



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR -KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT : BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE : SCIENCES BIOLOGIQUES
OPTION : MICROBIOLOGIE APPLIQUEE

Thème :

**Etude de la dynamique temporelle des
proliférations des cyanobactéries dans le
lac Oubeira (Parc National d'El Kala)**

Présenté par

MECHAALA Sara

BENDJEDDOU Maroua

Soutenu le : 31 Mai 2016

Jury de soutenance :

Président	: DEROUCHE Fouzia	M.C.B	Université Abbès_Laghrour khenchela
Promoteur	: BENREDJEM Lamia	M.A.A	Université Abbès_Laghrour khenchela
Examineur	: BOUTARFA Soumia	M.A.A	Université Abbès_Laghrour khenchela

Promotion : Juin 2016

Le travail a été réalisé au niveau du : laboratoire pédagogique de Microbiologie, Université Abbès Laghrour-Khenchela, laboratoire de contrôle de qualité BIOLAB ANNABA.

Remerciement

Premièrement et dernièrement nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le pouvoir, le courage et la patience pour l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement :

Notre encadreur : mademoiselle BENREDJEM Lamia qui a fait tous pour nous orienter et nous guider pour réaliser ce travail ainsi que pour la confiance qu'il nous a témoignée

Mme DEROUICH d'avoir accepté de présider le jury de la soutenance.

Mme BOUTARFA qui nous a fait l'honneur de juger notre travail.

Grand merci à nos enseignants et à tout le personnel pédagogique et administratif.

Nous remercions profondément toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à l'achèvement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère Mère

Et mon très cher père

Mon frère : Zakaria

Mes sœurs : Chourouk, Rihab, Aya

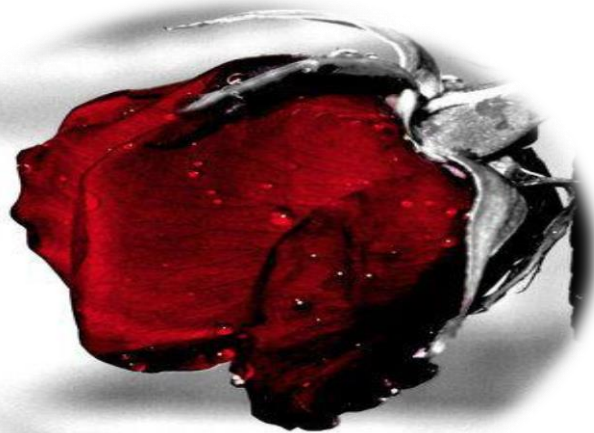
Toute ma famille

À Mademoiselle Benrdjam Lamia

Mes belles amies : Sara, Rym, Amira, Wissam

Mes collègues de la promotion Microbiologie Appliquée

2016



MAROUA

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes
parents, qui n'ont jamais
cessé de m'encourager pour
mes études.*

sara

Table des matières

Liste des abréviations	I
Listes des figures	III
Liste des tableaux	V
Introduction	01
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
1. Généralités sur les cyanobactéries	03
1.1. Apparition des cyanobactéries	03
1.2. Caractéristiques générales	03
1.3. Structure	03
1.4. Organisation morphologique.....	05
1.5. Classification	07
1.6. Adaptations	08
1.7. Habitats et écologie	09
1.8. Métabolisme	10
1.8.1. Photosynthèse	10
1.8.2. Mode nutritionnel	10
1.9. Reproduction	11
1.10. Mobilité verticale et horizontal	11
2. Les paramètres de croissances des cyanobactéries	12
2.1. Paramètres abiotiques	12
2.1.1. La Température	12
2.1.2. La Lumière	12
2.1.3. Le pH	12
2.1.4. La turbidité	13
2.1.5. La profondeur	13
2.1.6. Stabilité de la colonne d'eau	13
2.1.7. Les teneurs en sels nutritifs	13
2.2. Paramètres biotiques	14
2.2.1. Le zooplancton	14
3. Prolifération	15
4. Cyanobactéries toxiques et cyanotoxines	15
4.1. Genres toxiques	15

4.1.1. Le genre <i>Microcystis</i>	16
4.1.2. Le genre <i>Cylindrospermopsis</i>	17
4.1.3. Le genre <i>Aphanizomenon</i>	18
4.1.4. Le genre <i>Anabaena</i>	18
4.1.5. Le genre <i>Planktothrix</i>	18
4.2. Les cyanotoxines	19
4.2.1. Les hépatotoxines	20
4.2.1.1. Les microcystines (MCs)	20
4.2.1.2. La nodularines (Nod)	22
4.2.1.3. La cylindrospermopsine (CYN)	22
4.2.2. Les neurotoxines	23
4.2.2.1. Les anatoxines	23
4.2.2.2. Les saxitoxines et leurs dérivés.....	25
4.2.2.3. β -N-méthylamino-L-alanine (BMAA)	25
4.2.3. Les dermatotoxines	26
4.3. Voies de biosynthèse des cyanotoxines	27
5. Conséquences des proliférations de cyanobactéries	30
5.1. Impacts économique	30
5.2. Impacts sur les écosystèmes aquatiques	30
5.3. Impacts sanitaires	31

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Milieu d'étude	33
1.1. Présentation du milieu d'étude	33
1.1.1. Localisation générale	33
1.1.2. Coordonnées géographiques	33
1.1.3. Géomorphologie du site	33
1.2. Climat	34
1.3. Caractéristiques écologiques	34
1.3.1. Flore	34
1.3.2. Faune	34
1.4. Intérêts du lac	34
2. Échantillonnage	35
3. Prélèvement	35
4. Identification et dénombrement des cyanobactéries	37

4.1. Identification	37
4.2. Dénombrement	37
5. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau	38
5.1. Mesure des paramètres physiques	38
5.2. Mesure des paramètres chimiques	39
5.2.1. Dosage des nitrates	39
5.2.2. Dosage des Orthophosphates	39
6. Analyse des données statistique	40

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultat	41
1.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	41
1.1.1. Température	41
1.1.2. pH	41
1.1.3. Oxygène dissous	42
1.1.4. Nitrate	42
1.1.5. Orthophosphate	43
1.2. Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries potentiellement toxiques.....	44
1.2.1. Etude qualitative des cyanobactéries	44
1.2.1.1. Identification	44
1.2.2. Etude quantitative des cyanobactéries	47
1.2.2.1 Distribution saisonnière des cyanobactéries	47
1.2.2.2 Distribution temporelle des cyanobactéries	48
1.2.2.3 Densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés.....	48
1.2.2.4. Distribution temporelle des genres des cyanobactéries	49
1.2.3. Analyse statistique de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques et la densité des Cyanobactéries	53
1.2.3.1. Corrélation entre la température et la densité des Cyanobactéries	53
1.2.3.2. Corrélation entre le pH et la densité des Cyanobactéries.....	53
1.2.3.3. Corrélation entre l'oxygène dissous et la densité des Cyanobactéries	54

1.2.3.4. Corrélation entre la teneur en nitrate et la densité des Cyanobactéries	54
1.2.3.5. Corrélation entre l'orthophosphate et la densité des Cyanobactéries	55
2. Discussion	56
Conclusion	60
Références bibliographiques	61
Annexes	
Résumé	

L'eutrophisation des milieux aquatiques est un problème connu depuis plusieurs décennies. Ce phénomène est causé par les rejets des activités humaines. En effet, les activités industrielles, agricoles et domestiques occasionnent des apports excessifs en azote et en phosphore directement utilisables au sein des réseaux trophiques aquatiques, et, en premier lieu, par les producteurs primaires dont les cyanobactéries font partie (Kononen, 2001 ; Smith, 2003).

Les cyanobactéries, appelées aussi algues bleu-vert, sont placés dans le règne des Eubactéries (Woese, 1994). Des analyses de leur ultrastructure à partir de la microscopie électronique ont permis de démontrer qu'il s'agissait de bactéries photosynthétiques appartenant aux organismes procaryotes (Carmichael, 1994 ; Chorus et Bartram, 1999 ; Pitois *et al.*, 2000). La composition pigmentaire des cyanobactéries et la présence des vésicules à gaz leur permettent une bonne adaptabilité et une prédominance (Thébault et Lesne, 1995).

Les cyanobactéries sont alors devenues l'une des préoccupations environnementales et sanitaires majeures en raison de leur capacité à former des efflorescences et du caractère toxique de nombreux genres. Elles peuvent occasionner rapidement des désagréments tant d'un point de vue écologique qu'économique et sanitaire (utilisation des ressources aquatiques). Des mortalités massives de poissons, des empoisonnements causant la mort d'animaux sauvages et domestiques ainsi que d'humains, avérés à la suite d'efflorescence de cyanobactéries toxiques, ont accru l'intérêt du monde scientifique quant aux potentiels dangers que les cyanobactéries peuvent présenter pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine (Sotton, 2013).

Face aux problèmes environnementaux et sanitaires croissants qui accompagnent les proliférations de cyanobactéries, de nombreux travaux ont été initiés sur le déterminisme de ce phénomène et sur la production de cyanotoxines (Zohary et Robarts, 1990 ; Jungmann *et al.*, 1996 ; Briand *et al.*, 2002b ; Cheng *et al.*, 2002 ; Wiedner *et al.*, 2002 ; Jeong *et al.*, 2003 ; Welker *et al.*, 2003 ; Briand *et al.*, 2005 ; Janse *et al.*, 2005 ; Graham *et al.*, 2006, Kardinaal *et al.*, 2007b, Li *et al.*, 2007 ; Tan *et al.*, 2009).

Dans l'Est Algérien, plusieurs travaux, réalisés dans divers plans d'eau révèlent la présence d'un certain nombre de genre de cyanobactéries dont la majorité est reconnue

potentiellement toxique (Nasri, 1999 ; Nasri, 2001 ; Chaibi, 2004 ; Bensafia, 2005 ; Manamani, 2007 ; Nasri *et al.*, 2007 ; Saoudi, 2008 ; Ouartsi *et al.*, 2011 ; Agouni, 2013 ; Djabourabi, 2014).

Ce travail a pour objectifs :

- l'identification des différents genres de Cyanobactéries toxiques colonisant le lac Oubeïra, site RAMSAR ;
- l'étude de la dynamique temporelle des Cyanobactéries au niveau du lac et le déterminisme de leur développement en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau de ce milieu (température, pH, oxygène dissout, Orthophosphates et nitrate).

Ainsi, ce mémoire est structuré autour de trois parties dont la première est consacrée à une synthèse bibliographique portant sur les cyanobactéries, leurs toxines et leurs nuisances environnementales et sanitaires. La deuxième est réservée à la présentation des différentes méthodes et stratégies relatives de l'étude. Dans la troisième partie, figurent les résultats, ces derniers sont couronnés par une discussion générale et une conclusion générale.

1. Généralités sur les cyanobactéries

1.1. Apparition des cyanobactéries

Apparues sur Terre il y a près de 3.5 milliard d'années (Paerl et Paul, 2011) les cyanobactéries sont les plus vieilles formes de vie connues à ce jour. Au cours du Précambrien, leur prolifération a joué un rôle essentiel dans la formation d'une atmosphère riche en oxygène et par conséquent, dans l'apparition et le développement des formes de vie complexes (Canfield, 2005). On peut cependant affirmer que l'apparition massive d'oxygène (O₂) dans l'atmosphère a eu lieu il y a 2,4 milliards d'années, grâce à l'activité photosynthétique des cyanobactéries primitives (Falkowski et Knoll, 2007).

1.2. Caractéristiques générales

Les cyanobactéries sont également appelées cyanophycées, cyanophytes ou algues bleues en raison de leur capacité à réaliser la photosynthèse, leur étude en microscopie électronique a permis de démontrer qu'elles sont des bactéries Gram négatives photosynthétiques, d'où leur nom de cyanobactéries. Elles appartiennent aux organismes procaryotes (Chorus et Bartram, 1999 ; Pitois *et al.*, 2000 ; Van Appeldoorn *et al.*, 2007). Elles forment un des groupes bactériens les plus larges et les plus importants écologiquement. D'un diamètre compris entre 3 et 10 µm (Duy *et al.*, 2000), les cyanobactéries peuvent se retrouver sous forme unicellulaire, filamenteuse ou en colonies (Chorus et Bartram, 1999) ; elles sont dépourvues de flagelle. Elles participent à la réduction de la concentration en CO₂ des océans et de l'atmosphère et à l'augmentation de la proportion en dioxygène atmosphérique (Raven *et al.*, 2008).

1.3. Structure

Les cyanobactéries sont caractérisées par l'absence de membranes nucléaire et plastidiale, de mitochondries, de réticulum endoplasmique et de dyciosomes, et la présence d'une paroi cellulaire caractéristique des bactéries à coloration de Gram-négatif avec de la muréine (Coute et Bernard, 2001). La paroi est entourée dans certains cas d'une gaine supplémentaire (Lee, 2008) constituée de polysaccharides. Les ribosomes sont dispersés à travers la cellule mais sont surtout abondants dans la région centrale autour du nucléoplasme (Allen, 1984).

La cellule de cyanobactéries est composée de thylacoïdes et de plusieurs types d'inclusions cytoplasmiques (fig. 1) :

- Réserve de phosphore sous forme de polyphosphate et d'azote sous forme de cyanophycine (polypeptide composé d'arginine et d'asparagine) lorsqu'ils sont présents en quantité importante dans le milieu (Oliver et Ganf, 2000) ;
- Des phycobilisomes (PCS) : complexes de phycobiliprotéines (PBP) fixés à la surface externe des membranes thylacoïdes, ils sont de quatre types : C-phycoyanine, allophycoyanine, C-phycoérythrine et phycoérythrocyanine. Toutes les cyanobactéries présentent les deux premières phycobiliprotéines, alors que les C-phycoérythrine et phycoérythrocyanine ne sont synthétisées que par certaines espèces (Lee, 2008) ;
- Des polyglucoses et des gouttelettes lipidiques (réserves énergétiques) (Castenholz, 2001) ;
- Des carboxysomes (réserve de rubisCO, enzyme qui permet la fixation du CO₂) (Reviere, 2003) ;
- Des vésicules de gaz dont la paroi est hydrophobe et perméable aux gaz (permet aux cyanobactéries d'ajuster leur flottation) (Reviere, 2003) ;
- La chlorophylle a présente au niveau des membranes thylacoïdes.

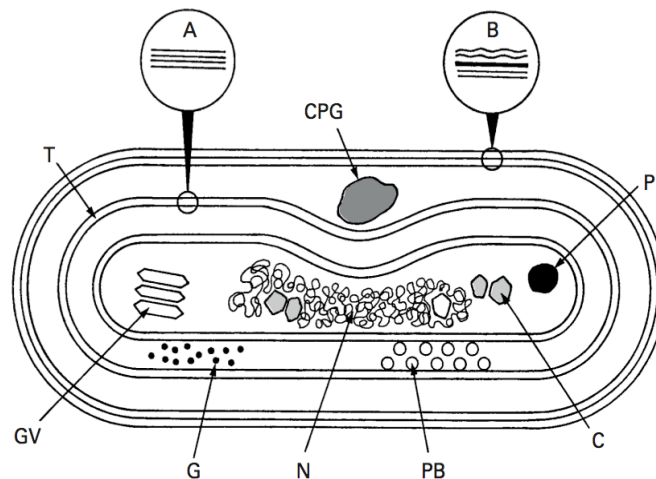


Figure 1 : Représentation schématique de l'organisation fonctionnelle d'une cellule végétative de cyanobactérie (Stanier et Cohen-Bazire, 1977)

C: carboxysome; CPG: granule de cyanophycine; T: thylacoïdes; P: granules de polyphosphate; N: nucléoplasme; G: granules de glycogène; PB : phycobilisome; GV: vésicules à gaz. (A) vue

élargie de la double membrane d'un thylacoïde et (B) vue élargie de l'enveloppe cellulaire montrant la membrane externe (au-dessus), la couche de peptidoglycane et la membrane plasmique.

Les cyanobactéries présentent aussi des caroténoïdes qui diffèrent de celle des algues eucaryotes par la présence de l'échineone (4-ceti- β -carotène) et la myxoxanthophylle ; et par l'absence de la lutéine, xanthophylle majeure des chloroplastes. Les cyanobactéries présentent des proportions en β -carotène plus importantes que celles des algues eucaryotes (Lee, 2008).

Les LPS font partie intégrante de la paroi cellulaire des bactéries Gram négatives et des cyanobactéries (Sivonen et Jones, 1999).

1.4. Organisation morphologique

Les cyanobactéries présentent une large gamme d'organisation morphologique (Bourrelly, 1985). Les formes les plus simples sont unicellulaires, sphériques, ellipsoïdales, cylindriques, ovoïdes ou piriformes, nues ou entourées d'une gaine mucilagineuse homogène ou stratifiée (figure 2 : A).

Les colonies, agrégat de cellules au nombre généralement variable, non jointives, enrobées dans un mucilage commun sont plus complexes. La forme des colonies est très diversifiée, allant de la structure monostromatique (colonie plane à une seule couche de cellules) à la structure amorphe (nombreuses cellules dans un mucilage commun sans contour défini). Les formes peuvent être cubiques, sphériques ou linéaires (figure 2 : B).

Les thalles les plus élaborés sont organisés en filaments unisériés (une seule série de cellules jointives) ou plurisériés (plusieurs séries de cellules jointives), non ramifiés ou à vraies ou fausses ramifications, sans gaine (trichome) ou avec gaine mucilagineuse (filament) homogène ou stratifiée (Couté et Bernard, 2001).

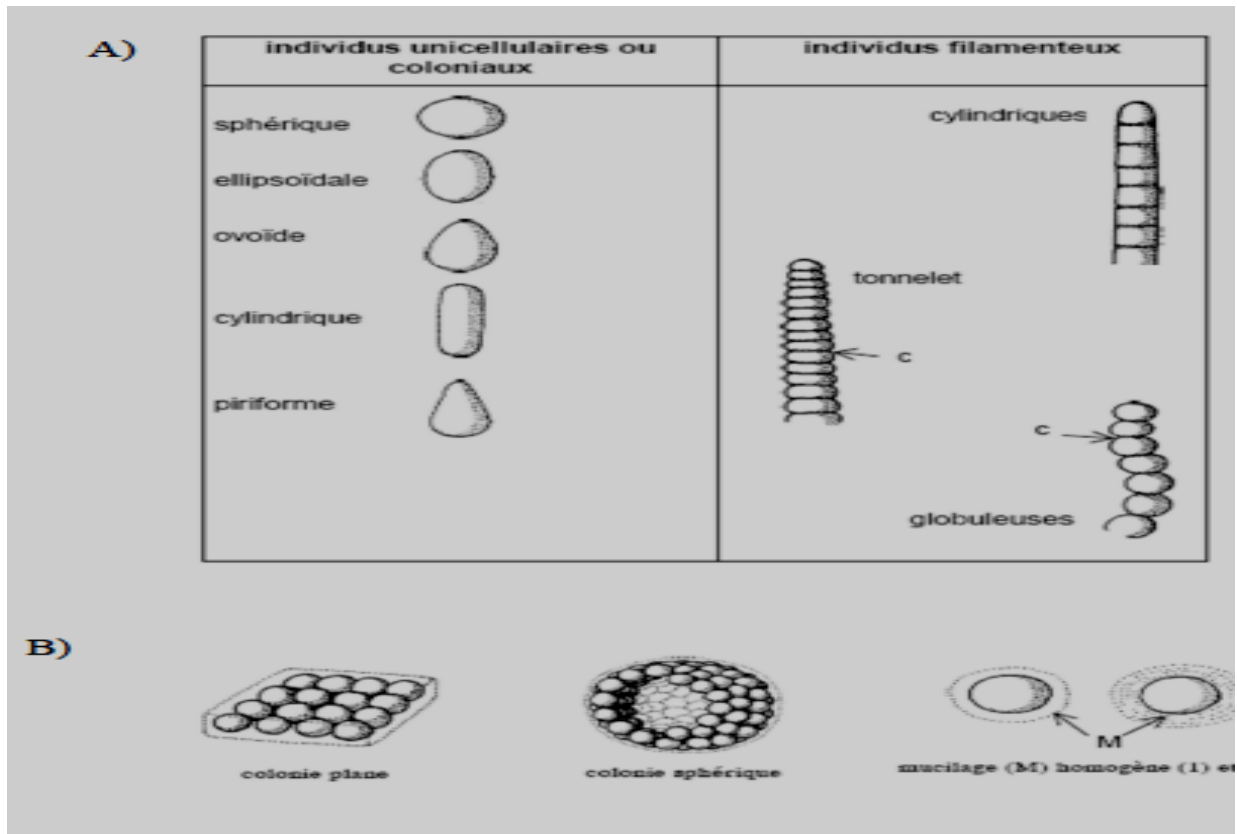


Figure 2 : organisation morphologique des cyanobactéries (Leitão et Couté, 2005)

Les cyanobactéries sont capables de différencier trois types cellulaires (Komarek *et al.*, 2003) :

- **Les cellules végétatives** : au contenu cellulaire assez homogène pouvant contenir des granules ou encore, chez certaines espèces planctoniques, des vésicules à gaz, organites leur conférant une flottabilité dans la colonne d'eau et leur permettant pour certaines espèces de s'accumuler à la surface des plans d'eau.
- **Les hétérocytes** : ces cellules présentent la capacité de fixer l'azote atmosphérique par l'intermédiaire d'enzymes de type nitrogénase. La nitrogénase étant inactivée de manière irréversible par l'oxygène (Rippka et Stanier, 1978 ; Berman-Frank *et al.*, 2003), les hétérocytes sont dépourvus de certains composants du photosystème de type II (Tel-Or et Stewart, 1977) et ne fixent plus le CO₂. La cellule est également entourée d'une couche de glycolipides faisant barrière à l'oxygène du milieu. Enfin, l'activité respiratoire y est accrue consommant l'oxygène intracellulaire (Murry *et al.*, 1984).
- **Les akinètes** : ce sont des cellules de résistance produites, en conditions de stress (lumière principalement mais aussi nutriments ; ex. phosphate) par de nombreuses souches

appartenant au Nostocales et Stigonematales (Adams et Duggan, 1999). Les akinètes sont généralement plus grosses que les cellules végétatives et présentent une paroi épaissie ainsi qu'une enveloppe extracellulaire à plusieurs couches. Elles sont pourvues de quantités importantes de matériel de réserve (granules de glycogène et de cyanophycine) (Herdman, 1987).

1.5. Classification

Selon la classification phylogénétique, elles appartiennent au domaine des *Bacteria* (Garrity *et al.*, 2001). Elles forment même une classe à part au sein de l'embranchement des eubactéries (Castenholz, 2001) (fig. 3).

Plus précisément, les cyanobactéries font partie du groupe des procaryotes photosynthétiques, mais se distinguent des bactéries vertes et pourpres (bactéries sulfureuses, photosynthèse anoxygénique) par leur photosynthèse de type oxygénique (Castenholz, 2001 ; Prescott, 2003). En fait, les cyanobactéries sont, à ce jour, les seules représentantes du groupe des bactéries photosynthétiques oxygéniques (Castenholz, 2001 ; Prescott, 2003).

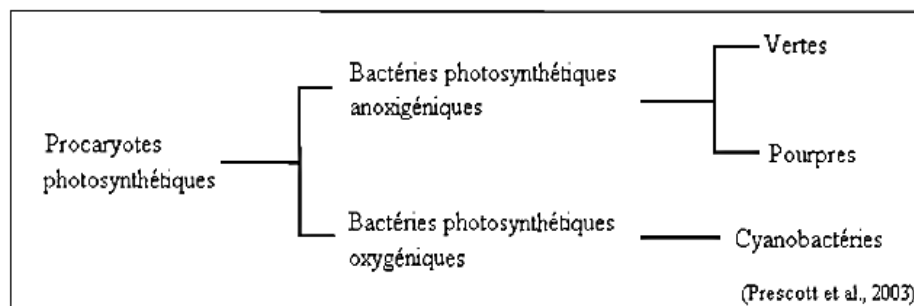


Figure 3 : Classification des procaryotes photosynthétiques, dont font partie les cyanobactéries (Prescott *et al.*, 2003)

La classification des cyanobactéries, basée sur les caractères phénotypiques (longueur et largeur des cellules, couleur, forme de l'apex, localisation des granules, présence de gaine, couleur de la gaine, etc.) a été modifiée plusieurs fois (Geitler, 1932 ; Starmach, 1966 ; Drouet, 1968, 1978, 1981 ; Bourrelly, 1985 ; Anagnostidis et Komárek, 1988 ; Komárek et Anagnostidis, 1989 ; Komárek et Anagnostidis, 1999 ; Komárek et Anagnostidis 2005). A ce jour, c'est l'analyse des séquences du gène 16S de l'ARN ribosomal (16S ARNr) qui a été la plus utilisée. Cette méthode a permis de créer une taxonomie des cyanobactéries plus stable et universelle (Couté et Bernard, 2001).

La classification des cyanobactéries dépend à la fois du Code International de Nomenclature Botanique (I.C.B.N) (Mc Neill *et al.*, 2006) et du Code International de Nomenclature des Bactéries (I.C.N.B) (Lapage *et al.*, 1992) (tab. 1).

Tableau 1 : Classification des cyanobactéries selon les systèmes bactériologiques (I.C.N.B) (Lapage *et al.*, 1992) et botaniques (I.C.B.N) (McNeill *et al.*, 2006)

CLASSIFICATION BACTERIOLOGIQUE	CLASSIFICATION BOTANIQUE
Sous-section I unicellulaires ou coloniales, multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores	Chroococcales unicellulaires ou coloniales
Sous-section II unicellulaires ou coloniales, multiplication par fissions multiples (baecytes) ou en combinaison par fission binaire	
Sous-section III filamenteuses unisériées, non hétérocystées, sans ramification, à division cellulaire perpendiculaire à l'axe du trichome	Oscillatoriales filamenteuses unisériées, non hétérocystées
Sous-section IV filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan	Nostocales filamenteuses, pas de ramification vraie, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes)
Sous-section V filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications, à division cellulaire dans plusieurs plans	Stigonematales filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications

1.6. Adaptations

Les cyanobactéries utilisent un ensemble de stratégies qui leur ont permis de coloniser la plupart des écosystèmes terrestres (sols humides ou arides, glaciers, grottes, rochers) et aquatiques d'eaux douce, marins ou saumâtres (Bourrelly, 1985).

- Une caractéristique importante des cyanobactéries est leur capacité à modifier la composition des pigments-protéines dans leurs complexes photosynthétiques (*light harvesting complexes*), ce qui leur donne une couleur différente selon les longueurs d'ondes auxquelles elles croissent (Grossman *et al.*, 2001). En fonction de la nature de la lumière disponible pour réaliser la photosynthèse, les cyanobactéries sont capables de modifier, au niveau transcriptionnel, l'expression de gènes impliqués dans la synthèse des PBS et définissant la composition qualitative de ces derniers (Kehoe et Gutu, 2006). Engelman (1902) a qualifié ce mécanisme d'adaptation chromatique complémentaire (ACC). Boresch (1919, 1921) a démontré que ce changement de couleur correspondait à une évolution du ratio cellulaire entre la phycocyanine (PC) et la phycoérythrine (PE). Ce type d'adaptation a été mis en évidence chez nombre de cyanobactéries possédant la phycoérythrine (Marsac *et al.*, 1977).
- Les cyanobactéries sont munies de dispositifs de protection contre les UV (Ehling-Schulz et Scherer, 1999, Sinha et Hader, 2008, Sommaruga *et al.*, 2009). Elles ont la possibilité de lutter contre les rayonnements UV grâce à la synthèse de composés tels que des acides aminés proches de la mycosporine, des gaines polysaccharidiques et des caroténoïdes (Sommaruga *et al.*, 2009).
- Elles possèdent également des mécanismes efficaces de réparation des composantes cellulaires endommagées par les fortes radiations solaires (par ex., l'ADN) (Vincent et Quesada, 1993).

1.7. Habitats et écologie

Grâce à leur grande capacité d'adaptation, les cyanobactéries sont uniques dans leur distribution cosmopolite (Chorus et Bartram, 1999). On les retrouve dans la plupart des environnements communs : en eau douce (principalement dans les lacs), sur les littoraux, dans les mers, dans l'air, sur les sols humides et même dans les roches (ex. les récifs coralliens) (Reviere, 2003).

Certaines espèces se sont même adaptées, à des conditions extrêmes, proliférant par exemple dans la glace, les sources thermales, les eaux ferrugineuses les tourbières acides, les eaux carbonatées et les cavernes (Couté et Bernard, 2001). Des espèces comme *Mastocladus laminosus* ou *Phormidium laminosum* tolèrent des températures de 70°C (Reviere, 2003), d'autres espèces ont été retrouvées sur des surfaces rocheuses de régions désertiques (Yeager *et al.*, 2007), ou encore dans des lacs à salinité élevée ou même hypersalins (Dillon, 2009). C'est leur capacité à résister à la dessiccation qui leur permet de croître dans ces milieux (Castenholz,

2001). Des cyanobactéries sont également présentes dans certains lacs des régions polaires, notamment en Antarctique, où les températures sont très basses (Jungblut, 2005 ; Taton, 2003). Leur développement s'y explique tout d'abord par une très faible présence d'autres organismes autotrophes (donc peu de compétition). De plus, les cyanobactéries peuvent supporter les alternances congélations/décongélations (Castenholz, 2001).

1.8. Métabolisme

1.8.1. Photosynthèse

Les cyanobactéries sont des organismes procaryotes capables de réaliser la photosynthèse oxygénique associée à la présence de photosystèmes de type I et II (Castenholz, 2001). Cette dernière caractéristique les différencie des autres organismes procaryotes phototrophes, telles les bactéries pourpres ou vertes (Cohen *et al.*, 1986). Les photosystèmes de type I et II sont similaires chez les cyanobactéries et les eucaryotes. La différence réside au niveau des structures protéiques chargées de capter la lumière incidente. Chez les cyanobactéries, ces structures, sont des phycobilisomes (PBS), qui sont attachées à la surface externe de la membrane des thylacoïdes (Grossman *et al.*, 1995), et sont constituées de phycobiliprotéines (phycocyanine, allophycocyanine, phycoérythrine). Les cyanobactéries possèdent en plus de la phycobiliprotéines, des pigments photosynthétiques tels que la chlorophylle a (ainsi que la chlorophylle b et d chez certaines cyanobactéries), les caroténoïdes qui sont capable de collecter une large gamme de longueurs d'ondes du spectre lumineux et ainsi d'assurer une efficacité photosynthétique élevée et de la maintenir à de faibles intensités lumineuses (Sotton, 2013).

1.8.2. Mode nutritionnel

Le mode nutritionnel des cyanobactéries peut être de trois types (Reviere, 2003 ; Lee, 2008) :

- **Photolithotrophie stricte** ces cyanobactéries ne peuvent croître qu'en présence de lumière, leur donneur d'électrons est minéral (H_2O ou H_2S) et leur source de carbone est inorganique (CO_2).
- **Photohétérotrophie** la croissance se fait également en présence de lumière, la source d'électrons est minérale (H_2O ou H_2S), mais ce groupe de cyanobactéries est capable d'utiliser une source de carbone inorganique ou organique.

➤ **Chimiohétérotrophie facultative** ces cyanobactéries sont phototrophes en présence de lumière, mais leur croissance peut également se dérouler dans l'obscurité en utilisant une source de carbone organique (limitée au glucose, au fructose et à quelques disaccharides).

1.9. Reproduction

La reproduction des cyanobactéries est asexuée. Elle peut s'effectuer par division binaire simple ou bourgeonnement avec formation d'endospores chez les unicellulaires isolées, par fragmentation simple des trichomes et des colonies non filamenteuses et enfin par fragmentation avec formation d'hormogonies, segments reproductifs riches en réserves et mobiles, chez les cyanobactéries filamenteuses (Chorus et Bartram, 1999). La multiplication des cyanobactéries peut se faire également par scission multiple. Dans ce cas, une cellule grandit puis se divise plusieurs fois pour produire de nombreuses cellules plus petites qui sont libérées par rupture de la cellule parentale. Certaines espèces développent des akinètes, qui germent pour former de nouveaux filaments (Prescott *et al.*, 2010).

Les baeocytes, mégacytes et nanocytes : ces termes définissent des cellules qui ne sont pas issues d'une fission binaire classique d'une cellule végétative. Elles ont pour origine des divisions rapides d'une cellule mère pour les baeocytes (Waterbury et Stanier, 1978) et les nanocytes (Komárek et Anagnostidis, 1986), ou encore un retard dans la division cellulaire aboutissant à une cellule de très grande taille (mégacyte) (Palinska et Krumbein, 1998).

1.10. Mobilité verticale et horizontal

Certaines cyanobactéries sont capables de se déplacer dans la colonne d'eau par glissement et par rotation hélicoïdales des filaments tournant sur eux-mêmes (Bourrelly, 1985). La migrations des cyanobactéries est dépendante à la présence ou non de vésicules à gaz, du volume de ces vésicules, du taux de synthèse/dégradation des composés photosynthétiques produits et enfin de la taille des colonies (Carey *et al.*, 2012).

Certains genres (*Microcystis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*,...) possèdent des vésicules à gaz qui sont des structures cylindriques creuses remplies de gaz et dont la paroi est constituée d'un seul type de protéine appelée gas vesicle protein (GVP) (Walsby, 1994). Ces vésicules à gaz ont une densité huit fois inférieure à celle de l'eau. Elles confèrent aux cyanobactéries qui en possèdent une flottabilité qu'elles régulent en fonction des conditions de leur environnement afin d'optimiser leur position verticale dans la colonne d'eau, grâce à l'utilisation d'un ballast

d'hydrates de carbone résultant de l'activité photosynthétique des cellules (Rabouille *et al.*, 2003).

En plus de la migration active sur le plan vertical, les cyanobactéries subissent également une migration passive horizontale due au vent ou aux mouvements des masses d'eau. Ce phénomène a été étudié par (Ishikawa *et al.*, 2002) dans un lac de très grande superficie.

2. Les paramètres de croissances des cyanobactéries

Le développement des cyanobactéries et la formation de fleurs d'eau sont influencés par divers facteurs physiques, chimiques (abiotiques) et biologiques (biotiques) ; (Park *et al.*, 1993 ; Thébault et Lesne, 1995).

2.1. Paramètres abiotiques

2.1.1. La Température

Les cyanobactéries prolifèrent à une température, comprise entre 15°C et 30°C (Carmichael *et al.*, 1990). Bien que la température optimale de croissance des cyanobactéries se situe généralement entre 20 et 25°C. (Robarts et Zohary, 1987). Les espèces thermophiles de *Synechococcus* présentent des taux de croissance augmentant jusqu'à 35-45°C (Kratz et Myers, 1955) et peuvent continuer de croître jusqu'à des températures supérieures à 70°C (Castenholz, 1969). Les *Oscillatoriales* du type *Planktothrix agardhii* ou *Planktothrix rubescens*, sont des espèces capables de présenter des efflorescences se maintenant à des températures faibles (< 10°C). (Arnaud, 2009).

2.1.2. La Lumière

Les cyanobactéries croissent mieux en présence d'une lumière d'intensité modérée bien qu'ils puissent tolérer des niveaux faibles de lumière (Carmichael *et al.*, 1990 ; Mur *et al.*, 1999), en raison de plus faibles exigences énergétiques des cellules (Richardson *et al.*, 1983). La forte luminosité d'été étant habituellement photo-inhibitrice (Shulberg *et al.*, 1984 ; Carmichael *et al.*, 1990 ; Mur *et al.*, 1999), elles peuvent dégrader l'appareil photosynthétique des cyanobactéries, entraînant ainsi leur dégénérescence. D'après Chorus et Bartram (1999), la croissance de la plupart des cyanobactéries est inhibée quand elles sont soumises en permanence à une intensité lumineuse supérieure à 3200 Lux.

2.1.3. Le pH

L'augmentation de la biomasse des cyanobactéries est favorisée par des pH acides (Tiffany, 1951). En revanche, un pH entre 6 et 9 avec des concentrations assez importantes en azote, une bonne oxygénation et une intensité lumineuse pas très forte et une faible profondeur favorisent le développement des cyanobactéries (Bote, 1984).

2.1.4. La turbidité

Qui est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes, présente elle aussi un facteur limitant de la prolifération cyanobactérienne (MC Barron *et al.*, 1966).

2.1.5. La profondeur

L'augmentation de la profondeur fait augmenter la biomasse relative des cyanobactéries (de 10 à 24 %) (Dia et Reynaud, 1982).

2.1.6. Stabilité de la colonne d'eau

La stabilité de la colonne d'eau est un phénomène caractéristique des eaux calmes et stagnantes comme les eaux des barrages qui sont généralement stratifiées. Cette stabilité au moment du développement de l'efflorescence permet la sélection des espèces les plus compétitives (Valentine, 2004). De plus, des turbulences et des débits d'eau élevés ne favorisent pas la croissance des cyanobactéries, car ils nuisent à leur capacité à maintenir une certaine position dans la colonne d'eau (Magnuson *et al.*, 2000 ; Weyhenmeyer 2001).

2.1.7. Les teneurs en sels nutritifs

- **Le phosphore** dans de nombreux systèmes d'eau douce, le phosphore (P) est un élément nutritif limitant (Schindler *et al.*, 2008). Les cyanobactéries peuvent se reproduire en abondance dans les plans d'eau, notamment s'ils sont surchargés de phosphore (Chevalier *et al.*, 2001). Ils l'utilisent sous forme d'orthophosphates, le phosphore est identifié comme étant la substance critique puisqu'il est habituellement, l'élément limitant en milieu aquatique dulcicole (Prairie et Soucisse, 1999).
- **L'azote** les concentrations de l'azote sont réduites de façon remarquable lors d'une prolifération de cyanobactéries. Les cyanobactéries peuvent utiliser des nitrates et certaines

assimilent même l'azote atmosphérique ce qui leur confère un avantage sélectif par rapport aux autres classes phytoplanctoniques (Chorus et Bartram, 1999 ; Valentine, 2004).

Le rapport TN : TP le ratio entre l'azote total (TN) et le phosphore total (TP) est susceptible d'avoir un impact fort sur la limitation en nutriments (Downing et Mac Cauley, 1992), sur la productivité (Elser *et al.*, 1990) et sur la composition des communautés algales (Smith et Bennet, 1999; Huisman et Hulot, 2005). Classiquement, il est admis qu'un ratio de masse TN : TP faible (entre 5 et 29) a tendance à favoriser le développement de cyanobactéries (Seip, 1994 ; Huisman et Hulot, 2005).

➤ **Le fer** est parmi les micronutriments importants pour le développement des cyanobactéries en raison du rôle qu'il joue dans la photosynthèse. Plusieurs expériences ont démontré qu'un enrichissement en fer favorise la croissance des cyanobactéries relativement aux algues eucaryotes (Hyenstrand *et al.*, 1998). Les cyanobactéries sécrètent des sidérophores (hydroxamates) leur permettant de capturer les ions Fe^{3+} environnants et ainsi de limiter la croissance des éventuels compétiteurs (Castenholz, 2001).

2.2. Paramètres biotiques

2.2.1. Le zooplancton

L'impact de la consommation des cyanobactéries par le zooplancton lors d'efflorescences matures semble limité et dépend des espèces de zooplancton et de cyanobactérie présentes (Boon *et al.*, 1994, Kagami *et al.*, 2002). Les filaments de cyanobactéries peuvent être fractionnés par l'action du broutage et les formes de plus petite taille pouvaient alors faire l'objet d'une ingestion (Dawidowicz, 1990). L'impact du zooplancton pourrait alors avoir pour effet d'accélérer le déclin de certaines efflorescences (Gobler *et al.*, 2007). Ce mécanisme peut être renforcé à travers, par exemple, l'adaptation locale des populations de zooplancton (Hairston *et al.*, 2001, Sarnelle et Wilson, 2005). Ensuite, certains auteurs ont montré un rôle positif indirect du zooplancton sur le maintien des efflorescences à travers le broutage de compétiteurs plus facilement ingérables et assimilables (Haney, 1987).

Certaines cyanobactéries ont développé différents moyens de défense pour éviter leur consommation par le zooplancton. Hormis une libération de composés chimiques, voire toxiques, leur association en colonies ou leur forme en filaments ne permettent pas au zooplancton de réaliser leurs mécanismes de filtration ou de broutage (Lampert, 1987 ; Bouvy *et al.*, 2001).

3. Prolifération

La prolifération massive des cyanobactéries forme une fleur d'eau, appelée aussi floraison, efflorescence ou bloom. Elles apparaissent le plus souvent dans des milieux eutrophes (enrichis en nutriments) lorsque les masses d'eau sont stratifiées (Visser *et al.*, 1996, Jacoby *et al.*, 2000). Cependant, la quantité des nutriments n'est pas le seul facteur qui pourrait influencer l'apparition de l'efflorescence des cyanobactéries, mais aussi la qualité des nutriments ainsi que la luminosité et la température (Chu *et al.*, 2007 ; Zheng *et al.*, 2008 ; Davis *et al.*, 2009 ; Wu *et al.*, 2011 ; Salmaso *et al.*, 2012). L'environnement le plus favorable à leur prolifération en eaux eutrophisées est induit par l'augmentation d'éléments nutritifs tels que les nitrates et les phosphates qui proviennent des activités urbaines et agricoles (Dawson, 1998). Les activités industrielles, agricoles et domestiques occasionnent des apports excessifs en azote et en phosphore directement utilisables au sein des réseaux trophiques aquatiques, et, en premier lieu, par les producteurs primaires dont les cyanobactéries font partie (Kononen, 2001 ; Smith, 2003).

La relation des facteurs environnementaux avec la dominance des cyanobactéries et la production des toxines a été décrite dans plusieurs études (Downing *et al.*, 2001; Mischke, 2003 ; Giani *et al.*, 2005 ; Maske *et al.*, 2010 ; Cirés *et al.*, 2011 ; Okello *et al.*, 2011 ; Carey *et al.*, 2012 ; Slim *et al.*, 2012 ; Bormans *et al.*, 2014). Les proliférations de cyanobactéries sont favorisées par une interaction complexe entre plusieurs facteurs, dont la concentration élevée d'azote et de phosphore (milieux souvent eutrophes), l'ensoleillement, la température, le pH, la disponibilité du carbone, le faible courant ou les eaux stagnantes (Duy *et al.*, 2000).

4. Cyanobactéries toxiques et cyanotoxines

4.1. Genres toxiques

Tous les ordres de cyanobactéries reconnus actuellement renferment des genres toxigènes. Les Nostocales, suivies par les Oscillatoriales semblent les plus impliquées (Coute et Bernard, 2001). Ces cyanobactéries toxiques qui constituent une menace pour la santé humaine et pour l'environnement appartiennent essentiellement aux genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Oscillatoria*, *Cylindropermopsis* et moins souvent *Gomphosphaeria*, *Coelosphaerium*, *Gloeotrichia*, *Nodularia* et *Nostoc* (Hawkins *et al.*, 1985 ; Sivonen et Jones, 1999).

4.1. 1. Le genre *Microcystis*

Selon Geitler (1932), le genre *Microcystis* appartient à l'ordre des Chroococcales et la famille des Chroococcaceae. Cette classification a été révisée par Komarek et Anagnostidis (1999) qui ont reclassé ce genre dans la famille des Microcystaceae. Ils sont constitués de cellules sphériques de 0.8 à 7µm de diamètre, contenant des vésicules à gaz regroupées et maintenues sous forme de colonies par un mucilage incolore (fig. 4) (Bourrelly 1970 ; Holt *et al.*, 1994). Au sein du genre *Microcystis*, plusieurs morphotypes ont été identifiés. Ils diffèrent par la taille des cellules, la taille et la forme des colonies ou encore les caractéristiques du mucilage (Komarek, 1991 ; Watanabe., 1996). Les cellules, au sein de la colonie, sont de type végétatif. Elles se multiplient par division binaire (Geitler, 1932). Ainsi, les principales espèces du genre *Microcystis* actuellement reconnues sont *M. aeruginosa*, *M. ichthyoblabe*, *M. novacekii*, *M. viridis* et *M. wasenbergii* (Otsuka, 1998).

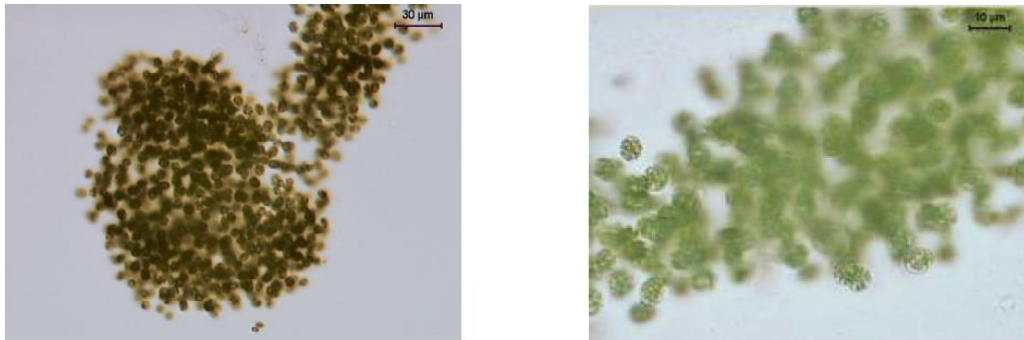


Figure 4 : *Microcystis aeruginosa* (Fathalli, 2009)

Les *Microcystis* se développent préférentiellement dans les écosystèmes aquatiques riches en nutriments, dans une eau à plus de 15°C, stratifiée thermiquement et peu turbide (Reynolds *et al.*, 1981 ; Robarts & Zohary 1987 ; Elser, 1999 ; Huisman *et al.*, 1999). Il se développe essentiellement dans les écosystèmes naturels ou artificiels d'eau douce, *Microcystis* présente de grandes capacités de résistance à la salinité (Tonk *et al.*, 2007), expliquant sa présence dans divers écosystèmes d'eau saumâtre (Lehman *et al.*, 2005; Lehman *et al.*, 2008). *Microcystis* est extrêmement bien adapté aux conditions lumineuses et chimiques de ces lacs :

- **En été**, la croissance est très rapide et généralement dépendante de la disponibilité en nutriments (Vézie *et al.*, 2002) et en lumière (Kardinaal *et al.*, 2007). Durant cette période, la photosynthèse amène une production importante de glucides et de molécules de réserve. Ces molécules sont denses, et leur accumulation modifie la flottabilité des colonies (Kromkamp et Mur, 1984).

- **En automne**, les colonies sédimentent rapidement. Du glycogène et du polyhydroxybutyrate (PHB) sont notamment stockés dans les cellules (Brunberg et Blomqvist, 2003).
- **Au printemps**, une intense activité cellulaire produit de jeunes colonies à partir des anciennes. Ces nouvelles colonies se forment quand les anciennes situées sur le fond sont proches de l'anoxie, et dès que la lumière plus intense du soleil au printemps les atteint.
- **En hiver**, les colonies de *Microcystis* sont situées en majorité sur le fond du lac, au contact du sédiment. Elles sont alors privées d'oxygène et vivent au ralenti : leur photosynthèse est de type anoxygénique (Boyd *et al.*, 1975).

La présence de *Microcystis* pose un risque potentiel pour la santé publique puisque certaines souches synthétisent principalement des hépatotoxines de type microcystines, impliquées dans nombreux incidents d'intoxication humaine et d'empoisonnement d'animaux.

4.1.2. Le genre *Cylindrospermopsis*

Le genre *Cylindrospermopsis* appartient à l'ordre des Nostocales, famille des Nostocaceae suivant la classification des cyanobactéries révisée par Komarek et Anagnostidis (1989). Cette famille est constituée de genres se présentant sous la forme de trichomes unisériés sans ramification, avec ou sans gaine, isolés ou en colonie et pouvant posséder des hétérocystes et des akinètes.

Le genre *Cylindrospermopsis* regroupe six espèces filamenteuses qui se caractérisent par la présence exclusive d'hétérocystes aux extrémités du trichome. A l'opposition de l'espèce *Cylindrospermopsis raciborskii* (Seenayya et Subba Raju, 1972), les cinq espèces du genre *Cylindrospermopsis* ont des répartitions géographiques très limitées.

- 1- *C. africana* (Komarek et Kiling, 1991), ne se trouve qu'en Afrique,
- 2- *C. catemaco* (Komarkova-Legnerova et Tavera, 1996), au Mexique et au Brésil,
- 3- *C. curvispora* (Watanabe, 1995), au Japon,
- 4- *C. cuspis* (Komarek et Kiling, 1991), en Ouganda et au Mexique,
- 5- *C. philippinesis* (Komarek, 1984), n'a été décrite qu'en zone tropicale et subtropicale.

4.1.3. Le genre *Aphanizomenon*

Le genre *Aphanizomenon* appartient à l'ordre des *Nostocales*, à la famille des *Nostocaceae*. Organisme filamenteux (trichomes droits, solitaires ou en faisceaux), unisérié, non ramifié et sans gaine mucilagineuse. Les cellules, cylindriques ou en tonnelet voire très allongées, renferment la plupart du temps des pseudovacuoles. Constriction au niveau des cloisons absente ou peu marquée. Les hétérocytes, intercalaires et peu nombreux, sont toujours éloignés des akinètes (cylindriques, ellipsoïdaux ou sphériques) et sont généralement cylindriques et allongés. Les cellules apicales sont plus ou moins incolores, vacuolisées et selon la phase de croissance, un peu atténuées jusqu'à très effilées (Woloszynska, 1912).

Ce genre planctonique peut engendrer de très importantes fleurs d'eau, bien visibles lorsque les faisceaux de trichomes s'accumulent en surface. Cette disposition groupée semble favoriser les migrations verticales, lorsque les eaux sont stratifiées. Cette espèce supporte mal des conditions turbulentes et elle est exigeante en lumière et en phosphore. *Aphanizomenon* est un fixateur d'azote atmosphérique grâce à ses hétérocytes (Woloszynska, 1912). Ce genre peut potentiellement synthétiser un grand nombre de toxines : saxitoxines (Mahmood et Carmichael, 1986 ; Pereira *et al.*, 2000), anatoxine-a (Rapala *et al.*, 1993) et cylindrospermopsines (Preussel *et al.*, 2006). Cependant, aucune souche d'*Aphanizomenon* produisant des microcystines n'a encore été observée.

4.1.4. Le genre *Anabaena*

Le genre *Anabaena* fait partie de l'ordre des *Nostocales*, caractérisés par leur morphologie filamenteuse. Il est très hétérogène. La base de données Algaebase recense présentement 96 espèces reconnues (Guiry et Guiry, 2009). Leurs cellules sont cylindriques ou sphériques et disposées en chaînes spiralées ou droites. La reproduction se fait surtout par fragmentation des trichomes (Komarek, 1992). Plusieurs espèces possèdent des aérotopes pour maîtriser leur flottabilité (Guiry et Guiry, 2009). Des cellules spécialisées sont présentes : hétérocytes capables de fixer l'azote et akinètes, sortes de spores résistantes (Komarek et Zapomelova, 2008). Cosmopolites en milieu lacustre, les nombreuses espèces planctoniques peuvent former des fleurs d'eau lorsque les conditions sont propices (Ganf et Oliver, 1982).

4.1.5. Le genre *Planktothrix*

Le genre *Planktothrix* fait partie de l'ordre des *Oscillatoriales*. Il s'agit de filaments généralement droits, solitaires et planctoniques dans la majorité des cas (Komarek et Agnostidis,

2005). Les cellules sont cylindriques, plus larges que longues. Les espèces de ce genre ne produisent ni hétérocytes, ni akinètes. *P. rubescens* et *P. agardhii* sont les deux seules espèces cosmopolites de ce genre (Guiry et Guiry, 2009). Les deux sont potentiellement toxiques et peuvent causer des fleurs d'eau. Dotées de vacuoles à gaz, elles se développent souvent dans le métalimnion. Ceci est aussi possible grâce à l'adaptation de leurs systèmes photosynthétiques à de faibles intensités lumineuses et à leur tolérance pour de 10 faibles températures (Vareli *et al.*, 2009).

4.2. Les cyanotoxines

Les cyanotoxines sont produites par de nombreux genres de cyanobactéries (tab. 2) et sont la cause de perturbations sévères chez les organismes aquatiques et terrestres (Vasconcelos, 2001 ; Van Apeldoorn *et al.*, 2007). Ce sont des toxines naturelles qui présentent une grande diversité de structures chimiques et de mécanismes toxiques (Sivonen and Jones, 1999). Ces toxines peuvent être classées selon leur mode d'action : les hépatotoxines (agissant sur le foie), les neurotoxines (agissant sur le système nerveux) et les dermatotoxines (agissant sur la peau). Elles peuvent également être catégorisées selon leur structure chimique (microcystines, cylindrospermopsines, anatoxines, saxitoxines, etc.) ou selon leur type de molécules (alkaloides, lipopolysaccharides, polycétides et peptides). Ces toxines sont intracellulaires, synthétisées par les cellules et sont principalement libérées à l'extérieur de la cellule lors de la sénescence et de la lyse cellulaire. La lyse cellulaire peut être causée par les attaques virales (cyanophages ou cyanovirus naturellement présents en milieu aquatique) ou les algicides (Suttle, 2000).

Tableau 2 : Diversité des genres producteurs des cyanotoxines principalement observées dans les milieux aquatiques (Chorus et Batram, 1999)

Types	Toxines	Genre producteurs
Hépatotoxines	Microcystines	<i>Microcystis</i> <i>Planktothrix</i> <i>Anabaena</i> <i>Nostoc</i> <i>Anabaenopsis</i> <i>Oscillatoria</i>
	Nodularines	<i>Nodularia</i>
	Cylindrospermopsines	<i>Cylindrospermopsis</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Umezakia</i>
Neurotoxines	Anatoxines (a, a(s), homoanatoxine-a)	<i>Microcystis</i> <i>Anabaena</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Cylindrospermum</i> <i>Oscillatoria</i> <i>Planktothrix</i>
	Saxitoxines	<i>Cylindrospermopsis</i> <i>Anabaena</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Lyngbya</i>

4.2.1. Les hépatotoxines

Ce sont les toxines de cyanobactéries qui sont le plus fréquemment rencontrées lors de proliférations. Chez les vertébrés, l'organe cible est essentiellement le foie (Sivonen and Jones, 1999) induisant lors d'intoxications aiguës une dégénérescence du cytosquelette des hépatocytes, une lyse cellulaire et la mort des individus intoxiqués par hémorragie hépatique (Nishiwaki-Matsushima *et al.*, 1992 ; Humpage *et al.*, 2000). Mais d'autres organes peuvent également être atteints tels les intestins et les reins (Sivonen and Jones, 1999)

4.2.1.1. Les microcystines (MCs)

Les MCs sont des peptides cycliques de sept acides aminés, cinq acides aminés non protéiques et deux acides aminés protéiques. Ces deux derniers, situés aux positions 2 et 4, permettent de différencier les MCs, en utilisant la nomenclature qui désigne chaque acide aminé par une lettre unique (Jaiswal *et al.*, 2008). La structure générale des microcystines est cyclo-(D-Ala¹-X² -D-MeAsp³ -Z⁴-Adda⁵ -D-Glu⁶ -Mdha⁷) (Sivonen, 1999). Leur masse moléculaire est

estimée entre 500 et 4000 daltons (Da). Les MCs les plus fréquentes ont une masse moléculaire qui se situe entre 900 et 1100 Da (Van Apeldoorn *et al.*, 2007).

À ce jour, plus de 70 variantes ont été identifiées, la plus connue étant la microcystine-LR (Duy *et al.*, 2000 ; AFSSA-AFSSET, 2006 ; Funari et Testai, 2008 ; Humpage, 2008). La microcystine LR correspond, à une microcystine portant une leucine (L) en position 2 et une arginine (R) en position 4 (fig. 5).

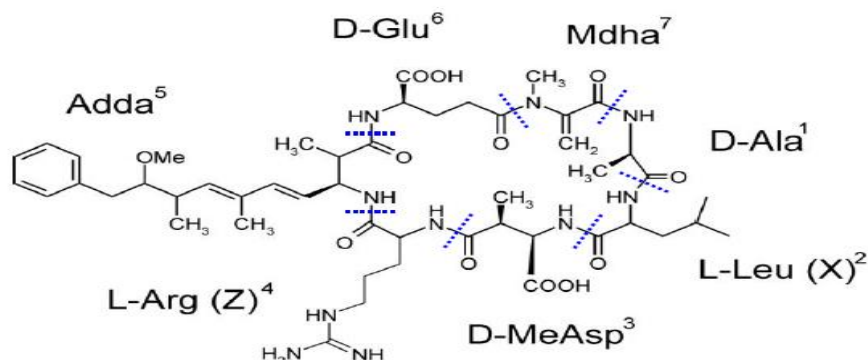


Figure 5 : Structure moléculaire de la microcystine, variant LR (Fewer *et al.* 2007)

(1) D-alanine, (2) L-leucine, (3) acide Derythro- β -méthylaspartique, (4) L-arginine, (5) acide 3-amino-9-méthoxy-2,6,8- triméthyl-10-phényldéca-4,6-dienoïc, (6) Dglutamate, (7) N-méthyl déhydroalanine. X et Z (positions 2 et 4) représentent les deux acides aminés variables de la molécule (Fewer *et al.* 2007).

➤ Mécanismes de la toxicité

Au niveau intracellulaire, la toxicité des microcystines s'exprime par une inhibition forte et spécifique de l'activité des protéines phosphatases (PPs) de type 1 et 2A (Mackintosh *et al.*, 1990). Cette inhibition se réalise en deux temps : tout d'abord *via* la formation d'une interaction non covalente du domaine Adda-glutamate de la microcystine avec le site catalytique des protéines phosphatases PP1 et PP2A, puis par l'interaction covalente du résidu Mdha de la microcystine avec les résidus cystéines 273 et 266 de la PP1 et PP2A respectivement (Martins et Vasconcelos, 2009).

L'inhibition de l'activité des PP1 et PP2A qui phosphorylent les protéines constitutives du cytosquelette (Carmichael et Falconer, 1993) empêchent toute déphosphorylation par ces

enzymes, dont l'inactivation complète peut être létale (Mackintosh *et al.*, 1990). Il en résulte des effets divers et en particulier :

- une perte de l'intégrité du cytosquelette (altération du micro filaments, des filaments intermédiaires et des microtubules), et en conséquence une nécrose ;
- une apoptose des hépatocytes mais aussi des cellules glomérulaires et tubulaires proximales (Eriksson *et al.*, 1990 ; Eriksson *et al.*, 1992 ; Khan *et al.*, 1996 ; Mc Dermott *et al.*, 1998 ; Fischer & Dietrich, 2000 ; Fischer *et al.*, 2000 ; Hooser, 2000 ; Lankoff *et al.*, 2003). Cette atteinte des hépatocytes conduit à une hémorragie hépatique importante pouvant entraîner la mort (Dawson, 1998).

4.2.1.2. La nodularines (Nod)

La Nod est un peptide cyclique de cinq acides aminés pesant 824 Da. Il existe sept variantes structurales à la Nod dont la structure générale est un cycle de [D-MeAsp1-L-Arg2-Adda3- D-Glu4- Mdhb5] (fig. 6) (Van Apeldoorn *et al.*, 2007). La Nod la plus étudiée est la nodularine R : la molécule qui contient une valine à la place de l'arginine est connue sous le nom de motuporine a été isolée d'une éponge de Papouasie- Nouvelle-Guinée (De Silva *et al.*, 1992).

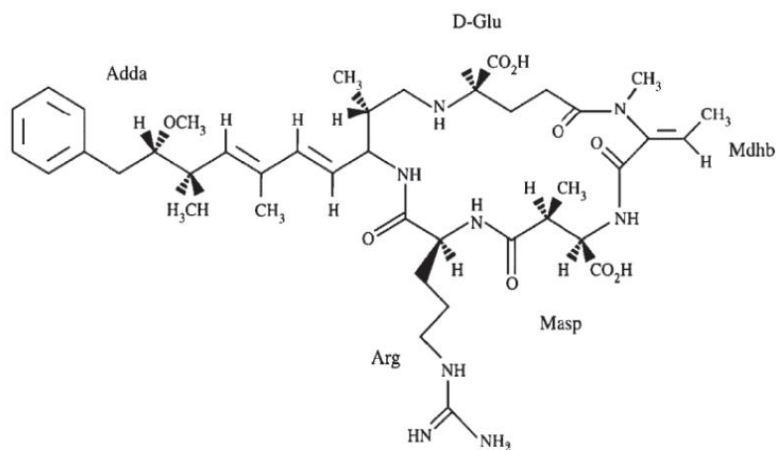


Figure 6 : Structure chimique de la nodularine (Funari et Testai, 2008)

➤ Mécanismes de la toxicité

L'action de la nodularine est identique à celle des microcystines par inhibition des PP1 et PP2A (Carmichael et Falconer, 1993). Contrairement à la microcystine, les interactions covalentes des nodularines avec les PPs ne peuvent pas avoir lieu du fait de l'absence du résidu Mdha de cette cyanotoxine (Campos et Vasconcelos, 2010).

4.2.1.3. La cylindrospermopsine (CYN)

La cylindrospermopsine n'est pas apparentée chimiquement aux microcystines et aux nodularines. Elle peut induire des effets toxiques au foie, mais également aux reins et possiblement à d'autres organes (thymus, cœur) (Duy *et al.*, 2000 ; AFSSA-AFSSET, 2006 ; Funari et Testai, 2008 ; Humpage, 2008). La CYN est un alcaloïde hépatotoxique de 415 Da ; elle est une guanine tricyclique combinée à un uracile hydroxyméthylé (fig. 7). Sa structure chargée électriquement la rend très polaire et très soluble dans l'eau (Chiswell *et al.*, 1999).

Deux variantes de la cylindrospermopsine ont été identifiées à ce jour, la 7-épicylindrospermopsine possédant une toxicité équivalente à la molécule mère et la 7-desoxycylindrospermopsine dont la toxicité fait encore débat (Looper *et al.*, 2005; Falconer et Humpage, 2006).

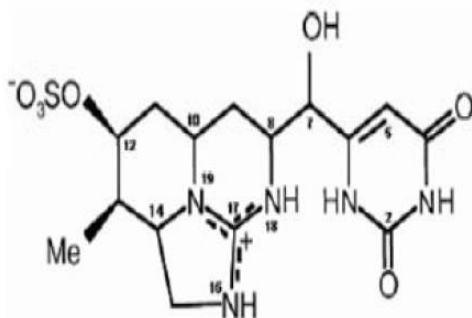


Figure 7 : Structure chimique de la cylindrospermopsine (Falconer et Humpage, 2006)

➤ Mécanismes de la toxicité

La toxicité de la cylindrospermopsine provient de sa capacité à inhiber la synthèse protéique des tissus touchés causant d'importantes modifications fonctionnelles des organes et même la mort des organismes affectés selon la durée et la dose d'exposition (Falconer et Humpage, 2006). De plus, la cylindrospermopsine est capable de s'insérer dans la double hélice d'ADN causant des cassures chromosomiques et des inhibitions irréversibles de la synthèse protéique (Falconer et Humpage, 2006).

4.2.2. Les neurotoxines

Elles ciblent le système neuromusculaire et provoquent des paralysies musculaires, notamment du système respiratoire, entraînant la mort des organismes touchés, en quelques heures voir même quelques minutes (Chorus et Bartram, 1999).

4.2.2.1. Les anatoxines

Les anatoxines sont des molécules de nature alcaloïdique (fig. 8).

4.2.2.1.1. L'anatoxine-a est une amine secondaire de faible poids moléculaire (165 Da) responsable de la dépolarisation des jonctions neuromusculaires (van Apeldoorn *et al.*, 2007).

4.2.2.1.2. L'homoanatoxine -a est un homologue de l'anatoxine -a où un groupement acétyle est substitué par un groupement propionyle (Svrcek et Smith, 2004).

4.2.2.1.3. L'anatoxine-a(s) est un ester de phosphate de la N-hydroxyguanine (252 Da) dont aucun variant n'a été observé à ce jour. Seul deux espèces d'*Anabaena* semblent produire cette toxine : *A. flos-aquae* et *A. lemmermannii* (van Apeldoorn *et al.*, 2007).

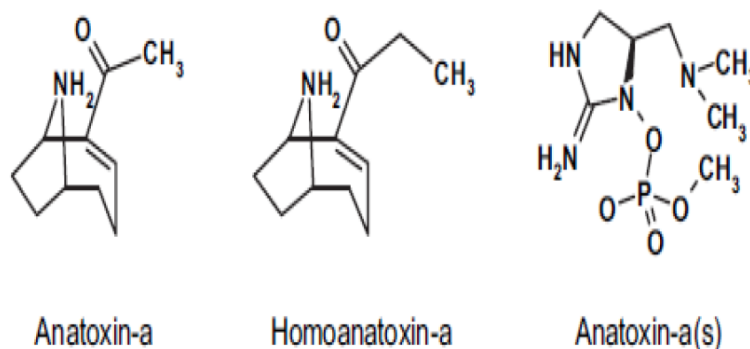


Figure 8 : Structure chimique de l'anatoxine-a, de l'homo anatoxine-a et de l'anatoxine-a (s)
(Aráoz *et al.*, 2010)

➤ Mécanismes de la toxicité

❖ **L'anatoxine-a** ouvre les canaux sodiques en se liant aux récepteurs nicotiques et muscariniques de l'acétylcholine, ce qui déclenche une dépolarisation post-synaptique et la contraction des cellules musculaires. Cependant, elle n'est pas dégradée par l'acétylcholinestérase, son action sur les cellules musculaires ne cesse pas et, à force d'être stimulées, ces cellules s'épuisent et cessent de fonctionner (Lilleheil *et al.*, 1997 ; van Apeldoorn *et al.*, 2007).

❖ **L'homoanatoxine-a** responsable du blocage des contractions musculaires par l'augmentation des flux de Ca²⁺ au niveau des terminaux nerveux cholinergiques. Ses effets sont

comparables à ceux de l'anatoxine-a et entraînent rapidement la mort des individus intoxiqués (van Apeldoorn *et al.*, 2007).

❖ **L'anatoxine-a(s)** se distingue de l'anatoxine-a par un profil d'activité plus muscarinique. Elle agit indirectement par inhibition de la dégradation de l'acétylcholine par l'acétylcholinestérase. Le neuro-mé debateur reste attaché à ses récepteurs et stimule les muscles respiratoires qui finissent par cesser de fonctionner (van Apeldoorn *et al.*, 2007).

4.2.2.2. Les saxitoxines et leurs dérivés

Les saxitoxines sont des alcaloïdes à un noyau tétrahydropurique regroupant la saxitoxine et la neosaxitoxine, les gonyautoxines (GTXs) et les C-toxines (fig. 9) (van Apeldoorn *et al.*, 2007). A ce jour, 22 variants ont été répertoriés en fonction du nombre de groupe SO^3 dans la molécule (Ferrão-Filho et Kozlowsky-Suzuki, 2011).

Les saxitoxines et leurs dérivés ne sont pas produits exclusivement par les cyanobactéries. Ils sont également produits par certaines espèces de dinoflagellés marins. Elles sont responsables des intoxications paralysantes par les fruits de mer en raison de leur capacité à s'accumuler dans les crustacés et mollusques (Funari et Testai, 2008).

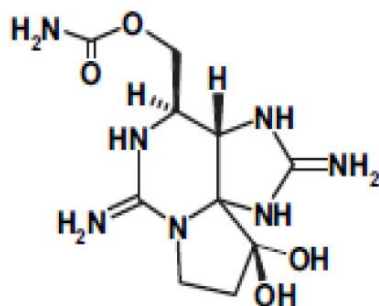


Figure 9 : Structure chimique de la saxitoxine (Aráoz *et al.*, 2010)

➤ Mécanismes de la toxicité

Les saxitoxines et leurs dérivés ont le même mécanisme d'action, à savoir bloquer les canaux de sodium des neurones, ce qui empêche la transmission de l'influx nerveux (Kao, 1993). Elles inhibent aussi les canaux de calcium et de potassium des cellules cardiaques, ce qui rend la propagation de leur potentiel d'action impossible (Su *et al.*, 2004). La saxitoxine est le membre de ce groupe de toxines qui a la toxicité la plus élevée (Kao, 1993). Elles ont une stabilité chimique variable et se transforment souvent en sous-produits qui peuvent être plus ou moins toxiques (Sivonen et Jones, 1999).

4.2.2.3. β -N-méthylamino-L-alanine (BMAA)

La BMAA dont la structure est similaire à celle de l'alanine (fig. 10), est l'unique acide aminé non impliqué dans la synthèse protéique. Cet acide aminé serait produit par un très grand nombre de cyanobactéries qu'elles soient symbiotiques, planctoniques ou benthiques, issues des milieux terrestres ou aquatiques (Cox *et al.*, 2005). Elle existe sous deux formes différentes ; soit libre ou liée à une protéine (Ince et Codd, 2005).

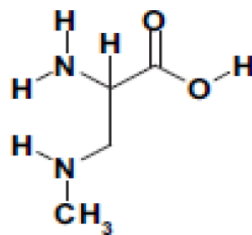


Figure 10 : Structure chimique de la β -N-méthylamino-L-alanine (Aráoz *et al.*, 2010)

➤ Mécanismes de la toxicité

Après ingestion, la BMAA agit comme un agoniste des récepteurs glutaminergiques au niveau des synapses glutaminergique entraînant une excitation des neurones. Elle pourrait être impliquée dans de nombreuses maladies neurodégénératives (Cox *et al.*, 2005). La BMAA peut causer la mort sélective des neurones moteurs (Lobner *et al.*, 2007; Rao *et al.*, 2006).

4.2.3. Les dermatotoxines

Les dermatotoxines sont des molécules qui ont des effets irritants. Elles sont des lipopolysaccharides (LPS) et des alcaloïdes dermatotoxiques. Les LPS cyanobactériens ont été isolés pour la première fois à partir d'*Anacystis nidulans* (Chorus et Bartram, 1999). Les LPS ont une activité pyrogène et provoquent des irritations importantes principalement dues à leurs composés lipidiques (Chorus et Bartram, 1999).

La lyngbyatoxine A, la débromoaplysiatoxine et les aplysiatoxines, toutes de nature alcaloïdique (fig. 11), sont responsables de fortes irritations cutanées et d'inflammations gastrointestinales (Chorus et Bartram, 1999).

L'aplysiatoxine et la débromoaplysiatoxine sont des phénols bilactones. Elles sont de puissants agents inflammatoires et s'avèrent des activateurs de la protéine kinase C et des promoteurs de tumeurs (Sivonen et Jones, 1999).

La lymbbyatoxine est un alcaloïde avec indole. Sa structure moléculaire est identique à celle d'un isomère de la téléocidine A présent dans le mycélium de nombreuses souches de *Streptomyces* (Osborne *et al.*, 2001). Elle cause des dermatites et de l'inflammation au niveau de la bouche et du système gastro-intestinal (Svrcek and Smith, 2004).

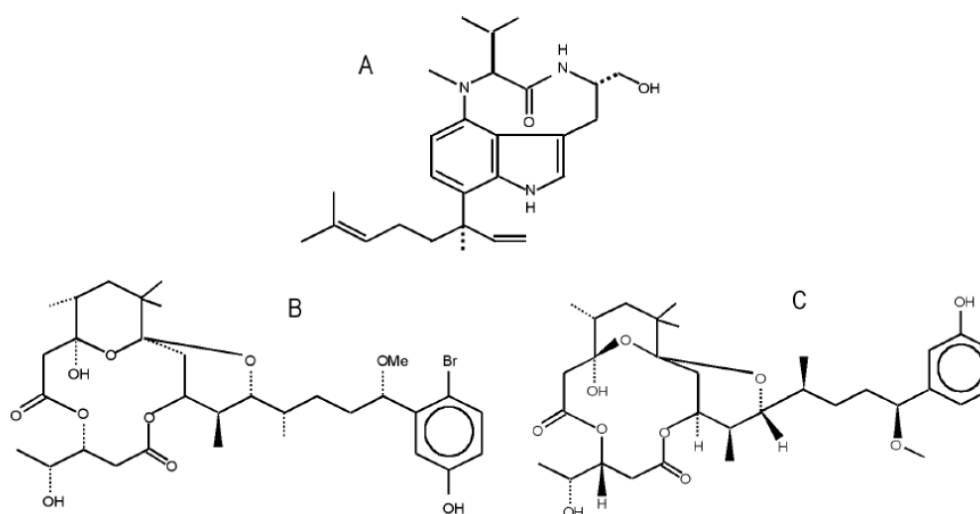


Figure 11 : Structure chimique de la lymbbyatoxine A (A), de la débromoaplysiatoxine (B) et de l'aplysiatoxine (C) (Chorus et Bartram, 1999)

➤ Mécanismes de la toxicité

Les LPS se fixent à des récepteurs transmembranaires de la famille des récepteurs de type Toll et initient une cascade de réponses chez l'hôte. Il y a, entre autres, une libération de cytokines et autres médiateurs de l'inflammation, une stimulation des monocytes et des macrophages, une affluence de neutrophiles et de plaquettes ; ceci peut mener à des lésions vasculaires (Heumann *et al.*, 2002).

L'aplysiatoxine et la débromoaplysiatoxine sont de puissants promoteurs de tumeurs cutanées via des activations de la protéine kinase C (Fujiki *et al.*, 1990). La lymbbyatoxine provoque des dommages sévères au niveau des villosités capillaires du petit intestin, ce qui y cause des saignements, après une injection intraveineuse d'une dose létale. Chez la souris. Une

dose sublétales de cette toxine entraîne également une érosion de l'estomac, du petit et grand intestin ainsi qu'une inflammation des poumons (Ito *et al.*, 2002).

4.3. Voies de biosynthèse des cyanotoxines

La présence des acides aminés inhabituels dans la structure des peptides qui constituent certaines cyanotoxines a conduit les chercheurs à investiguer l'implication des complexes multienzymatiques tels que les peptides synthétases non ribosomiaux (NRPSs) et les polyketides synthases (PKSs) dans la production des peptides et des lipopeptides chez les cyanobactéries (fig. 12).

Le PKS et la NRPS sont deux enzymes impliquées dans la biosynthèse des métabolites secondaires chez les cyanobactéries (Sivonen et Börner, 2008). Les NRPS possèdent une organisation modulaire (Tillett *et al.*, 2000; Neilan *et al.*, 2008). Ils peuvent être composés d'un ou de plusieurs modules, chaque module étant responsable d'une étape enzymatique dans la biosynthèse des microcystines. Le premier module sert généralement à l'initiation et permet de débiter la synthèse. Quant aux modules suivants, ils sont responsables de l'élongation du peptide (Kleinkauf et Von Dohren, 1996 ; Dittmann et Börner, 2005). Les modules d'élongation sont caractérisés par trois domaines (Kleinkauf et Von Dohren, 1996) :

Adénylation (A) : permet la fixation de l'acide aminé et son activation par une réaction d'adénylation (l'acide aminé fixé est transformé en aminoacyl adénylé).

Thiolation (T) : permet au peptide en formation d'ester accroché à la synthétase par une liaison thioester.

Condensation (C) : permet la catalyse des différentes réactions (spécifiques à chaque module) et la formation de la liaison peptidique.

Les complexes enzymatiques de PKS ont une structure modulaire, et chacun des modules est responsable d'une réaction enzymatique spécifique, dont l'action, dans le cas de la microcystine, permet la formation de la fraction Adda (Dittmann et Börner, 2005).

La finalisation de la synthèse du peptide par les synthétases a lieu grâce à un domaine terminal (domaine Te : réaction de thioesterification) responsable de la libération du peptide par lyse de la liaison thioester entre le peptide et le domaine T du dernier module d'élongation (Kleinkauf et Von Dohren, 1996).

La partie du génome codant pour les microcystines a d'abord été décrite chez *Microcystis aeruginosa* K-139 et PCC 7806 (Nishizawa *et al.*, 1999 ; Tillett *et al.*, 2000) puis chez *Planktothrix agardhii* CYA 126 38 (Christiansen *et al.*, 2003) et *Anabaena sp.* 90 (Rouhiainen *et al.*, 2004). Le cluster de gènes codant pour les nodularines a été décrit chez *Nodularia spumigena* NSOR10 (Moffitt et Neilan, 2004) et récemment pour la cylindrospermopsine chez *Cylindrospermopsis raciborskii* AWT205 (Mihali *et al.*, 2008).

Les microcystines sont synthétisées par un complexe enzymatique : la microcystine synthétase incluant le NRPS, le PKS qui sont codés par le groupe de 9 à 10 gènes *mcy* d'une taille totale de 55 kb (Dittmann *et al.*, 2001) organisés en deux opérons, dont la transcription est régulée par un promoteur central commun et bidirectionnel (Kaebernick *et al.*, 2002). L'inactivation d'un seul de ces 10 gènes suffit à inhiber la production de microcystine (Dittmann *et al.*, 1997; Pearson *et al.*, 2004).

Chez le genre *Microcystis* et *Anabaena*, le premier opéron contient les gènes du NRPS (*mcyA*, *-B*, *-C*) est orienté dans un sens, alors que le second inclus un gène du PKS (*mcyD*), deux gènes hybrides correspondant aux NRPS et PKS (*mcyE* et *mcyG*), et d'autres types de gènes (*mcyF*, *-H*, *-I*, *-J*) est orienté dans le sens inverse. Ces opérons sont transcrits à partir d'un promoteur central bidirectionnel situé entre *mcyA* et *mcyD* chez les *Microcystis*, et entre *mcyA* et *mcyG* chez les *Anabaena* (Nishizawa *et al.*, 2000 ; Rouhiainen *et al.*, 2004). Chez les *Planktothrix*, tous les gènes de la microcystine synthétase sont orientés dans le même sens, à l'exception du gène *mcyT* (Christiansen *et al.*, 2003).

Le groupe de gènes de la nodularine synthétase, impliquée dans la biosynthèse de nodularine chez une souche de *Nodularia* a été séquencé (Moffitt et Neilan, 2001). Il a été suggéré que les gènes de la nodularine synthétase ont été reformulés suite à des délétions et des altérations dans les séquences de gènes de la microcystine synthétase (Rantala *et al.*, 2004 ; Jungblut et Neilan, 2006). Les nodularines sont codées par une séquence de 47 kb constituée de 9 gènes organisés aussi en deux opérons : *nda A-B* et *nda C-D-E-F-G-H*.

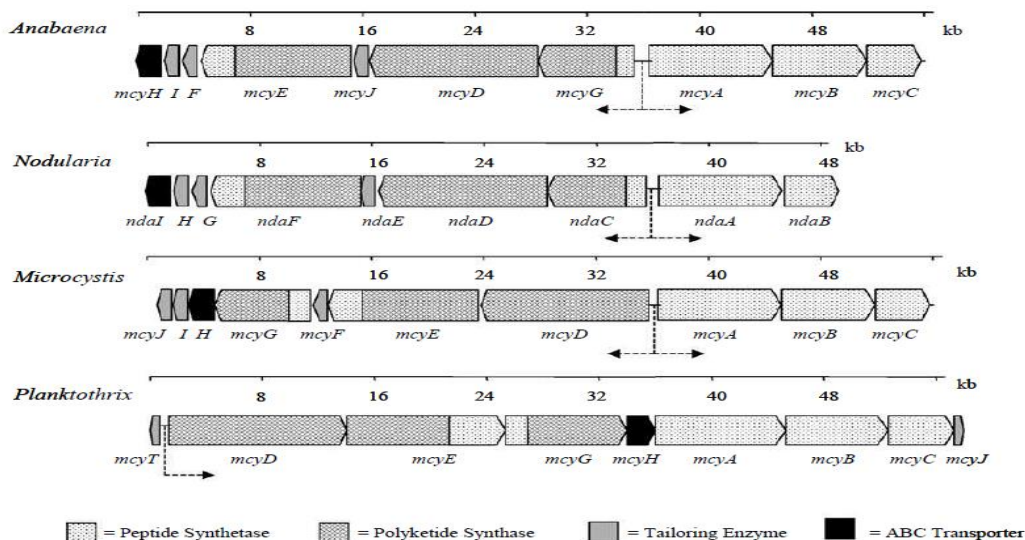


Figure 12 : Clusters de gènes codant pour la biosynthèse des microcystines chez *Anabaena*, *Microcystis* et *Planktothrix* et des nodularines chez *Nodularia* (Dittmann et Borner, 2005)

Récemment, le cluster de gènes impliqués dans la synthèse des saxitoxines a été mis en évidence chez la cyanobactérie *Cylindrospermopsis raciborskii* productrice de saxitoxines. Ce cluster compte environ 35000 paires de bases et code pour 26 protéines impliquées dans la biosynthèse des saxitoxines (Kellmann *et al.*, 2008 ; Moustafa *et al.*, 2009).

La cylindrospermopsine est codée par une séquence de 43 kb constituée de 15 gènes (fig. 13). La synthèse de cette toxine fait intervenir des polykétides synthases et peptides synthétases.

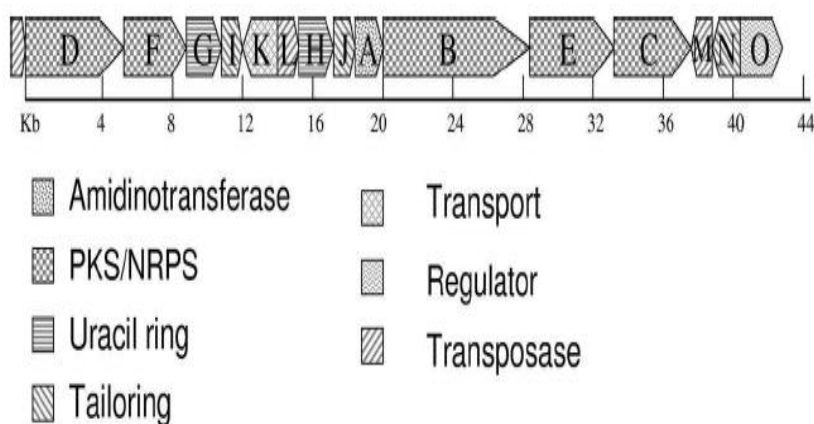


Figure 13 : Structure du cluster de gènes *cyr* codant pour la cylindrospermopsine (Mihali *et al.*, 2008)

5. Conséquences des proliférations de cyanobactéries

L'apparition des blooms de cyanobactéries provoque des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques avec de nombreuses perturbations environnementales, économiques et sanitaires. En effet, la présence des cyanobactéries, sous forme d'efflorescences, conduit à une diminution globale de la biodiversité des milieux où elles se développent (Sotton, 2013).

5.1. Impacts économique

Des coûts économiques pour le traitement de l'eau et des pertes dans le tourisme, les valeurs immobilières et les entreprises (Dodds *et al.*, 2009).

5.2. Impacts sur les écosystèmes aquatiques

Les proliférations de cyanobactéries induisent des déséquilibres sur les écosystèmes aquatiques. Les niveaux de biomasse associés aux efflorescences entraînent une réduction de la transparence de l'eau et conduisent à l'absence de développement de la végétation aquatique, impliquant la disparition d'habitats pour les invertébrés et les poissons (Paerl et Huisman, 2008).

L'augmentation du pH qui accompagne la forte activité photosynthétique au niveau des blooms peut entraîner la mort de certains poissons (Abrantes *et al.*, 2006). Lors de la phase de sénescence des efflorescences, la dégradation de la biomasse produite par les bactéries hétérotrophes peut induire des phases de désoxygénation de la masse d'eau conduisant à des mortalités massives de poissons (Hudnell, 2008) et à un déséquilibre de l'ensemble de la chaîne trophique (Vanni *et al.*, 1990).

Les effets néfastes des cyanobactéries se manifestent également sur la croissance, le développement et la reproduction de plusieurs espèces de zooplancton et de crustacés (Vansconcelos, 1999).

5.3. Impacts sanitaires

Un grand nombre d'espèces de cyanobactéries est capable de synthétiser des toxines de diverses natures qui peuvent avoir des impacts néfastes sur la santé des animaux terrestres (Briand *et al.*, 2003) (tab. 3) et de l'Homme (Chorus et Bartram, 1999) (tab.4).

Tableau 3 : Exemples d'intoxications animales liées aux toxines de cyanobactéries (Briand *et al.*, 2003)

Cyanobactéries	Animaux décédés	Toxicité/toxines	Pays
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Bétail	Hépatotoxicité/MC	Argentine
	Bétail	Hépatotoxicité	Norvège
	Moutons	Hépatotoxicité	Australie
	Chiens	Hépatotoxicité/MC	Angleterre France
	Truites	Hépatotoxicité/MC	Ecosse
	Bétail, Rhinocéros blanc	Hépatotoxicité/MC	Afrique
	Canards	Hépatotoxicité/MC	Japon
	<i>Anabaena circinalis</i>	Bétail, Moutons	Neurotoxicité/SAX
<i>Anabaena flos-aquae</i>	Chiens, Cochons, Canards	Neurotoxicité/ANTX-a	Etas-Unis Canada
	Bétail	Neurotoxicité/ANTX-a	Canada
	Oiseaux aquatiques		
	<i>Oscillatoria sp.</i>	Chiens	Neurotoxicité/ANTX-a
<i>Planktothrix agardhii</i>	Oiseaux aquatiques, Poissons et Rats musqués	Hépatotoxicité	Finlande
<i>Nodularia spumigena</i>	Chiens, Bétail	Hépatotoxicité/Nodularin es	Finlande, Norvège, Suède, Afrique, Allemagne
	Chiens Moutons, Bétail	Hépatotoxicité Hépatotoxicité/Nodularin es	Australie
<i>Phormidium favosum</i>	Chiens	Hépatotoxicité	Allemagne
	Chiens	Neurotoxicité/ANTX-a	France
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Bétail, Moutons	Hépatotoxicité/CYL	Australie

Tableau 4 : Exemples d'intoxications humaines liées aux toxines de cyanobactéries (Chorus et Bartram, 1999)

	Cyanobactéries / Toxines	Effet	Pays
Par ingestion	<i>Microcystis</i> sp.	épidémie de gastro-entérite	Etats Unis
	<i>Microcystis</i> sp. et <i>Anabaena Circinalis</i>	nausées, diarrhées	Canada
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	épidémie de gastro-entérite	Zimbabwe
	<i>Phormidium</i> sp. <i>Lyngbia</i> sp	épidémie de gastro-entérite	Etats Unis
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	hépatite, vomissements, diarrhées...	Australie
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	maux de tête, diarrhées, vomissements	Grande Bretagne
	<i>Planktothrix agardhii</i>	épidémie de gastro-entérite	Suède
	<i>Planktothrix agardhii</i>	dermatite, vomissement, asthme,	Grande Bretagne
Par hémodialyse	Microcystines	117 intoxications, 60 morts	Brésil
	<i>Microcystis aeruginosa</i> et <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	intoxications ?	Portugal

1. Milieu d'étude

1.1. Présentation du milieu d'étude

1.1.1. Localisation générale

Le Lac Oubeïra est situé à 3 Km à l'Ouest de la ville d'El-Kala, dans la Wilaya d'El-Tarf à l'extrême Nord-Est de l'Algérie. La grande ville la plus proche est Annaba à 70 Km à l'Ouest. Il est limité au Nord-Est par Djebel Boumerchene, à l'Est par les monts D'El-Kala et ceux d'El Frine et au Nord-Ouest par la lagune EL Mellah. Cette étendue d'eau douce totalise une superficie globale de 229.110 km².

1.1.2. Coordonnées géographiques

Le lac Oubeïra est situé à une latitude de 36°50' Nord, une longitude de 08° 23'Est, et une altitude de 25 mètres (par rapport du niveau de la mer) (Marre, 1987).

1.1.3. Géomorphologie du site

Oubeïra est un lac endoréïque (sans écoulement vers la mer), d'eau douce, permanent. Il est en forme de cuvette à fond plus ou moins plat légèrement incliné vers le Nord (fig. 14), d'origine naturelle ayant une profondeur maximale de 4 m. Ce lac de 2200 ha ; sa longueur selon un axe nord-sud passant par le milieu est de 4,20 km. La largeur selon un axe Est-Ouest passant par le milieu est de 5,22 km. Le périmètre est égal à 19,80 km. Ce lac est délimité par un bassin versant de 9 900 hectares, ce dernier alimente le lac par quatre oueds dont le plus important : oued Messida au Sud-Est, oued Demnet Errihane au Nord, oued Bou Merchen au Nord-Est et oued Degrah a l'Est (Messerer, 1999).



Figure 14 : Localisations du lac Oubeïra (Amri, 2008)

1.2. Climat

Le lac Oubeïra, avec la région d'El Kala, se place dans l'étage subhumide à hiver chaud, avec des vents permanents à dominance Nord-Ouest. La pluviométrie annuelle moyenne est située entre 700 et 800 mm et s'étale essentiellement du début du mois de d'Octobre jusqu'à la fin Mars. La région est caractérisée par deux saisons, l'une sèche de mai jusqu'à septembre et l'autre humide de septembre à avril.

1.3. Caractéristiques écologiques

Le lac Oubeïra est le seul site du complexe de la région d'El-Kala, qui présente une organisation spatiale typique en ceinture de végétation (Boumezbeur *et al.*, 2003a).

1.3.1. Flore

Le lac **Oubeïra** est le seul site algérien abritant la chataîgne d'eau *Trapa natans* et le nénuphare jaune *Nuphar luteum*. On note également le nénuphare blanc *Nymphaea alba*, le Scirpe incliné *Scirpus inclinatus*, le *Sparganium erectum* et le Rubanier rameux *Zanicheliapalustris*.

1.3.2. Faune

Ce lac abrite plusieurs espèces aviaires, parmi lesquelles nous citons la Talève sultane *Porphyrio porphyrio*, l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala*, le Fuligule nyroca

Aythya nyroca, l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus*, l'Oie cendrée *Anser anser*, le Flamant rose *Phoenicopterus ruber*, le Grand cormoran *Phalacrocorax carbo*, le Blongios nain *Ixobrychus minutus*, et le Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus*, etc. Les Mammifères sont notamment représentés par la loutre *Lutra lutra*.

Les insectes sont représentés par au moins 28 espèces d'Anisoptères (Odonates), parmi elles nous citons *Anax imperator*, *Anax parthenope*, *Ashna mixta*, *Aeschna affinis*, *Hemianaxephippiger*, *Orthetrum cancellatum*, *Acisoma panorpoides ascalaphoides*.

1.4. Intérêts du lac

Le lac Oubeïra est d'un grand intérêt socio-économique par la production halieutique, ainsi que par l'exploitation de l'eau pour l'irrigation. Il a servi de source d'approvisionnement en eau potable pour la ville d'El Kala. Cependant, ce stock est aujourd'hui menacé par le pompage incontrôlé pour les cultures spéculatives et le déversement des eaux usées provenant des villages, constituent aussi une menace non négligeable dont les effets ne sont pas encore visibles (Boumezbeur, 2002 ; Boumezbeur *et al.*, 2003a).

2. Echantillonnage

Dans le lac Oubeïra, Les échantillons des cyanobactéries ont été collectés mensuellement pendant la période s'étalant de Juillet 2015 à Avril 2016.

Pour chaque prélèvement une fiche de terrain a été élaborée d'après Brient *et al.* (2004) ; Blais (2006) et le site de l'Office National de la Météorologie (www.freemteo.com) contenant les données suivantes :

- date et heure du prélèvement,
- paramètres physico-chimiques de l'eau,
- données météorologiques,
- surveillance des fleurs d'eau.

Un exemple de fiche de terrain en date du 20 Mars 2016 est présenté en annexe 1.

Le volume d'eau à échantillonner dépend des types d'analyses réalisés. En ce qui concerne l'identification et le dénombrement des cyanobactéries, un volume de 100 à 200 ml est généralement suffisant (CEN, 2006). Pour les analyses physico-chimiques un volume de 1 à 1.5 litre d'eau de surface est suffisant.

3. Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (Rodier *et al.*, 2009).

Le prélèvement d'eau de surface est réalisé avec une bouteille en plastique en raison des facilités qu'elles présentent pour le transport et la possibilité de leur usage unique étant donné leur faible coût. La bouteille est remplie en décrivant un arc de cercle vers le bas, c'est-à-dire en entrant dans les premiers centimètres de la colonne d'eau, puis en remontant vers la surface (Dorion *et al.*, 2013).

Pour la réalisation de l'étude qualitative des cyanobactéries, les prélèvements sont effectués à l'aide d'un filet à plancton, de 20 μm de vide de mailles, muni d'un collecteur (fig. 15). Cette opération consiste à filtrer 50 litres d'eau de surface, à l'aide du filet, puis à récupérer dans le collecteur 100 ml afin de concentrer la population des Cyanobactéries.



Figure 15 : Photographie du filet à plancton

Les échantillons peuvent être conservés à l'aide d'une solution de lugol ou d'une solution de formol d'aldéhyde à 37%.

La solution de lugol (1% v/v) est ajoutée à 100 ml d'eau filtrée. Le fixateur tue les algues, les alourdit, facilite leur sédimentation et permet leur conservation pendant plusieurs mois. Les échantillons lugolés sont gardés à la température de 4 °C.

La solution de formol d'aldéhyde à 37% est ajoutée à 100 ml d'eau filtrée, ceci permet d'une part de fixer les structures contenues dans le filtrat et d'autre part d'éviter toute activité bactérienne. Ces échantillons sont conservés à la température ambiante.

Les flacons sont munis d'une étiquette sur laquelle sont notés la date, le numéro de station de prélèvement, type d'échantillonnage et le conservateur (fig. 16).

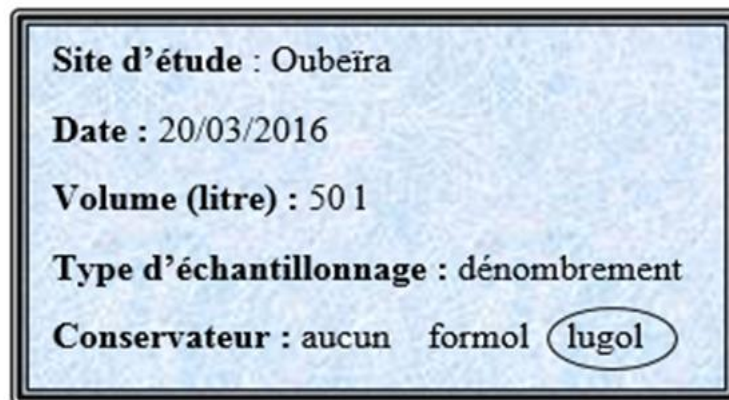


Figure 16 : Exemple d'étiquette pour les différents prélèvements

Les différents échantillons sont transportés dans une glacière et à l'obscurité ce qui permet d'assurer une conservation satisfaisante (Rodier *et al.*, 1996).

4. Identification et dénombrement des cyanobactéries

4.1. Identification

La détermination des genres de chaque récolte est réalisée à partir de l'observation, sous microscope optique. Une goutte de l'échantillon a été prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur, puis déposée entre lame et lamelle. Cette dernière est placée sous le microscope optique (**x 10**) puis (**x 40**) afin d'être observée.

L'identification des cyanobactéries est basée sur l'observation des caractéristiques morpho-anatomiques selon les clés d'identification retenus (Bourrelly, 1985 ; Anagnostidis et Komàrek, 1988,1990 ; Chretiennot-Dinet, 1990 ; Komarek, 1991 ; Coute, 1995 ; Watanabe, 1996 ; Castenholz, 2001 ; Komàrek *et al.*, 2003 ; Komàrek et Komàrkova, 2003 ; Couté et Bouvy, 2004 ; Komàrek et Anagnostidis, 1986, 1989 ; 1998, 2005). Ainsi que différents ouvrages et publications traitant la taxonomie du phytoplancton, ont aidé à réaliser l'identification tels que : Trégouboff et Rose (1978) ; Straub (1984), Nezan *et al.*, (1997) ; Hansen *et al.*, (2001) ; Pierre (2001) ; Straub *et al.*, (2004) ; Bafu (2007).

Les critères retenus sont :

- la structure de micro algues (colonie ou filamenteuse),
- la forme de la colonie ou du trichome,

- La taille et la couleur,
- La présence ou l'absence de :
 - Gaine gélatineuse (couleur et aspect),
 - Akinètes,
 - Hétérocystes,
 - vacuoles à gaz (pseudo vacuoles).

4.2. Dénombrement

Le dénombrement des cellules de cyanobactéries est réalisé à l'aide d'une cellule de comptage Malassez. Il s'agit d'une cellule composée de 100 rectangles dont 25 quadrillé. Le volume correspondant au quadrillage total est égal à 1 mm³. Le comptage des cellules des cyanobactéries nécessitent de compter un certain nombre de quadrant.

La méthode pour le dénombrement des cyanobactéries est la suivante :

- Homogénéiser les échantillons d'eau fixés par le lugol, par agitation du flacon.
- Prélever à l'aide de micropipette 1 µl de l'échantillon.
- L'injecter entre lame et lamelle en maintenant la lamelle avec le doigt après humidification des surfaces rodées.
- Observer à l'aide d'un microscope optique à l'objectif (**x10**) pour observer les colonies de cyanobactéries puis à (**x40**) pour leur identification.
- Déterminer et estimer les cyanobactéries sur 10 quadrants. Cette opération est répétée plusieurs fois (3 à 5 observations).

La détermination de la densité des cyanobactéries de l'échantillon s'effectue selon la formule suivante :

$$N = n / V$$

N : nombre de cellules par litres.

n : nombre de cellules comptées.

V : volume de comptage.

5. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau

Les prélèvements réservés au dosage des paramètres physico-chimiques, 1,5 litre, vont être partagés en :

- 500 ml d'eau non filtrée servent à mesurer la température, le pH et l'oxygène dissous
- 500 ml d'eau filtrée sur Whatman GF/C (0.45 μm) vont servir pour le dosage des paramètres chimiques : nitrate et orthophosphate.
- 500 ml qui restent sont conservés en cas de besoin.

5.1. Mesure des paramètres physiques :

Les paramètres physiques de l'eau sont mesurés *in situ* au moment du prélèvement. Les paramètres mesurés sont : la température, le pH, l'oxygène dissous à l'aide d'un analyseur multi paramètre type «WTW. Multi 340i/ SET». L'utilisation de cet appareil consiste à faire plonger la sonde appropriée dans l'eau, après étalonnage, puis attendre quelques secondes avant de lire le résultat de la mesure, après stabilisation de l'affichage de ce dernier sur l'écran.

5.2. Mesure des paramètres chimiques

5.2.1. Dosage des nitrates

➤ Principe

Selon **Rodier en 1978**, en présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

➤ Mode opératoire

- Rincer d'abord la fiole jaugée de 100 ml avec l'eau de l'échantillon,
- Introduire 10 ml d'eau dans la fiole jaugée,
- Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium,
- Ajouter 1ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage,
- Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau distillée,
- Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage,

➤ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO_3), multiplier ce résultat par 4,43.

La préparation des réactifs et la courbe d'étalonnage sont rapportées en annexe 2.

5.2.1.2. Dosage des Orthophosphates

➤ Principe

Selon **Rodier en 1978**, en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

➤ Mode opératoire

- Rincer d'abord la fiole jaugée avec l'eau de l'échantillon,
- Vérifier le ph de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire,
- Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml,
- Ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.
- Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

➤ Expression des résultats

La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

La préparation des réactifs et la courbe d'étalonnage sont rapportées en annexe 2.

6. Analyse des données statistique

Nous avons utilisé le coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson (Dagnelie, 2000) pour étudier l'influence des paramètres physico-chimiques sur le développement des cyanobactéries. Ce coefficient est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la relation linéaire entre deux variables quantitatives.

1. Résultat

1.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

Les paramètres physico-chimiques ont été choisis en fonction des facteurs favorisant la prolifération cyanobactérienne. L'échantillonnage a été effectué durant 10 mois de Juillet 2015 à Avril 2016, au niveau du lac Oubeira. Pour chaque échantillon les paramètres suivants ont été analysés.

1.1.1. Température

Les résultats des variations mensuelles de la température mesurée sont présentés dans la figure 17. Les résultats montrent que les valeurs de la température sont comprises entre 9 et 30. Les valeurs maximales sont obtenues en périodes estivales (30 °C) au mois de Juillet. La température montre une baisse progressive de juillet jusqu'à janvier où la valeur minimale est observée pendant ce mois (9°C).

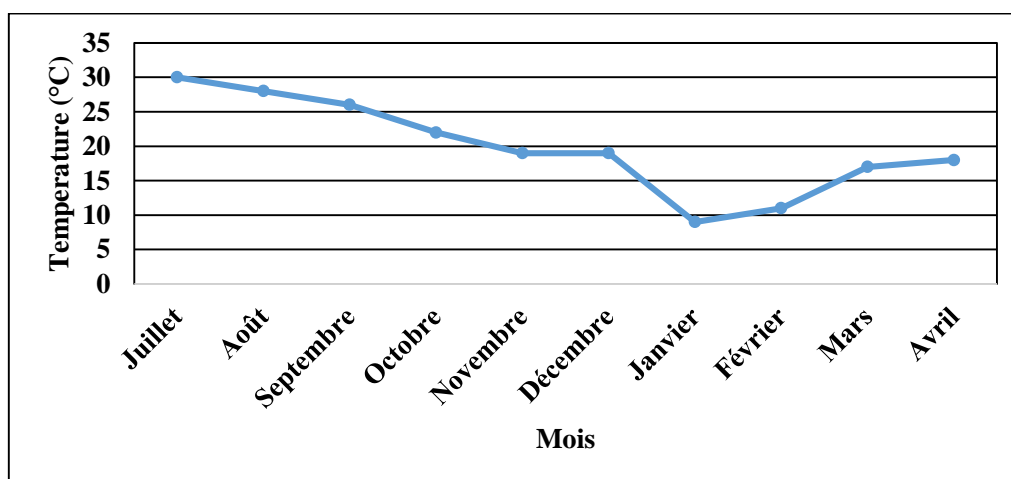


Figure 17 : variations mensuelles des températures de l'eau
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.1.2. pH

Les résultats montrent que les valeurs de pH sont comprises entre 6,46 et 8,3 (fig. 18). La valeur la plus basse, de 6,46, est enregistrée en période hivernale au mois de Février. En revanche, c'est en période automnale au mois d'octobre que les valeurs maximales sont relevées avec un pH de 8,3.

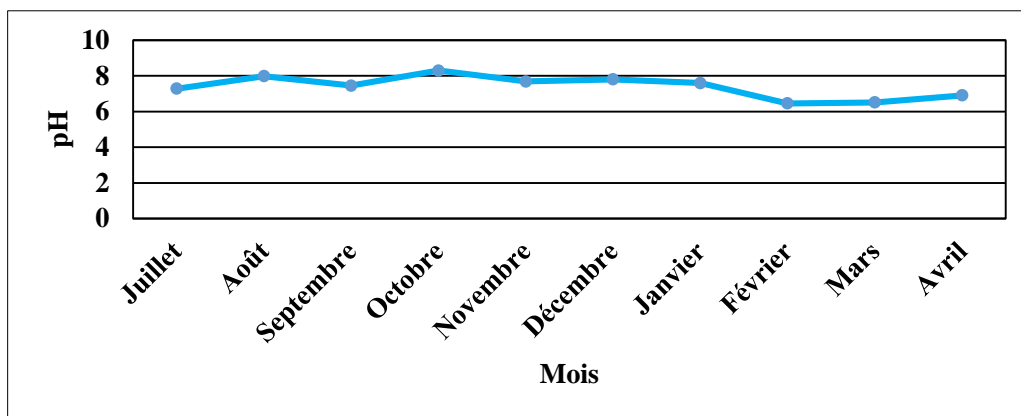


Figure 18 : variations mensuelles du pH de l'eau
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.1.3. Oxygène dissous

Les résultats des variations mensuelles de l'oxygène dissous mesurée, présentés dans la figure 19, montrent que les concentrations en oxygène dissous de l'eau varient d'un mois à l'autre. Elles sont comprises entre 3,08 et 12,06 mg/l. On note que les concentrations les plus basses sont enregistrées en période estivale au mois d'Août (3,08 mg/l) et les concentrations les plus élevées sont relevées en période hivernale au mois de Janvier (12,06 mg/l).

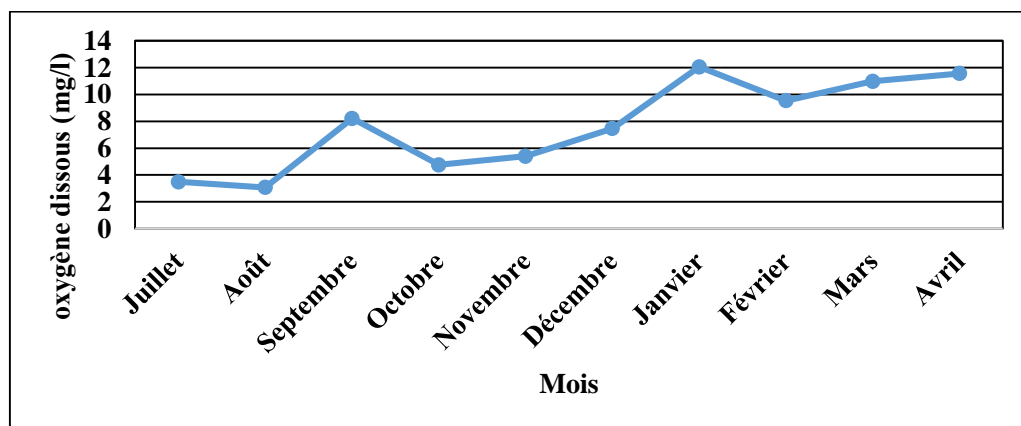


Figure 19 : variations mensuelles de l'oxygène dissous de l'eau
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.1.4. Nitrate

La figure 20 représente les résultats des variations mensuelles de nitrate mesurée pendant la période de cette étude. Les concentrations sont comprises entre 2,42 et 7,11 mg/l. C'est en période estivale au mois d'août que les concentrations les plus basses sont enregistrées (2,42mg/l). En revanche, les concentrations les plus élevées sont observées en période printanière pendant le mois d'avril (7,11 mg/l).

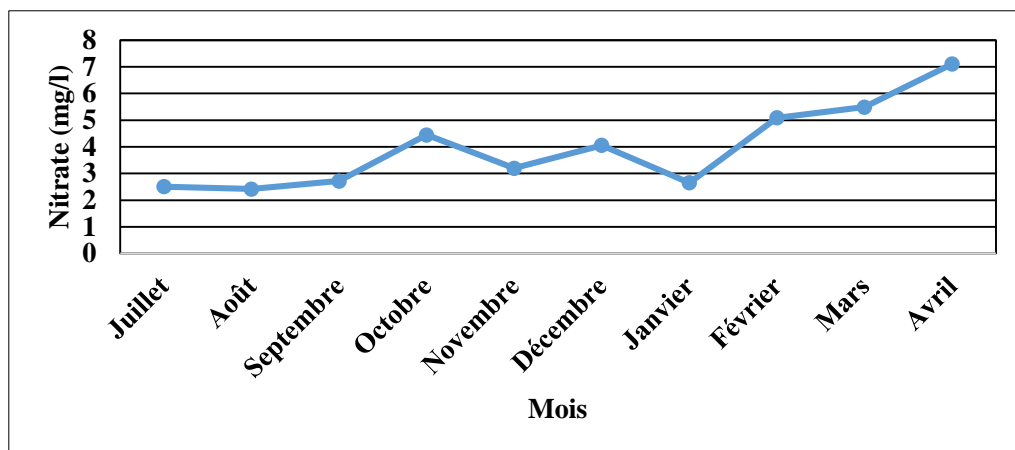


Figure 20 : variations mensuelles de nitrate de l'eau
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.1.5. Orthophosphates

Les résultats des variations mensuelles des concentrations des orthophosphates sont présentés dans la figure 21. Les concentrations des orthophosphates sont comprises entre 0,48 et 4,98 mg/l. on note qu'en périodes automnale, aux mois de Septembre et d'Octobre que les concentrations les plus basses (0,48 mg/l) sont relevées. Les valeurs maximales sont relevées aussi en période automnale, au mois de Novembre (4,98 mg/l).

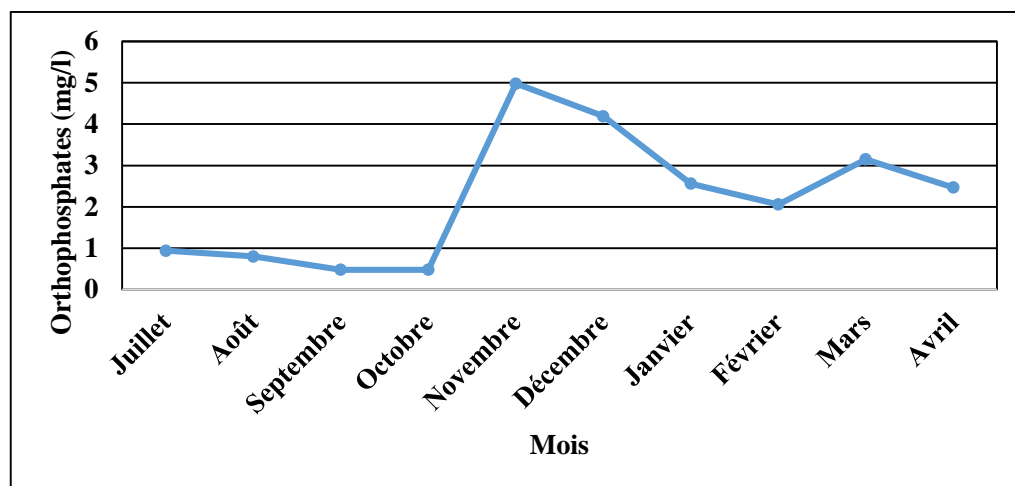


Figure 21 : variations mensuelles de l'orthophosphate de l'eau
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2. Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries potentiellement toxiques

1. 2.1. Etude qualitative des cyanobactéries

1. 2.1.1. Identification

L'observation des caractères morpho- anatomiques des cyanobactéries récoltées dans le lac Oubeira au cours de notre période d'étude (Juillet 2015 à Avril 2016) nous a permis d'identifier 8 genres. Parmi les genres identifiés, un sous forme d'amas cellulaire (*Microcystis*) et le reste se présentent sous forme de filament ou trichomes (*Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Planktothrix*, *Limnothrix*) (Tableau 5).

Tableau 5 : Distribution générique mensuelle des Cyanobactéries au niveau du Lac Oubeiradurant la période de Juillet 2015 à Avril 2016

Mois	Coloniale	Filamenteuse
Juillet	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Pseudanabaena</i>
Août	<i>Microcystis</i>	<i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Limnothrix</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Pseudanabaena</i> , <i>Anabaena</i>
Septembre	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Pseudanabaena</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i>
Octobre	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Pseudanabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i>
Novembre	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Pseudanabaena</i>
Décembre	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Cylindrospermopsis</i>
Janvier	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Cylindrospermopsis</i>
Février	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i> , <i>Cylindrospermopsis</i>
Mars	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i>
Avril	<i>Microcystis</i>	<i>Limnothrix</i>

Les photographies des 8 genres identifiés au cours de cette étude sont regroupées comme suite. Les caractères morphologiques qui ont servi de base pour leur identification sont également indiqués.

➤ Le genre *Microcystis*

Colonies de formes variées, à mucilage incolore. Cellules sphériques sans disposition particulière au sein de la colonie.

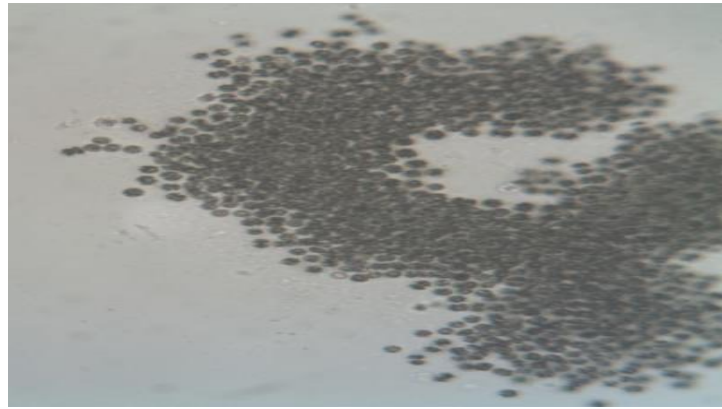


Figure 22 : Photographie du genre *Microcystis*

➤ **Le genre *Oscillatoria***

Trichomes généralement droits mais capables de mouvements d'ondulation (d'où le nom), ils sont libres, solitaires, droit ou flexueux. Akinètes et hétérocystes absentes.



Figure 23 : Photographie du genre *Oscillatoria*

➤ **Le genre *Limnothrix***

Trichomes solitaires, droits ou flexueux sans gaine mucilagineuse. Cellules cylindriques nettement plus longues que larges.



Figure 24 : Photographie du genre *Limnothrix*

➤ **Le genre *Cylindrospermopsis***

Trichomes solitaires, rectilignes, enroulés ou spiralés et sans gaine mucilagineuse. Hétérocytes pointus à leur apex libre, exclusivement terminaux (pas toujours présents) et akinètes simples ou par paires, éloignés ou adjacents aux hétérocytes.



Figure 25 : Photographie du genre *Cylindrospermopsis*

➤ **Le genre *Anabaena* :**

Les trichomes sont simples, réguliers, d'épaisseur égale, libres, sans gaines et présente des hétérocystes et des akinètes.



Figure 26 : Photographie du genre *Anabaena*

➤ **Le genre *Pseudanabaena***

Trichome droit à cellules isodiamétriques ou cylindriques et sans gaine avec absence des akinètes et des hétérocystes.

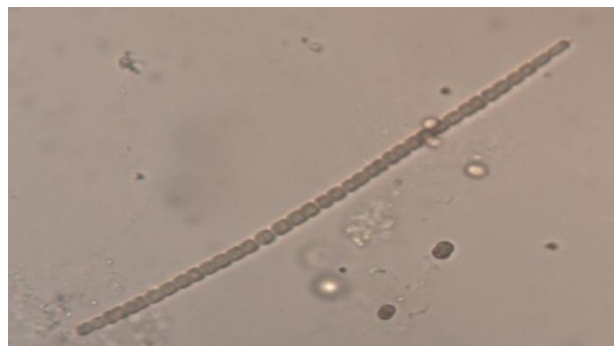


Figure 27 : Photographie du genre *Pseudanabaena*

➤ **Le genre *Aphanizomenon***

Trichomes droits, légèrement courbés, cylindrique ou fortement conique à l'extrémité et toujours sans gaines fermes (Bornet et Flahault, 1886).



Figure 28 : Photographie du genre *Aphanizomenon*

➤ **Genre *Planktothrix***

Trichomes en général rectilignes, solitaires dépourvu de gaine mucilagineuse. Cellules de forme cylindrique et plutôt courtes. Absence des akinètes et des hétérocystes.

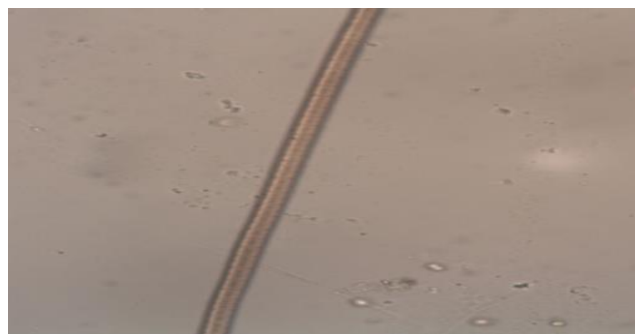


Figure 29 : Photographie du genre *Planktothrix*

1.2.2. Etude quantitative des cyanobactéries

1.2.2.1 Distribution saisonnière des cyanobactéries

Les résultats de la distribution saisonnière des cyanobactéries sont présentés dans la figure 30. L'estimation des densités saisonnières des cyanobactéries dans le lac Oubeïra montre des variations saisonnières. Les taux les plus forts sont observés en été avec une proportion de 47%. Les taux les plus faibles sont relevés au printemps avec une proportion de 1%.

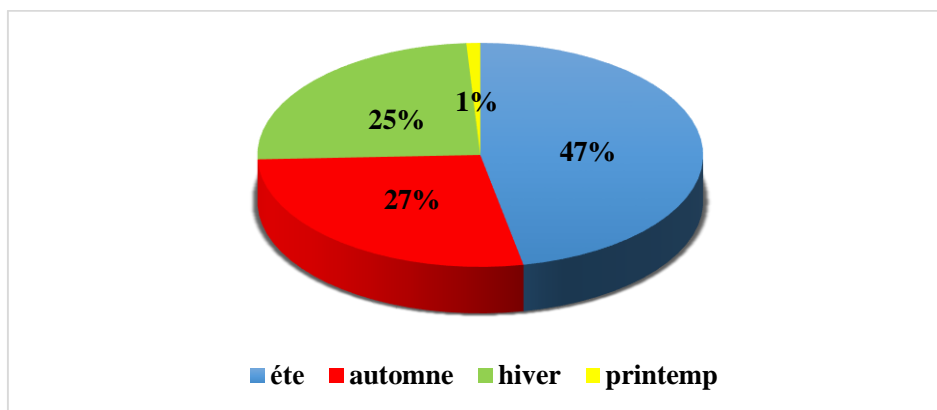


Figure 30 : Distribution saisonnière des cyanobactéries
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.2.2 Distribution temporelle des cyanobactéries

L'estimation de la densité mensuelle moyenne globale des Cyanobactéries dans le Lac Oubeira (fig. 31), révèle une variation de la distribution de ces populations dans le temps. En effet, Les valeurs maximales les plus élevées (4760 ind/ml) sont observées au mois de Juillet. En revanche, les valeurs minimales sont relevées au cours du mois d'Avril (40 ind/ml).

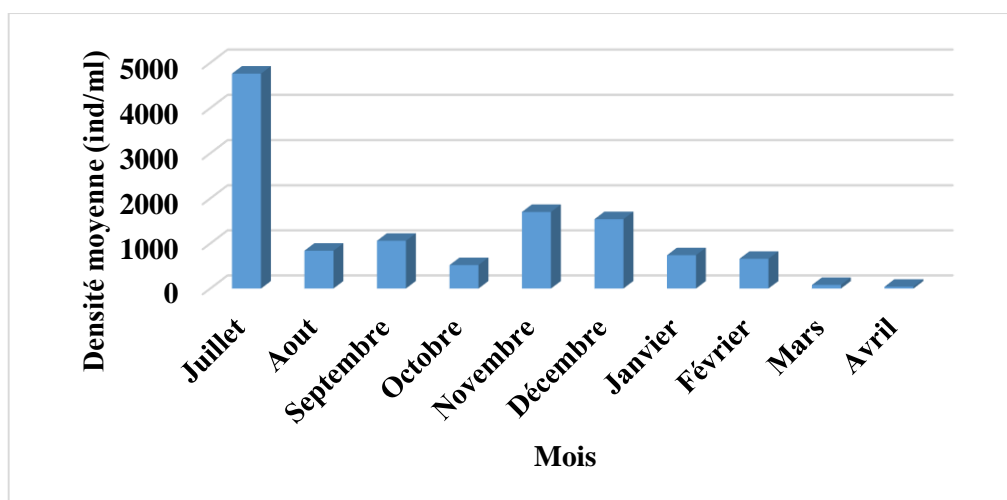


Figure 31 : Distribution temporelle des cyanobactéries
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.2.3 Densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés

L'estimation de la densité moyenne des genres de cyanobactéries identifiés font apparaître la prédominance du genre *Microcystis* qui présente une densité moyenne de 8540 ind /ml ; ce dernier est suivi par les genres *Limnothrix* et *Cylindrospermopsis* dont les densités respectives sont 2300 ind /ml et 660 ind /ml. Les 5 genres restant (*Anabaena*, *Pseudanabaena*,

Aphanizomenon, *Oscillatoria*, *Planktothrix*) présentent des densités moyennes inférieures à 50 ind/ml (fig. 32).

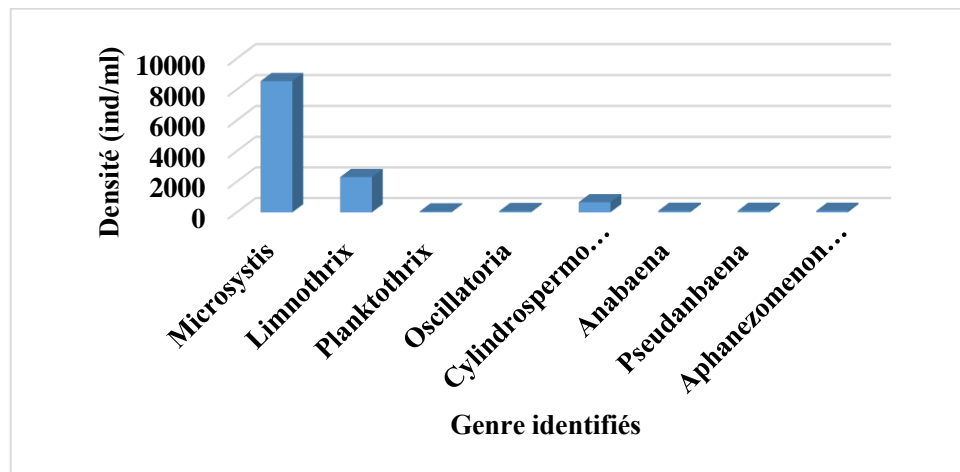


Figure 32 : Densité moyenne des genres de cyanobactéries
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.2.4. Distribution temporelle des genres des cyanobactéries recensés

➤ *Microcystis* :

Le genre *Microcystis* est présent durant toute la période d'étude. Les densités les plus élevées sont relevées aux mois de juillet avec un maximum de 4440 ind/ml. En revanche les densités les plus faibles sont relevées aux mois de Mars et Avril avec un minimum de 20 ind/ml (fig. 33).

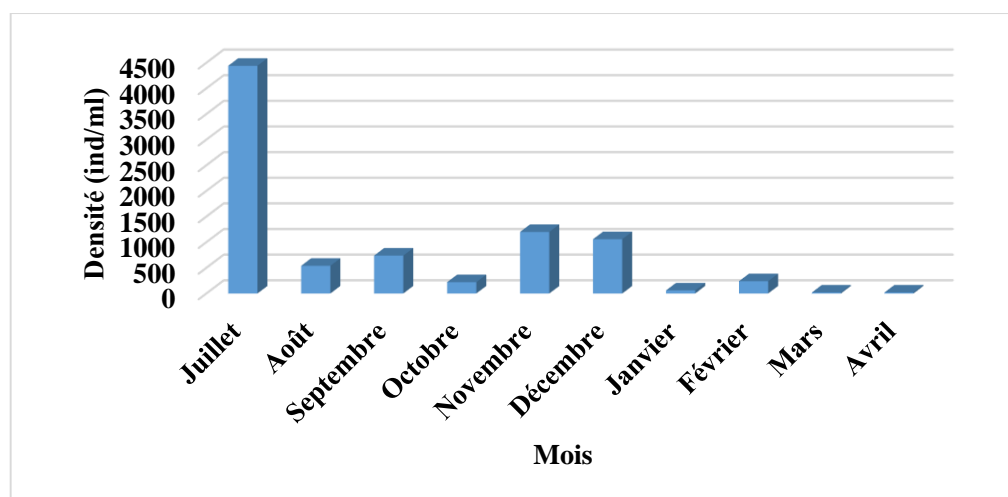


Figure 33 : Distribution temporelle de la densité de *Microcystis*
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Limnothrix*

Les résultats de la distribution temporelle du genre *Limnothrix*, sont représentés dans la figure 34. On observe que ce genre est fortement présent en mois de Novembre (420 ind/ml), Décembre (400 ind/ml), Janvier et Février (300 ind/ml) et c'est en mois d'Avril que la densité la plus faible (20 ind/ml) est notée en période printanière.

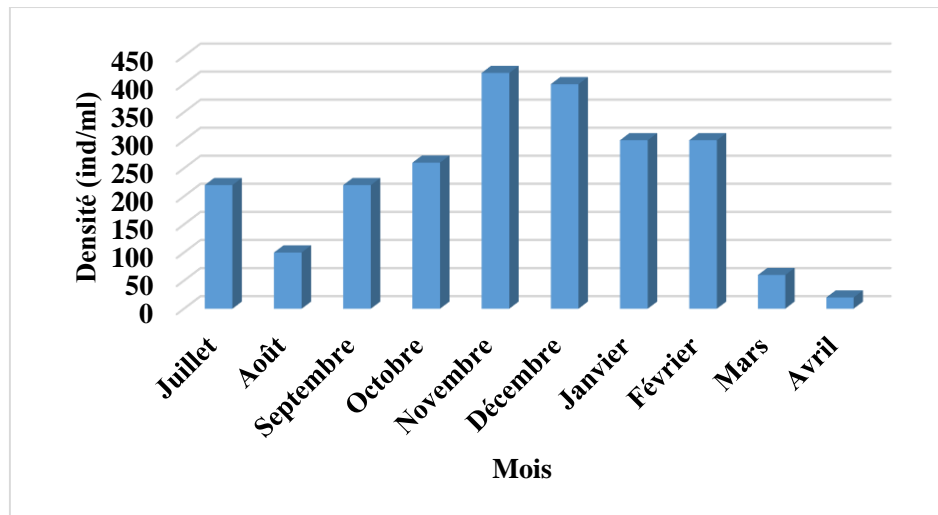


Figure 34 : Distribution temporelle de la densité de *Limnothrix*
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Cylindrospermopsis*

La distribution temporelle du genre *Cylindrospermopsis* représentée dans la figure 35 montre sa présence au mois de Janvier avec un maximum de (380 ind/ml). La densité la plus faible est relevée au mois de Juillet (20 ind/ml). En revanche le genre *Cylindrospermopsis* est totalement absent aux mois d'Août, Octobre, Mars et Avril.

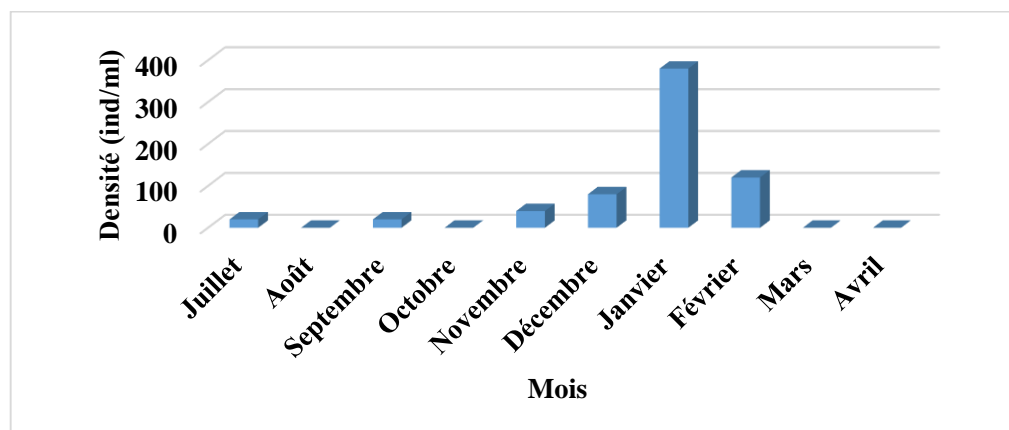


Figure 35 : Distribution temporelle de la densité de *Cylindrospermopsis*
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Aphanezomenon*

La présence du genre *Aphanezomenon* est notée que d'août à novembre (figure 36).

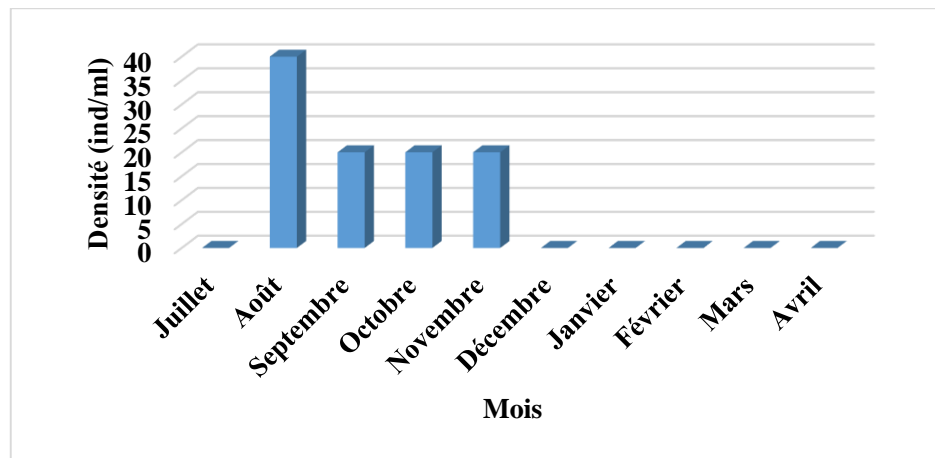


Figure 36 : Distribution temporelle de la densité d'*Aphanezomenon*
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Anabaena*

Les résultats de la distribution temporelle du genre *Anabaena*, sont représentés dans la figure 37. Ce genre est présent de Juillet à Septembre. Les densités sont faible et comprises entre 20 et 40 ind/ml.

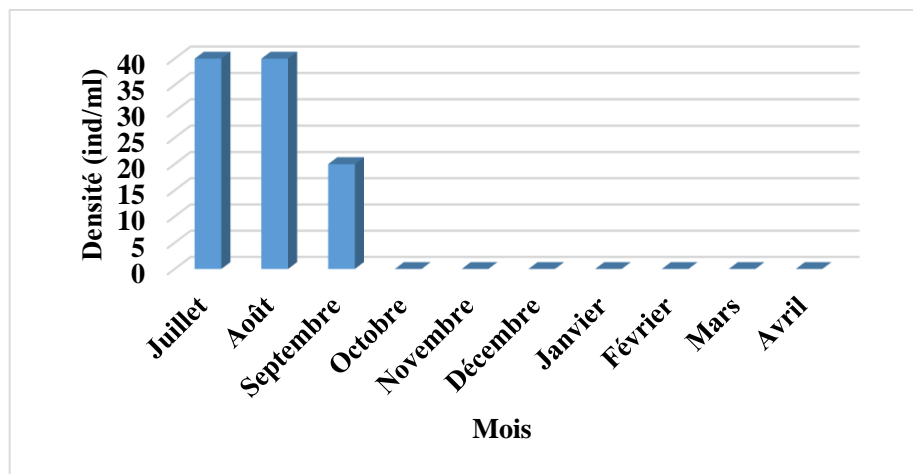


Figure 37 : Distribution temporelle de la densité d'*Anabaena*
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Pseudanabaena*

Ce genre est présent seulement de juillet à novembre avec une densité égale et très faible (20ind/ml) (fig. 38).

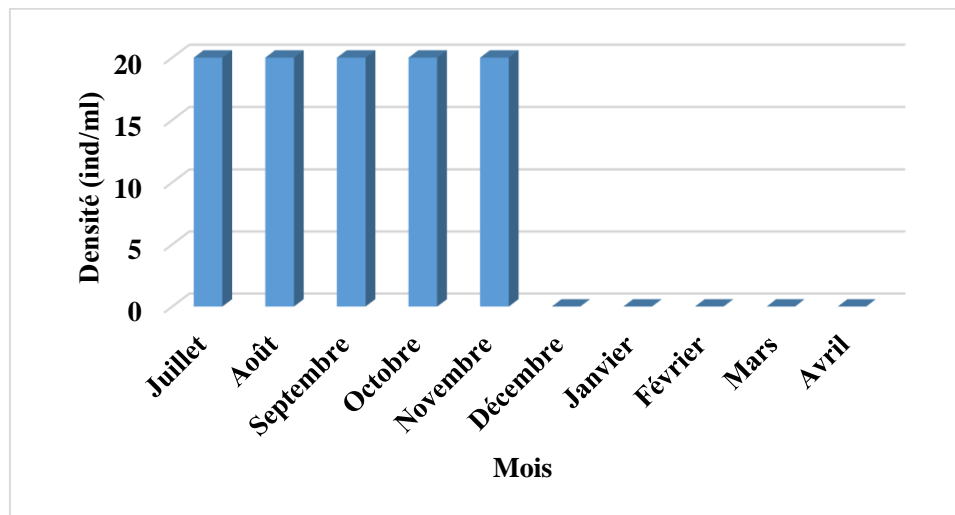


Figure 38 : Distribution temporelle de la densité de *Pseudanabaena*
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Oscillatoria*

La distribution temporelle du genre *Oscillatoria* (figure 39) révèle que ce genre n'est présent que pendant deux mois, Août et Septembre avec des densités de 60 et 20 ind/ml, respectivement.

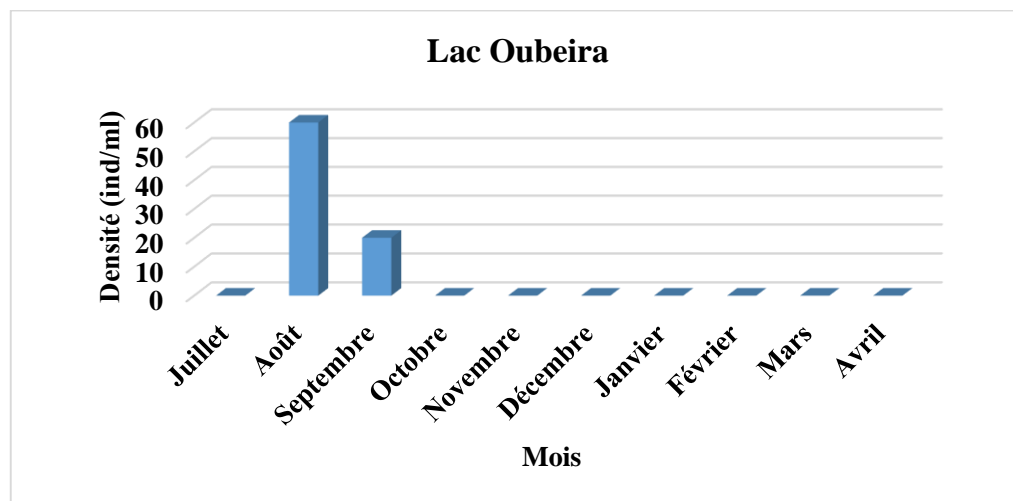


Figure 39 : Distribution temporelle de la densité d'*Oscillatoria*
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

➤ *Planktothrix*

La figure 40, distribution temporelle du genre *Planktothrix*, montre que ce genre est rencontré uniquement en Juillet et Août. Les densités sont faible et comprise entre 20 et 40 ind/ml.

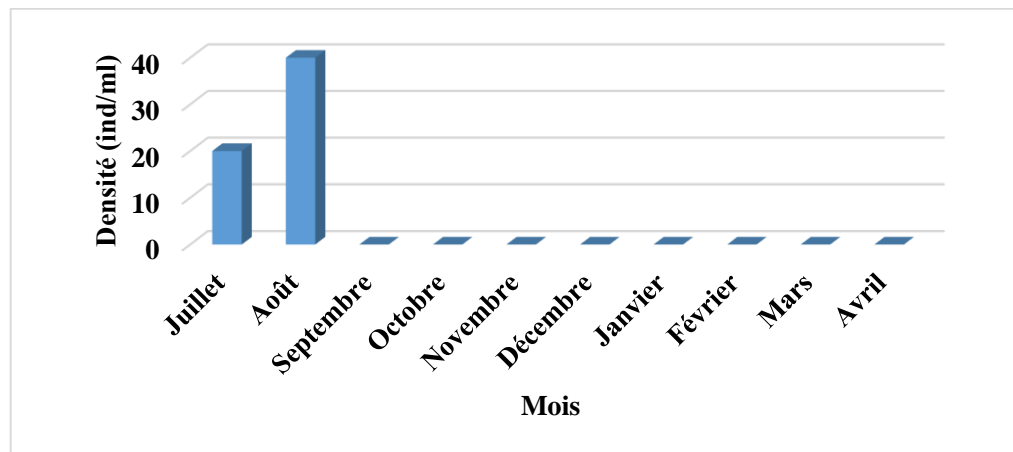


Figure 40 : Distribution temporelle de la densité de *Planktothrix*
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.3. Analyse statistique de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques et la densité des Cyanobactéries

1.2.3.1. Corrélation entre la température et la densité des Cyanobactéries

L'estimation de la corrélation entre la température et la densité des cyanobactéries, nous permet de constater qu'il existe une corrélation positive significative ($r=0.539$) (fig.41).

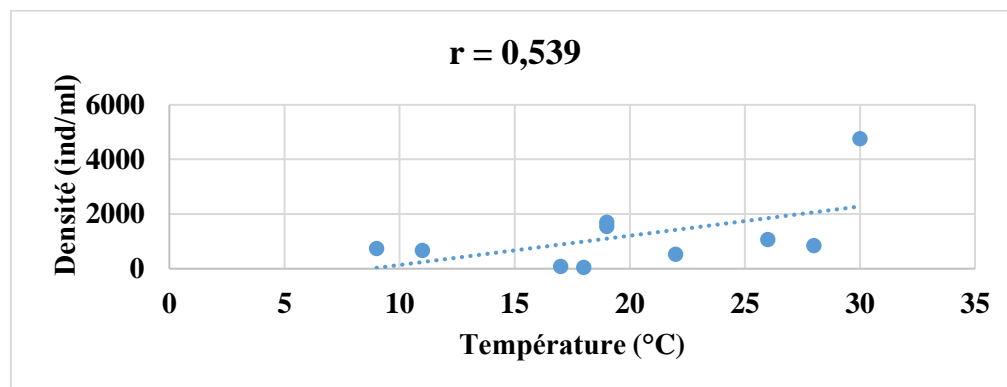


Figure 41 : Corrélation entre la température et la densité des Cyanobactéries
(Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.3.2. Corrélation entre le pH et la densité des Cyanobactéries

Le coefficient de corrélation calculé entre le pH et la densité des cyanobactéries révèle une corrélation hautement significative entre les deux éléments ($r = 1$) (fig. 42).

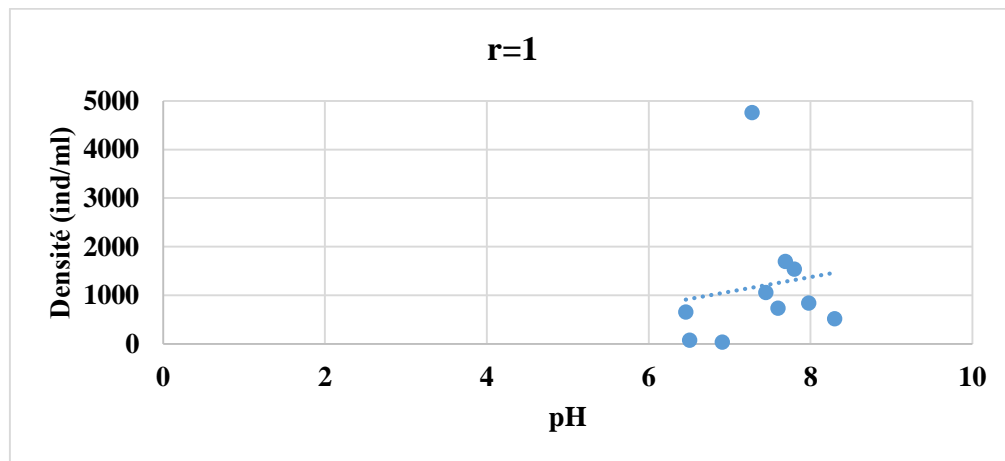


Figure 42 : Corrélation entre le pH et la densité des Cyanobactéries
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.3.3. Corrélation entre l'oxygène dissous et la densité des Cyanobactéries

L'estimation de la corrélation permet de constater une corrélation négative significative entre l'oxygène dissous et la densité des cyanobactéries, ($r = -0.577$) (fig. 43).

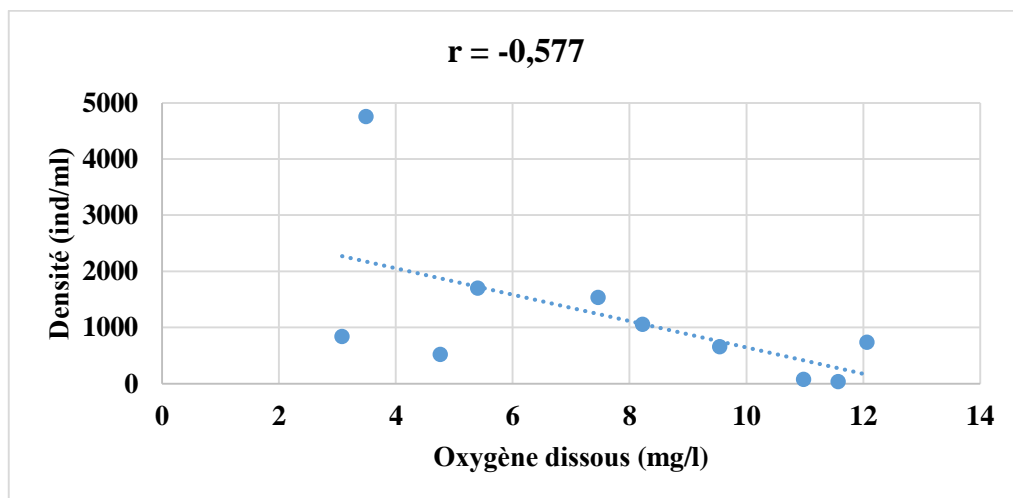


Figure 43 : Corrélation entre l'oxygène dissous et la densité des Cyanobactéries
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.3.4. Corrélation entre la teneur en nitrate et la densité des Cyanobactéries

La figure 44 montre une corrélation négative entre la concentration en nitrate du milieu et le développement des cyanobactéries ($r = -0.545$).

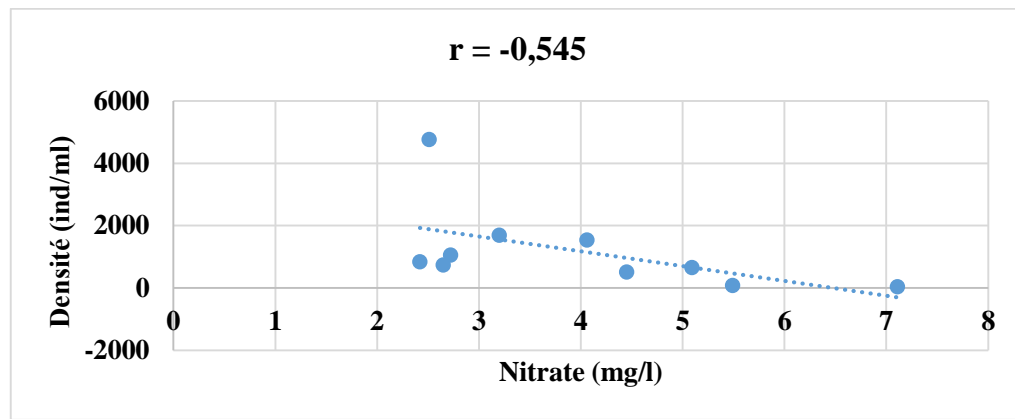


Figure 44 : Corrélation entre le nitrate et la densité des Cyanobactéries
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

1.2.3.5. Corrélation entre l'orthophosphate et la densité des Cyanobactéries :

Un coefficient de corrélation de -0.102 nous permet de constater qu'il n'existe pas une corrélation significative entre la densité des cyanobactéries et la teneur en orthophosphate du lac (fig. 45).

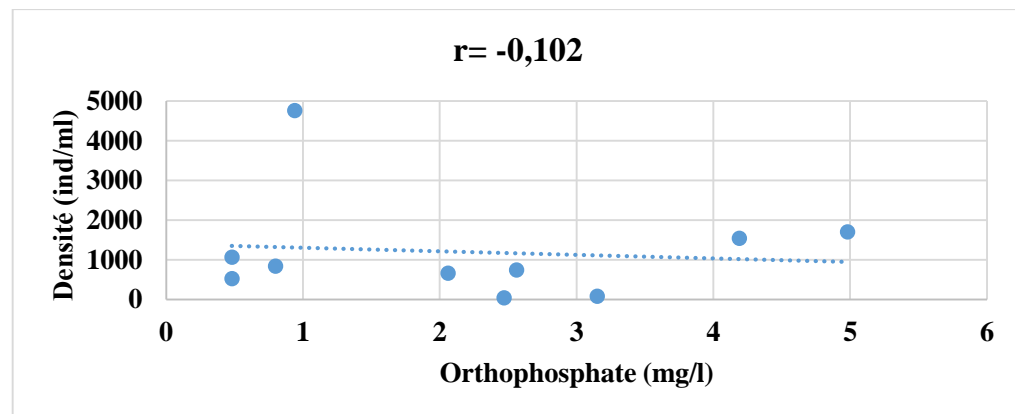


Figure 45 : Corrélation entre l'orthophosphate et la densité des Cyanobactéries
(Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016)

2. Discussion

Nos résultats de la température de l'eau du lac Oubeïra font apparaître l'existence d'une période froide hivernale avec un minimum de 9°C enregistrée au mois de Janvier et d'une période chaude avec un maximum de 30°C au mois de Juillet. Les écarts des températures soit 21 °C illustrent bien le caractère méditerranéen de la région où les contrastes entre les saisons chaudes et froides sont très marqués. Des écarts pareils ont été rapportés dans le lac Oubeïra (Amissi et Yahyaoui, 2001 ; Bensafia, 2005 ; Sehili, 2008). Nos résultats données sont confortées par les résultats de certains auteurs qui rapportent que les Cyanobactéries prolifèrent dans une eau dont la température est comprise entre 15 et 30°C (Skulberg *et al.*, 1984, Carmichael *et al.*, 1990 ; Nasri, 1999 ; Menail, 2000 ; Matmed, 2000 ; Bensdira, 2000 ; Boualleg et Kouachi, 2001 ; Amissi et Yahiaoui, 2001 ; Nasri, 2001 ; Boulesnane et Chaibi, 2002 ; Gouasmia, 2003 ; Chaibi, 2004 ; Bensafia, 2005 ; Manamani, 2007 ; Ghazali *et al.*, 2008 ; Nasri *et al.*, 2007 ; Ouartsi *et al.*, 2011 ; Agouni, 2013).

Les valeurs de pH de l'eau sont alcalines. Cette alcalinité du milieu est expliquée par l'augmentation de la productivité algale, forte consommation du CO₂ par le phytoplancton dont les cyanobactéries lors de la photosynthèse (Martin, 2004) avec transformation du bicarbonate en carbonate, ce qui engendre l'augmentation du pH (Sevrin-Reyssacet *et al.*, 1995). Nos résultats correspondent à ceux rapportés par les divers auteurs qui ont réalisé des études dans les divers plans d'eau de l'Algérie (Nasri, 1999 ; Menail, 2000 ; Bensdira, 2000 ; Aissani, 2003 ; Boualleg et Kouachi, 2001 ; Gouasmia, 2003 ; Manamani, 2007 ; Ghazali *et al.*, 2008, Ouartsi *et al.*, 2011 ; Agouni, 2013) ces auteurs rapportent des valeurs de pH comprises entre 6 et 9.

En ce qui concerne l'oxygène dissous, l'eau du lac Oubeïra présente une bonne oxygénation durant la période hivernale, et une faible oxygénation en période estivale. Les fluctuations de la teneur en O₂ dissous de l'eau sont liées aux variations saisonnières de la température. La baisse teneur en O₂, relevée en période estivale serait due à l'augmentation de la température qui limite la solubilité de l'oxygène dans l'eau. La bonne oxygénation de l'eau, observée en période hivernale, aurait pour origine la baisse de température de l'eau.

Si on se réfère aux teneurs en O₂ dissous de l'eau retenue par le Ministère Algérien de l'hydraulique (tableau), nous pouvons conclure que le lac Oubeïra est de qualité excellente à bonne en période hivernale, printanière et automnale sauf au mois d'Octobre, et passable en période estivale.

Tableau 5 : Qualité des eaux de surface à partir de plusieurs paramètres (l'agence Algérienne des bassins versants (1999))

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive
O ₂ dissous (mg/l)	> 7	5 à 7	3 à 5	< 3	0
% saturation (%)	> 90	70 à 90	50 à 70	< 50	0
NH ₄ ⁺ (mg/l)	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à 2	2 à 8	>8
P0 ₄ ⁻ (mg/l)	< 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	> 2
NO ₃ ⁻ (mg/l)	< 5	5 à 25	25 à 50	50 à 80	> 80
NO ₂ ⁻ (mg/l)	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 1	1 à 2	> 2

Le suivi de l'évolution du nitrate au cours de notre période d'étude révèle que les teneurs les plus élevées sont relevées en période printanière. Cette forte concentration de NO₃⁻ en cette période aurait pour origine des apports importants en cet élément par les oueds et à une utilisation moindre par le phytoplancton. La basse teneur de cet élément en période estivale peut être due à un développement massif des cyanobactéries qui auraient consommé les nitrates existants dans le milieu ; l'ion (NO₃⁻) est en effet une forme d'azote largement utilisée par les microorganismes autotrophes après épuisement de l'azote ammoniacal (Gaujous, 1995). Toutefois, nous pouvons conclure que l'eau du lac Oubeïra est de qualité excellente à bonne par l'agence algérienne des bassins versants (tab. 5).

Les teneurs en orthophosphates sont maximales en période automnale au mois de Novembre, ceci pourrait s'expliquer par un processus de relargage de cet élément par les sédiments, ce processus est complexe et dépend de plusieurs mécanismes physiques, chimiques et biologiques (Galvez et Cloutier, 2002 ; Gachter et Muller, 2003). Les plus faibles teneurs enregistrées en Septembre et Octobre sont le résultat de l'assimilation rapide des orthophosphates (Somiya *et al.*, 1984). Si on se réfère aux teneurs de phosphore de l'eau retenue par le ministère algérien de l'hydraulique (tab. 5) nous pouvons conclure que l'eau du lac Oubeïra est de qualité bonne à passable en période estivale et automnale sauf au mois de Novembre et de pollution excessive en période hivernale, printanière et au mois de Novembre.

L'observation des caractères morpho-anatomiques des cyanobactéries identifiées dans le lac Oubeïra nous a permis d'identifier 8 genres de cyanobactéries (*Microcystis*, *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Planktothrix* et *Limnothrix*). Le lac Oubeïra présente une diversité spécifique importante. La majorité des genres identifiés est considérée comme potentiellement toxique. Selon Bourrelly (1985), des huit genres identifiés, 7 d'entre eux figurent parmi les genres toxiques. Il s'agit des genres : *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria* et *Planktothrix*. Toute fois les genres *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Pseudanabaena*, sont considérés comme des neurotoxiques et hépatotoxiques, quant à *Microcystis* et *Oscillatoria* sont des hépatotoxiques (Benoufella *et al.*, 1995).

Les résultats de la distribution saisonnière des différents genres de cyanobactéries montrent des différences à travers les saisons, cela tient probablement au fait que les conditions de température, pH, oxygène dissous et élément nutritifs sont favorables à la croissance de ces microorganismes à ces différentes périodes. En effet, nos résultats ont montré que la prolifération la plus importante de ces genres était observée pendant l'été (47%) suivi par l'automne (27%) où les conditions ont été favorables à leur développement. Ceci concorde avec les résultats de Bouaïcha (2002) qui a affirmé que la période de développement massif des Cyanobactéries est souvent l'été et le début d'automne. Djabourabi (2014), également rapporte la prédominance des cyanobactéries en période estivale.

Les résultats de l'évolution temporelle des différents genres de cyanobactéries identifiés dans le lac Oubeïra montrent que certains genres tels que *Microcystis* prolifèrent pendant la période chaude, alors que d'autres prolifèrent pendant la saison froide (*Limnothrix* et *Cylindrospermopsis*).

Les résultats de la densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés montrent la prédominance de *Microcystis* (8540 ind/ml), ce dernier suivi par les genres *Limnothrix* et *Cylindrospermopsis* avec respectivement 2300 ind/ml et 660 ind/ml. Nos données sont confortées par celles de Djabourabi (2014), qui signale la prédominance de *Microcystis*. Chaïbi (2004) rapporte la prédominance des genres *Merismopedia* et *Cylindrospermum*. Bensafia (2005) signale la prédominance d'*Aphanizomenon*.

Les résultats de l'analyse statistique des données montrent que la densité des cyanobactéries dans le lac Oubeïra est corrélée aux saisons d'automne et d'été (lesquelles enregistrent les densités les plus élevées) ; à une température qui varie de 9 à 30°C et à un pH variant de 6.46 à 8.30. Ghedadbia (2008) a rapporté dans le lac Tonga qu'il y a des corrélations positives très hautement significative entre la densité des Cyanobactéries et la T°, Oxygène dissout et Nitrate. Sehili (2008) a constaté des corrélations significatives entre l'orthophosphates et la densité des cyanobactéries dans le lac Oubeïra et des corrélations significatives entre la densité des cyanobactéries et les nitrates dans la lagune EL Mellah. Djabourabi (2014) a également montré l'existence de corrélations hautement significatives entre l'orthophosphates et la densité des cyanobactéries dans le lac Oubeïra ; des corrélations hautement significatives entre l'orthophosphates et la densité des cyanobactéries dans le lac Tonga ; des corrélations hautement significatives entre la densité des cyanobactéries avec le nitrate et l'oxygène dissous et des corrélations significatives entre la densité des Cyanobactéries et le pH dans la lagune El Mellah

L'analyse des résultats obtenus dans ce travail a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les variations des paramètres physico-chimiques de l'eau mesurées, nous permettent de conclure que : le lac Oubeira présente une température et une oxygénation, dont les variations sont en fonctions de la saison, un pH légèrement alcalin, ainsi que des eaux plus ou moins riches en orthophosphates et en nitrate ;
- L'étude qualitative de cyanobactéries récoltées a permis l'identification de 8 genres dont 7 sont potentiellement toxiques ;
- La densité globale des genres recensés fait apparaître la dominance du genre *Microcystis*, ce dernier est suivi par *Limnothrix* ;
- L'analyse de l'évolution de la densité des Cyanobactéries a montré une nette variation en fonction du temps. En effet, pendant les saisons estivales et automnales, les peuplements de Cyanobactéries présentent des densités importantes. Durant les saisons printanière et hivernale la charge de densité a considérablement diminué ;
- La prolifération des cyanobactéries dans le lac Oubeira est corrélée aux variations de la température et du pH.

En perspective, identification des métabolites toxique ; isolement des souches et cultures au niveau du laboratoire pour l'étude des paramètres influençant la production des toxines ; études des effets toxique sur les différents espèces d'oiseaux vu que ce lac est classé site RAMSAR et abrite des espèces en voie de disparition.

- Abrantes N., Antunes SC., Pereira MJ. et Goncalves F. (2006).** Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal). *Acta Oecol*, 29, 54-64.
- Adams D.G. et Duggan P.S. (1999).** Tansley Review No. 107. Heterocyst and akinètes differentiation. In cyanobacteria. *New Phytologist*, 144 (1), 3-33.
- AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) et AFSSET (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail). (2006).** Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau – Évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives, Paris. 232 p. Accessible à :http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/085391856141331010617707867709/cyanobacteri_s.pdf.
- Agouni M. (2013).** Caractérisation physico-chimiques et étude des Cyanobactéries dans le barrage d'Ain El Dalia (Région de Souk Ahras). Mémoire de magister. Université de Souk Ahras.
- Aissani B. (2003).** Inventaire des cyanoprocaryotes dans le barrage de hammam d'Bagh. Diplôme d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'Annaba.
- Allen M. M. (1984).** Cyanobacterial cell inclusions. *Ann Rev Microbiol*, 38, 1-25.
- Amissi L. et Yahyaoui. (2001).** Distribution spatio-temporelle des cyanoprocaryotes recensés dans le lac Oubeira, 51.
- Amri S. (2008).** Dynamique mensuelle du phytoplancton dans le lac Oubeira et le lac Noir Parc National EL-Kala. Mémoire de magister. Université d'Annaba.
- Anagnostidis K. et Komarek J. (1988).** Modern approach to the classification system of cyanophytes 3- Oscillatoriales. *Algol. Stud*, 50-53, 327-472.
- Anagnostidis K. et Komarek J. (1990).** Modern approach to the classification system of cyanophytes 5 - Stigonematales. *Algol. Stud*, 59, 1-73.
- Aráoz R., Molgo J. et Tandeau de Marsac N. (2010).** Neurotoxic cyanobacterial toxins. *Toxicon*, 56 (5), 813-828.
- Arnaud J.P. et Cremades C. (2009).** Mayotte entre conservation et développement. Comment allier une biodiversité remarquable et un territoire en plein essor. *La revue du Génie Rural, Eaux et Forêts*, 25, 27-30.

- Bafu B.F.U. (2007).** Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Kieselgen Stufe F (Flächendeckend).
- Benoufella F., Bretu G., Vesie C. et Lapanche A. (1995).** Développement des cyanophycées dans différents types d'eaux, Etude de leurs toxines et impacts sanitaires.
- Bensafia L. (2005).** Les peuplements des cyanobactéries de deux plans d'eau douce (Lac Oubeira, Tanga). Inventaire et dynamique spatio-temporelle. Mémoire de magister en science de la mer, option : Aquaculture. Université d'Annaba.
- Bensdira E. (2000).** Les cyanoprocaryotes dans le barrage de hammam Dbegh. Approche taxonomique et distributions spatio- temporelle. Diplôme d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'Annaba, 31.
- Berman-Frank I., Lundgren P. et Falkowski P. (2003).** Nitrogen fixation and photosynthetic oxygen evolution. In cyanobacteria. Research. In Microbiology, 154 (3), 157-164.
- Blais S. (2006).** Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 52.
- Boon P.I., Bunn S.E., Green J.D. et Shiel R.J. (1994).** Consumption of cyanobacteria by fresh water zooplankton: implications for the success of 'top-down' control of cyanobacterial blooms in Australia. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 45 (5), 875-887.
- Boresch K. (1919).** Über die Einwirkung farbigen Lichtes auf die Färbung von Cyanophyceen. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 37, 25-39.
- Boresch K. (1921).** Die komplementäre chromatische adaptation. Archivfür Protistenkunde, 44 (1), 1-70.
- Bormans M., Lengronne M., Brient L., et Duval C. (2014).** Cylindrospermopsin accumulation and Release by the Benthic *Cyanobacterium Oscillatoria sp.* PCC 6506 under Different Light Conditions and Growth Phases. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 92, 243-247.
- Botes D.P. (1984).** The structure of cyanoginosin-LA, acyclic heptapeptide toxin from the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. J. Chem. Soc. Perkin Trans, 2311-2318.
- Bouaïcha N. (2002).** La ruée vers l'eau en Algérie, Maroc et Tunisie. Université Paris -Sud, UFRde Pharmacie / Laboratoire Santé Publique-Environnement, 1- 2.

- Boualleg C. et Kouachi N. (2001).** Ecobiologie des cyano procaryotes récoltés dans le barrage d'Ain Dalia (Souk Ahras). Diplôme d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'Annaba.
- Boulesnane N. et Chaïbi R. (2002).** Les cyanophycées dans un plan d'eau douce : Le lac Oubeira ; Inventaire et dynamique. Mémoire d'ingénieur d'états en sciences des mers, option en Aquaculture. Université d'Annaba, 60.
- Boumezbeur A. (2002).** Atlas des 26 zones humides Algériennes d'importance internationale, 63-64, 80-81.
- Boumezbeur A., Ameer N. et Bakaria F. (2003).** Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar : Reserve Integrale du Lac Oubeira. Wilaya d'El-Tarf, 2- 5.
- Bourelly P. (1970).** Les algues d'eau douce, Algues bleues et rouges, Boubée, Paris, 512.
- Bourelly P. (1985).** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Les algues bleues et rouges. Eugléniens, Péridiniens et cryptomonadines. Société. Nouvelle éditions Boubée, 606-607.
- Bouvy M., Falcão D., Marinho M., Pagano M. et Moura A. (2001).** Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria). In 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, 23 (1), 13-27.
- Boyd C.E., Prather E.E. et Parks R.W. (1975).** Sudden mortality of a massive phytoplankton bloom. *Weed Science*, 23, 61-67.
- Briand J.F. Robillot C. Quiblier-Lloberas C. Humbert J.F. Coute A. et Bernard, C. (2002b).** Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Water Res* 36,3183-3192.
- Briand J.F., Jacquet S., Bernard C. et Humbert J.F. (2003).** Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. *Veterinary Research*, 34, 361-377.
- Briand J.F., Jacquet S., Flinois C., Avois-Jacquet C., Maisonnette C. Leberre, B. et Humbert J.F. (2005).** Variations in the microcystin production of *Planktothrix rubescens* (Cyanobacteria) assessed from a four-year survey of Lac du Bourget (France) and from laboratory
- Brient L., Legeas M., Leitao M. et Peigner P. (2004).** Etude interrégionale grand ou est sur les cyanobactéries en eau douce. Université de Rennes, 1, 82.

- Brunberg A. K. et Blomqvist P. (2003).** Recruitment of Microcystis (Cyanophyceae) from lake sediments : The importance of littoral inocula. *Journal of Phycology*, 39 (1), 58-63.
- Campos A. et Vasconcelos V. (2010).** Molecular Mechanisms of Microcystin Toxicity. In *Animal Cells. International Journal of Molecular Sciences*, 11, 268–287.
- Canfield D. E. (2005).** The early history of atmospheric oxygen: Homage to Robert M. Garrels. *Annual. Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 1–36.
- Carey C. C., Ibelings B. W., Hoffmann E. P., Hamilton D. P. et Brookes J. D. (2012).** Ecophysiological adaptations that favour freshwater cyanobacteria in a changing climate. *Water research*, 46, 1407–1394.
- Carmichael W.W et Falconer I.R. (1993).** Diseases related to freshwater blue green algal toxins, and control measures. In IR Falconer, ed. *Algal Toxins. In Seafood and Drinking Water*. Academic Press, 187-209.
- Carmichael W.W. (1990).** Cyanobacteria secondary metabolites - the cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology*, 72, 445-459.
- Carmichael W.W. (1994).** The toxins of cyanobacteria. *Sci. Am*, 270, 78-86
- Carmichael W.W., Mahmoud N.A. et Hyde E.G. (1990).** Natural toxins from cyanobacteria (Blue green algae) in marin toxins: origin, structure and molecular pharmacology, society, Washington, 87-106.
- Castenholz R. W. (2001).** Phylum BX. Cyanobacteria. Oxygenic photosynthetic bacteria. In *Bergey's manual of systematic bacteriology, The Archaea and the deeply branching and Phototropic Bacteria. Second Edition*. G. Garrity, D. R. Boone, and R. W. Castenholz (eds.) Springer-Verlag, New York.
- Castenholz R.W. (1969).** Thermophilic blue-green algae and the thermal environment. *Bacteriological Reviews*, 33 (4), 476-504.
- CEN. (2006).** Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl) - NF EN 15204, Centre Européen de Normalisation, 43, 335-3931.
- Chaibi R. (2004).** Caractéristiques physico-chimiques et évaluation du milieu trophique d'un écosystème lagunaire : Lagune El-Mallah. Mémoire de magister en écologie animale. Université d'Annaba.

- Cheng K., Zhao Y.J., Xu M., Yin J., Xiong Q., Zhou J.C., Wang Y.Z., Zhang W., Wang, J.W., Liu Z.Y. et Wang F.R. (2002).** An ecological study on dynamics of toxic *Microcystis* blooms in a eutrophic park pond, Wuhan, China. *Prog. Nat. Sci*, 12, 30-35.
- Chevalier P., Pilote R. et Leclerc J.M. (2001).** Risques à la santé publique découlant de la présence de cyanobactéries (algues bleues) et de microcystines dans trois bassins versants du sud-ouest québécois, 151.
- Chiswell R.K., Shaw G.R., Eaglesham G., Smith M.J., Norris R.L., Seawright A.A. et Moore M.R. (1999).** Stability of cylindrospermopsin, the toxin from the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*: Effect of pH, temperature, and sunlight on decomposition. *Environmental Toxicology*, 14 (1), 155-161.
- Chorus I. et Bartram J. (1999).** Toxic Cyanobacteria. In *Water: A guide to their publichealth consequences, monitoring and management*. Geneva: World Health Organization. London, United Kingdom, 416.
- Chretiennot-Dinet M.J. (1990).** Atlas du phytoplancton marin, V. III, eds.CNRS. Paris, 120.
- Christiansen G., Fastner J., Erhard M., Börner T. et Dittmann E. (2003).** Microcystin biosynthesis. In *Planktothrix genes, evolution, and manipulation*. *Journal of Bacteriology*, 185, 564-572.
- Chu Z.S., Jin X.C., Iwami N. et Inamori Y.H. (2007).** The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system. *Hydrobiologia*, 581, 217-223.
- Cires S., Wörmer L., Timon J., Wiedner C. et Quesada A. (2011).** Cylindrospermopsin production and release by the potentially invasive cyanobacterium *Aphanizomenon ovalisporum* under temperature and light gradients. *Harmful Algae*, 10, 668-675.
- Cohen Y., Jørgensen B.B., Revsbech N.P. et Poplawski R. (1986).** Adaptation to hydrogen sulfide and anoxygenic photosynthesis among cyanobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 51(2), 398-407.
- Coute A. (1995).** Diversité chez les micro-algues, 20-24.
- Coute A. et Bernard C. (2001).** Les cyanobactéries toxiques. In *Toxines d'algues dans l'alimentation*. Edité par Frémy J. M. et Lassus P. Plouzané, Editions Ifremer, 21-37.

- Coute A. et Bouvy M. (2004).** A new species of the genus *Cylindrospermopsis*, *C. acuminatocrispa* spec. nova (Cyanophyceae, Nostocales) from Ingazeira reservoir, Northeast Brazil. *Algological Studies*, 113, 57-72.
- Cox P. A., Banack S. A., Murch S. J., Rasmussen U., Tien G., Bidigare R. R., Metcalf J. S., Morrison L. F., Codd G. A. et Bergman B. (2005).** Diverse taxa of cyanobacteria produce beta-Nmethylamino- L-alanine, a neurotoxic amino acid. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 5074–5078.
- Davis T.W., Berry D.L., Boyer G.L. et Gobler C.J. (2009).** The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms. *Harmful Algae*, 8, 715-725.
- Dawidowicz P. (1990).** The effect of *Daphnia* on filament length of blue-green algae. *Hydrobiologia*, 191, 265-268.
- Dawson R.M. (1998).** The toxicology of microcystins, *Toxicon*, 36, 953-962.
- Dia A. et Reynaud P. A. (1982).** Le phytoplancton du lac de Guiers : approche qualitative et quantitative. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér., Biol.*, (45), 35-47.
- Dillon J.G., Miller S., Bebout B., Hullar M., Pinel N. et Stahl D.A. (2009).** Spatial and temporal variability in a stratified hypersaline microbial mat community. *FEMS Microbiol Ecol*, 68 (1), 46-58.
- Dittmann E. et Börner T. (2005).** Genetic contributions to the risk assessment of *Microcystin* in the environment. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 203, 192-200.
- Dittmann E., Neilan B., Erhard M., Von Dohren H. et Borner T. (1997).** Insertional mutagenesis of a peptide synthetase gene that is responsible for hepatotoxin production in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* PCC 7806. *Molecular Microbiology*, 26, 779 – 787.
- Dittmann E., Neilan B.A. et Borner T. (2001).** Molecular biology of peptide and polyketide biosynthesis in cyanobacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 57, 467–473.
- Djabourabi A. (2014).** Impact de facteurs environnementaux et de microalgues toxiques sur certains organismes aquatiques (bivalves). Thèse de doctorat. Université d'Annaba.
- Dodds W.K., Bouska W.W., Eitzmann J.L., Pilger T.J., Pitts K.L., Riley A.J., Schloesser J.T. et Thornbrugh D.J. (2009).** Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages. *Environmental Science et Technology*, 43, 12-19.

- Dorion I., Néron S., Blais S. et Sinotte M. (2013).** Protocole d'observations et d'échantillonnage pour les plans d'eau. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 37.
- Downing J. A. et Mccauley E. (1992).** The nitrogen: Phosphorus relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr*, 37, 936–945.
- Downing J.A., Watson S.B. et McCauley E. (2001).** Predicting cyanobacteria dominance in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 1905-1908.
- Drouet F. (1968).** Revision of the classification of the Oscillatoriaceae. *Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Pennsylvania*. 370.
- Drouet F. (1978).** Revision of the Nostocaceae with constricted trichomes. *Beihefte Nova Hedwigia*, 57, 1–258.
- Drouet F. (1981).** Revision of the Stigonemataceae with a summary of the classification of the blue-green algae. *Beih. Nova Hedwigia*, 66: 221.
- Duy T. N., Lam P. K. S., Shaw G. R. et Connell D. W. (2000).** Toxicology and Risk Assessment of Freshwater Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxins. In *Water. Rev Environ Contam Toxicol*, 163, 113-186.
- Ehling-Schulz M. et Scherer S. (1999).** UV protection in cyanobacteria. *Eur. J. Phycol*, 34, 329-338.
- El Ghazali I., Saqrane S., Oudra B., Bouarab L. et Vasconcelos V. (2008).** Effects of cyanobacteria producing microcystins on seed germination and seedling growth of several agricultural plants. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 43, (5), 443-451.
- Elser J. J. (1999).** The pathway to noxious cyanobacteria blooms in lakes: the food web as the final turn. *Freshwater Biology*, 42, 537-543.
- Engelmann T.W. (1902).** Untersuchungen über die qualitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation in Pflanzenzellen. *Botanische Zeitung*, 42, 81- 105.
- Eriksson J.E., Brautigam D.L., Vallee R., Olmsted J., Fujiki H. et Goldman R.D.(1992).** Cytoskeletal integrity in interphase cells requires protein phosphatase activity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89 (22), 11093 – 11097.

- Eriksson J.E., Toivela D., Meriluto J.A.O., Karaki H., Han Y.G. et Harstshorne D. (1990).** Hepatocellular uptake of 3H-dihydromicrocystin-LR, a cyclic peptide toxin. *Biochimica Biophysica Acta*, 1025, 60-66.
- Falconer I. R., et A. R. Humpage. (2006).** Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxins. In *Water Supplies: Cyndrospermopsins. Environmental Toxicology*, 21, 299–304.
- Falkowski P.G. et Knoll A.H. (2007).** *Evolution of Primary Producers in the Sea.* China. Elsevier Academic Press.
- Fathalli A., (2004).** Etude de la qualite des eaux de la retenue du barrage Kasseb. Caracterisation physico- chimique, phytoplanctonique et evaluation de la toxicite. Memoire de Mastere. INAT. Universite de Cartage, 119.
- Fathalli A., Ben Rejeb Jenhani A., Vasconcelos V. et Romdhane M.S. (2009).** Les cyanobactéries dans la retenue Bir Mcherga (Tunisie): caractérisation moléculaire et evaluation du potentiel toxique. *Toxicologie Environnementale et Agroalimentaire dans l'Espace Francophone.*
- Ferrão-Filho A. et Kozlowsky-Suzuki B. (2011).** Cyanotoxins: bioaccumulation and effects on aquatic animals. *Marine drugs*, 9, 29–72.
- Fewer D., Rouhiainen L., Jokela J., Wahlsten M., Laakso K., Wang H. et Sivonen K. (2007).** Recurrent adenylation domain replacement in the microcystin synthetase genecluster. *BMC Evolutionary Biology*, 7, 183.
- Fisher W.J. et Dietrich D.R. (2000).** Pathological and biochemical characterization of microcystin-induced hepatopancreas and kidney damage in carp (*Cyprinus carpio*). *Toxicol. Appl. Pharmacol*, 164, 73–81.
- Fujiki H., Suganuma M., Suguri H., Yoshizawa S., Takagi K., Nakayasu M., Ojika M., Yamada K., Yasumoto T., Moore Re. et Sugimura T. (1990).** New tumor promoters from marine naturel products. In Hall S Strichartz G, *Marinetoxins, origin, structure and molecular pharmacology*, American Chemical Society, Washington DC, 234–240.
- Funari E. et Testai E. (2008).** Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. *Critical Review. In Toxicology*, 38 (2), 97-125.
- Gachter R. et Muller B. (2003).** Why the phosphorus retention of lakes does not necessarily depend on the oxygen supply to their sediment surface. *Limnology and Oceanography*, 48, 929-933.

- Galvez-Cloutier R. (2002).** La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophisation. *Vecteur environnement*, 35 (6), 18-37.
- Ganf G.G. et Oliver R.L. (1982).** Vertical separation of light and available nutrients as a factor causing replacement of green algae by blue-green algae in the plankton of a stratified.
- Garrity GM., Castenholz RW. et Boone DR. (2001).** *Bergey's manual of systematic bacteriology. The Archaea and the deeply branching and phototrophic Bacteria*, 2nd edition, 1.
- Gaujous D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire 2e édition TECDOC Paris, 40-45.
- Geitler L. (1932).** Cyanophyceae. In *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz* 14. Edited by Rabenhorst, L. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, Germany, 1196.
- Ghedadbia M. (2008).** La Contribution à l'identification générique des Cyanobactéries potentiellement toxiques et l'étude de leurs paramètres de croissance : Cas du Lac Tonga Mémoire de magister en science de la nature, option : Ecologie et environnement. Université d'Annaba.
- Giani A., Bird D.F., Praire Y.T. et Lawrence J.F. (2005).** Empirical study of cyanobacterial toxicity along a trophic gradient of lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 2100-2109.
- Gobler C.J., Davis T.W., Coyne K.J. et Boyer G.L. (2007).** The interactive influences of nutrient loading and zooplankton grazing on the growth and toxicity of cyanobacteria blooms in a eutrophic lake. *Harmful Algae*, 6, 119–133.
- Google Earth. (2008).** In [www. Google earth.com](http://www.google.com/earth).
- Graham J.L., Jones J.R., Jones S.B. et Clevenger T.E. (2006).** Spatial and temporal dynamics of microcystin in a Missouri reservoir. *Lake Reserv. Manag*, 22, 59-68.
- Grossman A.R. et Bhayaet D.Q.H.E. (2001).** Tracking the Light Environment by Cyanobacteria and the Dynamic Nature of Light Harvesting, *The journal of biological chemistry*, 276, 11449-11452. *Lake, Journal of Ecology*, 70, 829-844.
- Grossman A.R., Bhaya D., Apt K.E. et Kehoe D.M. (1995).** Light-harvesting complexes in oxygenic photosynthesis: diversity, control and evolution. *Annual Review of Genetics*, 29, 231-287.

- Guiry M. D. et Guiry G. M. (2009).** Algae Base. consulté le 16 mars 2009, National University of Ireland Galway.
- Hairston N.G., Holtmeier C.L., Lampert W., Weider L.J., Post D.M., Fischer J.M., Caceres C.E., Fox J.A. et Gaedke U. (2001).** Natural selection for grazer resistance to toxic cyanobacteria: evolution or phenotypic plasticity? *Evolution*, 55 (11), 2203-2214.
- Haney J.F. (1987).** Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21 (3), 467-475.
- Hansen G., Turquet J., Quod J.P., Ten Hage L., Lugomela C., Kyewalyanga M., Hurbungs M., Wawiye P., Ogongo B., Tunje S. et Rakotoarinjanahary H. (2001).** Potentially Harmful Microalgae of the Western Indian Ocean. *Manuals and Guides*, 41, 5-79.
- Hawkins P.R., Runnegar M.T.C., Jackson A.R.B. et Falconer I.R. (1985).** Severe hepatotoxicity caused by the tropical cyanobacterium (blue-green alga) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya and SubbaRaju isolated from domestic water supply reservoir. *Appl. Environ. Microb*, 50, 1292–1295.
- Herdman M. (1987).** Akinetes: structure and function. In Fay P. and Van Baalen C. (eds.), *The Cyanobacteria*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 227-250.
- Heumann D., Glauser M.P. et Calandra T. (2002).** The generation of inflammatory responses. In Sussman, M., *Molecular medical microbiology*, 687-727.
- Holt J. G., Krieg N. R., Sneath P. H. A., Staley J. T. et Williams S. T. (1994).** In W. W. Henrys W.R.,(ed.), *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th edition, Baltimore, USA. Group 11. Oxygenic phototrophic bacteria, 377-425.
- Hooser S.B., (2000).** Fulminant hepatocyte apoptosis in vivo following microcystin-LR administration to rats. *Toxicol. Pathol*, 28 (5), 726-733.
- Hudnell H. K (ed.). (2008).** Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Springer- Verlag, Berlin, Germany, 619, 950.
- Huisman J. et Hulot F. (2005).** Population dynamics of harmful cyanobacteria. Factors affecting species composition. In Huisman J., Matthijs H.C.P. and Visser P.M. (eds.), *Harmful cyanobacteria*. Springer-Verlag, Dordrecht, the Netherlands, 143-176.

- Huisman J., Jonker R. R., Zonneveld C. et Weissing F. J. (1999).** Competition for light between phytoplankton species: experimental tests of mechanistic theory. *Ecology*, 80, 211-222.
- Humpage A. (2008).** Toxin types, toxicokinetics and toxicodynamics. *Advances in Experimental Medicine and Toxicology*, 619, 383-415.
- Humpage A.R., Hardy S.J., Moore E.J., Froscio S.M. et Falconer I.R. (2000).** *Microcystins* (cyanobacterial toxins) in drinking water enhance the growth of aberrant crypt foci in the mouse colon. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 61, 155-165.
- Hyenstrand P., Blomqvist P. et Petterson A. (1998).** Factors determining cyanobacterial success in aquatic systems. *Archiv für Hydrobiologie Special Issues in Advanced Limnology*, 51, 41-62.
- In Süßwasserflora von Mittleuropa, Mollenhauer, D., Fisher, Stuttgart-Jena, 19 (1), 548.
- Ince P.G. et Codd G.A. (2005).** Return of the cycad hypothesis - Does the amyotrophic lateral sclerosis/parkinsonism dementia complex (ALS/PDC) of Guam have new implications for global health? *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 31 (4), 345-353.
- Ishikawa. (2002).** Advances. In botanical research; 27, 211 - 256.
- Ito E., Satake M. et Yasumoto T. (2002).** Pathological effects of lyngbyatoxin A upon mice. *Toxicon*, 40 (5), 551-556.
- Jacoby J.M., Collier D.C., Welch E.B., Hardy F.J et Crayton M. (2000).** Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57, 231-240.
- Jaiswal P., Singh P.K. et Prasanna R. (2008).** Cyanobacterial bioactive molecules - An overview of their toxic properties. *Canadian Journal of Microbiology*, 54(9), 701-717.
- Janse I., Kardinaal W.E.A., Kamst-van., Agterveld M., Meima M., Visser P.M. et Zwart G. 2005.** Contrasting microcystin production and cyanobacterial population dynamics in two Planktothrix-dominated freshwater lakes. *Environ. Microbiol*, 7, 1514-1524.
- Jeong K.S., Kim D.K., Whigham B. et Joo G.J. (2003).** Modelling *Microcystis aeruginosa* bloom dynamics in the Nakdong River by means of evolutionary computation and statistical approach. *Ecol. Model*, 161, 67-78.

- Jungblut AD. et Neilan BA. (2006).** Molecular identification and evolution of the cyclic peptidehepatotoxins, microcystin and nodularin, synthetase genes in three orders of cyanobacteria. *ArchMicrobiol*, 185, 107 -114.
- Jungmann D., Ludwichowski K.U., Faltin V. et Benndorf J. (1996).** A field study to investigate environmental factors that could effetc microcystin synthesis of a *Microcystis* population in the Bautzen reservoir. *Int Revue ges Hydrobiol*,81, 493-501.
- Kaebnick M. et Neilan B.A. (2001).** Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microbiol Ecol*, 35, 1-9.
- Kagami M., Yoshida T., Gurung T.B. et Urabe J. (2002).** Direct and indirect effects of zooplankton on algal composition in situgrazing experiments. *Oecologia*, 133 (3), 356- 363.
- Kao C.Y. (1993).** Paralytic shellfish poisoning. In Falconer, I.R., *Algal toxins in seafood and drinking water*, 75-86.
- Kardinaal W. E. A., Tonk L. (2007).** Competition for Light between Toxic and Nontoxic Strains of the Harmful Cyanobacterium *Microcystis*. *AIml. Environ. Microbiol.* 73 (9), 2939-2946.
- Kardinaal W.E.A., Tonk L., Janse I., Hol S., Slot P., Huisman J., et Visser P.M. (2007b).** Competition for light between toxic and nontoxic strains of the harmful cyanobacterium *Microcystis*. *Appl. Environ. Microbiol*, 73, 2939-2946.
- Kehoe D.M. et Gutu A. (2006).** Responding to color: the regulation of complementary chromatic adaptation. *Annual Review of Plant Physiology*, 57, 127-150.
- Kellmann R., Mihali T.K., Jeon Y.J., Pickford R., Pomati F. et Neilan B.A. (2008).** Biosynthetic intermediate analysis and functional homology reveal a saxitoxin gene cluster in cyanobacteria. *ApplEnviron Microbiol*, 74, 4044-4053.
- Khan S.A., Wickstrom M.L., Haschek W.M., Schaeffer D.J., Ghosh S. et Beasley V.R. (1996).** Microcystin-LR and kinetics of cytoskeletal reorganization in hepatocytes, kidney cells, and fibroblasts. *Nat. Toxins*, 4 (5), 206-214.
- Kleinkauf H. et Von Döhren H. (1996).** A nonribosomal system of peptide biosynthesis. *Eur J Biochem*, 236(2), 51-335.
- Komarek J. (1984).**Sobre las cyanofíceas de Cuba: (1) *Aphanizomenon volzii*, (2) especies de *Fortiea*. v *Acta Bot. Cubana*, La Habana, 18, 30.

- Komarek J. (1991).** A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. *Algological studies*, 64, 115-127.
- Komarek J. et Anagnostidis K. (1986).** Modern approach to the classification system of Cyanophytes 2. Chroococcales. *Archivfür Hydrobiologie Supplementband – Algological Studies*, 43, 157-226.
- Komarek J. et Anagnostidis K. (1989).** Modern approach to the classification system of cyanophyte 4–Nostocales. *Algological Studies*; 56, 247-345.
- Komarek J. et Anagnostidis K. (1998).** Cyanoprokaryota. Teil Chroococcales.
- Komarek J. et Anagnostidis K. (1999).** Cyanoprokaryota1, Teil: Chroococcales. I H. Ettl, G. Gartner, H. Heynig, and D. Mollenhauer (ed.), *Suswasserfloravon Mitteleuropa Band.Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany*, 19(1) , 548.
- Komarek J. et Anagnostidis K. (2005).** Cyanoprokaryota II. Teil. Oscillatoriales. In B. Budel, G. Gartner, L. Krienitz et M. Schagerl (eds.), *Suswasserflora von Mitteleuropa*, 19(2). Elsevier, Heidelberg, 759.
- Komarek J. et Zapomělová E. (2008).** Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena* = subg. *Dolichospermum* – 2. part: straight types. – *Fottea* ,8, 1–14.
- Komarek J., Komarkova J. et Kling H. (2003).** Filamentous cyanobacteria. In *Freshwater alga of North America*. Elsevier (ed.), USA, 117-196.
- Komarková-Legnerová J. et Tavera R. (1996).** *Cyanoprokaryota (Cyanobacteria)* in the phytoplankton of Lake Catemaco (Veracruz, Mexico). – *Arch. Hydrobiol./ Algolog. Stud*, 83, 403–422.
- Kononen K. (2001).** Eutrophication, harmful algal blooms and species diversity in phytoplankton communities examples from the Baltic Sea. *Ambio*, 30,184-189.
- Kratz W.A. et Myers J. (1955).** Nutrition and growth of several blue-green algae. *American Journal of Botany*, 42(3), 282-287.
- Kromkamp J. C. et Mur L. R. (1984).** Buoyant density changes in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* due to changes in the cellular carbohydrate content. *FEMS Microbiology Letters*, 25(1), 105-109.
- Lampert W. (1987).** Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21(3), 483-490.

- Lankoff A., Banasik A., Obe G., Deperas M., Kuzminski K., Tarczynska M., Jurczak T. et Wojcik A. (2003).** Effect of microcystin-LR and cyanobacterial extract from Polish reservoir of drinking water on cell cycle progression, mitotic spindle, and apoptosis. In CHO-K1 cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 189 (3), 204-213.
- Lapage SP., Sneath PHA., Lessel EF., Skerman VBD., Seeliger HPR. et Clark WA. (1992).** International Code of Nomenclature of Bacteria, 1990 revision. American Society for Microbiology, Washington D.C, USA, 199.
- Lathrop C. (1988).** Evaluation of whole-lake nitrogen fertilization for controlling blue-green algal blooms in a hypereutrophic lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45, 2061-2075.
- Lee R. E. (2008).** Phycology. Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York. Fourth edition, 547.
- Lehman P. W., Boyer G., Hall C., Waller S. et Gehrts K. (2005).** Distribution and toxicity of a new colonial *Microcystis aeruginosa* bloom in the San Francisco Bay Estuary, California. *Hydrobiologia.* 541,87-99.
- Lehman P. W., Boyer G., Satchwell M. et Waller S. (2008).** The influence of environmental conditions on the seasonal variation of *Microcystis* cell density and microcystins concentration. In San Francisco Estuary. *Hydrobiologia*, 600,187-204.
- Leitão M. et Couté A. (2005).** Guide Pratique des Cyanobactéries Planctoniques du grand Ouest de la France. Ed AESN. Honfleur, 64.
- Li H.B., Hou G.X., Dakui F., Xiao B.D., Song L.R. et Liu Y.D. (2007).** Prediction and elucidation of the population dynamics of *Microcystis* spp. In Lake Dianchi (China) by means of artificial neural networks. *Ecol. Inform.*, 2, 184-192.
- Lilleheil G., Andersen R.A., Skulberg O.M. et Alexander J. (1997).** Effects of a homoanatoxin-a-containing extract from *Oscillatoria Formosa* (Cyanophyceae / Cyanobacteria) on neuromuscular transmission. *Toxicon*, 35, 1275-1289.
- Lobner D., Piana P.M.T., Salous A.K. et Peoples R.W. (2007).** β -N-methylamino-l-alanine enhances neurotoxicity through multiple mechanisms. *Neurobiology of Disease*, 25 (2), 360-366.
- Looper R. E., Runnegar M. T. C. et Williams R. M. (2005).** Synthesis of the putative structure of 7-deoxycylindrospermopsin C7 oxygenation is not required for the inhibition of protein synthesis. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, 44, 3879–81.

- Mackintosh C., Beattie K., Klumpp S., Cohen P. et Codd G. (1990).** Cyanobacterial microcystin-LR is a potent and specific inhibitor of protein phosphatases 1 and 2A from both mammals and higher plants. *FEBS Letters*, 264, 187 – 192.
- Magnuson J. J., Robertson D. M., Benson B., Wynne R. H., Livingstone D. M., Arai T., Assel R. A., Barry R. G., Card V., Kuusisto E., Granin N. G., Probst T. D., Stewart K. M. et Vuglinski V. S. (2000).** Historical trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, 1743-1746.
- Mahmood N.A. et Carmichael W.W. (1986).** Paralytic shellfish poisons produced by the freshwater cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* NH-5. *Toxicon*, 24, 175-186.
- Manamani R. (2007).** Niveau trophique et efflorescences des cyanobactéries dans le barrage d'Ain Dalia (Souk Ahras). Mémoire de magister en science de la mer, option : biologie et physiologie des organismes marins.
- Marre A. (1987).** Etude géomorphologique du tel oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne. Université Aix-Marseille II. Uer de géographie, 559.
- Martin B.V. (2004).** Floraisons de cyanobactéries au lac saint-augustin : dynamique à court terme et stratification, Thèse, Univ Laval, 45.
- Martins J. et V. Vasconcelos. (2009).** Microcystin Dynamics. In *Aquatic Organisms. Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews*, 12, 65–82.
- Maske S.S., Sangolkar L.N. et Chakrabarti T. (2010).** Temporal variation in density and diversity of cyanobacteria and cyanotoxins in lakes at Nagpur (Maharashtra State), India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169, 299-308.
- Matmed A. (2000).** Les cyano procaryotes dans le Tonga : Identification générique et étude de leur distribution. Diplôme d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'Annaba.
- MC Barron E.J. et May V. (1966).** Poisoning of sheep. In New South Wales by the blue-green alga *Anacysticcyanea* (Kuetz) Dr. and Dail. *Aust. Vet. J.*, 42, 449-153.
- Mc Dermott C.M., Nho C.W., Hoaward W. et Holton B. (1998).** The cyanobacterial toxin, Microcystin-LR, can induce apoptosis in a variety of cell types, *Toxicon*, 36, 1981-1996.
- McNeill J., Barrie FR., Burdet HM., Demoulin V., Hawksworth DL., Marhold K., Nicolson DH., Prado J., Silva PC., Skog JE., Wiersema JH. et Turland NJ. (2006).** *International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). Regnum Vegetabile A.R.G.GantnerVerlag KG*, 146.

- Me barron E. J et May V. (1966).** Poisoning of sheep. In New South Wales by the blue-green algae. *Anacystiscyanea* (Kutz). *Aust. Vet J*, 42, 449-456.
- Menail H. (2000).** Micro-algues toxiques dans le lac Oubeira. Approche taxonomique et suivi de la population micro-algale. Mémoire d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'annaba.
- Messerer Y. (1999).** Etude morpho-métrique et hydrographique du complexe lacustre d'El-Kala : cas lac Oubeira et lac Mellah. Thèse de magister. Université d'Annaba, 199.
- Mihali T.K., Kellmann R., Muenchhoff J., Barrow K.D. et Neilan B.A. (2008)** .Characterization of the gene cluster responsible for cylindrospermopsin biosynthesis. *Applied and Environmental Microbiology* , 74 , 716-722.
- Mischke U. (2003).** Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecologica*, 24, 11-23.
- Moffitt C. et Neilan B.A. (2004).** Characterization of the nodularinsynthetase gene cluster and proposed theory of the evolution of cyanobacterialhepatotoxins. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 6353-6362.
- Moffitt M.C. et Neilan B.A. (2001).** On the presence of peptide synthetase and polyketide synthase genes in the cyanobacterial genus *Nodularia*. *FEMS Microbiology Letters*; 196, 207-214.
- Moustafa A., Loram JE., Hackett JD., Anderson DM., Plumley FG et Bhattacharya D. (2009).** Origin of saxitoxin biosynthetic genes in cyanobacteria. *Plos One*, 4, 5758.
- Mur L.R., Skumberg O.M et Utkilen H. (1999).** Cyanobacteria in the Environment. In Chorus I. et Bartram J. 1999. (Eds.). *Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management.* Who Ed. E And Fn Spon, 41-111.
- Murry M.A., Horne A.J. et Benemann J.R. (1984).** Physiological studies of oxygen protection mechanisms in the heterocysts of *Anabaena cylindrica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 47(3), 449-454.
- Nasri A.B. (1999).** Etude de la biodiversité des Cyanoprocaryotes et leurs toxines dans un milieu d'eau douce: Lac Oubéira. Mémoire de Magister. Université d'Annaba.
- Nasri H. (2001).** Etude de la dynamique spatio- temporelle et des paramètres de croissance de Cyanoprocaryotes toxiques dans un milieu d'eau douce. Cas du barrage Chaffia. Mémoire de magister. Université d'Annaba.

- Nasri H., Bouaïcha N. et Kaid Harche M. (2007).** A New Morphospecies of *Microcystis* sp. Forming Bloom in the Cheffia Dam (Algeria): Seasonal Variation of *Microcystin* Concentrations in Raw Water and Their Removal in a Full-Scale Treatment Plant. *Environ Toxicol* , 22, 347–356.
- Neilan BA., Pearson LA., Moffitt MC., Mihali KT., Kaebemick M., Kellmann R et Pomati F. (2008).**Thegeneties and genomics of cyanobacterial toxicity. *AdvExp Med Biol*, 619, 417-52.
- Nezan E., Piclet G. et Grossel H. (1997).** Guide pratique du Réseau National de Surveillance du phytoplancton.
- Nishiwaki-Matsushima R., Ohta T., Nishiwaki S., Suganuman M., Kohyama K., Ishikawa T., Carmichael W.W. et Fujiki H. (1992)** .Liver tumor promotion by the cyanobacterial cyclic peptid toxin microcystin-LR. *Journal of Cancer Research and ClinicalOncology*, 118, 420-424.
- Nishizawa T., Asayama M., Fujii K., Harada K.I. et Shirai M. (1999).** Genetic analysis of the peptide synthetase genes for a cyclic heptapeptidemicrocystin in *Microcystis* spp. *Journal of Biochemistry*, 126, 520-529.
- Nishizawa T., Ueda A., Asayama M., Fujii K., Harada K., Ochi K. et Shirai M. (2000).** Polypeptidesynthase gene coupled to the peptide synthetase module involved in the biosynthesis of the cyclic heptapeptidemicrocystin. *J. Biochem*, 127, 779–789.
- Okello W. et R. Kurmayer. (2011).** Seasonal development of cyanobacteria and microcystin production. In Ugandan freshwater lakes. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 16, 123-135.
- Oliver R.L. et Ganf G.C. (2000).** Freshwater blooms. In Whitton, B.A. and Potts M., *The ecology of cyanobacteria. Their diversity in time and space* Dordrecht, Kluwe Academic Publishers, 149-194.
- Osborne N.J.T., Webb P.M. et Shaw G.R. (2001).** The toxins of *Lyngbya majuscula* and their human and ecological health effects. *Environment International*, 27(5), 381-392.
- Otsuka S., Suda S., Li R., Watanabe M., Oyaizu H., Matsumoto S. et Watanabe M.M. (1998).** 16S rDNA sequences and phylogenetic analyses of *Microcystis* strains with andwithout phycoerythrin. *FEMS Microbiol. Lett*, 164,119-124.

- Ouarts A., Saoudi A. et Chekireb D. (2011).** Etude des efflorescences toxiques a cyanobactéries dans le barrage Mexa, Algerie. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 5 (1), 81-100.
- Paerl H. W. et Paul V. J. (2011).** Climate Change: Links to Global Expansion of Harmful Cyanobacteria. *Water Research*, 46, 1363–1349.
- Paerl H.W. et Huisman J. (2008).** Blooms like it hot. *Science*, 320 (5872), 57-58.
- Palinska K.A. et Krumbein W.E. (1998).** Patterns of growth in coccoid, aggregate forming cyanobacteria. *Annales Botanici Fennici*, 35 (3), 219-227.
- Park H.D., Watanabe M.F., Harada K.-I., Nagai H., Suzuki M., Watanabe M. et Hayashi H. (1993).** Hepatotoxin (microcystin) and neurotoxin (anatoxin-a) contained innatural blooms and strains of cyanobacteria from Japanese freshwaters. *Nat. Toxins*, 1, 353–360.
- Pearson L. A., Hisbergues M., Borner T., Dittmann E. et Neilan B. A. (2004).** Inactivation of an ABC transporter gene, *mcyH*, results in loss of microcystin production in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* PCC 7806. *Applied and environmental microbiology*, 70, 6370-6378.
- Pearson L., T. Mihali M., Moffit R., Kellmann. et Neilan B. (2010).** On the Chemistry , Toxicology and Genetics of the cyanobacterial toxins, Microcystin, Nodularin, Saxitoxin and Cylindrospermopsin. *Marine Drugs*, 8, 1650–1680.
- Pereira I., G Reyes Yv. et Kramm. (2000).** Cyanophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae, Zygnematophyceae y Charophyceae en arrozales de Chile. *Gayana Botanica*, 57, 29-53.
- Pierre J.F. (2001).** Bulletin de l'academie lorraine des sciences : catalogue des algues (du Nord –Est de la France et des régions attenantes, 45-46.
- Pitois S., Jackson M.H. et Wood B.J.B. (2000).** Problems associated with the presence of cyanobacteria in recreational and drinking waters. *Intern. J. Environm Health Res*, 10, 203-218.
- Pitois, S., Jackson MH. et Wood BJB. (2000).** Problems associated with the presence of Cyanobacteria in recreational and drinking waters. *International journal of Environmental Health Research*, 10, 203- 218.

- Prairie. et Soucisse. (1999).** Risques à la santé publique découlant de la présence de cyanobactéries (algues bleues) et de microcystines dans trois bassins versants du sud-ouest québécois, 151.
- Prescott L. M., Harley J. P. (2010).** Microbiologie 3e édition. Bruxelles, De Boeck.
- Prescott L.M., Harly J.P. et Klein D.A. (2003).** Microbiologie. 2 édition.Française.de boeck .Bruxelles, 472, 475,648.
- Preussel K., A Stuken., C Wiedner., Chorus I. et Fastner J. (2006).** First report on cylindrospermopsin producing *Aphanizomenon flos-aquae* (Cyanobacteria) isolated from two German lakes. Toxicon, 47,156–162.
- Rabouille S., Thebault J.M. et Salencon M.J. (2003).** Simulation of carbon reserve dynamics in *Microcystis* and its influence on vertical migration with Yoyo model. CR Biol, 326, 349-361.
- Rantala A., Fewer D.P., Hisbergues M., Rouhiainen L., Vaitomaa J., Borner T. et Sivonen K. (2004).** Phylogenetic evidence for the early evolution of microcystin synthesis. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 10, 568-573.
- Rao S.D., Banack, S.A., Cox, P.A. et Weiss J.H. (2006).** BMAA selectively injures motor neurons via AMPA/kainate receptor activation. Experimental Neurology, 201(1), 244-252.
- Rapala J., Sivonen K., Luukkainen R. et Niemela S.I. (1993).** Anatoxin-a concentration in *Anabaena* and *Aphanizomenon* under different environmental conditions and comparison of growth by toxic and non-toxic *Anabaena*-strains - A laboratory study. Journal of Applied Phycology, 5 (6), 581-591.
- Raven J.A., Cockell C.S. et De La Rocha C.L. (2008).**The evolution of inorganic carbon concentrating mechanisms in photosynthesis. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci, 363, 26- 27.
- Reviere B. (2003).** Biologie et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences. Tome, 2, 255.
- Reynolds C. S., Jaworski G. H. M., Cmeich H. A. et Leedale G. F. (1981).** On the annual cycle of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* Kutz. emend. Elenkin. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 293, 419-477.

- Richardson K., Beardall J. et Raven J.A. (1983).** Adaptation of unicellular algae to irradiance: An analysis of strategies. *New Phytologist*, 93, 157-191.
- Rippka R. et Stanier R.Y. (1978).** The effects of anaerobiosis on nitrogenase synthesis by cyanobacteria. *Journal of General Microbiology*, 105, 83-94.
- Robarts R.D et Zohary T. (1987).** The temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom-forming Cyanobacteria NEW ZEALAND journal of marine and freshwater research, 21, 391 - 399.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. et Rodi L. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} édit. Dunod, 4, 6.
- Rodier J., Legube B. et Merlet N. (2009).** L'analyse de l'eau, Ed. Dunod, 78-1368.
- Rouhiainen L., Vakkilainen T., Siemer B.L., Buikema W.J., Haselkorn R. et Sivonen K. (2004).** Genes coding for hepatotoxic heptapeptides (microcystins) in the cyanobacterium *Anabaena* strain 90. *Applied and Environmental Microbiology*, 7, 686-692.
- Salmaso N., Buzzi F., Garibaldi L., Morabito G. et Simona M. (2012).** Effects of nutrient availability and temperature on phytoplankton development: a case study from large lakes south of the Alps. *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries*, 74, 555-570.
- Saoudi A. (2008).** Isolement, culture et évaluation de la toxicité des efflorescences à *microcystis* sp. du barrage Mexa El Taref. Mémoire de magister. Université d'Annaba.
- Sarnelle O. et Wilson A.E. (2005).** Local adaptation of *Daphnia pulicaria* to toxic cyanobacteria. *Limnology and Oceanography*, 50(5), 1565-1570.
- Schindler D. W. et Hecky R. E. (2008).** Reply to Howarth and Paerl: Is control of both nitrogen and phosphorus necessary? *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104-105.
- Seenayya G. et Subba Raju N. S. S. (1972).** On the ecology and systematic position of the alga known as *Anabaenopsis raciborskii* (Wolosz.) Elenk. and a critical evaluation of the forms described under the genus *Anabaenopsis*. In Desikachary, T. V. (Ed.). *Taxonomy and Biology of Blue-green Algae*. University of Madras, Madras, India, 52-57.
- Sehili N. (2008).** Evolution des peuplements phytoplanctoniques au niveau du lac Oubéira Et la lagune El Mellah. Mémoire de magister. Université d'Annaba.
- Seip K.L. (1994).** Phosphorus and nitrogen limitation of algal biomass across trophic gradients. *Aquatic Sciences*, 56 (1), 16-28.

- Sevrin–Reyssac J., La Noüe J. et Proulx D. (1995).** Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Lavoisier. Paris, 17.
- Silva E.D., Williams D.E., Andersen R.J., Klix H., Holmes C.F.B. et Allen T.M. (1992).** Motuporin, a potent protein phosphatase inhibitor isolated from the Papua New Guinea sponge *Theonellaswinhoei* Gray. *Tetrahedron Lett*, 33 (12), 1561-1564.
- Sinha RP. et Hader DP. (2008).** UV protectants in cyanobacteria. *Plant Sci*, 174, 278-289.
- Sivonen K. et Borner T. (2008).** Bioactive compounds produced by cyanobacteria. In Herrero A. and Flores G. *The Cyanobacteria: Molecular Biology, Genomics and Evolution*. Caister Academic Press. Norfolk, UK, 159- 197.
- Sivonen K. et Jones G. (1999).** Cyanobacterial Toxins. In Chorus, I. and Bartram, J., *Toxic Cyanobacteria. In Water: A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. London, E et FN Spon, 41-111.
- Skulberg O.M., Codd G.A et Carmichael W.W. (1984).** Toxic blue-green algal blooms In Europe: a growing problem *Amibo*, 13, 244-246.
- Slim K., Atoui A., Elzein G. et Temsah M. (2012).** Effets des facteurs environnementaux sur la qualité de l'eau et la prolifération toxique des cyanobactéries du lac Karaoun (Liban). *Larhyss Journal*, 10, 29-43.
- Smith et Bennett S. J. (1999).** Nitrogen: Phosphorus supply ratios and phytoplankton community structure in lakes. *Arch. Hydrobiol*, 146, 37–53.
- Smith V. H. (2003).** Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems - A global problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10, 126-139.
- Somiya I., Tsuno H. et Masuumoto M. (1984).** Phosphorus release-storage reaction and organic substrate behavior in biological phosphorus removal. *Wat. Res*, 22, 49-58.
- Sommaruga R., Chen YW. et Liu ZW. (2009).** Multiple strategies of bloom-forming *Microcystis* to minimize damage by solar ultraviolet radiation in surface waters. *Microb. Ecol*, 57, 667-674.
- Sotton B., Guillard J., Anneville O., Givaudan N. et Domaizon I. (2013).** Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food web: evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. *Science of the Total Environment* in press.
- Stanier R.Y. et Cohen-Bazire G. (1977).** Phototrophic prokaryotes: the cyanobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 31, 225-274.

- Starmach K. (1966).** Cyanophyta, Glaukofity Flora slodkow. Warszawa, Polsky 808.
- Straub F. (1984).** Note algologique I : Observation de quelques Diatomées (Bacillariophyceae). Extrait du Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences naturelles, 107 (1), 5-9.
- Su Z., Sheets M., Ishida H., Li F. et Barry W.H. (2004).** Saxitoxin Blocks L-Type ICa. Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics, 308 (1), 324-329.
- Suttle C. A. (2000).** Cyanophages and their role in the ecology of cyanobacteria. dans B. A. Whitton et M. Potts (éd.), The ecology of cyanobacteria : their diversity in time and space, Boston, Kluwer Academic Publishers, 563-589
- Svrcek C. et Smith D. W. (2004).** Cyanobacteria toxins and the current state of knowledge on water treatment options: a review. Journal of Environmental Engineering and Science, 3, 155-185.
- Tan X., Kong F.X., Zeng Q.F., Cao H.S., Qian S.Q. et Zhang M. (2009).** Seasonal variation of Microcystis in Lake Taihu and its.
- Tandeau de Marsac N. (1977).** Occurrence and nature of chromatic adaptation in cyanobacteria. Journal of Bacteriology, 130(1), 82-91.
- Taton A., Grubisic S., Brambilla E., De Wit R et Wilmotte A. (2003).** Cyanobacterial diversity in natural and artificial microbial mats of Lake Fryxell (McMurdo Dry Valleys, Antarctica): a morphological and molecular approach. Applied and Environmental Microbiology, 69, 5157-5169.
- Tel-Or E. et Stewart W.D.P. (1977).** Photosynthetic components and activities of nitrogenfixing isolated heterocysts of Anabaena cylindrica. Proceedings of the Royal Society B, 198, 61-83.
- Thébault L. et Lesne J.P. (1995).** Les toxines des cyanobactéries : quels risques pour la santé. TSM, 12, 937-940.
- Thébault L. et Lesne J.P. (1995).** Les toxines des cyanobactéries : quels risques pour la santé. TSM, 12,937-940.
- Tiffany L. M. (1951).** Ecology of fresh water algae. In G. M. Smith, ed. Manual of phycologyChronociaBotanica. Waltham, Massachussetts, 293-311.

- Tillett D., Dittmann E., Erhard M., von Döhren H., Börner T. et Neilan B.A. (2000).** Structural organization of microcystin biosynthesis in *Microcystis aeruginosa* PCC7806: an integrated peptide-polyketidesynthetase system. *Chemistry and Biology*, 7, 753-764.
- Tonk L., Bosch K., Visser P. M. et Huisman J. (2007).** Salt tolerance of the harmful cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Aquatic Microbial Ecology*, 46, 117-123.
- Trégouboff G. et Rose M. (1978).** Manuel de Planctonologie Méditerranéenne. Tome I.
- Valentine M. B. (2004).** Floraisons de cyanobactéries au lac Saint-Augustin, dynamique. à court terme et stratification. Université Laval Québec, 105.
- Van Apeldoorn M. E., H. P. Van Egmond G. J. A. Speijers. et Bakker G. J. I. (2007).** Toxins of cyanobacteria. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51, 7–60.
- Vanni M.J., Luecke C., Kitchell J.F. et Magnuson J.J. (1990).** Effects of planktivorous fish mass mortality on the plankton community of Lake Mendota, Wisconsin: implications for biomanipulation. *Hydrobiologia*, 1, 200-201, 329-336.
- Vansconcelos V.M. (1999).** Cyanobacterial toxins. In Portugal : Effects on aquatic animals and risk for human health. *Braz. J. Med. Biol. Res. Mar.*, 32(3), 249-254.
- Vareli K. et E Briasoulis. (2009).** "Molecular confirmation of *Planktothrix rubescens* as the cause of intense, microcystin Synthesizing.
- Vasconcelos V. (2001).** Cyanobacteria toxins: diversity and ecological effects. *Limnetica*, 20, 45– 58.
- Vézie C. et Rapala J. (2002).** Effect of Nitrogen and Phosphorus on Growth of Toxic and Nontoxic *Microcystis* Strains and on Intracellular Microcystin Concentrations. *Microbial Ecology*, 43(4), 443-454.
- Vincent W.F. et Quesada A. (1993).** Cyanobacterial responses to UV radiation: implications for antarctic microbial ecosystems, dans S. WEILER et P.A. PENHALE (éd.), *Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurement and Biological Effects*. Washington. American Geophysical Union, 111-124.
- Visser PM., Ibelings BW., vanderVeer B., Koedood J. et Mur LR. (1996).** Artificial mixing prevents nuisance blooms of the cyanobacterium *Microcystis* in Lake Nieuwe Meer, the Netherlands. *Freshwater Biol*, 36, 435-450.
- Walsby AE. (1994).** Gas Vesicles. *Microbiol. Rev*, 58, 94-144.

- Watanabe M. (1994).** Water bloom-forming blue-green algae (Mizu no hanawotsukururanso). In M. F. Watanabe, Harada, K. and Fujiki, H., University of Tokyo press, Tokyo, 25-54.
- Watanabe M. (1996).** Isolation, cultivation and classification of bloom-forming *Microcystis* in Japan. in Toxic *Microcystis*. CRC Press, 262.
- Watanabe M.F., Harada W.W., Carmichael K. et Fujiki H. (1995).** Toxic *Microcystis*. Boca Raton: CRC Press, 272.
- Waterbury J. et Stanier R. (1978).** Patterns of growth and development in pleurocapsalean cyanobacteria. *Microbiological Reviews*, 42(1), 2-44.
- Welker M. et Von Döhren H. (2006).** Cyanobacterial peptides - Nature's own combinatorial biosynthesis. *FEMS Microbiol Rev*, 30, 530-563.
- Weyhenmeyer G. A. (2001).** Warmer winters: Are planktonic Algal Populations in Sweden's Largest Lakes Affected? *Ambio*, 30, 565-571.
- Wiedner C., Nixdorf B., Heinz R., Wirsing B., Neumann U. et Weckesser J. (2002).** Regulation of cyanobacteria and microcystin dynamics in polymictic shallow lakes. *Arch. Hydrobiol*, 155:383-400.
- Woese C.R. (1987).** Bacterial evolution. *Microbiol Rev*, 51, 221-271
- Woloszynska J. (1912).** O glonach planktonowych nicktorych jezior jawanskich, z umz-glednieniem glonow Sawy. Das Phytoplankton einiger javanischer Seen mit Berucksichtigung des Sawa-Planktons.-*Bull. Internat. Acad. Sci. de Cracovie. Cl. Sci. Math. Natur*, 6, 649-709.
- Wu X., Kong F. et Zhang M. (2011).** Photoinhibition of colonial and unicellular *Microcystis* cells in a summer bloom in Lake Taihu. *Limnology*, 12, 55-61.
- Yeager CM., Kornosky JL., Morgan RE., Cain EC., Garcia-Pichel F., Housman DC., Belnap J. et Kuske CR. (2007).** Three distinct clades of cultured heterocystous cyanobacteria constitute the dominant N₂-fixing members of biological soil crusts of the Colorado Plateau, USA. *FEMS Microbiol Ecol*, 60 (1), 85-97.
- Zheng Z.M., Bai P.F., LU K.H., Jin C.H. et Zhang L. (2008).** Growth characteristics and competitive parameters of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda* at different temperatures. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 720-727.

Zimba P.V., Khoo L., Gaunt P., Carmichael W.W. et Brittain S. (2001). Confirmation of catfish mortality from Microcystis toxins. J. Fish. Dis, 24, 41-47.

Zohary T. et Robarts R.D. (1990). Hyperscums and the population dynamics of Microcystis aeruginosa. J. Plankton Res, 12,423-432.

Liste des abréviations

A : Adénylation.

ACC : Adaptation chromatique complémentaire.

Adda : Acide 3-amino-9-méthoxy-2,6, 8- triméthyl-10-phényldéca-4,6-dienoïc.

Ala : Alanine.

BMAA : β -N-méthylamino-L-alanine.

C : Carboxysomes.

C : Condensation.

CPG : Granule de cyanophycine.

CYN : Cylindrospermopsine.

Da : Dalton.

G : Granules de glycogène.

Glu : glutamate.

GV : Vésicules à gaz.

GVP : Gas vesicle protein.

I.C.B.N : Code International de Nomenclature Botanique.

I.C.N.B : Code International de Nomenclature des Bactéries.

LPS : Lipopolysaccharides.

LR : Une microcystine portant une leucine (L) et une arginine (R).

MCs : Microcystine.

Mdha : N-méthyl déhydroalanine

MeAsp : acide Derythro- β -méthylaspartique

N : azote.

Nod : Nodularine.

NRPSs : Peptides synthétases non ribosomaux.

P : Granules de polyphosphate.

P : Phosphore.

PB : Phycobilisome.

PBS : Phycobilisomes.

PC : Phycocyanine.

PCS : Phycobilisomes.

PE : Phycoérythrine.

PHB : Polyhydroxybutyrate.

PKSs : les polyketides synthases.

PPs : Protéine phosphatase.

T : Thylacoïdes

T : Thiolation.

TN: Azote total.

TP: Phosphore total

.

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
Figure 01	Représentation schématique de l'organisation fonctionnelle d'une cellule végétative de cyanobactérie	4
Figure 02	Organisation morphologique des cyanobactéries	6
Figure 03	Classification des procaryotes photosynthétiques, dont font partie les cyanobactéries	7
Figure 04	<i>Microcystis aeruginosa</i>	16
Figure 05	Structure moléculaire de la microcystine, variant LR	20
Figure 06	Structure chimique de la nodularine	22
Figure 07	Structure chimique de la cylindrospermopsine	23
Figure 08	Structure chimique de l'anatoxine-a, de l'homo anatoxine-a et de l'anatoxine-a (s)	24
Figure 09	Structure chimique de la saxitoxine	25
Figure 10	Structure chimique de la β -N-méthylamino-L-alanine	26
Figure 11	Structure chimique de la lyngbyatoxine A (A), de la débromoaplysiatoxine (B) et de l'aplysiatoxine (C)	27
Figure 12	Clusters de gènes codant pour la biosynthèse des microcystines chez <i>Anabaena</i> , <i>Microcystis</i> et <i>Planktothrix</i> et des nodularines chez <i>Nodularia</i>	29
Figure 13	Structure du cluster de gènes <i>cyr</i> codant pour la cylindrospermopsine	30
Figure 14	Localisations du lac Oubeïra	33
Figure 15	Photographie du filet à plancton.	36
Figure 16	Exemple d'étiquette pour les différents prélèvements.	36
Figure 17	variations mensuelles des températures de l'eau (Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016).	41
Figure 18	variations mensuelles du PH de l'eau (Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016).	42
Figure 19	variations mensuelles de l'oxygène dissous de l'eau (Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016).	42
Figure 20	variations mensuelles de nitrate de l'eau (Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016).	43
Figure 21	variations mensuelles de l'orthophosphate de l'eau (Lac Oubeïra ; Juillet 2015- Avril 2016).	43
Figure 22	Photographie du genre <i>Microcystis</i>	45
Figure 23	Photographie du genre <i>Oscillatoria</i>	45
Figure 24	Photographie du genre <i>Limnothrix</i>	45
Figure 25	Photographie du genre <i>Cylindrospermopsis</i>	46
Figure 26	Photographie du genre <i>Anabaena</i>	46

Figure 27	photographie du genre <i>Pseudanabaena</i>	46
Figure 28	photographie du genre <i>Aphanizomenon</i>	47
Figure 29	photographie du genre <i>Planktothrix</i> .	47
Figure 30	Distribution saisonnière des cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	48
Figure 31	Distribution temporelle des cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	48
Figure 32	Densité moyenne des genres de cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	49
Figure 33	Distribution temporelle de la densité de <i>Microcystis</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	49
Figure 34	Distribution temporelle de la densité de <i>Limnothrix</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	50
Figure 35	Distribution temporelle de la densité de <i>Cylindrospermopsis</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	50
Figure 36	Distribution temporelle de la densité d' <i>Aphanizomenon</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	51
Figure 37	Distribution temporelle de la densité d' <i>Anabaena</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	51
Figure 38	Distribution temporelle de la densité de <i>Pseudanabaena</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	52
Figure 39	Distribution temporelle de la densité d' <i>Oscillatoria</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	52
Figure 40	Distribution temporelle de la densité de <i>Planktothrix</i> (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	53
Figure 41	Corrélation entre la température et la densité des Cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	53
Figure 42	Corrélation entre le pH et la densité des Cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	54
Figure 43	Corrélation entre l'oxygène dissous et la densité des Cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	54
Figure 44	Corrélation entre le nitrate et la densité des Cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	55
Figure 45	Corrélation entre l'orthophosphate et la densité des Cyanobactéries (Lac Oubeira ; Juillet 2015- Avril 2016)	55

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
Tableau 01	Classification des cyanobactéries selon les systèmes bactériologiques (I.C.N.B)) et botaniques (I.C.B.N)	8
Tableau 02	Exemples d'intoxications animales liées aux toxines de cyanobactéries	19
Tableau 03	Exemples d'intoxications humaines liées aux toxines de cyanobactéries	32
Tableau 04	Diversité des genres producteurs des cyanotoxines principalement observées dans les milieux aquatiques.	33
Tableau 05	Qualité des eaux de surface à partir de plusieurs paramètres	57

Annexe 1 : fiche de terrain

Fiche de terrain

Nom du plan d'eau : **Oubeïra**...Date du prélèvement : **20 / 03 / 2016**. Heure : **11h.30min**... Commune :.....Profondeur : Usage : eau potable Irrigation des champs agricoles**Observation métrologique :**

Météo du jour : Soleil – Couvert - Nuage - Averse - Pluies - tempête.

Météo de la veille : Soleil – Couvert - Nuage - Averse - Pluies - tempête.

- Direction du vent :
- Température de l'Air :
- Odeur inhabituelle :.....
- Nature du sol :semi rocheux :.....

Physico-chimie de l'eau :

- Température de l'eau :.....
- pH de l'eau :.....
- Turbidité :

Fleur d'eau :

- Date d'apparition de la fleur d'eau : absente....
- Taille approximative : ///..... mètre.
- Taille des particules : ///..... millimètre.
- Couleur : ///.....

Présence d'écume en bordure du barrage : OUI NON **Remarque personnelle :**

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Annexe 2 : Réactifs**Nitrate**➤ **Réactifs :**

- Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium : 40 g/l :
 - Molybdate d'ammonium tétra hydraté : 20 g.
 - Eau distillée : 500 ml.

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

- Solution d'acide ascorbique : 20 g/l :
 - Acide ascorbique : 2 g.
 - Eau distillée : 100 ml.

À préparer chaque jour.

- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L :
 - Tartrate double d'antimoine et de potassium : 0,28 g.
 - Eau distillée : 100 ml.

– Réactif combiné :

- Solution d'acide sulfurique : 50 ml.
- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium : 5 ml.
- Solution de molybdate d'ammonium : 15 ml.
- Eau distillée : 100 ml.

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.

- Solution mère étalon à 50 mg/l de phosphore :
 - dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100 °C : 219,7 mg.
 - Eau distillée : 100 ml.

Acidifier la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

- Solution fille étalon à 1 mg/L de phosphore.

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau distillée au moment de l'emploi.

➤ **Établissement de la courbe d'étalonnage :**

Dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement :

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à 1 mg/L (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en milligrammes de phosphore	0	0,001	0,005	0,010	0,015	0,020

Evaporer à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80 °C (ne pas surchauffer ni chauffer trop longtemps). Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau distillée puis 15 ml de solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 420 nm. Soustraire des densités optiques lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage.

Dosage des Orthophosphates :

➤ Réactifs :

– Solution d'acide sulfurique (d = 1,84) à 15 % environ en volume.

– Solution de molybdate d'ammonium : 40 g/l.

- Molybdate d'ammonium tétra hydraté : 20 g.
- Eau distillée : 500 ml.

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

– Solution d'acide ascorbique : 20 g/l :

- Acide ascorbique : 2 g.
- Eau distillée : 100 ml.

À préparer chaque jour.

– Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L :

- Tartrate double d'antimoine et de potassium 0,28 g.
- Eau distillée : 100 ml.

– Réactif combiné :

- Solution d'acide sulfurique : 50 ml.
- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium : 5 ml.
- Solution de molybdate d'ammonium : 15 ml.
- Eau distillée : 100 ml.

Conserver le réactif au réfrigérateur à : 4 °C.

– Solution mère étalon à 50 mg/l de phosphore :

- dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100 °C : 219,7 mg.

- Eau distillée : 100 ml.

Acidifier la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

– Solution fille étalon à 1 mg/L de phosphore.

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau distillée au moment de l'emploi.

➤ **Établissement de la courbe d'étalonnage :**

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à 1 mg/L (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en milligrammes de phosphore	0	0,001	0,005	0,010	0,015	0,020

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, Puis ajouter 4 ml de réactif, mélangé soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

Résumé

L'eutrophisation des lacs devient un phénomène immergent. Les principaux nutriments à l'origine de ce problème sont le phosphore et l'azote, ces derniers sont responsables de la prolifération excessive des cyanobactéries.

Notre étude a porté sur la recherche et l'identification des cyanobactéries potentiellement toxiques contaminants les eaux du lac Oubeïra (EL-Tarf) et sur l'étude des paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous, nitrates, orthophosphates) susceptibles de provoquer et /ou de contrôler le développement des cyanobactéries. Les résultats des mesures des paramètres physicochimiques de l'eau montrent des variations saisonnières.

L'observation des caractères morfo anatomiques des cyanobactéries récoltées nous a permis d'identifier 8 genres (*Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Aphanizomenon*, *Limnothrix*, *Cylindrospermopsis*, *Planktothrix*), dont la majorité est potentiellement toxique.

Les résultats de l'évaluation des densités mensuelles globales des cyanobactéries récoltées montrent que les valeurs les plus élevées sont enregistrées en été pendant le mois de juillet avec une densité de 4760 ind/ml et à un moindre degré en printemps pendant le mois d'avril avec une densité de 40 ind/ml.

Les genres *Microcystis* et *Limnothrix* sont présents durant toute la période d'étude et la dominance du *Microcystis* au mois de juillet avec une densité de 4440 ind/ml et la dominance de *Limnothrix* avec une densité de 420 ind/ml au mois de novembre.

Mots clés : Cyanobactéries, lac Oubeïra, dynamique temporelle, paramètres physico-chimiques.

Abstract

Study of temporal dynamics of proliferation of cyanobacteria in lake Oubeïra (National park el Kala)

The eutrophication of lakes becomes a phenomenon submerge. The main nutrients responsible for this are phosphorus and nitrogen, the latter is responsible for the excessive proliferation of cyanobacteria.

The vast majority of lakes becomes increasingly eutrophic. The main nutrients causing eutrophication are phosphorus and nitrogen; these are the cause of the excessive proliferation of cyanobacteria.

The aim of our study was the research and identification of potentially toxic cyanobacteria, contaminants waters of the lake Oubeïra (El-Tarf) and the study of physico-chemical (Temperature, pH, dissolved oxygen, nitrate, and orthophosphate) liable to cause and / or control the development of cyanobacteria. The results of measurements of the physico-chemical parameters of water show seasonal variations.

The morphological and anatomical characteristic observations of cyanobacteria collected allowed us to identify 8 genera (*Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Aphanizomenon*, *Limnothrix*, *Cylindrospermopsis*, *Planktothrix*), most of which are potentially toxic.

The monthly evolution of the Cyanobacteria density shows that the highest values are recorded during July (spring) with a density of 4760ind/ml. However, the low values are observed during April with a density of 40ind/ml.

Microcystis and *Limnothrix* genera are present throughout the study period and the dominance of *Microcystis* in July with a density of 4440 Ind / ml and *Limnothrix* dominance with a density of 420 ind / ml in November.

Key word: cyanobacteria, the lake Oubeïra, temporal dynamics, physico-chemical parameters.

المخلص

دراسة الدينامية الزمنية لتكاثر البكتيريا الزرقاء في بحيرة أوبيرة (الحميرة الوطنية القالة)

الزيادة في المغذيات في البحيرات أصبحت ظاهرة مغمورة. الأغذية الأساسية المسببة لهذا المشكل هي الفوسفور والأزوت، وهذه الأخيرة هي المسؤولة عن التكاثر المفرط للبكتيريا الزرقاء.

تتمحور دراستنا حول البحث والتعريف بالبكتيريا الزرقاء السامة الملوثة لمياه سد أوبيرة بولاية الطارف ودراسة الخصائص الفيزيو كيميائية (الحرارة، الحموضة، الأكسجين المنحل، النترات، الأرتوفوسفات) التي من شأنها مراقبة هذه البكتيريا. تبين نتائج قياس الخصائص الفيزيو كيميائية للماء تغيرات فصلية.

من جهة أخرى فإن ملاحظة الخصائص المورفولوجية المتحصل عليها سمحت لنا بإحصاء 8 أنواع، فبحيرة " أوبيرة " هي الأكثر تنوعا، فهي تحتوي على أكبر عدد من أصناف البكتيريا الزرقاء السامة كما ونوعا.

تظهر نتائج تقييم الكثافة الشهرية الاجمالية للبكتيريا الزرقاء التي تم جمعها تسجيل أعلى القيم في الصيف خلال شهر جويلية بكثافة قدرها 4760 فرد في الميليلتر وبشكل أقل درجة في الربيع خلال شهر أفريل بكثافة 40 فرد في الميليلتر.

ان *Microcystis* و *Limnothrix* متواجدان طول فترة الدراسة و *Microcystis* هي المهيمنة في شهر جويلية بكثافة قدرها 4440 فرد في الميليلتر أما *Limnothrix* فهي المهيمنة في شهر نوفمبر بكثافة قدرها 420 فرد في الميليلتر.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا الزرقاء، بحيرة أوبيرة، الدينامية الزمنية، الخصائص الفيزيائية والكيميائية.