

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'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 DE BIOLOGIE



13/809

Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité : Biologie moléculaire et cellulaire : Biologie moléculaire des procaryotes

570.380

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES CYANOBACTERIES DU LAC TONGA
EL KALA (WILAYA DE TAREF)
IDENTIFICATION ET VARIATION**

Présenté par :

Atamnia Hadjer

Bentéboula Zahira

Mahmoudi Loubna

Devant le jury composé de :

Président : M^{me}. Merabet R (Ma)

Examineurs : M^{me}. ZIDI S (Ma)

Encadrant : Mr. ROUABHIA K (Ma)

JUIN 2013

Table des matières

Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Liste des Abréviation	
Remerciement	
Introduction	
Chapitre I : Synthèses Bibliographique	
1-Généralité.....	1
2-Diversité morphologique	2
3-Caractères cytologiques	4
3-1-Les inclusions	4
3-2- Les cellules particulières	5
3-2-1-Les akinetes	5
3-2-2-les hétérocytes.....	6
4 Les caractéristiques uniques des cyanobactéries.....	7
4-1- Pigments photosynthétiques	7
4-2-Mobilité verticale et horizontale	8
4-3-Nutriments	8
4-4- Prédation	9
4-5-Température	9
5-Physiologie des cyanobactéries	10
6-Écologie et multiplication de cyanobactéries.....	11
7- Classification.....	12
8-Prolifération des cyanobactéries.....	15
9-Facteurs environnementaux favorisant la prolifération de cyanobactéries.....	16

10- Impact de prolifération des cyanobactéries.....	16
10-1- Impact sur la santé humaine.....	16
10-2- Impacts environnements.....	17
11- Les cyanotoxines.....	18
11-1- Les Neurotoxines.....	18
11-2- Les Hépatotoxines.....	19
11-3- Les dermatotoxines.....	19

Chapitre II : Matériel et méthodes

1- Zone d'étude : Lac Tonga.....	21
1-1- Situation géographique.....	21
1-2- Caractéristiques physiques.....	23
1-3- Caractéristiques écologiques.....	24
1-4- Caractéristiques climatiques.....	25
2- Mode de prélèvement des échantillons.....	25
3- Etude des cyanobactéries.....	26
3-1- Mesures des paramètres physico-chimiques.....	26
3-2- Analyse quantitative et qualitative des cyanobactéries.....	27
3-2-1- Analyse qualitative.....	27
3-2-2- Analyse quantitative.....	28
3-2-2-1- la abondance.....	28
3-2-2-2- Dominance.....	29
3-2-2-3- La biomasse.....	29

Chapitre III : Résultats et discussion

1- Paramètres physico-chimiques.....	30
1-1- Température.....	30
1-2- Le potentiel d'hydrogène (pH).....	30

1-3-Oxygène dissous.....	31
1-4- Conductivité	32
1-5-TDS	33
2-Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries.....	34
2-1-Analyse qualitative	34
2-1-1-L'identification des cyanobactéries.....	34
2-2-Analyse quantitative	38
2-2-1-La abondance.....	38
2-2-2-la dominance	39
2-2-3-La biomasse	41
Conclusion	
Perspective	
Référence bibliographie	
Annexe	
Résumé	
Abstract	
ملخص	

Produced with ScanTopDF

Liste des Figures

Figure 1 :Cyanobactéries unicellulaire coloniale du genre <i>Woronichinia</i>	02
Figure 2 : Cyanobactérie Organisée en trichomes. Genre <i>Aphanizomenon</i>	02
Figure 3: Cyanobactéries unicellulaire coloniale du genre <i>Woronichinia</i>	02
Figure 4 : La diversité morphologique des cyanobactéries	03
Figure 5 :Structure d'une cellule cyanobactérienne.....	05
Figure 6 : Les akinètes.....	06
Figure 7: Les hétérocytes.....	06
Figure 8: Les structures chimiques diverses des cyanotoxines.....	20
Figure 9 : Localisation du lac Tonga dans le Parc National d'El-Kala.....	22
Figure 10:Localisation des stations de prélèvement.....	26
Figure 11 : inoLab Multi 720.....	26
Figure 12 : Variation de la température de l'eau du Lac Tonga.....	30
Figure 13 :Variation du pH de l'eau du lac Tonga.....	31
Figure 14 :Variation d'Oxygène dissous de l'eau du lac Tonga.....	32
Figure 15 : Variation mensuelle de la conductivité dissous de l'eau du lac Tonga.....	32
Figure 16 : Variation de TDS au cours des trois mois.....	33
Figure 17 : Les espèces des cyanobactéries identifiées.....	36
Figure 18 : Proportion des espèces pendant les trois mois.....	37
Figure 19 : Variation de l'indice de diversité de Shannon.....	38
Figure 20: Variation de l'abondance des trois mois.....	38
Figure 21 : Variation de l'abondance de station I.....	39

Figure22 : Variation de l'abondance de station 2.....	39
Figure23 : Variation de l'abondance de station 3.....	40
Figure24 : Variation de la biomasse (Mars, avril, Mai).....	41

Produced with ScanTOPDF

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des cyanobactéries selon le Manuel de Beergey	15
Tableau 2: Classification botanique des cyanobactéries	16
Tableau 3 : Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries dans les milieux aquatiques	19
Tableau 4 : Données climatiques de la région d'El-Kala	30
Tableau 05 : Paramètres Physico-Chimiques du lac Tonga.....	33
Tableau 06: Diversité générique des cyanobactéries répertoriées dans le Lac Tonga.....	35

Produced with Scantopdf

S2 : La deuxième station de prélèvement

S3 : La troisième station de prélèvement

pH : Potentiel d'hydrogène

H : L'indice de shannon

TDS : Total Dissolved Solide.

Produced with ScantOPDF

Liste des abréviations

- I.C.N.B.**: Code International de Nomenclature Botanique
- I.C.B.N.**: Code International de Nomenclature des Bactéries
- i.p.**: intrapéritonéale
- mg**: milligrammes
- g** : grammes
- ml**: millilitre
- Km** : kilomètres
- nm**: nanomètre
- kg**: kilogramme
- °C**: degré Celsius
- cm²**: centimètre carré
- BMAA**: B-N-méthylamino-L-alanine
- LPS**: Les lipopolysécharides
- pi**: abondance de l'espèce i
- PACl** : Polyaluminiumchloride
- CYN** : Cyndrospermopsine
- P.N.E.K** : Parc National d'El-Kala
- B.N.E.F** : Bureau National d'Etudes Forestiers
- S1**: La première station de prélèvement

S2 : La deuxième station de prélèvement

S3 : La troisième station de prélèvement

pH : Potentiel d'hydrogène

H : L'indice de shannon

TDS : Total Dissolved Solide

Produced with ScanTOPDF

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas pu être réalisé sans la contribution de nombreuses personnes que je tiens à remercier par ces quelques lignes.

Mes remerciements s'adressent d'abord, à mon encadreur, Monsieur **Rouabhia Kamal**, Maître de conférences à l'université 08 Mai 1945 de Guelma, sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Vous m'avez guidé dans la réalisation de ce travail malgré vos multiples occupations. Infatigable, toujours disponible, aimable, ces qualités vous ont valu l'estime de tous les étudiants et forcent l'admiration de tous. Apprendre à vos côtés a été un réel plaisir. J'ai gardé de bons souvenirs de vos enseignements avec clarté et précision. Soyez assuré de ma fidèle reconnaissance.

Je remercie aussi très vivement, Madame **Merabet Rym**, Maître de conférences à l'université 08 Mai 1945 de Guelma. Vous me faites le grand honneur de présider ce jury. Je vous prie de bien vouloir recevoir le témoignage de mon profond respect.

Un tout grand merci à Madame **Zidi Sourour**

Maître de conférences à l'université 08 Mai 1945 de Guelma. Je vous remercie de me faire l'honneur de juger ce modeste travail. Veuillez accepter mes chaleureux remerciements pour votre participation à ce jury.

Merci à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réalisation de ce travail, et que je ne peux citer individuellement.

DEDICACE

A ma chère mère

Ma douce et tendre mère. Quoique je fasse, je ne pourrais te rendre ce que tu as fait pour moi. Si je suis arrivée là, c'est bien grâce à toi. Que dieu te donne longue vie et te protège pour moi.

A mon cher père

Tes conseils m'ont suivi et m'ont permis d'atteindre le bout du chemin. Sois fier de moi aujourd'hui et vois à travers ce travail mon amour sincère et ma gratitude profonde.

A mes chères sœurs Nour el Houda et Atika et mes frères Amine et bilel
J'ai beaucoup apprécié l'estime et l'amour fraternel que vous me portez. Que Dieu vous préserve.

A toute ma famille, mes Tantes et mes oncles.

Vers lesquelles j'ai un grand respect.

Puis, je le dédie à mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de tristesse loubna nadia sara amira dora.

Enfin, je le dédie à tous ceux que je connais et qui me connaissent de prêt ou de loin.

HADJER

DEDICACE

A ma chère mère

Ma douce et tendre mère. Quoique je fasse, je ne pourrais te rendre ce que tu as fait pour moi. Si je suis arrivée là, c'est bien grâce à toi. Que dieu te donne longue vie et te protège pour moi.

A mon cher père

Tes conseils m'ont suivi et m'ont permis d'atteindre le bout du chemin. Sois fier de moi aujourd'hui et vois à travers ce travail mon amour sincère et ma gratitude profonde.

A mes chères sœurs Maroua, Wissem et mon frère Hamza

J'ai beaucoup apprécié l'estime et l'amour fraternel que vous me portez. Que Dieu vous préserve.

A toute ma famille, mes Tantes et mes oncles.

Vers lesquelles j'ai un grand respect.

Puis, je le dédie à mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de tristesse Dorra, Zahra, Hadjer, Sara, Rahima, Islem et Amine.

Rhida

Enfin, je le dédie à tous ceux que je connais et qui me connaissent de prêt ou de loin.

LOUBNA

DEDICACE

A ma chère mère

Ma douce et tendre mère. Quoique je fasse, je ne pourrais te rendre ce que tu as fait pour moi. Si je suis arrivée là, c'est bien grâce à toi. Que dieu te donne longue vie et te protège pour moi.

A mon cher père

Tes conseils m'ont suivi et m'ont permis d'atteindre le bout du chemin. Sois fier de moi aujourd'hui et vois à travers ce travail mon amour sincère et ma gratitude profonde.

A mes chères sœurs Imene et Amina et mon frère Hamza

J'ai beaucoup apprécié l'estime et l'amour fraternel que vous me portez. Que Dieu vous préserve.

A toute ma famille, mes Tantes et mes oncles.

Vers lesquelles j'ai un grand respect.

Puis, je le dédie à mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de tristesse loubna sara amira dora hana saida kamilia.

Enfin, je le dédie à tous ceux que je connais et qui me connaissent de prêt ou de loin.

ZAHRA

SOMMAIRE

Produced with ScantOPDF

INTRODUCTION

Produced with ScantOPDF

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. Environ 98% de ces eaux sont des eaux marines. Les 2% restant constituent les eaux continentales représentées par les rivières, les lacs, les étangs ... 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].

Face à l'explosion démographique actuelle, on se rend compte que les ressources en eau douce sont épuisables, et que les activités humaines représentent l'une des causes majeures du stress des écosystèmes aquatiques [Vasquez et Favila, 1998].

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]. Il y a unanimité pour considérer que le phosphore joue un rôle prépondérant dans le processus d'eutrophisation [Lacaze. 1996].

Dans ces eaux, les cyanobactéries constituent la base de la chaîne trophique. Ces cyanobactéries peuvent former des efflorescences par suite de prolifération d'une ou de quelques espèces dans des conditions hydro climatiques 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 [Dusenberry *et al.*, 1999]. Ces efflorescences peuvent avoir de nombreuses conséquences sanitaires, écologiques et économiques.

La croissance « massive » de certaines populations des cyanobactéries peut entraîner des nuisances ou présenter un risque pour la santé publique ; certaines espèces cyanobactériennes 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.

Notre travail porte sur :

- Evolution des paramètres physico-chimique de l'eau du lac Tonga.
- Etudier les variations spatiales et temporelles de la diversité de plusieurs populations de Cyanobactéries proliférant dans lac Tonga.

Produced with ScanTOPDF

CHAPITR I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Produced with Scantopdf

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 phytoplancton, réparties dans environ 490 genres. [Sournia *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 ultrastructures 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; Pitois *et 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 Gram-négatifs 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 [Duyet *et al.*, 2000]. La plupart des cyanobactéries sphériques appartiennent à la famille des *Chroococcacées* et les filamenteuses 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 et Ganf 2000].

2- Diversité morphologique :

La diversité morphologique des cyanobactéries est impressionnante. Il existe à la fois des formes unicellulaires et filamenteuses. 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 (fig.1).
- soit organisées en trichomes qui correspond à un enchainement de cellules (thalle) sans gaine(fig.2) [Afssa et Afsset , 2006].
- Soit organisées en filaments, quand le thalle est composé d'une série de cellules enveloppées d'une gaine.(fig.3) [Cammichael , W , 1994].

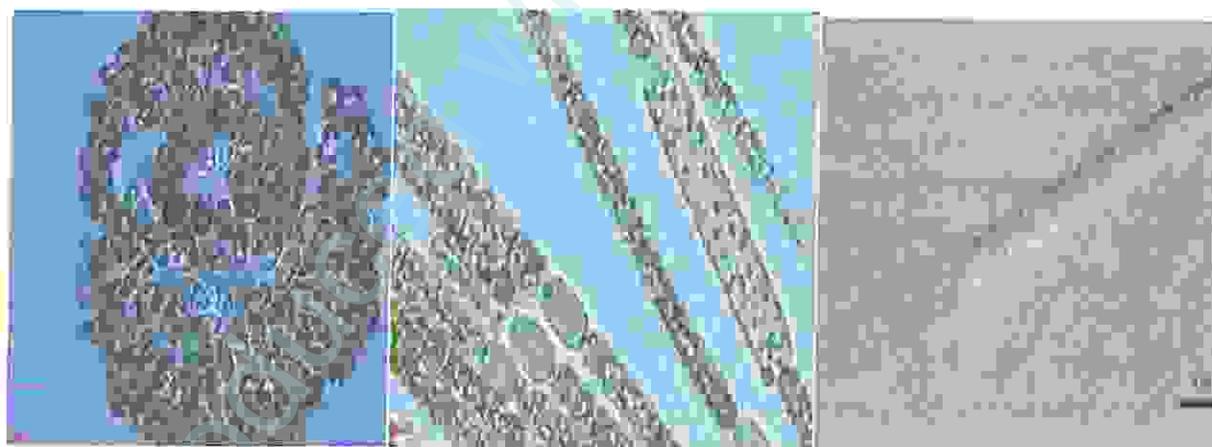


Figure 1 : Cyanobactéries unicellulaire coloniale du genre *Woronichinia*. Photos de Luc Brient Université de Rennes 1.

Figure 2 : Cyanobactérie Organisée en trichomes. Genre *Aphanizomenon*. Photo de Luc Brient Université de Rennes 1.

Figure 3: Cyanobactéries unicellulaire coloniale du genre *Woronichinia*. Photos de Luc Brient Université de Rennes 1.

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.

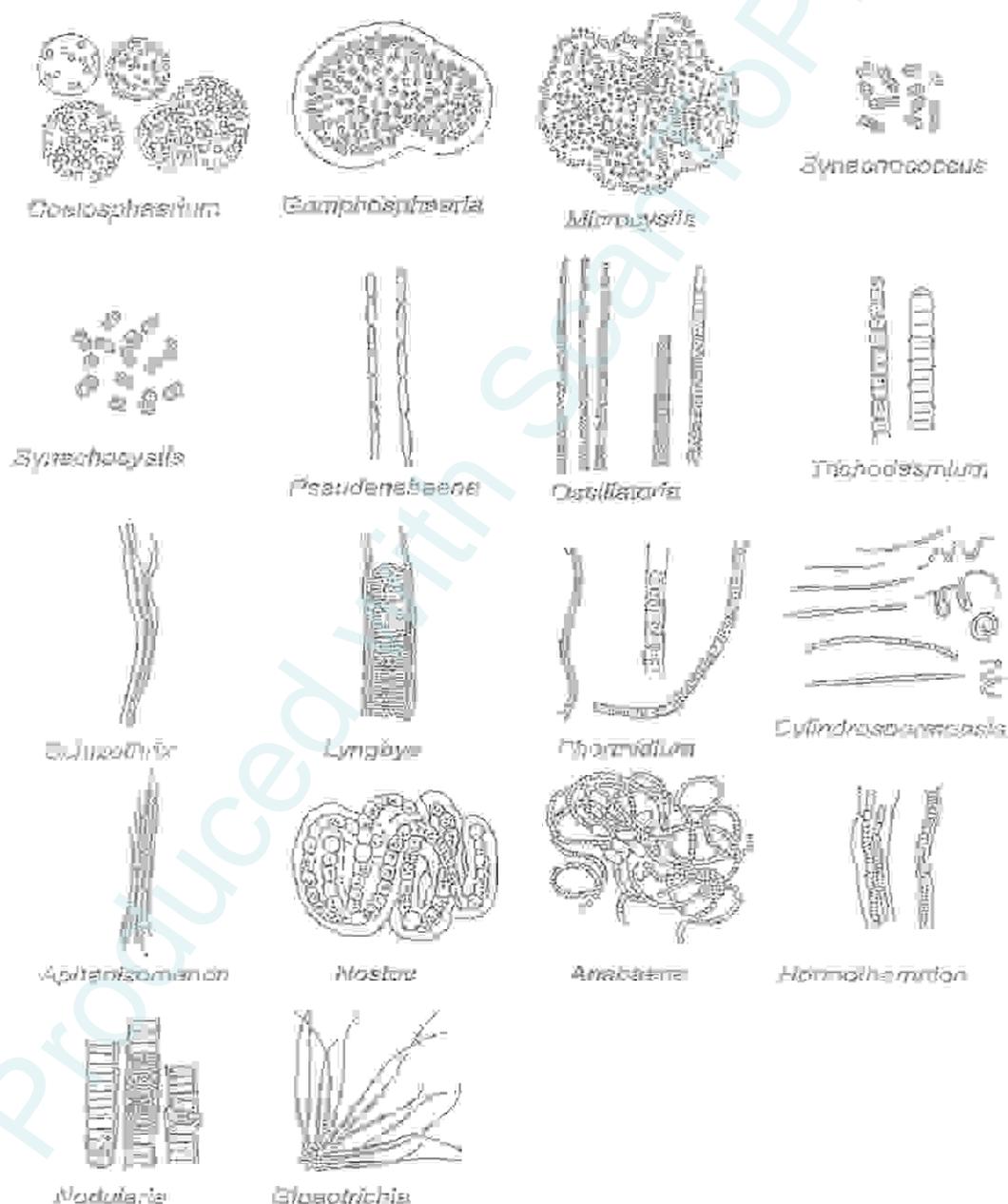


Figure 4 : La diversité morphologique des cyanobactéries [Silvano, 2005].

3- Caractères cytologiques :

3-1- Les inclusions :

Le cytoplasme renferme différents types d'inclusions :

3-1-1- 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].

3-1-2- Les vacuoles gazeuses :

Appelées aussi airosomes, existent dans les cellules de cyanophycées planctoniques, de structures cylindriques, contiennent de l'azote, permettent la flottaison a la surface de l'eau et confèrent à ces espèces un mécanisme écologiquement important en leur permettant d'ajuster leur position verticale dans la colonne d'eau [Walsby, 1987].

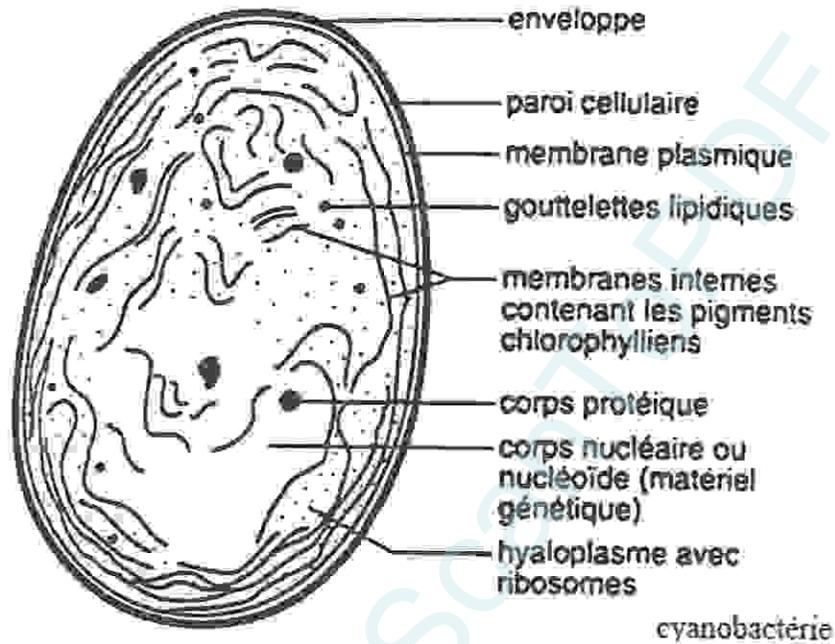


Figure 5 : La structure cellulaire d'une cyanobactérie [Afssa et Afsset, 2006].

3-2- Les cellules particulières :

3-2-1- Les akinètes :

Ce sont des cellules généralement plus grandes que les cellules végétatives et les hétérocystes. Leur paroi est très épaisse et peut être colorée et ornée. Leur contenu apparaît rempli de gros granules sphériques ou polyédriques. Leur teneur en ADN est plus importante, de même que celles de la cyanophycine (réserve protéique) et du glycogène (réserve de glucides). Les akinètes sont des cellules de repos, capables de résister à des conditions écologiques très défavorables et qui, après retour à une situation environnementale normale, peuvent germer et redonner un thalle. [Gupta, S. *et al.*, 2001].

Observés également chez certaines formes filamenteuses, sont des cellules riches en polypeptides qui constituent des formes de résistance permettant la survie des cyanobactéries lorsque les conditions environnementales sont défavorables. [Fay et Baalen, 1987 ; Bryant, 1944].

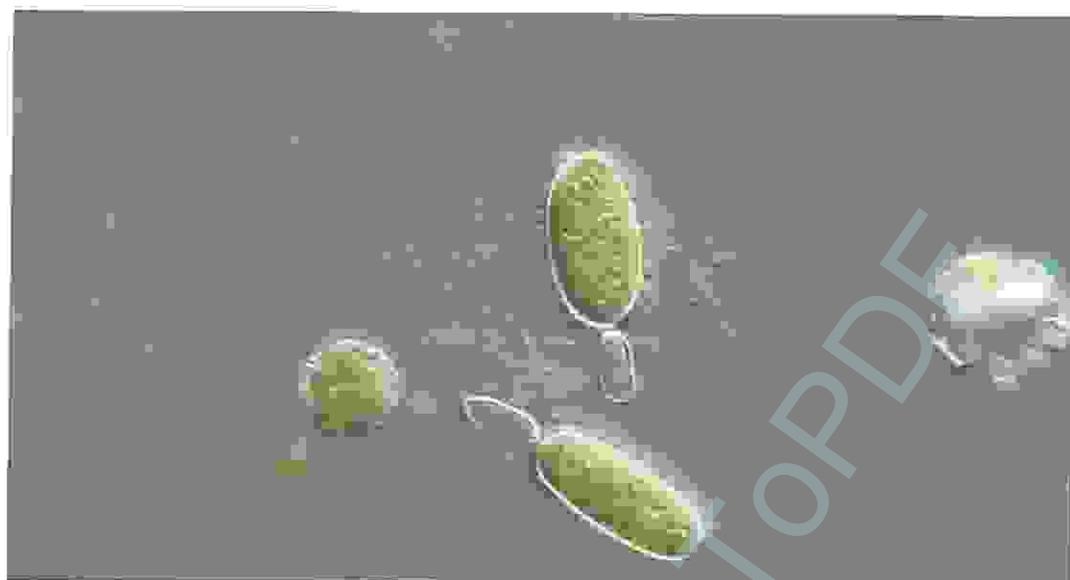


Figure 6 : Les akinètes [Afssa et Afsset , 2006].

3-2-2- les hétérocystes :

Ce sont des cellules à paroi épaisse et au contenu homogène faiblement coloré. Leur forme est sphérique, cylindrique, voire conique. Leur position dans le trichome est soit intercalaire, soit terminale à l'une des extrémités seulement ou aux deux, ou encore latérale (pédicellée). Les hétérocystes sont généralement solitaires mais peuvent aussi apparaître en paire et, plus rarement, en série. [Komareket *al.*, 2003].

Les hétérocystes ne sont présents que chez certaines formes filamenteuses et seulement lorsque les conditions écologiques nécessaires à leur formation sont réunies.

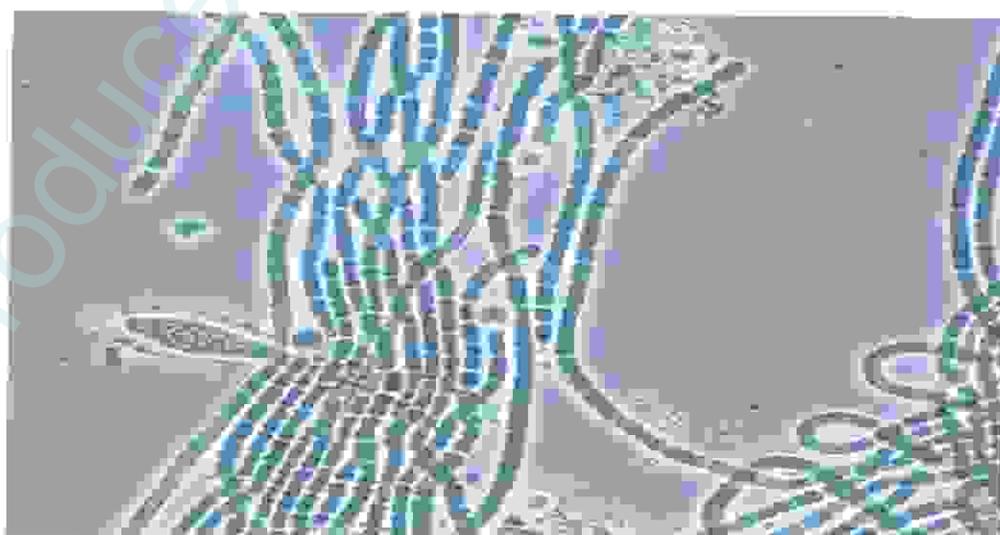


Figure 7: les hétérocystes [Afssa et Afsset , 2006].

4- Les caractéristiques uniques des cyanobactéries:

Les cyanobactéries utilisent un ensemble de stratégies qui leur a permis de coloniser la plupart des écosystèmes terrestres (sols humides ou arides, glaciers, grottes, rochers) et aquatiques d'eaux douce, marins ou saumâtres [Bourelly, 1985]. Leurs capacités d'adaptation leur permettent de survivre et de se développer dans une large gamme de températures de puis les glaciers [Skulberg, 1996] jusqu'aux sources thermales [Brock, 1967], de salinité (depuis les lacs hypersalés aux eaux oligohalines), de pH (depuis les eaux carbonatées aux tourbières acides) et de luminosité (depuis les grottes aux lacs tropicaux).

Certains genres de cyanobactéries peuvent former des associations symbiotiques avec divers organismes tels que des algues (diatomées marines et dulçaquicoles), des champignons pour former des lichens, des animaux comme des protozoaires, des éponges ou des ascidies ou avec des végétaux comme des fougères aquatiques, gymnospermes et angiospermes pour revue voir [Rowell and Kerby, 1991]. La majorité des cyanobactéries vit en milieu dulçaquicole et elles prolifèrent en général dans les milieux eutrophes à hypereutrophes. Cependant certaines espèces sont aussi capables dans certaines conditions de connaître des développements importants dans les lacs oligotrophes [Mezei *et al.*, 1997]. En milieu aquatique, les cyanobactéries sont dites planctoniques si elles prolifèrent dans la colonne d'eau ou benthiques si elles vivent fixées sur un substrat (sédiments, roches, coraux, algues, animaux).

4-1- Pigments photosynthétiques :

Les cyanobactéries présentent une pigmentation diversifiée (outre des caroténoïdes également observés chez les micro-algues, elles présentent des phycobiliprotéines comme la phycocyanine, l'allophycocyanine et la phycoérythrine) qui assure une efficacité photosynthétique élevée et une capacité à soutenir la production photosynthétique même à une faible intensité lumineuse. Ceci permet notamment à certaines espèces comme *Planktothrix rubescens* d'utiliser les faibles quantités de lumière et les longueurs d'onde encore présentes en profondeur dans les lacs [Oberhauser *et al.*, 2007]. D'autres espèces sont capables d'exploiter les faibles niveaux d'énergie lumineuse des eaux très turbides par exemple des picocyanobactéries [Katano *et al.*, 2008]. Les cyanobactéries sont aussi capables de synthétiser des composés qui agissent comme un écran solaire contre les ultraviolets mycosporine-like aminoacids [Sinha *et al.*, 2001] et d'autres pigments photoprotecteurs caroténoïdes [Allen, 1984], leur permettant d'occuper des écosystèmes où l'exposition aux ultraviolets est très forte. De même, certains genres comme *Nostoc* possèdent également des mécanismes efficaces de

réparation des composantes cellulaires endommagées par les fortes radiations solaires par exemple l'ADN [Vincent WF, 1989].

4-2-Mobilité verticale et horizontale :

Certaines cyanobactéries sont capables de se déplacer dans la colonne d'eau par glissement et par rotation hélicoïdales des filaments tournant sur eux-mêmes [Bourrelly, 1985]. D'autres régulent leur flottabilité en modulant le taux de formation de vésicules à gaz, [Walsby *et al.*, 1997] ou en utilisant comme ballast les hydrates de carbone et de protéines résultant de photosynthèse [Oliver and Gant, 2000 ; Rabouille *et al.*, 2003]. Ainsi, les cellules sont capables de se déplacer entre la surface des plans d'eau, où elles profitent au mieux de l'énergie lumineuse, vers les couches d'eau plus profondes, où les concentrations en nutriments minéraux peuvent être plus élevées du fait du relargage de phosphore par les sédiments par exemple. C'est le cas du genre *Microcystis*, qui présente un cycle annuel comprenant une phase benthique en hiver et une phase pélagique en été [Reynolds *et al.*, 1981 ; Takamura *et al.*, 1984 ; Tsujimura *et al.*, 2000]. Lorsque la colonne d'eau est bien stratifiée, elles s'accumulent en surface pour former une écume [Bonnet and Poulin, 2002]. Cette stratégie permet alors à ces espèces d'éliminer leurs compétitrices en leur interdisant l'accès à la lumière. D'autres espèces peuvent aussi occuper, pendant plusieurs mois, une couche bien précise dans la colonne d'eau, à l'exemple de *Planktothrix rubescens* qui occupe préférentiellement le métalimnion [Jacquet *et al.*, 2005].

4-3- Nutriments :

Une caractéristique particulière observée chez plusieurs espèces de cyanobactéries est la capacité de fixer l'azote atmosphérique par l'intermédiaire d'une enzyme (nitrogénase) présente dans les hétérocystes. La fixation d'azote gazeux est un atout de taille pour la croissance cellulaire lorsque le milieu est pauvre en azote. En zone anoxique, les cyanobactéries peuvent également utiliser l'ammonium (NH_4^+) produit là où la décomposition bactérienne et la dissimilation du nitrate vers l'ammonium sont actives. Contrairement à plusieurs algues, les cyanobactéries peuvent entreposer des quantités importantes d'azote lorsqu'il est en excès. Les composantes servant au stockage d'azote sont la cyanophicine (un co-polymère d'aspartate et d'arginine) et la phycocyanine (pigment impliqué dans la photosynthèse).

Historiquement, le phosphore a été toujours considéré comme le premier nutriment limitant pour la croissance du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques d'eau douce [Shinder, 1977, Heckey et Kilham, 1988], les cyanobactéries peuvent également faire des réserves de phosphore sous forme

de granules de polyphosphates, phénomène qui est toutefois observé chez plusieurs types d'algues (*Luxuryconsumption*). Bien qu'il soit souvent mentionné que les cyanobactéries ont une plus grande affinité (taux de prise des nutriments en fonction des concentrations externes ambiantes) pour les nutriments par comparaison aux algues eucaryotes [Chorus et Mur 1999], certains auteurs contredisent cette affirmation [Pearl, 1996]. Il semble plutôt que l'avantage compétitif des cyanobactéries à l'égard du phosphore soit associé à leur capacité de migration leur permettant de profiter des sources de phosphore dans les couches profondes de la colonne d'eau, et à leur capacité d'entreposage des nutriments. En effet, les cyanobactéries, grâce à leurs réserves intracellulaires, ont le potentiel de survivre et même de se diviser durant une période temporaire de faible concentration en nutriments dans leur environnement immédiat [Ishikawa *et al.*, 2002]. Ainsi, localement, une forte abondance en cyanobactéries ne correspond pas toujours à une forte concentration en phosphore.

4-4- Prédation :

Les cyanobactéries ne sont pas la source de nourriture préférée du zooplancton. En effet, en plus de la production de toxines, les cyanobactéries peuvent sécréter des substances allélopathiques qui tendent à cibler directement les brouteurs et qui peuvent altérer leur physiologie, induire des réactions d'évitement ou causer leur mortalité [Smayda 1997]. Les substances allélopathiques se distinguent des cyanotoxines puisqu'elles sont des métabolites secondaires. Les cyanobactéries évitent également la prédation par le zooplancton en se groupant en colonies trop volumineuses pour être ingérées. Ainsi, même si durant certaines périodes, leur taux de croissance est similaire ou inférieur aux algues, la perte par la prédation étant faible ou nulle, les cyanobactéries montrent de fortes augmentations de biomasse lorsque les conditions leur sont favorables. La pression par la prédation peut toutefois maintenir plus courte la longueur des filaments de certaines espèces de cyanobactéries, et ainsi réduire la formation d'hétérocystes qui dépend de la longueur des filaments. [Chan *et al.*, 2004].

4-5- Température :

Selon Robarts et Zohary (1987), les taux de croissance maximaux de la plupart des cyanobactéries sont atteints à des températures supérieures à 25°C. Reynolds et Walsby, (1975) suggèrent un optimum de température variant entre 25 et 35°C. Ces températures optimales sont plus élevées que pour les algues vertes et les diatomées. Bien que les températures optimales de croissance des cyanobactéries soient généralement élevées, des fleurs d'eau de cyanobactéries ont aussi été observées tôt au printemps et tard à l'automne alors que la température de l'eau est basse. Certaines fleurs d'eau ont même été signalées sous un couvert de glace. Il semble que la réponse des différents genres à de basses températures soit variable. En effet, le genre *Microcystis* est affecté de

façon plus sévère par de basses températures en comparaison aux autres genres. Selon l'étude de Robarts et Zohary (1987), *Microcystis* exhibe une forte baisse du taux de croissance à des températures sous 15 °C. Les études montrent, le genre *Oscillatoria* était le plus tolérant aux basses températures de l'eau, proliférant sous les 10 °C. Les auteurs suggèrent que la limite inférieure de température pour les genres *Anabaena* et *Aphanizomenon* se situe entre celle de *Microcystis* et *Oscillatoria*. Même les espèces acclimatées aux régions polaires et alpines possèdent des optimums de croissance à températures élevées >15°C [Tang *et al.*, 1999].

5- Physiologie des cyanobactéries :

La nutrition des cyanobactéries est simple. Les vitamines ne sont pas nécessaires, et les nitrates ou l'ammoniac constituent la source d'azote. Les espèces fixant l'azote atmosphérique sont communes. La plupart des espèces qui ont été analysées sont des phototrophes obligatoires, ne pouvant pas pousser dans l'obscurité en présence de composés organiques. Cependant, certaines cyanobactéries peuvent assimiler des substances organiques relativement simples comme le glucose et l'acétate, pourvu que la lumière soit présente (photo assimilation). Certaines cyanobactéries, surtout parmi les espèces filamenteuses, peuvent en fait pousser à l'obscurité en utilisant le glucose ou le saccharose, à la fois comme source de carbone et comme source d'énergie [Madigan et Martinko, 2007].

Bien que les cyanobactéries soient de vrais procaryotes, leur système photosynthétique est très proche de celui des eucaryotes, en ce qu'il contient la chlorophylle- α et le photosystème II, et en ce qu'il réalise la photosynthèse oxygénique. Les pigments photosynthétiques et les composants des chaînes de transport d'électrons sont situés dans des membranes thylakoïdes bordées de particules appelées phycobilisomes. Ces particules contiennent des phycobiline, en particulier la phycocyanine et elles transportent l'énergie au photosystème II. Le dioxyde de carbone est assimilé suivant le cycle de Calvin et le sucre de réserve est du glycogène. Bien que beaucoup de cyanobactéries soient des photolithoautotrophes obligées, certaines peuvent se développer lentement à l'obscurité comme des chimio-hétérotrophes, en oxydant le glucose et quelques autres sucres. Dans des conditions anaérobies, l'espèce *Oscillatoria limnetica* oxyde le sulfure d'hydrogène à la place de l'eau et réalise une photosynthèse oxygénique comme les bactéries vertes photosynthétiques. Les cyanobactéries ont une variabilité considérable dans leur métabolisme [Prescott *et al.*, 1995]. Elles réalisent la photorespiration, ce phénomène est défini comme étant l'absorption de l'O₂ stimulée par les forts éclaircissements [Lang et Miiiton, 1973].

Beaucoup de cyanobactéries formant des trichomes ou des filaments fixent l'azote atmosphérique grâce aux hétérocystes. Environ 5 à 10% des cellules d'un trichome se transforment en hétérocystes lorsque les cyanobactéries sont privées de nitrate et d'ammoniac, leurs sources préférées d'azote. Au cours de cette transformation, les cellules cyanobactériennes synthétisent une nouvelle paroi épaisse, réorganisent leurs membranes photosynthétiques, se débarrassent de leur phycobiliprotéines et du photosystème II et synthétisent une nitrogénase fixant l'azote. Le photosystème I est toujours fonctionnel et produit de l'ATP mais il n'y a pas de production d'O₂ par photophosphorylation non cyclique car le photosystème II est absent. Cette incapacité de générer l'oxygène est essentielle car la nitrogénase est extrêmement sensible à l'oxygène.

La paroi de l'hétérocyste ralentit ou empêche diffusion de l'O₂ dans la cellule et tout l'oxygène présent est consommé par la respiration. La structure et la physiologie de l'hétérocyste assurent une anaérobiose il est ainsi totalement voué à la fixation d'azote. Il prend ses aliments des cellules végétatives adjacentes et apporte de l'azote fixé sous la forme de glutamine.

6- Ecologie et multiplication :

Les cyanobactéries sont installées sur terre depuis au moins trois milliards d'années elles ont colonisé à peu près tous les milieux, qu'ils soient aquatiques ou terrestres, dans des conditions extrêmes puisqu'on les observe dans les glaces, des pôles, dans des sources d'eaux ferrugineuses, dans les geysers [Tilman, D *et al.*, 1982]. Les cyanobactéries sont également capables de s'imposer au sein de milieux aux conditions plus extrêmes (glaciers, sources chaudes, cendres volcaniques) [Castenhol, Z , 2001], grâce à des capacités qui leur permettent de supporter des températures élevées (genre *Synechococcus* observé dans des sources thermales à plus de 70°C), des pH faibles (certaines picocyanobactéries sont observées à des pH de l'ordre de 4) ou encore une large gamme d'éclairements genre *Prochlorococcus* [Tilman, D *et al.*, 1982]. D'autres espèces ont été retrouvées sur des surfaces rocheuses de régions désertiques [Yeager *et al.*, 2007], où encore dans des lacs à salinité élevée ou même hypersalins [Dillon, 2009].

La multiplication des cyanobactéries est végétative, c'est-à-dire asexuée, et s'effectue par division binaire d'une cellule mère en deux cellules filles par bourgeonnement ou par divisions multiples. Selon les espèces et les conditions environnementales, les temps de doublement des populations varient de quelques heures à plusieurs jours.

Les genres unicellulaires peuvent produire des baeocytes (minicellules) à l'intérieur de la cellule maternelle. Les individus coloniaux se multiplient également par fragmentation. Ainsi, les formes

filamenteuses produisent des hormogonies (minifilaments mobiles) qui, après détachement du filament, participent à la colonisation [Afssa et afsset, 2006].

7- Classification :

A ce jour, 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
Cyanobactéries	I Unicellulaires ou coloniales, multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores	<i>Chamaesiphon, Choroococcus, Gloeotheca</i>
	II Unicellulaire ou coloniales, multiplication par fissions multiples (baeocytes) ou en combinaison par fission binaire	<i>Dermocarpella, Xenococcus, 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, 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	<i>Gloeobacteraceae</i>	<i>Gloeobacter</i>
Pseudoanabaenals (Trichome)	<i>Pseudoanabaenaceae</i>	<i>Geitlerinema, Limnothrix, Pseudoanabaena</i>
	Schizorichaceae	<i>Schizothrix</i>
<i>Chroococcales</i> (Coccoide trichome)	<i>Microcystaceae</i> (Coccoide)	<i>Microcystis</i>
	<i>Gomphosphaeriaceae</i> (Coccoide)	<i>Snowella, Woronichinia</i>
	<i>Chroococcaceae</i> (Coccoide)	<i>Chroococcus</i>
	<i>Dermocarpellaceae</i>	<i>Dermocarpella, Cyanocystis</i>
	<i>Xenococceaceae</i>	<i>Xenococcus, Myxosarcina</i>
	<i>Hydrococaceae</i>	<i>Hyella, Pleurocapsa</i>
	<i>Spirulinaceae</i> (Trichome)	<i>Spirulation</i>
<i>Oscillatoriales</i> (Trichome)	<i>Phormidiaceae</i> (necridies +)	<i>Arthrospira, Phormidium, Planktothrix, Trichodesmium</i>
	<i>Oscillatoriaceae</i> (necridies +)	<i>Lyngbya, Oscillatoria</i>
	<i>Gomontiellaceae</i> (necridies +)	<i>Crinalium, Starria</i>
<i>Nostocales</i> (Hétérocystés)	<i>Scytonemataceae</i> (Fausses ramifications)	<i>Scytonema</i>
	<i>Haplosiphonaceae</i> (Vraies ramifications)	<i>Anabaena, Anabaenopsis, Nostoc</i>
	<i>Stigonemataceae</i> (Vraies ramifications trichomes multisériés)	<i>Stigonema</i>

8-Prolifération des cyanobactéries :

Ces proliférations sont causées par un apport excédentaire de phosphore aux cours d'eau. Le phosphore se retrouve naturellement dans l'eau, en très faible concentration, via le phénomène d'érosion des roches. Le phosphore excédentaire qui cause l'apparition des efflorescences de cyanobactéries provient des activités humaines, telles que l'agriculture, les activités riveraines, les activités forestières, les activités urbaines et municipales et les activités récréatives. Le ruissellement et l'érosion par l'eau et le vent amplifient les quantités de phosphore dégagé dans les cours d'eau. [Falconer, R et Humpage, R, 2005].

Les phénomènes qui favorisent l'apparition des cyanobactéries sont sensiblement les mêmes que ceux qui causent l'eutrophisation des lacs, et ils sont bien connus. Il y a les éléments naturels, tels que la quantité de lumière, la température et la vitesse de l'écoulement de l'eau, auxquelles les humains n'ont qu'un très faible pouvoir d'influence.

Par contre, le phénomène qui favorise le plus l'apparition des cyanobactéries et dont l'humain est directement responsable, est l'apport excessif d'éléments nutritifs dans les eaux des lacs et rivières, soit en azote et en phosphore [Lavoie I. *et al.*, 2007]. Dans le cadre de la lutte aux cyanobactéries, il est cependant inefficace de lutter contre les apports en azote, puisque ces micro-organismes ont la capacité d'utiliser l'azote de l'atmosphère et de le transformer sous une forme d'azote utilisable pour leur croissance.

Par contre, les cyanobactéries sont dépendantes du phosphore, un élément essentiel à leur croissance et également un élément qui ne se trouve qu'en très faible quantité dans la nature. Le phosphore, se retrouvant en faible quantité dans l'eau, limite donc la croissance des algues et des cyanobactéries. Par contre, via ses activités anthropiques, l'être humain a considérablement modifié le cycle naturel du phosphore dans l'eau. Un faible ajout de phosphore aux systèmes aquatiques peut stimuler considérablement la croissance des cyanobactéries [Maillard, A, 2003].

9-Facteurs environnementaux favorisant la prolifération de cyanobactéries :

Le développement des proliférations de cyanobactéries est le plus souvent associé à plusieurs facteurs :

- **Les éléments nutritifs :** Azote et/ou Phosphore, qui sont souvent les éléments nutritifs limitants dans les plans d'eau, ils sont associés à la lumière, ces éléments permettent un développement important de la biomasse et par conséquent des cyanobactéries
- **La température d'eau :** Les cyanobactéries sont capables de croître dans une gamme de température allant de 5 à 35° C. La saison préférée de la prolifération commence au printemps lorsque l'eau dépasse 15°C.
- **L'ensoleillement :** Un fort ensoleillement favorise la prolifération des cyanobactéries
- **Les précipitations :** Bien que les précipitations peuvent refroidir les plans d'eau, celles-ci peuvent également apporter des éléments nutritifs.
- **L'agitation du milieu :** Certaines espèces se développent lorsque le milieu est calme.
- **La turbidité :** Une turbidité élevée favorise le développement de certaines cyanobactéries par rapport aux autres algues.
- **Le manque de prédateurs :** Dans l'eau, les phytoplanctons sont consommés par les zooplanctons.

Ainsi, les proliférations de cyanobactéries apparaissent le plus souvent dans les milieux eutrophes et lorsque les masses d'eau sont stratifiées, en période estivale. [Briande E, 2008].

10- Impact de prolifération des cyanobactéries :

10-1-Impact sur la santé humaine :

La principale inquiétude des gouvernements, des riverains et des utilisateurs des plans d'eau face à la problématique des cyanobactéries réside dans les risques d'atteinte à la santé qui sont associés aux proliférations. [Nakache, F, 2001]. L'une des conséquences les plus néfastes de la prolifération de cyanobactéries est la présence dans l'eau de substances délétères appelées cyanotoxines. En effet, parmi les cyanobactéries identifiées actuellement, certaines souches peuvent produire des toxines. En plus d'avoir une incidence sur le développement et la distribution du phytoplancton, les cyanotoxines peuvent provoquer des méfaits variés sur la santé animale (faune aquatique) et humaine, par ingestion de l'eau ou par contact. [Bertrand *et al.*, 2004].

Les blooms de cyanobactéries représentent un risque pour la santé humaine et environnementale, particulièrement s'ils arrivent avec une dominance de toxines toxiques. Parmi les toxines déjà décrits comme étant produits par les cyanobactéries [Carmichael, 1994], les microcystines sont probablement les plus importantes en termes de santé humaine. Ils sont très stables [Jones *et al.*,

1994 ; Tsujiet *al.*, 1994] et ne sont pas détruits par les méthodes de traitement communes d'eau [Keijolaet *al.*, 1988 ; Rositano et Nicholson, 1944].

Des symptômes gastro-intestinaux ont été rapportés suite à l'ingestion d'eau potable contaminée par des cyanobactéries [Flaconeret *al.*, 1983 ; Yu, 1994] ou suite à la baignade dans des eaux contenant de grandes quantités de cyanobactéries [Jochimsen *et al.*, 1998].

10-2- Impacts environnements :

Les proliférations de cyanobactéries ont des conséquences multiples à la fois sur le fonctionnement des écosystèmes et sur leurs usages. Les effets négatifs de cette prolifération sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries dans les milieux aquatiques [Marion, S, 2009].

Sur l'environnement	-Modification de l'aspect de la ressource (coloration inhabituelle, des irritations ou surfeux, écoulement)
Sur les organismes du milieu	-Diminution de la biodiversité -Perturbation des réseaux trophiques (impasse trophique, forte compétition avec les autres espèces phytoplanctoniques) -Mortalité de poissons (intoxication ou diminution de la teneur en oxygène) -Intoxication d'animaux domestiques ou sauvages par abreuvement.
Sur les usages de l'eau	-Coloration, odeur, testure décourageant la baignade. -Irritation de la peau et des muqueuses suite à des baignades. -Perturbations du fonctionnement des procédés de traitement des eaux d'alimentation. -Dégradation de la qualité organoleptique des eaux d'alimentations mal traitées.

11-Les cyanotoxines :

Environ plus de 70 espèces de cyanobactéries sont capables de produire différentes substances toxiques naturelles qui présentent une grande diversité de structures chimiques et de mécanismes toxiques appelées cyanotoxines (fig.8) [Sivonen et and Jones, 1999].

Ces substances sont stockées à l'intérieur des cellules qui les produisent dans l'eau lors de la sénescence et de la lyse cellulaire. [Zadi Sainthia J, 2008]. Ces toxines peuvent être classées en fonction de leur structure chimique : peptides cycliques, alcaloïdes ou lipopolysaccharides (LPS).

Les cyanotoxines sont regroupées en trois classes [Zadi Sainthia J, 2008].

11-1-les Neurotoxines :

Les neurotoxines sont des alcaloïdes et sont classées en trois familles : les anatoxines (ATX), la saxitoxine (STX) et ses dérivés et la β -N-méthylamino-L-alanine (BMAA). [Van Apeldoorn *et al.*, 2007].

Elles agissent toutes au niveau de la jonction neuro-musculaire mais sont différentes aux niveaux de leur structure, mécanisme d'action et toxicité. [Sivonen et Jones, 1999].

Les neurotoxines sont regroupées en deux familles : les anatoxines et les aphantoxines, constituées de la saxitoxine et de ses dérivés. [Afssa et Afset, 2006].

⚡ Les Anatoxines :

Ce sont des alcaloïdes spécifiques aux cyanobactéries, principalement synthétisés par des espèces des genres *Anabaena*, *Planktothrix* et *Aphanizomenon*. [Chorus I., Bartram J, 1999].

- L'anatoxine-a, amine secondaire de 165 daltons, est soluble dans l'eau, peu stable et rapidement dégradée dans l'environnement. [Jaeg, 2007 ; Groupe scientifique sur l'eau, 2004 ; Chorus et J.Bartram, 1999].
- L'anatoxine-a(s) est un ester de phosphate de 252 daltons, instable au pH alcalins et à la chaleur. [Jaeg, 2007 ; Groupe scientifique sur l'eau, 2004 ; Chorus et Bartram, J, 1999]

⚡ Les saxitoxines :

Qui forment une famille de 25 variantes d'alcaloïdes à noyau tétrahydropuriques. Leur poids moléculaire varie de 241 à 491 daltons. Elles sont très stables dans l'eau. [Jaeg, 2007 ; Groupe scientifique sur l'eau, 2004 ; Chorus et J.Bartram, 1999].

La BMAA ou β -méthylamino-L-alanine, molécule de type acide aminé. [Jaeg, 2007 ; Groupe scientifique sur l'eau, 2004 ; Chorus et J.Bartram, 1999].

11-2-Les Hépatotoxines :

A Ce sont les toxines les plus fréquemment rencontrées lors de proliférations. On distingue 3 grandes familles [Affsa/Afsset 2006] qui sont :

- ✦ **Les microcystines (MCs)** : sont des peptides cycliques de sept acides aminés, cinq acides aminés non protéiques et deux acides aminés protéiques. Ces deux derniers, situés aux positions 2 et 4, permettent de différencier les MCs, en utilisant la nomenclature qui désigne chaque acide aminé par une lettre unique [Jaiswal *et al.*, 2008].
- ✦ **La nodulaire (NOD)** : est un peptide cyclique de cinq acides aminés pesant 824 Da. Il existe sept variantes structurales à la NOD dont la structure générale est un cycle de [D-MeAsp¹-L-Arg²-Adda³-D-Glu⁴-Mdhb⁵] [Van Apeldoorn *et al.*, 2007].
- ✦ **La cylindrospermopsine (CYN)** : est un alcaloïde hépatotoxique de 415 Da; elle est une guanine tricyclique combinée à un uracile hydroxyméthylé. Sa structure chargée électriquement la rend très polaire et très soluble dans l'eau [Chiswell *et al.*, 1999].

11-3-Les dermatotoxines :

Les cyanobactéries marines benthiques comme *Lyngbya*, *Oscillatoria* et *Schizothrix* peuvent produire des toxines causant des dermatites sévères aux nageurs en contact avec les filaments.

- ✦ Les aplysiatoxines et debromoaplysiatoxine qui sont des promoteurs tumoraux potentiels et des activateurs de protéines kinase C ont une activité inflammatoire.
- ✦ La lyngbyatoxine-a peut causer une dermatite et une inflammation orale et gastro-intestinale sévère [Rippka R, *et al.*, 1979].

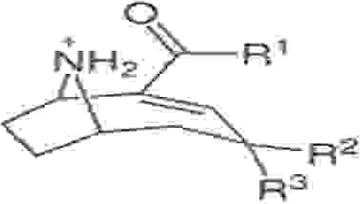
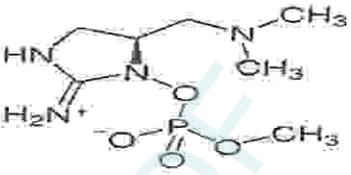
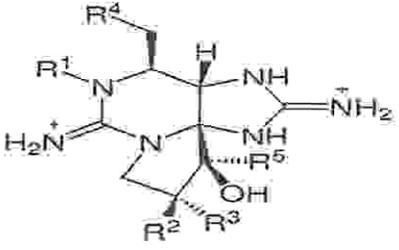
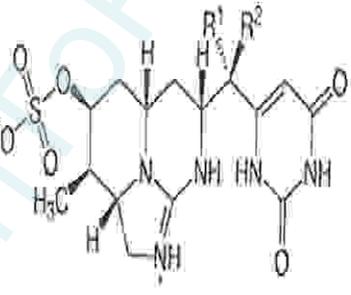
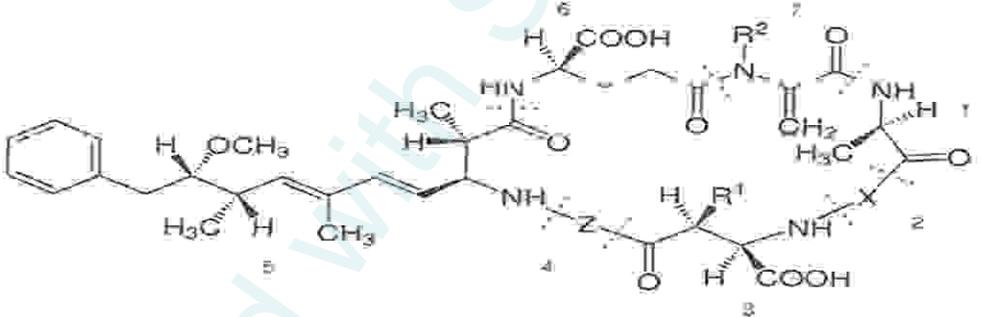
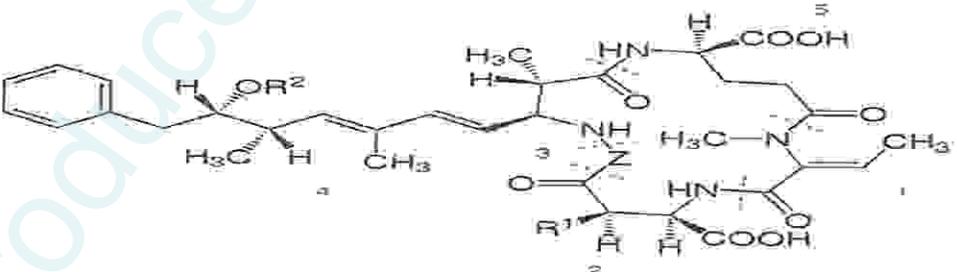
<p>L'anatoxine-a</p> 	<p>L'anatoxine-a(s)</p> 
<p>Les saxitoxines</p> 	<p>La cylindrospermopsine</p> 
<p>Les microcystines</p> 	
<p>La nodularine</p> 	

Figure 8: Les structures chimiques diverses des cyanotoxines [Briand *et al.*, 2003].

CHAPITR II

MATERIEL ET METHODES

Produced with ScanTOPDF

1-Description du site d'étude

1-1-Situation géographique :

Le Lac Tonga, site d'importance internationale se trouve à l'intérieur du territoire du P.N.E.K. Il est situé à $36^{\circ} 51' N$, $08^{\circ} 30' E$ à l'extrême Nord-Est du parc national d'El-Kala (Wilaya El Taref) et de l'Algérie, et couvre une superficie d'environ 2400 ha. Il est situé à l'Est de la ville d'El-Kala, à 5 Km du Lac Oubeira [Morgan, 1982. Abbaci, 1999].

A l'EST, au Sud et à l'Ouest, il bordé par les derniers contreforts de la Kroumirie couverte de forêts plus au moins dégradées de chaîne liège.

Du côté Nord, ce sont des dunes maritimes fixées pour l'essentiel par un maquis dense de Chêne Kermès qui les séparent de la méditerranée.

C'est un lac de type palustre d'eau douce en communication avec la mer méditerranée par un canal artificiel, le Canal Messida. Il se caractérise par une importante couverture végétale en mosaïque. Le Tonga est alimenté par de nombreux affluents et par deux oueds importants : El Hout au sud et El Eurg au nord. [Kadid, 1989 ; Abbaci, 1999].

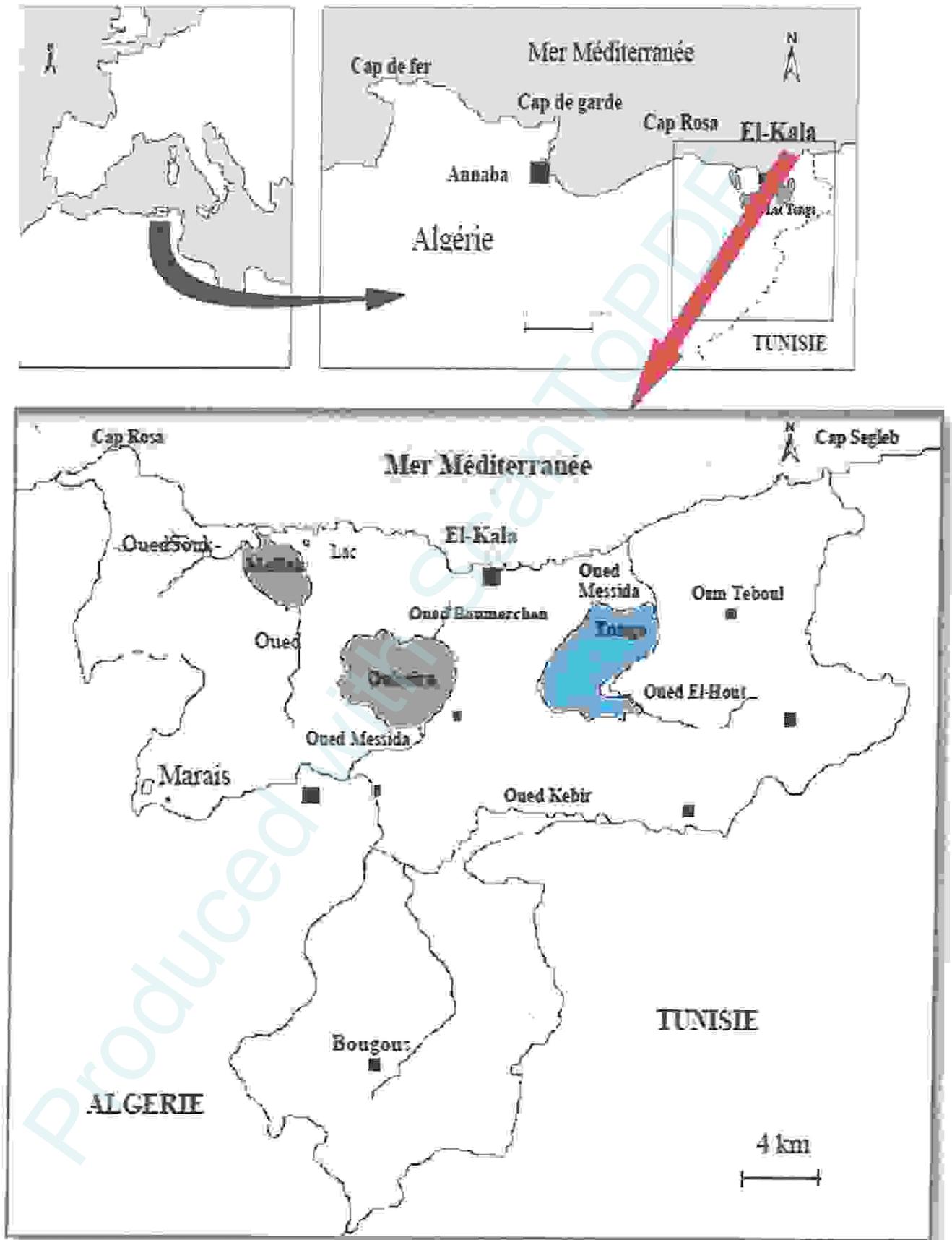


Figure 9 : Localisation du lac Tonga dans le Parc National d'El-Kala [Nawel D, et al., 2009].

Le lac Tonga est également un site d'identification de nombreuses espèces aviaires avec des effectifs assez importants, la sarcelle, le flamant rose. [Samir G, 2005].

La vie économique des habitants de cette région sont généralement peu diversifiée l'agriculture, la chasse, la pêche, le braconnage, l'élevage, le pâturage, mais période d'été le tourisme.

Le bassin versant du lac Tonga de 150 km² est constitué de diverses formations géologiques : Sols de marécages, formés de limons de bas-fonds, alluvions limoneuses [Azzouzi *et al.*, 2009].

1-2- Caractéristiques physiques :

• Géologie :

Formées de sable et limons récents, formations du Pontien, formées de conglomérats à ciments argileux, grès de Numide qui sont quartzeux, blanchâtres, formant des reliefs abrupts, argiles de Numidie, formées de marnes argilo schisteuses, argiles, grès et calcaires noirs de l'éocène moyen qui constituent les contreforts entourant le lac. [Raachi, 2007].

Le lac Tonga occupe une cuvette synclinale dont la bordure Nord correspond au versant Sud de Kef Mechtob (178 m) et la bordure Sud aux versant Nord de Kef Oum Teboul (315 m) et Kef Dzair (433 m).

Cette cuvette a été transformée en lac d'eau douce à la suite d'apports limoneux arrachés aux collines par les cours d'eau qui s'y déversent, son évolution n'a pas été commandée par les accidents tectoniques, mais par l'envasement de son fond. Les mouvements tectoniques quaternaires sont seulement à l'origine de son creusement [Raachi, 2007].

• Pédologie :

Les précieux travaux de Durand (1954) ont contribué considérablement à la connaissance de la pédologie de la région. Des lors, de travaux sur le sol de la région et plus particulièrement sur la cuvette du lac Tonga. L'étude des sols du bassin versant du lac Tonga de Durand (1954) permet de déterminer deux types de sol distingue 10 types de sols qu'il classe en deux grandes catégories. [Raachi, 2007].

- **Hydrologie :**

Le réseau hydrologique de bassin versant inclus l'ensemble des cours d'eau drainant le territoire du bassin versant. Il comprend tous les canaux et les ruisseaux pour aboutir au cours d'eau principal. Il présente deux cours d'eau majeurs qui coulent toute l'année (Oued El Haut, long de 14 km, et Oued El Eurg, long 10km). Ces deux Oueds ont eu développement de leurs sous bassins versants. Tandis que le reste du pourtour de Lac Tonga est raviné par un réseau non hiérarchisé [Raachi, 2007].

1-3- Caractéristiques écologiques :

- ❖ **La flore :** Le Tonga compte quatre-vingt-deux espèces végétales qui appartiennent à 31 familles botaniques, parmi elles 32 espèces (39% de l'ensemble) sont classées d'assez rares à rarissimes. Parmi les espèces rares nous citons *Marsilea diffusa*, *Nymphaea alba*, *Utricularia exoleta*.
- ❖ **Faune remarquable :**
 - **Les mammifères:** La loutre *Lutra lutra* et le Cerf de Barbarie, espèce endémique de l'Algérie et de la Tunisie.
 - **Les oiseaux d'eau :** Quelques dizaines de milliers d'oiseaux d'eau (canards, oies, rallidés, ardéidés, limicoles et autres), hivernent au Tonga, site de nidification d'un nombre important d'espèces aviaires.
 - **Régime foncier/propriété :** Site : propriété domaniale Région alentour : domaine forestier et des terrains privés.
 - **Menaces :** Braconnage, encombrement du plan d'eau par la végétation et colmatage de son chenal, rejet des eaux usées des agglomérations alentours, pompage d'eau pendant la période d'étiage (cultures spéculatives), incendies répétés dans le bassin versant d'où une mise à nu des sols. Exploitation irrationnelle de l'anguille sans étude d'estimation des stocks et construction de barrages en amont.
 - **Mesures de conservation :** Le site est classé au même titre que les autres zones humides comme zone intégrale selon le statut type du Parc National d'El Kala, il est partie intégrante de la réserve de la biosphère et classé site Ramsar.

1-4-Caractéristiques climatiques :

Le climat est certainement un facteur du milieu très important. Il a une influence directe sur la faune et la flore. Un climat méditerranéen règne sur la région caractérisé par une pluviométrie abondante pendant la saison humide et les mois froids et par une sécheresse pendant l'été [Ozenda, 1982 ; S et Chabbi Y, 2000]

La température elle dépend de l'altitude, de la distance du littoral et de la topographie (Seltzer, 1946). A mesure que l'on s'éloigne de la mer, les températures annuelles moyennes s'abaissent (Tab 4).

Tableau 4 : Données climatiques de la région d'El-Kala (Bureau National d'Etudes Forestiers(BNEF), [Raachi, 2007]

Zone	Littorale	Sublittoral	Montagneuses
Paramètre			
T °C (moy/an)	18	15	10
P mm/an (moy/an)	936,7	879	119

2-Mode de prélèvement des échantillons:

Les choix des stations est un choix raisonné puisque les différents constituants de Lac Tonga ne sont pas homogènes pour toutes les régions de l'écosystème, pour cela, trois stations d'échantillonnage ont été sélectionnées (S1, S2 et S3), à une profondeur de 20 à 30cm, (Fig.10).

Dans les eaux de Lac Tonga, le réseau des trois stations d'échantillonnage, a été retenu, tenant compte de l'hétérogénéité des eaux et en fonction de l'accessibilité au site d'étude. Une quantité d'eau (environ 1L) est prélevée aseptiquement dans la colonne d'eau, puis on a ajouté 2 ml du lugol pour fixer les cyanobactéries.

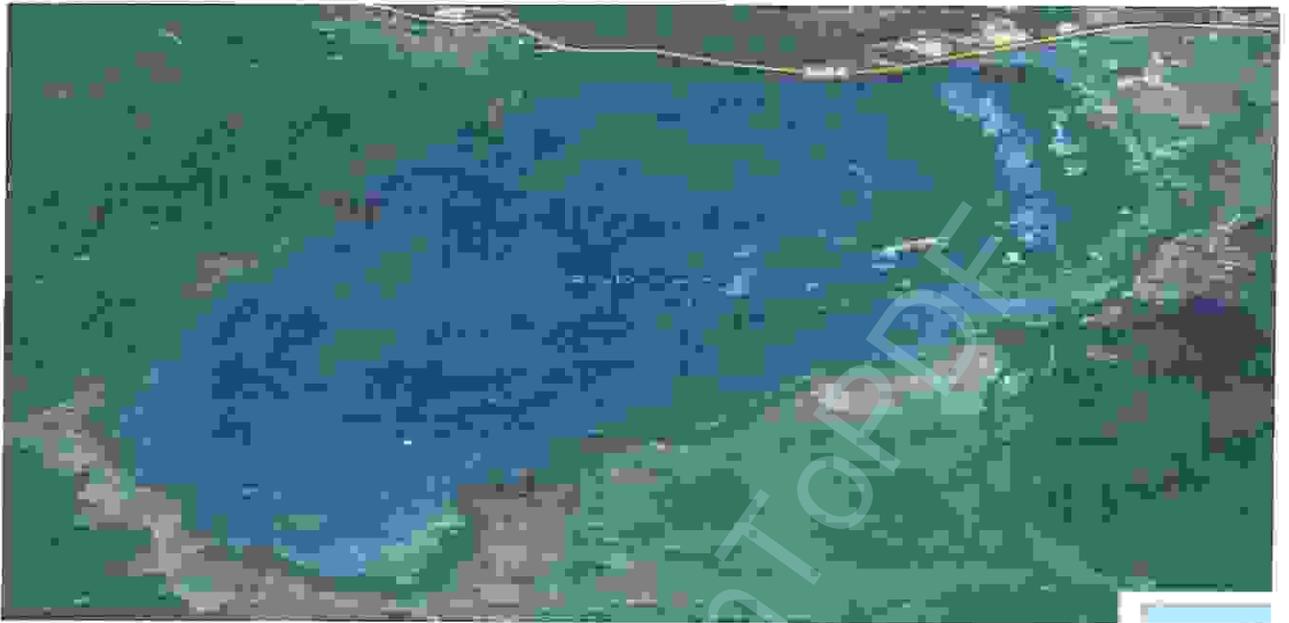


Figure 10: Localisation des stations de prélèvement [Nawel D *et al.*, 2009].

3-Etude des cyanobactéries :

3-1- Mesures des paramètres physico-chimiques:

L'analyse physico-chimique des eaux de lac Tonga a été faite durant trois mois (Mars, Avril et Mai). Les mesures de pH, l'oxygène, salinité, conductivité et la température sont effectuées à l'aide d'une sonde de terrain de marque inoLab Multi 720. (Fig. 11). les mesures ont été effectués *in situ* à chaque station, pour chaque campagne d'échantillonnage.



Figure 11 : inoLab Multi 720 [www.futura-sciences.com]

3-2- Analyse quantitative et qualitative des cyanobactéries :

Pour cela on prend 25ml de l'échantillon mère, après l'avoir bien mélangé, on la laisse se sédimenter dans une éprouvette graduée pendant 24 h, on garde que 5 ml se trouvant en bas, et on se débarrasse du reste, et à partir de cette petite quantité on fait notre analyse.

3-2-1-Analyse qualitative :

3-2-1-1-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 Bourrelly, (1985).

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.

❖ 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...).

❖ **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].

3-2-2-Analyse quantitative :**3-2-2-1-la abondance :**

Elle est exprimée en nombre de cellules des cyanobactéries 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 on a pu fait ca, on a utilisé le microscope oculaire optique pour l'analyse quantitative et qualitative on calculant la moyenne de trois échantillons de 20 µl de la solution mère.

3-2-2-2-Dominance :

La dominance (D) est déterminée comme suit :

$$D(\%) = \frac{n}{N} \cdot 100$$

Avec : n : nombre d'individus d'un groupe considéré.

N : nombre total d'individus dans l'échantillon [Amblard *et al.*, 1995].

3-2-2-3-La biomasse :

Le volume et la surface des unités de comptage ont été calculés en utilisant des combinaisons de formules géométriques simples, en approchant le plus possible les différentes espèces cyanobactéries des formes géométriques connues d'après les formules décrites par DIA & REYNAUD (1982). Les dimensions (diamètre des cellules, diamètre des colonies, longueur et diamètre des filaments...) sur un nombre variable d'unités de comptage sont mesurées à l'aide d'un disque transparent portant une échelle munie de 100 graduations sur le microscope oculaire micrométrique.

Ainsi :

- Pour les formes sphériques, on a $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ et $S = 4 \pi r^2$.
- Pour les formes cylindriques, on a $V = \pi r^2 \times h$ et $S = (2 \pi r \times h) + (2 \pi r^2)$
- Pour les formes pyramidales, on a $V = \frac{1}{3} \pi r^2 \times h$ et $S = (2 \pi r \times \text{apothème}/2) + (\pi r^2)$.

La biomasse a été estimée en utilisant le facteur de conversion biovolume selon la relation : $\mu\text{lm}^3 = 0.12 \cdot 10^{-6} \mu\text{g C}$. (Exprimée en $\text{mg} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$) [Amblard *et al.*, 1995].

CHAPITR III
RESULTAS ET DISCUSSION

Produced with Scantopdf

1-Paramètres physico-chimiques :

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

1-1-Température:

La température de l'eau affecté sa densité et sa viscosité, la solubilité des gaz et en particulier de l'oxygène, les vitesses de réactions chimiques et biochimiques.

Ces variations peuvent tuer certaines espèces aquicoles, mais également favoriser le développement d'autres espèces, ce qui entraine un déséquilibre écologique. [Arrignon, 1991].

L'évaluation des températures au niveau des trois stations étudiées et selon la (fig12), montre que la température augmente progressivement de 15.5°C à 24.5°C, lors des prélèvements des températures de surface du lac Tonga pendant les trois mois (Mars, Avril, Mai).

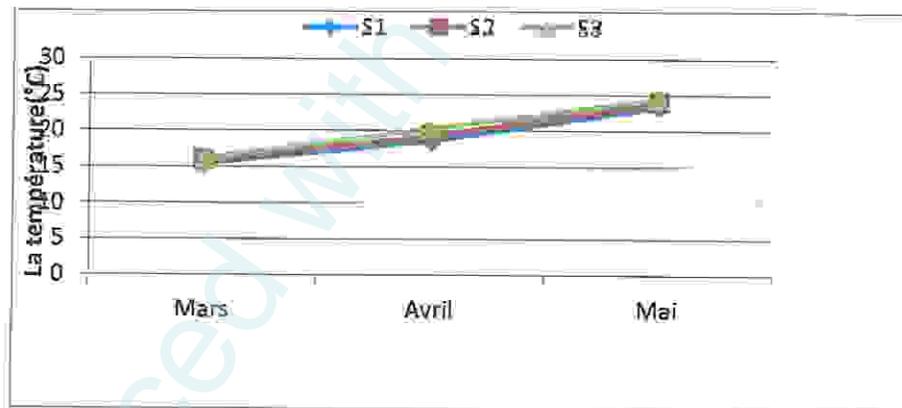


Figure 12 : Variation de la température de l'eau du Lac Tonga.

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 présentées dans la (fig. 13) montrent très peu de variation au cours des trois mois, avec une évolution similaire dans les trois stations de lac.

Les valeurs de pH, enregistrées au cours de la période d'étude, atteignent une valeur minimale de 6.4 enregistrée au mois de Mars et Avril, et une valeur maximale de 8.32 au mois de Mai.

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.

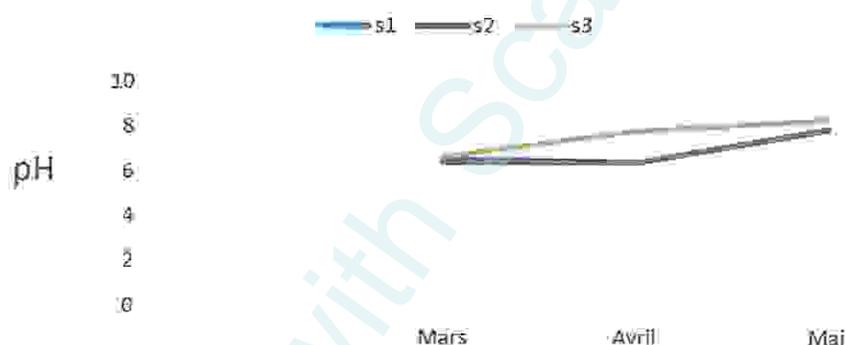


Figure 13 : Variation du pH de l'eau du lac Tonga.

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 lacs. L'oxygène dissous est considéré comme l'élément le mieux explicite des variations de la densité des cyanobactéries [Arrignon, 1999].

Ce paramètre n'a été mesuré qu'au mois de Mars, Avril et Mai. 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 2.85 à 3.12 mg/l, d'où une sursaturation du milieu en oxygène, et

également à une forte agitation des masses d'eau, et durant du mois de Mai, nous avons constaté que le taux d'oxygène dissous est très faible avec des valeurs 1.23 à 1.24 mg/l, et également à une agitation faible des masses d'eau (Fig. 14).

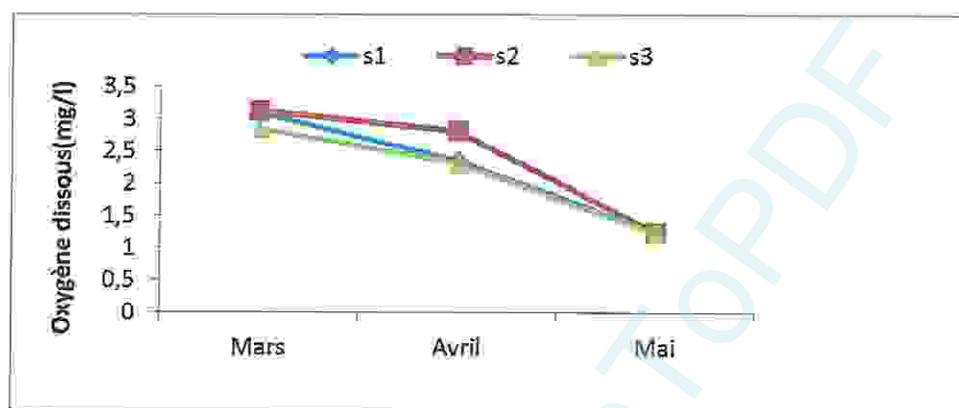


Figure 14 : Variation d'Oxygène dissous de l'eau du lac Tonga.

1-4- Conductivité :

La conductivité des eaux de Lac Tonga varie très peu au cours de la période d'étude. Elle était en moyenne de l'ordre de 432 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pratiquement dans tous les sites de prélèvements (Fig.15), sa valeur varie en fonction de la température.

Les mesures de la conductivité des eaux du lac Tonga ne montrent pas des grandes variations durant l'étude. Les fortes valeurs de conductivité mesurées se sont expliquées par la chaleur d'été qui provoque une augmentation en minéraux dissous par évaporation de l'eau. Pendant l'hiver où les valeurs de la conductivité un peu faible car les eaux de pluies constituent une véritable dilution qui diminue les concentrations des ions dissous.

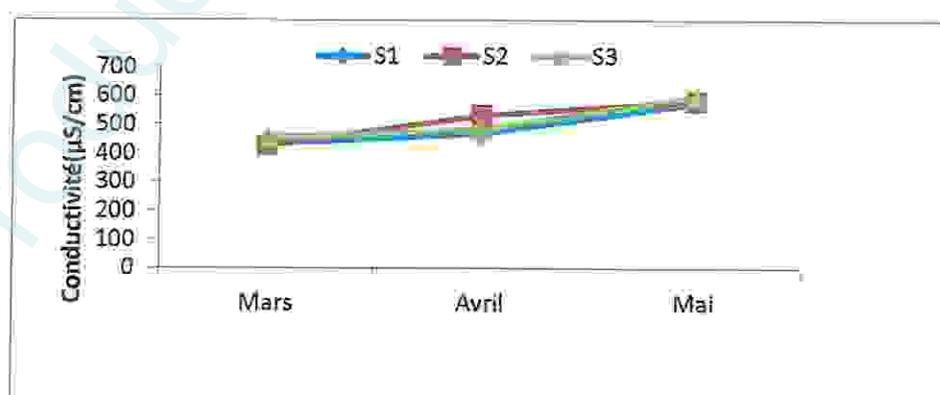


Figure 15 : Variation mensuelle de la conductivité dissous de l'eau du lac Tonga.

1-5-TDS :

Le total des solides dissous représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. IL est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Une forte concentration de TDS indique que des polluants nuisibles comme le fer, le manganèse, le sulfate, peuvent être présent dans l'eau.

Les valeurs de TDS, enregistrées au cours de la période d'étude, sont en générales non variables ayant comme valeurs maximales 547, 558, et 576 mg/l respectivement à S1, S2, et S3 (fig.16).

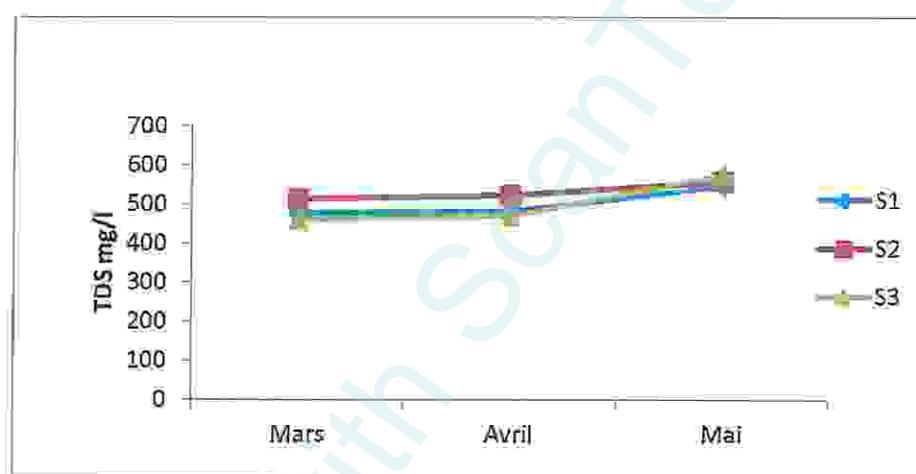


Figure16 : Variation de TDS au cours des trois mois.

Tableau 05 : Résultats des paramètres Physico-Chimiques du lac Tonga.

Mois	Station	Température (°C)	pH	Oxygène dissous (mg/l)	Conductivité (µS/cm)	TDS (mg/l)
Mars	01	15.5	6.56	3.10	432	477
	02	15.9	6.43	3.12	427	513
	03	16.2	6.70	2.85	453	461
Avril	01	18.7	6.40	2.35	468	481
	02	19.3	6.41	2.81	532	522
	03	20.3	7.81	2.31	484	471
Mai	01	23.4	7.86	1.24	574	547
	02	23.9	7.9	1.24	582	558
	03	24.5	8.32	1.23	598	576

2-Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries:

2-1-Analyse qualitative :

2-1-1-L'identification des cyanobactéries:

L'observation des caractères morpho-anatomiques des cyanobactéries récoltées dans le Lac Tonga nous a permis d'identifier 09 genres (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, *Microcystis*, *Pseudanabaena*, *Cylindrospermopsis*, *Oscillatoria*, *Spirulina*) et 14 espèces (*Anabaena miniata*, *Aphanizomenon sp.*, *Aphanocapsa sp.*, *Chroococcus sp.*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena sp.*, *Chroococcus limneticus*, *Pseudanabaena sp.*, *Anabaena flos aquae*, *Cylindrospermopsis sp.*, *Oscillatoria margaritifera*, *Oscillatoria sp.*, *Spirulina sp.*). (tab.06), avec des formes filamenteuses ou coloniales. La diversité des espèces mensuelle de cyanobactéries identifiées au cours de ce travail est représentée dans le (Fig.17).

Tableau 06: Diversité générique des cyanobactéries répertoriées dans le lac Tonga (Mars-Avril-Mai) 2013)

Mois	S1	S2	S3	total
Mars	<i>Anabaena miniata</i> <i>Aphanizomenon sp</i> <i>Aphanocapsa sp</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Aphanocapsa sp</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Pseudanabaena sp</i>	<i>Aphanocapsa sp</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Oscillatoria sp</i> <i>Pseudanabaena sp</i>	07
Avril	<i>Anabaena sp</i> <i>Chroococcus limneticus</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Pseudanabaena sp</i>	<i>Chroococcus globosus</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Pseudanabaena sp</i>	<i>Chroococcus globosus</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Pseudanabaena sp</i>	06
Mai	<i>Anabaena flos aquae</i> <i>Anabaena miniata</i> <i>Chroococcus limneticus</i> <i>Cylindrospermopsis sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Oscillatoria margaritifera</i> <i>Oscillatoria sp</i> <i>Pseudanabaena sp</i> <i>Spirulina sp</i>	<i>Anabaena flos aquae</i> <i>Anabaena miniata</i> <i>Chroococcus globosus</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Oscillatoria margaritifera</i> <i>Pseudanabaena sp</i> <i>Spirulina sp</i>	<i>Anabaena flos aquae</i> <i>Anabaena miniata</i> <i>Chroococcus globosus</i> <i>Chroococcus sp</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Oscillatoria margaritifera</i> <i>Pseudanabaena sp</i> <i>Spirulina sp</i>	13

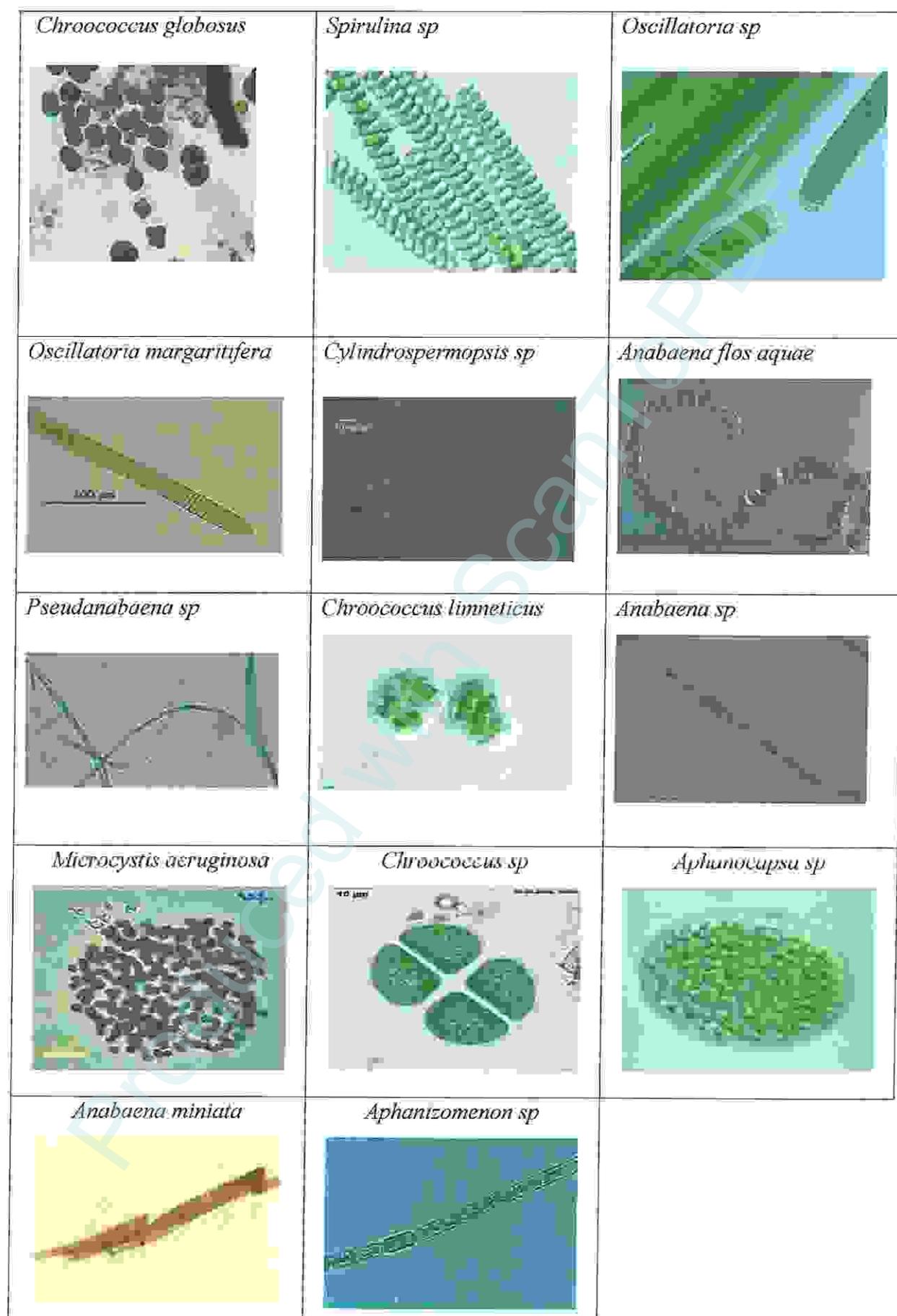


Figure 17 : Les genres des cyanobactéries identifiées. [Afssa et Afset, 2006].

La plus grande diversité des espèces est observée pendant les mois de Mai au moment où la température enregistrée entre 23,4°C et 24,5°C. On remarque que l'espèce *Cylindrospermopsis sp* n'est présent que dans la station 1. Par contre, les espèces *Microcystis aeruginosa* et *Chroococcus sp* sont observées dans tous les échantillons durant les 3 mois. On trouve dans les eaux du lac Tonga une distribution des espèces à des taux de 44% au mois de Mai, 32 au Mars, et 24% au mois d'Avril (Fig.18).

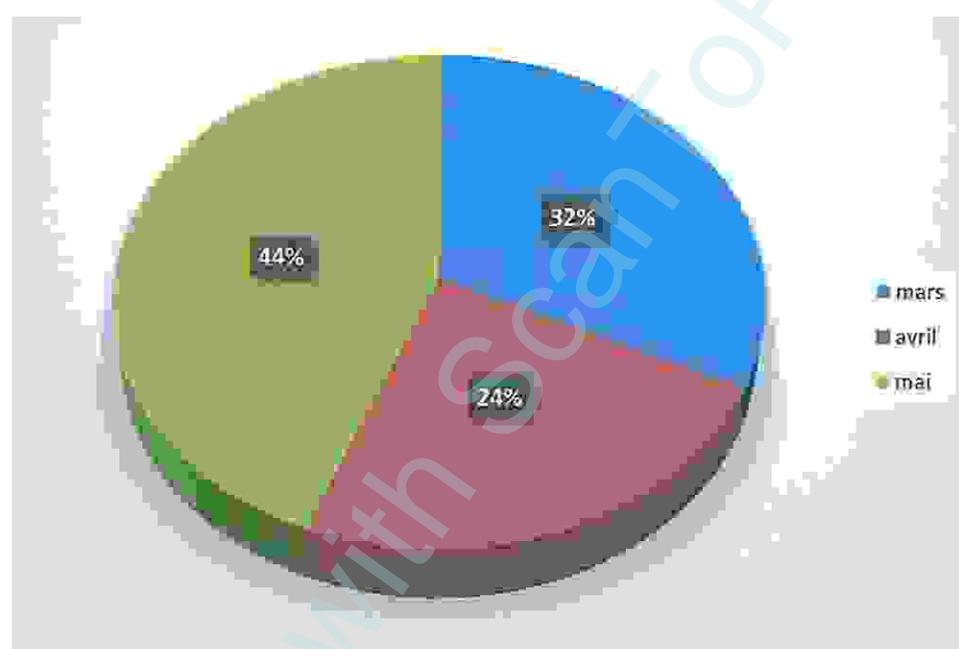


Figure 18 : Proportion des espèces au cours (Mars, Avril, Mai).

❖ Indice de diversité :

Un indice de diversité a été calculé au mois de Mars, Avril et Mai. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon est calculé, puis la moyenne de ces indices est mesurée pour chacune des mois Mars, Avril et Mai. Cet indice moyen est reporté à la (fig.19) pour chaque mois.

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.

L'indice de Shannon est basé sur les proportions d'espèces observées. La (fig.19) représente l'évolution de l'indice de diversité de Shannon, qui a montré des variations remarquables pendant les trois mois.

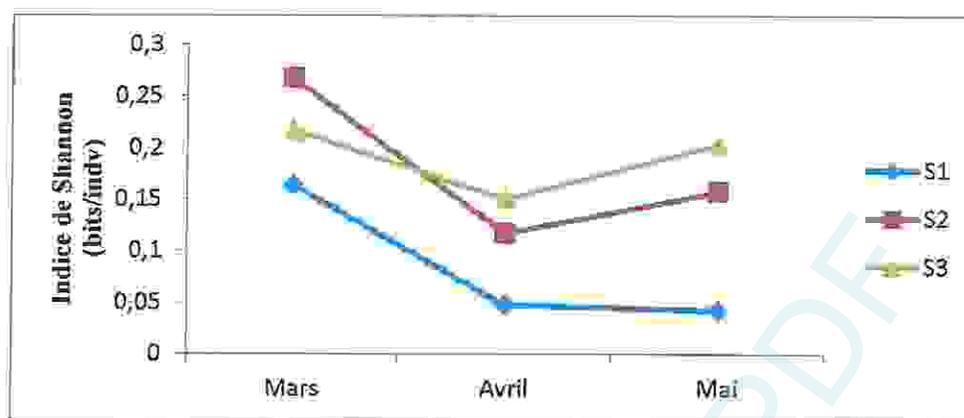


Figure 19 : Variation de l'indice de diversité de Shannon.

2-2-Analyse quantitative :

2-2-1-La abondance :

Les densités de cyanobactéries les plus élevées ont été enregistrées au niveau de la station 01 exposé au vent, dont les maximum valeurs sont observées au moi de Mai, par apport des stations 02 et 03 abritées où il s'agit de faible variation avec des valeurs moins élevées pendant l'étude. Cette distribution peut s'expliquer par le fait que la plupart de ces microorganismes possèdent des vacuoles à gaz qui leur permettent de se déplacer verticalement dans la colonne d'eau et facilitent leur transport par les vents dominants vers les sites exposés pour s'accumuler.

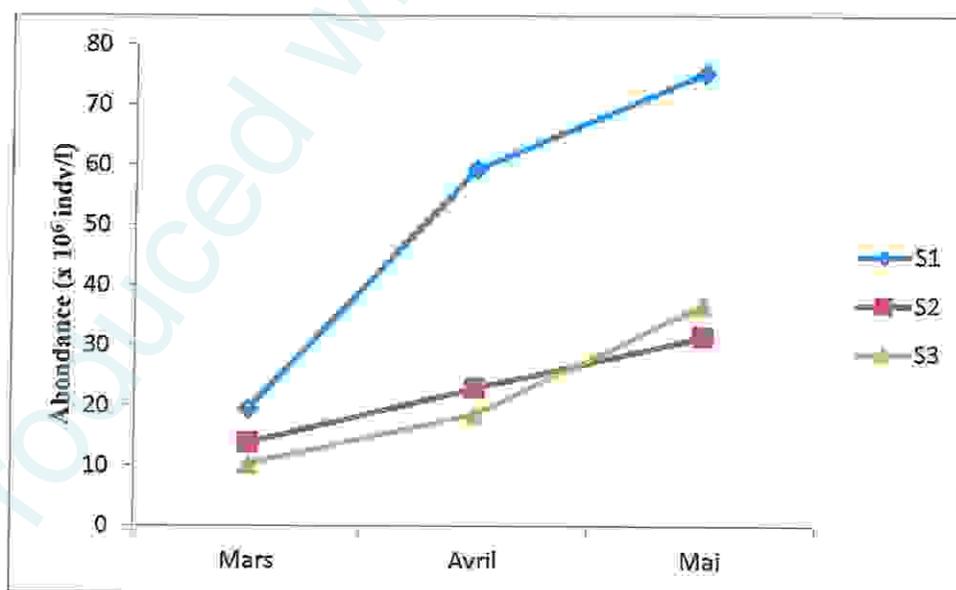


Figure 20: Variation de l'abondance des trois mois.

2-2-2-la dominance :

Microcystis aeruginosa est le plus dominant dans tous les sites de prélèvements et pendant les trois mois (Mars, Avril, Mai), avec une dominance moins faible que le premier de *Chroococcus sp* dans les S2 et S3, et que *Spirulina sp* malgré qu'elle est et présente dans tous les stations mais elle n'est jamais apparue comme une espèce dominante et que *Chroococcus limneticus* n'est que un peu dominant que les autres espèces mais seulement au niveau de la première station.

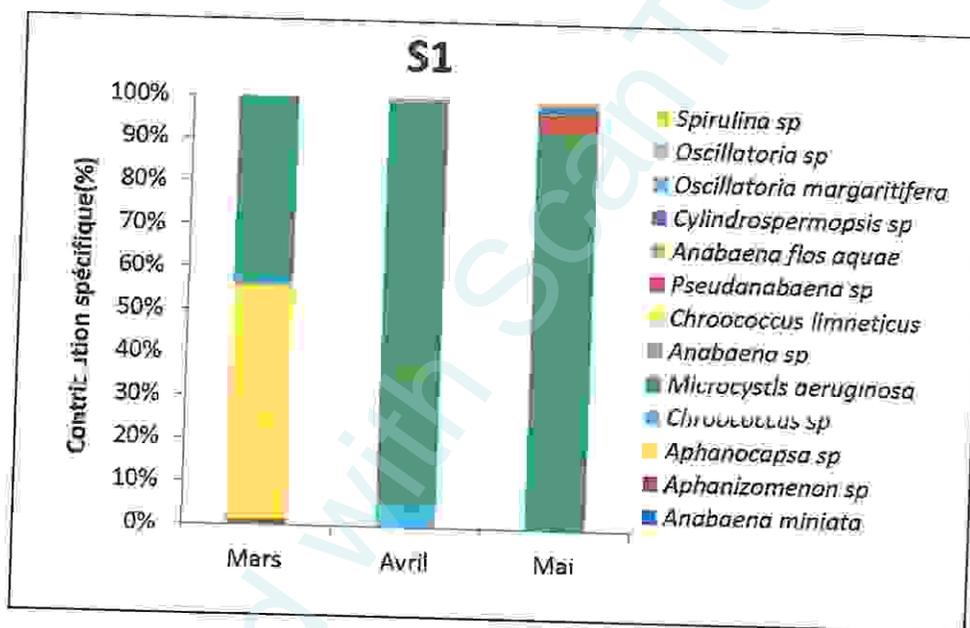


Figure 21 : Variation de la dominance de station I.

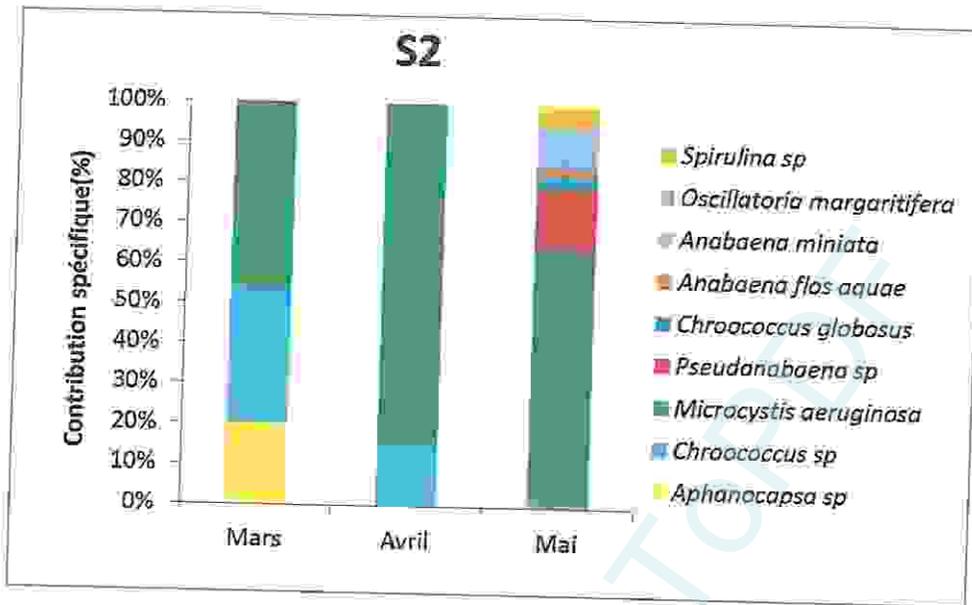


Figure 22 : Variation de la dominance de station 2.

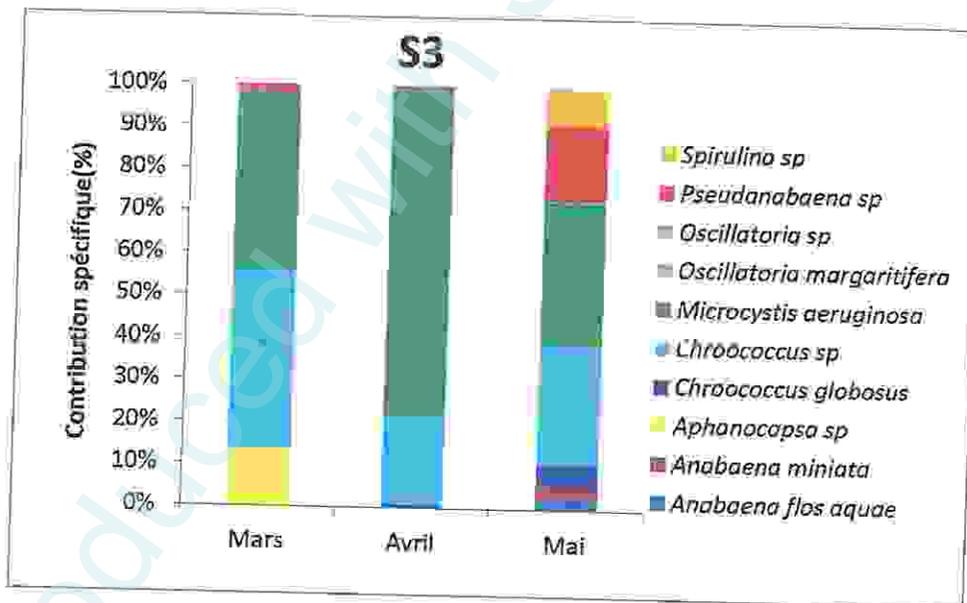


Figure 23: Variation de la dominance de station 3.

2-2-3-La biomasse :

La biomasse total des cyanobactéries a beaucoup fluctué tout au long de la période d'étude (Fig.23). plusieurs travaux ont montré que la croissance en phytoplancton dépend de la température (Burford et Pearso, 1998) et des éléments nutritifs (Graneli et *al.*, 1990) et des conditions de la lumière (Levasseur et al., 1984 ;Finkel, 2001). Ces paramètres fluctuent beaucoup au niveau de lac Tonga. Ils constituent, les facteurs essentiels qui peuvent influencer énormément la répartition des cyanobactéries. Les biomasses diminuent d'une manière remarquable en été, cela pourrait s'expliquer par le broutage exercé par les organismes supérieurs ainsi que les fortes intensités de lumière, qui inhiberaient la croissance des cyanobactéries surtout en surface.

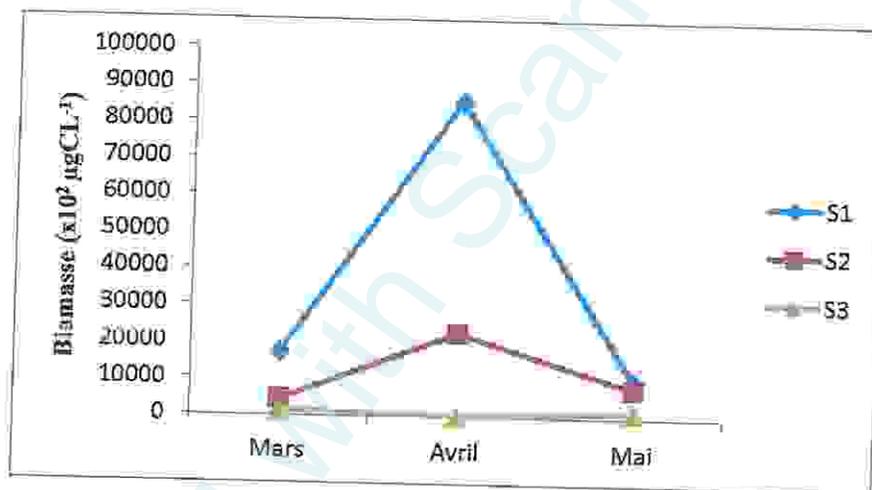


Figure 24 : Variation de la biomasse (Mars, avril, Mai).

CONCLUSION

Produced with ScanTOPDF

Conclusion

Notre étude nous a permis de constater que les paramètres physico-chimiques influencent directement sur la croissance des cyanobactéries et ce qui explique leur abondance variée dans Lac Tonga 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 Lac Tonga a montré l'existence de 14 espèces (*Anabaena miniata*, *Aphanizomenon sp*, *Aphanocapsa sp*, *Chroococcus sp*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena sp*, *Chroococcus limneticus*, *Pseudanabaena sp*, *Anabaena flos aquae*, *Cylindrospermopsis sp*, *Oscillatoria margaritifera*, *Oscillatoria sp*, *Spirulina sp*), et que *Microcystis aeruginosa* est le plus abondant dans toutes les stations et pendant tous les mois de prélèvement.

L'étude quantitative des cyanobactéries révèle des densités élevées durant ceci serait favorisé 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 par le vent.

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

Perspectives

A la suite de toutes ces observations, il serait utile d'élaborer un programme de surveillance des plans d'eau durant toute une année basés sur :

- Un suivi des paramètres physico-chimiques d'eau.
- Un suivi de la structuration de la communauté e cyanobactéries peuplant le lac Tonga de Wilaya de Taref.
- L'étude annuelle 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, l'identification et le dosage des toxines à partir de l'eau, des cyanobactéries et des organismes accumulateurs.

Produced with ScantopDF

Références Bibliographiques

Produced with ScanTOPDF

- Abbaci H, 1999. Ecologie du Lac Tonga : Cartographie de la végétation, palynothèque et utilisation spatio-temporelle de l'espace lacustre par l'avifaune aquatique. Thèse de magister. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Afssa et Afsset, 2006. Rapport commun sur les risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau. Juillet.
- Aráoz, R., Molgó, J. and Tandeau de Marsac, N. (2010). Neurotoxic cyanobacterial toxins. *Toxicon*, vol. 56, n° 5, p. 813-828.
- Azzouzi A, Ferdi S, Maizi D, (2009). Ecologie de la Poule sultane Pprphyrio au niveau du lac Tonga. Mémoire d'ingénieur. Université 08 Mai 1945. Guelma.
- Bounab C, Brahmia Hn Zeraoula A (2009). Inventaire et écologie des oiseaux d'eau fréquentant pendant leurs hivernages le secteur sud ouest du lac Tonga (Wilaya d'EL Taref) : Saison d'hivernage 2008/2009. Mémoire d'ingénieur. Université 08 Mai 1945. Guelma
- Bourrelley P. (1985) : Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III : Les algues bleues et rouges. Eugléniens, Péridiniens et cryptomonadines. Société Nouvelle des Editions Boubée, 607p.
- Chorus and J.Bartram, Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management, ed. by E&FN Spon on behalf of the World Health Organisation, 1999, pp.1-416.
- Carmichael W.W., 1994. The toxins of cyanobacteria *Sci Am* 270 (1), 78-86.
- 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. Second Edition.* G. Garrity, D. R. Boone, and R. W. Castenholz (eds.) Springer-Verlag, New York.
- Chrétiennot-Dinet, M.-J., 1990. Atlas du phytoplancton marin, vol. 3, Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnésiophycées, Rhodophycées et Tribophycées. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 261 pp
- COWAN and STEEL'S, 1993: *Manual for the Identification of Medical Bacteria.* Third Edition, Cambridge University Press, 331p.

- Falconer I.R., Humpage A.R., 2005, Health risk assessment of cyanobacterial (Blue-green algal) toxins in drinking water, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2(1), 43-50.
- Funari, E. and Testai, E. (2008). Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. *Critical Reviews in Toxicology*, vol. 38, n° 2, p. 97-125.
- Froscio S.M., Humpage A.R., Burcham P.C. & Falconer I.R., 2001. Cell-free protein synthesis inhibition assay for the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin. *Environ. Toxicol.* 16 (5), 408-412.
- Gupta, S., Giddings, M.S. and Sheffer, M. (2001) Cyanobacterial toxins in drinking water : a Canadian perspective, p. 208-212. In I. Chorus (ed.), *Cyanotoxins : occurrence, causes, consequences*. Springer, Berlin, Germany.
- Groupe scientifique sur l'eau 2005a. Cyanobactéries et cyanotoxines (eau potable et eaux récréatives). In *Fiches de synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Institut National de Santé Publique du Québec (ed.), pp.1-19.
- Guiraud J., Galzy P., 1980 : L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Collection Génie alimentaire. Editions Usine Nouvelle, Paris, 63p.
- Grasse P. P., 1949 : *Traité de Zoologie, Anatomie, Systématique, Biologie* : Ed. Masson et Cie, Paris, 979p.
- Hoffmann L., J. Komarek et J. Kastovský (2005). System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria)- state in 2004. *Algol. Stud.* 117 95-115
- Ishikawa, K. *et al.*, 2002. "Transport and accumulation of bloom-forming cyanobacteria in a large, mid-latitude lake: The gyre-Microcystis hypothesis", *Limnology*, vol. 3, p. 87-96.
- Jacquet, S., Briand, JF., Leboulanger, C., Avois-Jacquet, C., Oberhaus, L., Tassin, B., Vinçon-Leite, B., Paolini, G., Druart, JC., Anneville, O. and Humbert, JF. (2005) The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae* 4: 651-672.
- Jaeg JP. Microcystines : intoxication des animaux domestiques et sécurité des aliments d'origine animale. *Revue Méd. Vét.*, 2007; 158, 2, 46-58.
- Jaiswal, P., Singh, P.K. and Prasanna, R. (2008). Cyanobacterial bioactive molecules – An overview of their toxic properties. *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 54, n° 9, p. 701-717.

- Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Bjørnland, T., 1997. Data for the identification of 47 key phytoplankton pigments. In: Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W., (Eds), *Phytoplankton pigments in oceanography*, UNESCO, Paris, pp. 447-559.
- Lavoie I., Laurion I et Vincent W-F. (2007) Les fleurs d'eau de cyanobactéries, vulnérabilité des prises d'eau. Québec, INRS Eau, Terre et Environnement, rapport numéro 919, 17 p.
- 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 I. & Bartram J. (eds). London and New York, Spon, E. & F.N. p. 15-40.
- Nawel DJEBBARI, Zehaira BOUDJADI & Mourad BENSOUILAH, 2009, L'infestation de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758 par le parasite *Anguillicola crassus* Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974 dans le complexe de zones humides d'El Kala (Nord-Est algérien), *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Vie, 2009, n°31 (1), 45-50.
- Oliver R.L. & Gant G.G., 2000. Freshwater blooms. In *The ecology of cyanobacteria*. Whitton B.A. & Potts M. (eds). Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers. p. 149-194.
- Ozenda P (1982) Les végétaux dans la biosphère, Doin, Paris, p341
- Pilet C., Bourdon L. J., Toma B., Marchal N., Balbastre C., 1981 : Bactériologie médicale et vétérinaire. Paris, 437p.
- Raachi M, L (2007). Etude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du Lac Tonga au Nord-Est Algérien. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en géographie. Université de Québec à Manterial.
- Rippka, R., 1988. Isolation and purification of cyanobacteria. In : Packer, L, Glazer, N (Eds). *Methods in enzymology*. Pp. 3-27.
- Reynolds C. S. (1997). *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Excellence in Ecology n°9. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, 371 pp.
- Rippka R., Deruelles J. B. , Waterbury J. B. , Herdman M., Stanier R. Y. (1979). Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *Journal of General Microbiology* 111 : 1- 61
- Ricard, M., 1987. Atlas du phytoplancton marin, vol. 2, Diatomophycées. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 297 pp

- Sieburth, J.M., Smetacek, V., Lenz, J., 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.* 23, 63.
- Sournia, A., Chrétiennot-Dinet, M.J., Ricard, M., 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? *J. Plankton Res.* 13, 1093-1099.
- Seltzer P., (1946). Le climat d'Algérie. Trav. Ins. Met. Et Phy. Du Globe. Université d'Alger
- SMAYDA, T.J., 1997. "What is a bloom? A commentary" *Limnology and Oceanography*, vol.42, p. 1132-1136.
- Tilman D., Kilham S.S. & Kilham P., 1982. Phytoplankton community ecology : The role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13, 349-372.
- Van Apeldoorn, M.E., Van Egmond, H.P., Speijers, G.J.A. and Bakker, G.J.L (2007). Toxins of cyanobacteria. *Molecular Nutrition and Food Research*, vol. 51, n° 1, p. 7-60.
- Yeager CM, Kornosky JL, Morgan RE, Cain EC, Garcia-Pichel F, Housman DC, Belnap J, Kuske CR. (2007) Three distinct clades of cultured heterocystous cyanobacteria constitute the dominant N₂-fixing members of biological soil crusts of the Colorado Plateau, USA. *FEMS Microbiol Ecol.* 60(1):85-97.
- YAOU B. I., 2007 · Microbiologie générale Editeur : Imprimerie IPI, 168
- Zadi Sainthia J, (2008). Les cyanotoxines dans les eaux impact sur la santé publique. Mémoire de Pharmacien d'état. Université Badji Mokhtar Annaba. P 11-12

Produced with ScanTopDF

Annexes

Embranchement : Cyanobactéries

Class **Cyrobacteria** Cavalier-Smith, 2002

Order Oscillatoriales Cavalier-Smith, 2002

Family Pseudanabaenaceae Anagnostidis & Komárek, 1988

Genus Pseudanabaena R. Lauterborn, 1915

Pseudanabaena sp

Order Chroococcales Cavalier-Smith, 2002

Family Merismopediaceae Elenkin, 1933

Genus Snowella Elenkin, 1933

Snowella lacustris (R. Chodat) J. Komárek & F. Hindák, 1988

Family Microcystaceae Elenkin, 1933

Genus Gloeocapsa Kützing, 1843

Gloeocapsa dispersa

Gloeocapsa sp

Family Chroococcaceae

Genus Aphanocapsa C. Nägeli, 1849

Aphanocapsa sp

Genus Chroococcus C. Nägeli, 1849

Chroococcus globosus (Elen.) Hind.

Chroococcus limneticus Lemmermann, 1900

Chroococcus sp

Chroococcus turgidus (F. T. Kützing) C. Nägeli, 1849

Genus Merismopedia F.J.P. Meyen, 1839

Merismopedia elegans A. Braun ex Kützing, 1849

Genus Microcystis Kützing ex E. Lemmermann, 1907

Microcystis aeruginosa (Kützing, 1833) F.T. Kützing, 1846

Genus Rhabdoderma W. Schmidle & R. Lauterborn, in W. Schmidle, 1900

Rhabdoderma lineare W. Schmidle & R. Lauterborn, in W. Schmidle, 1900

Class **Myxophyceae**

Order Hormogonales

Family Oscillatoriaceae

Genus Oscillatoria Vaucher, 1803 ex Gomont, 1892

Oscillatoria margaritifera (F. T. Kützing) ex Gomont, 1892-1893[1893]

Oscillatoria quadripunctata Brühl & Bisw.

Oscillatoria sp

Genus Spirulina P.J.F. Turpin, 1827 ex M. Gomont, 1892

Spirulina sp

Family Nostocaceae

Genus Anabaena Bory de St.-Vincent, 1822 ex Bornet & Flahault, 1886

Anabaena flos-aquae (Lyngb.) Brébisson

Anabaena miniata (Nag.) Oltm.

Anabaena sp

Genus Aphanizomenon C. Morren ex E. Bornet & C. Flahault, 1886-1888[1888]

Aphanizomenon sp

Genus Cylandropermopsis G. Seenayya & N. Subba Raju, 1972

Cylandropermopsis sp

Annexes

- Lugol

Iodure de potassium.....	100 g
Iodine cristalline.....	50 g
Eau distillée.....	1000 ml

PREPARATION DU LUGOL

La préparation du lugol (mélange iodo-ioduré de potassium) nécessite le mélange des produits dans l'ordre suivant :

- Préparer 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 50 g d'iodure de potassium
- Agiter pendant 15 minutes
- Ajouter 25 g d'iode sublimé
- Agiter pendant 15 minutes
- Ajouter 250 ml d'H₂O distillée
- Ajouter 25 g d'acétate de soude
- Agiter pendant 15 minutes

Conserver au sombre, de préférence dans une bouteille ambrée de 500 ml avec bouchon rodé.

Ne pas utiliser de récipient en plastique. (J.C. DRUART et F. RIMET. 2008 Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes.

Résumé

Le présent travail porte sur l'inventaire des cyanobactéries et le suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques d'un plan d'eau douce.

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau montre des variations spatio-temporelles en relation avec les conditions locales de la région.

L'observation des caractères morpho-anatomiques des cyanobactéries dans Lac Tonga nous a permis d'identifier 9 genres, 14 espèces et le suivi de l'évolution des densités micro-algue montre la prédominance du genres *Microcystis*, *Chroococcus* qui sont reconnus comme potentiellement toxiques.

Mots clés : Cyanobactéries ; Lac Tonga ; physico-chimie ; variation.

Abstract

This work focuses on the inventory of cyanobacteria and monitoring the evolution of the physico-chemical parameters of a freshwater lake.

Analysis of physico-chemical parameters of the water shows spatio-temporal variations related with local conditions in the region.

The observation of morpho-anatomical characteristics of cyanobacteria in Lake Tonga has allowed us to identify nine genera, 14 species and monitoring the evolution of micro-algae densities shows the predominance of the genera *Microcystis*, *Chroococcus* which are recognized as potentially toxic.

Keywords: Cyanobacteria; Lake Tonga, physico-chemistry changes.

ملخص

يركز هذا العمل على جرد من البكتيريا الزرقاء ورصد تطور المعلمات الفيزيائية والكيميائية للبحيرة للمياه العذبة. تحليل المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه يبين ان تغيرات الزمنية و المكانية لها علاقة مع الظروف المحلية للمنطقة. قد سمحت مراقبة الخصائص التشريحية و المخفولوجية للبكتيريا الزرقاء في بحيرة تونغنا لنا تحديد تسعة أجناس، [4] نوعا ورصد تطور كثافة الطحالب الدقيقة يظهر ان أجناس *Microcystis*, *Chroococcus*، اعترف بأنه يمكن أن تكون سامة.

كلمات البحث: البكتيريا الزرقاء؛ بحيرة تونغنا، والتغيرات الفيزيائية والكيميائية.



Produced with Scan Top PDF