

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Microbiologie appliquée

THEME

**Impact des paramètres physico-chimiques sur
la croissance de phytoplancton du barrage
infero-flux tadjmout (Laghouat)**

Présenté par :

Boussebci Ibtihal

Devant le jury :

Président(e) : Chaibi Rachid, Maitre de conférences B.

Rapporteur : Benaceur Farouk et Bouazzara Houria.

Examineur (rice) s: Djebli Ahmed et Zerrouki Houcine, Maitre assistant B.

Soutenu publiquement le : 29 / 09 /2020.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire, fruit de recherche et d'étude :

À mon respect et mon exemple dans ma vie, mon très chère père, qui m'a très bien élevé et m'a poussé à devenir ce qui je suis. Vous avez fait d'énormes sacrifices pour vos enfants et vous n'avez jamais cessé de nous prodiguer des conseils pour le droit chemin. Je ne saurais jamais vous remercier assez. Seul dieu peut vous gratifier de tout ce que vous avez fait pour nous.

À la femme que son amour est creusé dans mes fonds les plus profond depuis ma naissance, ma mère. Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement.

Vous m'avez aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec et à chaque fois une attention renouvelée. Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

À mes chères sœurs « Safia, khalida ,Djawida » .

À mon cher frère « Mohamed » .

À mes cher petites nièces « Syrène , Maria , Ines ,Houda » et mes adorables neveux « Ibrahim , Younes » .

Remerciements

je remercie tout d'abord dieu, le tout puissant, de m'avoir donné la force, le courage, la patience et les moyens à fin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de biologie, Facultés des sciences, Université Ammar Thelidji Laghouat.

Je remercie vivement mon encadreur Dr. Bennaceur Farouk d'avoir accepté d'encadrer ce travail avec beaucoup de compétence.

Un grand merci à mon Co-encadreur Mme. Bouazzara Houria de m'avoir guidé au cours de période de recherche .

Tout mon respect et mes remerciements vont vers les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Un merci particulier à tous les employeurs du laboratoire de médecine pour tous les efforts et les soins qu'ils me a portés dans le déroulement de ce travail, qu'ils trouvent ici mon profonde reconnaissance.

Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Boussebci. ?

الملخص :

يهدف هذا العمل إلى تحليل عينات ماء مأخوذة من سد تاجموت (الاعواط)، لدراسة تكيف البكتيريا الزرقاء مع ظروف النمو. لهذا قمنا بإجراء فحوصات لبعض المعايير الفيزيائية والكيميائية (درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، والأوكسجين المنحل، والناقلية، ودرجة الملوحة، والمواد الصلبة الذائبة والكلوروفيل أ) ودراسة تكيفها في 2 درجات حرارة، 3 درجات حموضة و 4 درجات ملوحة ولتحديد كثافة البكتيريا الزرقاء خلال فترة تمتد من 10 فبراير 2020 حتى 19 مارس 2020. نتائج قياس المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه أظهرت تغيرات موسمية ومكانية.

سمحت لنا مراقبة البكتيريا الزرقاء التي تم جمعها بتحديد 4 أجناس: *Anabaena*, *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Merismopedia*, النتائج التي تم الحصول عليها أظهرت تأثيرا إيجابيا لدرجة الحموضة المتعادل تقريبا قاعديا , ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض الملوحة على نمو الطحالب.

الكلمات الأساسية: العوالق النباتية، البكتيريا الزرقاء، الخصائص الشكلية و التشريحية، التكيف مع الظروف العوامل البيئية والفيزيائية والكيميائية، سد تاجموت - الأعواط.

Résumé :

Ce travail vise à analyser l'adaptation des cyanobactérie aux condition de croissance prélever aux barrage de Tadjmout (Laghout) , Pour cela nous avons procédé aux dosages de certains paramètres physico chimiques (Température, pH, oxygène dissous, conductivité, salinité, TDS et chlorophylle a) afin d'étudier l'adaptation des souches en 2 température , 3 pH et 4 salinité et à la détermination de la densité des cyanobactéries récoltées durant une période s'étalant du mois 10 février 2020 jusqu'à 19 mars 2020. Les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau montre des variations saisonnières et spatiales. L'observation des caractères morpo - anatomiques des cyanobactéries récoltées nous a permis d'identifier 4 genres : *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Merismopedia*. Les résultats obtenues montrent un effet positif de pH presque neutre à alcalin, une haute température et d'une faible salinité sur la croissance algale.

Mots clés : phytoplancton, cyanobactéries, caractères morpo – anatomiques, adaptation aux conditions environnementales, paramètres physico-chimiques, barrage de Tadjmout–Laghout.

Abstract:

This work aims to analyze the adaptation of cyanobacteria to the growth conditions. Isolated from the Tadjmout (Laghout) dam, For this we carried out the assays of certain physicochemical parameters (Temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, salinity, TDS and chlorophyll a) in order to study the adaptation of strains in 2 temperature, 3 pH and 4 salinity and for the determination of the density of the cyanobacteria collected during a period extending from 10 February 2020 until 19 March 2020. The results of the measurements of physico-chemical parameters of water show seasonal and spatial variations. The observation of morpo - anatomical characters of the cyanobacteria collected allowed us to identify 4 genera: *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Merismopedia*. The results obtained show a positive effect of almost neutral pH at alkaline, high temperature and low salinity on algal growth.

Key words: phytoplankton, cyanobacteria, morpo - anatomical characters, adaptation to environmental conditions, physico-chemical parameters, Tadjmout – Laghouat dam.

Sommaire

Remerciement	
Résumé	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralité sur le phytoplancton.

I. Les Phytoplancton.....	3
I.1. Historique.....	3
I.2. Définition	3
I.3. Ecophysiologie du phytoplancton.....	4
I.4. Les principaux groupes de phytoplancton.....	5
I.5. La place du phytoplancton dans le réseau trophique.....	8
I.6. Rôle du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques	9
I. 6.1. Dans la photosynthèse	9
I. 6.2. Dans la Chaîne alimentaire	10
I.6.3. En tant qu'indicateur dans la qualité biologique des eaux.....	10
I.6.4. En tant qu'indicateur de pollution	10
I.7. Dynamique des communautés phytoplanctoniques	10
I.7.1. Facteurs de croissance.....	10
I.7.2. Facteurs de mortalité.....	11

Chapitre II : Cyanobactéries et leurs toxines

II. Les cyanobactéries	12
II. 1. Classifications bactériologique et botanique.....	12
II. 2. Caractéristique morphologique	13
II. 3. Organisation morphologique	14

II. 4. Métabolisme des cyanobactéries	15
II. 5. Habitat et Écologie	15
II. 6. Croissance et prolifération.....	16
II.6.1. L'eutrophisation	16
II. 6.2. Facteurs physico-chimiques favorables	17
II.6.3. La stratification de la colonne d'eau	17
II. 7. Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries	17
II.8. Aspects toxicologiques.....	17
II.8.1. Les cyanotoxines	17
II. 9. Autres métabolites secondaires.....	18
II. 10. Facteurs influençant la production des toxines.....	19
II. 10. 1. Lumière.....	19
II. 10. 2. Les nutriments et le fer	19
II. 10. 3. pH	19
II. 10. 4. Température.....	19
II. 11. Stratégie d'Adaptations.....	20
II. 11.1. Pigments photosynthétiques	20
II. 11. 2. Mobilité verticale et horizontale	20
II. 11. 3. Nutriments : fixation d'azote	21
II. 11.4. Prédation.....	21
II. 11.5. Dormance.....	21
II. 11.6 adaptation chromatique.....	22
II. 12. Les conséquences des cyanobactéries pour la santé humaine, animal.....	22
II. 12.1. Impact sur la santé humaine.....	22
II. 12. 2. Impact sur la santé animale.....	22

Partie expérimentale

III. Matériel et méthodes

III. 1. Présentation de la région d'étude	24
III. 1.1. Situation géographique	24
III. 1.2. Le climat	24
III. 1.3. Présentation de site d'échantillonnage	24

III. 1.4. Présentation de barrage infero- flux Tadjmout (pont Oued M'zi)	25
III. 2. Présentation générale des méthodes utilisées dans le mémoire	26
III. 2.1. Echantillonnage	26
III. 2.1.1. La récolte de phytoplancton.....	26
III. 2.1.2. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau	27
III. 2.1.2.1 Mesure de la T°, pH, oxygène dissout, conductivité, TDS et la salinité.....	27
III. 2.1.2.2. Dosage de la chlorophylle a	27
III. 3. Identification des phytoplanctons.....	28
III. 3.1. Dénombrement des microalgues	28
III. 3.2. Isolement des cyanobactéries.....	29
III. 4. Préparation des milieux de culture	29
III. 4.1. Détermination de la température optimale pour la croissance.....	30
III. 4.2. Détermination de la concentration optimale en sel pour la croissance.....	31
III. 4.3. Détermination du pH optimal pour la croissance	31
IV. Résultats :	
IV.1. Caractéristique physicochimique de l'enchantions d'eau	32
IV. 2. Enumérations de phytoplancton et isolement des cyanobactéries	32
IV. 2.1. Morphologie et colonie des cellules de phytoplancton isolées dans le barrage de Tadjmout .	33
IV. 2.2.1. Estimation de la masse algale	33
IV. 1. Aspect macroscopique et microscopique des cultures de cyanobactéries isolées	35
IV. 2.1. Aspect macroscopique	35
IV. 2.2. Aspect microscopique	35
IV. 3. Croissance des cultures de Gleocapsa sp sur les différentes conditions de culture	36
IV. 3.1. Effet de la température sur la croissance de Gleocapsa sp	36
IV. 3.2. Effet de pH sur la croissance de Gleocapsa sp	37
IV. 3.3. Effet de la salinité sur la croissance de Gleocapsa	39
Discussions	42
Conclusion	44
Références bibliographiques	45
Annexes	

Liste des figures :

Figure. 1.1. Exemples de phytoplancton pour différents groupes, en haut, avec de droite à gauche, <i>Cyanobactéries</i> , <i>Dinoflagellés</i> , <i>Prochlorococcus</i> , <i>Diatomées</i>	08
Figure. 1.2. Chaîne alimentaire et le réseau trophique.	09
Figure. 2.1. Diversité morphologique des cyanobactéries.	14
Figure.2.2. Mortalité des tortues dans le lac Oubeïra en Algérie suite à une efflorescence de <i>Microcystis</i> spp. (Nasri et al., 2008).	23
Figure. 3.1. Photos satellites de situation géographique de la commune Tadjmout – wilaya Laghouat (Google maps, 2020).	25
Figure 3.2. Barrage infero- flux du Tadjmout (pont oued M’zi) 2020.....	26
Figure. 3.3. Station d’échantillonnage d’eau, barrage infero-flux Tadjmout laghouat, 2020. 26	
Figure. 3.4. Milieu Aiba et Ogawa (AO), pH 9.47.....	30
Figure. 3.5. Les cultures de <i>Gleocapsa</i> sp incubées à température ambiante à l’intérieur et à côté d’une fenêtre.	30
Figure. 3 .6. Echantillons incubé dans un phytotron à température 50°C.	31
Figure. 4.1. Aspect macroscopique des cultures de <i>Gleocapsa</i> sp isolée après 15 jours d’incubation	35
Figure. 4.2. <i>Gleocapsa</i> sp sous microscope optique à l’objectif 40 (GX400).....	35
Figure. 4.3. Effet de la température ambiante 25°C sur la densité cellulaires de <i>Gleocapsa</i> sp	36
Figure. 4.4. Effet de la température élevé 50°C sur la densité cellulaires de <i>Gleocapsa</i> sp . 37	
Figure. 4.5. Effet de pH 6 sur la densité cellulaires de <i>Gleocapsa</i> sp	38
Figure. 4.6. Effet de pH 7 sur la densité cellulaires de <i>Gleocapsa</i> sp	38
Figure. 4.7. Effet de pH 10 sur la densité cellulaires de <i>Gleocapsa</i> sp	39
Figure. 4.8. Effet de la salinité 0.1% sur la densité cellulaires de <i>Gleocapsa</i> sp	40

Figure. 4.9. Effet de la salinité 0.3% sur la densité cellulaires de <i>Gleaocapsa sp</i>	40
Figure. 4.10. Effet de la salinité 0.6% sur la densité cellulaires de <i>Gleaocapsa sp</i>	41
Figure. 4.11. Effet de la salinité 0.9% sur la densité cellulaires de <i>Gleaocapsa sp</i>	41

Liste des tableaux :

Tableau. 2.1. Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries..	12
Tableau. 2. 2. Caractéristiques morphologiques communes aux bactéries et aux algues du phytoplancton	13
Tableau.2.3. Classement des cyanotoxines (structure moléculaire, mode d'action).....	18
Tableau.2.4. Quelques cas d'intoxication animale par les cyanobactéries.	23
Tableau. 4.1. Caractéristiques d'échantillonnage d'eau (température de l'eau, pH, salinité, conductivité (CE), TDS, oxygène dissous et chlorophylle a dans le barrage de Tadjmout au mois de février 2020.....	32
Tableau. 4.1. Caractéristiques morphologiques et le nombre (individu/L) de chaque espèces isolées..	33

Liste des abréviations :

Ab :	Absorbance.
C° :	Degrés celsius.
CO₂ :	Dioxyde de carbone.
Col. :	Colonies.
Cya :	Cyanobactéries.
E.D	Eau distillée.
Fil :	Filament.
Indiv :	Individus.
L / l :	Litre.
m :	Mètre.
m³ :	Mètre cube.
µg :	Micro gramme.
µm :	Micro mètre.
ml :	Millilitre.
min :	Minute.
N :	Nord.
O₂ :	Oxygène.
O.M.S :	Organisation mondial de la santé.
% :	Pourcentage.
P :	Seuil de probabilité.
PH :	Potentiel hydrique.
Phyt :	Phytoplancton.
T° :	Température.
Chl a	Chlorophyll a

Introduction

Introduction :

Les eaux douces et particulièrement les eaux de surface, qui représentent une ressource vitale pour l'homme, sont menacées par des pollutions diverses, d'origine anthropique. Le phytoplancton réagit à ces altérations et peut être considéré comme un indicateur de la dégradation de la qualité des eaux continentales, proposé par la DCE (Directive Cadre sur l'Eau) comme élément de qualité biologique. La prolifération du phytoplancton a un impact direct sur les écosystèmes aquatiques entraînant des modifications de la diversité et de la dynamique des populations (**Chorus et Bartram, 1999**).

L'écosystème aquatique recouvre une grande diversité de milieux, tous caractérisés par l'omni présence de l'eau (douce ou salée, vive ou lente). Comme tout écosystème, ce sont des ensembles environnementaux structurés dans lesquels se produisent des échanges de matière et d'énergie dus aux interactions entre les organismes vivants (biocénose) et leur habitat (biotope). Depuis quelques années, en réponse à des besoins en eau, l'Algérie a construit un certain nombre de barrages pour augmenter le volume d'eau disponible, ce qui a accentué la fragilisation des milieux aquatiques. Les activités urbaines et les pratiques agricoles intensives ont entraîné une augmentation des charges en azote et en phosphore dans les milieux aquatiques avec pour conséquence une augmentation de l'eutrophisation, c'est à dire de la charge en matière organique, qui se traduit le plus souvent par une prolifération des cyanobactéries. Depuis plus de vingt ans on observe dans divers plans d'eau de notre région une augmentation de la fréquence et de l'intensité d'apparition de ces organismes parmi le micro-phytoplancton. Les cyanobactéries sont des procaryotes placés dans le règne des Eubactéries (Woese, 1994). Le diamètre de ces procaryotes varie d'environ 1 à 10 μm (**Duy et al., 2000**), elles peuvent être unicellulaires, filamenteuses formant des trichomes ou en colonies (**Prescott et al., 1995; Chorus et Bartram, 1999**). La croissance algale est favorisée par des caractéristiques optimales particulières (Température, pH, ensoleillement, nutriments... etc.). La toxicité du phytoplancton est un problème dont l'importance est grandissante dans le monde. En fait, il semble que les efflorescences toxiques soient de plus en plus fréquentes et associées à l'eutrophisation qui dépend de la géomorphologie et l'hydrodynamisme (profondeur et mélange des couches d'eaux, taux de renouvellement des eaux, les bassins versants des grands fleuves, le volume d'eau, et les apports d'eau douce (apports fluviaux et précipitation) des facteurs physico-chimiques (oxygène dissous, température, lumière, turbidité et pH) et également l'enrichissement des eaux en nutriments essentiellement le phosphore et l'azote qui vont favoriser la croissance algale (**Lacaze, 1996**).

Les cas d'empoisonnement interviennent au moment de la prolifération des cyanobactéries et le risque devient important lorsque les blooms sont concentrés à la surface de l'eau au niveau des berges ou ils s'accumulent (**Christofersen 1996, Carmichel et al. 1993, Codd et al. 1997**).

Face aux problèmes environnementaux et sanitaires croissants qui accompagnent les proliférations de cyanobactéries, de nombreux travaux ont été initiés sur le déterminisme de ce phénomène et sur la production de cyanotoxines. Face aux problèmes environnementaux et sanitaires croissants qui accompagnent les proliférations de cyanobactéries, de nombreux travaux ont été initiés sur l'impact des facteurs physico chimique : température, salinité , pH, lumière, TDS.(**Valentine, 2004, Chorus & Bartram.1999 , Huang et al., 2008 , Nalewajko & Murphy, 2001, Briand et al., 2004 , Soumay el herry, 2008 , El Haouati, 2015**).

Le but de ce travail est d'étudier l'adaptation des cyanobactéries aux conditions de croissance prélevées au barrage de Tadjmout (Laghouat), pour cela cette étude comporte plusieurs volets :

- Identifier les différents genres de phytoplanctons qui peuplent le barrage de Tadjmout durant la période d'étude.
- Suivre l'évolution des cyanobactéries en fonction de quelques paramètres physicochimiques (température, pH, oxygène dissout, salinité, TDS) et biologiques (chlorophylle-a) .
- Tester l'adaptation de la souche de cyanobactérie isolée, dans notre cas (*Gleocapsa sp*), en 2 températures, 3 pH et 4 salinités.

Organisation du manuscrit de mémoire

Ce manuscrit de mémoire s'organise en 04 chapitres :

Le premier chapitre c'est une synthèse bibliographique sur la dynamique de phytoplancton et ses caractéristiques.

Le deuxième chapitre est une synthèse bibliographique des données disponibles sur les cyanobactéries, leurs proliférations dans les écosystèmes aquatiques continentaux et les toxines produites par ces microorganismes. L'accent est mis sur le genre *Gleocapsa* et ses caractéristiques.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des sites d'étude et des méthodes utilisées pour répondre aux objectifs de mémoire.

Les résultats et discussion sont ensuite présentés sous forme d'un autre chapitre Et enfin une conclusion et perspective.

Synthèse bibliographique

I. Les Phytoplancton :

I.1. Historique :

Le terme plancton trouve son origine dans l'*Odyssée* d'Homère où il est employé pour désigner les animaux qui « errent » (*planktós* en grec ancien) à la surface des flots. En 1887, le zoologiste allemand Victor Hensen reprend ce terme pour qualifier l'ensemble des organismes qui vivent en suspension dans les eaux douces, saumâtres ou salées, et sont inaptes à lutter contre les courants. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/plancton/>

Selon la définition de Hensen (1887) le terme plancton désigne ici, par opposition au necton, l'ensemble des organismes vivant dans un environnement aquatique et qui ne présentent pas de mouvement propre sur l'horizontal. Leurs déplacements sont donc dominés par un transport passif, sous l'action des courants (les mouvements actifs existent au sein du plancton ; via la migration verticale, la présence de flagelles etc. mais ne sont pas majoritaires) (**Mathilde Cadier, 2016**).

I.2. Définition :

Le plancton végétal, ou phytoplancton (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou errant) (**Groga, 2012**), est l'ensemble des algues microscopiques formées d'une seule cellule (micro algues). Bien qu'elles soient unicellulaires, les micro algues présentent une grande diversité de tailles, de couleurs et de formes qui peuvent être très élaborées. Les organismes planctoniques peuvent être regroupés selon leur taille, leur nature, les caractéristiques biologiques de leur cycle de développement, leur répartition verticale sur la colonne d'eau ou le type d'environnement qu'ils peuplent (**Rossi, 2008**). Il comprend des milliers d'espèces se répartissant en plusieurs groupes : algues bleues ou cyanobactéries, diatomées, coccolithes, chrysophycées et chlorophycées, dinoflagellés. Le phytoplancton regroupe deux catégories bien marquées d'organismes en se basant sur un caractère cytologique, à savoir la présence ou l'absence de membrane nucléaire. Les individus qui en sont pourvus sont classés sous le nom d'eucaryotes ou algues vraies, ceux qui en sont dépourvus sous le nom de procaryotes ou Cyanobactéries (**Coute et Chauveau, 1994**). Les micro algues sont des organismes qui fabriquent leur substance à partir du gaz carbonique (CO₂) et des composés minéraux (azote, phosphates, potassium, fer, silice...) dissous dans l'eau. Pour cela, elles utilisent l'énergie de la lumière qu'elles captent grâce à la chlorophylle contenue dans leur cellule. Les réactions chimiques impliquées dans ces productions de matière organique libèrent de l'oxygène (O₂). Ce processus

est la photosynthèse. Acteurs de la photosynthèse, l'eau, la lumière, le gaz carbonique et les sels minéraux sont les éléments essentiels de la vie végétale. (**Stickney et al. 2000**).

Le phytoplancton trouve les sels minéraux dans son environnement. Ceux-ci existent à l'état naturel dans la composition des roches, sont fabriqués par les bactéries (transformation de la matière organique en matière minérale) ou sont produits par l'homme (engrais dispersés par l'agriculture, produits chimiques fabriqués par l'industrie, rejets des activités domestiques). (**Pierre et al., 2013**). Si les organismes phytoplanctoniques représentent seulement 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques sur terre, ils assurent 45% de la production primaire (**Chisholm, 1995; Behrenfeld et al., 2001**). Ils sont ainsi à la base la chaîne trophique pélagique (**Azam et Malfatti, 2007**) et sont donc responsables d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques.

I.3. Ecophysiologie du phytoplancton :

Grâce à leurs diversités et à leurs exigences écologiques très variées, le phytoplancton est susceptible de peupler les biotopes les plus divers (eaux marines, douces, thermales et même glaciales). Le phytoplancton est ubiquiste et possède une grande adaptabilité à son environnement écologique, de ce fait la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes est, une question écologique fondamentale. Pour comprendre la structure et le fonctionnement d'un écosystème, il est indispensable de connaître les différents éléments qui le composent, exemple : la distribution des organismes dans le temps et dans l'espace (**Bengtsson, 1998**). La richesse spécifique d'un écosystème résulte, de l'interaction entre les stratégies biodémographiques des populations qui visent à maximiser leur succès reproductif et la sélection qu'opèrent les changements environnementaux qui tendent à favoriser « les génotypes les plus efficaces ». Il s'agit là d'un mécanisme complexe dans la mesure où les organismes vivants sont eux-mêmes partie intégrante de l'environnement et aux modifications auxquelles ils contribuent (**Frontier et Etienne, 1990**). Les conséquences éco-physiologiques associées à la richesse spécifique des populations phytoplanctoniques sont nombreuses, car les différentes espèces ne réagissent pas de la même manière aux facteurs du milieu. Afin de faire face aux variations environnementales, les espèces phytoplanctoniques ont développé des stratégies adaptatives telles que (**Gailhard, 2003**) :

- Différents mécanismes favorisant la mobilité et la migration vers des zones riches en nutriments et en lumière.

- La compétition interspécifique et les mécanismes de défense contre la prédation, ainsi que le mode de nutrition mixotrophe.

I.4. Les principaux groupes de phytoplancton :

- *Les diatomées (micro phytoplancton) :*

Les Diatomées ou Bacillariophycées sont caractérisées par une enveloppe siliceuse externe à structure très particulière, le *frustule*. Le groupe, probablement polyphylétique, se subdivise en deux ordres : les *Biddulphiales* ou Centriques à symétrie généralement radiale, connues depuis le Jurassique, et les *Bacillariales* ou Pennées à symétrie bilatérale, n'apparaissant qu'au début du Tertiaire. Il est difficile de préciser le nombre d'espèces actuellement connues et valables : entre 5 000 et 10 000, réparties en 150 à 200 genres (**Marie-France Simon, 2020**), sont considérée comme commune et abondante parmi les communautés phytoplanctoniques pélagiques, et est souvent observée dans les estuaires, où elle présente une forte biomasse (**Rincé et al., 1999**).

Les Diatomées sont des algues des milieux riches printaniers. Elles contribuent de façon importante à la production océanique et à l'export de matière vers les fonds en raison de leur grande taille qui facilite leur sédimentation. Elles ont en majorité une taille comprise entre 20 et 200 μm et peuvent former des chaînes. Les diatomées se constituent une paroi formée de silice et ont particulièrement besoin de fer, ce qui limite leur croissance en milieux dépourvus de ces éléments (**Séverine Alvai, 2005**).

- *Les dinoflagellés (micro phytoplancton) :*

Les dinoflagellés sont des protistes algaires, de la division des dinoflagellata (**Fensome et al., 1993**). Ils sont également appelés dinophycées ou péridiniens. Phylum des Pyrrhophyta ils sont planctoniques pour la plupart, parfois parasites, libres ou vivant en symbiose. Ayant en commun un noyau très gros et deux flagelles ventraux inégaux. Ils sont souvent protégés par une thèque de nature cellulosique, dans la dimension varie de 2 μm à 5 mm. Ils peuvent se présenter, cuirassés, c'est-à-dire munis de plaque ou nus.

Les Dinophycées sont cosmopolites, elles se rencontrent tant en eau douce qu'en milieu marin, et certaines même sont très largement euryhalines (lagunes, marais salants). Elles sont particulièrement abondantes dans certains océans (océan Indien, mer Rouge), où l'on estime qu'elles interviennent par leur photosynthèse pour près de 70 p. 100 dans la production du

phytoplancton. Il arrive que, sous l'action conjuguée de conditions écologiques favorables, certaines espèces marines, principalement du genre *Gonyaulax*, pullulent – on peut en compter jusqu'à un million par litre, donnant lieu au phénomène d'eaux rouges ou *red tides* – au point que les toxines qu'elles sécrètent (saxitoxine) peuvent provoquer une mortalité considérable des animaux du benthos et du plancton, ou rendre très dangereuse, pour l'homme, la consommation de coquillages ou de poissons. (**Jean Cachon, Monique cachon., 2020**).

- *Les haptophytes (nano phytoplancton) :*

Les haptophytes (ou prymnesiophytes) forment un groupe très abondant dans les mers froides et se présentent soit sous forme de cellules isolées sans flagelles, soit réunies en colonie. Les cellules sont parfois enfouies dans une enveloppe de mucus gélatineux. Ce type de phytoplancton accumule l'azote et le phosphore et aime particulièrement la présence d'ammonium et de nitrate, d'où la formation de floraisons spectaculaires le long de certaines côtes, du genre *Phaeocystis*, entraînant une épaisse couche de mousse sur les plages... Notons que les coccolithophoridés et les *Phaeocystis* sont associés au groupe haptophytes en termes de pigments. (**Séverine Alvai . 2005**). L'Haptophyta comprend 80 genres existants avec environ 330 espèces en deux classes, les Coccolithophyceae (Prymnesiophyceae) avec environ 76 genres et 318 espèces (**Jordan et al., 2004**) et les Pavlovophyceae avec 4 genres et 13 espèces (**Bendif et al., 2011**).

- *Les Prochlorococcus (pico phytoplancton) :*

La cyanobactérie marine *Prochlorococcus* est la plus petite et la plus abondante organisme photosynthétique sur Terre. Depuis la découverte de *Prochlorococcus* en 1985, un nombre considérable des progrès ont été accomplis dans la compréhension des caractéristiques qui rendent cette bactérie unique dans le monde microbien. C'est le plus petit (le diamètre de la cellule est 0,5–0,7 μm) et l'organisme photosynthétique le plus abondant sur la planète, avec une population mondiale estimée à ~ 10 cellules. *Prochlorococcus* possède le plus petit génome de tout phototrophé vivant en liberté ; certains isolats ont des génomes aussi petit que 1,65 Mbp, avec seulement ~ 1700 gènes. C'est le seul type de phytoplancton marin qui utilise le divinyle forme de chlorophylle a et de chlorophylle b pour récolter la lumière énergétique, qui provoque un léger décalage vers le rouge dans son absorption spectres. Cette pigmentation unique a rendu possible pour déterminer que *Prochlorococcus* représente 50% de la chlorophylle totale dans de vastes étendues de la surface océans. Collectivement, cette cyanobactérie produit environ 4 gigatonnes de carbone fixe chaque année, ce qui est

approximativement la même productivité primaire nette que terres cultivées mondiales. (**Steven J. et al., 2014**).

- *Les cyanobactéries (pico phytoplancton):*

Organismes procaryotes, regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces dulçaquicoles. Ils sont décrites en eau douce (**Bourelly, 1985**), leur couleur très variable mais très homogène en raison de l'absence de plaste individualisé, reflète la proportion relative des pigments photosynthétiques : chlorophylle (verte), phycocyanine (bleue), phycoérythrine (rouge) et les pigments membranaires (marron) (**John et al., 2002**).

L'organisation cellulaire permet de grouper les principales espèces planctoniques d'algues bleues en 3 ordres :

-1- Les Nostocales sont filamenteuses. Elles sont caractérisées par leur capacité à développer des cellules spécialisées appelées hétérocystes lorsque l'azote est limitant dans le milieu (**Litchman et al., 2010**), La présence des cellules de résistance ou spores (akinètes) et leur position permet de différencier les différents genres.

-2- Les Chroococcales, souvent de forme sphériques, sont des cellules solitaires ou en colonies.

-3- Les Oscillatoriales sont organisées en filaments, mais ne forment pas d'hétérocystes (**Leitão et Couté, 2005**).

Les cellules appartenant à cette se caractérisent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée (**Bourelly, 1985**). Les Cyanobactéries sont dépourvues de flagelles et leur appareil végétatif peut être unicellulaire, colonial ou filamenteux. Les réserves sont constituées par du glycogène, de la cyanophycine et des gouttelettes lipidiques. La multiplication s'effectue principalement par division cellulaire et par fragmentation chez les formes filamenteuses (**De Reviere, 2003**), d'un diamètre compris entre 3 et 10 μm (**Duy et al., 2000**). Une caractéristique importante des cyanobactéries est leur capacité à modifier la composition des pigments-protéines dans leurs complexes photosynthétiques (*light harvesting complexes*), ce qui leur donne une couleur différente selon les longueurs d'ondes auxquelles elles croissent (**Grossman et al., 2001**).

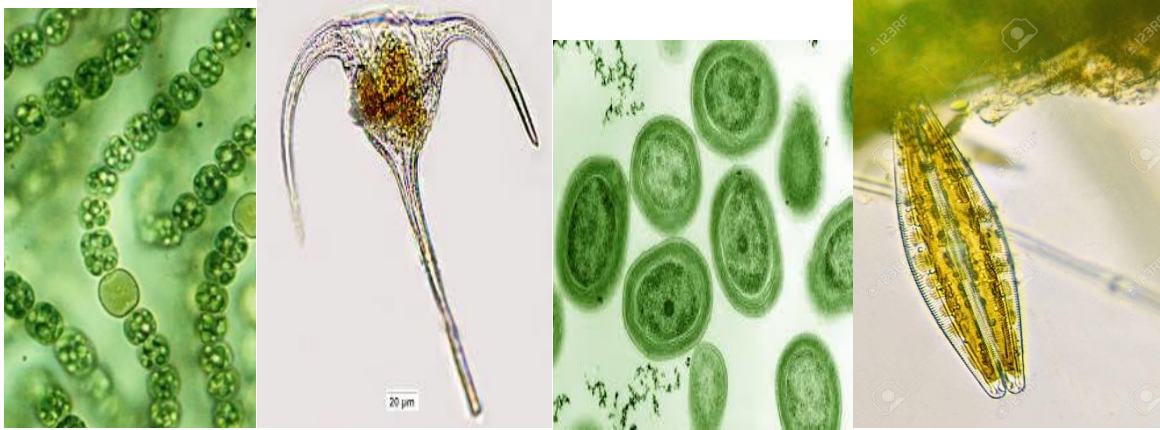


Figure 1.1 Exemples de phytoplancton pour différents groupes, en haut, avec de droite à gauche, Cyanobactéries, Dinoflagellés, prochlorococcus, Diatomées.

<https://www.istockphoto.com/fr/photos/phytoplancton?mediatype=photography&phrase=phytoplancton&sort=mostpopular>

I.5. La place du phytoplancton dans le réseau trophique :

Le phytoplancton occupe la place du premier maillon dans la chaîne alimentaire (**Dhargalkar et Ingole, 2004**), il est la base des écosystèmes dans les milieux marins (**Broutin et al, 2011**).

Ces organismes photosynthétiques sont tout de même les producteurs primaires de la chaîne trophique pélagique, leur rôle est essentiel dans le bon fonctionnement de cette dernière (**Senne, 2014**) qui est le bond des échanges alimentaires dans un milieu peuplé d'animaux et de végétaux (**Baurand, 2005**). En effet il produit le carbone indispensable aux niveaux trophiques supérieur grâce à la photosynthèse (**Lakkis, 2011**). Ce mécanisme qui, sous l'effet de l'énergie lumineuse, permet la production de glucides et la libération d'oxygène à partir d'eau et de dioxyde de carbone (**Suty, 2014**). Sans le phytoplancton, aucune vie n'est possible, non seulement il produit plus du tiers de l'oxygène de la planète mais aussi il est la nourriture principale du zooplancton (**Fraisse, 2013**). Il évolue de façon saisonnière aussi bien en milieu lacustre qu'en milieu marin ce qui a pour conséquence de structurer le réseau trophique. Les niveaux trophiques supérieurs dépendant directement ou indirectement de cette saisonnalité (**Rossi, 2008**).

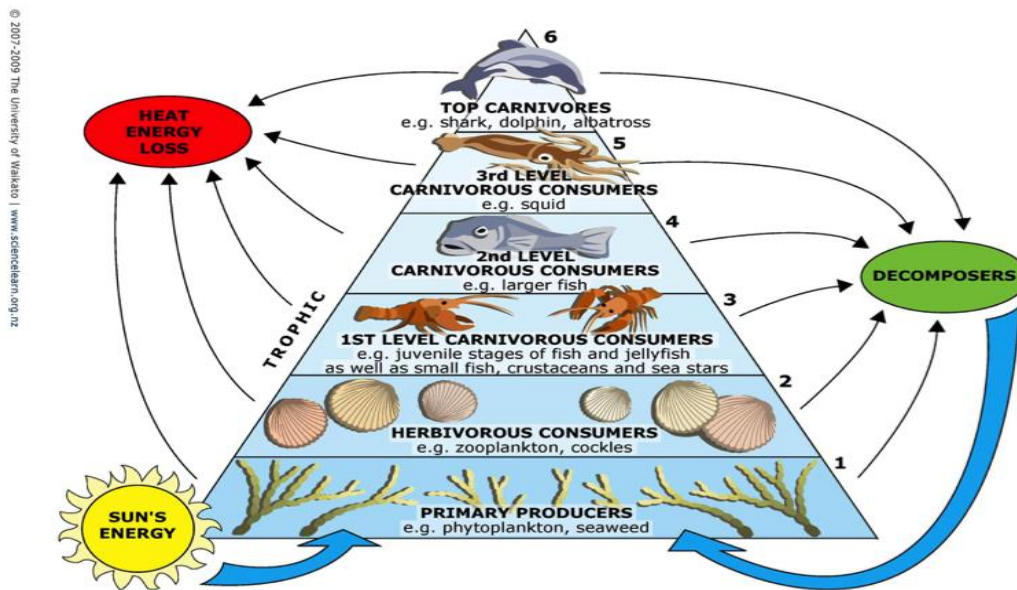


Figure 1.2. Chaîne alimentaire et le réseau trophique.

I.6. Rôle du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques :

I.6.1. Dans la photosynthèse :

Les micro-organismes du plancton capable d'effectuer la photosynthèse :

- captent l'énergie du soleil et produisent de l'oxygène (O_2).
- Ils fabriquent de la matière organique à partir du gaz carbonique (CO_2) atmosphérique, de l'eau (H_2O) et de sel minéraux. **(Christian S, 2013).**

L'importance du phytoplancton dans les milieux aquatiques est due à leur capacité de synthétiser des hydrates de carbone et de l'oxygène, à partir des éléments minéraux dissous dans l'eau et de l'énergie lumineuse. **(Stumm et Morgan, 1996).**

Les réactions de la photosynthèse sont de deux types :

- Les réactions de la phase lumineuse, qui se produisent dans la membrane des thylacoïdes.
- les réactions de la phase obscure, qui ont lieu dans le stroma des chloroplastes **(Nicklin et al., 2000).**

I.6.2. Dans la Chaîne alimentaire :

Les phytoplanctons est situé à la base de la chaîne trophique pélagique, il est responsable de la production primaire dans les milieux aquatiques (**Reynolds, 1998**). De ce fait il conditionne la production de poissons, de moules, d'huitres, de crevettes et d'autres produits (**Hansen et al., 2001**).

I.6.3. En tant qu'indicateur dans la qualité biologique des eaux :

Les indicateur biologique (ou bio-indicateur) sont des espèces sensibles, inféodés à un milieu suffisamment restreint pour le caractériser, ou à un état d'un facteur du milieu, qu'ils permettent i) d'identifier par leur apparition ou disparition, ii) informe sur les conditions du milieu et des dangers potentiels de contamination et permettent ainsi d'apprécier une modification de la qualité d'un milieu (**Le Bras, 2007**).

Le comportement biologique du phytoplancton a été proposé par la D.C.E (directive cadre de l'eau ; directive européenne du 23 décembre 2000) comme élément de qualité biologique, aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel rependant aux changements trophique des masses d'eau. (**Noël, 2012**). Certains genres de phytoplancton comme : *Euglena*, *Volvox* et *Spirogyra* sont des bio accumulateurs d'éléments radioactifs. Ils sont utilisés pour lutter contre ce type particulier de pollution (**Champiat et Larpent, 1994**).

I.6.4. En tant qu'indicateur de pollution :

Certaines espèces du phytoplancton, peuvent être utilisées comme des indicateurs de pollution, ainsi *Chamaesiphon polonius* et *Calothris sp* sont caractéristiques des eaux non polluées, par contre *Oxillatoria chlorina* et *Spirulina jenniferi* peuvent survivre dans les milieux très pollués et pauvres en oxygène. Cependant *Phormidium sp* est présent dans les eaux moyennement polluées (**Champiat et Larpent, 1994**).

I.7. Dynamique des communautés phytoplanctoniques :

La dynamique d'une population phytoplanctonique, résulte du bilan entre facteurs de croissance et de mortalité. Ces deux fonctions, dépendantes du temps et d'une multitude de facteurs, abiotiques ou biotiques, fluctuent au cours du temps.

I.7.1. Facteurs de croissance :

La croissance du phytoplancton est fortement influencée par les facteurs abiotiques :

* **Les nutriments** : interviennent dans la composition et le fonctionnement des cellules. Leur concentration est un des facteurs majeurs limitant la croissance des micro algues. Cette limitation concerne majoritairement l'azote et le phosphore qui sont disponibles principalement dans les eaux côtières alimentées par les zones continentales.

* **La lumière** : Le phytoplancton a besoin d'une quantité proportionnée de lumière pour sa croissance. En effet, en cas de faible intensité, la photosynthèse ne permet pas de satisfaire la demande énergétique du métabolisme cellulaire, tandis qu'exposé à de trop fortes intensités, l'appareil photosynthétique est dégradé et les rendements quantiques sont réduits. L'hydrodynamique, en forçant la trajectoire verticale de cellules entre des zones d'ombre ou éclairées, conditionne leur histoire lumineuse.

* **La température** : Ces dernières années, les recherches sur le rôle de la température sur les communautés microbiennes se sont intensifiées. Ce paramètre pourrait avoir un rôle majeur dans la dynamique du phytoplancton de par son action sur son métabolisme. En dessous d'une température optimale de croissance, une augmentation de la température a un impact positif sur la croissance, tandis qu'au-delà, elle est néfaste. La grande variété de régimes thermiques dans les océans va donc fortement influencer la physiologie et la distribution des organismes planctoniques. **(David Demory, 2017).**

I.7.2. Facteurs de mortalité :

Le broutage par le zooplancton constitue un facteur important de mortalité. Les protistes nano flagellés et micro-ciliés se nourrissent de cyanobactéries et de picoplancton, tandis que les espèces phytoplanctoniques plus grandes vont constituer la proie des protistes filtreurs. Le taux de perte par le broutage peut être considérable, au point d'entraîner la disparition des populations de phytoplancton. Le taux de mortalité, engendré par le broutage, peut représenter de 40 à plus de 90 % du taux de croissance du phytoplancton selon les régions du monde. La mortalité naturelle resté évidemment un facteur de perte important. Les caspases, protéases qui jouent un rôle essentiel dans la mort programmée chez les organismes supérieurs pluricellulaires, existent aussi chez de nombreux groupes du phytoplancton tels que les Haptophytes, les Cyanobactéries ou encore les Chlorophytes **(David Demory, 2017).**

II. Les cyanobactéries :

Les cyanobactéries seraient les plus vieux micro-organismes de notre planète, Elles dateraient de deux à trois milliards d'années. La prolifération des cyanobactéries est très fréquente dans les eaux calmes comme les eaux des barrages qui sont caractérisées par une grande stabilité de leurs colonnes d'eau. Dans des conditions particulières les cyanophycées sont capables de proliférer rapidement et de former des efflorescences ou blooms généralement toxiques. Ces algues ont été responsables de la mort d'animaux dans beaucoup de pays et sont également reliées à quelque forme de maladie humaine.

II. 1. Classifications bactériologique et botanique :

Les cyanobactéries sont reconnues à la fois par le Code International de Nomenclature Botanique (**Greuter et al., 2000**) et par le Code International de Nomenclature Bactériologique (**Lapage et al., 1992**). Le premier se base essentiellement sur le mode de reproduction et la morphologie tandis que le second est fondé sur les critères physiologiques et génotypiques de cultures pures. Ces deux classifications reconnaissent cependant les mêmes sections ou ordres (**Tab.2. 1**) et les divergences résident essentiellement au niveau des taxons inférieurs (espèces). Il existe ainsi cinq ordres divisés en vingt-sept familles qui comportent cent soixante-six genres de cyanobactérie.

Tableau.2. 1. Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries.

Classification bactériologique	Classification botanique	Description	Exemple de quelque espèce
Section I	<i>Chroococcales</i>	formes unicellulaires ou coloniales, à multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores.	<i>Gloeocapsa atrata</i> Kütz
Section II	<i>Pleurocapsales</i>	formes coloniales à multiplication par fissions multiples formant des baeocytes	<i>Pleurocapsa minor</i> Hansgirg.
Section III	<i>Oscillatoriales</i>	formes filamenteuses unisériées, non hétérocytées, sans ramification, à division cellulaire perpendiculaire à l'axe du trichome	<i>Oscillatoria levis</i>

Cyanobactéries et leurs toxines

Section IV	<i>Nostocales</i>	formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan	<i>Anabaena fuscovaginata</i>
Section V	<i>Stigonematales</i>	formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes et akinètes), présentant des ramifications (vraies ou fausses), à division cellulaire dans plusieurs plans	<i>Hapalosiphon fontinalis</i>

II. 2. Caractéristique morphologique :

Les cyanobactéries ont été pendant longtemps classées comme des algues (algues bleues ou algues bleu-vert). Elles ont été créditées de six noms d'algues différents, avant que leur nature procaryotique les ait fait reclasser dans les bactéries Gram négatives (Phylum BX dans la récente classification du Bergey's). (**Tab.2.2**).

Tableau. 2. 2. Caractéristiques morphologiques communes aux bactéries et aux algues du phytoplancton.

Caractéristiques morphologiques des cyanobactéries	
Communes aux bactéries	Communes aux algues du phytoplancton
<ul style="list-style-type: none"> • Organisme microscopique • la présence d'une paroi cellulaire caractéristique de celle des bactéries Gram-. • l'absence de noyau, de plaste et de mitochondrie. • la présence de peptidoglycanes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Organisme microscopique • chlorophylle a dans la cellule : Pigment photosynthétiquement actif contenu dans les organismes phytoplanctoniques en suspension dans un volume d'eau. • Organisme vivant dans la colonne d'eau.

II. 3. Organisation morphologique :

L'organisation morphologique de ces organismes est très variée : unicellulaires libres ou en colonie, pluricellulaires filamenteux avec une gaine (appelés filaments) ou sans (appelés trichomes), avec ou sans ramification ou encore avec ou sans cellules différenciées. Ces organismes présentent trois types cellulaires différents (Komàrek *et al.*, 2003) :

- Les **cellules végétatives** de forme variées rondes, ovoïde, oblongues, quadratiques et avec un contenu cellulaire homogène ou non, avec ou sans vacuoles à gaz ;
- Les **hétérocytes**, cellules spécialisées dans la fixation de l'azote atmosphérique, rencontrés uniquement chez les représentants des ordres des Nostocales et des Stigonematales ;
- Les **akinètes**, cellules de résistance à la paroi épaisse et qui contiennent des réserves permettant aux espèces qui les possèdent (ordres des Nostocales et des Stigonematales) de survivre en conditions environnementales défavorables.

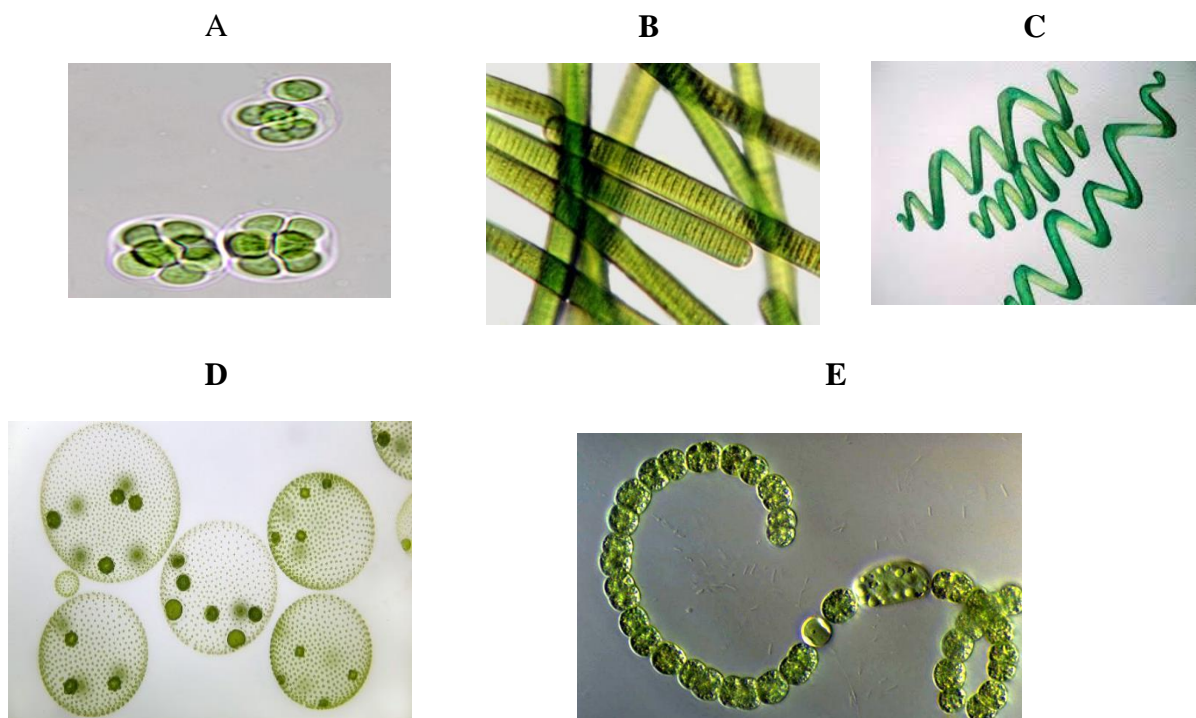


Figure .2.1. Diversité morphologique des cyanobactéries. A: *Chroococcus*, B: *Oscillatoria*, C: *Spirulina*, D: *volvox*, E: *Anabaena*.

(<https://www.pinterest.co.uk/pin/787707791048380575>)

II. 4. Métabolisme des cyanobactéries :

Les cyanobactéries sont généralement capables d'occuper tous les types de milieux, à condition qu'éclairage et humidité y soient disponibles. En effet, l'eau et la lumière sont indispensables au développement de la plupart des systèmes biologiques, puisqu'ils interviennent dans le processus de photosynthèse. Ainsi, certains pigments, qui confèrent leur teinte caractéristique aux algues et aux cyanobactéries, collectent les photons lumineux qui seront utilisés pour construire des molécules énergétiques. L'oxygène est en même temps produit à partir de l'eau. Durant la nuit, l'énergie emmagasinée sert à incorporer le dioxyde de carbone (CO_2), pour le transformer en hydrates de carbone (CH_2O). Toutes les molécules composant les systèmes biologiques proviennent ensuite de la transformation de ces hydrates de carbone. Les algues et les cyanobactéries sont donc photo-autotrophes, même si elles sont parfois capables de tirer l'énergie dont elles ont besoin pour se développer à partir d'autres sources. Ainsi, certaines espèces sont capables de se développer à l'obscurité en utilisant une source de carbone organique, quand d'autres utilisent une source de carbone organique aussi bien qu'inorganique, mais en présence de lumière seulement. Par ailleurs, les cyanobactéries, qui utilisent principalement l'eau comme donneur d'électron lors du processus de photosynthèse, sont également capables d'assimiler du sulfure d'hydrogène (H_2S), du dihydrogène (H_2) ou des composés organiques (**Hélène Barberousse, 2006**). Enfin, outre de l'eau, de la lumière et du carbone inorganique, la croissance des algues et des cyanobactéries nécessite également des sels minéraux variés et, chez certaines espèces, des vitamines telles que la B_{12} ou la thiamine (**Morvan et al., 1997**).

II. 5. Habitat et Écologie :

Les cyanobactéries sont des organismes ubiquistes qui présentent des caractéristiques écologiques très variées qui leur ont permis de coloniser tous les milieux (**Whitton, 2012**): les lacs, rivières, estuaires et océans mais aussi les environnements extrêmes tels que les sources géothermales, les déserts, les environnements polaires et alpins, et elles colonisent aussi les surfaces de sols humides, la partie interne des sols arides, la partie superficielle des roches (organisme épilithiques), ou leur partie profonde (organisme endolithique) (**Rolland, 2009**).

Les cyanobactéries supportant de large variation de : salinité (lac hypersalés), température (sources thermales ; la température dépassant $56\text{ }^\circ\text{C}$, glacié) de pH ; à l'exception des $\text{pH} < 4$ car la chlorophylle est sensible à l'acidité de l'eau. Elles préfèrent aussi les concentrations élevées en nutriments, principalement l'azote et le phosphore c'est à dire des milieux

eutrophes quoi que certaines prolifèrent en milieu mésotrophe voire oligotrophe l'exemple de lacs d'Alpes (**Mez et al., 1997**). Lorsqu'elles sont strictement aquatiques, elles peuvent être planctoniques vivants alors dans la colonne d'eau, ou benthique, étant dans ce cas fixées ou très proches des divers substrats (roche, coraux, algues, animaux...) ou se développent même à l'intérieur des sédiments (**Frémy et Lassus, 2001**). Par ailleurs, beaucoup vivent aussi en association avec d'autres êtres vivants étant alors endozoïques (avec des animaux comme des protozoaires, des éponges, des ascidies...), endophytique (avec des végétaux comme des fougères aquatiques, des angiospermes...) ou encore symbiotiques (avec des champignons, constituant les phycobiontes des lichens) (**Frémy et Lassus, 2001**).

II. 6. Croissance et prolifération

La multiplication des cyanobactéries est végétative, c'est-à-dire asexuée. Celle-ci s'effectue par bourgeonnement ou par divisions multiples. Dans des conditions environnementales favorables, les cyanobactéries peuvent connaître des phases de prolifération importante appelées efflorescence ou bloom. Le plus souvent il se forme alors en surface des agrégats flottants appelés « fleurs d'eau », écume ou mousse. Ces blooms sont souvent corrélés à un processus d'eutrophisation, c'est-à-dire à l'enrichissement du milieu en nutriments. Les cyanobactéries peuvent fixer l'azote atmosphérique dans leurs hétérocystes ce qui les rend très compétitives par rapport aux autres algues lorsque l'azote est limitant (**Blais 2002**). Trois facteurs principaux influencent les proliférations cyanobactériennes:

II.6.1. L'eutrophisation : Le terme eutrophisation provient des mots grec « eu » et « trophe » qui signifient respectivement « bien » et « nourriture ». L'eutrophisation devient un problème très important dans le monde (**Orive et al., 2002**), et plus brièvement l'eutrophisation est "le processus d'enrichissement d'une masse d'eau en sels minéraux et en matière organique" (**Bombace, 1995**). C'est un processus naturel très lent, par lequel les plans d'eau reçoivent une grande quantité d'éléments nutritifs (notamment du phosphore et de l'azote), ce qui stimule la croissance des algues et des plantes aquatiques, se déroule normalement sur une période allant de plusieurs milliers à quelques dizaines de milliers d'années. Cependant, les activités humaines l'ont accéléré dans de nombreux lacs en augmentant la quantité d'éléments nutritifs qui leur proviennent, provoquant des changements dans l'équilibre de ces écosystèmes aquatiques (**Walter K, Dodd et al., 2000**).

II. 6.2. Facteurs physico-chimiques favorables : La lumière, la température, la salinité et le pH ont des valeurs optimales et propres à une cyanobactérie donnée. Plus ces valeurs sont proches de l'optimum, plus, à priori, la croissance de la population sera grande.

II.6.3. La stratification de la colonne d'eau : Avant et pendant le bloom, la colonne d'eau se stratifie grâce à une diminution de l'hydrodynamisme local. La stratification du milieu favorisée par des eaux calmes est caractéristique dans les lacs et rivières. Ce même phénomène est également observé lors des efflorescences de *Trichodesmium* milieu marin (**Rodier and Le Borgne, 2008; 2010**). Les cyanobactéries pélagiques se positionnent dans la colonne d'eau grâce à la production de lipide ou de vacuoles gazeuses, afin de bénéficier de conditions physico-chimiques (lumière, turbulence, salinité...) optimale.

II. 7. Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries :

Quand les proliférations sont massives, les effets indésirables sont multiples et touchent l'environnement et le cadre de vie, les organismes du milieu, et les usages anthropiques de l'eau (**l'Afssa afsset, 2006**)

II.8. Aspects toxicologiques :

Humpage (2008) rapporte plus de quarante différents composés différents isolés des cyanobactéries dont plusieurs semblent avoir des effets toxiques, les cyanotoxines. Cependant, la majorité de ces cyanotoxines n'ont fait l'objet que d'évaluations toxicologiques très limitées. La section qui suit présente succinctement les principales familles de cyanotoxines.

II.8.1. Les cyanotoxines :

Les cyanotoxines sont des molécules intracellulaires, de structures variées. Elles sont synthétisées par des cyanobactéries en phase de croissance et se retrouvent dans l'eau lors de la mort ou de la lyse cellulaire. De plus, la quantité de toxine produite est très variable au sein d'une espèce et dépend des conditions environnementales. (**Afssa/Afsset, 2006**). Les cyanotoxines recouvrent une grande variété de structures chimiques et de mécanismes de toxicité et sont généralement classées selon leur mode d'action : les hépatotoxines, les neurotoxines et les dermatotoxines. Elles peuvent également être classées selon leur structure moléculaire en trois familles : les peptides cycliques, les alcaloïdes et les lipopolysaccharides (**Tab.2. 3**).

Tableau. 2.3. Classement des cyanotoxines (structure moléculaire, mode d'action).

Cyanotoxines	Structure moléculaire	Mode d'action	Cyanobactéries pouvant sécréter la cyanotoxine (genre)
Microcystines (plus de 70 variants de microcystines)	Peptides cycliques	Hépatotoxine	<i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Nostoc</i> .
Nodularines	Peptides cycliques	Hépatotoxine	<i>Nodularia</i>
Cylindrospermopsine Aphanizomenon, Cylindrospermopsis	Alcaloïde	Hépatotoxine	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Plankthotrix</i> , <i>Umezakia</i>
Saxitoxines (27 variants de la saxitoxine)	Alcaloïde	Neurotoxine	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Lyngbya</i>
Anatoxine-a variants de l'anatoxine-a (2)	Alcaloïde	Neurotoxine	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>planktothrix</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Woronichinia</i>
Aplysiatoxine	Alcaloïde	Dermatotoxine	<i>Schizothrix</i> , <i>Symploca</i>
Debromoaplysiatoxine	Alcaloïde	Dermatotoxine	<i>Lyngbya</i>
lyngbyatoxine-a	Alcaloïde	Dermatotoxine	<i>Lyngbya</i>

II. 9. Autres métabolites secondaires :

Les cyanobactéries produisent d'autres variétés de molécules. Cela va de produits utiles, à des composés néfastes comme la géosmine ou le 2-méthyl isobornéol qui confèrent à l'eau du robinet un goût exécrable. Bien que certaines molécules soient tout de même responsables d'irritations cutanées ou de dermatites, ces composés bioactifs, sont généralement étudiés non

pas pour leur toxicité vis-à-vis des vertébrés, mais pour leurs propriétés antifongiques, antibactériennes, anti-algues et même anti-cancer (Jaiswal *et al.*, 2008 ; Humpage, 2008).

II. 10. Facteurs influençant la production des toxines :

II. 10. 1. Lumière : Les cyanobactéries sont capables de croître à de faibles intensités lumineuses. En plus, les cyanobactéries possèdent des pigments tels que l'allophycocyanine qui absorbe à des longueurs d'ondes de 650 nm, la phycocyanine à 620 nm et la phycoérythrine à 565 nm. Ces pigments leur permettent de capter la lumière dans la région du rouge-orangé du spectre. (Chorus & Bartram, 1999 ; Valentine, 2004).

II. 10. 2. Les nutriments et le fer : Le fer est parmi les micronutriments importants pour le développement des cyanobactéries en raison du rôle qu'il joue dans la photosynthèse. Plusieurs expériences ont démontré qu'un enrichissement en fer favorise la croissance des cyanobactéries relativement aux algues eucaryotes (Hyenstrand *et al.* 1998). La disponibilité de nutriments tels que les macro-éléments, à savoir le phosphore et dans une moindre mesure, l'azote, est essentiel pour la croissance des cyanobactéries. Ces microorganismes peuvent ainsi se développer dans des eaux eutrophes carencées en azote, lorsque le rapport des concentrations d'azote et de phosphore devenait inférieur à une valeur seuil de 4,5 (Codd et Poon, 1988).

II. 10. 3. pH : Le pH de l'eau joue également un rôle important dans la production de toxines par les cyanobactéries. Bien que l'on ait souvent observé une dominance de cyanobactéries lorsque le pH est élevé (Shapiro, 1997).

II. 10. 4. Température : Ces micro-algues ont développé des optima de températures plus élevés que les autres groupes d'algues (Coles & Jones, 2000). Les optima de température pour, *Aphanizomenon* sp., *Chroococcus* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Dolichospermum* sp. *Microcystis* sp. sont respectivement de :

- 23-29°C (Tsujimura *et al.*, 2001).
- 30-38°C (Huang *et al.*, 2008).
- 30-35°C (Briand *et al.*, 2004).
- 28-32°C (Nalewajko & Murphy, 2001).

Ainsi, lorsque la température de l'eau dépasse 25°C, les cyanobactéries sont généralement plus compétitives que les autres algues et croissent plus rapidement que ces dernières (**Davis et al., 2009**).

II. 11. Stratégie d'Adaptations :

Les cyanobactéries sont adaptées à de conditions environnementales diverses en utilisant 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**).

II. 11.1. Pigments photosynthétiques :

Les cyanobactéries utilisent un ensemble de stratégies qui leur a permis de coloniser tous les écosystèmes d'eau douce. Elles présentent une pigmentation diversifiée, également observés chez les micro-algues, 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 (**Oberhaus et al., 2007**). Une caractéristique importante des cyanobactéries est leur capacité à modifier la composition des pigments-protéines dans leurs complexes photosynthétiques (*light-harvesting complexes*) ce qui leur donne une couleur différente selon les longueurs d'ondes auxquelles elles croissent (**Grossman et al. 2001**). Les cyanobactéries sont munies de dispositifs de protection contre les UV (**Sinha & Hader 2008**). Elles utilisent des mécanismes actifs de réparation de l'ADN, des acides aminés proches de lamycosporine, des gaines polysaccharidiques absorbantes et des photoantioxydants comme les caroténoïdes.

II. 11. 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 (**Bourelly, 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 la photosynthèse (**Oliver et 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 (Tsujimura et al., 2000). Lorsque la colonne d'eau est bien stratifiée, les cellules de cyanobactéries s'accumulent en surface pour former une écume (Bonnet et Poulin, 2002), cette stratégie permet alors à ces espèces d'éliminer leurs compétitrices en leur interdisant l'accès à la lumière.

II. 11. 3. Nutriments : fixation d'azote :

Les cyanobactéries possèdent un large éventail d'inclusions cellulaires leur permettant de faire face aux faibles concentrations en nutriments dans les milieux. Elles ont la capacité de stocker le phosphore sous forme de granule de polyphosphates, et l'azote sous forme de cyanophycine, (Allen, 1984). En ce qui concerne l'utilisation de l'azote, certaines espèces de cyanobactéries, principalement filamenteuses, possèdent des hétérocystes capables de fixer le diazote atmosphérique et de le transformer en azote minéral assimilable grâce à la nitrogénase (Sotto , 2012).

II. 11.4. Prédation :

Les cyanobactéries sont considérées comme peu soumises à la prédation par le zooplancton et les poissons en raison de leur organisation cellulaire et de leur capacité à synthétiser des toxines. De nombreux genres de cyanobactéries sont organisés sous forme de filaments ou de trichomes (exemple : *Anabaena*, *Planktothrix*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*...) qui peuvent être assemblés en faisceaux, ou sous forme de colonies (exemple : *Microcystis*, *Aphanothece*...) (Couté et Bernard, 2001). 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 leurs 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).

II. 11.5. Dormance :

Lorsque les conditions du milieu ne sont plus favorables à leur prolifération, les cyanobactéries ont la capacité d'entrer en dormance en attendant un environnement meilleur.

Cet état de dormance est possible grâce à la formation des spores ou akinètes ou à une modification des cellules végétatives (Mur et al., 1999). Les akinètes peuvent ainsi survivre dans les sédiments durant l'hiver et même durant plusieurs années en consommant leurs réserves d'hydrates de carbone par respiration ou fermentation (Ghedadbia, 2012).

II. 11.6 adaptation chromatique :

Certaines espèces des cyanobactéries présentent une adaptation chromatique à la vie en eau profonde grâce à des variations du rapport phycoérythrine : phycocyanine (Pierre Burrelly, 2020).

II. 12. Les conséquences des cyanobactéries pour la santé humaine, animal :

II. 12.1. Impact sur la santé humaine : L'homme est exposé aux cyanotoxines qui contaminent aussi bien les eaux utilisées à des fins récréatives que dans les réservoirs d'eau potable. Les effets des cyanotoxines sur la santé humaine sont nombreux et comprennent : des gastro-entérites, des nausées et vomissements, de la fièvre, des symptômes comparables à la grippe, des irritations des yeux et des oreilles, des éruptions cutanées, une myalgie, une hépatomégalie (augmentation du volume du foie), une consolidation pulmonaire, des troubles visuels, des dommages aux reins et au foie (Codd et al. 2005). Les lipopolysaccharides produits par les cyanobactéries peuvent également être des irritants cutanés et peuvent provoquer des réactions allergiques (Sivonen et Jones 1999).

II. 12. 2. Impact sur la santé animale : Georges Francis, chimiste Australien, fut le premier, le 2 mai 1878, à impliquer les cyanobactéries dans le décès d'animaux d'élevages quand il rapporta la mort de bétail, moutons, chevaux et porcs qui avaient consommé de l'eau contenant une efflorescence hépatotoxique de *Nodularias pumigena* dans le lac Alexandrina, à Milang, dans le Sud de l'Australie (Francis, 1878). Les intoxications reportées par Francis sont dues probablement à la nodularine-R. Les animaux incapables de sélectionner leur nourriture comme les oiseaux et les poissons sont directement affectés à la fois par les hépatotoxines et les neurotoxines (Kaebernick et Neilan, 2001). Une mortalité de flamants roses a été enregistré au lac Bogoria à Kenya suite à une exposition à des neurotoxines et des hépatotoxines de type microcystine (Krienitz et al., 2003). Récemment, (Nasri et al., 2008) ont rapporté la mortalité de deux espèces de tortues *Emys orbicularis* et *Mauremys leprosa* dans le lac Oubeira en Algérie suite à une efflorescence de *Microcystis* spp (Fig.10). Le Tab. 5 montre quelques cas de mortalités signalés chez les animaux dans différents pays.



Figure. 2.2 Mortalité des tortues dans le lac Oubeïra en Algérie suite à une efflorescence de *Microcystis* spp. (Nasri et al., 2008).

Tableau. 2. 4. Quelques cas d'intoxication animale par les cyanobactéries.

Année	pays	Animaux intoxiqués	Pathologies	Cyanobactérie	Références
1878	Australie	Moutons, chevaux, chiens, cochons	Stupeur inconscience	<i>Nodularia spumigena</i>	Francis, 1878
1952	Iowa, USA	milliers de mouettes,	Mort rapide (minutes)	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Firkens, 1953
1979	Afrique du Sud	3 Rhinocéros	Nécrose du foie	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Soll et Williams, 1985
1985	Alberta, Canada	Appr. 1000 chauves-souris, 24 colverts et canard siffleurs	Neurotoxicose	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Pybus et Hobson, 1986
2005	Algérie	2 espèces de tortues	Hépatotoxicité	<i>Microcystis spp.</i>	Nasri et al., 2008

Partie expérimentale

III. 1. Présentation de la région d'étude :

III. 1.1. Situation géographique :

Notre étude a été menée à la wilaya de Laghouat (Située au centre du pays à 400 km au sud de la capitale Alger) et plus précisément la commune de Tadjemout. La Wilaya de Laghouat est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 455 602 habitants sur une superficie de 35 413 km². La densité de population de la Wilaya de Laghouat est donc de 12,9 habitants par km². Laghouat, Aflou et Tadjemout sont les plus grandes villes de la Wilaya de Laghouat parmi les 24 villes qui la compose. Elle est limitée par les wilayas suivantes : Au Nord : Tiaret ; Au Sud : Ghardaïa ; A l'Est : Djelfa ; A l'Ouest : El-Bayadh.

III. 1.2. Le climat :

Dans un pays comme l'Algérie caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique du sud en passant par le climat des montagnes, des hauts plateaux, il est nécessaire de pouvoir préciser le type climatique du secteur que l'on étudie. Notre région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, notamment, le passage du régime climatique méditerranéen au climat saharien caractérisé par des influences desséchantes qui règnent, pendant une partie de l'année, sur le Sahara Septentrional. Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas Saharien et formant une barrière aux influences méditerranéennes accentue les contrastes climatiques.

Le climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige et des gelées blanches. Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable. (*www.andi.dz*).

III. 1.3. Présentation de site d'échantillonnage :

Tadjemout est une municipalité des provinces de Laghouat, située à 48 km au nord-ouest de la ville de Laghouat, bordée au nord par l'état de Djelfa, au sud de Hawaita et dans l'étranglement, à l'ouest de Oued M'zi, Ain Madi, Sidi Bouzid et Al Bayda, et à l'est de Sidi Makhlof et Laghouat. Tadjemout est le troisième rassemblement de population après la municipalité de Laghouat et la municipalité d'Aflou, qui est née de la division administrative de l'année 1984, et se trouve sur une superficie totale de 620 kilomètres carrés et était dans

l'ancien point de passage où divers convois venant du sud et se dirigeant vers le col nord, et sa zone s'étend vers les frontières avec l'État Tiaret se trouve au point frontière appelé région Hassyan Al-Deeb, avec une population d'environ 26846 personnes. La municipalité compte plusieurs centres de population, dont les plus importants sont : Al-Hajeb, qui est le plus grand rassemblement résidentiel en dehors du siège de la municipalité, ainsi qu'Al-Jujeqaqa, Al-Hutaiba et Miska.

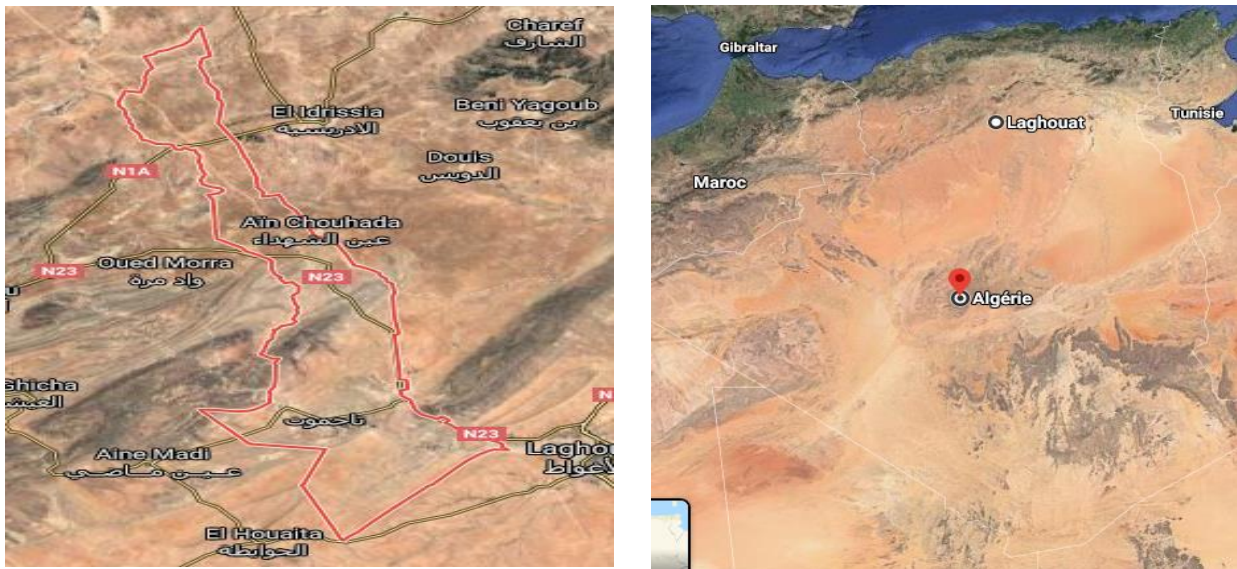


Figure. 3.1. Photos satellites de situation géographique de la commune Tadjmout – wilaya Laghouat (Google maps, 2020).

III. 1.4. Présentation de barrage infero- flux Tadjmout (pont Oued M'zi) :

Laghouat possède un barrage mystique qui est considéré comme un chef-d'œuvre scientifique de génie et un surnaturel pour stocker et exploiter les eaux souterraines, car il est unique au niveau africain et le deuxième au niveau mondial après le barrage d'Afghanistan. Le barrage souterrain a été construit en 1949 et les travaux ont été achevés en 1951 par une entreprise française, Domiz (mzipub@gmail.com).

L'Oued M'zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central, il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour, vers le Sud-est de Laghouat il rejoint l'Oued Messaad d'où il prend le nom de l'Oued Djedi qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 kms formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-aride (F.SolielHavoup, 1974).



Figure. 3.2. Barrage infero- flux du Tadjmout (pont oued M'zi) 2020.

III. 2. Présentation générale des méthodes utilisées dans le mémoire :

Pour répondre à nos objectifs, nous avons utilisé certaines méthodes pour atteindre notre but de recherche. La dynamique des populations de *Phytoplankton* a été étudiée par des dénombrements de cellules et colonies en microscopie optique, isolement et identification de la souche sélectionné puis la culture en batch pour tester les différents conditions environnementale sur la croissance de cyanobactérie isolée.

III. 2.1. Echantillonnage :

III. 2.1.1. La récolte de phytoplancton :

Des échantillons d'eau ont été prélevés dans des endroits dont la couleur varie de l'incolore, du bleuâtre et du brunâtre au vert d'une coloration spécifique de l'eau. Les recherches ont été menées au mois de février 2020 au barrage de Tadjmout.



Figure.3.3. Stations d'échantillonnage d'eau, barrage infero-flux Tadjmout, Laghouat 2020.

Environ 300 ml d'échantillons d'eau ont été recueillis dans trois bouteilles stériles de 150 ml à chaque endroit, les bouteilles stériles sont plongés dans l'eau superficiel à une distance qui

varie de 20 à 25 cm de la surface assez loin des bords. Les échantillons ont été transportés au laboratoire dans une glacière et gardés en attente d'une analyse à 4°C.

Parallèlement, on prend un litre d'eau de surface à l'aide d'un flacon en plastique, pour le dosage de la chlorophylle (a) ; et un autre flacon pour le dosage des paramètres physicochimiques. Les échantillons soigneusement étiquetés et transportés au laboratoire. L'analyse phytoplanctonique et physicochimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de Microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie et laboratoire de médecine, université Amar Thelidji Laghouat.

III. 2.1.2. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau :

III. 2.1.2.1 Mesure de la T°, pH, oxygène dissout, conductivité, TDS et la salinité :

Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : La température, le pH, l'oxygène dissout, conductivité, Total des solides dissous (TDS) et la salinité. Les mesures sont réalisées " au laboratoire à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA on utilisant différentes sondes. L'utilisation de cet appareil consiste à faire plonger la sonde appropriée dans l'eau, puis attendre, quelques secondes, stabilisation de l'affichage sur l'écran avant sa lecture.

III. 2.1.2.2. Dosage de la chlorophylle a :

La mesure de concentration en chlorophylle- a a été effectuée suivant la méthode monochromatique de Lorenzen (1967). Des volumes d'échantillons de 1 L (en fonction de la densité de l'échantillon) sont filtrés sur membranes en fibres de verre fritté GF/C Whatman (0.45µm de maillage). Les pigments sont extraits en 24 heures au froid et à l'obscurité avec de l'acétone à 90%. Après centrifugation, les densités optiques de l'extrait acétonique ont été mesurées à 665 nm avant et après acidification par l'acide chlorhydrique. Les concentrations, exprimées en mg.m⁻³, en chlorophylle a (Chl-a) ont été calculées selon l'équation suivante :

$$[\text{Chlorophylle a}](\text{mg.m}^{-3}) = \frac{26.7(Ab^{na}_{665} - A^a_{665}) \times v}{V \times l}$$

- avant acidification : $A^{na}_{665} = (Ab^{na}_{665} - bc_{665}) - (Ab^{a}_{750} - bc_{750})$
- après acidification : $A^a_{665} \sim (Ab^a_{665} - bc_{665}) - (Ab^{a}_{750} - bc_{750})$.

où :

V : volume d'eau filtrée (en litres) ;

v : volume de solvant d'extraction (millilitres) ;

l : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (centimètres) ;

Aav 665 : densité optique à 665nm avant acidification par rapport à l'acétone 90% ;

Aap 665 : densité optique à 665nm après acidification par rapport à l'acétone 90%.

III. 3. Identification des phytoplanctons :

La détermination des genres de chaque récolte est réalisée à partir de l'observation des caractères morphologiques selon les clés d'identification universellement admises. L'observation est réalisée sous microscope optique, au grossissement 400.

Les critères retenus sont :

- La structure et la couleur des micro-algues (cellulaire ou filamenteuse).
- La forme de la colonie ou du trichome.
- La taille des cellules.
- La présence ou l'absence de : gaine gélatineuse (couleur, aspect et taille), akinètes, hétérocystes, vacuoles à gaz (pseudovacuoles).

Protocole expérimental :

- Prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une pipette ou mieux un compte-goutte par petite goutte du dépôt.
- Mettre l'échantillon entre lame et lamelle.
- Observation des échantillons à l'aide d'un microscope photonique optique avec les grossissements 100, 400 et 1000.
- Identification des différentes espèces en utilisant la clé de détermination.

III. 3.1. Dénombrement des microalgues :

Deux classes phytoplanctoniques ont fait l'objet de cette étude : les diatomées et les cyanobactéries. La détermination des genres de chaque récolte est réalisée à partir de l'observation sous microscope optique des caractères morpho anatomiques représentant les clés d'identification (**Bourrelly, 1985 ; Michel, 1987 et Gregoire et al., 1978**). Le dénombrement des micro algues se fait comme suit :

- Dans 10 ml d'eau de station, ajouter 5 ml de lugole pour maintenir la fixation de l'échantillon. Cette fixation peut entraîner quelque rétraction du matériel intracellulaire et modifier légèrement la morphologie des chloroplastes ainsi que leur couleur.
- Agiter les échantillons d'eau fixés, pendant au moins une minute.
- Prélever un sous échantillon et le déposer dans une chambre à sédimentation.
- Observer à l'aide d'un microscope optique.
- Recenser les algues rencontrées sur les parcours horizontaux effectués sur toute la longueur de la bande . Le recensement concerne seulement une « sous chambre » de superficie connue.
- Déterminer la densité algale de l'échantillon par :
 - ✓ Le calcul de la superficie de la chambre de comptage : $S = L \times La$; (S : superficie mm², L : longueur de la chambre de comptage en mm, La : largeur de la chambre de comptage en mm).
 - ✓ Le calcul de la superficie de la sous chambre : $s = l \times la$; (s : superficie mm², l : longueur en mm, la : largeur en mm).
 - ✓ Le calcul du nombre de cellules dans toute la chambre :
$$D = \frac{S}{s} \times n$$
; (D) : Densité des individus dans toute la chambre de comptage, n : Nombre des individus dans la sous chambre.

III. 3.2. Isolement des cyanobactéries :

L'isolement à été réalisé avec une seringue stérile et nous avons choisis *Gleocapsa sp* à cause de leurs abondance dans l'échantillon et la facilité qu'elle présente pour l'isolement. Chaque cellule est introduite dans un flacon contenant le milieu de culture approprié pour les cyanobactéries.

III. 4. Préparation des milieux de culture :

Les souches d'algues et de cyanobactéries sont cultivées sur un milieu unique, le milieu Aiba et Ogawa (AO), La recette utilisée au laboratoire est simplifiée car elle nécessite uniquement la préparation de trois solutions A, B et solution minérale (**Annexe 01**). Ensuite stérilisée en autoclave à 120 °C pendant 20 min. mélanger la solution A et la solution B de manière aseptique. Et le pH final était 9,4-9,8. (**Muruga et al., 2014**).



Figure.3.4. Milieu Aiba et Ogawa (AO), pH 9.47.

Protocole :

Pour constituer la population des microbes, les échantillons ont été enrichis avec des supports liquides Aiba et Ogawa et incubé à température ambiante à l'intérieur (23±2 °C) à côté d'une fenêtre permettant suffisamment de lumière du soleil pendant 10 jours.

Des colonies de cyanobactéries ont été observées sous le microscope optique et chaque colonie discrète a été identifiée et à l'aide d'une seringue stérile nous avons isolé des espèces de *Gleocapsa sp* et les déposées dans des médias liquides dans les bouteilles de culture. Les cultures ont été laissées à croître pendant dix jours sous la lumière du soleil.



Figure.3.5. Les cultures de *Gleocapsa sp* incubées à température ambiante à l'intérieur et à côté d'une fenêtre.

III. 4.1. Détermination de la température optimale pour la croissance :

Cinq millilitres de chacune des cyanobactéries isolées dans la culture du bouillon a été ajouté à 45 ml de nutriments Aiba et Ogawa.

Les cultures ont été incubées aux températures suivantes :

Température ambiante (25°C) à côté d'une fenêtre permettant suffisamment la lumière du soleil et au phytotron à température 50°C. La densité optique de chaque culture de bouillon a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à longueur d'onde de 686 nm et après chaque deux jour pendant 14 jours. Les cultures à chaque température étaient répliquées deux fois.



Figure.3.6. Echantillons incubé dans un phytotron à température 50°C.

III. 4.2. Détermination de la concentration optimale en sel pour la croissance :

Le milieu Aiba et Ogawa a été préparé avec différents concentration en NaCl (w/v) de 0,1, 0,3, 0,6 et 0,9 %. Cinq millilitres de chaque culture de bouillon a été ajouté à 45 ml du milieu liquide avec du sel à différentes concentrations et incubés à température ambiante (23 °C). Et près d'une fenêtre permettant la lumière du soleil pendant 14 jours. La densité optique de chaque culture a été mesurée au début et après chaque deux jour. Les cultures à chaque niveau de salinité ont été reproduites deux fois.

III. 4.3. Détermination du pH optimal pour la croissance :

L'utilisation d'acide chlorhydrique concentré, le pH ajusté de 10 à 7 et 6. Quarante-cinq millilitres ont été versés dans des flacons de culture stériles et inoculés avec 5 ml de bouillon de bouillon cultures de chaque isolat. Les cultures ont été incubées dans la chambre température (23 °C) à côté d'une fenêtre permettant suffisamment de lumière du soleil et les densités optiques mesurées au début et après tous les deux jours pendant deux semaines. Les cultures à chaque condition de pH ont été répliquées deux fois.

IV.1. Caractéristique physicochimique de l'échantillons d'eau :

Les analyses physico-chimiques des eaux de barrage infero-flux (Tadjmout-laghouat) et des sources de notre étude ont montrés que Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre, la température 17 °C illustrent bien le caractère méditerranéen de la région où les contrastes entre les saisons chaudes et froides sont très marqués.

La variation de la température des eaux est en lien avec celle de la température atmosphérique saisonnière (**Michalski et Lemming, 1995**). La conductivité électrique permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée (**Rodier, 2005**). L'oxygène dissous dans les eaux provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que :

- La température : l'O₂ diminue quand la température augmente.
- La salinité : l'O₂ diminue quand la salinité augmente.

Le contenu en chlorophylle constitue une mesure sensible de la quantité d'organismes photosynthétiques et d'algues et, en ce sens, du degré d'eutrophisation de l'eau. Ces paramètres physico-chimiques ont été choisis en fonction des facteurs favorisant la prolifération cyanobactérienne et sont présentées dans le tableau 2.

Tableau. 4.1. Caractéristiques de l'échantillonnage de l'eau (température de l'eau, pH, salinité, conductivité (CE), TDS, oxygène dissous et chlorophylle a dans le barrage de Tadjmout au mois de février 2020.

Température d'eau	PH	Conductivité	Salinité	TDS	Oxygène dissout	Chlorophylle-a
17.3	7.98	2224	110	1108	10.31	8.811

* L'unité de CE: $\mu\text{s} / \text{cm}$; TDS: $\mu\text{s} / \text{cm}$; Chl-a: $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; autres: $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, à l'exception du WT et du pH.

IV. 2. Enumérations de phytoplancton et isolement des cyanobactéries:

Au cours de la période d'étude, l'observation des caractères morpho anatomiques des genres du phytoplancton récoltés dans le barrage infero-flux Tadjmout nous a permis d'identifier 20

espèces selon les clés de détermination (Bourelly, 1985 ; Michel, 1987 et Gregoire et al. , 1978). (Annexe. 02).

IV. 2.1. Morphologie et colonie des cellules de phytoplancton isolées dans le barrage de Tadjmout :

IV. 2.2.1. Estimation de la masse algale :

Au cours de toute la période d'expérimentation, l'observation microscopique nous permet d'obtenir la morphologie de chaque espèce et de déterminer la masse algale de l'échantillon, comme ç'est indiquer dans le **Tableau. 4.2**.

Tableau.4.2. Caractéristiques morphologiques et le nombre (individu/L) de chaque espèce isolée.

Espèces isolée	Nombre (individu/L)	Morphologie	Reproduction
<i>Melosira sp</i>	1009.05	Forme des filmants unisériés avec des cellules cylindriques plus longue que large adhérant valve contre valve.	Reproduction sexuée par fusion des gamètes mâles et femelles.
<i>Synedra sp</i>	1731.6	Diatomées allongées, en forme d'aiguille et immobiles, la cellule est entourée d'une coquille de galets, caractéristique des diatomées et composée de deux compteurs.	Reproduction asexuée se produit par la division typique des diatomées en deux.
<i>Spirogyra sp</i>	2453.1	Vertes, filamenteuses avec un aspect flocculent et une texture visqueuse. Le chloroplaste est rubané enroulé en spirale et portant des pyrénoides.	Reproduction sexuée.
<i>Synedra ulna</i>	1587.3	Cellule isopolaire, rectiligne, solitaire les valves sont finement	Reproduction asexuée.

		striées.	
<i>Navicula sp</i>	2597.4	Le frustule, transparent, Son contour est allongé, lancéolé de face, rectangulaire de profil et toute sa surface est ornée de côtes perlées.	Reproduction sexuée.
<i>Merismopedia sp</i>	1154.4	Forme ovoïde ou sphérique et disposé en rangées et plats, formant des colonies rectangulaires maintenues ensemble par une matrice mucilagineuse.	Se reproduisant spécifiquement par fission, la division cellulaire ne se produit que dans deux directions.
<i>Fragilaria sp</i>	1443	Diatomée coloniale, formant des filaments de cellules jointes mécaniquement par des protubérances sur la face et au centre de leurs valves.	Multiplication par division longitudinale.
<i>Nitzschia panduriformis</i>	865.8	Transparent, ornée de côtes perlées à l'intérieure, plus souvent solitaire.	Reproduction sexuée allogame, dans laquelle deux cellules végétatives s'apparient et fonctionnent comme des gamétanges.
<i>Cymbella sp</i>	1010.1	Cellule contenant des pigments verts, une enveloppe siliceuse externe à structure très particulière, le frustule.	Multiplication sexuée par bipartition (la cellule mère donne deux cellules).

IV. 1. Aspect macroscopique et microscopique des cultures de cyanobactéries isolées :

IV. 2.1. Aspect macroscopique :

L'observation des caractères morphologiques des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Tadjmout au cours de ce travail, nous a permis d'identifier le genre *Gleocapsa sp*. Ce genre d'algue subaérien forme souvent des masses gélatineuses vertes, rouges, brunes ou orange sur des substrats dans l'eau ou tout près.

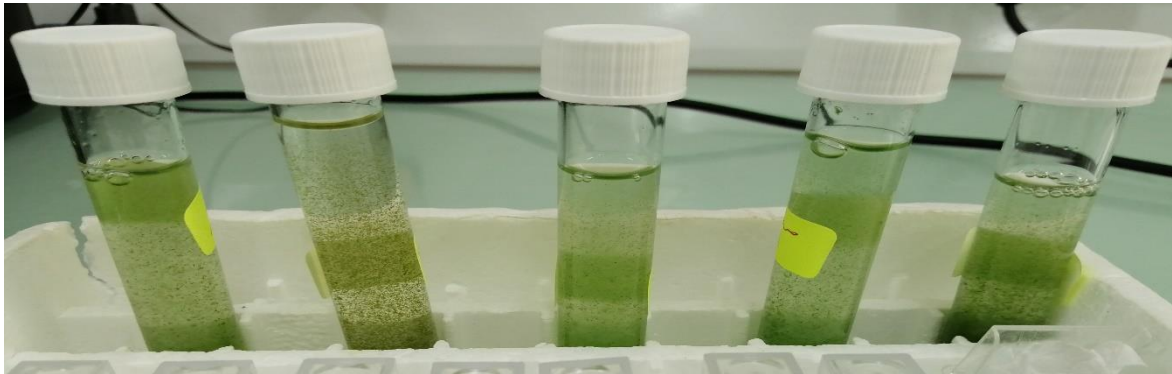


Figure.4.1. Aspect macroscopique des cultures de *Gleocapsa sp* isolée après 15 jours d'incubation.

IV. 2.2. Aspect microscopique :

Les cellules sphériques, non flagellées, ne forment pas de filaments, mais sont solitaires ou forment des groupes de 2, 4 ou 8 cellules dans des masses gélatineuses. Chaque cellule est entourée d'une épaisse gaine mucilagineuse homogène ou lamellée de couleur jaune, brune, rouge ou même bleue ou violette



Figure. 4.2. *Gleocapsa sp* sous microscope optique à l'objectif 40 (GX400).

IV. 3. Croissance des cultures de *Gleocapsa sp* sur les différentes conditions de culture :

IV. 3.1. Effet de la température sur la croissance de *Gleocapsa sp*:

La croissance des cultures de *Gleocapsa sp* a été incubée à deux températures, 50°C dans un phytotron avec lumière et à température ambiante ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) près d'une fenêtre permettant un accès suffisant de la lumière. Les résultats obtenus sont figurés dans la figure 1 et 2, *Gleocapsa sp* préfère une haute température, le taux de croissance le plus élevé était à température 50°C avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 1.2 après 8 jours, par contre la croissance à température 25°C était importante après 6 jours. *Gleocapsa sp* a pu se développer en température ambiante, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles que la température 50°C.

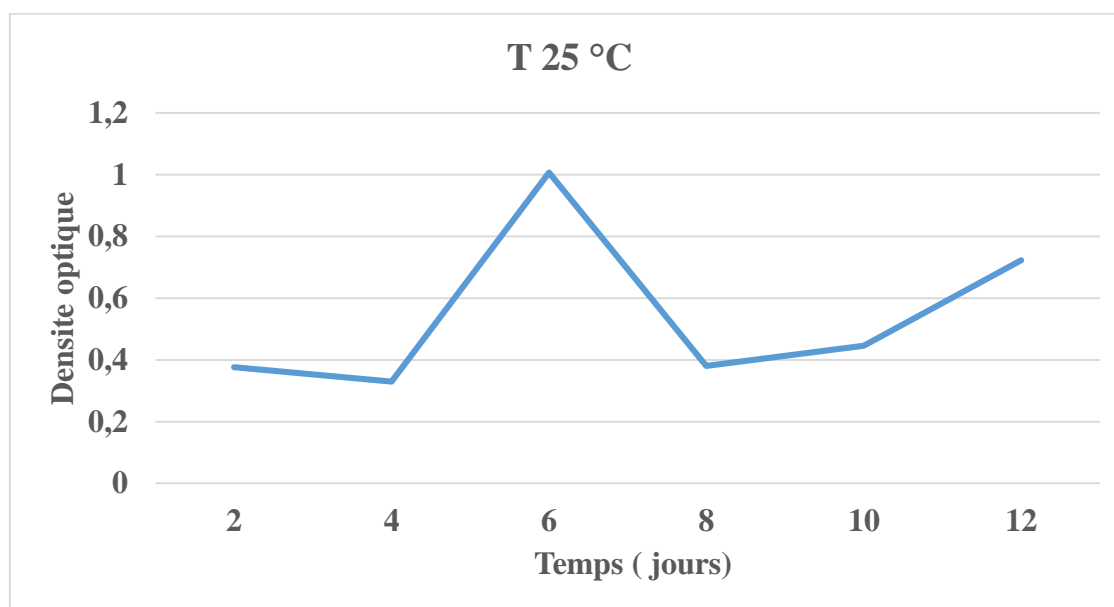


Figure.4.3. Représentation de l'Effet de la température ambiante 25°C sur la densité cellulaire de *Gleocapsa sp*.

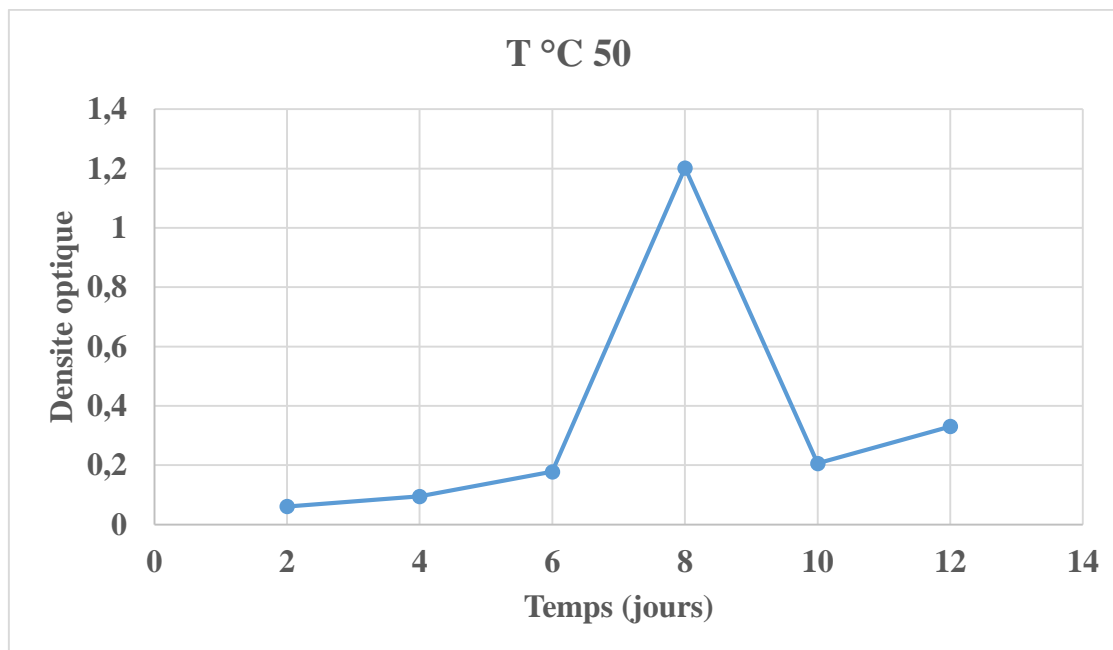


Figure. 4.4. Représentation de l'Effet de la température élevé 50°C sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

IV. 3.2. Effet de pH sur la croissance de *Gleocapsa sp* :

La croissance de *Gleocapsa sp* dans différentes conditions de pH est illustrée dans les figures 3, 4 et 5. *Gleocapsa sp* a préféré un pH presque neutre à alcalin, le taux de croissance le plus élevé était à pH 10 avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 0,769 après six jours et il était de 0,548 à pH 7 après 8 jours. *Gleocapsa sp* a pu se développer en pH acide, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles que le pH alcalin. La croissance de *Gleocapsa sp* a clairement été affectée négativement à un pH plus faible, mais les algues ont néanmoins pu se développer pendant les 14 jours de la période de culture.

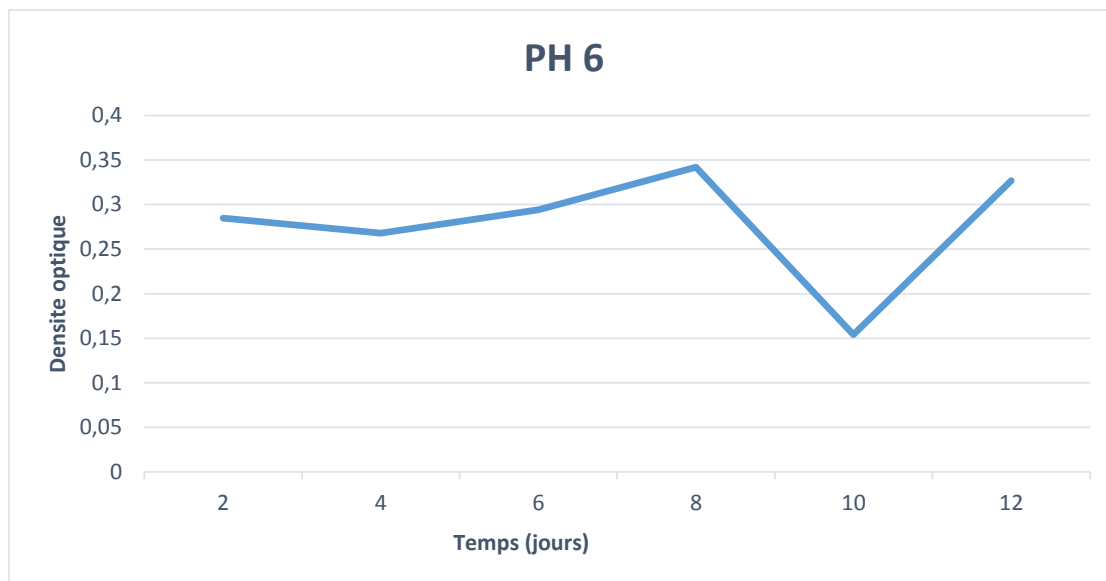


Figure.4.5. Représentation de l'Effet de pH 6 sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

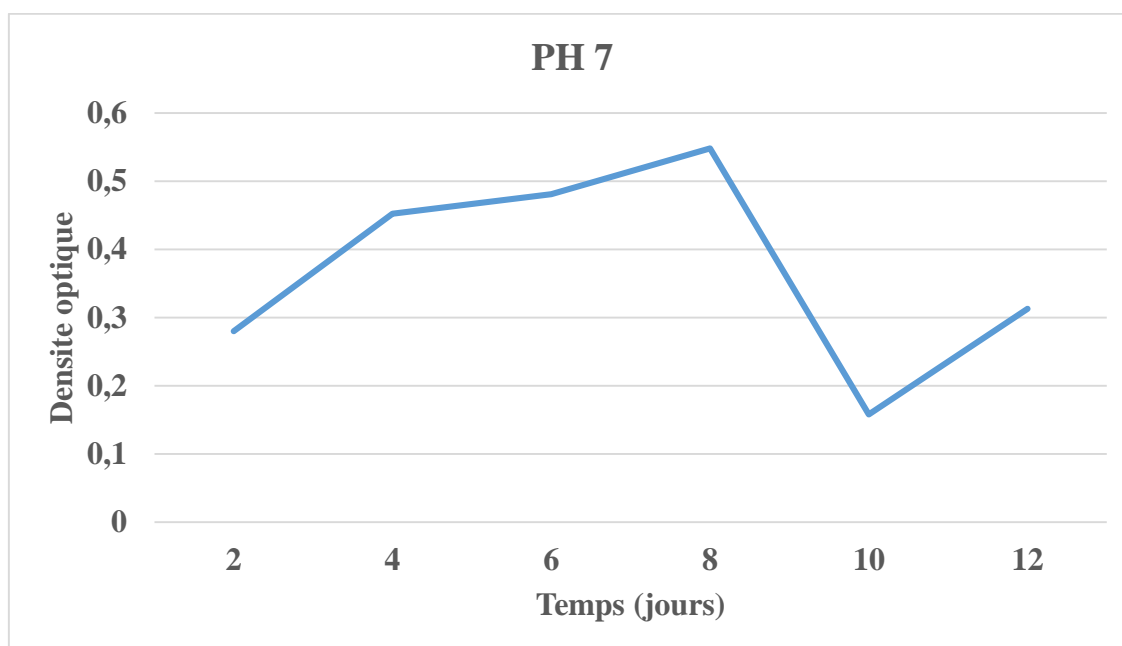


Figure. 4.6. Représentation de l'Effet de pH 7 sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

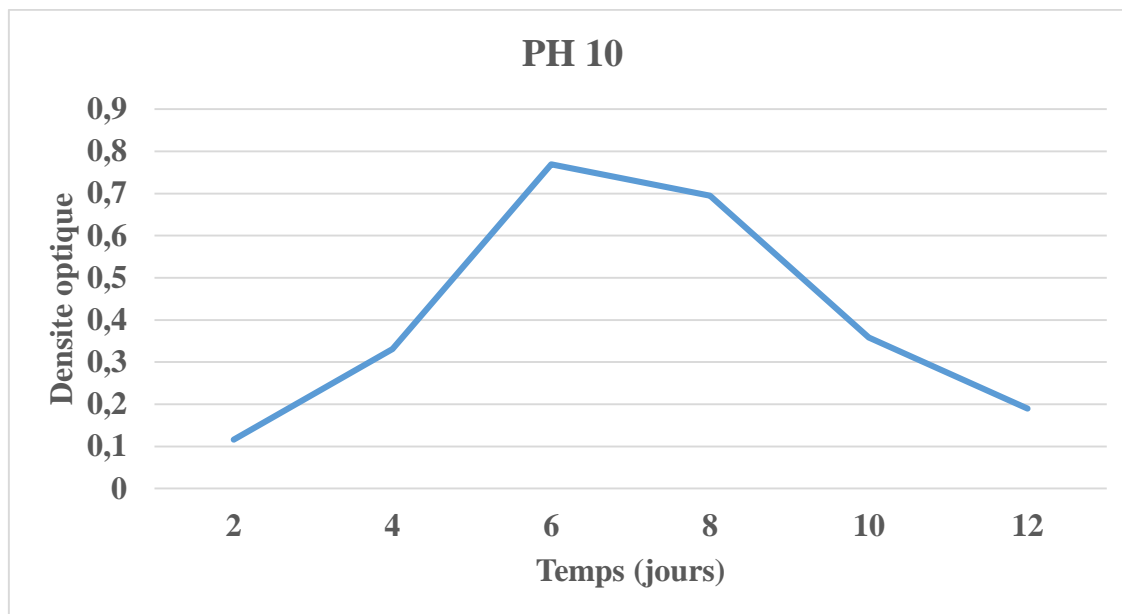


Figure.4.7. Représentation de l'Effet de pH 10 sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

IV. 3.3. Effet de la salinité sur la croissance de *Gleocapsa sp* :

La croissance de *Gleocapsa sp* dans différents concentration en NaCl (w/v) de 0,1, 0,3, 0,6 et 0,9 % est illustrée dans les figures 6, 7, 8 et 9.

Gleocapsa sp a préféré une salinité faible, le taux de croissance le plus élevé était à Nacl 0.1 % avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 1.239 après 10 jours et il était de 0,6 à Nacl 0.3% et 0.6% après 10 jours. *Gleocapsa sp* a pu se développer à une salinité élevé 0.9 %, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles à une salinité faible. La croissance de *Gleocapsa sp* a clairement été affectée positivement à une salinité élevée, mais leurs croissance était aussi importante aux autres concentrations en NaCl ce qui confirme leur capacités à se développer aux différentes conditions de salinités.

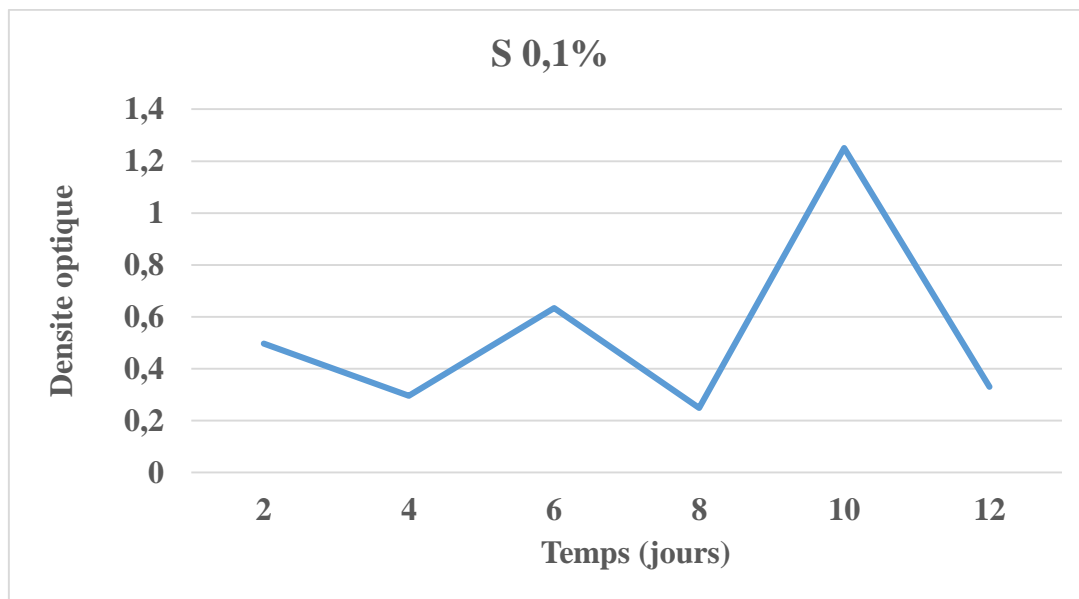


Figure.4.8. Représentation de l'Effet de la salinité 0.1% sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

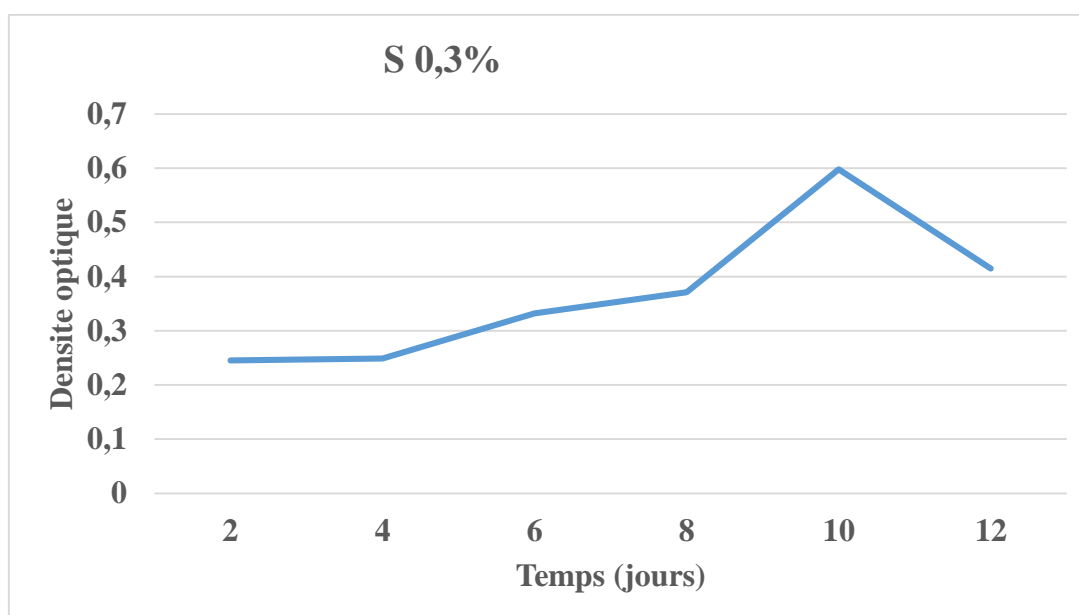


Figure. 4.9. Représentation de l'Effet de la salinité 0.3% sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

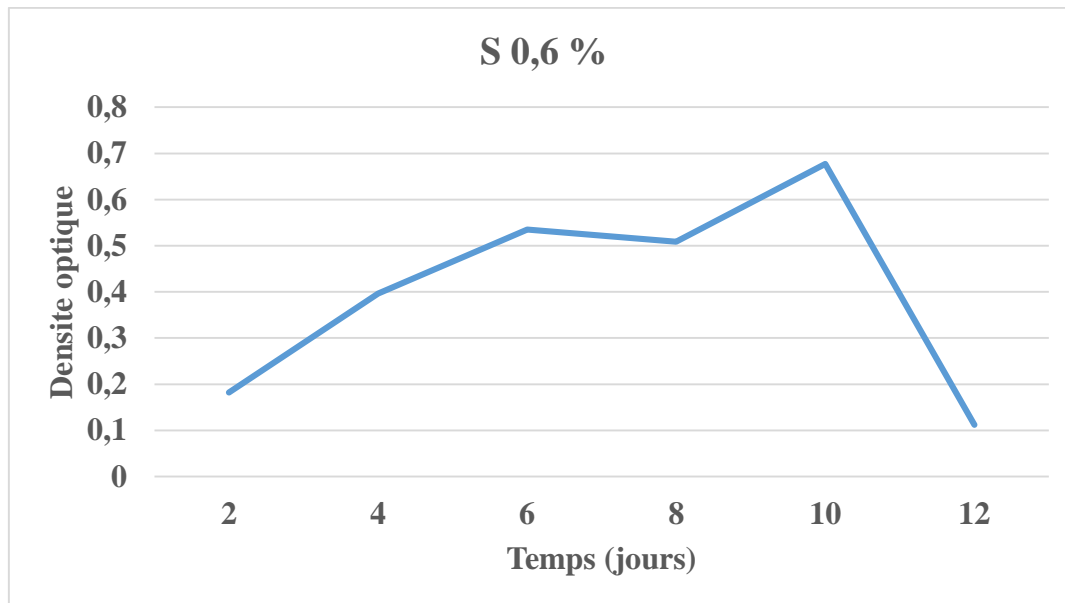


Figure. 4.10. Représentation de l'Effet de la salinité 0.6% sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

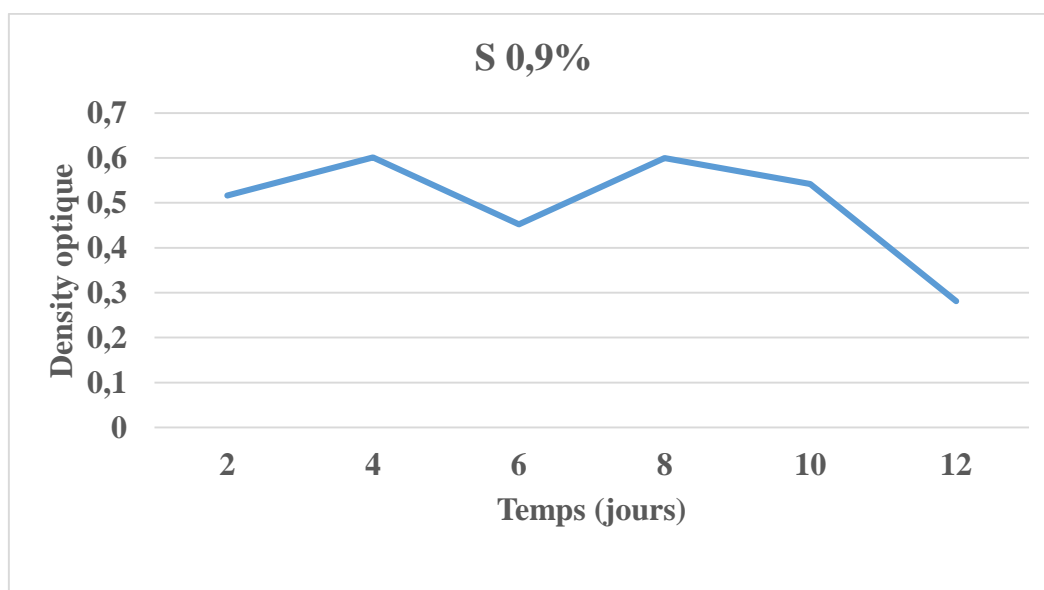


Figure.4.11. Représentation de l'Effet de la salinité 0.9% sur la densité cellulaires de *Gleocapsa sp.*

Discussion :

Durant cette dernière décennie, un intérêt particulier est porté aux cyanobactéries. En effet, les métabolites extracellulaires des cyanobactéries sont dans la plupart des cas des substances actives dont les activités biologiques sont diverses et multiples : antifongique, antibactérienne, stimulatrice de la croissance cellulaire etc., d'où ils peuvent constituer une source potentielle d'actifs biologiques pour l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique.

Ce travail s'intègre dans cette voie de recherches et il a utilisé la cyanobactérie *Gleocapsa sp* comme modèle d'étude. Cette micro algue est connue par son utilisation dans le domaine de production de biodiésel.

Le style de vie des cyanobactéries implique une dépendance vis-à-vis des facteurs physico-chimiques de l'environnement tels que la température, pH et salinité. (Mary I., 2003). L'analyse des principaux paramètres physico-chimiques dans la retenue du barrage infero-flux Tadjmout montrés que les cyanobactéries (*Gleocapsa sp*) a pu se développer en température ambiante 25°C, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles que la température 50°C. Nos données sont confortées par les résultats de certains auteurs qui rapportent que les Cyanopocaryotes prolifèrent dans une eau dont la température est comprise juste entre 15 et 30°C (Skulberg et al .1984, Carmichael et al 1990, Nasri, 1999 ,Menail 2000 , Matmed, 2000 , Bensdira 2000 , Boualleg et amp; Kouachi 2001 , Nasri, 2001, Gouasmia 2003, Chaibi, 2004, Bensafia 2005, Manamani 2007 Ghazali et al. 2008, Nasri et al. 2007). Les valeurs du pH de l'eau du barrage Tadjmout sont comprises entre 6 et 9. Et Selon Stumm et Morgan (1996), le pH dans les systèmes lacustre varie de 6 à 10 selon le degré trophique. Il augmentée en période à forte production primaire. Par ailleurs, Brock (1973) rapporte qu'un pH du milieu inférieur à 5 élimine la vie et croissance des cyanobactéries. La croissance de **Gleocapsa sp** a clairement été affectée positivement à une salinité élevée, mais leurs croissance était aussi importante aux autres concentrations en NaCl ce qui confirme leur capacités à se développer aux différentes conditions de salinités, selon Nishiyama et al. (2006) Le niveau de la salinité influence le rendement quantique effectif (Φ_{PS2}) pendant la phase exponentielle et la phase stationnaire chez les 3 espèces étudiées.

En conclusion l'étude de l'impact des conditions environnementales sur la croissance des cyanobactéries devrait par conséquent prendre en considération la grande variabilité biogéographique des souches étudiées et les différentes stratégies adaptatives de ces souches en fonction de l'environnement multifactoriel dans lequel elles vivent.

L'apport essentiel de ce travail est qu'il teste certains paramètres physicochimiques sur la croissance des cyanobactéries ce qui permet de modéliser et d'optimiser la production des cyanobactéries en vue de leur exploitation industrielle future.

Conclusion

Conclusion :

A l'issue de notre étude, nous avons pu mettre en évidence quelques caractéristiques physico-chimiques de l'eau du barrage d'infero- flux Tadjmout (Laghouat) ainsi que la diversité du peuplement phytoplanctonique qui le colonise. Les résultats des analyses physico-chimiques de ce plan d'eau présentent une variation saisonnière de la température, une valeur de pH 7.98 correspond à une solution neutre, une conductivité électrique 2224 $\mu\text{s} / \text{cm}$ avec une salinité légèrement élevée et un oxygène dissous à moyen concentration. L'observation des caractères morpho anatomiques des taxons phytoplanctoniques récoltés dans le barrage de Tadjmout nous permis d'identifier 20 espèces (*Scenedesmus dimorphus* , *Fragillaria sp* , *Gleocapsa sp* , *Stephanodiscus sp* , *Merismopedia sp* , *Melosira sp* . *Spirogyra sp* , *Colonies sp* , *Synedra ulna* , *Synedra sp* , *Amphiprora alata* , *Cymbelle sp* , *Anabeana* , *Cosmarium* , *Phormidium sp*) . L'observation des caractères morphologiques des cyanobactéries isolée nous a permis d'identifier le genre *Gleocapsa sp*.

Il ressort de cette étude :

- Que la variation des paramètres physico-chimiques tell que (température, salinité, pH) a un effet sur la croissance des cyanobactéries (*Gleocapsa sp*).
- *Gleocapsa sp* a pu se développer en pH acide, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles que le pH alcalin.
- *Gleocapsa sp* a pu se développer en température ambiante 25°C, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles que la température 50°C.
- *Gleocapsa sp* a préféré une salinité faible

Références

Références bibliographiques :

AFSSA., 2006. (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) et **AFSSET** (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail). Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau – Évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives. Paris.

Anne-Sophie Kerbrat., 2010 Rôle des cyanobactéries dans le développement des zones ciguatérogènes en lien avec les impacts anthropiques, pour une meilleure gestion du risque ciguatérique. Sciences du Vivant[q-bio]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2010. Français.

Azam, F. et Malfatti, F., 2007. Microbial Structuring of marine ecosystems. Nature Reviews Microbiology.

Barbeau, B., Carrière, A., Prévost, M., Zamyadi, A. and Chevalier, P., 2008. Changements climatiques : Analyse de la vulnérabilité des installations québécoises de traitement de l'eau potable aux cyanobactéries toxiques p. 92, École Polytechnique de Montréal -Chaire Industrielle en Eau Potable, Montréal, Québec.

Baurand F., 2005. Détermination de la flore phytoplanctonique du Canal du Mozambique d'après l'analyse des pigments par HPLC.Mémoire de fin d'études. Spécialité Qualité Sécurité Environnement.

Bendif, E., Probert, I., Herve, A., Billard, C., Goux, D., Lelong, C., Cadoret, J. P., & Veron, B., 2011. Integrative taxonomy of the Pavlovophyceae (Haptophyta): A reassessment. Protist.

Bengtsson J., 1998. Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. *Applied*

Soil Ecology. **10** (3) : 191-199.

Blais S., 2002. La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi en 2001. Agrosol.

Blandin P., 1986. Bio-indicateurs et diagnostic des systèmes écologie. Bulletin d'écologie.

Bombace, G., 1995. Zone marine protette: esperienze e prospettive.

Bonnet, M., Poulin, M., Devaux, J., 2000. Numerical modelling of thermal stratification in a lake reservoir: methodology and case study. *Aquat. Sci.* 62, 105 Á/124.

Boumnich, H., 1992. Etude expérimentale des paramètres ecophysiologiques des principales espèces phytoplanctoniques du lac d'Aydat (Puy-de-dô me, France). Essai de mode des cultures d'algues. PhD thesis, Université Blaise Pascal Clermont II (U.F.R Scientifique et Techni-que).

Bourrelly, P., 1985. Les algues d'eau douce : Initiation à la systématique. Tome I: Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.

Références

Briand, J.-F., Leboulanger, C., Humbert, J.-F., Bernard, C., & Dufour, P., 2004.

Cylindrospermopsis raciborskii (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? *Journal of Phycology*.

Broutin M, Caffier G, Madi M, Artigas L., 2011. Les techniques de suivi del'abondance, biomasse et diversité du phytoplancton en eaux marines.Ifremer.

Burch MD., 2008. Effective doses, guidelines & regulations. *Advances in Experimental Medicine and Biology*.

Cardellina J.H., Marner F.J. & Moore R.E., 1979. Seaweed dermatitis, structure of lyngbyatoxin A. *Science*.

- Carmichael, 2001.** Health effects of toxin-producing cyanobacteria: The cyanohabs. Hum. Ecol. Risk Assess.
- Carmichael, W. W., 1993.** The cyanotoxins. Adv. Bot. Res.
- Champiat, D., et Larpent, J.P., 1994 b.** Biologie des eaux. Méthodes et techniques, Masson Paris Milan Barcelone Masson Paris Milan Barcelone Mexico.
- Chan EW, et al., 2004.** Developing photoactive affinity probes for proteomic profiling: hydroxamate-based probes for metalloproteases. *J Am Chem Soc* 126(44):14435-46.
- Chisholm, S.W. 1995.** The iron hypothesis : Basic research meets environmental policy. Reviews of Geophysics. 33 : 95RG00743.
- Chorus, I., Bartram, J., 1999.** Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon: London.
- Christian Sardet., 2013.** Plancton -Aux Origines du vivant, Edition Ulmer (Paris, France).
- Christoffersen, K., 1996.** Ecological implications of cyanobacterial toxins in aquatic food webs. Phycologia.
- Codd, G. A., Bell, S. G., Kaya, K., Ward, C. J., Beattie, K. A. and Metcalf, J. S., 1997.** Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health. Eur. J. Phycol.
- Coles, J. F., & Jones, R. C., 2000.** Effect of temperature on photosynthesis-light response and growth of four phytoplankton species isolated from a tidal freshwater river. Journal of Phycology.
- Coute A. et Chauveau O., 1994.** Algae. Encyclopedia Biospeologica. I éd. Société de Biopédologie. ISSN 0398 7973, 3ème trimestre: 371-380.
- David Demory., 2017.** Impact de la température sur le phytoplancton et ses interactions avec les virus. Océanographie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Davis, T. W., Berry, D. L., Boyer, G. L., & Gobler, C. J., 2009.** The effects of temperature

and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms. *Harmful Algae*.

Dhargalkar V.K, Ingoleb S., 2004. Phytoplankton identification manual. Ed National

Références

Dodds, W.K., F. Tromboni, W.A. Saltarelli, and D.G. Fernandes Cunha., 2000. The root of the problem: Direct influence of riparian vegetation on estimation of stream ecosystem metabolic rates

Donohue J, Orme-Zavaleta J, Burch M, Dietrich D, Hawkins B, Lloyd T et collab., 2008. Risk assessment workgroup report. *Advances in Experimental Medicine and Biology*.

Duy T.N., Lam P.K.S., Shaw G.R. et Connell D.W., 2000. Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue- green algal) toxins in water. *Rev. Environ. Contam.Toxicology*.

Edited by Whitton B. A. & Potts M. Ed. Dordrecht, Netherlands ,Kluwer Academic Publishers. pp. 149-194.

Everine Alvain., 2005. Étude de la distribution des principaux groupes de phytoplancton par télédétectionsatellite: Développement de la méthode PHYSAT à partir des données GeP&CO et applicationà l'archive SEAWIFS entre 1998 et 2004.. *Climatologie*. Université Paris-Diderot - Paris VII.

Falconer et Humpage., 2005. Health risk assessment of cyanobacterial (blue-green algal) toxins in drinking water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.

Fensome R. A., Taylor F. J.R., Norris G., Sarjeant W.A.S., Wharton D. I. & Williams G.L., 1993 - A classification of fossil and living dinoflagellates. *Micropal. PressSpec*.

Firkens G.S., 1953. Toxic algae poisoning. *Iowa State Coll*.

Fraisse S., 2013. Structure de la communauté phytoplanctonique des fleuves côtiers en

réponse aux contraintes hydrodynamique : une approche basée sur les traits morphofonctionnels.

Thèse de doctorat. Sciences agricoles. Université Rennes 1.

Francis, G., 1878. Poisonous Australian lake *Nature*.

Frémy J. M., Lassus P., 2001. *Toxines d'algues dans l'alimentation*. Ed. Ifremer.

Frontier S. et Etienne M., 1990. Etude de la diversité spécifique par le moyen des diagrammes rangs-fréquences : modelisation, variabilité d'échantillonnage. *In: Biométrie et Océanographie. Société de Biométrie. Ifremer. Actes des colloques: 145-177.*

Gailhard I., 2003. Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le « Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II). P : 1,14.

Gao, Y.H., O'Neil, J.M., Stoecker, D.K. and Cornwell, J.C., 2014. Photosynthesis and nitrogen fixation during cyanobacteria blooms in an oligohaline and tidal freshwater estuary. *Aquatic Microbial Ecology*.

Groga. N., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse doctorat. Spécialité Ecologie Fonctionnelle. Université de Toulouse.

Grossman, A.R., D. Bhaya et Q. HE., 2001. "Tracking the Light Environment by Cyanobacteria and the Dynamic Nature of Light Harvesting", *The journal of biological Chemistry*.

Références

Grossman, A.R., M.R.Schaefer, G.G.Chiang and Collier, J.L., 2001. Environmental effects on the light-harvesting complex of cyanobacteria. *J. Bacteriol.*

Hansen G., Turquet J., Quod J.P., Ten Hage L., Lugomela C., Kyewalyanga M.,

Hurbungs M., Wawiye P., Ogongo B., Tunje S. et Rakotoarinjanahary H., 2001.

Potentially Harmful Microalgae of the Western Indian Ocean. Manuals and Guides.

Hélène Barberousse., 2006. Etude de la diversité des algues et des cyanobactéries colonisant les revêtements de façade en France et recherche des facteurs favorisant leur implantation.

Ecologie, Environnement. Museum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS, 2006.

Français.

<https://www.pinterest.co.uk/pin/787707791048380575>

Huang, X.-x., Hu, P., Zhuang, L.-c., & Ni, L.-p., 2008. The cultivation and nutrition analysis of the blue-green alga *Chroococcus minutus*. Journal of Shanghai Fisheries University.

Hudnell, H.K. (ed),. 2008. Cyanobacterial harmful algal blooms: State of the science and research needs, Springer, New York.

Humpage, A. R., Hardy, S. J., Moore, E. J., Froschio, S. M. et Falconer, I. R., 2000.

Microcystins (cyanobacterial toxins) in drinking water enhance the growth of aberrant crypt foci in the mouse colon. *J Toxicol Environ Health A*.

Humpage, A. R., Rositano, J., Bretag, A. H., Brown, R., Baler, P. D., Nicholson, B. C., &

Steffensen, D. A., 1994. Paralytic shellfish poisons from Australian cyanobacterial blooms.

Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 45(5), 761-771.

J. R. Codd, D. F. Boggs, S. F. Perry, D. R., 2005. Carrier Journal of Experimental Biology.

Jaiswal P, Singh PK, Prasanna R., 2008. Cyanobacterial bioactive molecules-an overview of their toxic properties. *Can J Microbiol*.

Jean CACHON, Monique CACHON., 2020, « DINOPHYCÉES », *Encyclopædia*

Universalis [en ligne], consulté le 19 février 2020. URL :

<http://www.universalis.fr/encyclopedie/dinophycees-dinoflagelles-peridiniens>.

Jeffrey et al., 1997. Y. Dandonneau communications personnelles ; documents IFREMER).

- John D.M., Whitton B.A., Brook A.J., 2002).** The Freshwater Algal Flora of the British Isles. Cambridge University press, The Natural History Museum .SIVONEN K., Cyanobacterial toxins and toxin production, *Phycologia*, 1996, vol.35 (6 supplement).
- Kaebnick, M., Neilan, B.A., 2001.** Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microbiol Ecol*.
- Krienitz L., Ballot A., Kotut K., Wiegand C., Pütz S., Metcalf J.S., Codd G.A. & Pflugmacher S., 2003.** Contribution of hot spring cyanobacteria to the mysterious deaths of Lesser Flamingos at Lake Bogoria, Kenya, *FEMS Microbiology Ecology*.
- l'AFSSA et de l'AFSSET, 2006.** "Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau".

Références

- Lakkis S, 2011.** Le phytoplancton marin de Liban (méditerranée orientale) biologie, biodiversité, biogéographie. Ed Aracne p 15- 17.
- Lavoie, I., I. Laurion, A. Warren et W.F. Vincent, 2007.** Les fleurs d'eau de cyanobactéries, revue littéraire.
- Leitão M., Coute A., 2005.** Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France. Agence de l'Eau Seine-Normandie.
- Mann K.H. et Lazier J.R.N., 1966.** Dynamics of marine's ecosystems. Blackwell Science Inc.
- Marie-France SIMON, 2020,** « DIATOMÉES », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 19 février 2020. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/diatomees/> .
- Mathilde Cadier., 2016** Diversité des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux en mer d'Iroise : approche par la modélisation 3D. Sciences de la Terre. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2016. Français.

Mez, K., Beattie, K.A., Codd, G.A., Hanselmann, K., Hauser, B., Naegeli, H., Preisig, H.R., 1997. Identification of a microcystin in the benthic cyanobacteria linked to cattle deaths on alpine pastures in Switzerland. *Eur. J. Phycol.*

Morvan H., Gloaguen V., Vebret L., Joset F. & Hoffmann L., 1997. Structure-function investigations on capsular polymers as a necessary step for new biotechnological applications: the case of the cyanobacterium *Mastigocladus laminosus*. *Plant Physiology and Biochemistry*.

Msagati TA, Siame BA, Shushu DD., 2006. Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. *Aquat Toxicol.*

Mur, L. R., O. M. Skulberg et H. Utkilen, 1999. Cyanobacteria in the environment, dans I. Chorus et J. Bartram (éd.), *Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*, London, New York, E & FN Spon.

Nalewajko, C., & Murphy, T. P., 2001. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: an experimental approach. *Limnology*.

Nasri H., El Herry S. et Bouaïcha N., 2008. First reported case of turtle deaths during a toxic *Microcystis spp.* bloom in Lake Oubeïra, Algeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.

Nicklin. J, Graeme. K, Pajet. T et Killington. R., 2000. *L'essentiel en microbiologie*. Edition BERTI.

Noël G., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Cote d'Ivoire). Thèse de doctorat. Université de Toulouse.

Oberhaus L Briand J-F Leboulanger C Jacquet S Humbert J-F., 2007. Comparative effects of the quality and quantity of light and of temperature on the growth of *Planktothrix agardhii* and *P. rubescens*. *J Phycol* 43: 1191–1199.

Oliver. R. L. & Gant. G. G., 2000. Freshwater blooms. In The ecology of cyanobacteria .

Références

Pierre BOURRELLY, Jean Claude LEFEUVRE, « cyanobactéries ou cyanophycées, anc. algues bleues », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 18 avril 2020.

Pierre, M., Anne , N., 2013. le manuel du plancton . Éditions Charles Léopold Mayer, paris.

Pybus M.J. et Hobson D.P., 1986. Mass mortality of bats due to probable blue-green algae toxicity. *J. Wildlif. Dis.*, 22(3):449-450.

Rabouille S., 2002. Modélisation de la dynamique des réserves carbonées chez *Microcystis et* de son influence sur la migration verticale : Simulation d'une population sur un cycle annuel. Thèse de doctorat de l'université Toulouse III . p 31-32.

Reynolds R W., Smith, T M., 1998. A High-Resolution Global Sea Surface Temperature Climatology for the 1961–90 Base Period. *J. Climate*, 11, 3320–3323.

Rincé Y., Lebeau T. et Robert J.M., 1999. Artificial cell-immobilization: a model stimulating Immobilization in natural environments ? *J. Appl. Phycol.*

Rodier M. and Le Borgne R., 2010. Population and trophic dynamics of *Trichodesmium thiebautii* in the south-east lagoon of New Caledonia. Comparison with *T. erythraeum* in the south-west. *Marine Pollution Bulletin*, doi:10.1016/j.marpolbul.2010.06.018

Rossi N., 2008. Écologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (Toulon, France). Thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon-Var.

Schwimmer M. and Schwimmer D., 1968. Medical aspects of phycology. In: Jackson DF, ed. *Algae, man and the environment*. Syracuse, NY, Syracuse University Press.

Senne S., 2014. Manuel à l'usage du guide de palanquée. Ed. Aamp FFESSM.

Sinha R.P., Hader D.P., 2008. UV-protectants in cyanobacteria. *Plant Sci.* 174 :278–289.

Sivonen, K. and Jones, G., 1999. Cyanobacterial Toxins. In: Chorus, I. and Bartram, J., Eds., Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring, and Management, E & FN Spon, London.

Soll M.D. et Williams M.C., 1985. Mortality of a white rhinoceros (*Ceratotherium simum*) suspected to be associated with the blue-green alga *Microcystis aeruginosa*. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*,

Steven J. Biller, Paul M. Berube, Debbie Lindell and Sallie W. Chisholm., 2014

.Prochlorococcus: the structure and function of collective diversity. *Nature Reviews Microbiology* | AOP, published online 1 December 2014.

Stickney HL, Hood RR, Stoecker DK., 2000. The impact of mixotrophy on planktonic marine ecosystems. *Ecol. Model.*

Stumm W. et Morgan J.J., 1996. Aquatic Chemistry: Chemical equilibrium and rates in natural Waters. *Wiley. Inter. Science. Publication. Third edition.*

Sukenik, A., Quesada, A. and Salmaso, N., 2015. Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodiversity and Conservation.*

Suty L., 2014. Les végétaux, évolution développement et reproduction. Ed Quae.

Références

Tsujimura, S., Ishikawa, K., & Tsukada, H., 2001. Effect of temperature on growth of the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* in Lake Biwa and Lake Yogo.

Tsujimura, S., Tsukada, H., Nakahara, H., Nakajima, T. and Nishino, M., 2000. Seasonal variations of *Microcystis* populations in sediments of Lake Biwa, Japan. *Hydrobiologia*, 434, 183–192.

Valentine M. B., 2004. Floraisons de cyanobactéries au lac Saint-Augustin, dynamique à court terme et stratification . Université Laval Québec.

Verspagen, J.M.H., Van de Waal, D.B., Finke, J.F., Visser, P.M., Van Donk, E. and Huisman, J., 2014. Rising CO₂ Levels Will Intensify Phytoplankton Blooms in Eutrophic and Hypertrophic Lakes. Plos One 9(8).

Watson, S. B., E. McCauley & J. A. Downing, 1997. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status. Limnol. Oceanogr. 42: 487–495. www.futura-sciences.com

Whitton, B.A., 2012. The ecology of cyanobacteria 2: their diversity in time and space .

Annexes

Annexe 01

Milieux de cultures :

Solution A:

NaCl	1.0 g
MgSO ₄ 7H ₂ O.....	0.2 g
K ₂ SO ₄	1.0 g
CaCl ₂ 2H ₂ O	40 mg
NaNO ₃	2.5 g
FeSO ₄ 7H ₂ O	10 mg
Solution mineral	1.0 ml
eau distillee.....	500 ml

Solution B:

K ₂ HPO ₄	0.5 g
Na ₂ CO ₃	4.03 g
NaHCO ₃	13.61 g
eau distillee.....	500 ml.

pH final 9.4-9.8.

Sollution menirale:

H ₃ BO ₄	715 mg
Mncl ₂ , 4H ₂ O.....	452 mg
ZnSO ₄ , 7H ₂ O	56 mg;
Na ₂ MoO ₄ , 2H ₂ O:	97 mg;
CuSO ₄ , 5H ₂ O.....	20mg.
Cu (NO ₃) ₂ , 6H ₂ O:	12.5mg;
Eau distillee.....	250ml

Réactifs :

Acide chlorhydrique à 37% :

HCL.....37ml.

Eau distillée.....100ml.

Acétone à 90% :

Acétone pure.....90ml

Eau distillée.....100ml.

Carbonate de magnésium à 1%:

MgCO₃.....1g

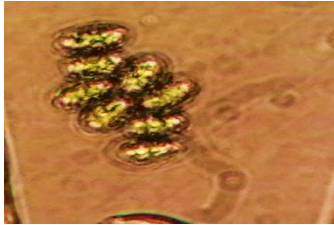
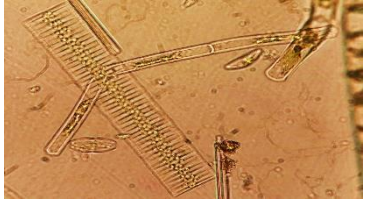
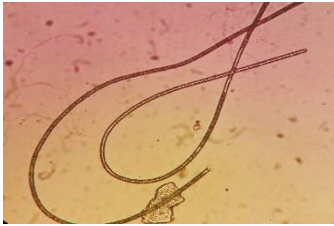
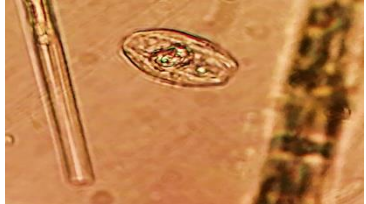


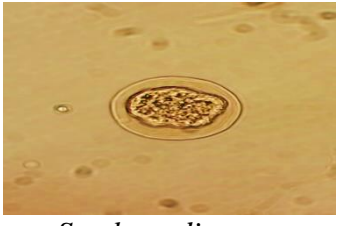

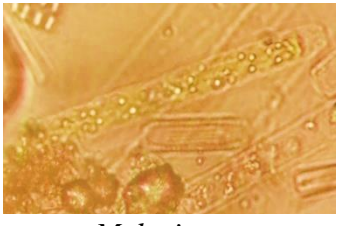
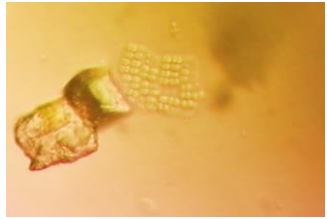


Eau distillée.....100ml








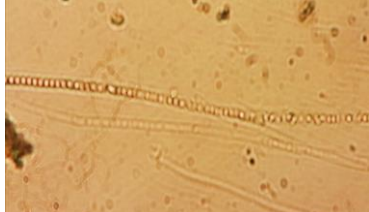
Colorants :

Lugol.

Annexe 02

Tableau : Espèces de phytoplancton récoltées dans le barrage de Tadjmout Laghouat, 2020.

Familles	photos	Familles	Photos
<i>Chlorophyceae</i>	 <i>Scenedesmus dimorphus .</i>	<i>Fragillariaceae</i>	 <i>Fragillaria sp.</i>
<i>Oscillatoriaceae</i>	 <i>Phormidium sp.</i>	<i>Bacillariophyceae</i>	 <i>Amphora sp</i>
<i>Microcystaceae</i>	 <i>Gleocapsa sp.</i>	<i>Bacillariophyceae</i>	 <i>Navicula sp</i>
<i>Cosinodiscaeae</i>	 <i>Stephanodiscus sp.</i>	<i>Bacillariophyceae</i>	 <i>Cymatopleura sp</i>
<i>Melosiriaceae</i>	 <i>Melosira sp .</i>	<i>Merismopediaceae</i>	 <i>Merismopedia sp.</i>
<i>Zygnemataceae</i>	 <i>Spirogyra sp.</i>	<i>Naviculaceae</i>	 <i>Calonies sp.</i>

<p><i>Fragilariaceae</i></p>	 <p><i>Synedra ulna.</i></p>	<p><i>Fragilariaceae</i></p>	 <p><i>synedra sp.</i></p>
<p><i>Melosiriaceae</i></p>	 <p><i>Melosira sp</i></p>	<p><i>Bacillariophyceae</i></p>	 <p><i>Amphiprora sp</i></p>
<p><i>Entomoneidaceae.</i></p>	 <p><i>Amphiprora alata</i></p>	<p><i>Cymbellaceae</i></p>	 <p><i>cymbelle sp</i></p>
<p><i>Desmidiaceae</i></p>	 <p><i>Cosmarium sp</i></p>	<p><i>Nostocaceae</i></p>	 <p><i>Anabaena sp</i></p>