abondance de la matière organique particulaire en suspension dans l'eau. C'est cette raison qui justifierait la forte corrélation positive des Diatomophycées avec la matière organique en même temps qu'avec la turbidité pendant cette saison.

L'étude a montré qu'en petite et grande saison sèche, le secteur proche des rivières Boko et Elia subira toujours une faible pollution minérale et organique. En effet, selon Lavoie et al. (2008), les sites ayant les plus faibles concentrations en nutriments et / ou les plus faibles charges en matières organiques sont considérés comme étant représentatifs des conditions de référence des cours d'eau, donc moins pollués. Dans le cas contraire, ils sont représentatifs des conditions de dégradation, donc plus pollués. Toujours selon eux, les écosystèmes de référence peuvent avoir été altérés par les activités anthropiques, mais dans une moindre mesure que les sites les plus dégradés. C'est ainsi que, durant les deux saisons, le secteur proche des rivières Elia et Boko serait considéré comme un secteur représentatif des conditions de référence du lac. Par contre, les secteurs proches de la mer et des rivières Hato et Voukpo seraient les plus dégradés, soit par la pollution minérale, soit par la pollution organique. Benabdellouahad (2006) a, pour sa part, différencié au sein de l'estuaire du Bou Regreg au Maroc deux grands systèmes hydriques présentant aussi des variations clairement marquées en terme de minéralisation et de concentration en matière organiques et sels nutritifs: le secteur aval à grande pollution minérale, plus proche de l'océan et sous influence marine, puis le secteur amont sous influence du Bou Regreg, sujet à une pollution organique permanente.

S'agissant de la distribution du phytoplancton, au site 5 abondent en grande saison sèche les Cyanophycées, les Euglénophycées et les Diatomophycées (figure 2 et 3). Au site 6, ce sont les Conjugatophycées qui dominent. Dans tous les cas, la plupart des classes phytoplanctoniques recensées en cette saison ont tendance à abonder autour de la matière organique et

sels nutritifs et non autour des autres éléments de minéralisation. C'est pour cette raison qu'en petite saison sèche, la plupart des individus des classes phytoplanctoniques tendent à quitter le nouveau pôle minéral pour se diriger vers le nouveau pôle organique. En fait, des travaux ont montré que la composition des communautés algales change dans le temps, en réponse aux variations saisonnières des conditions environnementales (Smayda, 1980 ; Jones et al., 2001,

Sakka Hlaili et al., 2007). En petite saison sèche, les Chlorophycées qui semblent se diriger aussi vers le pôle organique n'ont pas d'affinité avec la matière organique en grande saison sèche. De plus, en cette petite saison, elles ne sont corrélées positivement de façon significative qu'avec le pH comme variable physico-chimique. Cette classe est alors composée d'espèces indifférentes qui jouissent d'une extrême plasticité écologique (Philippe, 1967 ; Benabdellouahad, 2006).

CONCLUSION

Les résultats de cette étude indiquent qu'en petite et grande saison sèche, l'écosystème du lac de Zowla est subdivisé en trois grands systèmes hydriques. Les apports du Mono en petite saison sèche, ceux de la mer et des rivières Hato et Voukpo en grande saison sèche sont les principales causes de dégradation de la qualité de l'eau du lac. Les trois systèmes hydriques sont représentés par le secteur proche de la mer, celui proche des rivières Hato et Voukpo, et celui proche des rivières Boko et Elia. Les secteurs les plus altérés sont ceux proches de la mer et des rivières Hato et Voukpo. Le

secteur proche des rivières Boko et Elia est représentatif des conditions de référence pour la restauration du lac. L'étude a aussi permis de démontrer qu'excepté les Dinophycées, la plupart des classes phytoplanctoniques recensées ont une grande affinité pour la matière organique. Mais une grande abondance des Conjugatophycées et des Diatomophycées est indicatrice d'une pollution du milieu en ammonium et celle des Dinophycées indicatrice d'une intense minéralisation du milieu. Les Chlorophycées jouiraient d'une extrême plasticité écologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR, 1997. Qualité de l'eau (Tome 2), Méthodes d'analyse 1 : Analyse organoleptique, mesures physico-chimiques, paramètres globaux, composés organiques (2^e édition). AFNOR : Paris.
- Andersen-Leitao MP, Lassus P, Maggi P, La Baut C, Chauvin J, Truquet P, 1983. Phytoplancton des zones mytilicoles de la baie de vilaines et intoxication par les coquillages. Rev. Trav. Inst. Péc. Mari. 46 (3) : 233-266.
- Atanlé K, Bawa ML, Kokou K, Djanéyé-Boundjou G, 2012. Caractérisation physico-chimique et diversité phytoplanctonique des eaux du lac de Zowla (Lac Boko), Togo. Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(1): 543-558.
- Azam Fet Malfatti F, 2007. Microbial Structuring of marine ecosystems. Nature Reviews Microbiology 5: 782-791.
- Behrenfeld M J, Randerson JT, McClain CR, Feldman GC, Los SO, Tucker CJ, Falkowski PG, Field CB, Frouin R, Esaias WE, Kolber DD, Pollack NH, 2001. Biospheric primary production during an ENSO transition. Science 291: 2594-2597.
- Benabdellouahad S, 2006. Structure, dynamique et typologies physico-chimiques et phytoplanctoniques de l'estuaire du Bou Regreg (Côte atlantique marocaine). Thèse de Doctorat, Université Mohammed V-Agdal de Rabat (Maroc), 252 p.
- Castillo F, 1984. Fitoplancton del Pacífico colombiano como indicador de masas de agua (ERFEN IV). Biología Pesquera 13: 67-70.
- Chikhaoui MA, Hlaili AS, Mabrouk HH, 2008. Réponses saisonnières du phytoplancton aux rapports d'enrichissements N:Si:P dans la lagune de Bizerte (Sud-Ouest de la Méditerranée). Comptes Rendus Biologies 331: 389-408.
- Chisholm SW, 1995. The iron hypothesis: Basic research meets environmental policy. Reviews of Geophysics 33: 95RG00743.
- Corchuelo M et Moreno G, 1983. Contribución al conocimiento del fitoplancton y algunos tintinidos del Pacífico colombiano. Tesis (Biólogo Marino), Facultad de Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá (Colombie), p. 186.
- Fahmy T, 2006. www.xlstat.com/Addinsoft, 1993-2006.
- Gulati RD et Van Donk E, 2002. Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state- of- the- art review. Hydrobiologia 478: 73-106.
- Jeffrey SW et Humphrey G F, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants,

- algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen* 167: 191-194.
- Jiang J-G et Shen Y-F, 2006. Estimation of the natural purification rate of a eutrophic lake after pollutant removal. *Ecological Engineering* 28: 166-173.
- Jones AB, O'Donohue MJ, Udy J, Dennison WC, 2001. Assessing ecological impacts of shrimp and sewage effluent: biological indicators with standard water quality analyses, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 52: 91-109.
- Lavoie I, Hamilton PB, Campeau S, Grenier M, Dillon PJ, 2008. Guide d'Identification des Diatomées des Rivières de l'Est du Canada. Presse de l'Université du Québec, 241 p.
- Lefebvre JC, 1980. Introduction to Multidimensional Statistical Analysis (2nd edn). Masson : Paris, 259p.
- Peña V et Pinilla GA, 2002. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37 (1) : 67 - 81.
- Philippose MT, 1967. Chlorococcales. I.C.A.R.: New Delhi, p. 365.
- Rolland A, 2009. Dynamique et diversité du phytoplancton dans le réservoir Marne (Bassin versant de la Seine). Thèse de doctorat, Université de Savoie, France, p. 236.
- Sakka Hlaili A, Grami B, Hadj H, Mabrouk, Gosselin M, Hamel D, 2007. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing rates in a restricted Mediterranean lagoon (Bizerte Lagoon, Tunisia). *Mar. Biol* 151: 767-783.
- Sane S, 2006. Contrôle environnemental de la production primaire du lac de Guiers au Nord du Sénégal. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 187 p.
- Smayda TJ, 1980. Phytoplankton species succession. In *The Physiological Ecology of Phytoplankton, Studies in Ecology*, Morris I (ed). Blackwell Publisher: Oxford UK 493-570.
- Talling JF, 1992. Environmental regulation in African shallow lakes and wetlands. *Rev.hydrobiol. trop.* 25 (2): 87-144.
- Xie L et Xie P, 2002. Long-term dynamics of phosphorus in a shallow, subtropical chinese lake with the possible effects of cyanobacterial blooms. *Water Res.* 36: 343-349, 1956-1999.