



EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR LA QUALITE DE L'EAU ET LA PROLIFERATION TOXIQUE DES CYANOBACTERIES DU LAC KARAOUN (LIBAN)

SLIM K.^{1,2}, ATOUI A.², ELZEIN G.³, TEMSAH M.¹

¹Université Libanaise, Faculté des sciences, Beyrouth, Liban

²Commission Libanaise de l'Energie Atomique (CLEA)

CNRS P.O. Box 11-8281 Beyrouth, Liban

³Université Libanaise, Faculté des Sciences Zahlé, Liban

kslim@cnrs.edu.lb ; a.atoui@cnrs.edu.lb ; elzeingh@ul.edu.lb

mirvattensah@yahoo.fr

RESUME

La région du Proche-Orient subit d'ores et déjà les effets graduels du dérèglement climatique et sera parmi les régions les plus vulnérables dans les prochaines décennies. En conséquence, la productivité agricole devrait subir des pertes en raison des températures élevées, de la sécheresse, des inondations et de la dégradation des sols ce qui menacera la sécurité alimentaire des pays levantins. L'eau en tant qu'un facteur critique, une modification même légère des régimes des précipitations aura un impact considérable. Il a été prouvé que les changements climatiques potentiels sont susceptibles de perturber la plupart des écosystèmes aquatiques par la réduction du débit des rivières et par conséquent les écosystèmes stagnants. Les biocénoses vivant dans ces écosystèmes répondent par un bouleversement qualitatif et quantitatif. Dans ce contexte, l'impact de ce dérèglement a été sentie dans le lac Karaoun (Liban) dont l'apogée s'est produite en 2009-2010 avec des pics de températures estivales dépassant les 40° c et caractérisées par une longue période de sécheresse. Ce stress hydrique a eu comme conséquence l'augmentation du taux d'évaporation et la réduction du volume du lac. Ce dernier a été aussi affecté par des agressions anthropiques diverses : charges élevées d'eaux résiduaires, industrielles, fertilisants... favorisant l'installation des efflorescences cyanobactériennes.

La biodiversité du lac Karaoun depuis sa mise en eau était caractérisée par une microflore algale très riche avec une prédominance en diatomées et en chlorophycées. L'apparition des blooms ont changé graduellement cette richesse et des taxons, recensées pour la première fois au Liban, telles que *Microcystis aeruginosa* Kütz et *Aphanizomenon ovalisporum* Forti, ont provoqué la dégradation de la qualité des eaux.

Mots Clés : réchauffement climatique, cyanobactérie, température, bloom, lac Karaoun

ABSTRACT

The Near East region already suffers from the effects of gradual climate change and will be among the most affected regions to climate change in the future. Consequently, productivity in agriculture is expected to decrease due to high temperatures. In addition, drought, floods and soil degradation will threaten the food security in the Eastern Arabic countries. Water is considered as the critical factor in this region; slight changes in rainfall patterns will have considerable impact. It has been proved that potential climate changes are likely to disrupt most ecosystems through changes in their physicochemical conditions and the population organisms living in these ecosystems. In this context the assessment of impacts on populations and phytoplankton communities has been studied in Lake Karaoun beginning of 1992. The Lake Karaoun was characterized by a diversified algal microflora with the existence of 98 species of phytoplankton and the predominance of about sixty species of diatoms mainly *Aulacoseira granulata* accompanied by a high concentration of dinoflagellates *Ceratium hirundinella*. Regional changes in climate and the increasing anthropogenic activities have deeply affected this ecosystem. Excessive external inputs of nutrients (phosphorus and nitrogen) from domestic sewage, the discharge of industrial waste in the Litani river as well as intensive agricultural practices led to eutrophication. The physico-chemical studies showed a deterioration of water quality defined by high levels of eutrophic elements (nitrates and nitrites) and changes in phosphate concentrations (0 to 7.4mg / l) in relation to cyanobacterial bloom populations. In spring 2009 the occurrence of *Aphanizomenon ovalisporum* Forti for the first time in Karaoun Lake marked the beginning of cyanobacteria blooms formation. During summer and with rising temperatures (between 25 and 32 ° C), *A. ovalisporum* disappears completely and was replaced by *Microcystis aeruginosa*. The end of 2009 was marked by the reappearance of *Ceratium hirundinella* and the persistence of *M. aeruginosa*. In spring 2010, the lake resumed its volume after years of water shortage; biodiversity

has emerged with the presence of a dozen species of Chlorophyceae such as: *Pediastrum duplex* Meyen, *P. boryanum*, *Micrasterias* sp., *Coelastrum microporum* Nag and the dominance of *Staurastrum manfeldtii* Delponte. In this period cool temperatures did not favor the presence of cyanobacteria species. In summer 2010 increasing water temperatures (between 30 and 35 ° C) promoting blooms of unusual *M. aeruginosa* kütz and leading to cyanotoxin production (16 µg/l of microcystin LR).

Keywords: Climate change, cyanobacteria, temperature, bloom, lake Karaoun

INTRODUCTION

Les blooms de cyanobactéries reflètent l'augmentation du phénomène d'eutrophisation dans plusieurs lacs et réservoirs dans différents pays du monde (Paerl *et al.* 2001). La présence des espèces toxiques dans les eaux destinées à l'alimentation, l'irrigation et aux activités récréatives pose de graves problèmes pour la santé humaine et l'agriculture puisqu'elles produisent des substances hydrosolubles qui sont potentiellement hépatotoxiques et/ou neurotoxiques (Carmichael, 1994).

Les proliférations des blooms cyanobactériens sont le plus souvent associées à trois facteurs principaux (Brient *et al.*, 2000) :

- Des concentrations élevées en nutriments dont le phosphore et/ou l'azote qui sont souvent les éléments nutritifs limitant dans le plan d'eau
- Les conditions météorologiques favorables : luminosité et température
- Le zooplancton qui exerce une pression sélective et régule leur croissance via le broutage.

Avec son seul édifice, le barrage de Karaoun, le Liban qui jouissait auparavant d'une richesse hydrique abondante, a subit en cette dernière décennie, des vagues de sécheresse extrêmes et persistantes comme la plupart des pays du Proche-Orient entraînant de graves pénuries d'eau et des perturbations des régimes hydriques.

Dans la littérature, les principaux travaux relatifs à l'eutrophisation du lac karaoun ont été effectués par Jurdi *et al.* (2001), Shaban *et al.* (2006) et Saad *et al.* (2006).

L'apparition des blooms toxiques à cyanobactéries a été ressentie pour la première fois au Liban à partir d'Avril 2009 coïncidant avec des températures élevées

(entre 30° et 40°C). Durant ce mois, *Aphanizomenon ovalisporum* présentait des blooms spectaculaires qui a disparu en été et remplacée par *Microcystis aeruginosa*. Les successions périodiques de ces deux dernières espèces ont masqué le développement des espèces phytoplanctoniques caractéristiques du lac. Les études se rapportant aux cyanobactéries toxiques du Levant sont surtout effectuées au lac Tibériade, le lac le plus proche du barrage Karaoun parmi lesquelles nous citons les travaux de Pollingher et al. (1998), Gophen et al. (2000) et Zohary et al. (2010). Notre étude, réalisée sur ce site de choix, a le mérite de suivre la composition du phytoplancton en général et de cerner la présence des espèces de cyanobactéries, potentiellement toxiques et en particulier *Microcystis aeruginosa* et *Aphanizomenon ovalisporum* et de déterminer les principaux facteurs abiotiques responsables de leur répartition.

MATERIEL ET METHODES

Caractéristiques du lac

Le fleuve Litani, long de 170 km, est le principal cours d'eau libanais contribuant à 25% de la ressource en eau du pays. Son bassin versant occupe le cinquième de la superficie du Liban de l'Est jusqu'au Sud où il se déverse en Méditerranée (figure 1). Sur son parcours s'est établi en 1958 le lac Karaoun, qui constitue la pièce maîtresse du développement économique de la Békaa et du Sud-Liban en tant que clé de voûte des projets d'irrigation et de production hydroélectrique. Les caractéristiques morphométriques du lac sont rapportées dans le tableau 1.

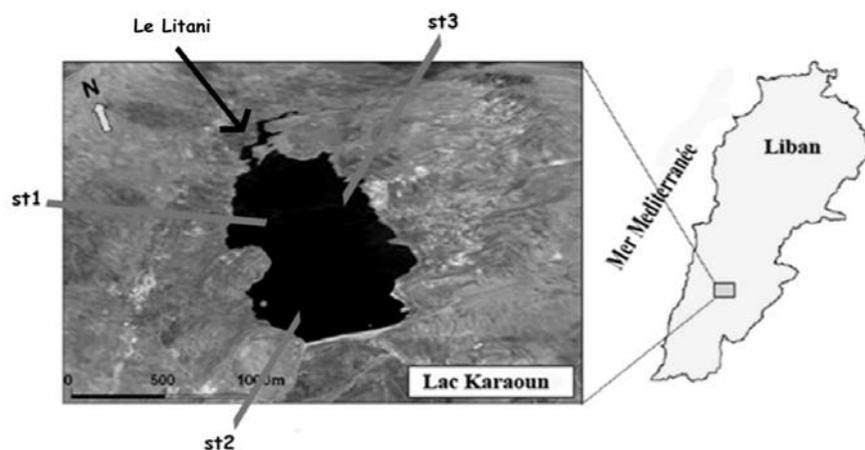


Figure 1: Carte du lac Karaoun

Tableau 1: Caractéristiques morphométriques du Lac Karaoun

Longueur du lac	12 Km
Cote maximale	858 m
Superficie de la retenue	12,3 km ²
Volume de la retenue	220 Mm ³
Profondeur maximale	58 m
Longueur du barrage	1100 m
Evacuateur de crues	6503 m
Hauteur du barrage	64 m
Largeur	162 m
Débit moyen du fleuve en amont du lac (Novembre-Avril)	8 m ³ /s

Sites et prélèvement

Durant les années 2009-2010, des prélèvements mensuels ont été effectués dans trois stations situées à l'amont du lac, (1) à Bab Mareh, (2) en aval au voisinage du barrage et (3) sur la rive Est qui draine les eaux usées du village Karaoun. Des

flocons de 1L ont été utilisés pour les prélèvements destinés aux analyses physico-chimiques, à la chlorophylle et aux cyanotoxines. L'étude du phytoplancton a été effectuée à partir des prélèvements au filet à plancton.

Méthodes d'analyses

Les paramètres physico-chimiques ont été déterminés suivant les méthodes décrites par Rodier(1996). La conductivité électrique, le TDS, l'oxygène dissous et le pH, ont été mesurées respectivement à l'aide d'une conductivité de type WTW LF 90 et pH mètres WTW 90.

La transparence de l'eau est mesurée par le disque de Secchi. Les analyses des toxines de *Microcystis* sp. ont été effectuées par le HPLC- PDA. et le dosage de la chlorophylle-a est effectué selon la méthode SCOR-Unesco (1966)

DONNEES CLIMATIQUES ET CONSEQUENCES SUR LES RESSOURCES EN EAU

Selon la classification de Köppen, le Liban se classe dans la zone C_s: climat tempéré chaud et sécheresse estivale (Baldy, 1959). Les relevés météorologiques au niveau du lac Karaoun, définissent la région prospectée comme étant à climat semi-humide hivernale et semi-aride en été. Le réchauffement climatique a été ressenti au Liban au cours de la dernière décennie et surtout en 2010. Le taux de précipitations à travers tout le pays étant estimé à 873mm pour la période de 1890 à 1963 (Mudalal, 1989), plusieurs auteurs prévoient que les précipitations se réduiront de 150 mm au-dessous de la moyenne (khawlie, 2000) et que les ressources en eau (Bakalowicz, 2009) devraient diminuer de 6 à 8% en volume pour un accroissement annuel de 1°C. Une autre conséquence devrait être la réduction de la durée de l'enneigement qui se traduirait par un raccourcissement de 1 à 3 semaines réparties entre le début et la fin de la saison d'enneigement.

Les fluctuations des taux de précipitations des années 2009-2010 ont été frappantes (figure 2) : en 2009, de fortes pluies torrentielles sont tombées (822 mm) suivies en 2010 par une année de sécheresse aigue avec seulement 330mm (janvier et février 317mm). Les températures ont la même tendance avec les moyennes respectives en 2009 (23,2° C) et en 2010 (25,8° C) (Figures 3 et 4). La sécheresse qui sévit en cette période au Liban et dans les pays limitrophes a eu des conséquences dramatiques ; en plein mois de novembre le climat ressemble à celui d'un printemps chaud et le lac Karaoun a perdu 10m de hauteur (CAL 2001). Les températures

Effets des facteurs environnementaux sur la qualité de l'eau et la prolifération toxique des cyanobactéries du lac Karaoun (Liban)

estivales ont enregistré des pics en août avec 43°C et l'élévation des températures a persisté même en octobre 2010 (DGA 2006).

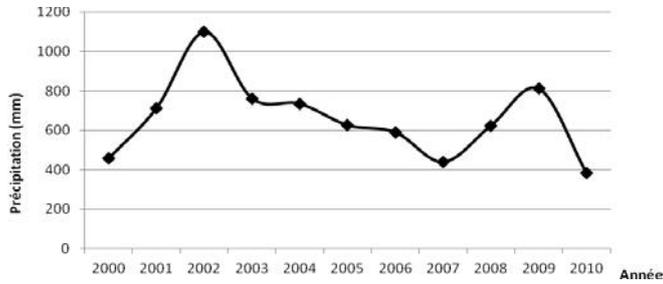


Figure 2 : Evolution des précipitations annuelles (en mm) du Lac Karaoun entre 2000 et 2010.

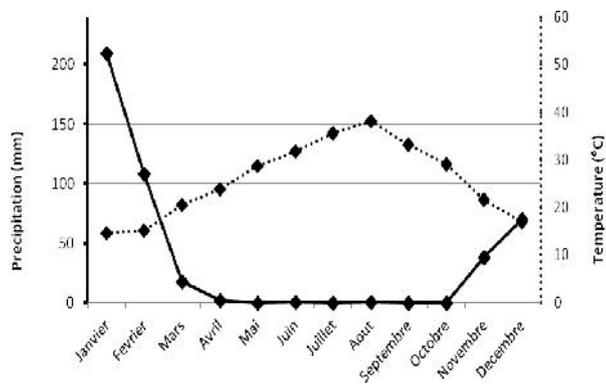


Figure 3 : Diagramme ombrothermique du lac Karaoun (2010)

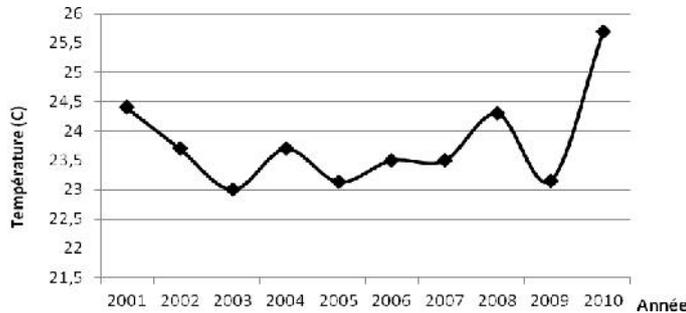


Figure 4 : Evolution des températures moyennes au lac Karaoun entre 2001 et 2010

RESULTATS

Sources de pollution

Du fait de sa situation, le lac étudié est confronté à différentes sources de pollution qui menacent la qualité de ses eaux :

- a) Le rejet des eaux usées d'une dizaine de villages directement dans la retenue par manque d'un système d'assainissement.
- b) Le rejet de déchets des zones industrielles dans le bassin versant et notamment des usines de papeteries, du sucre, de tanneries, agro-alimentaires...
- c) Une pollution agricole intense générée par une agriculture familiale de substances dominées par la céréaliculture et la viticulture.

En période estivale, le Litani se transforme en véritable égout à ciel ouvert dont le lac karaoun est le réceptacle.

Les variations des paramètres physico-chimiques (valeurs minimales et maximales) sont représentées dans le tableau 2.

Nos résultats ont montré une dégradation de la qualité des eaux définie par des teneurs élevées en éléments eutrophisants (nitrates et nitrites) et des fluctuations des concentrations en phosphates (0 à 7,4mg/l). L'absence des orthophosphates ($PO_4 - 1$) dans l'eau en période estivale ne reflète nullement la concentration réelle. Nous estimons que le phosphore est sûrement présent dans l'eau à cause des phénomènes anthropiques, les cyanobactéries ont les capacités d'absorber et de stocker ces

éléments nutritifs (Sbiyyaa et al., 1998). En certains périodes de l'année, des teneurs élevées en métaux lourds : mercure (2,2 µg/l) et plomb (32,5 µg/l) ont été détectées (Saad et al., 2005).

La transparence de l'eau mesurée par le disque de Secchi a montré des valeurs entre 40-60cm lors du développement des blooms et 160cm en période hivernale tandis que les valeurs de la chlorophylle-a (12 et 23µg/l) et de la microcystine L-R (4 et 16µg/l) indiquent des risques pour la santé humaine et sont responsables de mortalités de poissons et d'oiseaux migrateurs.

Tableau 2 : Qualité de l'eau du lac Karaoun (2010)

	ST1	ST2	ST3
T ° (eau)	8 \ 24	10 \ 26	10 \ 26
T ° (air)	12 \ 40	11 \ 40	13 \ 38
pH	7,1 \ 8,4	7,2 \ 8,9	7,4 \ 8,8
cond. (µs.cm ⁻¹)	345 \ 835	267 \ 750	320 \ 860
TDS (mg.l ⁻¹)	160 \ 280	159 \ 598	311 \ 559
O ₂ (mg.l ⁻¹)	3,26 \ 8,78	3,11 \ 11,25	4,22 \ 7,61
NO ₂ (mg.l ⁻¹)	0,25 \ 2,42	0,07 \ 0,1	0,73 \ 1,63
NO ₃ (mg.l ⁻¹)	0,9 \ 6,78	1,2 \ 5,8	2,4 \ 6,22
PO ₄ (mg.l ⁻¹)	0,1 \ 7,4	0,2 \ 6,2	0,1 \ 3,8
SO ₄ (mg.l ⁻¹)	4,7 \ 38,7	3,2 \ 19,6	4,6 \ 38,2
Cl ⁻ (mg.l ⁻¹)	24,5 \ 75,6	18,2 \ 48,2	22,1 \ 63,3
Transparence(m)	0,4 \ 1,6	0,8 \ 2	0,35 \ 1,2
Cha (µg.l ⁻¹)	12 \ 23	10 \ 12	13 \ 22
Microcystine LR(µg.l ⁻¹)	6 \ 8	6 \ 10	8 \ 16

Panorama de la microflore algale

La contamination du lac Karaoun par les efflorescences à cyanobactéries est récente et s'est produite à partir du printemps 2009. L'état écologique du lac depuis sa mise en eau était satisfaisant et se plaçait dans la catégorie des eaux oligotrophes à légèrement eutrophes se traduisant par une biodiversité algale riche et variée (Saad et al., 2005). On note l'existence de 98 espèces du phytoplancton et la prédominance de 68 espèces de diatomées et spécialement *d'Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim accompagnée d'une forte concentration de la dinophycée *Ceratium hirundinella*

O.F.Muller. Ce dernier taxon a disparu complètement l'année suivante. Ce phénomène semble être attribué aux perturbations climatiques qui sévissaient en cette période : sécheresse, baisse dans l'approvisionnement en eau ; le volume du barrage atteignait un niveau critique (29 millions de m³) au-dessus de la ligne rouge (40 millions de m³) (Saad et al., 2005; Slim, 1996)

La dégradation de la qualité des eaux s'est produite à partir de 2009 tant physico-chimiques que microfloristique. L'occurrence d'*Aphanizomenon ovalisporum* Forti apparue pour la première fois au Liban, a marqué le début de la formation des blooms cyanobactériens. En période estivale et avec l'élévation des températures (entre 25 et 32°C), *A. ovalisporum* disparaît complètement et sera remplacée par *Microcystis aeruginosa* Kütz. La fin de 2009 a été marquée par la réapparition de *Ceratium hirundinella* et la persistance de *M. aeruginosa*. Au printemps 2010, le lac a repris son volume après les années de pénurie hydrique; une biodiversité est apparue avec la présence d'une dizaine d'espèces de chlorophycées telle que *Pediastrum duplex* Meyen, *P. boryanum* (Turp) Meneghini, *Micrasterias* sp., *Coelastrum microporum* Nag et la prédominance de *Staurastrum manfeldtii* Delponte. Les températures fraîches n'ont pas favorisé la présence des espèces cyanobactériens. En début d'été, les températures ont été très élevées (entre 30 et 35°C) favorisant des blooms inhabituels de *M. aeruginosa* et la production de toxines très denses (16 µg/l de microcystine L-R)

A partir de la mi-décembre 2010, de fortes pluies se sont abattues sur la région du Proche-Orient (450mm) reconstituant les réserves hydriques du pays et avec des températures au-dessous de 10°C, des populations de *Peridinium gatunense* Nygaard sont apparues pour la première fois au Liban accompagnées de *Ceratium hirundinella* et d'*Aulacoseira granulata*.

Changements climatiques et occurrence des cyanobactéries

La dernière étude du Groupe International d'Etude sur le Climat(GIEC) a précisé que le réchauffement climatique causé par l'activité humaine produisait des effets à long terme sur l'environnement (GIEC 2007). Les impacts sur les hydrosystèmes sont :

- L'augmentation du ruissellement du débit printanier des rivières
- Le réchauffement des lacs et rivières
- Une augmentation de la fréquence des précipitations abondantes pendant une courte période de l'année (2 mois).

Ces éléments modifieront la qualité des eaux de surface, ce qui pourrait avoir des impacts sur la prolifération des cyanobactéries toxiques. En effet, l'augmentation de

la température favorise le développement des cyanobactéries qui sont avantagées par les eaux calmes et par des concentrations de nutriments élevées.

Elliott et al. (2007)) ont utilisé un modèle en vue de simuler le comportement du phytoplancton par des températures élevées. Ils concluent que les cyanobactéries ont le potentiel de dominer la communauté phytoplanctonique à des températures élevées combinée avec une bonne disponibilité de substances nutritives.

Un groupe de chercheurs aux Pays - Bas (Mooij et al., 2007) étudie l'impact des changements climatiques sur l'écosystème des lacs peu profonds en zone tempérée. Ils concluent que des températures élevées sont responsables de la transparence de l'eau, augmenter l'apport externe de nutriments, de la concentration de la chlorophylle-a et finalement, favoriser la dominance des cyanobactéries.

Etudiant la prolifération récente de *Cylindrospermopsis raciborskii*(Wolsz.) Seenaya, originaire des tropiques, Wiedner et al. (2007) concluent que la hausse hâtive des températures au printemps (environ 30 jours) favorise l'établissement de cette espèce en zone tempérée en raison d'une combinaison de température et de radiation solaire.

En examinant, par des tests au laboratoire, le taux de croissance de *Microcystis aeruginosa* kütz et de *M. Wesenbergü* G.S. West sous différents facteurs de l'environnement tels que la température, la lumière et les nutriments, Imai et al. (2009) ont conclu que la température parait le facteur déterminant de la dominance de ces deux espèces.

DISCUSSION

Les fluctuations qualitatives et quantitatives du phytoplancton rencontrées dans le lac Karaoun sont reliées en premier lieu aux conditions climatiques chaudes qui sévissent sur le Levant. Il est bien connu (Reynolds, 1997; 2006) qu'avec l'augmentation des températures saisonnières de 10°C jusqu'aux 30°C, les groupements phytoplanctoniques croissent rapidement et un changement qualitatif s'effectue de telles sorte que les diatomées seront remplacées par les chlorophycées puis ensuite par les cyanobactéries. Les températures inhabituelles estivales supérieures à 35°C et qui ont persisté de juin jusqu'en octobre sont responsables d'efflorescences de *Microcystis aeruginosa* kütz et de la production de substances toxiques telles que la microcystine L-R. L'eutrophisation excessive du lac s'est manifestée par la disparition de la biodiversité algale et du zooplancton et par une augmentation excessive des matières en suspension dont la transparence de l'eau n'excédait pas 35 cm. Inversement, en hiver, la concentration des nutriments se

réduit rapidement et les populations de *M. aeruginosa* kütz régressent et deviennent une cible de broutage accessible pour le zooplancton.

En ce qui concerne l'ichtyofaune du lac, les efflorescences ont un impact négatif sur la croissance et le cycle de développement des 7 espèces présentes et surtout sur *Capoeta damascina* Valen., espèce indigène du Levant (Elzein, 2003). En plus des agressions que subit le lac, la production excessive de toxines s'est manifestée par une forte mortalité de poissons et surtout des alevins. Il faut aussi mentionner la diminution de la concentration de l'oxygène dissous n'excédant pas 5,5mg/l.

Les concentrations des phosphates en période estivale se situaient entre 0-0,5 mg/l tandis que les nitrates et les sulfates présentaient des concentrations assez élevées. Pour leur croissance et leur prolifération, les cyanobactéries présentent des capacités importantes de stockage du phosphore dans leurs cellules. Le phosphore est identifié comme étant la substance critique puisqu'il est habituellement l'élément limitant en milieu dulcicole (Prairie et al., 1989). Dans ce contexte, les rejets de substances nutritives inorganiques d'eaux usées et celles d'activités agricoles ont favorisé la prolifération des blooms cyanobactériens.

CONCLUSION

Il a été établi que les apports d'eaux usées et industrielles ainsi que les rejets de l'agriculture industrielle sont les suspects habituels des efflorescences de cyanobactéries. Les teneurs élevées en phosphates déversées dans les plans d'eau accélèrent l'eutrophisation et il est communément acquis que le phosphore est le facteur limitant le développement des cyanobactéries. Mais ce ne sont pas les seules cibles responsables de ce fléau. Il est probable que les fleurs d'eau deviennent plus fréquentes sous un climat plus chaud (John et al., 2008; Hunter, 2003). Des espèces produisant des microcystines telles que *Microcystis aeruginosa* kütz ont une croissance optimale à des températures élevées (entre 30 et 35 °c) et une plus grande dominance dans l'environnement aquatique en période estivale et automnale. Les proliférations excessives de *M. aeruginosa* kütz ont donné à l'eau une couleur verdâtre qui se concentrait à la surface et formant au niveau du rivage une écume bleue. Par ailleurs, un climat plus doux, printanier, à des températures entre 15 à 20° C, a favorisé les blooms d'*Aphanizomenon ovalisporum*, dont la présence au Liban est récente influencée probablement par le site limitrophe, le lac Tibériade (Gophen, 2000)

Les blooms de cyanobactéries toxiques sont devenus actuellement un problème d'environnement et de santé publique. La production des toxines et l'exposition des individus pour une longue durée peuvent provoquer des effets sévères pour la santé et surtout hépatiques et cancéreuses (Carmichael, 1994; Zegura et al., 2003). Les

effets de ces proliférations quand elles sont massives sont multiples et affectent l'environnement et le cadre de vie et rend la gestion de l'eau de plus en plus difficile.

Des études ultérieures devraient permettre une approche plus précise des interactions existantes entre le phytoplancton et l'impact des paramètres physico-chimiques. L'évolution saisonnière rapide des communautés planctoniques en réponse aux changements environnementaux renforce l'intérêt de leur suivi écologique en raison de l'importance de la gestion de ce barrage pour le pays.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec l'appui du Centre National de La Recherche Scientifique(CNRSL) et notamment de la Commission Libanaise de l'Energie Atomique (Liban).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAKALOWICZ M. (2009). Assessment and management of water resources with an emphasis on prospects of climate change. GWP.MED/EUWI, 46p.
- BALDY C. (1959). Contribution à l'étude climatique du Liban. Rev. Géog., 34,1: 57-73.
- BRIENT L., VEZIE C. ET BERTRU G. (2000). Evaluation des efflorescences à cyanobactéries dans des cours d'eau et plans d'eau bretons. Rapport : Diren, Bretagne; 65p
- CAL. (2001). Atlas climatique du Liban, Tome II Service météorologique. Beyrouth : Ministre des travaux publics et travaux, 38p.
- CARMICHAEL W. W. (1994). The toxins of cyanobacteria . Sci Am., 270 : 78-86
- DGA., 2006. Direction Générale de l'Aviation Civile, Rapport annuel, Beyrouth Liban, 32 p.
- CODD G.A., MORRISON L.F. ET METCALF J.S. (2005). Cyanobacterial toxins: Risk management for health protection. Toxic Appl. Pharm. 203:264-272.
- ELLIOTT J A., THACKERAY S L., HUNTINGFORD C., JONES R G. (2005). Combining a regional climate model with a phytoplankton community model to predict future changes in phytoplankton in lakes. Freshwater Biol. 50: 1404-1411.

- ELZEIN G. (2003). l'Ichtyofaune du lac de Karaoun dans le bassin supérieur du Litani au Liban. *Cybium*. 27: 74-75.
- GIEC. (2007). Bilan 2007 des changements climatiques: les bases scientifiques physiques. Contribution du groupe de travail au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge University Press.
- GOPHEN M. (2000). Lake Kinneret ecosystem: Long-term instability or resiliency? *Water, Air and Soil pollution*, 123: 323-335.
- HUNTER P R., 2003. Climate change and waterborne and vector-borne disease. *J. Appl Microbiol.*, 94: 375-465.
- IMAI H., CHANG K H., NAKANO SHIN-ICHI. (2009). Growth responses harmful algal species *Microcystis* (cyanophyceae) under various environmental conditions. *Interdisc Studies Environ Chem.*: 269-275.
- JÖHN, K D., HUISMAN J., SHARPLES J., SOMMEIJER B. ,VISSER P M , STROM J M. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria, *Global Change Biology.*, 14: 3: 495-512.
- KHAWLIE M. (2000). Assessing water resources of Lebanon in view of climatic change. Workshop on: Soil and Groundwater vulnerability to contamination. ACSAD-BGR, Beirut.
- MOOIJ W M., JANSE J H., DOMIS L N., HÜLSMANN S., IBELINGS B.W. (2007). Predicting the effect of climate change on temperate shallow lakes with the ecosystem model PC Lake. *Hydrobiologia*; 584 :443-454 .
- MUDALAL S. (1989). Water resources in Lebanon. Beirut: Dar Alfikr Al-Arabi.
- Prairie Y I., Durate., C. Kalff M., 1989. Unifying nutrient- Chlorophyll relationship in lake. *Can J Fish Aquat Sci.*; 46:1176-1182.
- PAERL H.W.,FULTON R.S., MOISANDER P.H., ET DYBLE J. (2001). Harmful freshwater algal blooms ,with an emphasis on cyanobacterial. *Sci.world Jour.* 1, 76-113
- POLLINGHER U.,HADAS O., YACOBI Y.Z., ZOHARY T. ET BERMAN T. (1998). *Aphanizomenon ovalisporum* (Forti) in lake Kinneret, Israel, *J. of Plank. Res.* 20, 7: 1321-1339
- RAMMAL H. (2005). The injustices in the Litani river basin workshop on: water quality management in the Litani river basin. Litani River Authority; 12p.
- RODIER J. (1996). L'analyse de l'eau. Eaux résiduaires, eaux de mer, 2ème édition, Dunod, Paris.
- REYNOLDS C.S. (1997). Successional development, energetic and diversity in planktonic communities. In: *Biodiversity: an Ecological Perspective* Springer.
- Reynolds C.S., 2006. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press.

Effets des facteurs environnementaux sur la qualité de l'eau et la prolifération toxique des cyanobactéries du lac Karaoun (Liban)

- SAAD Z., SLIM K., ELZEIN G., ET EL SAMAD O. (2005). Evaluation de la qualité des eaux de la retenue de Karaoun (Liban). Bull Sci Neuch des Sc Nat. 128 : 71-80.
- SAAD Z., KAZPARD V., EL SAMARANI O., SLIM K. (2006). Use of hydrochemistry and environmental isotopes to evaluate water quality, Litani River, Lebanon. J Envir Hydro; 14:1-11
- SBIYYAA B., LOUDI KI M. ET OUDRA B. (1998). Capacité de stockage intracellulaire de l'azote et du phosphore chez *Microcystis aeruginosa* Kütz. et *Synechocystis* sp. : Cyanobactéries toxiques occasionnant des blooms dans la région de Marrakech (Maroc). Annls Limnol.34(3) : 247-257
- SCOR-UNESCO. (1996). Determination of phytoplankton pigments in sea water. SCOR-Unesco, 69 p.
- SLIM K. (1996). Contribution à l'étude de la flore algologique du bassin du Litani. Leb. Sci. Res. Rep., 1: 65-73.
- WIEDNER C, RUCKER J, BRUGGEMAUN R, NISCDORF B. (2007). Climate change affects timing and size of population of an invasive cyanobacterium in temperate regions. *Oecologia* , 152: 473-484.
- ZEGURA B., SEDMAK B., FILIPIC M. (2003). Microcystin L R induces oxidative DNA damage in human hepatoma cell line HepG2. *Toxicon*. 41: 41-48
- ZOHARY T., PADISAK J., NASELLI-FLORES L. (2010). Phytoplakton in the pyysical environment: beyond nutrients, at the end, there is some light. *Hydrobiologia*, 639: 261-269.