

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences Biologiques
Spécialité/Option : Microbiologie appliquée
Département : Ecologie et génie de l'environnement

Thème

Les cyanobactéries du lac Oubeira (El Tarf).

Présenté par

- Melle Malak ARNAOUT
- Melle Assala BAHRI
- Melle Houria DENNA

Devant le membre du jury :

Dr. Riad AISSAOUI
Dr. Sandra AMRI
Dr. Lamia BENHALIMA

Président
Encadreur
Examinatrice

Université de Guelma
Université de Guelma
Université de Guelma

Juillet 2021

Remerciements

Nos sincères remerciements vont à monsieur Riad AISSAOUI, docteur à l'université de Guelma, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nous remercions également madame Lamia BENHALIMA, docteur à l'université de Guelma, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Beaucoup de reconnaissance et de gratitude à notre enseignante et encadreur madame Sandra AMRI, nous la remercions pour sa disponibilité à tout moment.

Nos sincères remerciements vont également à l'ensemble de l'équipe, de la bibliothèque et de l'administration; à tous les étudiants de Master II, en particulier nos amies qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail

« L'union fait la force ; La foi fait l'union ».

Enfin nous tenons à remercier très chaleureusement nos familles en particulier nos parents pour leur amour et leur soutien constant qui ont contribué à la réussite de ce travail, aussi bien dans les bons moments que dans ceux de doutes et d'impatience. C'est à eux que nous dédions ce modeste travail.

Dédicace

Avec l'aide de dieu tout puissant, qui a tracé le chemin de ma vie. J'ai pu réaliser ce travail que je dédie :

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère qui m'a apporté son appui durant toutes mes études, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.

A mon cher père qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui.

A mes frères et sœurs ainsi à toute ma famille

A ma grand-mère

A mon fiancé

A mes amis, pour votre bonne humeur, les bons moments passés ensemble et votre soutien

HOURIA

Dédicace

Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce travail :

A ceux qui me sont le plus précieux au monde, mes parents source d'inspiration et le symbole de sacrifices.

Ma mère Selma Bahri une personne intelligente qui a beaucoup d'espoirs avec tant de rêves, tu m'as donné la force et m'a aidé à résister et à tout endurer pour réussir.

Mon père Kamel Eddine un homme combattant avec un énorme savoir qui me pousse à la curiosité pour en savoir plus.

Vous étiez toujours là pour me protéger.

A la mémoire de mes chères grands-parents source de mon inspiration, que le paradis soit leur demeure.

A mon frère Abderrahmane, à ma sœur Fahima source de joie et de bonheur.

A toute ma grande famille BARRI, ma grande mère, mes tantes, mes oncles ainsi que mes cousins et cousines, source d'espoir et de motivation.

A tous mes amis, tous ceux que j'aime et je respecte.

Assala

Dédicace

A mes chers parents Lakhder et Saliha pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A ma petite sœur Mouna et mon petit frère M. Roustom, pour leurs encouragements constants et leur soutien moral.

*A mes amies Sana, Assala et Houria, qui n'ont jamais cessé de me soutenir.
Merci d'être toujours là pour moi.*

Malak

Résumé

Ce travail est une synthèse bibliographique sur les cyanobactéries peuplant le lac Oubeira, cette étude visera à étudier les proliférations de cyanobactéries potentiellement toxique et leurs impacts écologiques. Pour cela, on a eu recours à plusieurs travaux, qui ont été déjà réalisés par différents chercheurs. Tous les travaux ont identifié la présence des cyanobactéries et/ou des cyanotoxines, dont le genre *Microcystis* est dominant. La mise en évidence de cyanobactéries toxigène destinée à la production d'eau pour les êtres vivants dans ce lac demande un suivi régulier des communautés de cyanobactéries et des cyanotoxines.

Mot clés : Cyanobactéries, Lac Oubéira, Prolifération , Cyanotoxines, *Microcystis*.

This work is a bibliographic summary on the cyanobacteria inhabiting Lake Oubeira, this work aim to study the proliferation of potentially toxic cyanobacteria and their ecological impact. For this, several studies have been used which have already been carried out by different researchers. All the studies have identified the presence of cyanobacteria and / or cyanotoxins, of which the genre *Microcystis* is dominant . Likewise, the detection of toxigenic cyanobacteria intended for the production of water for living beings in this lake requires regular monitoring of communities of cyanobacteria and cyanotoxins.

Keywords: Cyanobacteria, Lake Oubéira, Bloom , Cyanotoxins, *Microcystis*.

هذا العمل عبارة عن ملخص ببليوغرافي عن البكتيريا الزرقاء التي تعيش في بحيرة أوبيرا ، ويهدف هذا العمل إلى دراسة انتشار البكتيريا الزرقاء السامة وتأثيرها البيئي. لهذا ، تم استخدام العديد من الدراسات أجريت بالفعل بشكل مختلف . حدد العمل وجود البكتيريا الزرقاء والسموم الزرقاء مع هيمنة جنس ميكروسيطين. وبالمثل ، فإن الكشف عن البكتيريا الزرقاء السامة المعدة لإنتاج الماء للكائنات الحية في هذه البحيرة يتطلب مراقبة منتظمة لمجتمعات البكتيريا الزرقاء والسموم الزرقاء.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا الزرقاء ، بحيرة أوبيرا ، الانتشار ، ميكروسيطين ، السيانوتوكسين.

N°	Titre	Page
01	Echelle des temps géologique et émergence des cyanobactéries	02
02	Structure d'une cellule de cyanobactérie	03
03	Morphologies des cyanobactéries	04
04	Cellules spécialisées chez Anabaena	05
05	Applications bioindustrielles des cyanobactéries	12
06	Structure et des nodularines et des microcystines	18
07	Structure chimique de la cylindrospermopsine	18
08	Structure chimique de l'ATX-a, de l'homoATX-a et de l'ATX-a(s)	19
09	Structure chimique de la saxitoxine	20
10	Structure chimique de la β -N-méthylamino-L-alanine	20
11	Structure chimique des lipopolysaccharides	21
12	Localisation du lac Oubeira	25

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Classification des cyanobactéries (<i>Lapage et al., 1992 ; Neill et al., 2006</i>).	06

Résumé en français	
Résumé en anglais	
Résumé en arabe	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Introduction	01
Chapitre I : Caractéristiques des cyanobactéries	
I .1.Histoire	02
I .2. Caractéristique générales des cyanobactéries.....	03
I. 3. Diversité morphologique	03
I.4.Classification	05
I.5. Photosynthèse.....	05
I.6. Écologie	06
I.7. Caractéristiques uniques des cyanobactéries.....	07
I.7.1. Température.....	07
I.7.2. Fixation de l'azote atmosphérique.....	07
I.7.3. Migrations verticale et horizontal.....	07
I.7.4. Dormance.....	08
I.7.5. Pigmentation.....	08
I .8. Paramètres influençant le développement des cyanobactéries.....	08
I.8.1. Lumière	08
I.8.2. Température.....	09
I.8.3. pH	09
I.8.4. Stabilité de la colonne d'eau.....	09
I.8.5. Dioxyde de carbone	10
I.8.6. Sels nutritifs	10
I.8.7. Apport des micronutriments	11
I.9. Intérêt des cyanobactéries.....	11

I.9.1. Métabolites secondaires	12
I.9.2. Production de bioplastiques	12
I.9.3. Production d'émulsifiants	13
I.9.4. Production de biofertilisants.....	13
I.9.5. Source d'alimentation humaine et animale	13
I.10. Etude des cyanobactéries	13
I.10.1. Méthodes d'identification.....	14
I.10.2. Méthodes de dénombrement.....	14
I.10.2.1. Chlorophylle.....	15
I.10.3. Analyse des cyanotoxines.....	15
I.10.3.1. Tests biologiques.....	15
I.10.3.2. Tests immun enzymatiques.....	15
I.10.3.3. Tests biochimiques	16

Chapitre II : Impacts écologiques des cyanobactéries

II.1. Toxines	17
II.1.1.Hepatotoxines.....	17
II.1.1.1. Nodularines et microcystines.....	17
II.1.1.2. Cylindrospermopsine.....	18
II.1.2. Neurotoxines	18
II.1.2.1. Anatoxines	19
II.1.2.2. Saxitoxine.....	19
II.1.2.3. β -N-méthylamino-L-alanine (BMAA)	20
II.1.3. Dermatoxines.....	20
II.2. Bloom.....	21
II.3. Eutrophisation.....	22
II.4.Impact sur la santé humaine.....	22
II.5.Impact sur la faune	22
II.6. Impact sur la flore.....	23

Chapitre III : Cyanobactéries du lac Oubeira

III.1.Présentation du lac Oubeira.....	25
III.2.Travaux déjà réalisé.....	26
Conclusion et perspectives.....	30
Références bibliographiques.....	31

Introduction

Au cours des derniers siècles, le développement de l'agriculture et la croissance des activités industrielles ont augmenté le rejet de nutriments dans l'environnement, ce qui a favorisé le développement des cyanobactéries dans les eaux douces (**Paerl et Huisman, 2009**). Ces proliférations peuvent avoir un impact majeur sur le fonctionnement des écosystèmes ainsi que sur la santé humaine et animale. L'intérêt porté pour les cyanobactéries s'est accru ces dernières années (**Silvano, 2005**), l'apparition des efflorescences à cyanobactéries posent de nombreux problèmes et ils semblent de plus en plus fréquents partout dans le monde, en liaison avec les activités anthropiques croissantes (**Pearl et al., 2014**). Les périodes de croissances excessives de cyanobactéries ont touché l'Amérique, l'Europe, l'Asie, l'Afrique, l'Australie et même en Antarctique (**Hawes et al., 1993**). En Afrique du Nord, le lac Oubeira est l'unique plan d'eau qui ne s'assèche jamais même après une longue période sécheresse. Cette singularité lui a donné des caractéristiques écologiques exceptionnelles (**Baba Ahmed, 2003**). Ce lac a reconnu une prolifération massive des cyanobactéries toxiques lors de l'année 2005 dont la concentration en microcystine était équivalente à 1,12 µg/L. Cet incident était accompagné avec la mort de 12 individus de tortues (**Nasri et al., 2008**). Les chercheurs ont recensé 16 genres dont 9 sont reconnus comme potentiellement toxiques (**Nasri, 1999; Menail, 2000; Amissi et Yahiaoui, 2001; Boulesnane et Chaibi, 2002; Mazbour, 2004**). Notre travail est une synthèse bibliographique des cyanobactéries du lac Oubeira, pour cela nous avons choisi de focaliser nos efforts sur trois principaux chapitres. Le premier chapitre abordera une caractérisation des cyanobactéries, le deuxième chapitre portera sur les impacts écologiques des cyanobactéries. Le dernier chapitre portera sur la signalisation de l'ensemble des travaux réalisés sur le lac Oubeira. Enfin ce manuscrit sera clôturé par une conclusion et des perspectives.

Chapitre I :

Caractéristiques

des cyanobactéries

I.1.Histoire

Les cyanobactéries sont les plus anciennes formes de vie connues à ce jour (Fig.1). D'un point de vue systématique, ils représentent un groupe évolutif monophylétique au sein des eubactéries (Wilmotte et Herdman, 2001). Les nombreuses phylogénies réalisées à l'aide de différents marqueurs montrent que ces organismes ont été un des premiers groupes à diverger au sein de la lignée bactérienne ancestrale (Blank, 2004). Ce groupe a en effet une origine très ancienne et serait apparu juste après les bactéries mésophiles réductrices de sulfates. Leur origine évolutive reste cependant sujette à controverse. Diverses études utilisant des traces fossiles proposent que les cyanobactéries soient apparues il y a 3,5 milliards d'années (Schoft, 1996). Une analyse plus récente, combinant la paléobiologie et des analyses phylogénétiques, daterait ce groupe plutôt de la fin de l'Archéen, il y a 2,7 milliards d'années (Blank et Sanchez-Baracaldo, 2010). Les cyanobactéries sont à l'origine de la photosynthèse oxygénique. Avant l'apparition des cyanobactéries, l'atmosphère terrestre était très pauvre en O₂ et riche en CO₂ et CH₄, de même la teneur en Fe²⁺ dans l'eau était très élevée. Ainsi, durant les premiers millions d'années de photosynthèse oxygénique, le dégagement de l'oxygène par les cyanobactéries entraîna l'oxydation du fer ferreux Fe²⁺ en fer ferrique et sa précipitation en hématite ou magnétite (Pittera, 2015).

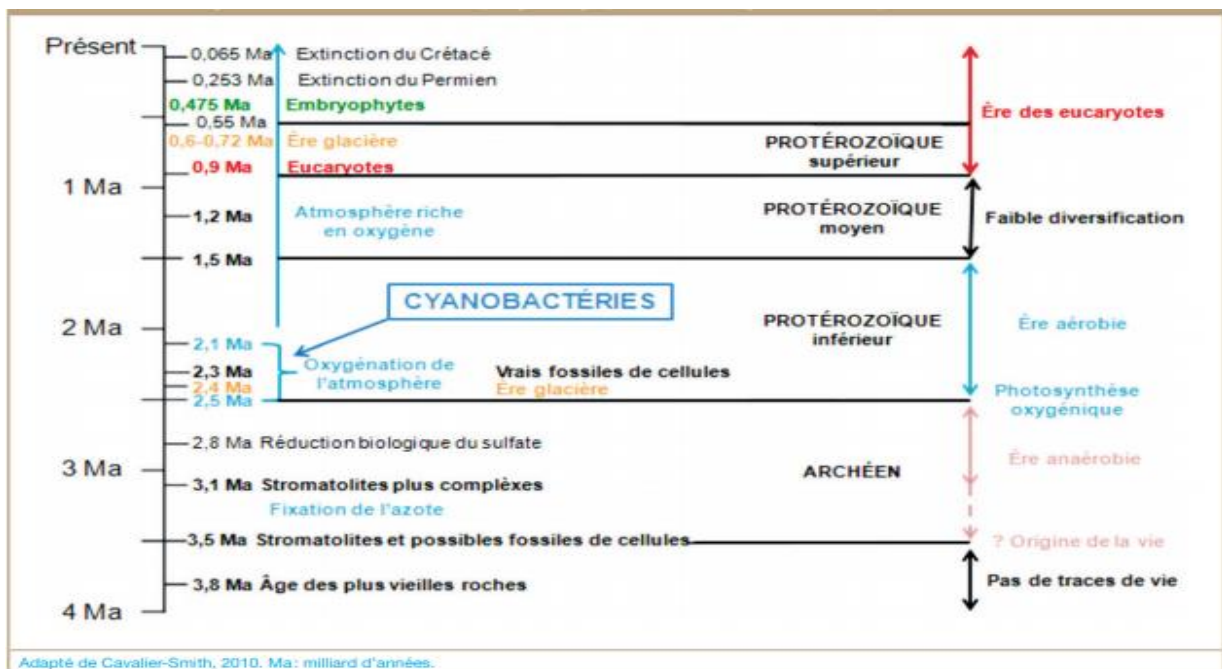


Figure 01 : Echelle des temps géologique et émergence des cyanobactérie (Cavalier, 2010).

I.2. Caractéristique générales des cyanobactéries

Dénommées également algues bleues (**Ozenda, 2000**), les cyanobactéries ne possèdent pas de noyau à membrane définie (**Fig.02**), ce sont des bactéries à Gram négatif, procaryotes (**Hoek et al., 1995**) dépourvues de flagelles. Les réserves sont constituées par du glycogène, de la cyanophycine et des gouttelettes lipidiques. La multiplication s'effectue principalement par division cellulaire et par fragmentation chez les formes filamenteuses (**De Reviere, 2003**). Les pigments présents dans la cellule sont nombreux, chlorophylle *a* et *c*, phycocyanine, phycoérythrine, et les pigments d'accompagnements β -carotène et des xanthophylles. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffusés dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène généralement bleu-vert (**Bourrelly, 1966**).

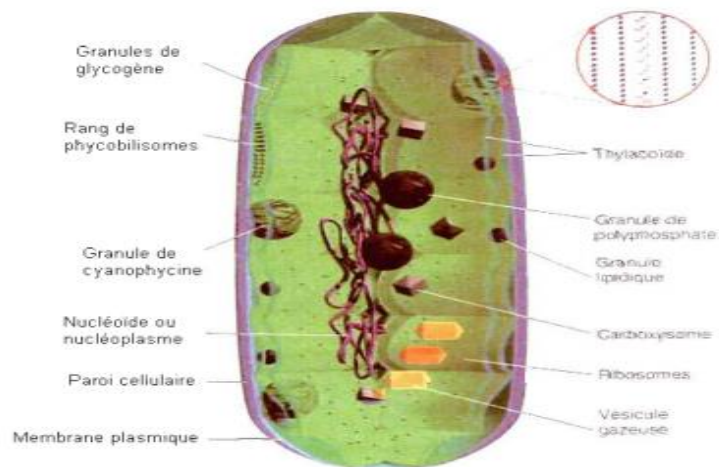


Figure 02: Structure d'une cellule de cyanobactérie(**Prescott et al., 2003**).

I.3. Diversité morphologique

Les cyanobactéries présentent une très grande diversité morphologique (**Bourrelly, 1985 ; Dawson,1998**), elles peuvent être (**Fig.3**) :

- Unicellulaires, vivant solitaires ou en colonies, elles peuvent être de forme sphérique ou ovoïde. Cet ensemble constitue l'ordre des *Chroococcales*.

- Organisées en trichomes qui correspondent à un enchainement de cellules sans gaine, cet ensemble constitue l'ordre des *Chamaesiphonales*.
- Organisées en filaments, quand le trichome est composé d'une série de cellules enveloppées d'une gaine. *Oscillatoria*, *Cylindrospermum* ou *Anabaena* sont des exemples de genres appartenant à ce groupe, appelé également ordre des hormogonales.



Figure 03 : Morphologies des cyanobactéries [1].

Trois types de cellules peuvent être rencontrés chez les cyanobactéries :

- Cellules végétatives constituent l'essentiel de l'individu, toutes identiques, les une aux autres à quelque exception près. Le contenu de ces cellules est de couleur très diverses, conséquence des teneurs en pigments photosynthétiques (**Leitao et Couté, 2005**).
- Hétérocystes sont faciles à reconnaître grâce à leur paroi épaisse et à leur contenu homogène faiblement coloré, leur rôle principal est d'assurer la fixation de l'azote atmosphérique, grâce à une enzyme nitrogénase. Les hétérocystes ne se produisent que chez les cyanobactéries hormogonales ex : *Nostoc*, *Anabaena* (**Couté et Bernard, 2001**).
- Akinètes sont des spores, des cellules de résistance destinées à assurer la survie de l'espèce au cours des périodes climatiques difficiles ou de catastrophes écologiques. Lorsque les conditions extérieures redeviennent favorable, ces cellules germent et donnent un nouvel individu. Les akinètes ne peuvent être observées que dans les

formes filamenteuses (ex : *Nostoc*, *Anabaena*, *Cylindrospermum*) et seulement lorsque les circonstances favorisent leur formation (Leitao et Couté, 2005).

- Pseudovacuoles sont des structures qu'ont un rôle fondamental dans la régulation de la flottabilité des colonies, avec un cycle se déroulant jour-nuit. Ainsi, le remplissage des pseudovacuoles avec du gaz entraîne une montée en surface le jour ou se déroule la photosynthèse (Leitae et Couté, 2005).

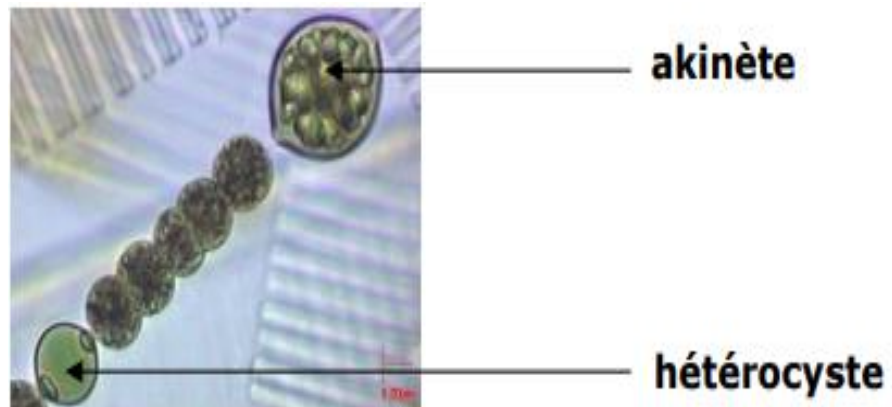


Figure 04 : Cellules spécialisées chez *Anabaena* [2].

I.4. Classification

La classification des cyanobactéries a été modifiée de nombreuses fois, elle 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). Le résumé de la classification est représenté dans le **tableau 01**.

I.5. Photosynthèse

Les cyanobactéries sont des organismes photosynthétiques, leur photosynthèse se déroule majoritairement en aérobie. Mais certaines cyanobactéries peuvent réaliser la photosynthèse en milieu anaérobie. La capture du flux lumineux nécessaire à la photosynthèse est assurée dans les thylacoïdes par la chlorophylle *a*, ainsi que la chlorophylle *b* et *d* et par les phycobiliprotéines, regroupées en agrégats au niveau de la membrane externe des thylacoïdes (Lee, 2008). L'équation est comme suit :

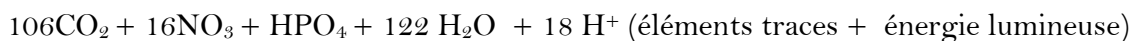


Tableau 01 : Classification des cyanobactéries (Lapage *et al.*, 1992 ; Neill *et al.*, 2006).

Classification bactériologique	Classification botanique
<p>Sous section I Unicellulaires ou coloniales, multiplication par fision binaire et /ou formation d'exospore.</p>	<p>Chroococcales Unicellulaires ou coloniales.</p>
<p>Sous section II Unicellulaires ou cloniales, multiplication par fissions multiples ou en combinaison par fission binaire .</p>	
<p>Sous section III Filamenteuses unisériées, non hétérocystées, sans ramification, à division cellulaire perpendiculaire à l'axe du trichome.</p>	<p>Oscillatoriales Filamenteuses unisériées, non hétérocystées.</p>
<p>Sous section IV Filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan.</p>	<p>Nostocales Filamenteuse, pas de ramification vraie, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes).</p>
<p>Sous section V Filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramification, à division cellulaire dans plusieurs plans.</p>	<p>Stigonematales Filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications.</p>

I.6. Écologie

On retrouve les cyanobactéries dans la plupart des environnements communs, en eaux douces, littoraux, mers et les sols humides (Reviers, 2003). Les cyanobactéries sont également capables de s'imposer au sein de milieux plus extrêmes (Castenholz, 2001). Des espèces comme *Mastocladus laminosus* ou *Phormidium laminosum* tolèrent des températures de 70 °C (Reviers, 2003), d'autres espèces ont été retrouvées sur des surfaces rocheuses de régions désertiques (Yeageret al., 2007). Les cyanobactéries sont également présentes dans certains lacs des régions polaires, notamment en Antarctique, où les températures sont très basses (Jungblut, 2005).

I.7. Caractéristiques des cyanobactéries

I.7.1. Température

Les cyanobactéries ont développé des optima de températures plus élevés que les autres groupes de microalgues (**Coles et Jones, 2000**). Les optima de température pour, *Aphanizomenon*, *Chroococcus*, *Cylindrospermopsis* et *Microcystis* sont entre 23- 35 °C (**Tsujimura et al., 2001**). Lorsque la température de l'eau dépasse 25 °C, les cyanobactéries sont généralement plus compétitives que les autres microalgues et croissent plus rapidement que ces dernières (**Wang et al., 2002**).

I.7.2. Fixation de l'azote atmosphérique

Afin de pouvoir s'adapter à une carence en azote (N), certaines espèces de cyanobactéries filamenteuses ont développé des hétérocystes. Ces cellules translucides contiennent de la nitrogénase, une enzyme capable de réduire l'azote atmosphérique (N₂) en azote ammoniacal (NH₃) directement assimilable par les cyanobactéries (**Tamagnini et al., 2002**). Les nitrates (NO₃⁻) et l'ammoniac (NH₄⁺) sont considérés comme les sources d'azote préférées des cyanobactéries. Ces formes d'azote sont directement assimilables par les cyanobactéries contrairement à l'azote atmosphérique qui doit être transformé pour être assimilable (**Böhme, 1998**). Lorsque les nitrates et l'ammoniac deviennent limitants dans leur milieu, les cyanobactéries se tournent vers l'azote atmosphérique comme source d'azote. Les cyanobactéries peuvent transformer entre 5 et 10 % de leurs cellules végétatives en hétérocystes afin de fixer l'azote atmosphérique (**Tamagnini et al., 2002**). Lors d'une carence en azote, cette adaptation morphologique leur procure un avantage substantiel par rapport aux autres espèces, car aucune cellule eucaryote ne peut fixer l'azote atmosphérique (**Kneip et al., 2007**).

I.7.3. Migrations verticale et horizontale

Certaines cyanobactéries sont capables de se déplacer dans la colonne d'eau par glissement (**Hoiczky, 2000**) et par rotation hélicoïdale des filaments tournant sur eux-mêmes. Certains genres comme *Microcystis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, possèdent des vésicules à gaz qui sont des structures cylindriques creuses remplies de gaz. Ces vésicules à gaz ont une densité huit fois inférieure à celle de l'eau. Elles confèrent ainsi 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 (**Rabouille *et al.*, 2003**).

I.7.4. Dormance

Lorsque les conditions du milieu ne sont plus favorables à leur prolifération, les cyanobactéries ont la capacité d'entrer en dormance en attendant un environnement meilleur. Cet état de dormance est possible grâce à la formation de spores ou akinètes (cellules aux parois épaisses contenant des réserves) ou à une modification des cellules végétatives (**Muret *et al.*, 1999**).

I.7.5. Pigmentation

Les cyanobactéries présentent une pigmentation diversifiée (**Bowker *et al.*, 2002**), ces pigments absorbent les photons dans des régions précises du spectre de la lumière. La combinaison de pigments dans une espèce détermine la partie du spectre de la lumière que peut utiliser cette espèce pour la photosynthèse (**Stomp *et al.*, 2004**). Les principaux pigments photosynthétiques présents dans les cyanobactéries sont la chlorophylle *a* ainsi que les phycobiliprotéines, phycoérythrine, phycocyanine, allophycocyanine (**Zilinskas *et al.*, 1978**).

I.8. Paramètres influençant le développement des cyanobactéries

Les cyanobactéries sont présentes et surplombent même les autres microorganismes, elles sont caractérisées par une croissance massive du printemps jusqu'au début de l'automne. La croissance des cyanobactéries dépend de plusieurs facteurs :

I.8.1. Lumière

La lumière sans doute est l'un des facteurs les plus importants pour la croissance des cyanobactéries (**Hill *et al.*, 2009**), ces derniers doivent faire face à des conditions lumineuses très changeantes en quantité et en qualité qui dépendent de la latitude, des saisons et de la climatologie (**Smith, 1982**). Ces micro-organismes croissent mieux en présence d'une lumière d'intensité modérée bien qu'ils puissent tolérer des niveaux faibles de lumière (**Carmichael *et al.*, 1990**), la forte luminosité d'été étant habituellement photo-inhibitrice. Les cyanobactéries sont capables de croître à de très faibles intensités lumineuses en raison de plus faibles exigences énergétiques des cellules (**Mur *et al.*, 1999**).

I.8.2. La Température

La température est au nombre des facteurs les plus importants qui permettent à une espèce donnée d'apparaître, d'atteindre un développement maximal, enfin de disparaître à des périodes de l'année bien déterminées (**Gayral, 1975**). Les cyanobactéries prolifèrent à une température, comprise entre 15°C et 30°C (**Carmichael *et al.*, 1990**), sachant que elles possèdent un optimum de croissance à des températures élevées autour de 25°C (**Robarts et Zohary, 1987**).

I.8.3. pH

L'augmentation de la biomasse des cyanobactéries est favorisée par des pH acides (**Tiffany, 1951**). Le pH et le carbone inorganique dissous évoluent lors des efflorescences de cyanobactéries, avec généralement de fortes valeurs de pH lors de leur croissance et donc des diminutions importantes en carbone inorganique dissous, généralement défavorables pour les autres communautés phytoplanctoniques (**Shapiro, 1997**).

I.8.4. Stabilité de la colonne d'eau

La dynamique des masses d'eau est un des paramètres ayant le plus d'influence sur la répartition spatiale (**Hedger *et al.*, 2004**), cette dynamique est influencée par les conditions climatiques et varie au cours de l'année avec une succession de brassages de la colonne d'eau en automne et au printemps, et de stratifications thermiques en hiver et en été. Cependant, seule la stratification thermique de l'été est favorable à la prolifération des cyanobactéries. Les conditions d'ensoleillement influencent rapidement la température de la couche d'eau superficielle contrairement aux masses d'eau situées plus en profondeur, du fait d'une forte inertie thermique et de l'absence de brassage. Il se crée alors une différence de densité entre ces masses d'eau liée à cette différence de température. Ces couches d'eau superposées ne se mélangent plus, créant une stratification thermique mais également chimique. Cette dernière est liée d'une part aux nutriments, qui se trouvent généralement à proximité des sédiments tandis qu'ils sont rapidement consommés en surface par les producteurs primaires, et d'autre part à l'oxygène apporté par les échanges à l'interface eau/air et produit par le phytoplancton qui se développe en surface, tandis qu'il est consommé en profondeur par les bactéries hétérotrophes. Les conditions climatiques et notamment le vent, les fortes pluies ou le rayonnement solaire sont susceptibles d'induire des mouvements de masses d'eau. Ces

mouvements vont modifier les échanges de nutriments entre la colonne d'eau et les sédiments par brassage des eaux (**Jensen et Andersen, 1992**).

I.8.5. Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est un facteur important pour la croissance et le métabolisme des cyanobactéries, c'est le substrat de la photosynthèse. Cependant, les microorganismes photosynthétiques n'ont pas la capacité d'assimiler le carbone sous forme gazeuse. Le CO₂ gazeux doit préalablement être transféré dans la phase liquide sous forme de carbone inorganique dissous pour ensuite être assimilé et ainsi biofixé. La dissolution du CO₂ gazeux dans l'eau va donner du CO₂ dissout qui peut interagir avec des molécules d'eau pour former de l'acide carbonique (H₂CO₃) qui va donner des ions bicarbonates (HCO₃⁻). Ce dernier, en fonction du pH peut se transformer en carbonates (CO₃⁻²). La dissociation de H₂CO₃ entraîne la libération de protons qui est responsable de l'acidification des océans (**Doney et al., 2009**).

I.8.6. Sels nutritifs

L'azote et le phosphore sont des éléments essentiels de croissance mais sont généralement limités dans l'eau (**Wetzel et Likens, 2000**). Fréquemment, les efflorescences de cyanobactéries sont liées à de fortes concentrations ponctuelles en phosphore et en azote. Les cyanobactéries peuvent se reproduire en abondance dans les plans d'eau, notamment s'ils sont surchargés de phosphore (**Chevalier et al., 2001**), sa présence sera déterminante quant à l'apparition de fleurs d'eau (**Kaebernick et Neilan, 2001**). De plus, la présence de phosphore est essentielle pour la croissance et la prolifération des cyanobactéries, 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. Les réserves internes en phosphore sont caractéristiques des cyanobactéries sous forme de polyphosphates (**Kromkamp, 1987**). Ainsi les cellules stockent du phosphore en conditions non limitantes (près des sédiments) et l'utilisent quand les conditions de lumière deviennent favorables. En réalité, la faible profondeur de la colonne d'eau, associée aux vents quasi-permanents qui règnent au niveau d'une retenue, favoriseraient largement la resuspension des sédiments fortement enrichis en phosphore (**Derraz, 1995**). La fixation d'azote atmosphérique moléculaire est l'apanage des cyanobactéries hétérocystées, la capacité de fixer l'azote atmosphérique leur confère un avantage lorsque l'azote inorganique devient l'élément limitant dans la colonne d'eau.

De plus les cyanobactéries ont une préférence pour l'azote sous forme d'ammonium (N-NH₄⁺) alors que le nitrate (N-NO₃⁻) est la forme préférentielle des cellules eucaryotes du phytoplancton (**Blomqvist *et al.*, 1994**). Les cyanobactéries peuvent utiliser des nitrates et certaines assimilent l'azote atmosphérique. Ils peuvent aussi se développer dans des eaux carencées en azote lorsque le rapport entre la concentration en azote et celle en phosphore devient inférieur à une valeur seuil de 4,5 (**Chorus, 1995**). La diminution sensible des nitrates dans les eaux de surface coïncide avec le développement des blooms à cyanobactérie alors que les faibles concentrations dans les eaux dues à leur réduction (**Derraz, 1995**). Certaines cyanobactéries peuvent aussi utiliser l'azote et le dioxyde de carbone (CO₂) atmosphériques lorsque les nitrates et le CO₂ dissous deviennent limitants (**Allard et Aubert, 1985**). Le rapport azote/phosphore dissout peut être déterminant pour certains auteurs (**Smith, 1983**), avec une prolifération des cyanobactéries quand le rapport est faible, inférieur à 29. D'autres auteurs estiment que la consommation forte d'azote lors des proliférations contribuerait à diminuer ce rapport, ainsi l'explication de ce faible rapport serait plus une conséquence qu'une cause de ces proliférations (**Lathrop, 1988**).

I.8.7. Apport des micronutriments

Outre le carbone, l'azote et le phosphore, les micronutriments tels que le fer (Fe), le cuivre (Cu), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le cobalt (Co), le potassium (K), le manganèse (Mn) sont aussi indispensables à la croissance. Le Fe, Mn, Co et Cu jouent un rôle dans des processus de la photosynthèse, la respiration, ainsi que la synthèse enzymatique (**Markou *et al.*, 2014**).

I.9. Intérêt des cyanobactéries

Longtemps considérées pour leur nuisance environnementale, les cyanobactéries suscitent aujourd'hui un intérêt dans les sphères biotechnologiques. Elles sont de bons candidats pour de nombreuses applications bio-industrielles grâce à leur capacité à réaliser la photosynthèse et les possibilités d'ingénierie génétique qu'elles offrent (**Ducat *et al.*, 2011**). Ce sont des organismes robustes, facilement cultivables, et qui contrairement aux eucaryotes, sont plus facilement modifiables d'un point de vue génétique. Elles peuvent convertir l'énergie solaire en biomasse avec une efficacité de 3- 9 % ce qui représente 6 à 12 fois l'efficacité des plantes terrestres (**Dismukes *et al.*, 2008**). De plus, les cyanobactéries sont capables de réaliser différents types de métabolisme et de

commuter d'un type à l'autre (Stal et Moezelaar, 1997). Les cyanobactéries étudiées à ce jour offrent déjà de nombreuses possibilités d'applications biotechnologiques (Fig.05).

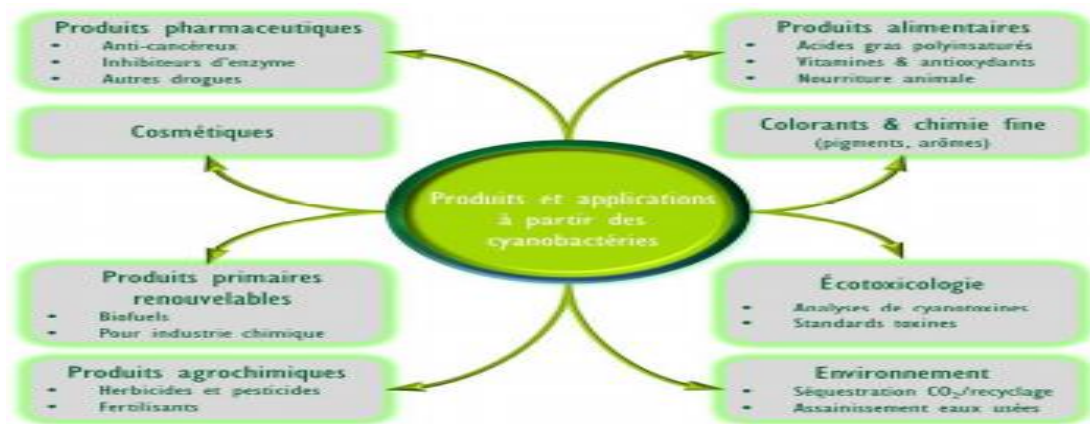


Figure 05 : Applications bioindustrielles des cyanobactéries (Cano,2013).

I.9.1. Métabolites secondaires

Les cyanobactéries peuvent synthétiser plusieurs composés bioactifs, des métabolites antibactériens (Jaki *et al.*, 2000), antifongiques (Kajiyama *et al.*, 1998), composés antiviraux (Patterson *et al.*, 1994), anticancéreux (Gerwick *et al.*, 1994), algicides (Papke *et al.*, 1997), antiplasmodiques (Papendorf *et al.*, 1998), agents immunosuppresseurs (Koehn *et al.*, 1992). Une grande variété de composés de chimie fine peut être obtenue : des vitamines, diverses enzymes et pigments (Lagarde *et al.*, 2000). En particulier, la phycocyanine trouve de nombreuses applications dans la biochimie et les composés pharmaceutiques par ses propriétés colorantes, fluorescentes et antioxydantes (Eriksen, 2008).

I.9.2. Production de bioplastiques

Les cyanobactéries sont capables d'accumuler des polyhydroxyalcanoates (PHAs) (Steinbüchel *et al.*, 1998) sous forme de granules afin d'éliminer un excès de composés réducteurs (Vincenzini *et al.*, 1990) dû au déséquilibre entre la formation d'ATP et de NADPH par la photosynthèse (De Philippis *et al.*, 1992). Les PHAs ont des propriétés semblables à celles du polypropylène, et sont biodégradables et biocompatibles (Anderson et Dawes, 1990). Ils représentent donc une alternative intéressante aux plastiques issus de la transformation du pétrole ou aux bioplastiques produits par des bactéries dépendantes de sources carbonées exogènes. S'affranchissant du besoin de terres

fertiles pour la culture de cyanobactéries, il est possible de produire des bioplastiques à partir du CO₂ atmosphérique, pour un bilan carbone à priori neutre (**Sudesh et al., 2002**).

I.9.3. Production d'émulsifiants

Certaines cyanobactéries (souvent halophiles) peuvent produire de grandes quantités d'exopolysaccharides, qui peuvent être utilisés comme émulsifiants ou colorants, à partir de espèce *Anabaena* (**Shah et al., 1999**).

I.9.4. Production de biofertilisants

Certaines cyanobactéries capables de fixer l'azote peuvent grandement participer à l'enrichissement des sols dans lesquels elles se trouvent (**Granhall et al., 1987**). Leur inoculation dans les sols de rizières est une technique déjà employée en Inde et au Japon (**Mishra et Pabbi, 2004**), et tout particulièrement la symbiose avec la fougère aquatique *Azolla* qui permet une fertilisation plus efficace (**Kaushik et Venkataraman, 1979**).

I.9.5. Source d'alimentation humaine et animale

Des souches de *Spirulina* est consommée comme nourriture dans de nombreux pays, tels que le Chili, le Mexique, le Pérou et la Philippine. L'espèce *Arthrospira platensis* est cultivée à grande échelle, au sein de bassins géants ouverts ou de bioréacteurs sophistiqués, et vendue sous forme de poudre, de tablettes et de capsules en tant que supplément alimentaire, communément appelée spiruline . Déjà consommée il y a 4 siècles, elle permet aujourd'hui de lutter contre la malnutrition, elle renferme plus de 60 % de protéines, elle est riche en bêta-carotènes, thiamines et riboflavines, et vitamine B12 (**Abed et al., 2009**).

I.10. Etude des cyanobactéries

Quelque soit l'analyse envisagée, qu'elle soit à but sanitaire ou médical, le prélèvement constitue l'acte premier et essentiel de la recherche. En effet, il va conditionner en grande partie le résultat car l'interprétation de ces résultats et fonction du mode du type et du lieu de prélèvement. En ce qui concerne la recherche des cyanobactéries et des cyanotoxines, il existe différents instruments de prélèvement (**Chorus et bartram, 1999**) :

- Tube de prélèvement intégrateur d'une tranche d'eau.
- Bouteille de prélèvement.
- Prélèvement par filet à plancton.

Il est important de faire des prélèvements en plusieurs points pour améliorer la représentativité du lieu de prélèvement des échantillons et permettre d'avoir plusieurs prélèvements à exploiter au laboratoire. Une description du site doit accompagner les prélèvements, car les données récoltées durant l'inspection permettent parfois d'aider à l'interprétation des résultats au laboratoire.

I.10.1. Méthodes d'identification

L'observation microscopique reste de loin la méthode la plus utilisée. Elle permet de distinguer la plupart des cyanobactéries à un grossissement compris entre 200 et 1000 x. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de méthode normalisée pour l'identification des cyanobactéries par microscopie. La détermination des genres est relativement simple mais celle des espèces, qui repose sur de nombreux critères morphologiques est beaucoup plus délicate à mettre en oeuvre. C'est pourtant la connaissance de l'espèce qui est la plus importante car d'une souche à une autre, la toxicité et donc la dangerosité peuvent varier. Afin de pallier à ce problème d'identification, d'autres méthodes basées sur la biologie moléculaire sont actuellement en développement, hybridation *in situ* directement dans la cellule bactérienne, amplification par PCR, utilisation de puces à ADN (**Fastner *et al.*, 2002**).

I.10.2. Méthodes de dénombrement

Le dénombrement est effectué à partir d'une observation microscopique et concerne les cellules isolées ou en colonies. Le résultat sera alors donné en nombre de colonies par ml ou nombre de cellules par ml. Un protocole de dénombrement est normalisé par le comité européen de normalisation, il s'agit d'un comptage par la technique de Utermöhl réalisé avec un microscope inversé et des cuves de sédimentation à fond transparent. Ce type de comptage présente l'avantage de pouvoir observer les espèces minoritaires et d'étudier les échantillons présentant un faible nombre d'individu. D'autres protocoles de comptage existent, notamment par microscopie directe sur des cellules de numération de Malassez. Ces méthodes évitent le temps d'attente la sédimentation de l'échantillon (**Fastner *et al.*, 2002**).

I.10.2.1. Chlorophylle

C'est fréquemment la chlorophylle A qui sert à la quantification de cyanobactéries, c'est une méthode simple, à la portée de nombreux laboratoires, mais qui est sujette à des interférences quand les cyanobactéries ne sont pas les populations majoritaires. La chlorophylle A peut alors provenir du phytoplancton présent dans le prélèvement. Cela peut alors porter à confusion (**Silvano , 2005**).

I.10.3. Analyse des cyanotoxines

Lorsque l'on a identifié les populations de cyanobactéries par diagnose au microscope, on peut se faire une idée plus précise de quelles toxines extraire, ainsi que la méthode à employer pour les extraire. Elle n'est pas indispensable si les cyanobactéries sont majoritaires dans le prélèvement, et si on désire une analyse toxicologique simple plutôt que l'identification précise d'une toxine (**Silvano , 2005**). Différentes méthodes de détection existent, selon le type de recherche que l'on souhaite effectuer.

I.10.4. Tests biologiques

Les tests biologiques sur animaux sont insuffisamment sensibles. Le test souris est le seul test reconnu à l'échelle internationale permettant de fournir une première information sur la présence de toxines dans l'eau de boisson. L'observation des symptômes chez l'animal intoxiqué permet parfois de déterminer le type de toxines (**Falconer, 1993**). Cependant, ce test n'est pas quantitatif et de moins en moins utilisable. D'autres bioessais utilisant des invertébrés pour la détection des microcystines tels que le test d'artémie (*Artemia salina*) ou celui de daphnies ont été développés (**Lahti et al., 1995**). Par ailleurs, la toxicité des extraits de cyanobactéries produisant des neurotoxines et des hépatotoxines peut être évaluée par des tests sur des cellules animales en culture (**Eriksson et al., 1990**).

I.10.5. Tests immunoenzymatiques

Des tests immunoenzymatiques (ELISA) permettant d'évaluer le contenu total en microcystines dans les échantillons, toutefois sans distinction possible entre les différentes variantes (**Chu et al., 1990**). Un kit sur plaque de 96 puits est aujourd'hui commercialisé, il permet de détecter de faibles concentrations en microcystines dans l'eau (**Rivasseau et al., 1999**).

I.10.6. Tests biochimiques

L'activité toxique majeure des microcystines et de la nodularine résulte d'un pouvoir inhibiteur sur des phosphatases déphosphorylant des protéines sur des sites sérine ou thréonine (**Mackintosh *et al.*, 1990**). Sur ce principe, une méthode sensible et rapide de détection de ces toxines a été mise au point. L'activité de la phosphatase a été mesurée soit par un test radiochimique (**Lambert *et al.*, 1994**), soit par un test colorimétrique. Cette dernière méthode est basée sur l'utilisation du para-nitrophénylphosphate (pNPP), composé incolore qui après déphosphorylation par diverses phosphatases, libère le para-nitrophénol, composé coloré absorbant à une longueur d'onde de $\lambda = 405 \text{ nm}$ (**Tubaro *et al.*, 1996**). Récemment, des substrats fluorescents ont été utilisés dans le but d'améliorer la sensibilité du test d'inhibition de la PP2A, permettant ainsi la détection de quantités très faibles en microcystines (**Fontaj *et Vieytes*, 1999**).

Chapitre II :
Impacts
écologiques des
cyanobactéries

Les proliférations de cyanobactéries perturbent non seulement le fonctionnement des écosystèmes aquatiques par la biomasse qu'elles génèrent mais elles présentent des risques sanitaires lorsqu'elles produisent des toxines.

II.1. Toxines

Les toxines de cyanobactéries ou cyanotoxines recouvrent une grande variété de structures chimiques et de mécanismes de toxicité (Sivonen , Jones, 1999). Les cyanotoxines sont des molécules intracellulaires, de structures variées. Elles sont synthétisées en phase de croissance et se retrouvent dans l'eau lors de la mort ou de la lyse cellulaire. Une même toxine peut être produite par des espèces différentes et une même espèce peut produire des toxines différentes (Duy *et al.*, 2000). De plus, la quantité de toxine produite est très variable au sein d'une espèce et dépend des conditions environnementales. En fonction de leur mode d'action et leur structure chimique, les cyanotoxines sont classées comme suit :

II.1.1. Hépatotoxines

Les hépatotoxines des cyanobactéries sont plus abondantes et peuvent être divisées en deux groupes. Les héptapeptides cycliques de faible poids moléculaire et les hépatotoxines de structure peptidique. C'est toxines agissent principalement sur le foie, mais d'autres organes peuvent également être atteints tels les intestins et les reins (Sivonen et Jones, 1999). Elles sont synthétisées entre autres par certaines espèces de *Microcystis*, *Nodularia*, *Anabaena* et *Planktothrix* (Van Apeldoorn *et al.*, 2007).

I.1.1.1. Nodularines et microcystines

Ce sont des peptides cycliques à sept acides aminés pour les microcystines et à cinq acides aminés pour les nodularines (Fig.6). Il existe de nombreux variants structuraux de ces molécules et l'on compte à l'heure actuelle neuf variants de la nodularine (Codd *et al.*,2005) et plus de 70 variants de microcystines (Sivonen et Jones, 1999). Ces toxines sont solubles dans l'eau et très stables, elles restent stables et résistantes à l'hydrolyse chimique ou à l'oxydation à pH neutre. Les microcystines et les nodularines restent actives après ébullition. Dans les échantillons naturels et à l'obscurité, les microcystines peuvent persister plusieurs mois voire des années (Sivonen et Jones, 1999). Les microcystines peuvent être oxydées par ozonation ou par des agents oxydants forts, ou dégradées par d'intenses radiations ultraviolettes (Sivonen et Jones, 1999).

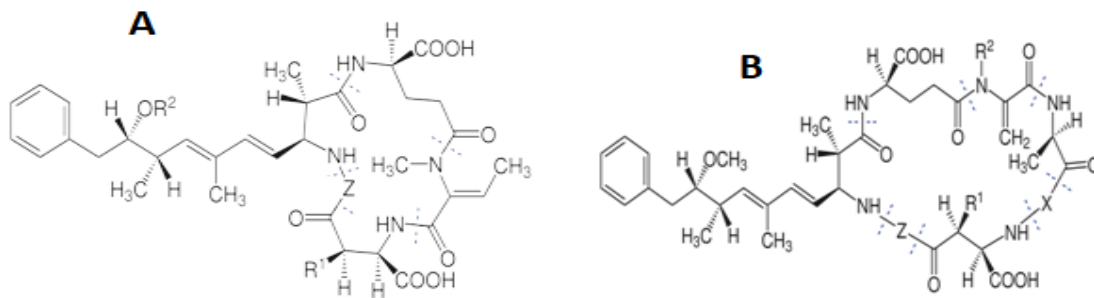


Figure 6 : Structure et des nodularines (A) et des microcystines (B)
(Funari et Testai, 2008).

I.1.1.2. Cylindrospermopsine

La cylindrospermopsine est un alcaloïde de 415 Da, possédant une unité guanidinetri-cyclique (Fig.7). C'est une molécule très soluble dans l'eau (Chiswell *et al.*,1999), et est peu stable. A ce jour, deux variants de la cylindrospermopsine sont répertoriés (Briand *et al.*, 2003). Les espèces actuellement connues comme productrices de cylindrospermopsine sont *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomeno novalisporum*, *Anabaena bergii* et *Raphidiopsis curvata*.

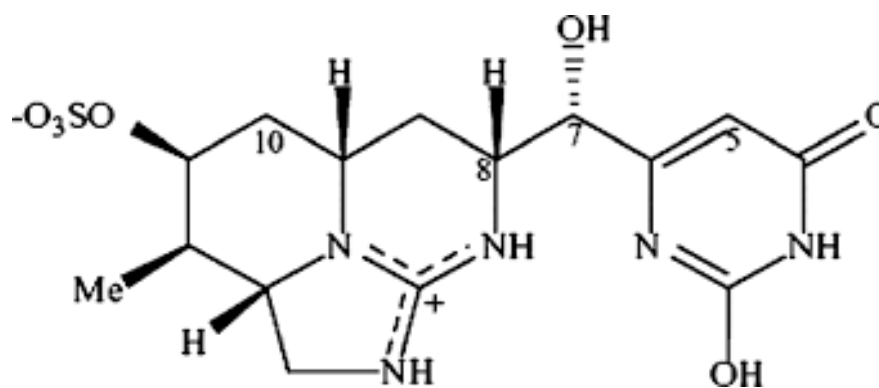


Figure 7 : Structure chimique de la cylindrospermopsine (Funari et Testai, 2008).

II.1.2. Neurotoxines

Les hépatotoxines sont les toxines les plus fréquemment rencontrées dans l'environnement mais le nombre de cyanobactéries neurotoxiques est en constante augmentation. Les neurotoxines des cyanobactéries sont classées en trois familles : les anatoxines (ATX), la saxitoxine (STX) et ses dérivés et la β -N-méthylamino-L-alanine (BMAA). Elles agissent toutes au niveau de la jonction neuro-musculaire mais sont

différentes aux niveaux de leur structure, mécanisme d'action et toxicité (Arash Zamyadi, 2014).

II.1.2.1. Anatoxines

Toutes les anatoxines (ATX) font partie de la famille des alcaloïdes (Fig.8), l'ATX-a est une amine secondaire bi-cyclique. Cette toxine soluble dans l'eau est un puissant agent de dépolarisation post synaptique qui agit en mimant l'effet de l'acétylcholine (Sivonen et Jones, 1999). L'ATX-a est relativement stable à la noirceur et se dégrade rapidement à la lumière du soleil lorsqu'elle est seule en solution. Sa dégradation est plus rapide en milieu alcalin (Stevens et Krieger, 1991). L'homo ATX-a est un homologue de l'ATX-a, où un groupement acétyle est substitué par un groupement propionyle (Svrcek et Smith, 2004). Le mécanisme d'action de cette molécule est le même que son homologue l'ATX-a. L'homoATX-a est légèrement moins toxique (Namikoshi *et al.*, 2003). L'ATX-a(s) est un ester phosphate d'une N-hydroxyguanidine de 252 Da. C'est un inhibiteur irréversible de l'acétylcholinestérase. Le (s) signifie facteur de salivation, car cette toxine engendre une hyper salivation. L'ATX-a (s) s'avère très toxique, soit environ dix fois plus que l'ATX-a. Elle est relativement stable en milieu acide ou neutre et devient instable en milieu alcalin ou à des températures élevées supérieures à 40 °C (Carmichael, 2001).

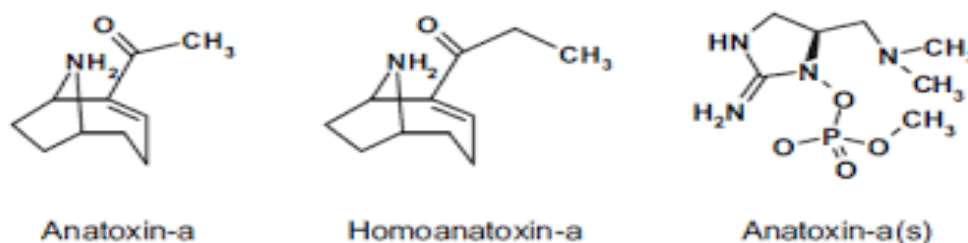


Figure 8: Structure chimique de l'ATX-a, de l'homoATX-a et de l'ATX-a(s) (Aráoz *et al.*, 2010).

II.1.2.2. Saxitoxine

La saxitoxine (STX) et ses dérivés ne sont pas produits exclusivement par les cyanobactéries. En effet, ce groupe de toxines est également produit par certaines espèces de dinoflagellés marins qui possèdent des paralytic shellfish poisons (PSP). 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). Les STXs et leurs dérivés sont des alcaloïdes avec un noyau tétrahydropurique (Fig.9).

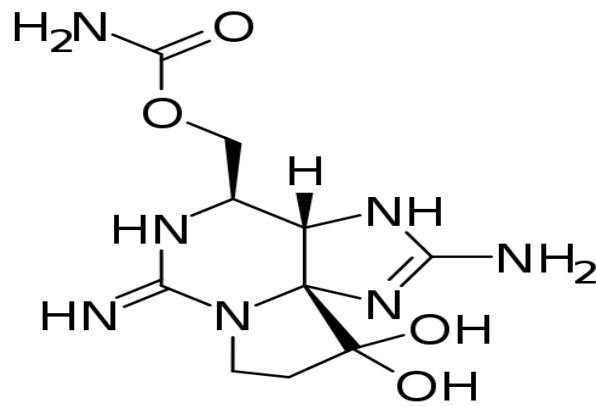


Figure 9 : Structure chimique de la saxitoxine (Aráoz *et al.*, 2010).

II.1.2.3. β -N-méthylamino-L-alanine

La β -N-méthylamino-L-alanine (BMAA) est un acide aminé qui n'est pas inclus dans la synthèse des protéines. Cette petite molécule hydrosoluble a une masse moléculaire de 118,13 Da (Fig.10). Elle existe sous deux formes différentes, soit libre ou liée à une protéine (Ince et Codd, 2005). La BMAA est un agoniste du glutamate qui se lie aux récepteurs glutamate (Banack *et al.*, 2007) et provoque ainsi l'excitation des neurones. Cette neurotoxine peut causer des dommages aux neurones moteurs à des très faibles concentrations (Lobner *et al.*, 2009).



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

II.1.3. Dermatoxines

Les dermatoxines sont des molécules qui ont des effets irritants (Fig.11), elles sont des lipopolysaccharides (LPS) et des alcaloïdes dermatotoxiques. Les LPS font partie intégrante de la paroi cellulaire des bactéries à Gram négatives. La structure générale des LPS est constituée de quatre parties, une protéine antigénique de type antigène O (région I), un noyau polysaccharidique (régions II et III) et une partie lipidique A (région IV) (Sivonenet

Jones, 1999). Il existe plusieurs variantes de LPS. Ceux-ci provoquent des irritations, des réactions allergiques et même des problèmes gastro-intestinaux. Ces effets n'ont jamais été reproduits expérimentalement et le mécanisme d'action précis des LPS des cyanobactéries n'est pas connu (**Funari et Testai, 2008**). Les dermatotoxiques comprennent trois toxines, l'aplysiatoxine, la débromoaplysiatoxine et la lyngbyatoxine. L'aplysiatoxine et la débromoaplysiatoxine sont des phénols bilactones. Elles sont de puissants agents inflammatoires et s'avèrent des promoteurs de tumeurs (**Sivonen et Jones, 1999**). La lyngbyatoxine 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 et Smith, 2004**).

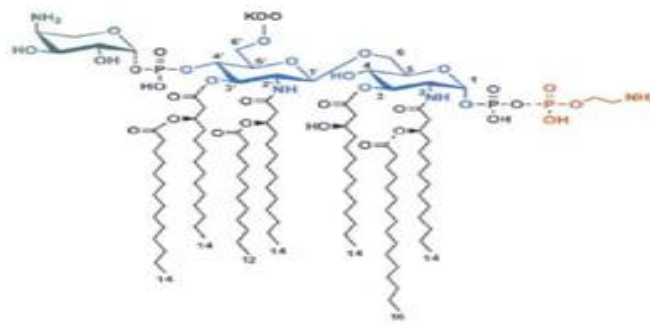


Figure 11 : Structure chimique des lipopolysaccharides (**Funari et Testai, 2008**).

II.2. Bloom

Bloom ou efflorescence, est une augmentation relativement rapide de la concentration d'une ou de plusieurs espèces de micro-algues ou de cyanobactéries. Cette prolifération se traduit généralement par une coloration de l'eau (bleu, rouge, brun, brun-jaune ou vert). Ces couleurs sont dues aux pigments photosynthétiques dominants des cellules algales (**Diersling et Nancy, 2012**). Le phénomène peut être naturel ou favorisé par la pollution terrigène (nitrates, phosphates). Dans ces derniers cas, des proliférations intenses et longues peuvent conduire à des zones mortes, en raison d'une consommation de la totalité de l'oxygène dissous ou d'émissions de toxines par certaines espèces de cyanobactéries. En général, seule une ou quelques espèces sont en cause. Dans un lac faiblement renouvelé même un apport limité de phosphate suffit à induire un bloom (**Hochanadel, 2010**). Les blooms n'ont cessé de croître au cours de ces dernières décennies. Leurs manifestations peuvent être nocives pour la faune ainsi que pour la santé humaine (**Elisa et Gisela, 2011**).

II.3. Eutrophisation

L'eutrophisation consiste en un enrichissement excessif des eaux peu profondes par des apports massifs de sels nutritifs (nitrates et phosphates) qui induisent la prolifération des plantes aquatiques. Cette biomasse en excédent fait chuter la teneur en oxygène. L'eutrophisation aboutit à terme à la disparition de la vie dans l'eau. Les manifestations les plus visibles en sont l'apparition au printemps et en été de marées vertes dans les eaux (**Xiao-e Yang *et al.*, 2008**). Ces manifestations correspondent à un déséquilibre écologique lié à des apports trop importants en phosphore et en azote. Ces apports entraînent une explosion du développement des végétaux aquatiques, appauvrissement de la biodiversité, nuisances visuelle et olfactive, gêne pour la baignade, difficultés dans le traitement de l'eau potable, dégagements gazeux, colonisation par des cyanobactéries productrices des toxines (**Jappesen, 2005**). L'eutrophisation peut être un phénomène naturel, qui s'étale alors sur plusieurs centaines à milliers d'années. Mais le plus généralement, le développement récent et important du phénomène est dû à une origine anthropique (**Jensen *et al.*, 2005**), par l'apport d'effluents domestiques, industriels et/ou agricoles (**Zhi-hua et Xue-liang, 2005**).

II.4. Impact sur la santé humaine

L'homme est exposé aux cyanotoxines qui contaminent aussi bien les eaux utilisées à des fins récréatives que dans les réservoirs d'eau potable. Le degré d'intoxication dépend de l'âge de la personne, de son sexe et de son état de santé, les enfants étant les plus sensibles. Plusieurs intoxications par des eaux provenant de différents plans d'eau, où des cyanobactéries s'étaient accumulées, ont été identifiées dans le monde. Les intoxications induites par les hépatotoxines cyanobactériennes sont plus fréquentes que celles engendrées par les neurotoxines (**Hitzfeld *et al.*, 2000**). L'exposition à des microcystines ou à la nodularine-R peut engendrer des symptômes d'intoxication humaine similaires et peut mener à de fortes concentrations de ces toxines, au coma et la mort par dommages sévères du foie (**Carmichael, 1997**). Il a été aussi démontré récemment chez l'homme que les microcystines et la nodularine-R affectent l'adhésion des leucocytes et portent atteinte aux réactions immunitaires (**Hernández *et al.*, 2000**).

II.5. Impact sur la faune

Les intoxications animales par des eaux contaminées avec des cyanobactéries toxiques ont fait l'objet de plusieurs études dans le monde, un nombre important d'empoisonnement est maintenant rapporté dans la littérature concernant les ovins et surtout les bovins (**Hayman, 1992**). Georges Francis, chimiste Australien, fut le premier en 1878, à impliquer les cyanobactéries dans le décès d'animaux d'élevages quand il rapporta la mort de bétail, moutons, chevaux et porcs qui avaient consommé de l'eau contenant une efflorescence hépatotoxique dans le lac Alexandrina, à Milang, dans le Sud de l'Australie (**Francis, 1878**), ces intoxications reportées sont dues probablement à la nodularine-R. Les cyanotoxines peuvent entraîner des symptômes de morbidité ou causer la mort de mammifères, d'oiseaux ou de poissons qui ingèrent une quantité suffisante de cellules toxiques ou de toxines extracellulaires (**Codd et al., 1992**). **Carmichael (1992)**, a rapporté la mortalité d'animaux ayant consommé de l'eau contenant de grands nombres ($>10^6$ /ml) de cellules cyanobactériennes. Les animaux incapables de sélectionner leur nourriture comme les oiseaux et les poissons sont directement affectés à la fois par les hépatotoxines et les neurotoxines (**Kaebnick et Neilan, 2001**). La principale voie d'exposition des animaux aux cyanotoxines est l'ingestion. La microcystine-LR et la nodularine-R sont véhiculées par le système de transport biliaire dans le foie essentiellement, mais aussi vers les reins et l'intestin (**Henriksen et al., 1997**). Aussi, l'intoxication des oiseaux d'eau dans le lac du Dannemark suite à un fort développement de l'espèce *Anabaena lemmermannii* développant ainsi une neurotoxicose. Une mortalité de flamants roses a été enregistrée au lac Bogoria à Kenya suite à une exposition à des neurotoxines et des hépatotoxines de type microcystine (**Krienitz et al., 2003**). Récemment, **Nasri et al. (2008)** ont rapporté la mortalité de deux espèces de tortues *Emysorbicularis* et *Mauremysleprosa* dans le lac Oubeïra en Algérie suite à une efflorescence de *Microcystis sp.*

II.6. Impact sur la flore

Quoique les végétaux soient un itinéraire significatif pour l'exposition aux toxines cyanobactériennes, ils suscitaient moins d'attention que les animaux (**Codd et al., 1997**). Les tissus végétaux peuvent être contaminés par les toxines intracellulaires si ces dernières sont dégagées lors de la lyse des cellules cyanobactériennes (**Codd et al., 1999**). Comme la plupart des organismes aquatiques, les plantes aquatiques sont aussi confrontées à l'exposition aux cyanotoxines, il a été remarqué que l'abondance et la diversité des macrophytes connaissent une nette réduction en présence de blooms de cyanobactéries

(Casanova *et al.*, 1999). Ceci a été expliqué par les changements dans les conditions environnementales liées à la prolifération massive des cyanobactéries (Romanowska-Duba et Tarczynska, 2002). Des travaux ont démontré que le facteur le plus déterminant durant l'apparition des cyanobactéries est la libération des cyanotoxines, qui peuvent persister même après le déclin du bloom. Cependant les études faisant références à la phytotoxicité des cyanobactéries en milieu aquatique sont encore à leur début. Ce n'est qu'en 1986 que Kirpenko a montré pour la première fois l'inhibition de la croissance des plantes aquatiques *Elodea sp.* et *Lemna sp.*, par les toxines isolées à partir d'un bloom naturel. Cette action allélopathique a été confirmée par Weiss *et al.* (2000) suite à la co-culture de la plante *Lemna minor* avec les cellules de *Microcystisa eruginosa*. Des travaux encore plus récents ont rapporté l'effet négatif des cyanotoxines sur la biologie et la physiologie (la croissance, la photosynthèse, l'accumulation des toxines, stress oxydatif,...etc.) de différentes espèces de la famille des Lemnacées (Jang *et al.*, 2007). Les microcystines sont aussi des inhibiteurs spécifiques des protéines phosphatases 1 et 2A qui jouent un rôle essentiel dans plusieurs processus physiologiques comme la production photosynthétique des glucides et le maintien de l'activité chlorophyllienne (Weiss *et al.*, 2000). L'effet métabolique des microcystines se manifeste aussi par un changement de l'activité de l'ARNase et de l'acide phosphatase ainsi que par une réduction dans la teneur en chlorophylle a et b chez la plante aquatique *Spirodella oligorrhiza* (Romanowska-Duda et Tarczyńska, 2002). Plusieurs études ont montré que la Microcystine-LR peut être accumulée par d'autres macrophytes aquatiques, particulièrement *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*, *Vesicularia dubyana*, et *Phragmites australis* (Pflugmacher *et al.*, 1998). Les macrophytes qui sont capables d'accumuler ces toxines, peuvent permettre leurs transfert dans le réseau trophique aussi bien aquatique que terrestre (Pflugmacher *et al.*, 1999).

Chapitre III :
Cyanobactéries du
lac Oubeira

III.1. Présentation du lac Oubeira

Le lac Oubeira est situé à une latitude de 36°50' Nord, une longitude de 08° 23' Est, et une altitude de 25 mètres avec une superficie de 23 km² (Marre, 1987). Il se situe à 3 km à l'Ouest de la ville d'El-Kala (Wilaya d'El-Tarf) Algérie, entre le lac Tonga et la lagune d'El- Mellah (Bensafia, 2005). C'est un lac endoréique d'eau douce (Fig.12) d'origine naturelle de forme subcirculaire, d'une superficie d'environ 2 200 hectares et d'une profondeur maximale de 4 mètre (Boumezbeur, 2002). 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 Demn et Errihane au Nord, oued Bou Merchen au Nord-Est et oued Degrah à l'Est (Messerer, 1999).

En Afrique du Nord, c'est l'unique plan d'eau de cette dimension que ne s'assèche jamais même après une longue période sécheresse. Cette singularité lui a donné les caractéristiques écologiques exceptionnelles (Baba Ahmed, 2003), il est d'un intérêt social et culturel de par la production halieutique, l'exploitation de l'eau pour l'agriculture autour du lac (il s'agit surtout de cultures spéculatives telles que la culture d'arachides consommatrice d'eau), la présence d'un site archéologique (Mégalithique) au Sud-est et la recherche scientifique (aspect paysager ouvert et présence de deux postes d'observation ornithologique (Messerer, 1999). 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).

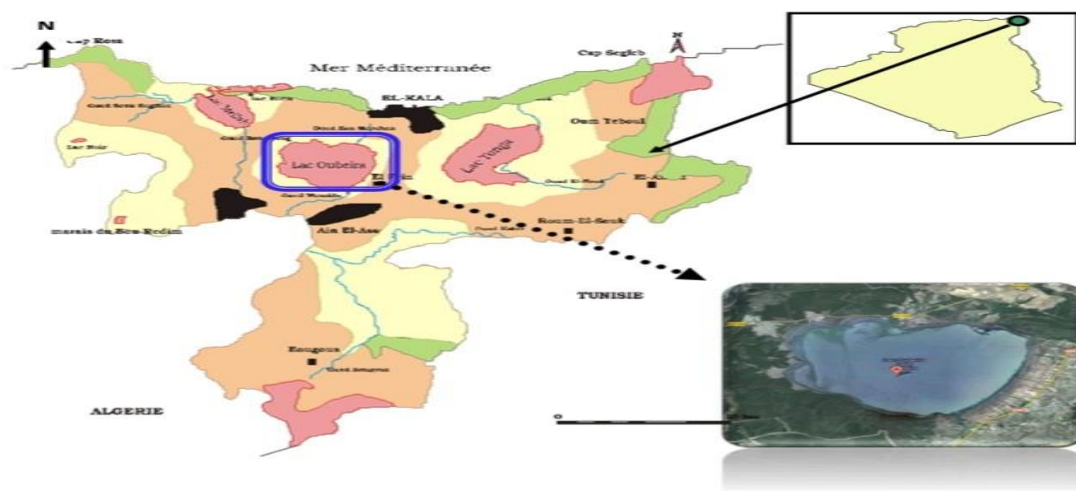


Figure12 : Localisation du lac Oubeira (Direction Général des Forêt, 2011).

III.2. Travaux déjà réalisé

Les proliférations de cyanobactéries potentiellement toxiques sont en augmentation dans le lac Oubeira et peut causer des problèmes majeurs. Plusieurs études ont été déjà réalisées par différents chercheurs.

En 2001, les travaux de **Souissi *et al.* (2004)**, ont permis d'identifier 11 genres. Certains genres se présentent sous forme de filamenteuse (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Pseudanabaena*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Phormidium*) et d'autres sous forme d'amas cellulaires (*Microcystis*, *Synechocystis*, *Gomphosphaeria*, *Merismopedia*). La majorité des genres, sont considérée comme potentiellement toxique. Ils sont au nombre de 9 : *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Pseudanabaena*, *Cylindrospermum*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Gomphosphaeria*, *Microcystis*, *Synechocystis*. Aussi en 2001, les travaux de **Nasri *et al.* (2004)**, ont permis identifié 10 genres *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Planktothrix*, *Lyngbya*, *Merismopedia*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Synechocystis*, *pseudonabaena* et *Gomphosphaeria*. Dont la majorité est toxiques, le genre *Microcystis* été prédominant.

En 2002, les travaux de **Bensouilah *et al.* (2003)**, ont permis d'identifié 11 genres dans le lac Oubeira, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Pseudanabaena*, *Cylindrospermum*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Merismopedia*, *Gomphosphaeria*, *Microcystis*, et *Synechocyst* sp. Avec une dominance de *Microcystis*. Les genres *Gomphosphaeria*, *Spirulina*, *Anabaenopsis* et *Chloroglae* sont des genres accessoires, 10 sont toxiques *Anabaena*, *Pseudoanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Synechocystis*, *Gomphosphaeria* et *Anabaenopsis*. Ils ont rapport aussi que le lac Oubeira présente des conditions plus favorables aux efflorescences des cyanobactéries.

En 2003, les travaux de **Chaibi *et al.* (2003)** ont identifier 11 genre, certains se présentent sous forme de trichome *Anabaena*, *Cylindrospermum*, *Pseudanabaena*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, et d'autres sous forme d'amas *Microcystis*, *Gomphosphaeria*, *Synechocystis* et *Merismopedia*. Parmi les quelles, 10 genres sont considérées toxiques *Anabaena*, *Pseudoanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Synechocystis*, *Gomphosphaeria* et *Anabaenopsis*.

En 2005, les travaux de **Bensafia (2005)**, ont permis d'identifier 16 genres. (*Anabaena*, *Pseudoanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Spirulina*, *Anabaenopsis*), dont 9 sous forme filamenteuse, et 7 sous forme d'amas cellulaire (*Microcystis*, *Synechocystis*, *Gomphosphaeria*, *Gloeocapsa*, *Merismopedia*, *Synechococcus*

et *Chroococcus*). Sur les 16 genres identifiés, 10 sont reconnus potentiellement toxiques : *Anabaena*, *Pseudoanabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Synechocystis*, *Gomphosphaeria* et *Anabaenopsis*. Aussi en 2005, les travaux de **Nasri et al., (2008)**, ont permis de signaler la prolifération d'une cyanobactérie toxique dominante du genre *Microcystis*. Ils ont identifié, 4 espèces toxiques, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis ichthyoblabe*, *Microcystis wesenbergii* et *Microcystis parasitica* qui ont été clairement distingués. De même, ils ont aussi rapporté que 12 tortues ont été mortes (8 individus de l'espèce *Mauremys leprosa* et 4 individus de l'espèce *Emys orbicularis*). Cela est causé par la présence d'une forte concentration de la toxine microcystine synthétisée par l'espèce *Microcystis sp.*

En 2007, les travaux de **Boussadia (2016)**, ont permis d'identifier 25 espèces de cyanobactéries appartenant respectivement aux ordres des *Chroococcales*, des *Oscillatoriales* et des *Nostocales*, de formes variables. Pour les formes unicellulaires, le genre *Microcystis*, il a été représenté par 6 espèces, *M. aeruginosa*, *M. viridis*, *M. flosoquae*, *M. viridis*, *M. wesenbergii* et *M. botrys*. Aussi, l'espèce *Woronichinia naegeliana*, *Chroococcus minutus*, *Aphanocapsa sp.*, *Merismopedia regularis*, *Gloeocapsa gelatinosa*, *Chlorogloea sp.*, et *Synechococcus sp.* Les formes filamenteuses ont été représentées par *Oscillatoria rubescens*, *Oscillatoria attenuata*, *Oscillatoria sp.*, *Lyngbya sp.*, *Pseudanabaena limnetica*, *Phormidium sp.*, *Arthrospira maxima*, *Spirulina sp.*, *Anabaena planctonica*, *Anabaena maxima*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon issatschenkoi*. Sur les espèces identifiées, 5 seulement ne sont pas dotées d'un pouvoir toxique connu : *Arthrospira maxima*, *Spirulina sp.*, *Merismopedia regularis*, *Gloeocapsa gelatinosa* et *Chlorogloea sp.*

En 2007, les travaux de **Amri et Branes (2008)** ; **Amri et al., (2010)** ont indiqué que le phytoplancton du lac Oubeira est dominé par les cyanobactéries qui représentent 51 % de la densité moyenne globale enregistrée. Ils ont identifié 13 genres, appartenant à *Chroococcus*, *Eucapsis*, *Gloeocapsa*, *Gomphosphaeria*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Nostoc*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, et *Phormidium*. À l'exception du genre *Spirulina*, toutes les espèces identifiées sont reconnues potentiellement toxiques et citées comme productrices de cyanotoxines de type hépatotoxine, cytotoxine, neurotoxine, et de dermatotoxine. Cette étude indique aussi que le lac Oubeira évolue vers un état d'hyper-eutrophie.

Aussi en 2007, les travaux de **Djabourabi (2014)**, ont identifié 14 genres de cyanobactéries dont 13 genres sont toxiques, appartenant aux genres *Chroococcus sp.*, *Merismopedia sp.*, *Microcystis sp.*, *Gomphosphaeria sp.*, *Synechococcus sp.*, *Nostoc sp.*, *Anabaena sp.*,

Aphanizomenon sp., *Lyngbya sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Phormidium sp.*, *Spirulina sp.*, et *Planktothrix sp.* Ils ont aussi rapporté, que les cyanobactéries sont fortement présentes en été et au printemps ou elles représentent 41 % de la densité globale du phytoplancton. Aussi, **Djabourabi et al., (2014)**, ont identifié 15 genre de cyanobactéries dont 14 genres toxiques appartenant à l'ordre des *Chroococcales* (*Chroococcus*, *Merismopedia*, *Microcystis* et *Gomphosphaeria*), des *Nostocales* (*Nostoc*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, et *Cylindrospermum*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena*, *Phormidium*, *Spirulina* et *Planktothrix*). De même en 2007, les études de **Sehili (2008)**, a identifié 15 genre de cyanobactéries dont 14 genres toxiques, appartenant à aux genres *Chroococcus*, *Merismopedia*, *Microcystis* et *Gomphosphaeria*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena*, *Phormidium*, *Spirulina* et *Planktothrix*. Ils ont aussi rapport que les cyanobactéries toxiques sont fortement présent en été et en printemps avec un taux de 38 et 24 %.

Aussi, **Branes et al., (2013)**, ont indiqué que le lac Oubeira est très favorable au développement et à la croissance des cyanobactéries. Ils ont identifié une dominance d'espèce *Aphanizomenon flos-aquae* dans le Nord et le centre du lac. Les espèces *Microcystis aeruginosa*, *Chroococcus turgid*, *Oscillatoria rubescens* et *Anabaenopsis elenkini* affichaient des densités similaires avec une légère dominance d'*Anabaenopsis elenkini*. La contribution des cyanobactéries semble sous la domination de *Microcystis aeruginosa* où sa biomasse est bien supérieure à celle des autres espèces.

En 2010, les travaux d'**Amrani (2015)**, ont indiqué la présence de dix genres de cyanobactéries. Sur les dix genres identifiés trois genres *Merismopedia*, *Synechocystis* et *Microcystis* sont de forme cellulaire et se présente en colonies. Par contre les genres : *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Anabaena*, *Pseudanabaena*, *Phormidium*, *Spirulina* et *Aphanizomenon* sont de formes filamenteuses, avec la prédominance du genre *Microcystis*. Cette résultats montrent aussi que les genres *Microcystis* et *Oscillatoria* représentent la quasi-totalité des cyanobactéries toxiques qui prolifèrent à la saison estival et automnal.

Aussi en 2010, **Abdi et al.,(2013)**, ont indiqué la présence des cyanobactéries durant toutes les saisons. Les espèces qui dominatrices étaient *Microcystis aeruginosa* (90%), *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaenopsis sp.* et *Chroococcus turgidis*. Ils ont identifié aussi la présence des *Oscillatoria rubescens*, *Anabaenopsis elenkini*. La majorité des genres sont toxiques : *Microcystis*, *Oscillatoria* et *Chroococcus*. La présence de cyanobactéries en quantité considérable était généralement accompagnée d'une augmentation de la biomasse, et donc

une production élevée de toxines de type hépatotoxine, cytotoxine, neurotoxine, et de dermatotoxine qui pourrait provoquer la mort des animaux (**Chorus et Bartamr, 1999**).

En 2013, les travaux de **Guellati (2018)**, ont permis d'identifier deux genres dominants avec une toxicité potentielle de cyanobactéries *Planktothrix rubescens* et *Microcystis sp.* Ils ont indiqué aussi un bloom de cyanobactéries. Cette approche présente une grande richesse en espèces (89 espèces) mais une très faible diversité en raison de la forte dominance de *Microcystis* dans cette communauté. De plus, il indique que *Planktothrix rubescens* et *Microcystis sp.* co-existaient mais proliféraient alternativement en printemps 2014/2015 pour *P. rubescens* et automne 2014/2015 pour *Microcystis*.

Conclusion et perspectives

La présence de cyanobactéries est signalée sur tous les continents, c'est une source de préoccupation croissante vis-à-vis des risques sanitaires associés pour l'Homme et l'animal. Il apparaît nécessaire de renforcer la diffusion de recommandations générales à destination du public, notamment pour les populations vivant à proximité des plans d'eau. Lorsque des cas apparaissent, le public doit être informé sur les risques associés à la consommation d'eau qui pourrait contenir de fortes densités de cyanobactéries et de toxines. Plusieurs études ont été déjà réalisées par différents chercheurs dans le lac Oubeira, ils ressortent que la majorité des cyanobactéries retrouvés sont potentiellement toxiques, ainsi que la prédominance du genre *Microcystis sp.*

En perspectives, il serait important de :

- ✓ Suivre le changement des paramètres physico-chimiques de l'eau.
- ✓ Dénombrement et identification des cyanobactéries.
- ✓ Dosage des toxines dans l'eau et dans les organismes peuplant ce plan d'eau.

Références Bibliographiques

- Abdi, A., Branes, Z., Ounissi, M., Amblard, C., 2013.** Dynamic densities and specific cyanobacteria biomass of Oubeira lake (National parc of El Kala, Algeria). *Eur. J. Sci Res.* 99 : 287-296.
- Abed, R.M.M., Dobretsov, S., Sudesh, K., 2009.** Applications of cyanobacteria in biotechnology. *J. Appl. Microbiol.* 106 : 1-12.
- Adams, D.G., Duggan, P.S., 2008.** Cyanobacteria-bryophyte symbioses. *J. Exp. Bot.* 59: 1047-58.
- Agence française de sécurité sanitaire des aliments.** Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau. Evaluation 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. Disponible sur : <http://www.affsa.fr>. Consulté le : 06/05/2021.
- Allard, D.L. Aubert, M., 1985.** Les matières organiques produites par l'eutrophisation en eau douce. Nature, effets, cas particulier des algues bleues. Rapport de synthèse. 46p. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Amissi, L., Yahiaoui, W., 2001.** Distribution spatio-temporelle des Cyanoprocaryotes recensés dans le lac Oubeira. Mémoire d'ingénieur d'état en aquaculture. Université Badji Mokhtar, Annaba Algérie. p.52. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Amrani, A., Nasri, H., Azzouz, A., 2014.** Impacts écologiques et sanitaires de la prolifération massive des cyanobactéries toxiques sur la faune piscicole et la production aquacole dans le lac Oubeira : Bioaccumulation des cyanotoxines dans les poissons et risques sanitaires associés. Thèse de doctorat. Option : toxicologie fondamentale appliquée. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.165. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Amri, S., Branes, Z., 2008.** Niveau trophique de deux plans d'eau douce du parc national d'El-Kala : lac Oubeira et la tourbière du lac Noir (Algérie). Mémoire de magister en microbiologie moléculaire. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Amri, S., Branes, Z., Oudra, B., 2010.** Inventaire des cyanobactéries potentiellement toxiques dans la tourbière du lac noir « parc national d'El-Kala » (Algérie). *Rev. Microbiol. Ind. Sani. Envir.* 4 : 49-68.
- An, A., Van Egmond, H.P., Speijers, G.J., Bakker, J.I., 2007.** Toxins of cyanobacteria. *Molecular Nutrition and Food Research.* 51:7-60

- Anderson, A.J, Dawes, E.A., 1990.** Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Microbiol. Rev.* 54: 450-472.
- Anderson, D.M., Glibert, P.M., Burkholder, J.M., 2002.** Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Est.* 25: 704-726.
- Aráoz, R., Molgó, J., 2010.** Neurotoxic cyanobacterial toxins. *Toxicon.* 5 : 813-828 .
- Arash Z., 2014.** Emerging toxic cyanobacterial issues in freshwater sources : influence of climate change. *In: Botana, L.M.(Eds). Seafood and Freshwater Toxins.* Edition CRC Press. Santiago. pp.105-120.
- Baba Ahmed, F., 2003.** Evaluation de la contamination fécale de trois plans d'eau du complexe des zones humides d'El Kala (Oubeira, Mellah, Tonga). Thèse de Magister, Université de Badji Mokhtar. Algérie. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Banack, S.A., Johnson, H.E., Cheng, R., Cox, P.A., 2007.** Production of the Neurotoxin BMAA by a Marine *Cyanobacterium*. *Mar. Drugs.* 5:180-196.
- Bartram, J., Carmichael, W.W., Chorus, I., Jones, G., Skulberg, O.M., 1999.** Introduction. *In: Toxic cyanobacteria in water.* Chorus, I., Bartram, J. (Eds.). Edition World Health Organization. London and New-York. pp. 5-7.
- Béllem, F., Nunes, S., Morais, M., 2013.** *Cyanobacteria* toxicity: potential public health impact in south Portugal populations. *J.Toxicol. Envir. Health.* 76: 263-271.
- Bensafia, N., 2005.** Les peuplements de cyanobactéries de deux plans d'eau (lac Tonga, lac Oubeira) : Inventaire et dynamique spatiotemporelle. Mémoire de magister, Option : Sciences de la Mer. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.136. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Bensouilah, M., Chaibi, R., Bouallag, C., 2003.** Production aquacole et peuplement en cyanophycées d'un plan d'eau douce (lac oubeira) et d'un plan d'eau saumâtre (lac El-Mellah) de la région extrême nord-est Algérienne. Actes du colloque des 6èmes journées de l'A.T.S. Mer, Tunisie. pp 20-25.
- Berdalet, E., Llaveria, G., Artigas, M.L., Quesada, R., Piera, J., Estrada, M., 2011.** Global ecology and oceanography of harmful algal blooms (GEOHAB). Modelling Workshop report. Ireland. p.67.
- Blank, C., Sanchez-Baracaldo, P., 2010.** Timing of morphological and ecological innovation in the cyanobacteria—a key to biochimica et biophysica acta (BBA). *Bioener.*1837 : 470-480.

- Blank, C.E., 2004.** Evolutionary timing of the origins of mesophilic sulphate reduction and oxygenic photosynthesis : a phylogenomic dating approach. *Geobiol.* 2 : 1-20.
- Blomqvist, P., Pettersson, A., Hyenstrand, P., 1994.** Ammonium-nitrogen : A key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems. *Arch. Hydrobiol.* 132 : 141-164.
- Böhme, H., 1998.** Regulation of nitrogen fixation in heterocyst-forming cyanobacteria. *Tren. Plant Sci.* 3 : 346-351.
- Botes, D.P., Tuinman, A. A., Wessels, P.L., Viljoen, C. C., Kruger, H., Williams, D. H., Santikarn, S., Smith, R. J., Hammond, S. J., 1984.** The structure of cyanoginosin-LA, a cyclic heptapeptide toxin from the *cyanobacterium Microcystis aeruginosa*. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I* : 2311-2318.
- Bouaicha, N., Rivasseau, C., Hemion, M.C., Sandra, P., 1996.** Detection of cyanobacterial toxins (microcystins) in cells extracts by micellar electrikinetic chromatography, *J. Chromato.* 685 : 53-65.
- Boulesnane, N., Chaibi, C., 2002.** Les cyanobactéries dans un plan d'eau douce : le lac Oubeira, inventaire et dynamique. *Memoire d'ingénieur en aquaculture. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie.* p.54.
- Boumezbeur, A., 2002.** Atlas: des 26 zones humides Algériennes d'importance internationale 2002. 3^{ème} Edition. Annaba. p.120.
- Bourelly, P., 1966.** Les algues d'eau douces, Algues Vertes. Édition Boubée et Cie. Paris. p.511.
- Bourelly, P., 1985.** Les algues d'eau douce. Vol III. Les algues bleues et rouges. Boubée. Eds, Paris. p.500.
- Boussadia, M. I., Sehili, N., Bousbia, A., Ouzrout, R., Bensouilah, M., 2016.** The effect of environmental factors on cyanobacteria abundance in Oubieralake (North-east Algeria). *Res. J. Fisheries Hydrobiol.* 10 : 157- 168.
- Bowker, M.A., Reed, S.C., Belnap, J., Phillips, S.L., 2002.** Temporal variation in community composition, pigmentation, and fv/fm desert *Cyanobacterial* Soil Crusts. *Microbial. Ecol.* 43 : 13-25.
- Branes, Z., Abdi, A., Makhlof, O., Amblard, C., 2013.** Dynamic densities and specific cyanobacteria biomass of Oubeira Lake (National Parc of Elkala, Algeria). *Envir. Res. J.* 7: 9-14.

- Briand, E., Yéprémian, C., Humbert, J.F., Quiblier, C., 2008.** Competition between microcystin and non microcystin producing *Planktothrix agardhii* (Cyanobacteria) strains under different environmental conditions. *Envir. Microbiol.*10 : 3187-3426.
- Campo, F.F., Oudra, B., Vasconcelos, V., 2007.** Phytotoxic effects of cyanobacteria extract on the aquatic plant Lemnagibba: Microcystin accumulation, detoxication and oxidative stress induction. *Aqua.Toxicol.* 83: 284-294.
- Cano, M., 2013.** Bioproduction d'hydrogène par la cyanobactérie *Synechocystis* sp. PCC 6803. Thèse de doctorat. Option : Microbiologie/Biologie végétale. Université Aix-Marseille II. France. p.246. Disponible sur : www.theses.fr.
- Carmichael, W. W., Mahmood, N. A., Hyde, E.G., 1990.** Natural toxins from cyanobacteria (blue-dreen algae) In marine toxins : origin, structure and molecular pharmacology. *In* : Sherwood, H., Strichagtz, G.,(Eds)acs symposium, série 418, american chemical society. Washington. pp.87-106.
- Carmichael, W.W., 1992.** Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins. *J. App. Bacteriol.*72: 460-466.
- Carmichael, W.W., 1997.** From satellite to genes: an integrative approach for timely monitoring of harmful *Cyanobacteria* in Lake Erie Beach Water. *Adv. Bot. Res.* 27: 211-256.
- Carmichael, W.W., 2011.** The cyanotoxins. *In* : Callow, J., (Eds), Classic Papers. Edition Advances in Botanical Research. London.pp. 211-225.
- Castenholz, R. W., 2001.** Phylum BX. cyanobacteria. oxygenic photosynthetic bacteria. *In* : Bergey's manual of systematic bacteriology. Volume 1: The Archaea and the Deeply Branching and Phototropic Bacteria. Garrity, G., Boone, D.R., Castenholz, R.W. (eds.). Springer-Verlag, New York.
- Cavalier-Smith, T., 2010 .** Origin of the cell nucleus, mitosis and sex: roles of intracellular coevolution. Springer. 7: 17-54.
- Chaibi, R., Bouallag, C., Matmed, A., Kouachi, N., Bensouilah, M., 2003.** Inventaire et distribution temporelle des cyanophycées peuplant deux plans d'eau douce : les lacs Oubeira et Tonga (Parc National d'El-Kala). Actes du colloque de la 6^{ème} journée de l'A.T.S. Mer. Tunisie. p.13-16.
- Chevalier, P., Pilote, R., Leclerc, J.M., 2001.** Risque à la santé publique découlant de la présence de cyanobactéries (algues bleues) toxiques et de microcystines dans trois bassins versants du Sud-Ouest québécois tributaires du fleuve Saint-Laurent, Unité

de recherche en santé publique (centre hospitalier de l'Université Laval) et Institut national de santé publique, p.151.

- Chiswell, R.K., Davis, B.C., Neville, G.R., Seawright, A.A., Michael, R., 1999.** Use of HPLC/MS to monitor cylindrospermopsin, a blue-green algal toxin, for public health purposes. *Envir.Toxicol.* 14 :151-154.
- Chorus, I., 1995.** Problems caused by algal metabolites- off- flavours, toxin and allergen: how can restoration of eutrophic waters remedy them. In abstracts of the symposium eutrophication, causes, consequences and remediation, Porto. 21-23 :14- 16.
- Chorus, I., Bartram, J., 1999.** Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. E and FN Spon, Londres. p. 388.
- Chu, F.S., Huang, X., We, R.D., 1990.** Enzyme-linked immunosorbent assay for microcystins in blue-green algal blooms. *J. Assoc. Analyst. Chem.* 22 : 451-456.
- Codd, G.A., Bell, S.G., Kaya, K., Ward, C.J., Beattie, K.A., Metcalf, J.S., 1999.** Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health. *Eur. J. Phycol.* 34 : 405-415
- Coles, J.F., Jones, R.C., 2000.** Effect of temperature on photosynthesis-light response and growth of four phytoplankton species isolated from a tidal freshwater river. *J. Phycol.* 36 :7-16
- Couté, A., Bernard, C., 2001.** Les cyanobactéries toxiques. In toxines d'algues dans l'alimentation édité par Frémy J.M., Lassus P. Plouzané. Editions ifremer. p.213.
- De Philippis, R., Ena, A., Guastiini, M., Sili, C., Vincenzini, M., 1992.** Factors affecting poly- β hydroxybutyrate accumulation in cyanobacteria and in purple non-sulfur bacteria. *FEMS Microbiol. Lett.* 103: 187-194.
- De Reviere, R., 2003.** Biologie et phylogénie des algues. Belin. Paris. Collection Sup Sciences .Tome 2. p.255.
- Derraz, M., 1995.** Étude de l'Autorisation de dollars une de barrage El-Kensera. Caractéristique physico-chimiques, biodisponibilité du phosphate segmentaire ecophysiologie de *Microcystis* est relation des Blue de avec les paramètres environnementaux. Thèse de doctorat, option : Sciences biologiques et fondamentales appliquées. Université Moulay Ismail de Meknés. Maroc. p.120. Disponible : www.toubkal.imist.ma.
- Diersing, N., 2009.** Phytoplankton Blooms: The Basics. Florida Keys National Marine Sanctuary, Key West Florida, USA. Disponible sur : www.floridakeys.noaa.gov.

- Dillon, J.G., Miller, S., Bebout B, Hullar, M., Pinel, N., Stahl, D.A., 2009.** Spatial and temporal variability in a stratified hypersaline microbial mat community. *FEMS Microbiol. Ecol.* 68 :46-58.
- Dismukes, G.C., Carrieri, D., Bennette, N., Ananyev, G, M., Posewitz, M.C., 2008.** Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Curr. Opin. Biotechnol.* 19: 235–240.
- Djabourabi, A., 2014.** Impact de facteurs environnementaux et de microalgues toxiques sur certains organismes aquatiques (bivalves).Thèse de Doctorat, option : Sciences de la Mer.Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.210. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Djabourabi, A., Sehil, N., Boussadia, M., Samar, F., Bensouilah, M., 2014.** Fluctuations des paramètres physico chimiques et des communautés phytoplanctoniques dans le lac Oubeira (Nord- Est Algérien). *Eur. J. Scientific Res.* 118 : 183-196.
- Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R, A., Kleypas, J, A ., 2009.** Ocean acidification : the other CO₂ problem. *An. Rev. Mar. Sci.* 1:169 192.
- Ducat, D.C., Sachdeva, G., Silver, P.A., 2011.** Rewiring hydrogenase-dependent redox circuits in cyanobacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108: 3941–3946.
- 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. *Envir. Cont. Toxicol.*163:113-186.
- Eriksen, N., 2008.** Production of phycocyanina pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 80: 1–14.
- Eriksson, I.E., Toivela, D., Meriluto, J.A.O., Karaki, H., Han, Y.G., Harstshorne, D., 1999.**Hepatocyte deformation induced by cyanobacterial toxins reflects inhibition of protein phosphatases. *Biochem. Biophys. Res. Com.* 173 :1347-1353.
- Falconer, I.R., 1995.** Measurement of toxins from bluegreen algae in water and foodstuffs. In: Falconer I.R. (Ed.). *Algal toxins in seafood and drinking water*, Academic Press, London. p.165.
- Falconer, I.R., 2001.** Toxic cyanobacteria bloom problems in Australian waters: risks and impacts on human health. *Phycol.* 40 : 228-233.
- Falconer, I.R., Burch, M.D., Steffensen, D.A., Choice, M., Coverdale, O.R., 1994.** Toxicity of the blue-green alga (cyanobacterium) *Microcystis aeruginosa* in drinking water to growing pigs, as an animal model for human injury and risk assessment. *Envir.Toxicol. Water Qual.* 9 :131-139.

- Farahbakhsh, K., Svrcek, C., Guest, R.K., Smith, W., 2004.** A review of the impact of chemical pretreatment on low-pressure water treatment membranes. *J. Envir. Eng. Sci.* 3 : 237–253.
- Farrer,D., Counter,M., Hillwig,R., Cude, C., 2015.** Health-based cyanotoxin guideline values allow for cyanotoxin-based monitoring and efficient public health response to *Cyanobacterial* blooms. *Toxins.* 2: 457-477.
- Fastner, J., Codd, G., Etcalf, J., 2002.** Analytical and Bioanalytical Chemistry., An international intercomparison exercise for the determination of purified microcystin –LR and microcystin in cyanobacterial field material. *Anal. Bioanal. Chem.* 374 : 437-444.
- Fontal, O.L., Vieytes, M.R., Baptista de Sousa, J.M.V., Louzao, M.C, Botana, L.M., 1999.** Fluorescent microplate assay for microcystin-LR. *Anal. Biochem.* 269 : 289-296.
- Francis, G., 1878.** Poisonous Australian lake. *Nature.* 18:11-12.
- Funari, E., Testai, E., 2008.** Cyanotoxins producing organisms, occurrence, toxicity, mechanism of action and human health toxicological risk evaluation. *Cri. Rev. Toxicol.* 38:97–125.
- Gayral, P., 1975.** Les algues : morphologies, cytologie, reproduction. Edition : DOIN. Paris. p.250.
- Gerwick, W., Roberts, M., Proteau, P., Chen, J.L., 1994.** Screening cultured marine microalgae for anticancer-type activity. *J. Appl. Phycol.* 6: 143-149.
- Gilles, B., 2011.** Eutrophication modelling chain for improved management strategies to prevent algal blooms in the Bay of Seine. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 543 : 107-125.
- Granhall, U., Kulassoriya, SA., Hirimburegama, W.K., Silva, R.S.Y., Lindberg, T., 1987.** Nitrogen fixation in some rice soils in Sri Lanka. *MIRCEN J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 3: 367–388
- Guellati, F., 2018.** Diversité dynamique spatiotemporelle et toxicité potentielle des cyanobactéries dans deux plans d'eau (Reservoir Hammam Debagh et lac oubeira). These de doctorat, option : Gestion intégrée des zones côtières. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.165. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Hawes, I., Howard-Williams, C., Pridmore, R. D. ,1993.** Environmental control of microbial biomass in the ponds of the mcmurdo ice shelf, Antarctica. *Archi. Hydrobiol.* 127 : 271 - 287.
- Hayman, J., 1992.** Beyond the Barcoo – probable human tropical cyanobacterial poisoning in outback Australia. *Med. J. Aus.*157: 794-796.

- Hedger, R., Olsen, N., George, D., Malthus, T., Atkinson, P., 2004.** Modelling spatial distributions of *Ceratiumhi rundnella* and *Microcystis spp.* In a small productive British lake. *Hydrobiol.* 528 : 217–227.
- Henriksen, P., Carmichael, W.W., Moestrup, O., 1997.** Detection of an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in natural blooms and cultures of cyanobacteria/blue-green algae from danish lakes and in the stomach contents of poisoned birds. *Toxicon.* 35: 901-913.
- Hernandez, M., Macia, M., Padilla, C., Del Campo, F.F., 2000.** Modulation of human polymorphonuclear leukocyte adherence by cyanopeptide toxins. *Envir. Res.* .84 : 64-68.
- Hill, W.R., Fanta, S.E., Robert, B.J., 2009.** Quantifying phosphorus and light effects in stream algae. *Limnol. Oceanog.* 54 : 368 380.
- Hitzfeld, B.C., Hoger, S.J., Dietrich, D.R., 2000.** *Cyanobacterial* toxins: removal during drinking water treatment, and human risk assessment. *Envir. Health Pers.* 108:113-22.
- Hochanadel, C.J., Binding, C.E., Greenberg, T.A., Bukata, R.P., 2010.** An analysis of MODIS-derived algal and mineral turbidity in Lake Erie. *Great Lak. Res.* 38 : 107-116.
- Hoek, C.V.D., Mann, D.G., Jahns, H.M., 1995.** *Algae : An Introduction to phycology.* Cambridge University Press. Cambridge. p.623.
- Hoiczuk, E., 2000.** Gliding motility in cyanobacteria: observations and possible explanations. *Arch. Microbiol.* 174 :11-17.
- Ince, P.G., Codd, G.A., 2005.** Return of the cycad hypothesis- does the amyotrophic lateral sclerosis/parkinsonism dementia complex (ALS/PDC) of Guam have new implication for global health. *Pathological. Soci.* 31 : 345-353.
- Jaki, B., Heilmann, J., Sticher, O., 2000.** New antibacterial metabolites from the cyanobacterium *Nostoc commune* (EAWAG 122b). *J. Nat. Prod.* 63: 1283–1285.
- Jensen, H.S., Andersen, F.O., 1992.** Importance of temperature, nitrate, and pH for phosphate release from aerobic sediments of four shallow, eutrophic lakes. *Limnol. Ocean.* 37 : 577–589.
- Jeppesen, E., Jensen, J.P., Sondergaard, M., Lauridsen, T.L., 2005,** *Freshwater Biology : Eutrophication and restoration in temperate lakes* *Freshwater. Earth Envir. Sci.* 50 : 1616-1627.

- Jones, G.J., Orr .P.T., 1994.** Release and degradation of microcystin following algicide treatment of microcystic aeruginosa bloom in a recreational lake, as determined by HPLC and protein phosphatase inhibition assay. *Water Res.* 28 : 871-876 .
- Kaebernick, M., Neilan, B.A., 2001.** Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microbiol. Ecol.* 35:1-9.
- Kajiyama, S., Kanzaki, H., Kawazu, K., Kobayashi, A., 1998.** Nostofungicidine, an antifungal lipopeptide from the field-grown terrestrial blue-green alga *Nostoc commune*. *Tetrahedron Lett.* 39: 3737-3740.
- Kaushik, B.D., Venkataraman, G.S., 1979.** Effect of algal inoculation on the yield and vitamin C content of two varieties of tomato. *Plant Soil.* 52: 135–137.
- Kneip, C., Lockhart, P., Vob, C., Maier, U.G., 2007.** Nitrogen fixation in eukaryotes- New models for symbiosis. *BMC Evol. Biol.* 7 : 1-12.
- Koehn, F.E., Longley, R.E., Reed, J.K., 1992.** Microcolins A and B, new immunosuppressive peptides from the blue-green alga *Lyngbya majuscula*. *J. Nat. Prod.* 55: 613–619.
- Krienitz, L., Ballot, A., Kotut, K., Wiegand, C., Pütz, S., Metcalf, J.S., Codd, G.A., Pflugmacher, S., 2003.** Contribution of hot spring cyanobacteria to the mysterious deaths of Lesser Flamingos at Lake Bogoria, Kenya. *FEMS Microbiol. Ecol.* 43:141-148.
- Kromkamp, J., 1987.** Formation and functional significance of storage products in cyanobacteria. *New Zeal. J. Mar. Fresh. Res.* 21 : 457-465.
- Laberche, J.C., 2004.** *Biologie végétale.* 2^{ème} édition Dunod. Paris. p.240.
- Lagarde, D, Beuf, L., Vermaas, W.F.J., 2000.** Increased production of zeaxanthin and other pigments by application of genetic engineering techniques to *Synechocystis* sp. Strain PCC 6803. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 64-72.
- Lahti, K., Ahtiainen, J., Rapala J., Sivonen, K., Niemel, S.I., 1995.** Assessment of rapid bioassays for detecting cyanobacterial toxicity, *Lett. Appl. Microbiol.* 21 : 109-114.
- Lambert, T.W., Boland, M.P., Holmes, C.E.B., Hrudehy, S.E., 1994.** Quantification of the microcystin hepatotoxin in water at environmentally relevant concentration with the protein phosphatase bioassay. *Environ. Sc. Technol.* 28 : 53-55..
- Lapage, S.P., Sneath, P.H.A., Lessel, E.F., Skerman, V.B.D., Seeliger, H.P.R., Clark, W.A., 1992.** International Code of nomenclature of bacteria, 1990 revision. American society for microbiology. Washington D.C, USA, p.199.

- Lawton, L.A., Edwards, C., Codd, G.A., 1994.** Extraction high-performance liquid chromatographic method for the determination of microcystin in raw and treated waters. *Anal.* 119 : 1525-153.
- Lee, R. E., 2008.** Cyanobacterial microcystin-LR is a potent and specific inhibitor of protein phosphatases 1 and 2A from both mammals and higher plants, *FEBS Lett.* 264 :187-192.
- Leitoa, M., Couté, A., 2005.** Guide pratique des cyanobactéries planctoniques du grand ouest de la France de la France. Ed AESN (Agence de L'eau Seine et Normandie) Honfleur. p. 64. Disponible sur : www.oieau.org.
- Lobner, D., Liu, X., Travis, R., Jasmine, Z., 2009 .** N-methylamino-l-alanine induces oxidative stress and glutamate release through action on system Xc. *Toxicol.* 217 : 429-433.
- Madayag, A., Lobner, D., Kristen, S., John, R., Abdulhameed, O., Hearing, M., Mark, D., Baker, D.A., 2007.** Repeated N-acetylcysteine administration alters plasticity-dependent effects of cocaine . *Soci. Neurosci.* 27 : 13968-13976.
- Makrou, G., Vandamme, D., Muylaert, K., 2014.** Microalgal carbohydrate : an overview of the factors influencing carbohydrates production, and of main bioconversion technologies for production of biofilm. *App. Microbiol. Biotechnol.* 60 :414 -420.
- Marre, A., 1987.** Etude géomorphologique du Tell oriental algérien de Collo à la frontière Tunisienne. Thèse Doctorat. Université d'Aix Marseille, France. p. 559. Disponible sur : www.theses.fr.
- Mazbour.F., 2004 .**Bioécologie descyanobactérie du lac Oubeira. Mémoire d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'annaba .pp ; 59.
- Mc Neill, J.,Barrie, F.R., Burdet,H.M., Demmoulin,V.,Hawksworth,D.L., Marhold, K., Nicolson,D.H., Prado,J. , Silva,P.C., Skog,J.E., Wiersema,J.H., Turiand, N.J.,2006.** International code of botanical nomenclature (vienna code), *Renumvegetabile.* GantnerVeriag KG. p.146.
- Menail, H., 2000 .**Micro-algues toxiques dans le lac Oubeira. Approche taxonomique et suivi de la population micro-algale. Mémoire d'ingénieur. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.81. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz
- Messerer, Y., 1999.** Etude morphométrique et hydrographique du complexe lacustre d'El-Kala, cas du lac Oubeira et du lac Mellah. Mémoire de Magistère. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p. 123. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz
- Mishra, U., Pabbi, S. , 2004.** Cyanobacteria: A potential biofertilizer for rice. *Res.* 9: 6-10.

- Mur, L. R., Skulberg, O. M., Utkilen, H., 1999.** Cyanobacteria in the environment. *In* : Toxic Cyanobacteria in Water : A guide to their public health consequences, monitoring and management. Chorus, J., Bartram, I. (Ed.s). pp. 30-70.
- Namikoshi, M., Tomokazu, M., Taiko, O., 2003.** Simultaneous production of homoanatoxin-a, anatoxin-a, and a new non-toxic 4-hydroxy-homoanatoxin-a by the cyanobacterium *Raphidiopsis mediterranea* Skuja. *Toxicon*. 42 : 533-538.
- Nasri, A.B., 1999.** Etudes de la biodiversité des cyanobactéries et leurs toxines dans un milieu d'eau douce : lac Oubeira. Memoir de Magister. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.123. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Nasri, A.B., Bouaïcha, N., Fastner, J., 2004.** First report of a microcystin-containing bloom of the *Cyanobacteria Microcystis* spp. I lake Oubeira, eastern Algeria. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 46 : 197-202.
- Nasri, H., El Herry, S., Bouaïcha, N., 2008.** First reported case of turtle deaths during a toxic *Microcystis* spp. bloom in Lake Oubeira, Algeria. *Ecotoxicol. Envir. Saf.* 71 : 535-544.
- Osborne, N.J.T., Webb, P.M., Shaw, G.R., 2001.** The toxins of *Lyngbyamajuscula* and their human and ecological health effects. *Envir. Inter.* 27 : 381-392.
- Ozenda, P., 2000.** Les végétaux : Organisation et diversité biologique. 2^{ème} Dunod édition. p.350.
- Paerl, H. W., Meeks, J. C., Haselkorn, R., 2014.** Mitigating harmful Cyanobacterial blooms in a human-and climatically impacted world. *Life*. 4 : 988-1012.
- Paerl, H.W., Huisman, J., 2009.** Climate change: a catalyst for global expansion of harmful *Cyanobacterial* blooms. *Environ. Microbiol. Rep.* 1: 27-37.
- Papendorf, O., König, G.M., Wright, A.D., 1998.** Hierridin B and 2,4-dimethoxy-6-heptadecyl-phenol, secondary metabolites from the *Cyanobacterium Phormidium ectocarpi* with antiplasmodial activity. *Phytochem.* 49 : 2383-2386.
- Papke, U., Gross, E.M., Francke, W., 1997.** Isolation, identification and determination of the absolute configuration of fischerellin B. A new algicide from the freshwater *Cyanobacterium Fischerellamus cicola* (Thuret). *Tetrahedron Lett.* 38: 379-382.
- Patterson, G.M.L., Larsen, L., Moore, R.E., 1994.** Bioactive natural products from blue-green algae. *J. Appl. Phycol.* 6: 151-157.
- Pflugmacher, S., Wiegand, C., Beattie, K.A., Krause, E., Steinberg, C.E., Codd, G.A., 2001.** Uptake, effects, and metabolism of cyanobacterial toxins in the emergent reed plant *Phragmites australis*. *Envir. Toxicol. Chem.* 20: 846-52.

- Pittera, J., 2015.** Adaptation des cyanobactéries marines du genre *Synechococcus* au gradient latitudinal de température. Thèse de doctorat, option : Océanographie Biologique. Université d'Ile. France. p.200. Disponible sur : www.tel.archives-ouvertes.fr
- Prescott, L.M., Haley, J.P., Klein, D.A., 2003.** Microbiologie. De Boeck Université, 2^{ème} édition. Française. p.2002.
- Rabouille, S., Thebault, J.M., 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.
- Rivasseau, C., Raccaud, P., Deguin, A., Hennion, M.C., 1999.** Evaluation of an ELISA kit for the monitoring of microcystins (cyanobacterial toxins) in water and algae environmental samples. Environ. Sci. Technol. 33 : 1520-1527.
- Rivasseau, C., Martins, S., Hennion, M.C., 1998.** Determination of some physicochemical parameters of microcystins (cyanobacterial toxins) and trace level analysis in environmental samples using liquid chromatography. Chromat. A 799 : 155-69.
- Robarts, R.D., Zohary, T., 1987.** Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. New Zeal. J. Mar. Fresh. Res. 21 : 391-399.
- Romanowska-duda, Z., Sakowicz, Z., Tarczynskam, T., Knyplj, S., Zalewski, T., 1999.** Morphological changes vs changes in DNA structures in *Spirodelaoligorrhiza* caused by Microcystin-LR. Annual Meeting ESNA. J.Envir. Stu. 5 : 561-566.
- Saqrane, S., ElGhazali, I., Ouahid, Y., El Hassni, M., ElHadrami, I., Bouarab, L., Beilby M.J., Casanova, M.T., 2014.** The Charophyte Plant. *In: The Physiology of Characean Cells.* Beilby M.J., Casanova, M.T. (Eds). Edition Springer. Berlin. pp.1-42.
- Schopf, J.W., 1996.** Cyanobacteria. J. Cramer Berlin. 112 :13-32.
- Sehili, N., 2008.** Evolution des peuplements phytoplanctoniques au niveau du lac Oubeira et la lagune El Mellah. Mémoire de magister, Option : Sciences de la Mer. Université de Badji Mokhtar Annaba Algérie. p.200. Disponible sur : www.biblio.univ-annaba.dz.
- Shah, V., Garg, N., Madamwar, D., 1999.** Exopolysaccharide production by a marine cyanobacterium *Cyanothece sp.* Application in dye removal by its gelation phenomenon. Appl. Biochem. Biotechnol. 82: 81-90.

- Shapiro, J., 1997.** The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue-green dominance in lakes. *Freshw Biol.* 37 : 307-323.
- Silvano, J., 2005.** Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages. Thèse de doctorat. Option : Pharmacie. Université de Lyon 1 : Claude-Bernard. France Disponible sur : www.cpalb.fr.
- Siren, H., Iussila, M., Liu, H., Peltoniemi, S., Sivonen, K., Riekkola, M.L., 1999.** Separation, purity testing and identification of cyanobacterial hepatotoxins with capillary electrophoresis and electrospray mass spectrometry, 3. *Chromat. A* 839 : 203- 215.
- Sivonen, K., Jones, G., 1999.** Cyanobacterial toxins. *In: Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management.* Chorus, I., Welker, M., (Eds). Edition CRC Press. London, United Kingdom. pp.41-111.
- Smith, H., 1982.** Light and photosynthesis aquatic ecosystem. *Plant physiol.* 33 : 481- 518.
- Smith, V. H., 1983.** Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Sci.* 221 : 669-671.
- Souissi, M., Chaibi, R., Melizi, M., Bensouilah, M., 2004.** Les Cyanobactéries d'un plan d'eau douce (lac Oubeira –EL-KALA), inventaire et répartition spatiale. *Sci.Tec.* 22: 38-42.
- Stal, L.J., Moezelaar, R., 1997.** Fermentation in cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 21: 179-211.
- Steinbüchel, A., Fuchtenbusch, B., Gorenflo, V., Hein, S., Jossek, R., Langenbach, S., Rehm, B.H.A., 1998.** Biosynthesis of polyesters in bacteria and recombinant organisms. *Polym. Degrad. Stab.* 59: 177-182.
- Stevens, D.K., Krieger, R.I., 1991.** Effect of route of exposure and repeated doses on the acute toxicity in mice of the cyanobacterial nicotinic alkaloid anatoxin. *Toxicol.* 29 : 134-138.
- Stomp, M., Huisman, J., de Jongh, F., Veraart, A. J., Gerla, D., Rijkeboer, M., Ibelings, B.W., Wollenzien, U. I. A., Stal, L. J., 2004.** Adaptive divergence in pigment composition promotes phytoplankton biodiversity. *Nat.* 432 :104-107.
- Sudesh, K., Taguchi, K., Doi, Y., 2002.** Effect of increased PHA synthase activity on polyhydroxyalkanoates biosynthesis in *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Int. J. Biol. Macromol.* 30: 97-104.
- Svrcek, C., Smith, D., 2004.** Cyanobacteria toxins and the current state of knowledge on water treatment options. *Envir. Eng.Sci.* 3: 155-185.

- Tamagnini, P., Axelsson, R., Lindberg, P., Oxelfelt, F., Wünschiers, R., Lindblad, P., 2002.** Hydrogenases and hydrogen metabolism of *Cyanobacteria*. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 66 : 1-20.
- Tiffany, L. M., 1951.** Ecology of fresh water algae. In: *Manual of phycology Chronocia Botanica*. Smith, G. M., (ed). Waltham, Massachusetts. pp. 293-311.
- Tsujimura, S., Ishikawa, K., Tsukada, H., 2001.** Effect of temperature on growth of the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* in Lake Biwa and Lake Yogo. *Phycol. Res.* 49 : 275-280.
- Tubaro, A., Florio, C., Luxich, E., Sosa, S., Della Loggia, R., Yasumoto, T., 1996.** A protein phosphatase 2A inhibition assay for fast and sensitive assessment of okadaic acid contamination in mussels. *Toxicon.* 34 : 7743-7752.
- Vincenzini, M., Sili, C., De Philippis, R., Ena, A., Materassi, R., 1990.** Occurrence of poly-beta-hydroxybutyrate in *Spirulina* species. *J. Bacteriol.* 172: 2791-2792.
- Wang, X., Parkpian, P., Fujimoto, N., Ruchirawat, K. M., DeLaune, R. D., Jugsujinda, A. 2002.** Environmental conditions associating microcystins production to *Microcystis aeruginosa* in a reservoir of Thailand. *J. Envir. Sci. Health. A* 37 : 1181-1207.
- Ward, C.J., Beattie, K.A., Lee, E.Y.C., Codd, G.A., 1997.** Colorimetric protein phosphatase inhibition assay of laboratory strains and natural blooms of *Cyanobacteria* : comparaison with high-performance liquid chromatography analysis for microcystins, *FEMS Microbiol. Lett.* 153 : 465-473.
- Weiss, D.J., Lunte, C.E., 2000.** Detection of a urinary biomarker for oxidative DNA damage 8-hydroxydeoxyguanosine by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Electr.* 21: 2080-2085.
- Wetzel, R. G., Likens, G.E., 2000.** *Limnological Analyses* 3rd edition Springer-Verlag. p.429.
- Willén, T., Mattsson, R., 1997.** Water-blooming and toxin-producing cyanobacteria in Swedish fresh and brackish waters, 1981–1995. *Hydrobiol.* 353 : 181-192.
- Wilmotte, A., Herdman, M., 2001.** Phylogenetic relationships among the cyanobacteria Based on 16S rRNA sequences. *In* : *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Garrity, G.M., (Ed.). Springer. New York. pp.487-93
- Yang, X., Wu, X., Hao, H.U., He, Z.L., 2008.** Mechanisms and assessment of water eutrophication. *J. Zhejiang Uni. Sci. B* 9 : 197-209.

Yeager, C .M., Kornosky, J.L., Morgan, R.E., Cain, E.C., Garcia-Pichel, F., Housman D.C., Belnap, J., Kuske, C.R., 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 : 85-97.

Zakaria, A., Mohamed, Z.A., Alamri, S.A., 2012. Biodegradation of cylindrospermopsin toxin by microcystin-degrading bacteria isolated from cyanobacterial blooms. *Toxicon.* 8 : 1390-1395.

Zhou, Z., Xu, X., 2005. Study for Water Eutrophication Formation Mechanism and the Prevention Means. *Nat. For. Eco. Res.* 25 : 589-595.

Zilinskas, B. A., Zimmerman, B. K., Gantt, E., 1978. Allophycocyanin forms isolated from *Nostoc sp.* : Phycobilisomes. *Photochem. Photobiol.* 27 : 587-595.

Site web :

[1] : www.nostoc.pc. Consulté le : 04/05/ 2021.

[2] : www.ac-rennes.fr. Consulté le : 10/05/ 2021.

[3] : www.docplayer.fr. Consulté le : 12/04/2021.