

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DEL'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ 08 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Biologie

Spécialité : Biologie moléculaire et cellulaire : Biologie moléculaire des procaryotes

Thème

**CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION
DES CYANOBACTERIES DU BARRAGE ZIT EL-EMBA
(SKIKDA)**

Présenté par :BELMARS Djalila

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. HOUHAMDI Moussa	Pr.	Université de Guelma
Examineur :	Mlle. ZIDI Sourour M.A.A		Université de Guelma
Encadreur:	Mr. ROUABHIA Kamel	M.A.A	Université de Guelma
Co-encadreur:	Mr. BOUMAAZA Okba	Doctorant	Université d'annaba

Mai 2015

Table des matières

TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES FIGURES.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	III
LISTE DES ABREVIATIONS.....	IV
DEDICACES.....	V
REMERCIEMENTS.....	VI

CHAPITRE I : *Synthèse bibliographique*

Introduction	1
1-Généralité sur les cyanobactéries	3
2.Diversité Morphologique.....	4
3-Caractères cytologiques	5
3.1-Les granules de réserve.....	6
3.2-Les vacuoles gazeuses	6
3.3-Paroi	7
3.4-Gaine.....	8
3.5-Fimbriae et pili	8
3.6-Les cellules particulières.....	8
3.6.1-Les cellules végétatives	8
3.6.2-Les hétérocytes (H)	8
3.6.3-Les akinètes (A).....	9
3.7-Taille des cellules.....	9
4- La reproduction	10
5- Ecologie des cyanobactéries d'eau douce	10

5.1. Cycle de développement des espèces planctoniques	10
6-Classification des cyanobactéries (taxonomies).....	11
6.1-Chroococcales	14
6.2-Pleurocapsales	14
6.3-Oscillatoriales.....	14
6.4-Nostocales.....	15
6.5-Stégonématales.....	15
7- Mode nutritionnel	15
8-Physiologie des cyanobactéries.....	16
8.1-Photosynthèse.....	16
8.2-Fixation de N ₂	16
8.3-Symbioses	16
9-Ecologie et mode de vie	17
10-prolifération des cyanobactéries.....	17
10.1-Facteurs favorisant la prolifération des cyanobactéries.....	17
10.1.2-La température.....	17
10.1.3-L'enseillement.....	17
10.1.4-Les précipitations	18
10.1.5-L'agitation du milieu	18
10.1.6-La turbidité.....	18
10.1.7-le manque de prédateurs.....	18
10.2-les multiples conséquences de prolifération des cyanobactéries	18
10.2.1-Impact de prolifération des cyanobactéries sur l'environnement	18
10.2.2-Impact de prolifération des cyanobactéries sur la santé humaines	19
10.3-Comment limiter la prolifération des cyanobactéries	19
11-Les fleurs d'eau	20
11.1-Eutrophisation et fleurs d'eau	20
11.2-Comment s'explique la persistance d'une fleur d'eau	20
12-toxines	21
12.1-Neurotoxines	21
12.1.1- Les anatoxines	21
12.1.2- Les saxitoxines	23

12.1.3-La BMAA ou β -méthylamino-L-alanine	23
12.2-Hépatotoxines.....	23
12.2.1-Les microcystines	24
12.3- les molécules a effet irritants	25
12.3.1-Des alcaloïdes dermatotoxiques.....	25
12.3.2-Les lipopolysaccharides (LPS).....	26
12.4-Les cytotoxines	26
12.5-Autres composés bioactifs	27
13-Facteurs influençant la production de toxines.....	27
13.1-Croissance cellulaire	27
13.2-L'intensité lumineuse.....	27
13.3-Les nutriments et le fer	28
13.4-Effets de zooplancton.....	28
13.5-Température , Ph.....	28
14-Cyanotoxines.....	28
15-Mécanismes d'action, pharmacocinétique et Métabolisme des cyanotoxines .	29
16-Pourquoi cette production de toxines	30

CHAPITRE II

I-Description du site d'étude	32
1-Situation géographique.....	32
2- Conditions climatiques.....	33
3-Description de la station de production d'eau potable D'AZZABA et différentes étapes de traitements	35
II-Matériel et méthodes	36
1-Echantillonnage	36
1.1-Choix des stations et période de prélèvement.....	36
1.2-Mode de prélèvement des échantillons.....	36
2-Analyse des paramètres physico-chimiques.....	37
2-1- La température	38
2-2- Le pH	38
2-3- L'oxygène dissous.....	38
2-4- La salinité	39

2-5-La conductivité électrique	39
3-Etude des cyanobactéries	39
3-1- Analyse quantitative et qualitative des cyanobactéries	39
3-1-1-L'identification des cyanobactéries.....	40
3-1-2-l'abondance	40
3-1-3- Diversité globale.....	40
3-1-4-Indice de diversité	41
CHAPITRE III :	
I-Résultats et discussion	42
1-Paramètres physico-chimiques.....	42
1-1-Température	42
1-2- Le potentiel d'hydrogène (pH).....	42
1-3-Oxygène dissous.....	43
1-4- Conductivité électrique	44
2-Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries	45
2-1-Analyse qualitative.....	45
2-1-1-Diversité globale	45
II- Conclusion	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	V
RESUME	VI

LISE DES FIGURES :

La diversité morphologique des cyanobactéries.....	5
Ultrastructure d'une Cyanobactérie.....	7
la structure des hétérocytes.....	8
Structure chimique de l'anatoxine A (S).....	22
Structure de l'anatoxine-a.....	23
Structure générale des Saxitoxines.....	23
Structure générale des microcystines.....	24
Structure générale de la nodularine.....	24
Structure moléculaire de l'aplysiatoxine.....	26
Structure moléculaire de lyngbiatoxine.....	26
Structure moléculaire générale des cylindrospermopsines.....	27
Situation géographique du barrage de ZIT EL EMBA.....	33
Diagramme pluviométrique de la région de Skikda.....	35
de haut de la station de traitement des eaux potables ; AZZABA, wilaya de SKIKDA.....	35
Localisation des stations de prélèvement.....	37
Le multiparamètre inoLab Multi 720.....	38
Variations de la température de l'eau.....	42
Variations du pH de l'eau.....	43
Variations d'oxygène dissous de l'eau.....	44
Variations de la conductivité électrique de l'eau.....	45
Les différentes genres de cyanobactéries identifiées.....	47
Evaluation de la richesse spécifique.....	47
Proportion des genres et des espèces dans les deux mois.....	48
Variations de l'indice de diversité de Shannon.....	49

LISTE DES TABLEAUX :

Classification des cyanobactéries selon le Manuel de Beergey	11
Classification botanique des cyanobactéries	12
Liste de certaines espèces de cyanobactéries potentiellement toxiques et des toxines associées ayant déjà été observées en France	29
Présentation des sites et périodes de prélèvement	36
Diversité générique des cyanobactéries répertoriées dans le barrage de Zit El- emba.....	46

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AA :	Acide aminée
ADN :	Acide désoxyribonucléique
AG:	Acide gras
ARG:	Arginine
ARN :	Acide ribonucléique
ASP :	l'acide aspartique
C :	Cytosine
DL50 :	Dose létale 50
Enz :	Enzyme
G :	Guanine
HAB :	Harmful algal bloom
HPLC :	High-performance liquid chromatography
HPLC :	High Performance LiquidChromatography
Kb :	kilobase
l/s :	Litre par seconde
La BMAA :	β -méthylamino-L-alanine
μ M/L :	Micromoles par litre
Leu :	Leucine
LPS :	Lipopolysaccharides
LR :	Leucine-arginine
MC-LR :	Microcystines L-R
Mcy :	Ensemble des gènes codant pour les micro cystines synthétases
mcyE :	Microcystine synthétase E

MCYST :	Microcystine
neoSTX :	Néosaxitoxine
OMS :	Organisation mondiale de la Santé
PB :	Paire de base
pH :	Potentiel hydrogène
PS II :	Photosystèmes II
PSI :	Photosystèmes I
REG :	Réticulum Endoplasmique Granuleux
RR :	Arginine-arginine
STX :	Saxitoxine
TM :	Température de fusion
<i>US EPA</i> :	United States Environmental Protection Agency
YR :	Tyrosine-arginine
<i>ADE</i> :	Amsterdam dance event
S1 :	Station 1
S2 :	Station 2
P1:	Prélevent 1
P2:	Prélevement 2
Ish :	l'indice de Shannon



Dédicaces

A ma mère, sans vous je n'en serais pas là aujourd'hui, c'est sûr. Je vous remercie pour votre amour sans faille, votre soutien moral dans tous les moments de doute et de difficulté. Ce travail est aussi l'expression de votre réussite. Je vous remercie pour l'amour que vous me donnez .

A mon frangin que j'adore et que j'admire pour ses capacités intellectuelles

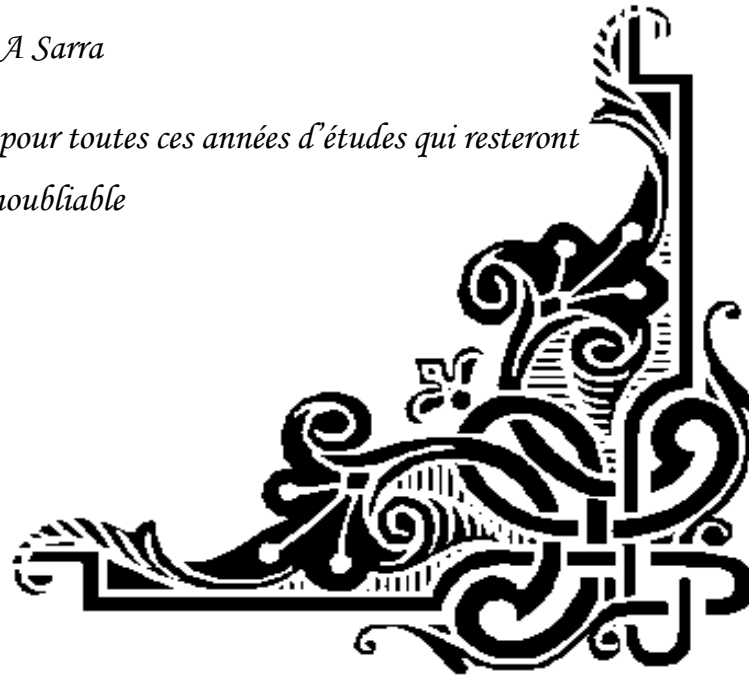

A mon cher mari pour son aide et ses encouragements

A MON PETIT BEBE ENCORE FETUS

Je te remercie d'avoir été gentil et patient durant mes nuits d'études. Ta présence me tenait compagnie, chacun de tes petits mouvements m'Apportait joie et bonheur

A Sarra

A tous mes copines de promo, merci pour toutes ces années d'études qui resteront inoubliable





REMERCIEMENTS



*Je tiens à remercier Pr. HOUHAMDJ Moussa de m'avoir
honoré en acceptant de présider le jury ;*

*Comme je remercie Dr. ZIDI Sourour d'avoir accepté de faire partie de ce
jury.*

*Je remercie Dr Rouabhia de m'avoir encadré et d'avoir contribué
à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études ;*

Je tiens à remercier toute l'équipe du laboratoire de microbiologie

*Mes remerciements vont à tous les gens qui ont contribué à ma formation
et à mon éducation de près ou de loin*



INTRODUCTION

L'eau potable est vraisemblablement le bien le plus précieux car elle est une ressource rare et vitale (**Gleick 1993**). L'eau est également un élément indispensable utilisé par l'irrigation agricole, la production d'énergie et l'industrie. Les eaux de surface occupent la plus grande partie du globe terrestre.

Un des facteurs majeurs gouvernant le développement des sociétés humaines est la préoccupation d'obtenir et de maintenir une provision adéquate d'eau (**VALIRON, 1984**). Cependant, sous la pression des besoins considérables, on est passé de l'emploi des eaux de source et de nappe à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. Cependant, les eaux de surface de bonne qualité sont en quantité limitée ou ont été contaminées par des activités humaines qui ont amené à détériorer sa qualité de l'eau. Delà apparaît la nécessité de concevoir des installations de traitement d'eau pour fournir une eau de qualité acceptable même issue de sources en surface contaminées (**Degremont, 1989**).

A cause de leurs utilisations multiples, ces eaux continentales sont d'une très grande importance pour les activités humaines: pour les activités domestiques comme la consommation et les loisirs, pour les activités agricoles et halieutiques et pour les activités industrielles. Les milieux aquatiques continentaux procurent une variété de biens et de services à l'homme, ce qui leur confère une valeur économique irremplaçable (**Gleick 1993; Costanza Et Al. 1997**)

De nombreux plans d'eau sont ainsi irréversiblement endommagés par la pollution et/ou l'eutrophisation. Les plus vulnérables étant ceux situés proches des grandes agglomérations humaines (**Zohary et al. 1996**).le phosphore joue un rôle prépondérant dans le processus d'eutrophisation (**Lacaze 1996**).

La croissance «massive» de certaines populations phytoplanctoniques peut entraîner des nuisances ou présenter un risque pour la santé publique ; certaines espèces phytoplanctoniques produisant des substances toxiques qui, lorsqu'elles sont accumulées par des organismes filtreurs (*poissons, crevettes, ...*), sont dangereuses pour l'Homme qui va ensuite les consommer.

Dans ces eaux, le phytoplancton constitue la base de la chaîne trophique. Ce phytoplancton peut former des efflorescences par suite de prolifération d'une ou de quelques espèces dans des conditions hydroclimatiques favorables et en particulier le déséquilibre du contrôle par la ressource nutritive ou par le broutage. Ainsi, l'apparition de ces efflorescences est liée à plusieurs facteurs, notamment aux concentrations élevées en nutriments (**Kilham et Kilham 1984**), à la stabilité hydrodynamique (**Reynolds *et al.* 1993**), à la température (**Reynolds 1998**) et à la lumière (**Dusen berry *et al.* 1999**). Ces efflorescences peuvent avoir de nombreuses conséquences sanitaires, écologiques et économiques.

La production d'eau potable peut être définie comme la manipulation d'une source d'eau pour obtenir une qualité de l'eau qui satisfait à des buts spécifiés ou des normes érigées par la communauté au travers de ses agences régulatrices.

le barrage de Zit El Emba (Wilaya de Skikda) a été récemment construit, aucune étude détaillée n'a été réalisée sur la qualité des eaux mobilisées à partir d'Oued El-Hammam, sachant que ce barrage alimente actuellement le chef-lieu de la wilaya ainsi que la daïra d'Azzaba.

Notre travail a porté sur :

- ✓ La caractérisation de l'environnement physico-chimique du barrage Zit El Enba;
- ✓ L'inventaire et l'identification des cyanobactéries.

1-Généralité :

Le phytoplancton (du grec phyton ou plante et planktos ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton de nature végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, (**Stickney et al., 2000**), vivant en suspension dans l'eau et soumis aux mouvements des masses d'eau. (**Sieburth et al., 1978**). Au niveau marin, on estime qu'il existe environ 4000 espèces de phytoplanctons, réparties dans environ 490 genres. (**Sour nia et al., 1991**). Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytologique essentiellement par la présence (eucaryotes) ou non (procaryotes) d'un noyau cellulaire (ADN confiné dans une enveloppe nucléaire) (**Prescott et al. 2003**). Toutefois, cette dénomination est erronée, des analyses plus approfondies de leur ultra structures à partir de microscope électronique, ont permis de démontrer qu'il s'agissait de bactéries photosynthétiques appartenant aux organismes procaryotes (**Bourrelly, 1991; Carmichael 1994; Chorils et Bartram, 1999; Pitoiset al, 2000**).

D'après **Ricard, 1987 ; Chrétiennot-Dinet, 1990 ; Jeffrey et al., 1997 ; Lampert, 2001**. Les communautés phytoplanctoniques sont constituées d'assemblages d'espèces aux caractéristiques biologiques (taille, forme...) et physiologiques (nutrition, croissance...) variées et forment un ensemble hétérogène.

Les cyanobactéries sont des procaryotes (cellule dépourvue de noyau et d'organites intracellulaires) ; photosynthétiques également appelés cyanophytes ou cyanophycées. Les cyanobactéries font partie d'un groupe ancien de micro-organismes et une grande partie de leur diversité morphologique s'est développée il y a plus de 2 milliards d'années. Bien qu'elles soient aussi connues sous le nom d'algues bleu-vert ou algues bleues, les cyanobactéries sont des bactéries à Gram-négatif photosynthétiques et non des algues. Ce sont les cyanobactéries qui ont produit l'oxygène que nous respirons sur Terre et permis la formation de la couche d'ozone qui nous protège contre les rayons nocifs du soleil. Elles sont également à l'origine de toutes les plantes. Quoiqu'elles ne soient pas réellement des algues au même titre que les diatomées et les algues vertes par exemple, les cyanobactéries partagent les mêmes habitats, compétitionnent pour les mêmes ressources et contribuent à la production primaire des écosystèmes aquatiques. Elles se regroupent en quelque 2 000 espèces réparties en 150 genres (**Duy et al. 2000**). La plupart des cyanobactéries sphériques

appartiennent à la famille des *Chroococcacées* ; certaines sont filamenteuses et appartiennent aux familles des *Nostocacées* et *Oscillatoriacées* (**Bourrelly 1985**)

En milieu aquatique, les cyanobactéries sont dites planctoniques ou pélagiques si elles prolifèrent en suspension dans la colonne d'eau, ou benthiques si elles sont attachées à un substrat. La majorité des cyanobactéries sont photo-autotrophes, c'est-à-dire qu'elles tirent leur énergie de la lumière, contrairement aux hétérotrophes qui ne peuvent pas élaborer leur propre matière organique. (**Oliver & Ganf 2000**).

2-Diversité morphologique :

La diversité morphologique des cyanobactéries est impressionnante. Il existe à la fois des formes unicellulaires et filamenteuses (fig. 01). A l'intérieur de chacun de ces types, une variabilité considérable est observée. Il est possible de diviser les cyanobactéries en 5 groupes morphologiques.

- soit unicellulaires, vivant solitaires ou isolée ou en colonies.
- soit organisées en trichomes qui correspond à un enchainement de cellules (thalle) sans gaine (**Afssa et Afsset , 2006**)
- Soit organisées en filaments, quand le thalle est composé d'une série de cellules enveloppées d'une gaine. (**Carmichael W.W., 1994**).

Les cyanobactéries sont généralement distinguées en fonction de leurs caractéristiques morphologiques (taille des cellules, présence de gaine, couleur). Cependant, ces caractéristiques peuvent varier en fonction des conditions environnementales, ce qui peut rendre l'identification des espèces difficile.

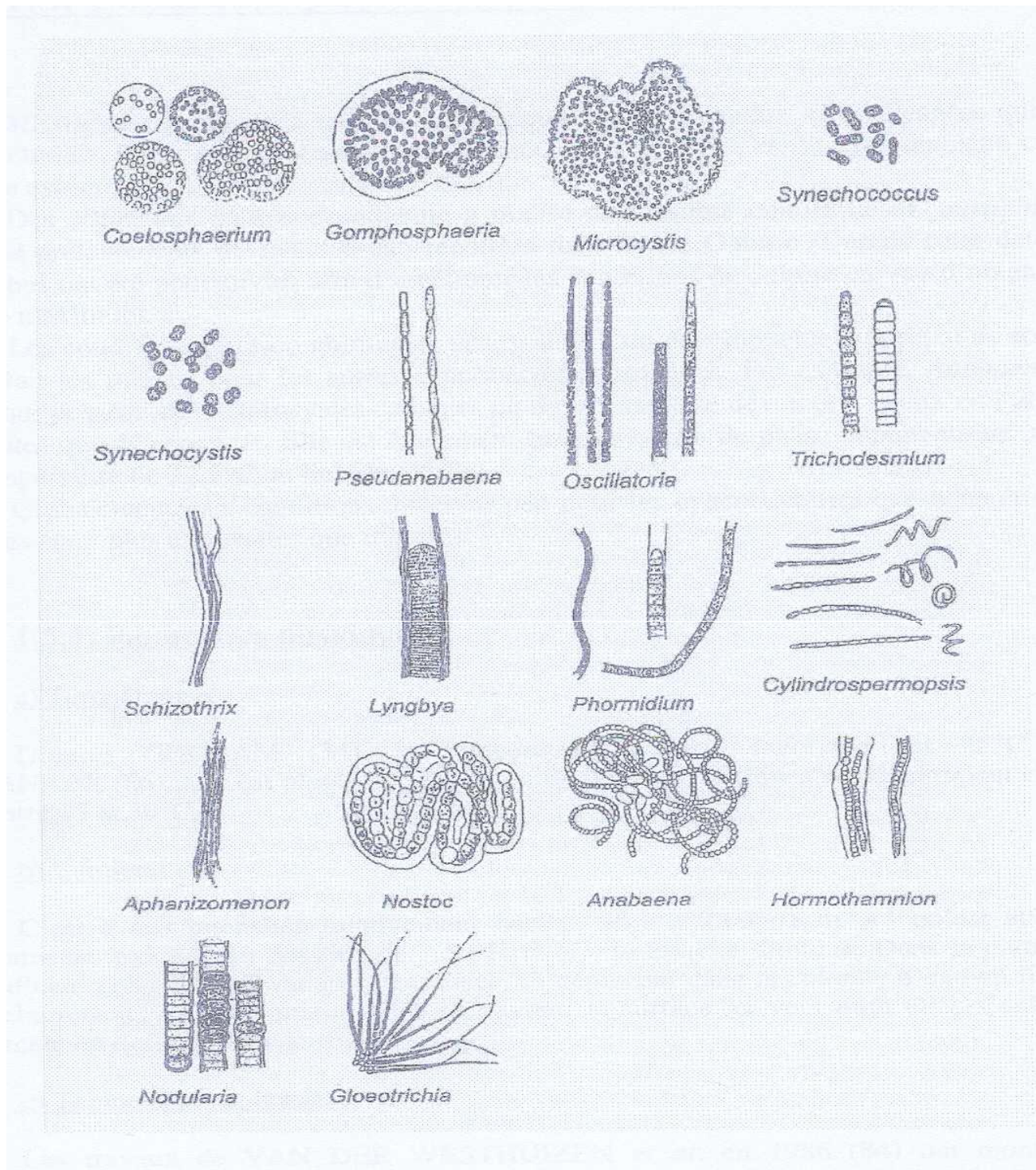


Figure 01 : La diversité morphologique des cyanobactéries (Silvano, 2005)

3-Caractères cytologiques :

L'étude d'une cyanobactérie au microscope électronique à transmission donne la structure cellulaire suivante :

Le cytoplasme contient :

- des ribosomes 70S
- des fibrilles d'ADN au centre de la cellule (centroplasma)
- des lamelles photosynthétiques (thylacoïdes) à la périphérie (chromatoplasme)
- des inclusions globulaires (glycogène, globules lipidiques), sphéroïdes (cyanophycine), polyédriques (polyphosphates) ou vésiculeuses (vacuoles gazeuses).

La cellule est entourée d'une paroi de peptidoglycane plus ou moins perforée, entourée dans certains cas d'une gaine supplémentaire.

Des expansions cytoplasmiques appelées pili peuvent exister. (SILVANO Jérémy ;2005)

❖ Les inclusions :

Le cytoplasme renferme différents types d'inclusions :

3-1-Les granules de réserve :

- **Carboxysomes** : Aussi appelés corps poly hydriques (Codd, 1988). Elles renferment principalement la ribulose-biphosphate carboxylase, enzyme responsable de la fixation du dioxyde carbone.
- **Glycogène** : Produit grâce à une activité photosynthétique importante (Stanier, 1973) et manque d'azote, le glycogène est stocké sous forme de granules (Castenholz et Waterbury, 1989)
- **Cyanophycine** : Granule composée essentiellement d'Arginine et d'Acide Aspartique (Prescoet al, 1995). Elle peut constituer jusqu'à 10% de la masse cellulaire.
- **Polyphosphate** : Les phosphates sont stockés sous forme de polyphosphate aussi appelés granules de volutine. Baxter et Jensen (1980) pensent que les granules des polyphosphates pourraient jouer un rôle important dans le stockage de métaux lourds.
- **Globules lipidiques** : Les globules lipidiques ou granules P sont composées de polymères d'Acides Gras du type PHA (polyhydroxyalcanoates). Ces granules correspondent à des réserves de carbone et d'énergie (Stal, 1992).

3-2-Les vacuoles gazeuses :

Appelée aussi airosome : Une vacuole gazeuse est composée de vésicules gazeuses ou de tubes cylindriques creux à bouts coniques. Elle permet à l'algue bleue de flotter et elle peut se rencontrer dans le cytoplasme de toutes les cyanobactéries à l'exception des espèces de la famille des Chamaesiphonacées, algues bleues exclusivement benthiques.

La membrane délimitant ces vacuoles gazeuses est assez rigide et n'est pas de nature lipoprotéique : elle n'est constituée que de protéines disposées en spirale autour de la vésicule.

Elle est imperméable à l'eau et perméable aux gaz. Son contenu est gazeux à la pression d'une atmosphère et doit rester toujours en équilibre avec le milieu environnant. (SILVANO Jérémy ;2005)

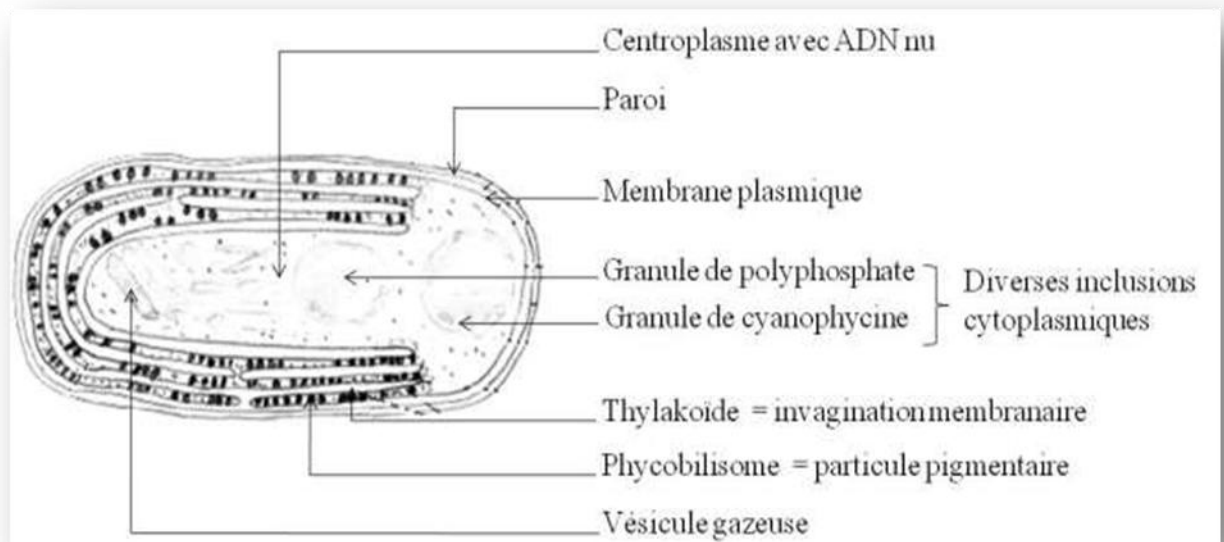


Figure 02 : Ultrastructure d'une Cyanobactérie (Ourari Malika, 2013).

3.3-Paroi :

* Structure générale

La paroi comprend quatre assises appelées L1, L2, L3, L4 de l'intérieur vers l'extérieur de la cellule à partir de la membrane plasmique. L2 est une couche de muréine (peptidoglycane) et L4 est une membrane semblable à la membrane plasmique, similitude avec la paroi d'une bactérie Gram à coloration de Gram négative. Les deux assises les plus internes, L1 et L2, sont les mêmes chez toutes les algues bleues. (Silvano Jérémy ;2005)

* Pores et perforations

La présence de pores ou de perforations dans la couche peptidoglycanique de la paroi des cyanobactéries filamenteuses fut mise en évidence (**Silvano Jérémy ;2005**) en 1955 par METZNER . Leur rôle est de faciliter les échanges entre cellules du filament (perforations transversales) et avec le milieu extérieur (pores de jonction, pores intercalaires). D'autre part, la disposition et le nombre de ces pores ou perforations est un bon critère pour la détection systématique. (**Silvano Jérémy ;2005**)

3.4-Gaine :

La gaine est située à l'extérieur de la paroi. Elle est fibrillaire. Son rôle est de protéger les cellules de la dessiccation mais aussi de favoriser la mobilité des trichomes par glissement à l'intérieur de la gaine. (**Silvano Jérémy ;2005**)

3.5-Fimbriae et pili :

Les fimbriae ou pili traversent les parois des algues bleues. Les fimbriae sont probablement impliqués dans les interactions procaryotes-eucaryotes telles les symbioses. (**Silvano Jérémy ;2005**)

3.6-Les cellules particulières :

Trois modèles de cellules peuvent être rencontrés chez les cyanobactéries, à savoir :

3.6.1-Les cellules végétatives :

Les cellules végétatives renferment des vacuoles à gaz (aérotome) très réfringentes (responsables de la flottabilité des thalles qui en possèdent) et de couleur très diverse, conséquence des teneurs respectives en pigments photosynthétiques tels que, la chlorophytes a (vert), la phycocyanines (bleu), la phycoérythrine (rouge) (**Jean-Marc Frémy, et al 2001**).

3.6.2-Les hétérocytes (H) :

Cellules différentes des autres, faciles à reconnaître grâce à leur paroi épaisse et à leur contenu semblant vide (Maria leitão et Alain couté, 2005). Leur forme est cylindrique, sphérique, voire conique (Jean-Marc Frémy, et al 2001)

Les hétérocytes peuvent également se présenter solitaires ou en série.

Le principale rôle des hétérocytes est d'assurer la fixation de l'azote atmosphérique, grâce à une enzyme (nitrogénase) (Maria leitão et Alain couté, 2005) pour le transforme en azote assimilable par la cellule (Jean-Marc Frémy, et al 2001).

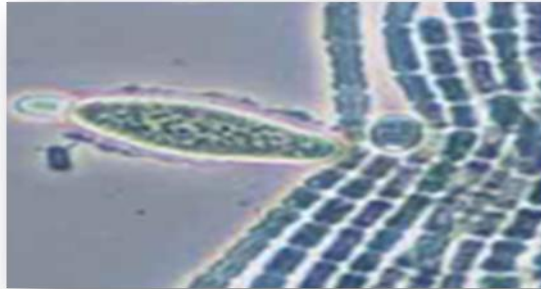


Figure 3: la structure des hétérocytes (Afssa/Afsset ; 2006)

3.6.3-Les akinètes (A) :

Les akinètes sont des cellules généralement plus grandes. Leur paroi est très épaisse et peut être colorée et ornementée. (Jean-Marc Frémy, et al 2001) et leur contenu très riche en granules de réserves, les rendent faciles à distinguer (Maria leitão et Alain couté, 2005).

Les akinètes sont résistantes à la chaleur et à la sécheresse, et elles permettent donc à la cyanobactérie de survivre pendant les périodes défavorables (Peter H et al-)



Figure4 : la structure des akinètes (Afssa/Afsset ; 2006)

3.7-Taille des cellules :

La largeur des cellules peut varier entre 0,6 µm et 10 µm. Le diamètre moyen des cellules est compris entre celui des bactéries et celui des algues *sensu stricto*. La longueur des cellules des espèces filamenteuses est plus courte ou plus longue que leur largeur.(**Silvano Jérémy ;2005**)

4- La reproduction :

La multiplication des cyanobactéries est végétative, c'est-à-dire asexuée, Selon les espèces et les conditions environnementales, les temps de doublement des populations varient de quelques heures à plusieurs jours (**Enora Briand, 2008**). Elle s'effectue :

-soit par division binaire comme chez les bactéries pour les formes unicellulaires ;(**Delarras Camille, 2010**)

- soit par fragmentation au hasard ou par bourgeonnement pour les formes filamenteuses ; (**Delarras Camille, 2010**).

- soit encore par les spores ou akinètes (**Delarras Camille, 2010**).

5- Ecologie des cyanobactéries d'eau douce :

5.1. Cycle de développement des espèces planctoniques :

Les algues bleues sont présentes toute l'année dans les lacs mais ne forment habituellement de véritables blooms qu'à la fin de l'été ou au début de l'automne, c'est pourquoi plusieurs auteurs ont étudié dans la nature et en laboratoire le cycle de vie de ces espèces, notamment celui de *Microcystis aeruginosa*, et (**REYNOLDS C.S al 1981**) (**REYNOLDS et al , 1975**). C'est l'espèce la mieux connue et celle que nous allons détailler, mais toutes les espèces planctoniques se développent de la même façon au cours de l'année.(**Silvano Jérémy**)

Le cycle de vie d'une espèce passe par les cinq phases suivantes :

- a) Une phase de repos durant l'hiver
- b) Une phase de remontée
- c) Une phase de croissance active au printemps et au début de l'été

d) Une phase d'accumulation en surface à la fin de l'été et au début de l'automne

e) Une phase de disparition

Les mouvements ascendants et descendants des colonies dans la colonne d'eau dépendent respectivement de l'augmentation ou de la diminution du nombre de vacuoles gazeuses dans les cellules.

D'autre part, cette augmentation ou diminution du nombre de vacuoles gazeuses est contrôlée par des mécanismes régulateurs très complexes liés aux conditions d'environnement, mécanismes dont certains sont propres à chaque espèce. **(Silvano Jérémy ;2005)**

6-Classification des cyanobactéries (taxonomies) :

la classification de ces organismes dépend à la fois du Code International de Nomenclature Botanique (**I.C.N.B**) et du Code International des Bactéries (**I.C.B.N**)

La classification selon **I.C.B.N** repose sur des critères morphologiques et physiologiques tels que la composition en pigments, la présence de vésicules à gaz, la composition en substances de réserve, la paroi cellulaire ou encore la présence de cellules différenciées (hétérocytes et /ou akinètes) et le mode de la multiplication. Après de nombreuses modifications, la classe unique des Cyanobactéries a été subdivisée en quatre ordres (**Tab.1**), eux-mêmes divisés en familles regroupant 124 genres pour 2500 espèces. Dans tous les cas, les noms de genres et d'espèces actuellement utilisés pour l'identification et la systématique sont ceux empruntés à la botanique.

La classification d'**I.C.N.B** est basée sur des études comparatives entre souches axéniques en culture. Cette classification prend en compte la morphologie mais aussi les caractéristiques physiologiques, biochimiques et génétiques. Dans cette nomenclature, les cyanobactéries se répartissent dans 5 sous-sections(**Tab.1**)

Les apports de la biologie moléculaire à la systématique et à la phylogénie devraient permettre à terme la définition d'une taxinomie des cyanobactéries stable et universelle.

Tableau 1 : Classification des cyanobactéries selon le Manuel de Beergey(Garrity *et al*, 2001)

Classe	Sous- section	Genres
Cyanobac téries	I Unicellulaires ou coloniales, multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores	<i>Chamaesiphon, Choroococcus,</i> <i>Gloeotheca</i>
	II Unicellaire ou coloniales, multiplication par fissions multiples (baeocytes) ou en combinaison par fission binaire	<i>Dermocarpella, Xenococcus,</i> <i>Myxosarcina</i>
	III Filamenteuses unisériées, non hétérocystées, Sans ramification à l'axe des trichomes.	<i>Arthrospira, Lyngbya, Oscillatoria</i>
	IV Filamenteuse, différenciation cellulaire (hétérocyste et akinères), à division cellulaire dans un seul plan.	<i>Anabaena, Anabaenopsis,</i> <i>Aphanizomznon</i>
	V Filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocyste et akinères), présentant ramificatins,à division cellulaire dans plusieurs plans.	<i>Clorogloeopsis, Fischerella</i>

Tableau 2: Classification botanique des cyanobactéries (Hoffmann *et al*, 2005)

Ordre	Famille	Genre
Gloeobacterales	Gloeobacteraceae	<i>Gloeobacter</i>
Pseudoanabaenals (Trichome)	Pseudoanabaenaceae	<i>Geitlerinema</i> , <i>Limnothrix</i> , <i>Pseudoanabaena</i>
	Schizorichaceae	<i>Schizothrix</i>
Chroococcales (Coccoide trichome)	Microcystaceae (Coccoide)	<i>Microcystis</i>
	Gomphosphaeriaceae (Coccoide)	<i>Snowella</i> , <i>Woronichinia</i>
	Chroococcaceae (Coccoide)	<i>Chroococcus</i>
	Dermocarpellaceae	<i>Dermocarpella</i> , <i>Cyanocystis</i>
	Xenococcaceae	<i>Xenococcus</i> , <i>Myxosarcina</i>
	Hydrococaceae	<i>Hyella</i> , <i>Pleurocapsa</i>
	Spirulinaceae (Trichome)	<i>Spirulation</i>
Oscillatoriales (Trichome)	Phormidiaceae (necridies +)	<i>Arthrospira</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Trichodesmium</i>
	Oscillatoriacea (necridies +)	<i>Lyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i>
	Gomontiellaceae (necridies +)	<i>Crinalium</i> , <i>Starria</i>
Nostocales (Hétérocystés)	Scytonemataceae (Fausses ramifications)	<i>Scytonema</i>

	Haplosiphonaceae (Vraies ramifications)	<i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Nostoc</i>
	Stigonemataceae (Vraies ramifications trichomes multisériés)	<i>Stigonema</i>

6.1-Chroococcales(décrites par Welts en 1924) : Les Chroococcales sont formées de thalles coccoïdes (cellules solitaires ou agrégées en colonies mucilagineuses), elles sont rarement équipées de pseudofilaments, et ne possèdent pas d'hétérocystes ni d'akinètes. Elles sont équipées de vésicules gazeuse (sauf les Chamaesiphonacées), se multiplient par division binaire (un plan de division) ou division multiple (deux ou n). Elles sont caractérisées par la formation facultative d'exocytes ou de nanocytes par division multiple d'une cellule végétative. Elles sont monocytes ou planocytes. (valérie dumont ;2006)

6.2-Pleurocapsales: Les cyanobactéries de ce taxon se reproduisent soit exclusivement, soit a certains stades, par la formation de petites cellules sphériques (baeocytes). La cellule parentale grossit, sa membrane externe s'épaissit et finit par libérer de 4 a plus de 1 000 baeocytes. La division multiple est la caractéristique phénotypique qui distingue ce sous-groupe des toutes les autres cyanobactéries.

6.3-Oscillatoriales (Elenk. 1934) : Les Oscillatoriales sont pourvues de thalles filamenteux (filaments solitaires ou agrégés en colonies) et possèdent des trichomes typiques, mobiles ou immobiles. Il y a présence facultative de gaine, de fausses ramifications. Comme les Chroococcales, elles ne possèdent ni hétérocystes, ni akinètes. Elles sont caractérisées par la présence de vésicules gazeuses. Elles se divisent par divisions successives des cellules du trichome (un seul plan de division). La multiplication se fait par hormogonies et hormocystes, rarement par phanocytes. (Valérie dumont ;2006)

6.4-Nostocales (Borzi 1914) Geilt 1925: Elles possèdent des thalles filamenteux, ainsi que des trichomes typiques isopolaires ou hétéropolaires. On note une absence de ramification du trichome. Les Nostocales sont pourvues d'hétérocystes et d'akinètes, akinètes facultatifs, elles ont aussi des vésicules gazeuses. Il y a divisions successives des cellules du trichome (un seul plan de division). La multiplication se fait principalement par hormogonies ou hormocytes. (**valérie dumont ;2006**)

6.5-Stégonématales Geitler 1925 : Les Stigonematales possèdent des thalles filamenteux souvent hétérotriches (rampants et dressés).

Leurs trichomes sont souvent multisériés. Elles présentent de véritables ramifications, ainsi que des hétérocystes. Par contre, elles n'ont pas d'akinètes, sauf exception. Elles possèdent des communications intercellulaires appelées microplasmodesmes. Elles sont aussi caractérisées par la présence de vésicules gazeuses. La division des cellules du trichome se fait par des cloisonnements perpendiculaires à l'axe ou parallèles à l'axe, et elles se multiplient par hormogonies ou pseudohormogonies, rarement par akinètes. (**valérie dumont ;2006**)

7- Mode nutritionnel :

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

➤ **Photolithotrophie stricte :** Ces cyanobactéries ne peuvent croître qu'en présence de lumière, leur donneur d'électrons est minéral (H₂O ou H₂S) et leur source de carbone est inorganique (CO₂). (**Dimitri Carrabin ;2011**)

➤ **Photohétérotrophie :** La croissance se fait également en présence de lumière, la source d'électrons est minérale (H₂O ou H₂S), mais ce groupe de cyanobactéries est capable d'utiliser une source de carbone inorganique ou organique. (**Dimitri Carrabin ;2011**)

➤ **Chimiohétérotrophie facultative :** Ces cyanobactéries sont phototrophes en présence de lumière, mais leur croissance peut également se

dérouler dans l'obscurité en utilisant une source de carbone organique (limitée au glucose, au fructose et à quelques disaccharides. (**Dimitri Carrabin ;2011**))

8-Physiologie des cyanobactéries :

8.1-Photosynthèse : Les cyanobactéries sont des organismes photosynthétiques. Leur photosynthèse se déroule majoritairement en aérobie. Les électrons sont alors issus de l'oxydation de l'eau, notamment grâce aux photosystèmes PSI et PSII. Mais certaines cyanobactéries peuvent réaliser la photosynthèse en milieu anaérobie (les électrons sont alors issus de l'oxydation du soufre). 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 chez certaines cyanobactéries) et par les phycobiliprotéines, regroupées en agrégats au niveau de la membrane externe des thylacoïdes (Figure 1.2) (**Lee, 2008**).

8.2-Fixation de l'azote :

Les cyanobactéries utilisent l'azote minéral des nitrates, nitrites et sels ammoniacaux .En absence d'azote minéral, certaines cyanobactéries utilisent directement l'azote de l'air (N₂), c'est ce que l'on appelle "la fixation de l'azote".

L'enzyme responsable de la fixation de l'azote est la nitrogénase. Cet enzyme est irréversiblement inhibé par l'oxygène et la fixation de l'azote nécessite donc la possession de mécanismes de protection de la nitrogénase contre l'oxygène de l'air et l'oxygène produit par l'activité photosynthétique de la cyanobactérie.

8.3-Symbioses : Certaines cyanobactéries, du genre *Nostoc* en général, sont impliquées dans des symbioses avec une large variété d'organismes: des champignons (formation des lichens), des plantes (p. ex. avec famille des bryophytes), des éponges, ou encore des protistes (**Adams et Duggan, 2008**). Les cyanobactéries fournissent à ces hôtes de l'azote et des carbones fixés (provenant réciproquement du N₂ et du CO₂) (**Adams et Duggan, 2008; Lee, 2008**).

9-Ecologie et mode de vie :

On retrouve les cyanobactéries dans la plupart des environnements communs: en eau douce (principalement dans les lacs), sur les littoraux, dans les mers, dans l'air,

sur les sols humides et même dans les roches (p. ex. les récifs coralliens) (**Reviere, 2003**).

Les cyanobactéries sont également capables de s'imposer au sein de milieux aux conditions plus extrêmes (**Castenholz, 2001**). Des espèces comme *Mastoc/aduslaminosus* ou *Phormidiumlaminosum* tolèrent des températures de 70°C (**Reviere, 2003**), d'autres espèces ont été retrouvées sur des surfaces rocheuses de régions désertiques (**Yeager et al., 2007**), ou encore dans des lacs à salinité élevée ou même hypersalins (**Dillon, 2009**). C'est leur capacité à résister à la dessiccation qui leur permet de croître dans ces milieux (**Castenholz, 2001**). Des cyanobactéries sont également présentes dans certains lacs des régions polaires, notamment en Antarctique, où les températures sont très basses (**Jungblut, 2005 ; Taton, 2003**). Leur développement s'y explique tout d'abord par une très faible présence d'autres organismes autotrophes (donc peu de compétition). De plus, les cyanobactéries peuvent supporter les alternances congélations/décongélations (**Castenholz, 2001**).

10-prolifération des cyanobactéries :

C'est lorsqu'elles prolifèrent que les cyanobactéries peuvent devenir dangereuses. Elles se développent grâce à leur capacité d'adaptation et à leur compétitivité par rapports aux autres micro-organismes, particulièrement dans des milieux eutrophisés. Les densités peuvent devenir extrêmement élevées ; plusieurs milliards de cellules par litre, ce qui donne à l'eau cet aspect coloré. (**G. Lanez – 2005**)

10.1-Facteurs favorisant la prolifération des cyanobactéries :

10.1.1-La température : la saison préférée de la prolifération commence au printemps lorsque l'eau dépasse 15°C. Elles restent présentes jusqu'à l'automne. (**G. Lanez – 2005**)

10.1.2-L'ensoleillement : un fort ensoleillement favorise la prolifération des cyanobactéries. (**G. Lanez ;2005**)

10.1.3-Les précipitations : Bien que les précipitations peuvent refroidir les plans d'eau, celles-ci peuvent également apporter des éléments nutritifs (phosphore et azote) par lessivage des sols. (**G. Lanez - 2005**)

10.1.4-L'agitation du milieu :Certaines espèces se développent lorsque le milieu est calme. (G. Lanez – 2005)

10.1.5-La turbidité :Une turbidité élevée favorise le développement de certaines cyanobactéries par rapport aux autres algues. (G. Lanez – 2005)

10.1.6-le manque de prédateurs :Dans l'eau, les phytoplanctons sont consommés par les zooplanctons. Cependant, les cyanobactéries sont difficilement digérées par les zooplanctons. La population des cyanobactéries peut donc augmenter contrairement aux autres micro-algues.(G. Lanez – 2005)

✓ Un plan d'eau eutrophisé, calme, chaud et ensoleillé en plein été est un milieu idéal pour la prolifération des cyanobactéries.(G. Lanez – 2005)
L'apport d'éléments nutritifs est le seul facteur que nous pouvons maîtriser. (G. Lanez – 2005)

10.2-les multiples conséquences de prolifération de cyanobactéries :

10.2.1-Impact de prolifération de cyanobactéries sur l'environnement :

La formation des fleurs d'eau cyanobactériennes entraîne donc des conséquences néfastes sur la qualité de l'eau. La flore et la faune se retrouvent complètement modifiées puisque, par exemple, la croissance des végétaux n'est plus permise (à cause de turbidité de l'eau) et que certaines floraisons produisent des toxines aux effets allélopathiques (se dit de composés produits par un végétal qui entraîne des conséquences positives ou négatives sur d'autres végétaux). De plus, les poissons présents dans le lac finissent par mourir en raison du manque d'oxygène dissout dans l'eau (hypoxie puis anoxie) lorsque la densité de la floraison cyanobactérienne devient très forte (que l'on retrouve au niveau du «Bloom collapse.. De plus, les floraisons perturbent les activités humaines puisqu'elles entraînent des problèmes d'extraction et de traitement des eaux du lac. Elles ont également des impacts sur l'agriculture et sur la pêche, et elles empêchent les activités récréatives (baignade, canotage, voile, etc.) (Sigeo, 2005).

10.2.2-Impact de prolifération de cyanobactérie sur la santé humaine :

➤ La consommation d'aliments :
Les microcystines peuvent se concentrer dans le zooplancton qui est lui-même

au début de la chaîne alimentaire. Elles sont donc susceptibles d'être présentes dans le poisson. (G. Lanez - 2005)

➤ La consommation d'eau potable :
Les hépatotoxines peuvent avoir une toxicité aiguë (ingestion ponctuelle en quantité importante) ou chronique due à l'ingestion régulière de faible quantité). (G. Lanez – 2005)

➤ Les principaux effets peuvent être :

- Décès en cas d'empoisonnement : aucun cas humain n'a été relevé mais l'utilisation d'une eau contaminée au BRESIL aurait causé la mort de 50 personnes.
- Diarrhées, gastro-entérites, pneumonies, douleurs articulaires, maux de gorges et de tête, ainsi que des lésions hépatiques.
- Apparition de cancer du foie : des études menées sur des rats et des souris ont montré que la microcystine est un puissant agent de promotion tumorale. La microcystine LR est recherchée dans les eaux de consommation. Les eaux distribuées doivent respecter la limite de qualité fixée à 1µg/l. (G. Lanez – 2005)

➤ La pratique d'activité nautique ou de baignade :

Lors de baignades ou d'activités nautiques, les cyanobactéries sont en contact avec la peau. Elles peuvent provoquer des conjonctivites, des irritations de la gorge et des oreilles, des maux de tête, des diarrhées, de la fatigue et des vertiges. (G. Lanez – 2005)

10.3-Comment limiter la prolifération des cyanobactéries :

Puisque les cyanobactéries ont besoin du phosphore et de l'azote pour croître, l'apport de ces nutriments (et particulièrement du phosphore) dans le lac se doit d'être restreint. Ces nutriments proviennent principalement de l'utilisation d'engrais ou de compost, du transport de sédiments dans l'eau de ruissellement, d'activités forestières ou piscicoles et/ou de rejets d'eaux usées provenant des secteurs résidentiel, municipal, agricole et industriel. En ayant une bande de végétation qui ceinture le lac et les ruisseaux, une partie des nutriments et des polluants sont ainsi filtrés. Il faut également

s'assurer d'avoir une installation sanitaire conforme et que la vidange soit faite régulièrement. (CRE laurentide ;2009)

11-les fleurs d'eau de cyanobactéries:

Une multitude de termes se rattachant au phénomène des cyanobactéries sont utilisés dans la littérature, ce qui peut parfois porter à confusion.

Les termes «fleur d'eau», «floraison», «efflorescence», et en anglais «bloom» ou «HAB (harmful algal bloom)» désignent le résultat d'une prolifération massive de cyanobactéries pouvant persister plus ou moins longtemps. Une perte de diversité spécifique dans le phytoplancton est conséquemment observée alors qu'une ou deux espèces deviennent largement dominantes. Lorsque les cyanobactéries prolifèrent à la surface, des agrégats flottants appelés «écumes» ou «mousses» et en anglais «scums» sont souvent observés. (Isabelle Lavoie1,et al)

11.1-Eutrophisation et les fleurs d'eau :

L'**eutrophisation** est le processus de vieillissement naturel d'un lac qui se voit grandement accéléré par les activités humaines dû à l'enrichissement excessif en nutriments. Ce phénomène peut se traduire par une surabondance de plantes aquatiques, d'algues ou de cyanobactéries.

Les statuts trophiques d'un milieu aquatique se définissent ainsi :

- Oligotrophe : < 10 µg par litre
- Mésotrophe : 10-30 µg par litre
- Eutrophe : 30-100 µg par litre

Hypereutrophe : > 100 µg par litre (Isabelle Lavoie1, et al)

11.2- la persistance d'une fleur d'eau :

Les cyanobactéries ajustent leur flottaison pour chercher l'intensité lumineuse optimale en surface durant le jour et une richesse en éléments nutritifs en profondeur pendant la nuit. Il est donc fréquent que l'écume causée par une fleur d'eau disparaisse en fin de journée pour réapparaître le matin. Les fleurs d'eau disparaissent en fin de journée pour deux raisons principales. D'abord, les cyanobactéries ont accumulé suffisamment d'hydrates de carbone par l'activité photosynthétique ce qui augmente

leur densité. Ensuite, le vent, qui souvent se lève en fin de journée, disperse les cellules à travers la colonne d'eau. (Isabelle Lavoie, et al)

12-Les toxines :

Il existe plusieurs types de toxines que l'on peut classer soit en fonction de leur mode d'action, soit en fonction de leur structure.

12.1-Neurotoxines : Elles sont regroupées en 3 familles qui sont (Afssa/Afsset 2006):

12.1.1-Les anatoxines, alcaloïdes parmi lesquels on trouve :

- **L'anatoxine a**, amine secondaire de 165 daltons, est soluble dans l'eau, peu stable et rapidement dégradée dans l'environnement. Chez la souris sa DL50 est de 250µg/kg en intra péritonéale et de plus de 5000µg/kg par voie orale.
- **L'anatoxine a(s)** est un ester de phosphate de 252 daltons, instable au pH alcalins et à la chaleur. Sa DL50 chez la souris par voie intra péritonéale est de 20µg/kg.

La mort survient par arrêt respiratoire. (Silvano Jérémy ;2005)

➤ Structure chimique :

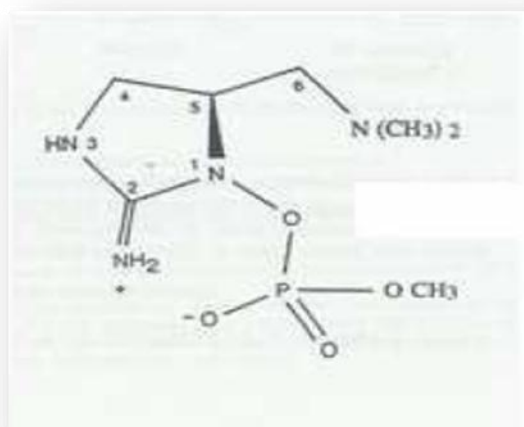


Figure 5 : Structure chimique de l'anatoxine A (S). (Silvano Jérémy ;2005)

❖ Mode d'action de l'anatoxine A (S).

Les études *in vitro* montrent que cette toxine est un inhibiteur de l'acétylcholinestérase. Son mécanisme d'action est similaire à celui des insecticides organophosphorés et des carbamates. Cependant, elle n'agit que sur l'acétylcholinestérase périphérique (COOK W.O et all, 1989)

Les tests cinétiques permettent de distinguer une inhibition compétitive d'une inhibition non compétitive. Ces tests sur l'anatoxine A (S) montrent qu'elle est un inhibiteur non compétitif.

L'inhibiteur empêche le site actif de l'acétylcholinestérase de fonctionner. L'enzyme est bloqué et ne peut hydrolyser normalement l'acétylcholine. Le site actif de l'enzyme est occupé momentanément ou durablement par l'inhibiteur. Comme les organophosphorés ou les carbamates, l'anatoxine-A (S) est un inhibiteur irréversible (Segel T.H ;1975).

C'est un inhibiteur très puissant, plus puissant que de nombreux organophosphorés.

Les études menées pour évaluer l'interaction entre l'anatoxine-A (S) et l'acétylcholinestérase ont montré que la liaison du substrat et celle des inhibiteurs irréversibles impliquent l'attachement à deux sites de fixation sur la molécule d'acétylcholinestérase. Ces 2 sites sont distant de 5 Å et constituent le site actif de l'enzyme. (Silvano Jérémy ;2005)

Le premier est le site anionique, qui lie la partie cationique du substrat ou de l'inhibiteur. Le second site de l'enzyme est le site d'hydrolyse.

Le mécanisme d'attachement de l'anatoxine-A (S) utilise les deux sites de fixation de l'acétylcholinestérase, mécanisme analogue à celui de l'acétylcholine, mais de façon irréversible (MAIN A.R. 1980) (Silvano Jérémy ;2005)

12.1.2-Les saxitoxines qui forment une famille de 25 variants d'alcaloïdes à noyau tétrahydropuriques. Leur poids moléculaire varie de 241 à 491 daltons. Elles sont très stables dans l'eau.

Par chromatographie sur couche mince et HPLC, on a montré que l'aphantoxine I était la néosaxitoxine (neoSTX), et l'aphantoxine II la saxitoxine (STX),

cyanotoxines les mieux connues aujourd'hui. D'autres aphanotoxines existent, mais sont plus difficilement identifiables.

La saxitoxine STX est la toxine la plus puissante : la DL50 chez la souris est de 10 µg/kg lors d'une injection intrapéritonéale.

12.1.3-La BMAA ou β-méthylamino-L-alanine : molécule de type acide aminé.

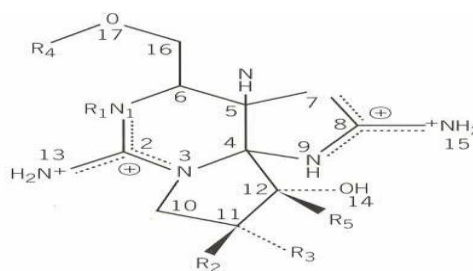
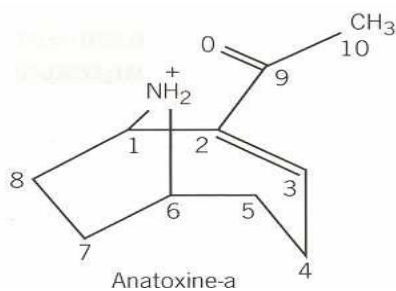


Figure 6 : Structure de l'anatoxine-a **Figure 7** : Structure générale des Saxitoxine

12.2-Hépatotoxines : Ce sont les toxines les plus fréquemment rencontrées lors de proliférations. On distingue 3 grandes familles (Affsa/Afsset 2006) qui sont :

12.2.1-Les microcystines : peptide cyclique de 7 acides aminés. On distingue plus de 80 variants de masse moléculaire comprise entre 800 et 1100 daltons. Les variants proviennent majoritairement de substitution d'acide aminé en position 2 et 4 ou bien du retrait/ajout d'un groupement méthyle sur les acides aminés 3 et 7. Les microcystines sont solubles dans l'eau et très stable dans l'environnement.

Si plusieurs microcystines sont présentes dans une souche, généralement, 90% de la toxicité est due à une ou deux microcystines, la plus répandue étant la microcystine L-R. La microcystine LR (pour leucine en 2 et arginine en 4) étant la plus toxique en intra péritonéale.

La nodularine (NOD) est un peptide cyclique de cinq acides aminés pesant 824 Da (figure 2.2). Il existe sept variantes structurales à la NOD dont la structure générale est un cycle de [D-MeAsp1-L-Arg2- Adda3- D-Glu4- Mdhb5] (Van Apeldoorn *et al.*, 2007).

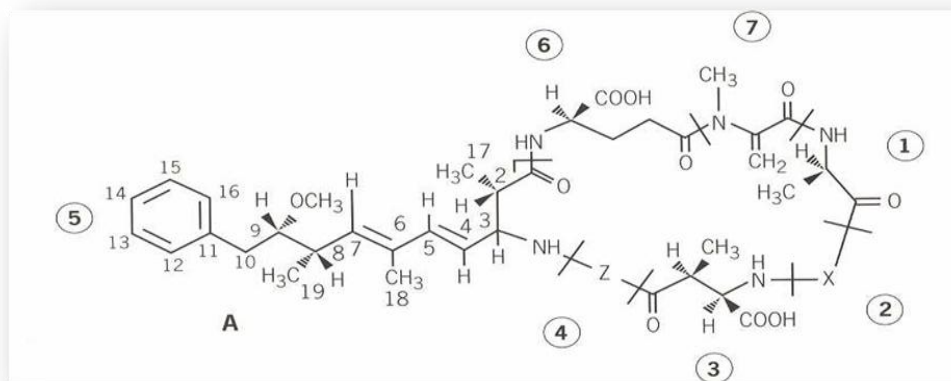


Figure 8 : Structure générale des microcystines

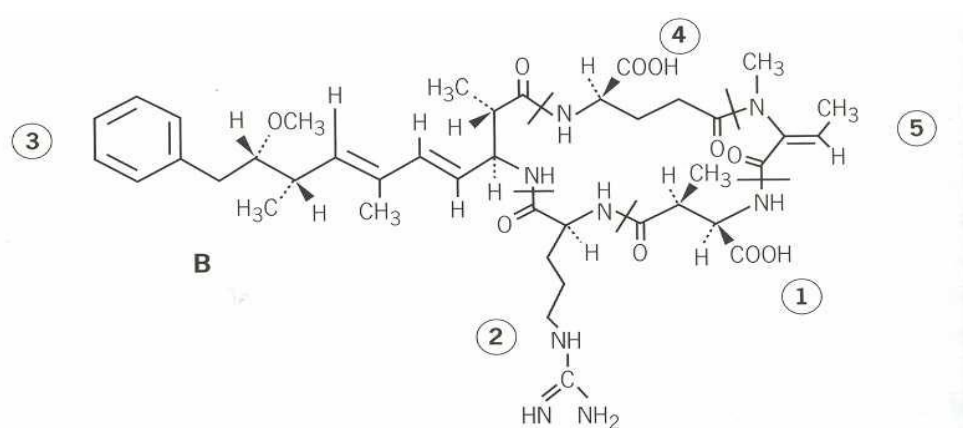


Figure 9 : Structure générale de la nodularine

➤ **Histopathologie :**

Le foie est la cible privilégiée des microcystines et des nodularines.

L'intoxication par les microcystines aboutit à une nécrose centrolobulaire rapide diffusant largement à travers l'organe. Les cellules endothéliales et les hépatocytes se dissocient par disjonction des cellules au niveau des desmosomes. Les tonofilaments ou filaments intermédiaires des desmosomes sont affectés par les microcystines (Toivola D.M ,et all, 1997).

Lors de la lyse des hépatocytes, les membranes se vésiculisent.

Enfin, les cellules endothéliales des canalicules biliaires se dilatent et perdent leur ancrage tubulaire.

Transformations intracellulaires : les hépatocytes avant la rupture de la membrane cellulaire présentent des transformations intracellulaires rapides. Elles débutent environ 10

minutes après l'injection. La réponse la plus courante aux injections létales, sublétales ou supralétales est la transformation du réticulum endoplasmique rugueux en vésicules, l'augmentation de volume des mitochondries qui deviennent sphériques et entrent en division, ainsi que la perte partielle ou totale des ribosomes du REG (Réticulum Endoplasmique Granuleux). Le fonctionnement de la chaîne des électrons est rompue. On constate aussi l'incorporation de composés cellulaires dans les lysosomes (**Dabholkar A.S., Carmichael W.W. 1987**). (**Silvano Jérémy ;2005**)

12.3-Les molécules à effets irritants ou LipoPolySaccharides (LPS): Il en existe de 2 types :

12.3.1-Des alcaloïdes dermatotoxiques : comme *l'aplysiatoxine*, *la debroaplysiatoxine* et *la lyngbyatoxine-a*. Ces molécules ont été identifiées dans les eaux de mer, telles que *Lyngbya*, *Oscillatoria* et *Schizothrix*, mais pas encore dans les eaux douces.

Les dermatotoxines lyngbyatoxines A et *aplysiatoxines* peuvent créer des dermatites sévères chez les baigneurs lorsqu'ils rentrent en contact avec des filaments bactérien (irritation cutanée, oculaire, respiratoire)[2]. Elles sont connues pour causer des dermatites, empoisonnements et morts d'animaux au Japon et à Hawaï (**Banner A.H. 1959**) (**Osborne N.J.,Et All. 2001**).

L'activité inflammatoire de *Lyngbya* est due aux aplysiatoxines et debromoaplysiatoxines qui sont potentiellement promotrices de tumeurs (**Mynderse J.S,et all. 1977**).

D'autres cyanobactéries du genre *Lyngbya* ont été à l'origine de dermatites et d'inflammations gastro-intestinales chez l'homme (**Cardellina J.H. et all. 1979**).

-Les aplysiatoxines : Les aplysiatoxines et debromoaplysiatoxine qui sont des promoteurs tumoraux potentiels et des activateurs de protéines kinase C ont une activité inflammatoire.

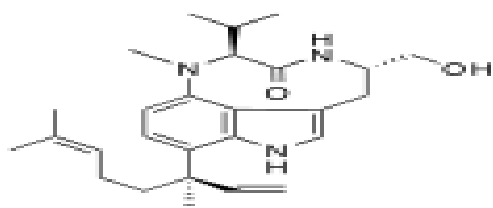


Figure 10 : Structure moléculaire de l'aplysiatoxine. (Silvano Jérémy ;2005)

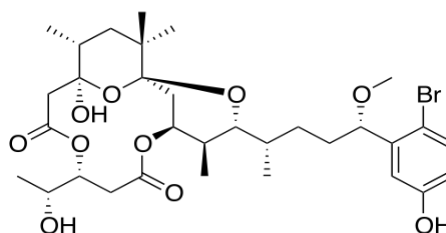


Figure 11: Structure moléculaire de longbiatoxine (Silvano Jérémy ;2005)

12.3.2-Les lipopolysaccharides (LPS) : constitutifs de la paroi cellulaire présent dans toutes les espèces de cyanobactéries. Ils pourraient également être responsables d'effets gastro-intestinaux en cas d'ingestion ainsi que d'irritation et d'inflammation des voies aériennes supérieures. (Blais ;2002).

12.4-Les cytotoxines :

➤ La cylindrospermopsine et son analogue :

Les études récentes montrent que *la cylindrospermopsine* possède un mode d'action différent de celui des hépatotoxines, aujourd'hui cette toxine n'est plus considérée comme une hépatotoxine. (valérie dumont ;2006)

La cylindrospermopsine possède une structure chimique radicalement différente de celles des

hépatotoxines avec, en particulier, une unité guanidine cyclique. La cylindrospermopsine est une toxine très polaire et très soluble dans l'eau avec une structure de Zwitterion. Sa masse moléculaire est de 415. La cylindrospermopsine a été trouvée dans des espèces des genres *Cylindrospermopsis*, *Umezakia* et *Aphanizomenon*. (valérie dumont ;2006)

Un analogue, **la désoxycylindrospermopsine** a été identifiée et isolée récemment. Il s'est avéré nettement moins toxique. (valérie dumont ;2006)

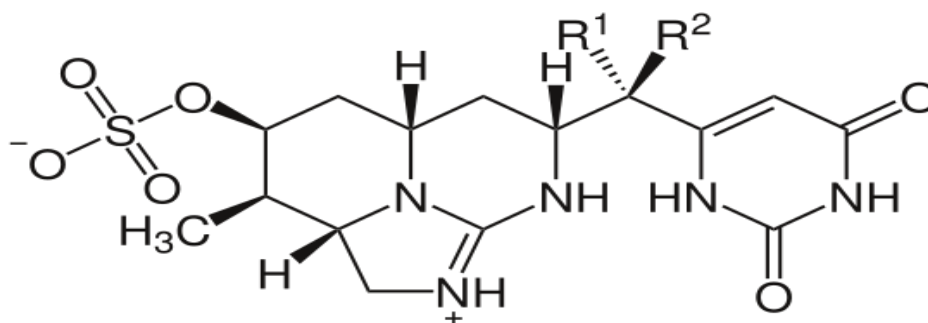


Figure12 : Structure moléculaire générale des cylindrospermopsines

12.5-Autres composés bioactifs :

Les cyanobactéries sont connues pour produire de nombreux autres composés bioactifs, certains ayant un intérêt médical (antitumoraux, antiviraux, antibiotiques, antifongiques) de même que des composés toxiques pour les autres cyanobactéries, les bactéries, les algues et le zooplancton. (valérie dumont ;2006)

13- facteurs influençant la production des toxines :

Parmi les facteurs qui influencent la production des cyanotoxines on peut citer :

13.1-La croissance cellulaire : Il semble qu'il y ait une corrélation linéaire entre le taux de division cellulaire et la concentration intracellulaire en microcystine chez *M. aeruginosa*. Le taux de microcystine serait maximal durant la phase exponentielle de croissance et diminuerait à la fin de celle-ci. (Lavoie et al., 2007)

13.2-L'intensité lumineuse : Il existe une corrélation positive entre la lumière et la production de toxine. Tant que la lumière n'est pas en excès, elle stimule la croissance et donc la production de toxines jusqu'à un certain niveau d'éclairement. En effet, lorsque la lumière devient en excès cette production diminue. Une augmentation de l'intensité lumineuse peut également induire des changements dans la composition des microcystines. Ainsi il a été démontré que la variante la plus toxique (MC-LR) était produite en plus grande quantité par *Planktothrix agardhii* sous de fortes intensités lumineuses. Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que la lumière contrôle la transcription du gène *mcy*, responsable de la production de toxines. (Lavoie et al., 2007 ; Msagati et al., 2006).

13.3-Les nutriments et le fer : Le contenu cellulaire en microcystine serait plus fortement corrélé à la quantité d'azote total que de phosphore total. Une augmentation d'azote entraîne une augmentation de la concentration en microcystine ainsi qu'une augmentation du nombre de cyanobactéries toxiques. Le phosphore aurait donc une influence négligeable sur le contrôle des microcystines par les cellules, cependant les résultats des auteurs divergent et en particulier sur la détermination du ration N/P qui aurait une incidence sur la concentration de microcystines. Pour ce qui est du fer, les auteurs présentent également de résultats contradictoires. (Lavoie et al., 2007)

13.4-Effet du zooplancton : Il a été observé une augmentation de la production de microcystine par *Microcystis* lors d'une exposition directe au zooplancton. (Lavoie et al., 2007)

13.5-Température, pH : La température optimale de production de toxines s'étend de 15 à 25 °C, selon les espèces. Par exemple aux températures inférieures à 25°C, *Anabaena* sp. produit de la microcystine LR plutôt que de la microcystine RR, qui est préférentiellement produite à des températures supérieures. (Lavoie et al., 2007 ; Msagati et al., 2006).

14- les cyanotoxines :

Les cyanotoxines sont des molécules intracellulaires, de structures variées. Elles sont synthétisées par des cyanobactéries 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 (Tableau 3). De plus la quantité de toxines produite est très variable au sein d'une espèce et est fonction des conditions environnementales.

Nom	Toxine
<i>Anabaenacircinalis</i>	Anatoxines, Saxitoxines, microcystines
<i>Anabaenaplanctonica</i>	Anatoxine a
<i>Aphanizomenonflos-aquae</i>	Anatoxine a, saxitoxines
<i>Cylindrospermopsisiraciborskii</i>	Cylindrospermopsine, saxitoxines
<i>Lyngbyagracilis</i>	Debromoaplysiatoxines
<i>Microcystisaeruginosa</i>	Microcystines

<i>Oscillatoriasp</i>	Anatoxines a
<i>Planktothrixagardhii</i>	Microcystines
<i>Planktothrixrubescens</i>	Microcystines
<i>Raphidiopsis</i>	Cylindrospermopsine
<i>Woronichinianaegeliana</i>	Anatoxines a
Tableau 3: Liste de quelques unes des espèces de cyanobactéries potentiellement toxique et des toxines associées ayant déjà été observé en France.(Affsa/Afsset, 2006)	

15-Mécanismes d'action, pharmacocinétique et Métabolisme des cyanotoxines :

Bien que l'on connaisse leurs mécanismes d'action, les études réalisées sur les cyanotoxines sont peu nombreuses et ne permettent pas de décrire précisément leur pharmacocinétique et leur métabolisme.

-Les **neurotoxines** produisent leurs effets par des mécanismes d'action différents. L'anatoxine-a est une substance cholinergique qui mime le neurotransmetteur acétylcholine entraînant une dépolarisation de la jonction neuromusculaire (Carmichael, 1994; Pitois et al., 2000). L'anatoxine-a(s) est un organophosphate qui inhibe l'activité de l'acétylcholinestérase (Chorus, 2001). La saxitoxine et la néosaxitoxine inhibent la transmission nerveuse en bloquant les canaux sodiques (Carmichael, 1994; Pitois et al., 2000; Chorus, 2001).

-Concernant les **hépatotoxines**, une fois ingérées, les **microcystines** et la **nodularine** sont transportées à travers le tractus gastro-intestinal et concentrées dans les cellules hépatiques par un mécanisme de transport de l'acide biliaire (Duy et al., 2000). Une fois à l'intérieur des hépatocytes, elles se lient à des enzymes clés de la division cellulaire appelées protéines phosphatases (1 et 2A) et inhibent leur activité (Carmichael, 1994; Duy et al., 2000; US EPA, 2001). Ceci entraîne une hyperphosphorylation des protéines cellulaires qui conduira à une destruction progressive de la structure des hépatocytes et du parenchyme hépatique (Falconer et Yeung, 1992). Il faut noter qu'aucune étude pharmacocinétique n'a été réalisée en utilisant une administration par voie orale (Chorus et Bartram, 1999; AFSSA-AFSSET, 2006).

-La **cylindrospermopsine** inhibe la synthèse des protéines de façon non spécifique. Les reins et le foie sont principalement touchés mais d'autres organes peuvent être affectés comme les poumons, les surrénales, l'estomac, le pancréas et les intestins (Codd et al., 1999; Chorus, 2001).

-Concernant **les lipopolysaccharides**, leurs effets toxiques opéreraient par contact direct de la peau et des muqueuses exposées (OMS, 2004; Chorus, 2001). Il y a cependant peu d'informations actuellement sur les effets des lipopolysaccharides purifiées des cyanobactéries (Coddet *al.*, 1997; US EPA, 2001). Certaines études montrent que les lipopolysaccharides des cyanobactéries seraient dix fois moins toxiques que celles d'autres bactéries Gram négatif (Coddet *al.*, 1997; Hunter, 1998) et une étude a démontré que les lipopolysaccharides provenant de souches purifiées de cyanobactéries ne causent aucun effet allergique (Torokneet *al.*, 2001).

16-Pourquoi cette production de toxines ?

Différentes théories sont actuellement en discussion. La production de ces toxines pourrait contribuer à augmenter l'avantage compétitif des cyanobactéries dans le but d'atteindre la dominance du monde aquatique. En effet ces toxines pourraient être produites dans le but d'éliminer de potentiels compétiteurs pour les ressources ainsi que des prédateurs. La microcystine par exemple protégerait les cyanobactéries contre la prédation par le zooplancton. Mais les toxines auraient également des fonctions régulatrices du métabolisme cellulaire et interviendraient dans la croissance de la cellule. En effet, il semble que leur production soit liée au métabolisme primaire directement corrélé à la croissance cellulaire. (Lavoie *et al.*, 2007).

I-Description du site d'étude

1-Situation géographique :

Le site du barrage se trouve sur OUED EL HAMMAM dans la wilaya de SKIKDA au Nord-est de L'ALGERIE, la superficie du bassin versant de ce barrage est 485 km². Le bassin a une forme compacte triangulaire et comprend la branche Est de L'OUED EL HAMMAM (2/5) de la superficie totale, et la branche Ouest de L'OUED MOUGUER (3/5) de la superficie totale. La digue du barrage est implantée dans la partie de la wilaya de SKIKDA et les majeures parties des eaux sont stockées dans la partie de la wilaya de GUELMA.(**NABIL HARRAT & SAMIA ACHOUR,2011**)

Le barrage prend son nom au nom de l'agglomération de ZIT EL EMBA qui se trouve sur le versant droit de la vallée en amont du barrage. L'agglomération la plus proche est BEKKOUCHE LAKHDAR (GASTOU) qui se trouve à 1,5 km du site du barrage. La ville de Skikda est à 55 km du site du barrage, la ville d'Annaba est à 60 km. La figure 13 montre la situation géographique du barrage de ZIT EL EMBA. Initialement le barrage ZIT EL EMBA a été destiné à l'irrigation des périmètres situés en aval du barrage dans la vallée de L'OUED KEBIR-OUEST, mais ces dernières années la région souffre d'un déficit intense en eau potable et alors une partie des eaux accumulées a été destiné à la satisfaction des besoins de la population en eau potable. (**Nabil Harrat & Samia Achour, 2011**)



Figure 13 : Situation géographique du barrage de ZIT EL EMBA
(Google 2015)

2- Conditions climatiques :

Les conditions climatiques de la région d'étude sont prédéterminées par la situation géographique, le caractère de la circulation de l'air, l'effet thermique de la mer et le relief environnant. Les caractéristiques principales des facteurs climatologiques sont données d'après les données des observations des postes pluviométriques et des stations météorologiques disposant des données les plus représentatives (BELHADJ, 2006).

Climat :

Le bassin de L'OUED EL HAMMAM se trouve dans la région de la Méditerranée au climat subtropical qui se caractérise par un été sec et chaud et un hiver relativement doux et humide.

Température :

La température moyenne annuelle de l'air varie sur le territoire concerné de 17°C à 18°C.

Le mois le plus froid est janvier dont la température moyenne est $9,1^{\circ}\text{C}$ – $10,6^{\circ}\text{C}$. Parfois la température tombe brusquement jusqu'à ($- 3^{\circ}\text{C}$). Le mois d'été le plus chaud est le mois d'août, avec la température moyenne de $23,9^{\circ}\text{C}$ – $25,7^{\circ}\text{C}$. Les températures extrêmes ont pu atteindre certaines années $46,3^{\circ}\text{C}$ - $47,6^{\circ}\text{C}$ (**ADE, 2007**).

Les vents :

La caractéristique des vents est donnée d'après les résultats des observations sur la station météorologique de Skikda. Les vents prédominants sur le territoire concerné sont ceux des quarts de Nord et de Sud. La vitesse maximale des vents est en hiver ; en été les vitesses sont plus modérées. La vitesse moyenne maximale est de 27m/s ; pendant les rafales, la vitesse peut atteindre 40 m/s (**BELHADJ, 2006**).

Précipitations :

Les précipitations dans la région sont réparties inégalement, la pluviométrie augmente en fonction de l'altitude. Sur la majeure partie du bassin le total des précipitations ne dépasse pas 700 mm , elles peuvent atteindre 900 – 1200 mm sur la chaîne des montagnes qui encercle la surface du bassin versant. (**Nabil Harrat & Samia Achour ,2011**)

Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausсен :

Le diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausсен nous permet de mettre en évidence la période sèche de notre zone d'étude. Il est tracé avec deux axes d'ordonnées ou les valeurs de la pluviométrie sont portées à une échelle double de celle des températures. (**BAGNOULS F. ET GAUSSEN H., 1957**)

Nous observant une saison sèche s'étalant entre le mois de Mai et le mois de Septembre, et une saison humide s'étalant du mois d'Octobre au mois de Mai. (Fig.14).

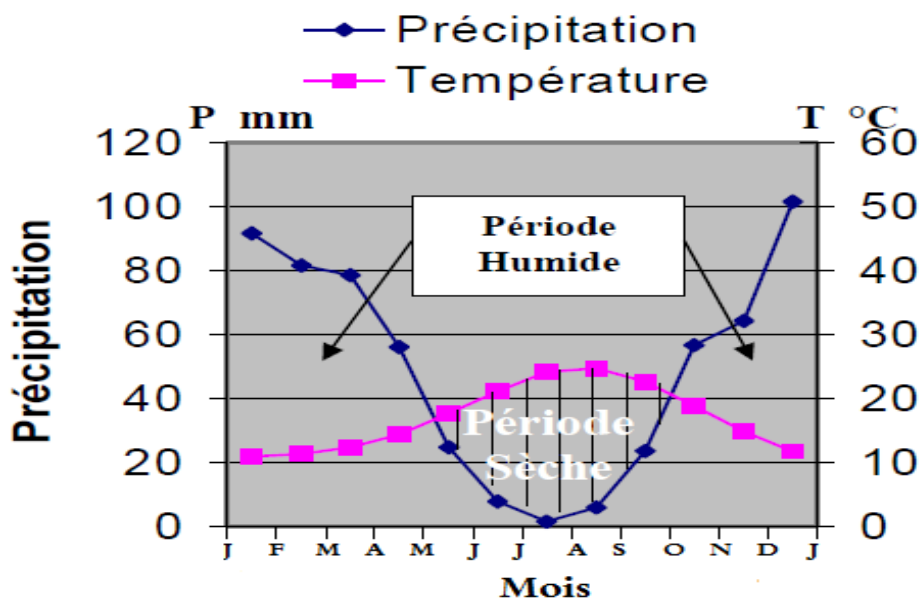


Figure 14 : Diagramme pluviothermique de la région de Skikda.

3-Description de la station de production d’eau potable D’AZZABA et différents étapes de traitement :

La station de traitement des eaux potables D’AZZABA a été conçue pour une capacité de 300 l/s, au niveau de la daïra D’AZZABA, dans la wilaya de SKIKDA, la figure suivante présente une vue de haut de la station étudiée (NABIL HARRAT & SAMIA ACHOUR,2011)



Figure 15: Vue de haut de la station de traitement des eaux potables ; AZZABA, wilaya de SKIKDA (Source : ADE SKIKDA, 2007).

La station de traitement D’AZZABA a été mise en service en 2008. La chaîne de traitement des eaux arrivant du barrage de ZIT EL-EMBA est constituée par les étapes de traitement suivantes :

- Prétraitement (Dégrillage et pré-chloration).
- Coagulation-floculation
- Filtration sur sable
- Post-chloration
- Stockage puis distribution
- Traitement des boues par hydratation sur les lits de séchages (Nabil

Harrat & Samia Achour ,2011)

II. Matériel et méthode :

1-Echantillonnage :

1-1- Choix des stations et période de prélèvement:

Ce travail porte sur l’étude physico-chimique et l’inventaire des cyanobactéries des eaux du barrage Zit el-emba (ou Zit Emba). Il est réalisé sur une période de deux mois (mars et avril 2015), avec deux prélèvements pour les deux stations.

TableauN° (04) : Présentation des sites et période de prélèvement.

Station de prélèvement	Date et Heure de prélèvement	
S1	1	21/03/2015 à 10h00
	2	25/04/2015 à 10h00
S2	1	21/03/2015 à 12h00
	2	25/04/2015 à 12h00

1-2-Mode de prélèvement des échantillons:

Les choix des stations est un choix raisonné puisque les différents constituants du barrage ne sont pas homogènes pour toutes les régions de l'écosystème aquatiques, pour cela, deux stations d'échantillonnage ont été sélectionnées (S1 et S2), à une profondeur de 20 à 30cm,(Fig.16)

Une quantité d'eau (environ 1L) est prélevée aseptiquement dans la colonne d'eau, puis on a ajouté 5 ml du Lugol pour fixer les cyanobactéries.



Figure 16: Localisation des stations de prélèvement.

2- Analyse des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques mesurés sont : la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique et la salinité, à l'aide des sondes d'un

multiparamètre de terrain de marque WTW inoLab Multi 720 (fig.17). Les mesures ont été effectuées *in situ* à chaque station, pour chaque campagne d'échantillonnage.

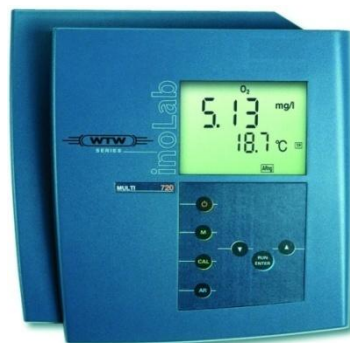


Figure 17 : Le multiparamètre inoLab Multi 720(<http://www.borkim.com.tr>)

2-1- La température :

Ils est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, En effet, celle –ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH.

D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et de leur origine (**Leclerc ,1996**).

La mesure de la température est effectuée sur terrain . On utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètre. La lecture est faite après une immersion de 10 minutes. (**Rodier, 1996**).

2-2- Le pH :

Le pH représente le degré d'acidité ou alcalinité du milieu aquatique, le pH des écosystèmes aquatiques est utilisé comme paramètre substitut pour représenter les relations complexes entre la chimie de l'eau et les effets biologiques (**Bousaaroura, 2011**).

2-3- L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des microorganismes aquatiques généralement le fonctionnement de cet écosystème. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux

dégagements d'odeur. Sa solubilité est en fonction de la température, la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité (**Rodier, 1996**).

2-4- La salinité :

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité), d'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin certains sont essentiellement déterminés par la qualité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

La salinité moyenne mesurée est 0.3. Elle arrive à un maximum de 0.7 pendant la période sèche, et à minimum de 0.1 due probablement à l'effet de dilution pendant la période pluviale (**Bousaaroura, 2011**).

2-5-La conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (**Rodier, 2009**).

3-Etude des cyanobactéries :

3-1- Analyse quantitative et qualitative des cyanobactéries :

Pour une analyse quantitative et qualitative des cyanobactéries, les prélèvements sont effectués avec les mêmes fréquences que pour l'étude physico-chimique.

L'échantillon de phytoplancton est fixé sur le terrain à l'aide d'une solution de Lugol alcalin afin d'obtenir une concentration finale d'environ 0,5 % dans l'échantillon, soit environ 8 gouttes pour 100 ml (ou 2,5 ml pour un flacon de 500 ml). Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair, orangée.

À partir des échantillons d'eau brute fixés au Lugol, un sous échantillonnage de 25 ml a été réalisé après agitation et homogénéisation, on le laisse se sédimenter dans une éprouvette graduée pendant 24 h, on garde que 5ml se trouvant en bas et qui présente le sous échantillon, et on se débarrasse du reste, et à partir de cette petite

quantité on fait notre analyse quantitative et qualitative en même temps selon la méthode de comptage **d'UTERMÖHL (1958)**

3-1-1-L'identification des cyanobactéries:

Dans un premier temps les échantillons destinés à la détermination des espèces sont analysés comme suit :

Après le dépôt des espèces formolées ou lugolées au fond du flacon, une goutte d'eau est prélevée au fond à l'aide d'une pipette pasteur de 20 µl. Cette goutte est déposée entre lame et lamelle et observée au microscope optique à l'objectif (100x) suivant un parcours horizontale sur toute la longueur de la lamelle, cette opération est répétée 3 fois en se décalant nettement sur hauteur de la lamelle, d'environ un champ de microscope, afin d'éviter tout chevauchement.

L'identification est basée sur l'observation des caractères morpho-anatomique (couleur, taille, forme), sous microscope optique, représentant les clés d'identification proposées par **Fott, 1969 ; Bourelly, 1970, 1972 ; Pestalozziet al, 1983 et John et al, 2001 .**

Les principaux critères retenus sont :

- La structure de la micro-algue (unicellulaire ou filamenteuse).
- La présence ou non : d'une gaine gélatineuse et cellules particulières

3-1-2-l'abondance :

Elle est exprimée en nombre de cellules phytoplanctoniques dans un volume d'eau déterminé (ind/l). En tant que concept écologique, l'abondance est une composante importante de la diversité (**HURLBERT, 1971**). La méthode de comptage **d'UTERMÖHL (1958)** a été adoptée pour l'étude quantitative du phytoplancton. Cette technique s'appuie sur la sédimentation des organismes dans une cellule de comptage pendant 24 heures .Le comptage est effectué à l'aide d'un microscope inversé OLYMPUS, et d'un objectif 40 avec des balayages de plus de 80% de la surface de la cellule. Mais pour faire ca, on a utilisé le microscope oculaire optique pour l'analyse quantitative et qualitative en calculant la moyenne de trois échantillons de 20 µl de la solution mère.

3-1-3- Diversité globale :

Selon **Magurran (1988)**, la diversité d'un échantillon ou d'un site à échantillonner peut être étudiée par l'emploi de plusieurs méthodes. Celles-ci peuvent être des méthodes univariées (richesse spécifique, indice de diversité), des méthodes graphiques (diagramme rangs-fréquences...), ou des méthodes multi variées (Analyse Factorielle de Correspondances, Analyse en Composantes Principales...).

3-1-4- Indice de diversité :

L'introduction, par les écologistes, de la notion de la diversité spécifique avait pour but de rendre compte de l'inégale répartition des individus entre les espèces. Parmi les indices établis pour l'estimation de cette diversité, l'indice de Shannon (Ish) est largement utilisé pour décrire la diversité du phytoplancton et l'état de l'écosystème, c'est un indice d'abondance basé sur la diversité spécifique.

L'indice de diversité de Shannon (Ish) relatif à un échantillon correspond à la valeur en bits

calculée à partir de la formule :

$$H = \sum P_i \log_2 P_i$$

$$P_i = n_i/N$$

n_i : nombre d'individu d'espèce i

N : nombre total des individus

Il donne une indication sur la démographie au niveau de la station (**Blondel et al, 1973**).

I-RÉSULTATS ET DISCUSSION :

1-Paramètres physico-chimiques :

Le style de vie des cyanobactéries implique une dépendance vis-à-vis des facteurs physico-chimiques de l'environnement tels que la température, oxygène, pH. (Mary I., 2003).

1-1-Température:

Les variations de température peuvent tuer certaines espèces aquicoles, mais également favoriser le développement d'autres espèces, ce qui entraîne un déséquilibre écologique. (Arrignon, 1991)

Lors des prélèvements des températures de surface du barrage, pendant les deux mois (Mars, Avril), l'évaluation des températures au niveau des deux stations étudiées et selon la figure 18, montre que la température est 16.9°C-16°C au mois de Mars à et 20.7°C-20°C au mois d'Avril.

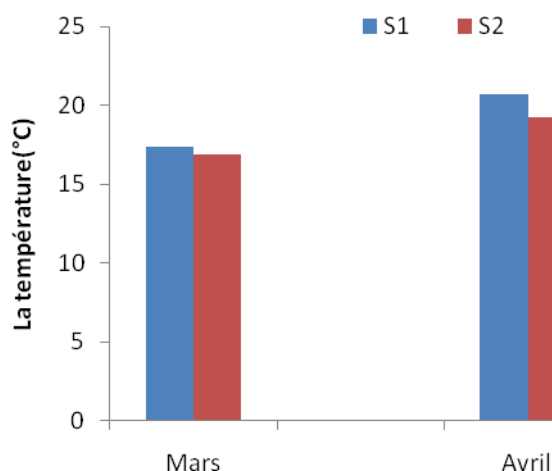


Figure 18 : Variations de la température de l'eau.

1-2- Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le potentiel d'hydrogène des eaux varie à la conséquence de différentes causes endogènes (dégradation de la flore et de la faune) et exogènes (températures, apports en éléments nutritifs)

Les valeurs de pH, telles que représentées dans la figure 19 montrent des variations au cours des deux mois.

Les valeurs de pH, enregistrées au cours de la période d'étude, atteignent une valeur minimale de 6.52, et une valeur maximale de 7.47 enregistrées au mois de Mars.

Selon **Stumm et Morgan (1996)**, le pH dans les systèmes lacustres varie de 6 à 10 selon le degré trophique. Il augmente en période à forte production primaire.

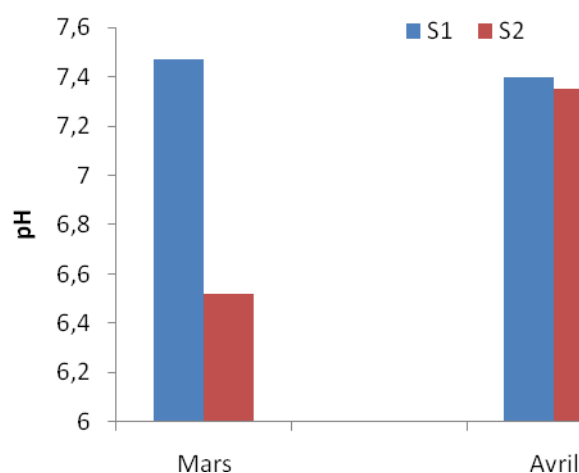


Figure 19 : Variations du pH de l'eau.

1-3-Oxygène dissous :

La teneur dans l'eau de l'oxygène dépend de la température : si elle augmente, la solubilité de l'oxygène diminue, elle dépend de la pression atmosphérique : si cette dernière augmente la solubilité de l'oxygène croît. La dissolution est facilitée par le brassage. L'oxygène présent dans l'eau est également d'origine biologique par la fonction chlorophyllienne exercée par les végétaux, les algues planctoniques dans les écosystèmes aquatiques. L'oxygène dissous est considéré comme l'élément le mieux explicité des variations de la densité phytoplanctonique (**Arrignon, 1999**).

Les valeurs enregistrées durant cette période nous révèlent qu'au mois de Mars, nous avons constaté que le taux d'oxygène dissous est très élevé avec des valeurs 2.15 à 2.22 mg/l, d'où une sursaturation du milieu en oxygène, et également à une forte agitation des masses d'eau, et durant le mois d'Avril, nous avons constaté que le taux

d'oxygène dissous est très faible avec des valeurs de 1.45 à 1.62 mg/l, et également à une agitation faible des masses d'eau (Fig.20)

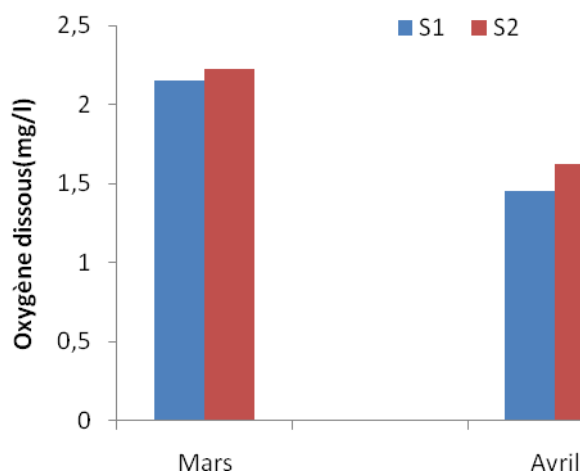


Figure 20 : Variations d'oxygène dissous de l'eau.

1-4- Conductivité électrique :

La conductivité électrique des eaux du barrage varie très peu au cours de la période d'étude. Elle était en moyenne de l'ordre de 725 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pratiquement dans tous les sites de prélèvements. (Fig21), sa valeur varie en fonction de la température.

Les fortes valeurs de conductivité mesurées sont expliquées par la chaleur d'été qui provoque une augmentation en minéraux dissous par évaporation de l'eau. Pendant l'hiver ; les valeurs de la conductivité sont un peu faible car les eaux de pluies constituent une véritable dilution qui diminue les concentrations des ions dissous.

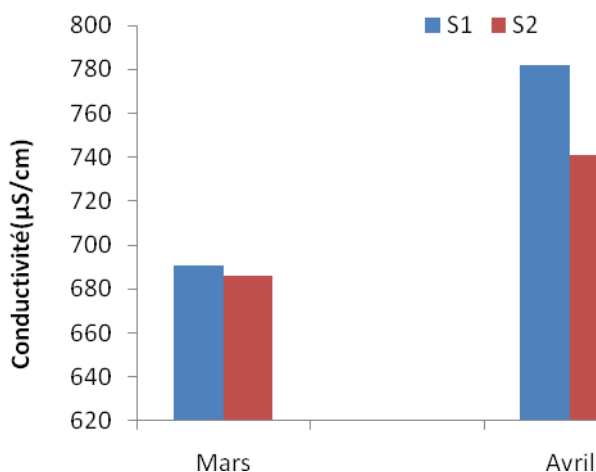


Figure 21 : Variations de la conductivité électrique de l'eau.

2-Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries:

2-1-Analyse qualitative :

2-1-1-Diversité globale :



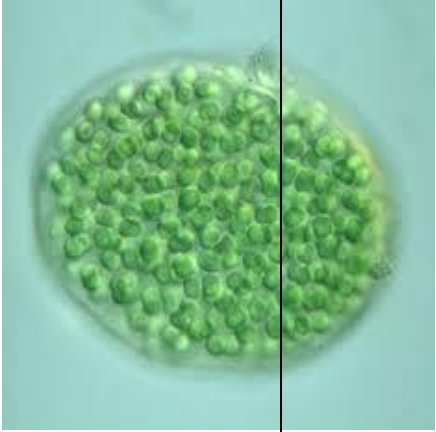

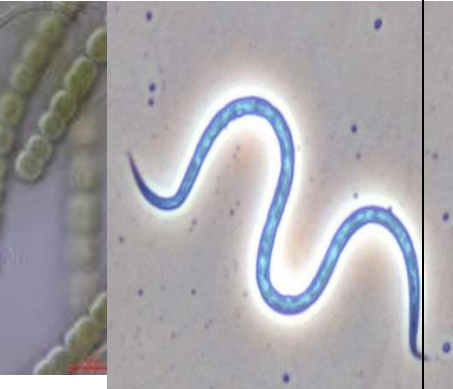

❖ Richesse spécifique

L'observation des caractères morpho-anatomiques des cyanobactéries récoltées dans le barrage nous a permis d'identifier 09 genres (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, *Microcystis*, *Pseudanabaena*, *Cylindrospermopsis*, *Oscillatoria* et *Spirulina*) et 11 espèces (**Fig 22, Tab.5**). Des neuf genres identifiés, six se présentent sous forme filamenteuses et trois sous forme coloniales. La diversité générique mensuelle de cyanobactéries identifiées au cours de ce travail est représentée dans la **Figure 22**. Les espèces *Microcystis aeruginosa* et *Pseudanabaena sp* ont une densité similaire dans chaque station et pendant les deux mois.

Tableau 5: Diversité générique des cyanobactéries répertoriées dans le barrage de Zit El-emba.

Mois Stations	S1	S2
Mars	<i>Anabaenaminiata</i> <i>Aphanocapsasp</i> <i>Chroococcussp</i> <i>Microcystisaeruginosa</i> <i>Oscillatoriasp</i> <i>Pseudanabaenasp</i>	<i>Aphanocapsasp</i> <i>Chroococcussp</i> <i>Microcystisaeruginosa</i> <i>Pseudanabaenasp</i>

Avril	<i>Anabaenaminiata</i> <i>Aphanizomenon</i> sp <i>Chroococcuslimneticus</i> <i>Chroococcus</i> sp <i>Cylindrospermopsis</i> <i>Microcystisaeruginosa</i> <i>Oscillatoriasp</i> <i>Pseudanabaenasp</i> <i>Spirulinasp</i>	<i>Aphanizomenon</i> sp <i>Chroococcusglobosus</i> <i>Chroococcuslimneticus</i> <i>Cylindrospermopsis</i> <i>Microcystisaeruginosa</i> <i>Pseudanabaenasp</i>
-------	--	--

Les formes filamenteuses		Les formes coloniales
A : <i>Anabaena</i>	B : <i>Aphanizomenon</i>	G : <i>Aphanocapsa</i>
		
C : <i>Pseudanabaena</i>	D : <i>Cylindrospermopsis</i>	H : <i>Chroococcus</i>
		

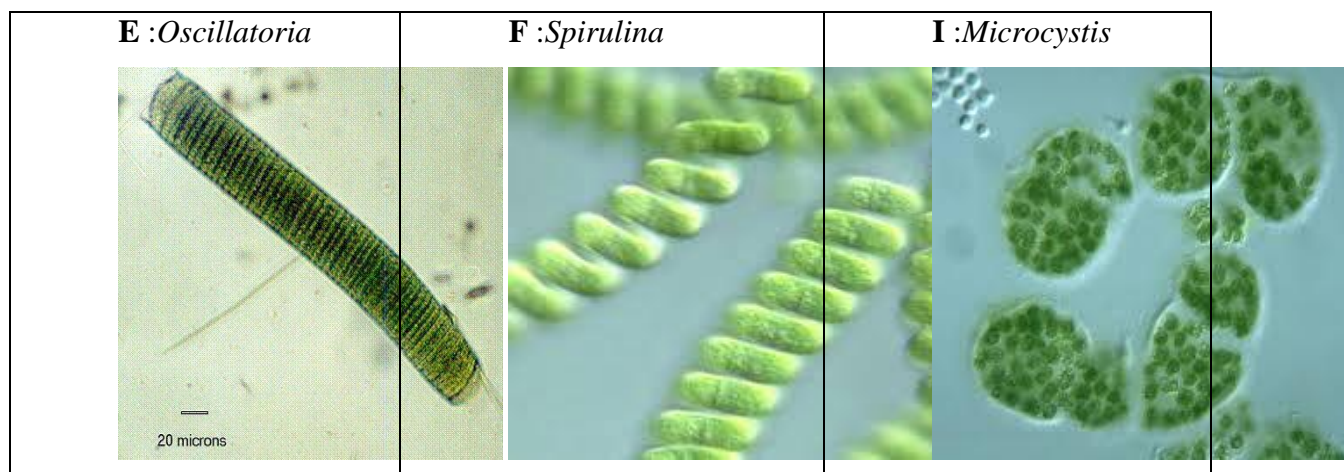


Figure 22 : Les genres des cyanobactéries identifiées.

(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria>)

La plus grande diversité générique est observée pendant le mois d'Avril au moment où la température enregistrée entre 19.2°C et 20.7°C. Il est à remarquer que les espèces *Cylindrospermopsis sp*, *Spirulina sp*, *Aphanizomenon sp* et *Chroococcus limneticus* sont présents au mois d'Avril. Par contre, les espèces *Microcystis aeruginosa* et *Pseudanabaena sp* ont été observées dans les deux mois.

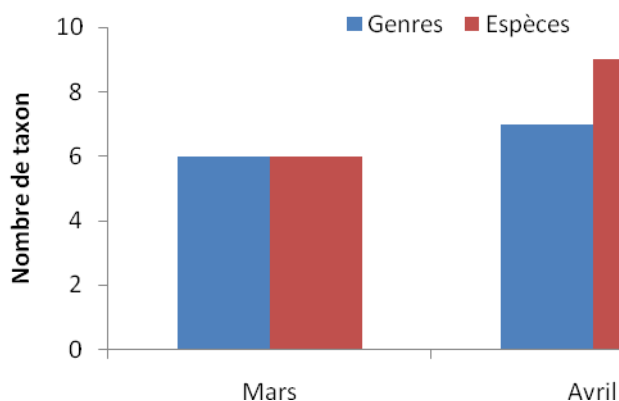


Figure 23 :Evaluation de la richesse spécifique.

On trouve dans les eaux du barrage une distribution des genres à des taux de 54% dans en Avril, et 46% dans le mois de Mars, et la distribution des espèces a des taux de 60% dans le mois d'Avril, et 40% pour le mois de Mars(**Fig.24**).

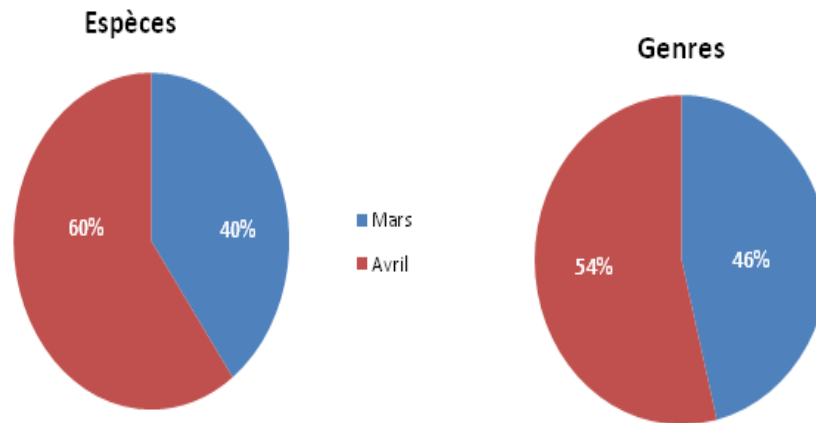


Figure 24 : Proportion des genres et espèces dans les deux mois.

❖ **Indice de diversité :**

Un indice de diversité a été calculé au mois de Mars et Avril. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon est calculé, à partir de la moyenne mensuelle de la densité totale des individus (basé sur les effectifs) pour chaque mois. (**fig.25**)

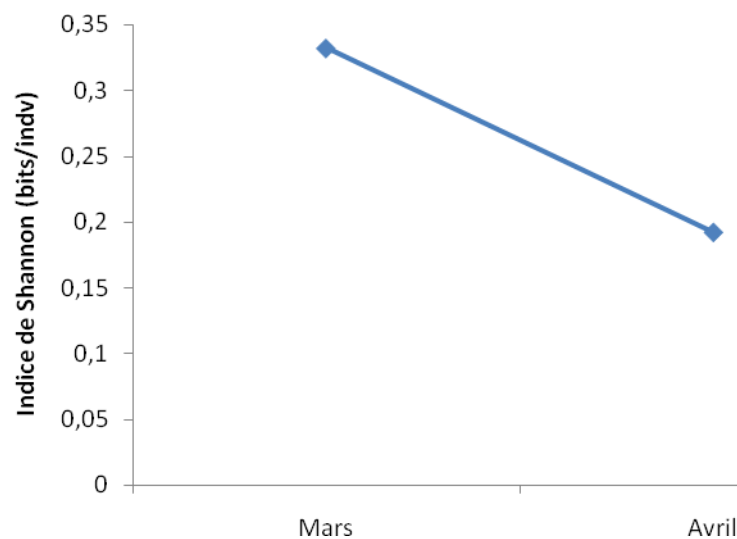


Figure 25 : Variations de l'indice de diversité de Shannon.

L'indice de Shannon représente toute une quantité d'information sur la structure du peuplement d'un échantillon donné et sur la manière de répartition des individus entre différentes espèces.

Cet indice a montré que la diversité spécifique calculée à partir des effectifs varie de 0,33 bits/indv en mars à 0,19 bits/indv en Avril.

II. Conclusion :

Notre étude nous a permis de constater que les paramètres physico-chimiques influencent directement sur la croissance des cyanobactéries et ca explique leur abondance variée dans Le barrage ZIT EL-EMBA qui assure des bonnes conditions de prolifération. La température est le facteur critique contrôlant la production primaire dans les milieux aquatiques, favorisant ainsi l'accélération des processus métaboliques au niveau de la colonne d'eau.

L'étude qualitative des cyanobactéries de barrage ZIT EL-EMBA a montré l'existence de 14 espèces (*Anabaenaminiata.*, *Aphanizomenon sp*, *Aphanocapsa sp*, *Chroococcus sp*, *Microcystis aeruginosa* *Chroococcus globosus*, *Chroococcus limneticus*, *Pseudanabaena sp*, *Cylindrospermopsis sp*, *Oscillatoria sp*, *Spirulina sp*). *Microcystis aeruginosa* et *Pseudanabaena sp* sont les plus abondantes dont deux les stations et pendant les deux mois de prélèvement.

L'étude quantitative des cyanobactéries révèle des densités élevées durant ceci. elles sont favorisées par les réchauffements climatiques associés à la stabilité hydrodynamique de la colonne d'eau et à l'ensoleillement. C'est en période froide que la croissance de ces micro-algues se trouve ralentie en raison des basses températures, des faibles conditions d'éclairement, des précipitations et du brassage des eaux par le vent.

On peut considérer que le développement excessif des cyanobactéries est le plus souvent associé à la conjoncture de plusieurs facteurs complexes. Cependant, un facteur essentiel à leur croissance est l'enrichissement en éléments nutritifs.

Perspectives :

Bien que cette étude apporte des informations importantes, tant physico-chimiques et écologiques, elle demeure incomplète. En effet, pour mieux comprendre le phénomène d'eutrophisation et son rapport avec les cyanobactéries, il serait nécessaire :

- d'étudier les populations des cyanobactéries détaillées et leur répartition spatio-temporelle durant toute une année ; et enfin pour mieux comprendre le phénomène d'eutrophisation du barrage il est nécessaire d'identifier toute la colonne d'eau et les sédiments.
- L'étude de la distribution spatio-temporelle des cyanobactéries afin de déterminer les espèces et les périodes à haut risque aussi bien pour l'animal que pour l'humain.
- L'extraction, et dosage des toxines à partir de l'eau des cyanobactéries et des organismes accumulateurs.