

N° d'Ordre :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

# Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de **Master II**

**Domaine: Sciences de la nature ET de la vie (S.N.V)**

**Filière:** Sciences biologiques

**Spécialité:** Biologie de la conservation

Intitulé du thème:

## L'étude de l'impact des facteurs du milieu sur la biodiversité de lac SMB

Présenté par: MALLEK LATIFA

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de:

Président de jury: Mr HAZEM Zouaoui (MCB. UDL Sidi Bel Abbès)

Examineur: Mr BACHIR BOUIAJRA Salah Eddine (Pr. UDL Sidi Bel Abbès)

Promoteur: Mr M'hamdia chafik (MCA. UDL Sidi Bel Abbès)

Co-promoteur: BAKI AFAF (Doctorante)

**Année universitaire 2020 - 2021**

**Session: « Juin 2021 »**

## **Remerciement**

**Avant tout Nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné la force, le courage ET la volante pour accomplir Ce modeste travail.**

**Nous tenons à remercier:**

**Mon encadreur « Mr.Mhamdia chafik » , professeur à la faculté des science de la nature et de vie à l'université djilali liabes de sidi bel abbes , d'avoir accepté de diriger ce thème malgré toutes ses lourdes charges , merci pour vos orientations , conseils et votre patience pour que ce travail aboutisse.**

**Je remercie également l'examineur Mr Hazem Zouaoui, d'avoir accepté d'examiner Mon travail.**

**Je tiens à remercier Mr Bachir Bouiadjra, pour l'honneur qu'elle m'a fait d'avoir accepté à présider Mon jury de soutenance.**

**Mr.bouazza sofiane, docteur à la faculté de sidi bel abbes, université de djillali liabes.pour SES efforts avec moi.**

**Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la realisation de Ce projet**

**Merci à tous**

**MALLEK LATIFA**

## Dédicace

Je dédie Ce travail:

A la mémoire de ma cher mère « Zohra » A qui a toujours  
m'orienter, m'encourager, A celle qui m'a donné de l'amour, et  
de la tendresse, A celle qui s'est fatigué pour moi, et qui m'a  
toujours soutenue dans la vie. « Rabi yarmaha »

A Mon père, qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir  
Ce que je Suis.

A ma chère Amis « Amira »

A mes sœurs « djamaa ET fatiha ET mimouna ET Leila » ET A  
mes frères

« Khalifa et ibrahim

A mes petites sœur « amani, amal, aya, alaa » et petites frère  
« yacine, hamouda »

En leurs souhaitons à toutes bonne réussite dans leur vie

A Mon amour « chafik ben »

A mes Amis « Hadjer, Chahra, Amina, Karima »

A Mon Amis « Marwan »

A tous mes Amis ET à tous ET toutes personne que je connais

A toute personne qui aura le plaisir de lire Ce manuscrit

**LATIFA**

## ملخص

بحيرة سيدي محمد بن علي تقع على بعد 1.7 كم شمال غرب مدينة سيدي بلعباس، على هضبة 460 متر فوق مستوى سطح البحر، بسبب ثرائها البيولوجي ووظائفها الطبيعية، فهي تشكل تراثًا طبيعيًا مدينة استثنائية ومكانًا شهيرًا لقضاء العطلات. للعائلات في المنطقة.

يتمثل نهجنا في تحديد الاختلافات الرأسية الزمانية المكانية للنترات، والنيتروجين الكلي، والأورثوفوسفات، والفوسفات الكلي، وكثافة العوالق النباتية، والكتلة الحيوية للعوالق النباتية، والإنتاج الأولي، والكلوروفيل أ، من لأك سيدي محمد بن علي.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن جميع العينات تراوحت بين الحد الأدنى والحد الأقصى المسجلة في شهر يناير على عمق 4 أمتار. كشفت وسائل تحليلات التغيرات الرأسية الزمانية المكانية أن الحد الأدنى للقيمة يتم تسجيله في شهر مايو، وهي القيمة القصوى المسجلة في شهر يناير.

بحيرة سيدي محمد بن علي هي موقع اصطناعي تم بناؤه بهدف المحافظة على الموارد المائية على مستوى منطقة سارنو

متوسط الكثافة لجميع العينات هو  $2.505 \times 104$  خلية L-1.. تظهر الاختلافات الموسمية أن الكثافات منخفضة جدًا في الشتاء، وتتكون أعداد العوالق النباتية أساسًا من *Cryptomonas marsonii* ، cryptophyceae ، والتي تمثل أكثر من 41% من الكثافة الكلية والتي رافقتنا طوال فترة الدراسة، *C. ovata* ، cryptophyceae ، (11%) ، و *chlorophyceae Scenedesmus sp.* (13%). في فترة الربيع تكون الكثافة الأعلى مصاحبة للزيادة في درجة الحرارة وظهور الكلوروفيسيا *Ankistrodesmus falcatus* التي تهيمن على عشائر العوالق النباتية (38% من الكثافة الكلية) مع وجود *Cryptophyceae Cryptomonas marsonii* دائمًا (14%) ، (10%) *Chlorophyceae Oocystis lacustris* ولا تتزامن مع درجات الحرارة المرتفعة المسجلة في الصيف.

### الكلمات المفتاحية

سيدي بلعباس، العوالق النباتية بحيرة سيدي محمد بن علي،

## Résumé

Le lac Sidi M'hamed Benali Situé à 1.7 km au Nord-ouest de la ville de Sidi-Bel-Abbès, sur UN plateau à 460m d'altitude, en raison de sa richesse biologique et ses fonctions naturelles, il constitue un patrimoine naturel exceptionnel de cette ville et un lieu de villégiature très prisé par les familles de la région.

Notre approche consiste à la détermination des variations verticales spatiotemporelles des nitrates, de l'azote total, de l'orthophosphate, phosphate total, la densité phytoplanctoniques, la biomasse phytoplanctonique, la production primaire, la chlorophylle a, de lac sidi m'hamed benali.

Les résultats obtenus montrent que l'ensemble des échantillons est compris entre un minimum et maximum enregistré en mois de janvier sur une profondeur de 4m. Les moyens des analyses des variations verticales spatiotemporelles ont révélé que la valeur minimale est enregistrée en mois de mai, la valeur maximale enregistrée en mois de janvier.

Le lac sidi mhamed benali est un site artificiel construit dans le but de maintenir les ressources en eau au niveau de la région de sarno.

La densité moyenne sur l'ensemble des prélèvements est de  $2,505 \times 10^4$  cellules. L-1. Les variations saisonnières montrent que les densités sont très faibles en période hivernale, le peuplement phytoplanctonique est composé essentiellement de la cryptophycée, *Cryptomonas marsonii* qui représente plus 41% de la densité totale et qui nous a accompagnée tout au long de l'étude, de la cryptophycée, *C. ovata* (11%), et de la chlorophycée *Scenedesmus* sp. (13%). C'est en période printanière que les densités sont les plus élevées concomitantes avec la hausse de la température et l'apparition de la chlorophycée *Ankistrodesmus falcatus* qui domine le peuplement phytoplanctonique (38% de la densité totale) avec toujours la présence de la Cryptophycée *Cryptomonas marsonii* (14%), les Chlorophycées *Oocystis lacustris* (10%) et ne coïncident pas avec les fortes températures enregistrées en été.

### Mots clé:

Sidi Bel Abbas, Phytoplanctonique, Lac sidi mhamed benali

## Abstract

The lake Sidi M'hamed Benali Located at 1.7 km in the North-West of the city of Sidi-Bel-Abbès, on a plateau at 460m of altitude, because of its biological richness and its natural functions, it constitutes an exceptional natural heritage of this city and a place of holiday very appreciated by the families of the area.

Our approach consists in the determination of the vertical spatiotemporal variations of nitrates, total nitrogen, orthophosphate, total phosphate, phytoplanktonic density, phytoplanktonic biomass, primary production, chlorophyll a, of Lake Sidi m'hamed benali.

The obtained results show that the whole of the samples is included between a minimum and maximum recorded in January on a depth of 4m. The means of the analyses of the space-time vertical variations revealed that the minimal value is recorded in month of May, the maximal value recorded in month of January.

The lake sidi mhamed benali is an artificial site built with the aim of maintain the water resources at the level of the region of sarno.

The average density on all the samples is  $2.505 \times 10^4$  cells. L-1. Seasonal variations show that densities are very low in winter period; the planktonic population is composed essentially of the cryptophyceae, *Cryptomonas marsonii* which represents more than 41% of the total density and which accompanied us throughout the study, the cryptophyceae, *C. ovata* (11%), and the chlorophyceae *Scenedesmus* sp. It is in spring that the densities are the highest concomitant with the rise in temperature and the appearance of the chlorophyceae *Ankistrodesmus falcatus* which dominates the phytoplanktonic population (38% of the total density) with always the presence of the Cryptophyceae *Cryptomonas marsonii* (14%), the Chlorophyceae *Oocystis lacustris* (10%) and do not coincide with the high temperatures recorded in summer.

### Keywords:

Sidi-Bel-Abbès, The planktonic, Lake Sidi M'hamed Benali

**TABLE DES MATIERES**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**INTRODUCTION GENERALE**

**PARTIE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Introduction générale .....01**

**CHAPITRE I: Généralités sur l'écosystème aquatique**

**I. Généralité sur l'écosystème aquatique .....03**

**I.1. Le milieu aquatique est caractérisé par .....03**

**I.2. Composition des écosystèmes aquatiques .....03**

**I.3. Eaux douces.....04**

**I.3.1. Eaux douces dormantes ou lenticule.....04**

**I.3.2. Eaux douces courantes ou lotique.....04**

**I.4. Les lacs.....05**

**I.4.1. Définition des lacs.....05**

**I.4.2. Constitution d'un lac.....06**

**I.4.3. La stratification thermique d'un lac.....06**

**I.4.4. Structure des lacs:.....08**

**I.5. Caractéristiques des eaux lacustres.....08**

**I.5.1. Le régime des lacs.....08**

**I.5.2. Le mouvement des eaux lacustres .....08**

**I.5.3. La couleur des eaux des lacs .....08**

**I.5.4. Les matières minérales:.....09**

I.6. Les matières organiques .....	09
I.7. Les gaz dissous.....	09
I.8. Caractéristiques écologiques d'un lac.....	10
I.9. Classification des lacs.....	11
I.9.1. Classification géo-morphique.....	11
I.9.2. Classification trophique:.....	11
I.10. Dynamique des lacs:.....	12
I.11. Les lacs jeunes ou oligotrophes (stade de jeunesse).....	13
I.11.1. Les lacs mésotrophes (stade adulte) .....	13
I.11.2. Les lacs eutrophes (stade de vieillesse) .....	13
I.12. La variation des niveaux des lacs:.....	14
I.12.1. Les seiches.....	14
I.12.2. Les variations saisonnières.....	14

## CHAPITRE II: Généralités sur le phytoplancton

II-1.Généralités sur le phytoplancton.....	16
II-1-1. Définition du plancton .....	16
II-1-2.Classes du phytoplancton :.....	20
I-1-1 Importance du phytoplancton .....	22
1. Cycle annuel du phytoplancton.....	23
2. Ecophysiologie du phytoplancton.....	24
3. Rôle du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques.....	25

3.1.	Photosynthétique.....	25
3.2.	Chaîne alimentaire.....	25
3.3.	Autres rôles.....	25
4.	Rôle du phytoplancton dans le traitement des eaux usées.....	26
5.	Le phytoplancton indicateur de qualité biologique.....	26
6.	Facteurs d'influence sur les phytoplanctons.....	27
6.1.	Factures climatiques.....	27
6.2.	Facteurs physico-chimiques.....	27
6.3.	Facteurs biologiques.....	28
7.	Effets nuisibles du phytoplancton.....	29
7.1.	Risque sur la santé humaine.....	29
7.2.	Risque sur les organismes marins.....	30
7.3.	Risque sur le fonctionnement de l'écosystème.....	30
8.	Applications des micro-algues.....	31
8.1	Applications pharmaceutiques.....	32
8.2	Applications cosmétiques.....	32
8.3.	Agrofournitures et traitement de l'eau.....	32

**CHAPITRE III: Matériels ET méthodes**

**III.1-Conditions et fréquences d'échantillonnage.....33**

**III.2 -Méthodes d'échantillonnage.....33**

**III.2.1-Prélèvement sur terrain.....33**

**III.2.1.1-Analyse phytoplanctonique**

**III.2.1.2- Analyse physicochimiques.....33**

**III.2.2- Identification ET dénombrement des phytoplanctons.....34**

**CHAPITRE IV: Résultats ET discussion**

**IV.1. Résultats ET discussions.....35**

**IV.1.1-Les variations verticales spatiotemporelles des nitrates.....35**

**IV.1.3-Les variations verticales spatiotemporelles de l'orthophosphate..36**

**IV.1.2-Les variations verticales spatiotemporelles de l'Azote total .....36**

**V.1.4-Les variations verticales spatiotemporelles de phosphate total...37**

**IV.2-Les variations biotiques.....37**

**IV.2.1-Densités Phytoplanctoniques.....37**

**IV.2.2- Biomasse phytoplanctoniques.....38**

**IV.2.3-La production primaire.....39**

**Conclusion.....40**

**Référence bibliographique.....41**

**Annexe**

## **LISTE DES TABLEAUX**

---

### **LISTE DES TABLEAUX**

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	<b>Effets nuisibles causés par le phytoplancton</b>	<b>29</b>

## LISTE DES FIGURES

---

### LISTE DES FIGURES

N°	Titre de figure	Page
01	Pyramide alimentaire après Agence de l'Eau Seine-Normandie	18
02	Schéma générale du protocole expérimental de l'étude de la communauté de phytoplanctons au niveau du lac sidi mhamed benali	37
03	Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrates a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	38
04	Variations spatio-temporelles moyennes des teneurs en nitrates a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	38
05	<b>3</b> :Variations spatio-temporelles des teneurs en azote total a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	39
06	:Variations spatio-temporelles des teneurs en orthophosphate a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	39
07	:Variations spatio-temporelles des teneurs en de phosphate total a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	40
08	: Variations spatio-temporelles de la densité phytoplanctonique aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	41
09	Variations spatio-temporelles des teneurs en biomasse phytoplanctonique a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	41
10	Variations spatio-temporelles des teneurs en production primaire aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	42

## LISTE DES FIGURES

11	Variations spatio-temporelles des teneurs en chlorophylle a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m	43

# **Introduction générale**

---

---

## Introduction générale

### Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. Elle peut être rare à certains endroits, comme les zones arides ET semi-arides, ou encore d'une qualité médiocre à d'autres endroits. Cet élément vital mérite une attention toute particulière, étant donné qu'elle peut être altérée et sérieusement menacée par les processus naturels ( processus d'altération, taux de précipitation, l'érosion des sols) et par l'activité anthropique (**Roy et al., 2014**). Cette dernière est la première responsable des perturbations de la qualité physicochimique et des changements profonds de la flore et de la faune aquatiques impliquant inmanquablement des impacts sur l'équilibre des écosystèmes dans leur ensemble. Ainsi, elles génèrent des éléments polluants qui altèrent les usages de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.) et des toxiques entrent dans les chaînes alimentaires et perturbent les cycles naturels. Selon **Marneffe, (2003)** et **Djahed, (2008)**, l'impact des pollutions se manifeste aussi bien au niveau des organismes ( mortalité, reproduction, activités, biochimiques) que des populations et des communautés permet leur utilisation comme bio indicateurs. Ces derniers peuvent appartenir à de nombreux groupes d'organismes (bactéries, champignons, algues, protozoaires, rotifères, cladocères, insectes, crustacés, mollusques, annélides, poissons, phytoplanctons, etc.) (**Sladeczek, 1973; Herricks et Cairns, 1982; De pauw et al., 1992; Remazzi et Chiaudani, 1992**).

Les organismes zoo planctoniques sont utilisés par de nombreux auteurs (**Gannon et Stemberger, 1978; Sladeczek, 1983**). Certains cladocères comme *Bosmina longirostris* et *Chydorus sphaericus* sont communément utilisés comme indicateurs de conditions eutrophes (**Gannon et Stemberger, 1978**). Les rotifères présentent les taux de croissance les plus élevés et des turnovers importants des populations (**Wetzel, 2001**). Des lors, ils répondent plus rapidement aux changements environnementaux que les crustacés et semblent être des indicateurs plus sensibles aux changements de la qualité du milieu (**Sladeczek, 1983**).

En effet, les modifications observées sur la structure des peuplements aquatiques (bactéries, algues, bryophytes, invertébrés benthiques ou planctoniques, poissons) sont analysées en rapport avec les paramètres physicochimiques du milieu perturbé. Il est bien connu que ces propriétés varient dans l'espace d'un point à un autre. Cette analyse permet d'établir un certain nombre de critères biologiques descriptifs permettant de mieux déceler et classer les divers types ou degrés d'altérations du milieu aquatique.

## Introduction générale

Le lac sidi mhamed benali est un site artificiel construit dans le but de maintenir les ressources en eau au niveau de la région de sarno.

Nous avons noté une chute des densités phytoplanctoniques qui pourrait être expliquée par la pression de prédation exercée par la communauté zooplanctonique dont nous avons remarqué visuellement une prolifération massive. Malheureusement, aucune étude n'a été effectuée jusqu'à présent concernant le zooplancton pour argumenter ET valider notre constatation. C'est ainsi que les fluctuations de la densité de *Cryptomonas marsonii* seraient liées à une pression de prédation sélective exercée par le zooplancton en raison de sa petite taille comme cela a été rapporté par **ALEYA et DEVAUX et BERGQUIST *et al.***, Par ailleurs, la prédation des métazoaires est probablement très importante à cette période de l'année et affecte la totalité des microorganismes de la boucle microbienne. Ces résultats témoignent de l'état d'équilibre de notre écosystème, c.a.d. que le phytoplancton est consommé au fur et à mesure qu'il est produit et aboutit à la clarification des eaux.

A l'issue de cette étude et lors de l'interprétation des résultats, il est apparu utile de faire certaines suggestions en vue de l'amélioration de la qualité des eaux des deux milieux :

- ✓ Empêcher l'arrivée des effluents riches en éléments minéraux dans le lac.
- ✓ Contrôler l'utilisation des engrais par les agriculteurs en les sensibilisant pour l'utilisation modérée des fertilisants.
- ✓ Un suivi physico-chimique et biologique de l'eau est imposé sur une durée plus importante, afin de constituer une base de données sur ces sites, particulièrement le dosage du phosphore et l'azote total.
- ✓ Poursuivre l'étude du phytoplancton et étudier les autres maillons de la chaîne trophique.

## **Partie I:**

# **Synthèse bibliographique**

## **Chapitre I:**

# **Généralité sur l'écosystème aquatique**

## Chapitre I: Généralité sur l'écosystème aquatique

L'écosystème aquatique est un milieu vivant grâce à une grande biodiversité d'espèces animales et végétales, y compris les formes microbiologiques. IL est très riche en phytoplancton, véritable poumon des plans d'eau et qui constitue la principale nourriture du zooplancton et protozoaires.

Un écosystème aquatique est défini comme étant le résultat d'un entre un milieu naturel-aquatique et les espaces animales et végétale qui y vivent.

### I.1. Le milieu aquatique est caractérisé par :

- ✓ Un habitat (pente plus ou moins accentuée des berges)
- ✓ Des populations végétales (la flore).
- ✓ Des populations animales (la faune).
- ✓ Comme chaque écosystème, écosystème aquatique est influencé par :
- ✓ Le climat
- ✓ Géologie
- ✓ L'ensoleillement
- ✓ Les activités humaines (**Site web 01**)

### I.2. Composition des écosystèmes aquatiques :

#### A- Biotope (hydro système) :

Il peut être décrit selon les paramètres suivants :

Caractéristique des bassins versant : superficie, pente moyenne, climat, urbanisation occupation des sols.

**A.1. Régime hydrologique** : Mode d'alternance des crues et des étiages, débits correspondants caractéristiques, vitesse d'écoulement, hauteur d'eau

**A.2. Morphologie du milieu** : Nature du lit, des berges, faciès d'écoulement (pas, radiers mouilles) et la typologie du lit (tresse, méandre,)

**A.3. Physico-chimie de l'eau** : Décrite selon différents paramètres accessibles à la mesure (PH, conductivité, oxygène dissous, température matière en suspension MES,) et influencés par la nature géologique du versant, ainsi que par les activités humaines qui y sont pratiquées (**Site web 02**).

---

**B. Biocénose (flore et faune)**

Elle est constituée par la totalité des êtres vivants qui peuplent l'écosystème donné, pour chaque écosystème cette biocénose est nommée selon son type (aquatique ou terrestre) **(Ramade,2002)**.

**I.3. Eaux douces**

Les eaux douces représentent 2,6 % de l'hydrosphère, mais une faible fraction totale est réellement accessible, l'essentiel étant piégé dans les calottes glaciales de l'arctique et de l'antarctique **(Ramade, 1976)**.

On trouve dans ces eaux, la majorité des espèces animales: le poisson avec 70%, les mollusques 24% et les crustacés 6% **(Beaux, 1999)**.

Les eaux douces se divisent en deux catégories, les eaux douces courantes et les eaux douces dormantes.

**I.3.1. Eaux douces dormantes ou lenticque**

Dans cette catégorie, se trouve les lacs qui désignent UN ensemble d'écosystèmes aquatiques, généralement d'eau douce, occupant le fond d'une dépression ou d'un bassin géologique sans communication directe avec la mer.

Les lacs sont caractérisés par des eaux calmes en l'absence de courant gravitaire et donc d'un renouvellement lent d'où l'appellation de lenticque **(Ramade, 1976)**.

**I.3.2. Eaux douces courantes ou lotique**

Ce sont les eaux courantes des rivières ET des fleuves. Dénommées eaux à facies lotique en écologie, elles présentent une stratification longitudinale. Une rivière, voire UN fleuve, ne constitue en aucun cas un écosystème. En effet, les caractéristiques abiotiques varient de l'amont à l'aval et il n'existe pas de biotope caractéristique **(Furie et al, 2003)**.

La stratification longitudinale a été affinée en fonction de la pollution par la présence ou l'absence de macro-invertébrés caractéristiques (mollusques; larves; insectes; vers). Certains autres parlent de faciès lenticque pour désigner dans UN cours d'eau, des zones calmes dépourvues de courant **(Faurie et al, 2012)**.

**I.4. Les lacs**

---

**I.4.1. Définition des lacs**

UN lac est une étendue d'eau libre et stagnante remplissant une dépression naturelle des continents sans contact direct avec les océans.

- **Pourrit et Meynell, (1995)**, réservent le terme de lac « à toute cuvette naturelle ou artificielle contenant de l'eau, ayant une vie propre ET une certaine autonomie.

-Les lacs sont surtout formés par les précipitations atmosphériques qui s'accumulent dans les cuvettes de la surface continentale (**Germain et Séguy, 1957**).

- La classification des lacs, basée sur les indicateurs trophiques quantitatifs du type phosphore, chlorophylle, (a) ET transparence permet de situer de façon grossière un lac par rapport à un autre.

- Un lac est un écosystème suffisamment profond pour que se manifeste en été, une stratification thermique.

Cela empêche le mélange des eaux supérieures chaudes, pauvres en éléments nutritifs, avec les eaux profondes ET froides, riches en sels minéraux, en raison de la présence d'une thermocline (**Faure et al, 2003**).

Les lacs sont des dépressions de l'écorce terrestre remplies d'eau douces, salées ou saumâtres de tailles variables sans communication avec la mer ou les océans. Ils sont constitués de nappes d'eaux stagnantes ou dormantes. Tout lac est défini par sa morphométrie, c'est-à-dire sa superficie, sa forme et sa profondeur.

La naissance d'un lac est d'abord liée à celle d'un cote pente qui empêche le ruissellement des eaux de surface et l'infiltration de ces eaux vers les terrains sous-jacents (fond ou substrat imperméable).

Par ailleurs, nous allons expliquer les mécanismes de formation des lacs, en donnant des exemples concrets dans le monde:

- Les lacs d'origine glacière : lors de la fonte des glaces, ces dernières laissent subsister des culots de glace morte générateurs de creux importants. C'est le cas du lac inférieur, Pyrénées en France.

- Les lacs d'origine tectonique : ils sont liés aux contraintes tectoniques internes, liées aux jeux des failles. Généralement, ce sont lacs profonds, comme par exemple le lac Baïkal (Russie), le lac de la Tanzanie (Afrique), le lac Tanganyika (Pérou), le lac Titicaca (Amérique).

- Les lacs de glissement de terrain : leur genèse est liée a des forces externes. Un glissement et un éboulement fréquents sur des terrains argileux, forment des dépressions. Si le

---

fond de la dépression est imperméable, le lac sera permanent, c'est le cas par exemple du lac Allotira (Madagascar).

- Lacs liés aux phénomènes volcaniques : certains lacs occupent les cratères volcaniques. Ils sont généralement de dimensions modestes et de forment des dépressions. Si le fond de la dépression est imperméable, le lacs sera permanent, c'est le cas par exemple du lac de Bouchet (France), le cas de Toba (Indonésie). **(Ranaivomanna, 2009)**.

- Nous pouvons conclure que la formation d'un lac est liée à plusieurs facteurs naturels, anthropiques ou à une combinaison de facteurs naturels et anthropiques. **(Ranaivomanna, 2009)**

- Un des exemples d'origine anthropique est le lac Sidi M'Hamed Benali.

#### **I.4.2. Constitution d'un lac:**

Le lac est constitué d'eau, de matière en suspension, de gaz dissous, d'éléments nutritifs de vie (poissons, plantes, micro-organiques, etc.), de sédiments et de matières organiques.

Horizontalement, on distingue une zone littorale où prolifèrent des végétaux (ceinture à saprophytes), une zone centrale ou pélagique (zone de pleine eau) et une zone benthique (fond du lac). C'est la profondeur qui est l'agent principal de la zonation horizontale **(Mediouni et Moulay, 2008) (figure 1)**.

##### **➤ La zone littorale:**

La zone littorale est une bande faisant le tour du lac et qui est généralement recouverte de végétation. Elle s'étend vers l'intérieur du lac. IL s'agit d'un milieu très productif où l'on retrouve les plantes aquatiques, les frayères, etc. Cette partie du lac est influencée à la fois par son fond (constitué de sédiments).

##### **➤ La zone pélagique**

La zone pélagique (Zone d'eau libre) est indépendante du fond et du littoral du lac.

##### **➤ La zone benthique**

---

La zone benthique (Eau profondes) est la zone où vivent les organismes associés au fond du lac. La lumière n'y pénètre pas à cet endroit, les eaux du lac dans cette zone sont généralement plus froides (environ 4°C).

➤ **La fosse:**

Elle correspond à la partie la plus profonde du lac (**Site web 3**).

### **I.4.3. La stratification thermique d'un lac:**

Les eaux de surface (épilimnion) représentent la couche d'eau superficielle où la lumière permet la croissance des végétaux aquatiques. Puisqu'elle subit le brassage par les vents, cette couche d'eau possède une température uniforme ET une bonne oxygénation. En été, cette couche contient l'eau la plus chaude du lac. Sous les eaux de surface on retrouve la thermocline (métalimnion) qui désigne la couche d'eau où il y a une chute importante de température.

Dans les milieux aquatiques, les variations de température sont très atténuées par rapport aux variations atmosphériques. Ces variations dues au rayonnement solaire ne concernent qu'une faible épaisseur de liquide dans les eaux dormantes peu profondes, mais généralement, l'action des vents et des courants crée un brassage thermique qui atténue ces variations. Cependant, dans les lacs suffisamment profonds, il s'établit une stratification thermique très caractéristique due au fait que la densité de l'eau est maximale à la température de 4°C. On a donc tendance à monter. Alors, tout au moins dans les lacs tempérés, la température de l'eau suit au cours de l'année un cycle régulier.

Finalement, les eaux profondes (hypolimnion) constituent la couche inférieure de l'eau d'un lac. Cette couche conserve une température basse et peu variable, soit autour de 4°C. IL est à noter que certains de nos lacs peu profonds ne sont pas stratifiés de la sorte et possèdent plutôt des eaux d'une température relativement uniforme (**Mhamdia et Baki, 2014**).

### **I.4.4. Structure des lacs**

La vie dans l'action de la lumière solaire sur l'eau, tant en ce qui concerne les radiations propres des lacs trouve son origine lumineuse que les radiations thermiques. La chaleur provient essentiellement de la lumière absorbée par l'eau lacustre dans la bande d'ondes allant du rouge à l'infrarouge (**Araignou, 1976**).

---

La répartition des propriétés physiques (lumière, chaleur, densité, turbulence) ET chimiques (concentration en solutés) impose aux lacs une structure physique très liée à leur morphologie ET dont dépend l'organisation des communautés biologique. Celles-ci se répartissent en zones définies par UN ensemble de caractères qui déterminent leur mode de fonctionnement. Cette notion de zonation est très employée en limnologie. Toutefois, les différentes zones définies par leur nature (énergétique, chimique, ou écologique) se recoupent sans se superposer strictement, tant sur le plan horizontal que vertical (**Mokkedem et Salah, 2014**).

## **I.5. Caractéristiques des eaux lacustres**

### **I.5.1. Le régime des lacs**

L'eau arrive par les affluents, s'écoule par les émissions. Dans les régions tropicales, l'évaporation est souvent intense que le lac n'a pas d'émissaire. Exemple : chott (grand lac salé). Le niveau du lac varie dans les régions tropicales du fait du régime des pluies, les variations sont considérables.

Le climat est l'un des facteurs qui intervient. En terrain perméable, les variations sont faibles alors qu'en terrain imperméable les variations sont fortes (**Davor, 2003**).

### **I.5.2. Le mouvement des eaux lacustres**

Les eaux des grands lacs sont animées de mouvements propres, les vagues peuvent être importantes.

Lorsque le lac en émission est animé par des courants en plus d'un courant principal, il se forme des courants secondaires parfois tourbillonnaires (**Davor, 2003**).

### **I.5.3. La couleur des eaux des lacs**

Sous une grande épaisseur, l'eau est de teinte bleue, les sels de fer peuvent la faire virer au vert, mais ils se précipitent au contact des composés calciques et humiques, qui clarifient les eaux (**Davor, 2003**).

### **I.5.4. Les matières minérales:**

L'eau contient beaucoup d'ion dissout dont les principaux sont le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{+}$ ) le sodium ( $\text{Na}^{+}$ ), le potassium ( $\text{K}^{+}$ ), les carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), les bicarbonates

---

(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sels fates (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), les chlorures (CL<sup>-</sup>) et les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-2</sup>), il proviennent pour l'essentiel du lessivage des sols par les eaux de pluie.

Aussi leur teneur dépend directement de la nature des roches du bassin naissant. Elle peut varier du milligramme par litre au gramme par litre pour les eaux les plus salées.

En moins grande concentration (du microgramme par litre), l'eau contient aussi des éléments nutritifs, ou nutriments, qui l'azote (contenu dans l'ammoniac, les nitrates ET les nitrates) le phosphore (contenu dans les phosphates) ET la silice, mais aussi le fer ET le manganèse.

D'autres éléments ne sont présents qu'à l'état de trace (de 0,1 à 100 microgramme par litre), comme l'arsenic, le cuivre, le cadmium, le manganèse, le fer, le zinc, le cobalt, le plomb ; ils proviennent des roches, mais aussi parfois des activités industrielles et domestiques.

L'eau contient aussi des matières en suspension (matériaux argileux, limons, etc.) (**Dajor, 2003**).

### **I.6. Les matières organiques**

Les matières organiques peuvent être présentes sous forme dissoute (carbohydrates, acides humique, pigment ET composés d'origine artificielle comme les solvants chlorés, ou les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton...). Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sels lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi de composés issus de l'activité humaine. Leur concentration infime dans les eaux profondes, peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface (**Davor, 2003**).

### **I.7. Les gaz dissous**

Les milieux lacustres contiennent dans la plupart des cas une eau qui contient des gaz essentiellement de l'oxygène et du gaz carbonique, mais aussi de l'azote ou encore du méthane. Tous n'ont pas la même solubilité dans l'eau ET celle-ci décroît quand la température augmente (**Zaidi, 2005**).

- **Oxygène** : Est important car il règle l'activité animale toute entière. La teneur en oxygène de l'eau faible comparée à celle de l'air et elle très dépendante de la température. Les organismes sont selon les espèces plus ou moins exigeants vis-à-vis de l'oxygène dissous. C'est seulement dans des lacs subalpins profonds que l'on trouve des salmonidés comme l'Ombre Chevalier, poisson ayant de grands besoins en oxygène. Certains animaux aquatiques résistent à une faible teneur en oxygène par des adaptations : respiration de l'aire en nature (dytiques, nèpes, corises) ; pigments respiratoires (tubifex. Larves de chironomes).

---

- **Gaz carbonique** : Très soluble dans l'eau, a une concentration dans les eaux douces à 20°C de 0.56%, bien supérieure à sa concentration dans l'air (0.033%). En outre, il se combine assez facilement avec des sels de métaux alcalins ou alcalino-terreux pour former des carbonates ou des bicarbonates qui constituent alors une réserve de CO<sub>2</sub> facilement mobilisable. Il joue un rôle considérable au niveau des processus photosynthétiques mobilisable. Il joue un rôle considérable au niveau des processus photosynthétiques des végétaux chlorophylliens. La consommation de CO<sub>2</sub> par la photosynthèse rend l'eau plus acide et provoque la précipitation du carbonate. C'est là l'origine des concrétions calcaires qui recouvrent certains végétaux. (Baki, 2014).

- **Faible concentration en sels dissous**

Cette concentration, toujours inférieure aux 35g/l de l'eau de mer est très variable et peut atteindre 0.5 g/m<sup>3</sup> même avec cette faible concentration, tous les éléments biogènes ou nutriments existent dans les eaux douces. Parmi eux, les nitrates et les phosphates, nécessaires à la croissance des vitaux, sont souvent des facteurs limitant. La teneur d'une eau en nutriments exprime l'état physiologique de l'écosystème. L'Etat physiologique se manifeste tout d'abord par la composition des substrats et la teneur en plancton, en algues unicellulaires et filamenteuses.

### I.8. Caractéristiques écologiques d'un lac

Les lacs, milieux stagnants, sont caractérisés par:

- ✓ Une stratification thermique entre l'épilimnion (couche supérieure chaude) et l'hypolimnion (couche inférieure "froide") qui provient d'un « chauffage en haut »; conséquence de la pénétration qui s'atténue à mesure que la profondeur augmente.
- ✓ Un éclaircissement de la surface et un comblement du fond par la sédimentation des particules minérales et l'organiques vivantes (phytoplancton) et mortes (cadavre) Cette sédimentation alimente les décomposeurs (micro-organismes) qui régénèrent une partie des matières organiques en matières minérales.
- ✓ De fortes variations de gaz dissous entre la surface et le fond (Baroin, 2003).

### I.9. Classification des lacs

---

IL existe plusieurs classifications des lacs, selon le type de critère auquel on se réfère.

Les deux classifications les plus utilisées à l'origine des lacs EST Celle concernant leur statut trophique, directement conditionné par la teneur de leur eau en sels minéraux nutritifs (**Ramande, 1998**).

### I.9.1. Classification géo-morphique

Elle est fondée sur leur origine géologique, elle distingue des lacs tectonique (dont l'ancienneté atteint les durées des périodes géologique), les lacs glaciaires (proviennent de l'effet conjugué surcreusement puis ensuite de la fusion des glaciers), les lacs volcaniques, les lacs fluviaux sont généralement très plats; en fin les lacs de dissolution de roches carbonatées et sont généralement de profondeur relativement faible étendu (**Ramande, 1998**).

### I.9.2. Classification trophique

Il est possible de différencier les lacs, sur le plan des facteurs chimiques, par la teneur de leurs eaux, en éléments minéraux nutritifs, qui est aussi corrélée à leur âge ; en fonction de leur teneur relative en nutriments et plus particulièrement en ions ortho phosphate (FO<sub>4</sub>) et nitrate(N<sub>3</sub>). On distingue:

➤ **Les lacs oligotrophes** : Sont des lacs aux eaux pures et transparentes, ce sont des lacs profonds, pauvres en azote et en phosphore minéraux, mais riche en oxygène jusque dans la zone profonde.

- Des salmonidés et des corégones affection leurs eaux profonds.
- Ceinture végétale réduite.
- Plancton rare, à métabolisme réduit, dominance de diatomées et de chrysophycées.
- Sédiment (vases) pauvres en matière organique. Benthon avec dominance de larves de chironomes appartenant aux orthocladinae avec lauterbornia Coraccin, de tanypodinae, tanytarsini et de chorus.

- Faune ichtyologique à dominance omble chevalier, corégones et truites.

➤ **Les lacs mésotrophes**: Ont une teneur moyenne en éléments minéraux nutritifs

- Lacs intermédiaires entre oligotrophes et eutrophies.
- Ceinture végétale développée.
- Plancton à dominance Diatomées et chrysophycées. Présence de cyanobactéries.

- 
- Benthon à strictochironomus et sergentia
  - Faune ichtyologique à dominance truite et cyprinidés + perche et brochet.
  - **Les lacs eutrophies:** possèdent les eaux naturellement ou artificiellement (rejets d'eaux polluées ou autres actions d'origine anthropique conduisant un apport important de phosphore et/ou d'azote) enrichies en nutriment minéraux, ils sont dits hypertrophies (ou dystrophie).
    - Lacs peu profonds. Eaux peu transparentes, colorées de nuances allant du vert au brun, contenant beaucoup de nutriments.
    - Ceinture végétale bien marquée.
    - Phytoplancton à cyanobactéries dominantes.
    - Benthon à dominance chironomes anthracimus et C. plumeuse.
    - Faune ichtyologique avec Cyprinidés dominants +Perche et éventuellement brochet.
  - **Lacs dystrophies** :se caractérisent par l'abondance d'acides humiques qui colorent en brun les eaux. Exemple : lac de Gérardmer, étang de frasne.
  - **Lacs sapropélotrophes** : lacs peu profonds, bordés de forêts, pauvres en calcium, mais autres cations abondants.

Plancton riche en phytoflagellés. Fleurs d'eau à cyanobactéries. Vase de feuilles mortes. Exemple: lac de banlieue.

### I.10. Dynamique des lacs

La plupart des lacs sont destinés à se dégradé progressivement sur des échelles de temps dans la durée sera d'abord liée à la profondeur et au volume de biotope lacustre.

Les diverses étapes du vieillissement des lacs, une succession dans le temps, caractérise l'évolution d'un lac (lac jeune et un lac oligotrophe, lac d'âge moyen esyt unn lac mésotrophe, un vieux lac est un lac eutrophie).

Les lacs connaissent une double évolution dans le temps : la première au plan géochimique, la seconde biologique, cette évolution correspond à un processus d'eutrophisation

naturelle. Au fur et à mesure qu'ils vieillissent, les lacs vont se combler par un apport de matériaux sédimentaires (**Ramande, 1998**).

### I.11. Les lacs jeunes ou oligotrophes (stade de jeunesse)

---

Ils sont profonds, tant en valeur absolue qu'en proportion de leur surface, pauvre et éléments minéraux nutritifs (**Ramande, 1998**).

Ce type de lac est alimenté par des eaux de ruissellement provenant d'un bassin versant. Dans un premier temps, cette alimentation n'assure que de faible apport en élément minéraux, de Ce fait, les potentialités de synthèse de matière organique par les producteurs sont extrêmement réduits. Cela conduit naturellement à la formation de très faible biomasse disponible pour les niveaux trophiques supérieurs.

Les eaux sont donc très transparentes, autorisant ainsi une bonne pénétration de l'énergie lumineuse. Les concentrations internes de gaz sont réglées par les processus physico-chimiques d'échange air-eau. Les eaux profondes sont de ce fait, bien oxygénées et favorable au développement des salmonidés, les sédiments sont d'importance réduite (**Faure et al, 2003**).

#### **I.11.1. Les lacs mésotrophes (stade adulte)**

Fur et à mesure que le lac vieillit, l'apport de matériaux telluriques l'enrichit en matières minérales nutritives. En conséquence, les organismes autotrophes vont pouvoir se multiplier de sorte que la productivité primaire va augmenter avec la teneur du biotope en matière organique fermentescible (**Ramande, 1998**).

Le recyclage interne se fait par le brassage et l'augmentation progressive des apports en matière minérale par le bassin versant. Les eaux deviennent de Ce fait plus turbides. L'accumulation des cadavres en profondeur entame l'apparition, Durant l'été, d'une zone anoxique et la formation d'une couche sédimentaire (**Faure et al, 2003**).

#### **I.11.2. Les lacs eutrophes (stade de vieillesse)**

Au stade ultérieur du vieillissement, l'apport de sédiment aura diminué significativement la profondeur du lac. La zone littorale est étendue vers le centre, tandis que ces eaux et ces sédiments sont très enrichis en matière organique (**Ramande, 1998**).

La décomposition des cadavres en profondeur se traduit par une désoxygénation totale des couches sous-jacentes (**Faure et al, 2003**).

#### **I.12. La variation des niveaux des lacs**

---

**I.12.1. Les seiches**

Les lacs sont sujets à des variations de niveau qui atteignent une grande amplitude à des intervalles mesurés. UN lac se soulève puis redescend pour recommencer ce mouvement, c'est-à-dire ces oscillations de courtes auxquelles on donne le nom de seiche (Lacroix, 1991).

**I.12.2. Les variations saisonnières**

Un lac peut s'alimenter par les eaux des pluies, des rivières tributaires, des ressources et parfois par les glaciers. Il se vide par l'évaporation, l'écoulement de l'eau émissaire et par les infiltrations. (Lacroix, 1991).

➤ **Stratification des lacs :**

Une première stratification verticale résulte de la stratification des couches d'eau de température différente, les eaux chaudes superficielles constituant l'épilimnion et les eaux froides d'accumulations dans le fond puisqu'elles ont le maximum de densité à 4 °C et constituent la zone profonde l'hypolimnion. Cette stratification estivale et hivernale traduit par l'existence d'une thermocline séparant deux domaines thermiques dans le lac (Ramade, 2002).

Cette dernière est définie selon (Mackenzie *et al*, 2000) comme étant une barrière entre l'épilimnion et l'hypolimnion. (Frontier, et Pichou, 1998).

Pour la profondeur, dans des nombreux lacs, elle est suffisante pour que la lumière ne puisse traverser entièrement la colonne d'eau, et que l'on atteigne le point de compensation de la photosynthèse. On peut donc distinguer les couches superficielles des eaux constituant une zone euphotique (épilimnion) et une zone profonde aphotique dans laquelle le flux lumineux est d'intensité inférieure au seuil de compensation (Ramade, 2002)

**Types des lacs:** il existe plusieurs classifications des lacs selon les critères choisis, les classifications les plus utilisées sont relatives l'une à l'origine géologique des lacs et l'autre à leur statut trophique directement conditionné par la teneur de leurs eaux en sels minéraux nutritifs (Ramade, 2002).

➤ **Sur le plan géomorphologique :**

On distingue les lacs tectoniques dont l'ancienneté les dure des périodes géologiques ( Victoria , Malawi ), les lacs proviennent de l'effet conjugué du surcreusement puis ensuite de la fusion des glaciers ( lacs glaciers), les lacs volcaniques (de cratère) qui sont généralement de forme

circulaire , occupent soit le fond d'une cheminée soit le caldera de volcans atteints , les sacs fluviaux sont généralement très plats , tandis que les lacs de dissolution qui se rencontrent dans les zones karstiques et sont généralement d'étendue relativement faible , ainsi que les lacs réservoirs ( artificiels) , ils sont construits en amont d'un barrage de retenue leur nombre et sans cesse croissant ( **Ramade,2002**).

➤ **Selon la nature trophique :**

IL EST possible de classer les lacs en fonctions de la teneur de leurs eaux en éléments minéraux nutritifs.

## **Chapitre II:**

### **Généralités sur le phytoplancton**

**Chapitre II: Généralités sur le phytoplancton***II-1-1. Définition du plancton :*

C'est l'ensemble des végétaux et animaux aquatiques, microscopiques ou de petite taille qui se déplacent avec les courants d'une manière limitée avec la masse d'eau,

Du grec ancien *plagtós* (« errant »), le terme plancton désigne l'ensemble des espèces aquatiques (en eau douce ou dans l'océan) qui sont entraînées par le courant. Il est générique : on dit « le plancton » ou « un organisme planctonique » mais jamais « un plancton » ni « des planctons ». Cette définition ne fait intervenir ni principe taxonomique ni taille. Ainsi, il existe des organismes planctoniques animaux et végétaux et le plancton comporte aussi des bactéries et des virus. De même, les grandes méduses, comme *Nemopilema nomurai*, atteignant deux mètres de diamètre, font partie du plancton car elles ne peuvent se mouvoir que dans le plan vertical. Les organismes nageurs, par opposition, font partie du necton. **BAKI**

On distingue évidemment une fraction animale qu'on appelle le zooplancton et autre végétale le phytoplancton (**Mollo et al., 2013**).

Phytoplancton (du grec phyton ou plante et planktos ou errant) ou plancton du règne végétal, représente l'ensemble des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau (**Groga, 2012**). c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques caractérisés principalement par l'absence de racines et de feuilles (**Becerrac, 2009**). Elles sont distribuées dans les mers, les océans, les eaux douces et les eaux saumâtres, sous forme d'un revêtement gluant sur les structures immergées. Ce sont définies comme des organismes unicellulaires ou pluricellulaires soit des Eucaryotes ou des Procaryotes (**Sialve et Steyer, 2013**) qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau. Il s'agit de cellules, colonies ou filaments qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints (**Groga, 2012**).

Ces organismes présentent la capacité de photosynthèse, c'est-à-dire qu'ils peuvent élaborer la matière organique nécessaire à leurs développements. Cette capacité à vivre sous le régime de l'autotrophie s'explique par l'existence de pigments tels que la chlorophylle, pigments qui leurs donnent, dans la plupart du temps, une couleur caractéristique.

Le processus de la photosynthèse ne peut se réaliser qu'à partir de l'eau, les sels nutritifs, le dioxyde de carbone et la lumière solaire. Cette dernière est d'ailleurs un des facteurs essentiels

qui conditionnent l'existence du phytoplancton au voisinage de la surface, plus précisément, au niveau de la zone euphotique. Par conséquent, ces organismes végétaux ne peuvent vivre que dans les premiers mètres sous la surface, tout en étant capable de survivre à des profondeurs qui approchent les 100 voire les 120m (à condition que la clarté de l'eau permette un passage suffisant de la lumière) (**Gailhard, 2003**).

La diversité morphologique des phytoplanctons qu'il s'agit de cellules solitaires ou regroupés en colonies ou en filaments représente une forme d'adaptation à la mobilité, en effet ces organismes se déplacent soit par le mouvement des courants aquatiques (flottaison) ou bien par des structures motiles tel que les flagellés ou les ciliés (mouvement verticales restreint). Certaines espèces peuvent aussi se déplacer dans la colonne d'eau grâce à des glissements, à des mouvements hélicoïdaux ou à la présence de vésicules à gaz. Ces éléments leur permettent d'aller se positionner au niveau de leur optimum lumineux dans la zone euphotique ou de descendre dans les couches inférieures chercher les nutriments de par leurs capacités de stockage importantes (**Cadier, 2016**).

Le phytoplancton constitue l'ensemble des cyanobactéries et microalgues (végétaux microscopiques) présentes dans les eaux de surface et qui dérivent au gré des courants. Méconnu car invisible à l'œil nu, le phytoplancton est pourtant le poumon de notre planète. Grâce à la photosynthèse, il produit plus de la moitié de l'oxygène terrestre et consomme la moitié du dioxyde de carbone. Le phytoplancton est indispensable à la vie marine car il se trouve également à la base de la chaîne alimentaire océanique baki.

Le phytoplancton est le bio-indicateur de la dégradation de la qualité des eaux continentales par diverses pollutions d'origine anthropiques. En outre, la prolifération de phytoplancton à un impact direct sur la dynamique et la structure des populations et des communautés au niveau des écosystèmes aquatiques. Certaines espèces de cyanobactéries sont susceptibles de synthétiser des exotoxines à l'origine d'intoxications importantes (**Cadier, 2016**).

Contrairement aux idées reçues, ce ne sont pas uniquement les forêts qui constituent le poumon de notre planète. A l'instar des plantes terrestres, le phytoplancton est constitué d'organismes photosynthétiques pourvus de chlorophylle grâce à laquelle il peut capter l'énergie solaire. La lumière du Soleil, le dioxyde de carbone et les sels minéraux dissous dans l'eau (principalement l'azote et le phosphate) suffisent au phytoplancton pour se développer et produire de l'oxygène, qui va diffuser à la surface des océans dans l'atmosphère. Le phytoplancton produit ainsi plus de la moitié de l'oxygène sur Terre, alors qu'il ne représente que 1% de la biomasse d'organismes photosynthétiques.

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 de la chaîne trophique pélagique (Azam et Malfatti 2007) et sont donc responsables d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques (Fig. 1).

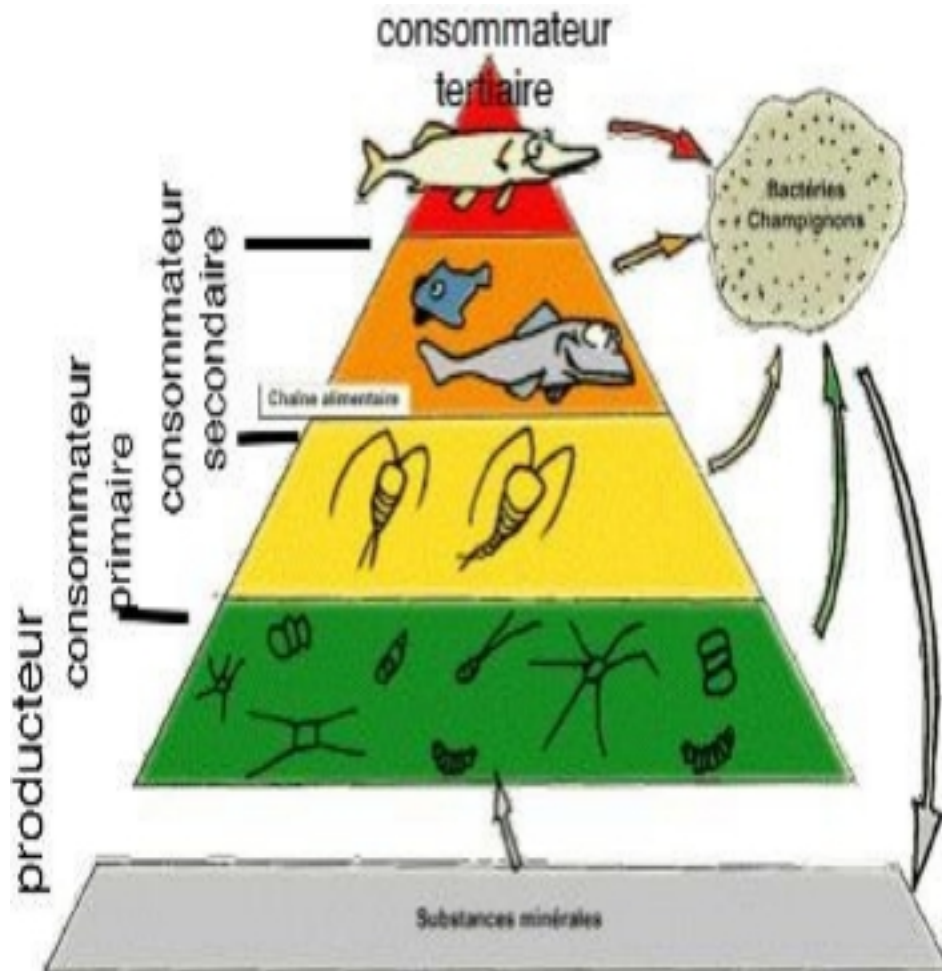


Fig. 01 : Pyramide alimentaire d'après Agence de l'Eau Seine-Normandie

Le phytoplancton joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques car l'activité des communautés phytoplanctoniques en domaine hauturier participe au flux de carbone entre l'eau et l'atmosphère. Ce processus contribue ainsi à la régulation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique qui détermine l'évolution du climat à court et moyen terme. Par conséquent, les flux de matière au sein de l'écosystème sont contrôlés par les variations de la production biologique (**Gailhard, 2003**).

Par ailleurs, le phytoplancton est universellement reconnu comme étant le premier maillon de la chaîne trophique dans l'écosystème aquatiques. Il se compose d'organismes que l'on qualifie de producteurs primaires et qu'il joue un rôle essentiel dans le développement et la survie de tous les organismes aquatiques vivants puisqu'il correspond au premier maillon d'une pyramide alimentaire, dans laquelle chaque échelle sert de nourriture au suivant (**Fig. 1**).

Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytotologique essentiellement par la présence d'un noyau cellulaire (eucaryotes) ou non (procaryotes).


De manière générale, leurs tailles varient de quelques microns (<20 µm) à quelques centaines de microns (200 µm). Leurs formes peuvent être extrêmement variées, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité (flottaison et mouvements verticaux) (**Gailhard, 2003**). On compte des milliers d'espèces se répartissant en plusieurs groupes (**El Haouati, 2009**).

### **Ecologie des phytoplanctons**


Le phytoplancton a une plasticité écologique importante. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques, et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée. Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures des lacs arctiques et antarctiques. Certaines espèces vivent en association avec d'autres animaux tels que les protozoaires, les spongiaires et les ascidies (endozoïques). De plus ces organismes vivent en symbiose avec des champignons et des algues vertes pour former les lichens. Les planctons aquatiques se fixent à divers substrats : roches, corail, algues, animaux et se développent même à l'intérieur des sédiments, en zone benthique. Les phytoplanctons sont une remarquable adaptation à la température et une excellente adaptabilité aux variations lumineuses grâce à une composition pigmentaire qui leur permet d'utiliser une large gamme du spectre lumineux. Dans les milieux aquatiques, la prolifération en masse des cyanobactéries forme une efflorescence appelée bloom cyanobactérie.

Ces couches parfois très épaisses et éventuellement écumeuses apparaissent à la surface de l'eau avec une durée assez variable, de quelques heures à plusieurs mois. Ces efflorescences sont le plus souvent dominées par une ou un petit nombre d'espèces, possédant pour la plupart d'entre elles des vésicules à gaz (**Bensafia, 2005**).


### *II-1-2. Classes du phytoplancton :*

 **Les Chlorophycées** : Algues de couleur verte, caractérisées par la présence de la chlorophylle « a » et « b » et caroténoïdes jaunes. Ce groupe renferme environ 7000 espèces. On trouve des formes unicellulaires, coloniales et filamenteuses ramifiées ou non (**Louis, 2009**).

Toutefois, la plupart des algues vertes planctoniques lacustres appartiennent à l'ordre des Volvocales et à celui des Chlorococcales qui font partie de la classe des Euchlorophycées (**Bourrelly, 1972**). Pour assurer leurs reproductions, les Volvocales et les Chlorococcales forment des zoospores à l'intérieur de la paroi cellulaire de la cellule mère (**Bourrelly, 1972**). Globalement les Chlorophycées sont des micro-organismes qui ont une préférence pour les milieux riches en nutriments azotés (**Sane, 2006**).

 **Les Bacillariophycées ou les diatomées** : Algues unicellulaires dont le squelette externe est siliceux, elles ont une couleur caractéristique brune au jaune due à la présence de chlorophylle « a » et « c » et de caroténoïdes jaunes et bruns. Elles peuvent être solitaires ou former de colonies ou des filaments (**Louis, 2009**).

Les Bacillariophycées se subdivisent en deux ordres : les Bidulphiales, ou centriques à asymétrie généralement radiale, et les Bacillariales ou pennées à symétrie bilatérale (**Aouchiche et Salhi, 2013**).

 **Les Cyanophycées** (algues bleues) : vivent presque partout, y compris dans des conditions extrêmes, des glaces polaires aux sables des déserts, des geysers aux lacs très chauds et acides des cratères volcaniques. Les cellules sont de très petite taille (1 à quelques dizaines de micromètres) et forment souvent des colonies ou des filaments. Leurs couleurs sur le terrain sont plutôt vertes foncé, violette ou noirâtre, conjonction de l'association de la chlorophylle « a » avec deux pigments accessoires, un rouge et un bleu. Leurs appellations d'algues bleues viennent plutôt de leurs apparences bleutées au microscope (**Louis, 2009**).

✚ **Les Dinophycées (Péridiniens)** : Parmi ces algues unicellulaires, beaucoup sont délimitées par un squelette externe formé de plaques de cellulose incrustées de silice. Elles contiennent de la chlorophylle « a » et « c » et des caroténoïdes comme pigments accessoires responsables de la couleur brune à rouge. Leurs tailles varient de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres **(Louis,2009)**.

Les Dinophycées sont mobiles grâce à deux flagelles: l'un dans un sillon équatorial, l'autre perpendiculaire au premier. Cette disposition originale explique le mouvement très particulier de ces organismes qui tournent sur eux-mêmes **(Louis,2009)**.

✚ **Les Euglénophycées** : Ces algues unicellulaires se déplacent à l'aide de deux flagelles de taille inégale. Étranges organismes que ces euglènes dont certaines sont capables de vivre comme des cellules animales dans l'obscurité et comme des cellules végétales à la lumière (possèdent de la chlorophylle « a » et « b » et caroténoïdes) **(Louis,2009)**.

✚ **Les Chrysophycées: Algues** de couleur jaune dorée pourvues de la chlorophylle « a » et « c » et des caroténoïdes jaunes. On trouve notamment dans ce groupe les curieux dinobryon, cellules flagellées disposées chacune dans une urne très élégante et formant de jolies colonies ramifiées **(Louis,2009)**.

✚ **Les Cryptophycées** : sont des organismes vivants unicellulaires, photosynthétiques pour la plupart. Possèdent Deux flagelles dont le plus long porte deux rangées de mastigonèmes

✚ **Les Cryptophytes** se rencontrent dans tous les types de milieux aquatiques : des milieux océaniques aux eaux douces en passant par les eaux interstitielles des milieux terrestres humides **(Louis,2009)**.

#### **Toxicité des micro algues :**

Un goût ou des odeurs désagréables dans l'eau signifie souvent la présence d'algues. Ces mauvaises odeurs sont directement liées aux substances qu'elles élaborent ou sécrètent pendant leurs phases de croissance et même après leurs morts lors de leurs décompositions par les bactéries.

C'est lors des mois chauds (mai - septembre) que, certaines Cyanobactéries prolifèrent en masse. Ces proliférations provoquent une gamme de désagréments sanitaire Et écologiques. En effet, ces microalgues sont capables de produire différentes toxines, appelées Cyanotoxines. Dans la majorité des cas, ce sont des hépato toxines comme les microcystines, qui ciblent le foie. Elles peuvent causer des problèmes de santé ou même la mort des animaux et des humains qui y sont exposés. Les toxines sont stockées à l'intérieur des cellules, mais sont libérées dans les eaux lors de la lyse des cellules, quand les blooms se décomposent (Santé Canada, 2002 ; Duy, 2000).

Actuellement, vingt genres et plus de quarante espèces sont connus pour synthétiser des toxines (Berger, 2005).

### *I-1-1 Importance du phytoplancton :*

En tant que principal producteur primaire, le phytoplancton est à la base des écosystèmes aquatiques et est capable de réagir rapidement aux perturbations du milieu (apports en nutriments, changements de température, salinité, turbidité, turbulence ou stratification), qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropogénique (Smayda, 1997). Les changements quantitatifs et qualitatifs qui ont lieu au sein des communautés phytoplanctoniques ont un impact sur l'ensemble de la chaîne trophique (Stockner et Antia, 1986, Thyssen, 2008). C'est pourquoi ce compartiment a été choisi comme bio-indicateur potentiel de la qualité des masses d'eau (Rolland, 2009, Soudant et Belin, 2010). Il est donc important de pouvoir suivre et évaluer sa composition, son abondance et sa biomasse ainsi que sa variabilité spatio- temporelle, mais ceci reste une tâche délicate. En effet la répartition du phytoplancton est très hétérogène et sa dynamique est très rapide (certaines espèces peuvent se diviser 2 fois par jour (Thyssen 2008). Le phytoplancton est très sensible aux variations biotiques (lyses virales, prédation) et abiotiques (hydrologie, vent, salinité) (Padisak et al., 2006, Salsamo et al., 2006, Anneville et al., 2008, Rolland 2009). En grande partie, et grâce aux capacités rapides de division (Thyssen et al., 2008), le phytoplancton à une capacité adaptative aux changements physiques ou chimiques (Smayda 1997 et 1998).

## **8. Cycle annuel du phytoplancton**

Le développement de phytoplancton d'un secteur quelconque dépend des conditions climatiques générales et microclimatiques locales. D'autres facteurs d'ordre physicochimique ou hydrographique, eux- mêmes soumis directement mais dans une plus ou moins large mesure aux variations climatiques, interviennent également sur le

Développement du phytoplancton. En fait, les facteurs influents sont très nombreux et interfèrent souvent les uns avec les autres, aussi est-il toujours difficile d'évaluer, leur part respective. On peut cependant considérer des variables telles qu'ensoleillement, turbulence, température, salinité, nutriments et certains oligo-éléments comme ayant une influence prépondérante sur l'évolution et la distribution du phytoplancton d'un secteur donné (**Paulmier, 1972**).

En milieu littoral ou estuarien, l'enrichissement presque continu mais quantitativement irrégulier des eaux en sels nutritifs ou autres oligo-éléments, font que ces facteurs sont rarement limitatifs. Il arrive par ailleurs que les conditions climatiques ne soient pas répétitives d'une année à l'autre, ce qui par voie de conséquence entraîne des variations équivalentes des autres facteurs, en raison de leur dépendance, avec des prolongements jusqu'au niveau du plancton. Ceci fait qu'il est nécessaire d'avoir une longue série statistique d'observations pour sortir un cycle annuel proche de la normale (**Paulmier, 1972**).

D'une manière générale, les principales étapes du cycle annuel phytoplanctonique, correspondent aux rythmes saisonniers. La saison hivernale peut être prise comme point de départ. A ce moment, le phytoplancton est dans une phase pauvre en espèces et en individus sont relativement peu nombreux. D'autre part, le phytoplancton et zooplancton apparaissent en état d'équilibre, la production végétale commence à peine durant cette saison, les eaux s'enrichissent en éléments nutritifs soit par apports fluviaux, soit par minéralisation de détritiques organiques d'origines diverses (**Bougis, 1974**).

Dès le début du printemps on peut assister à une augmentation significative du phytoplancton, d'abord par un accroissement du nombre des espèces comme des individus. Les fortes teneurs en sels nutritifs (azotés, phosphorés, etc.) à cette époque, ainsi que l'accroissement des températures et celui concomitant des salinités, l'ensoleillement progressif, créent une situation favorable pour induire ce développement phytoplanctonique. Il se continue ensuite durant tout le printemps jusqu'à atteindre le maximum annuel mais avec quelques espèces, parfois une ou deux, dotées d'un taux de multiplication élevé.

En été la production phytoplanctonique régresse, soit parce que le milieu est en parce que le développement consécutif du zooplancton herbivore arrive à son

point culminant et contrôle la production végétale, soit due à l'état physiologique des espèces dominantes de la phase précédente (**Bougis, 1974**).

On constate donc en automne une nouvelle poussée de la microflore planctonique qui utilise pour son développement le matériel remis en circuit, à un moment où les conditions générales du milieu sont redevenues favorables (**Bougis, 1974**).

## **9. 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). La plupart des Cyanobactéries sont autotrophes et peuplent des milieux très variés « sources thermales, milieux aquatiques, terres humides » (**Des Abbayes et al., 1978**) et même dans le sable des déserts les plus arides (**Bourelly, 1985**). D'autres sont saprophytes, parasites ou symbiotes d'organismes très divers (**Ozenda, 2000**).

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 développées 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.

## 10. Rôle du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques

Le phytoplancton possède d'importants rôles, dont les plus connus sont :

### 10.1. Photosynthétique

Le phytoplancton ne présente que 1% de biomasse d'organismes photosynthétiques sur la planète mais assure environ 45% de la production primaire (fixation du carbone minéral (CO<sub>2</sub>) en carbone organique). Il est à la base de la nourriture de plupart des poissons, qui fixent eux-mêmes une quantité considérable de carbonate de calcium (Harris, 1986).

### 10.2. Chaîne alimentaire

L'importance du phytoplancton était déjà perçue chez les pêcheurs au moyen âge chez lesquels existait l'adage « qui dit poisson dit plancton » (Trégouboff et Rose, 1957). Le phytoplancton est situé à la base de la chaîne trophique pélagique, il est responsable d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques (Reynolds, 1998). De ce fait il conditionne la production de poissons, de moules, d'huîtres, de crevettes et d'autres produits (Hansen *et al*, 2001).

### 10.3. Autres rôles

En plus des deux rôles cités ci-dessus, le phytoplancton peut être utilisé dans de nombreux domaines.

- Certaines espèces du phytoplancton, peuvent être utilisées comme des indicateurs de pollution, ainsi *Chamaesiphon polonius* et *Calothrix sp* sont caractéristiques des eaux non polluées, par contre *Oxillatoriachlorina* et *Spirulina jenneri* 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).
- 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).
- Certains genres des Cyanobactéries peuvent être utilisés comme engrais naturels dans les rizières grâce à leurs capacités de fixation de l'azote atmosphérique par des hétérocystes (Roger, 1996).

- Le phytoplancton est connu pour libérer dans le milieu des substances antibactériennes (**Barnabé et Barnabé - Quet, 1997**). Certaines espèces appartenant aux genres *Scenedesmus* et *Chlorella*, ont un effet inhibiteur sur *Bacillus cereus* et *Pseudomonas* sp, tandis que d'autres espèces présentent un effet biocide marqué vis à vis des coliformes et des salmonelles (**Champiat et Larpent, 1994**).
- *Spirulina sp* est une Cyanobactérie qui possède des qualités intéressantes pour l'alimentation et la santé, tant pour l'Homme que pour les animaux car elle est riche en protéine et en vitamine B (**Rafiqul et al., 2005**). Alors que *Scenedesmus*, *Chlorella* et *Oxillatoria* sont utilisées en culture semi-industrielles en vue d'obtenir des produits riches en protéines utilisables pour l'alimentation humaine ou animale (**Iltis, 1980**).

### **11. Rôle du phytoplancton dans le traitement des eaux usées**

Les micros algues jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage.

- Elles opèrent comme fournisseur d'oxygène par le processus photosynthétique ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries (**Humeniket Hanna, 1971**). Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques (**Abeliovich et Weisman, 1978 ; Pearson et al., 1987**).
- Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires (**Kalisz, 1973 ; Pouliot et Delanoue, 1985 ; Ergashev et Tajiev, 1986**).
- Elles agissent comme bio-absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés ces eaux (**Beker, 1986**).
- Par leurs activités biologiques, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et même leur disparition (**Parhad et Rao, 1974 ; Pearson et al., 1987**).

### **12. Le phytoplancton indicateur de qualité biologique**

Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés ou des poissons, les indicateurs biologiques (bio-indicateurs) sont basés sur le même principe. La variété des taxons présents dans un prélèvement, leur assemblage, la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux. Ainsi, **Blandin**

(1986) a donné au terme bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui

– par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques – permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco-complexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

A cet effet, **Reynolds *et al.* (2002)** ont publié une description détaillée de 31 assemblages phytoplanctoniques qui peuvent être vus comme des groupes fonctionnels, c'est à dire des groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques internes au lac (profondeur de la zone de mélange, lumière, température, P, N, Si, CO et pression de prédation).

Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux (**Padisak *et al.* 2006; Salsamo *et al.*, 2006; Anneville *et al.*, 2008**), est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (**Solheim *et al.* 2005**). Ainsi, ce compartiment biologique a été proposé puis imposé par la DCE (directive cadre de l'eau ; directive européenne du 23 décembre 2000) comme élément de qualité biologique pour les lacs et est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau. Trois paramètres relatifs au phytoplancton peuvent être utilisés pour l'évaluation de l'état écologique des lacs et la définition des statuts « très bon », « bon

» et « moyen ». Il s'agit de :

- i) L'abondance et la composition phytoplanctonique,
- ii) La biomasse phytoplanctonique (via les estimations de la concentration de chlorophylle a et du biovolume moyen) et,
- iii) L'intensité et la fréquence des blooms planctoniques.

### **13. Facteurs d'influence sur les phytoplanctons**

La dynamique des populations phytoplanctoniques est influencée par de nombreux facteurs environnementaux, qui agissent sur les populations et par conséquent sur la dynamique des espèces (**Hutchinson, 1957**).

**13.1. Factures climatiques**

Les factures climatiques influencent le fonctionnement d'un écosystème, il s'avère que l'altération des caractères physico-chimiques de l'eau est doublée par une variabilité des conditions météorologiques (**Chaocachietal., 2002**). Les études de fluctuation des vents sont nécessaires afin de comprendre le fonctionnement de l'écosystème (**Demers et al., 1987**). La lumière est un facteur de très grande importance pour le phytoplancton, du fait qu'elle intervient dans la photosynthèse (**Gayral, 1975**).

**13.2. Facteurs physico-chimiques**

Parmi les facteurs physico-chimiques les plus importants, on peut citer : le pH, le et l'oxygène dissous ( $O_2$ ) qui est nécessaire à la respiration des algues et des animaux aquatiques (**Amri, 2008**).

**13.3. Facteurs biologiques**

Les facteurs biologiques les plus importants sont :

- La régulation de la position dans la colonne d'eau par l'intermédiaire de vacuoles gazeuses est l'une des caractéristiques des cyanobactéries (**Olivier et Ganf, 2000**).
- Le broutage du phytoplancton par le zooplancton est l'un des facteurs de contrôle descendant (**Lampert, 1987**).

**15. Effets nuisibles du phytoplancton**

Les proliférations micro-algales sont des phénomènes naturels, dont les premières descriptions sont anciennes. En effet, les intoxications humaines (**Tab. 01**) associées à la consommation de coquillages sont connues depuis plusieurs siècles (**Gaillard, 2003**). Le phytoplancton nuisible est impliqué dans des efflorescences algales massives, dénommées

« Algal Blooms » se traduisant par un phénomène d'eaux colorées aussi appelées marées rouges. D'autres espèces responsables de « Algal Blooms », sont productrices de phycotoxines causant la mortalité des animaux marins (mollusques, poissons, oiseaux, ...) via leur ingestion directe de micro-algues toxiques (**Herzi, 2013**). Parmi les quelque 5000 espèces d'algues unicellulaires composant le phytoplancton, la plupart de ces micro-algues toxiques font partie de la famille des dinoflagellés (**Mollo et Noury, 2013**).

**15.1. Risque sur la santé humaine**

Les phycotoxines élaborées par les micro-algues (**Tab. 01**) sont souvent accumulées chez les espèces à régime filtreurs comme les moules, les coqueaux, les huîtres. La consommation des organismes marins ayant bio-accumulés ces phycotoxines représentent de sérieux problèmes sanitaires pour l'homme. Les symptômes associés à ces dangers sont essentiellement d'ordre digestif et/ou neurologique selon la nature chimique de chaque toxine élaborée (**Abouabdelah, 2012**).

**15.2. Risque sur les organismes marins**

En eau douce tout comme en milieu marin, les efflorescences des microalgues sont le plus souvent mono- ou oligo-spécifiques et induisent une diminution de la biodiversité du

Milieu (Crossetti *et al.*, 2008). De plus, les proliférations de microalgues peuvent avoir des conséquences sur la stabilité des paramètres physico-chimiques et donc des effets néfastes sur l'équilibre des écosystèmes (Tab. 01). Ainsi, des anoxies, résultant de la décomposition des microalgues par des bactéries hétérotrophes sont parfois associées aux efflorescences, provoquant une forte mortalité de populations de poissons (Hudnell, 2008). *Karenia selliformis* outre sa toxicité recensée au niveau des coquillages, est aussi dotée d'un pouvoir hémolytique très important.

**Tableau 01:** Effets nuisibles causés par le phytoplancton (Zingone ET Enevoldsen, 2000 modifiée).

	Impacts	Organismes responsables	
Santé humaine	Intoxications paralysantes par les fruits de mer (PSP).	Dinoflagellés Cyanobactéries	<i>Gymnodiniumcatenatum</i> <i>Anabaenacircinalis</i>
	Intoxications diarrhéiques par les fruits de mer (DSP).	Dinoflagellés	<i>Prorocentrumsp</i>
	Intoxications neurologiques par les fruits de mer (NSP).	Dinoflagellés	<i>Karenia brevis</i>
	Intoxications amnésiantes par les fruits de mer (ASP).	Diatomées	<i>Pseudo-nitzschiasp</i>
	Intoxications par les azaspiracides (AZP).	inconnu	Inconnu
	Intoxications de type ciguatérique (CFP).	Dinoflagellé	<i>Gambierdiscus toxicus</i>
	Hépto-toxines.	Cyanobactéries	<i>Microcystis sp</i>
	Neuro-toxines.	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon sp</i>
	Cyto-toxines.	Cyanobactéries	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
	Dermato-toxines.	Cyanobactéries	<i>Lyngbya majuscula</i>
Ressources marines naturelles et exploitées	Lésions mécaniques.	Diatomées	<i>Chaetoceros sp</i>
Activités touristiques	Production d'écume, de mucilage, variation de la couleur de l'eau et odeurs nauséabondes.	Dinoflagellés Diatomées Cyanobactéries	<i>Prorocentrum sp</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Aphanizomenon flosaquae</i>

<b>Fonctionnement de l'écosystème</b>	Toxicités pour les organismes marins (poissons, invertébrés, ...).	Dinoflagellés Diatomées	<i>Alexandrium</i> sp <i>Pseudo-nitzschia australis</i>
---------------------------------------	--	----------------------------	--

Ces hémolysines connus pour lyser les globules rouges sont secrétées dans le milieu, lors des épisodes d'eaux colorées ( $10^6$  cellules/L) étaient responsables de phénomènes de mortalité de divers organismes marins dans la lagune Boughrara en 1991 et de l'automne 1994 sur les côtes nord de Sfax et des stations d'aquaculture installées dans cette région où il y a une mortalité de (Gobidae, *Sepia officinalis*, Cuttlefish...). Aussi en automne 1994, les côtes nord du port de Sfax ont été affectées par une mortalité importante de poissons (1 à 2 tonnes par jour de Labridae, Gobidae, Mugulidae, Sparidae, *Sepia officinalis*, *Belone belone*...) (**Feki-Sahnoun, 2013**).

CO<sub>2</sub>, la température, les macroéléments (l'azote et phosphore représentent des éléments essentiels à la croissance du phytoplancton), les oligoéléments tels que le soufre et le chlore,

### 14.3. Risque sur le fonctionnement de l'écosystème

En milieu marin côtier, si les conditions sont favorables, les espèces phytoplanctoniques peuvent proliférer et former des efflorescences. Les facteurs présumés de ces proliférations sont d'origine anthropique (apports en nutriments liés aux pratiques agricoles, introduction d'espèces par les eaux de ballast) et climatique (ex. effets des pluies, des eaux de ruissellement, courants océaniques). Le déterminisme de ces efflorescences fait l'objet d'un grand nombre de travaux et il semblerait qu'un certain nombre de paramètres conditionne l'apparition des efflorescences, en particulier des teneurs élevées en azote et phosphore, la température, l'éclairement et le pH (**Ledreux, 2010**). Le développement d'efflorescences toxiques peut perturber le fonctionnement des écosystèmes (**Tab. 01**), notamment par inhibition des fonctions de croissance, d'alimentation et de reproduction des organismes (**Wiegand et Pflugmacher, 2005**). Le zooplancton peut consommer des dinoflagellés producteurs de phycotoxines, des copépodes nourris avec des cultures de dinoflagellés toxiques voient leur taux de fécondité et leur croissance diminuer sans qu'on puisse pour autant attribuer ces effets aux toxines elles-mêmes ou à d'autres composés inhibiteurs. Les cyanotoxines en eau douce et les phytotoxines en milieu marin sont donc susceptibles de gagner les réseaux trophiques supérieurs par accumulation dans le zooplancton phytophage puis par transfert dans des bivalves filtreurs (**Ledreux, 2010**).

## 16. Applications des micro-algues

Les applications de ces micro-algues sont multiples, de l'alimentation humaine, l'alimentation animale, les cosmétiques, la pharmacie. Chaque espèce des micro-algues a des propriétés qui lui sont propres et toutes les micro-algues produites n'ont pas une application unique. Il est possible de regrouper les espèces en fonction de leurs principales utilisations (**Filali, 2012**).

### Applications alimentaires

Certaines espèces des micro-algues peuvent être consommées comme des légumes. Plusieurs processus de conservation des micro-algues peuvent être utilisés, elles peuvent être séchées, congelées, mises en bocaux, salées ou servies fraîches, la consommation des micro-algues est traditionnelle dans de nombreux pays asiatiques.

Les principales espèces consommées sont : *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica* et *Porphyra sp.* Les Japonais consomment actuellement 1,4 kg des micro-algues (poids sec) par an et par habitant, les micro-algues dans l'alimentation sont bénéfiques outre leurs propriétés épaississantes, gélifiantes ou stabilisantes, bien connues et largement utilisées par des industries agro-alimentaires, elles ont aussi des propriétés nutritionnelles intéressantes en alimentation humaine. L'eau de mer offre une composition remarquablement constante. Elle contient en solution tous les éléments nécessaires au maintien de la vie, éléments que les micro-algues absorbent et concentrent dans leurs tissus (**Abadliet Harkati, 2015**).

### 16.1. Applications pharmaceutiques

Les extraits des micro-algues sont également utilisés par le secteur pharmaceutique, les principes actifs extraits des micro-algues sont utilisés comme anti-inflammatoire œsophagien, pour lutter contre l'embonpoint, pour leur effet laxatif ou encore pour les pansements, les micro-algues peuvent être utilisées dans une amélioration du confort des diabétiques. En effet certains polysaccharides issus des micro-algues des côtes françaises peuvent moduler l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulinaire à l'alimentation. Par ailleurs, des oligosaccharides extraits des micro-algues peuvent améliorer l'équilibre de la flore intestinale du colon, en favorisant la croissance des bactéries comme favorables pour la santé. Ces bactéries sont actuellement largement utilisées dans des préparations à base de lait peu caloriques, riches en vitamines et en minéraux.

Les micro-algues alimentaires sont source de polysaccharides divers, très différents de ceux provenant des végétaux terrestres. Ces polysaccharides représentent entre 30% et 70% du poids sec des micro-algues, selon l'espèce (**Gana, 2014**).

### **16.2. Applications cosmétiques**

Les micro-algues utilisées par la filière cosmétique sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les applications alimentaires. Cependant, les travaux de recherche mettent en évidence de nouvelles applications pour de nouvelles espèces. La filière cosmétique utilise les micro-algues sous forme d'extraits de plantes, broyées (pour les gommages par exemple) ou en tant qu'agents de coloration. Étant donné que le marketing joue un rôle important dans l'industrie des cosmétiques, les micro-algues sont souvent utilisées afin de véhiculer une image de produits naturels apportant les bienfaits de la mer (**Idealg, 2014**).

### **16.3. Agrofournitures et traitement de l'eau**

En agriculture, les micro-algues sont principalement utilisées comme engrais ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail. Concernant les engrais, les algues sont transformées en poudre, extraits liquides ou microbilles et sont épandues sur les terres. En effet, les micro-algues favorisent la croissance des plantes, la résistance aux maladies et produisent des substances protectrices contre les agressions par les gastéropodes.

Pour l'alimentation animale, les fucales sont utilisées comme additifs alimentaires pour leurs qualités digestives. Elles sont transformées en farines mélangées à la nourriture (**Abadliet Harkati, 2015**).

# **Partie II:**

## **Etude expérimentale**

## Chapitre III: Matériel et méthodes

### III.1. Conditions et fréquences d'échantillonnage

Notre étude s'est étalée entre le mois de janvier et le mois de décembre 2020 au niveau du lac Sidi Mhamed Benali en se basant sur les résultats de doctorante BAKI A.

Le choix de la période de prélèvement est la première étape cruciale dans l'analyse d'une communauté phytoplanctonique. Un mauvais choix de cette période entraîne des biais dans l'interprétation des données collectées par manque de certaines espèces phytoplanctoniques. Les conditions du milieu telles que : la température, la turbidité de l'eau, l'intensité de la lumière, les concentrations de sels minéraux (nitrate, phosphore, silicate, potassium...), d'oligo-éléments (magnésium, fer...) et de CO<sub>2</sub> influencent sur la distribution de ces espèces au niveau du site échantillonné. Par conséquent, durant un cycle annuel, la densité des communautés phytoplanctoniques atteint son maximum au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont optimales.

Toutes les conditions d'échantillonnage sont notées sur une fiche de terrain, outre les identifiants concernant l'échantillon (localisation, dates et heures du prélèvement).

L'échantillonnage est effectué en surface (zone euphotique) et à une profondeur de 50 cm en dessous de la surface de l'eau, sachant que deux types d'analyses sont réalisées au laboratoire : une analyse qualitative (identifications des phytoplanctons) et une analyse quantitative (dénombrement des individus).

### III.2. Méthodes d'échantillonnage

#### III.2.1. Prélèvement sur terrain

##### III.2.1.1. Analyse phytoplanctonique

Durant la réalisation de cette étude, nous avons choisie quatre d'échantillonnage. L'échantillonnage se fait par une bouteille en plastique de 1.5 L contenant une concentration finale d'environ 0,5% d'un agent fixateur (Lugol) dans l'échantillon, soit environ 8 gouttes pour 100 ml (ou 5 ml pour une bouteille de 1 L).

Un deuxième échantillon est prélevé à 50 cm en dessous de la surface de l'eau en évitant la surface euphotique afin d'observer une certaine variation dans la structure et la composition de cette communauté phytoplanctonique.

Le remplissage de la bouteille ne doit pas se faire jusqu'en haut pour permettre une bonne homogénéisation de l'échantillon avant la prise des sous-échantillons pour comptage au

laboratoire. L'échantillon ainsi fixé peut-être conservé au maximum 3 semaines à l'obscurité avant l'analyse ou 12 mois s'il est maintenu au froid et à l'obscurité (entre 1 et 4°C).

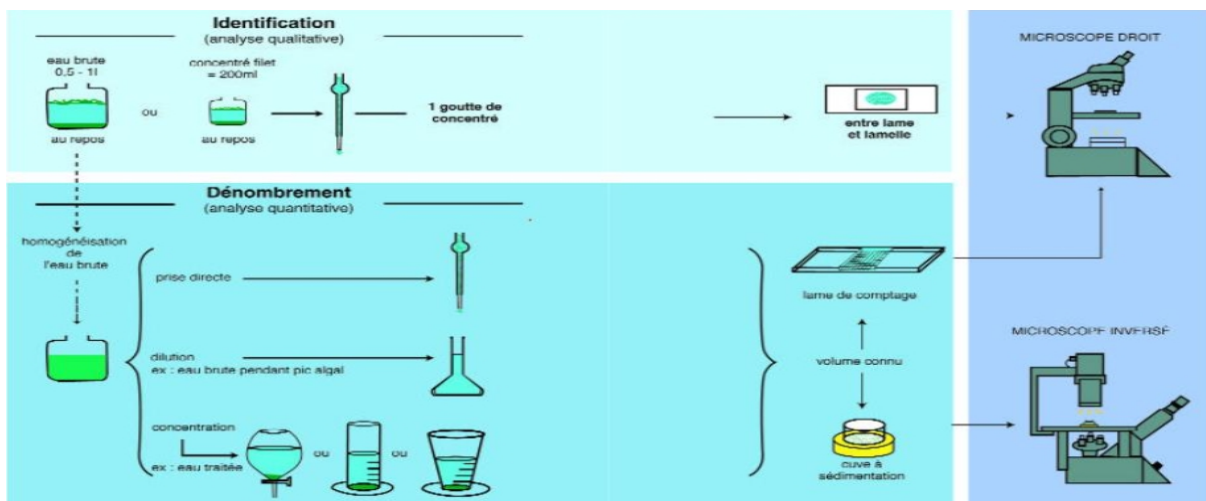
### III.2.1.2- Analyse physicochimiques

L'analyse biologique de la communauté de phytoplanctons est associée à une analyse des quelques paramètres physicochimiques du milieu, ces paramètres sont mesurés à l'aide d'un multi paramètres (HACH 2100N Turbidimètre, HACH SensION pH 3, HACH Sension 7) sur place.

### III.2.2- Identification et dénombrement des phytoplanctons

On transfère 25 ml de l'échantillon mère fixé préalablement avec le lugol dans un tube à essai et on le laisse décanté 24 h (Bourrelly 1990). On a prélevé 5 ml du culot qui est considéré comme un sous-échantillon. A partir du sous-échantillon 1 ml est déposé entre lame et lamelle pour l'analyse qualitative et quantitative.

La détermination des genres récoltés a été effectuée par l'observation sous microscope optique grossissement x 10 selon des clés d'indentifications retenues dans la littérature scientifiques : (Lauterborn 1915, Geitler 1932, Hubber-Pestalozzi 1941, Skuja 1948, Skuja 1956, Grönblad *et al.* 1958, Partick & Reimer 1966, Coute & Rousselin 1975, Komárek & Anagnostidis 1995.)



**Figure III.1** : Schéma générale du protocole expérimental de l'étude de la communauté de phytoplanctons au niveau du lac sidi mhamed benali.

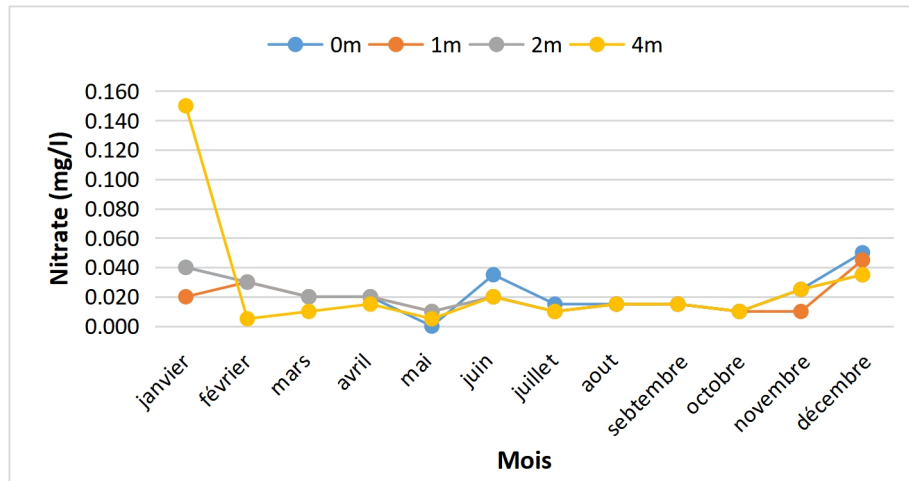
## **Chapitre IV:**

### **Résultats et discussion**

## Chapitre IV: Résultats et discussions

## IV.1.1-Les variations verticales spatiotemporelles des nitrates

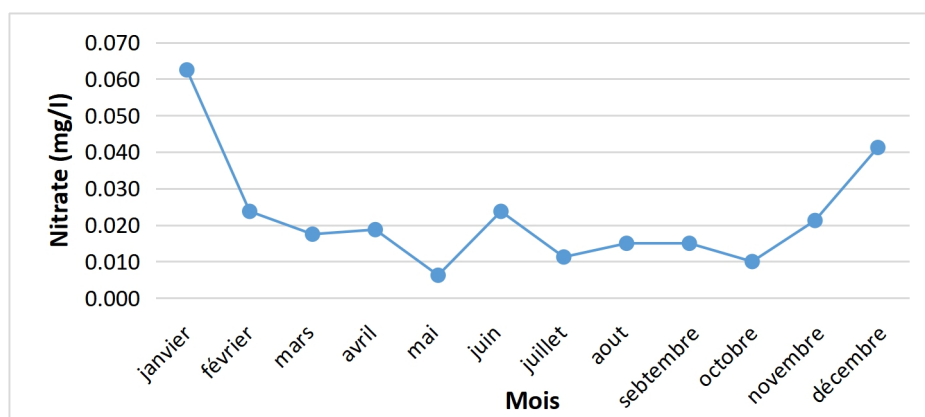
Les variations verticales spatiotemporelles des teneurs des nitrates des eaux du lac Sidi Mhamed Benali sont représentées sur les graphes si dessous:



**Figure IV.1: Variations** spatio-temporelles des teneurs en nitrates a aux profondeurs 0m, 1m, 2m ET 4m

Les analyses effectuées montrent que de l'ensemble des échantillons EST comprise entre UN minimum de 0, 01 mg/l ET un maximum de 0, 15 mg/l enregistré en mois de janvier sur une profondeur de 4 m.

Les moyennes des analyses des teneurs des nitrates ont révélée que la valeur minimale de 0.006 mg/l EST enregistrée en mois de Mai, tandis que la valeur maximale de 0.63 mg/l EST enregistrée en mois de janvier.

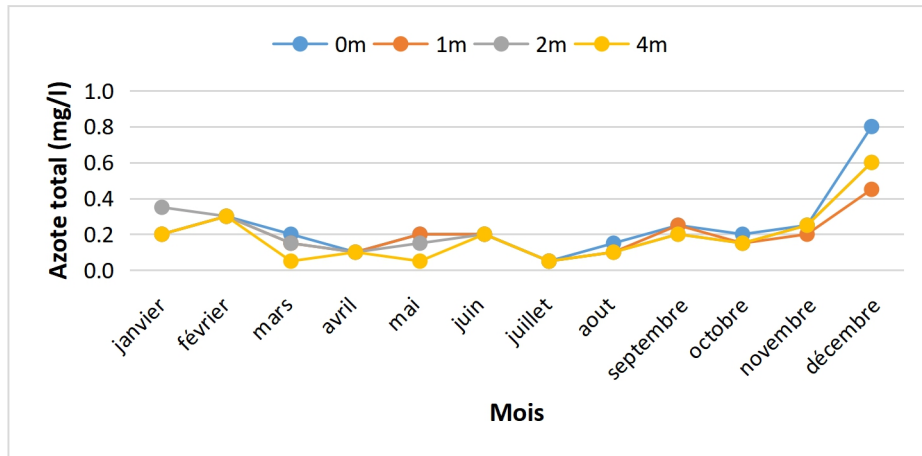


**Figure IV.2: Variations** spatio-temporelles moyennes des teneurs en nitrates a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m

## IV.1.2-Les variations verticales spatiotemporelles de l'Azote total

En ce qui concerne les teneurs de l'azote total, on remarque que les moyennes de profondeur 1m, 2m, 3m et 4m varient respectivement entre 0.241 mg/l, 0.195 mg/l, 0.216 mg/l et 0.187 mg/l.

Donc d'après la lecture des courbes, on remarque que les valeurs de l'azote total sont élevées en période hivernale.

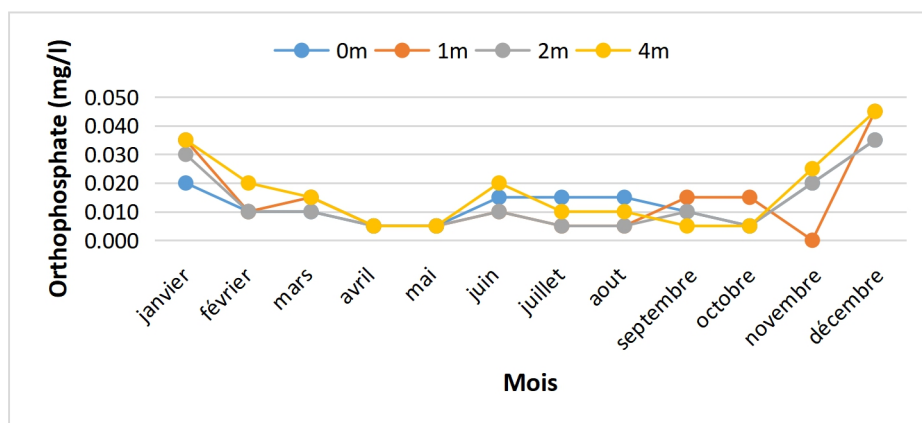


**Figure IV.3 :** Variations spatio-temporelles des teneurs en azote total à aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m

#### IV.1.3- Les variations verticales spatiotemporelles de l'orthophosphate

Les variations verticales spatiotemporelles de l'orthophosphate moyenne sur l'ensemble des prélèvements EST 0,014 mg/l.

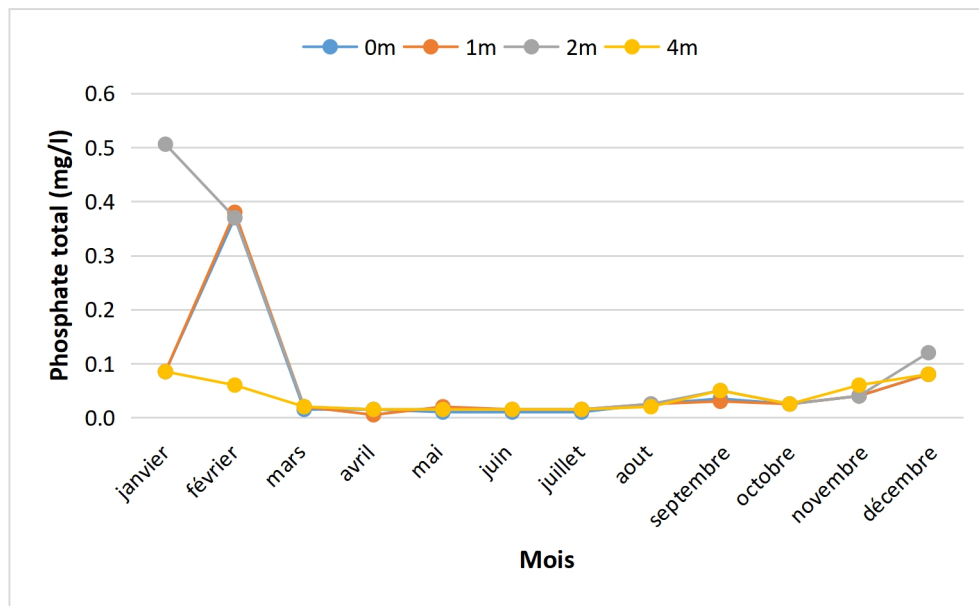
Les variations saisonnières montrent que les l'orthophosphates sont très faibles en été ET en printemps tandis que elles sont considérables en Hiver ET en automne.



**Figure IV.4: Variations** spatio-temporelles des teneurs en orthophosphate à aux profondeurs 0m, 1m, 2m ET 4m

#### IV.1.4- Les variations verticales spatiotemporelles de phosphate total

Les valeurs moyennes spatiotemporelles de phosphate total sont comprises entre UN minima de 0, 01 et UN maximum de 0,506 enregistré en moi de janvier sur une profondeur de 2m,



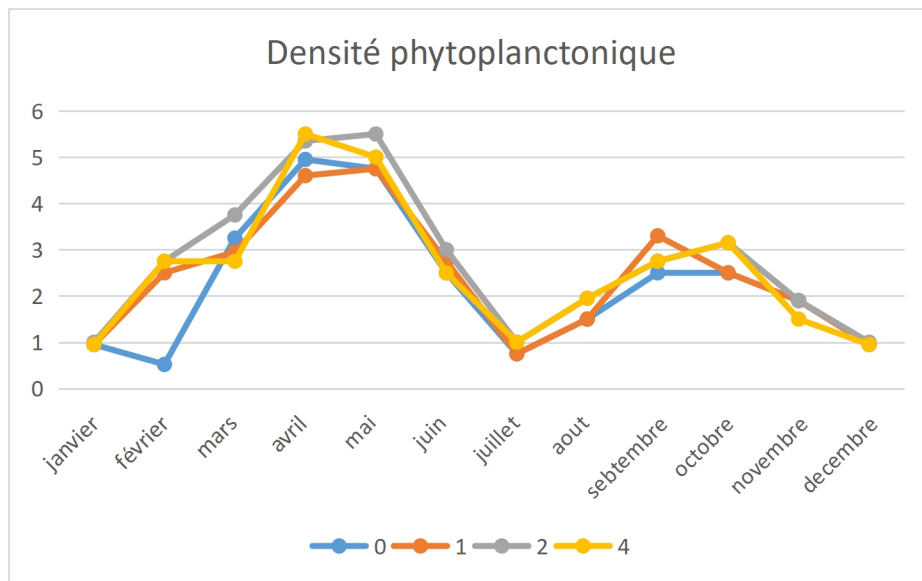
**Figure 5.IV** : Variations spatio-temporelles des teneurs en de phosphate total a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m

## IV.2-les variations biotiques

### IV.2.1-Densités Phytoplanktoniques

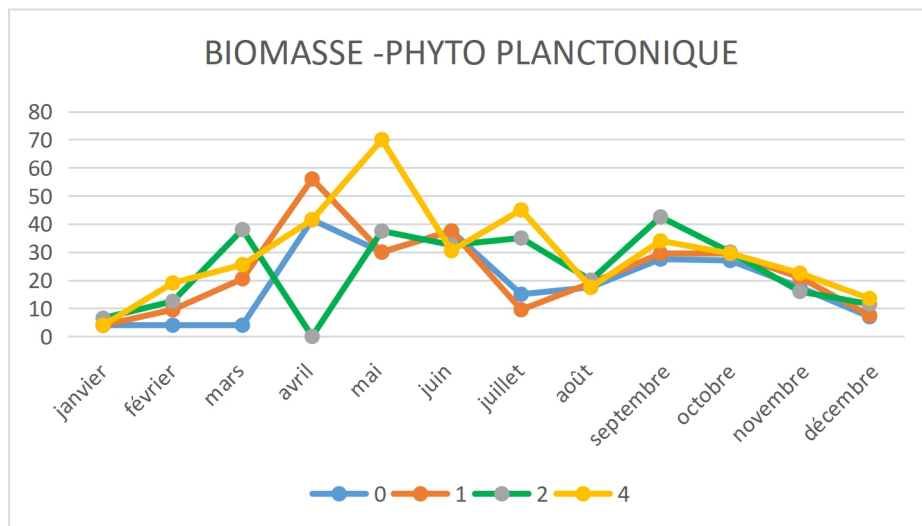
La communauté phytoplanktonique considérée comme un indicateur de l'état de trophie des écosystèmes lacustres présente globalement des densités très faibles qui ont varié de  $0,52 \times 10^4$  cellules.L-1 en février à  $5,35 \times 10^4$  cellules.L-1 au mois d'avril .

La densité moyenne sur l'ensemble des prélèvements EST de  $2,505 \times 10^4$  cellules.L-1. Les variations saisonnières montrent que les densités sont très faibles en période hivernale, le peuplement phytoplanktonique est composé essentiellement de la cryptophycée, *Cryptomonas marsonii* qui représente plus 41% de la densité totale et qui nous a accompagnée tout au long de l'étude, de la cryptophycée, *C. ovata* (11%), et de la chlorophycée *Scenedesmus* sp. (13%). C'est en période printanière que les densités sont les plus élevées concomitantes avec la hausse de la température et l'apparition de la chlorophycée *Ankistrodesmus falcatus* qui domine le peuplement phytoplanktonique (38% de la densité totale) avec toujours la présence de la Cryptophycée *Cryptomonas marsonii* (14%), les Chlorophycées *Oocystis lacustris* (10%) et ne coïncident pas avec les fortes températures enregistrées en été.



**Figure IV.6:** Variations spatio-temporelles de la densité phytoplanctonique aux profondeurs 0m, 1m, 2m ET 4m

#### IV.2.2- biomasse phytoplanctoniques



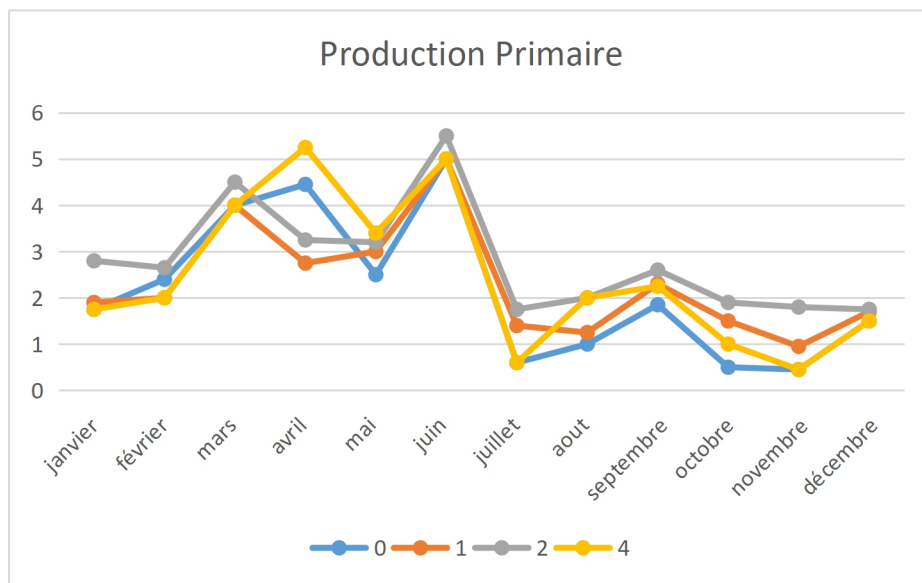
**Figure IV.7:** Variations spatio-temporelles des teneurs en biomasse phytoplanctonique a aux profondeurs 0m, 1m, 2m ET 4m

Les valeurs moyennes par profondeur sont les suivantes:  $19,37 \times 10^4$  ;  $22,79 \times 10^4$  ;  $23,5 \times 10^4$  et  $29,37 \times 10^4$  cellules.L-1 respectivement à 0m, 1m, 2m et 4m. En termes de biomasse cette variation spatiale est nettement plus importante que celle de la densité puisque les valeurs moyennes calculées par profondeur sont de 2,25 ; 2,45 ; 2,75 et 2,56 mg.L-1 respectivement à 0m, 1m, 2m et 4m).

Nous avons noté une chute des densités phytoplanctoniques qui pourrait être expliquée par la pression de prédation exercée par la communauté zooplanctonique dont nous avons remarqué visuellement une prolifération massive. Malheureusement, aucune étude n'a été effectuée jusqu'à présent concernant le zooplancton pour argumenter ET valider notre constatation. C'est ainsi que

les fluctuations de la densité de *Cryptomonas marsonii* seraient liées à une pression de prédation sélective exercée par le zooplancton en raison de sa petite taille comme cela a été rapporté par **ALEYA et DEVAUX et BERGQUIST et al.** Par ailleurs, la prédation des métazoaires est probablement très importante à cette période de l'année et affecte la totalité des microorganismes de la boucle microbienne. Ces résultats témoignent de l'état d'équilibre de notre écosystème, c.a.d. que le phytoplancton est consommé au fur et à mesure qu'il est produit et aboutit à la clarification des eaux.

#### IV.2.3-La production primaire



**Figure 8:** Variations spatio-temporelles des teneurs en production primaire aux profondeurs 0m, 1m, 2m ET 4m

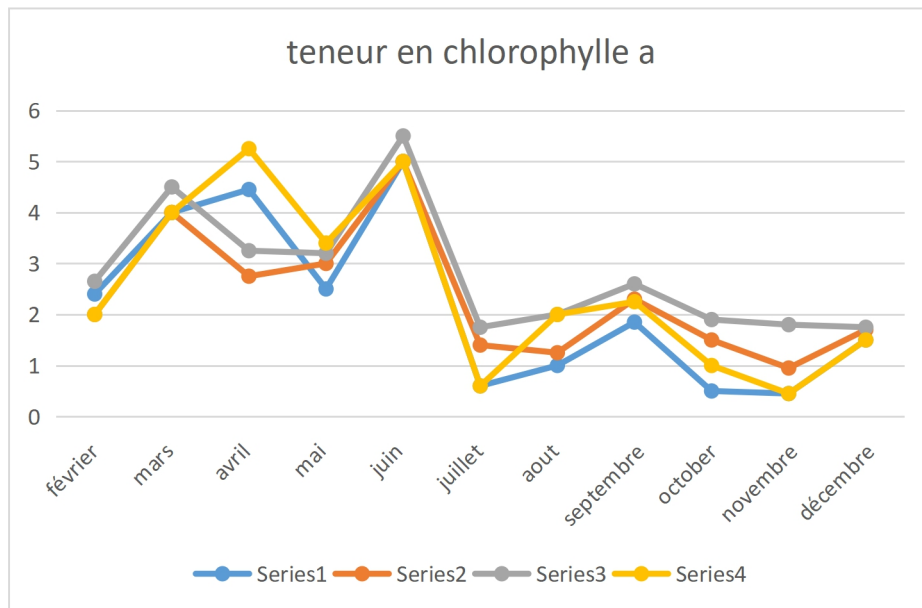
La production primaire due au phytoplancton EST très faible ET reflète les faibles valeurs des descripteurs de la biomasse de cette communauté planctonique photoautotrophe (densité ET chlorophylle a). Elle a varié de 300 µgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> .h<sup>-1</sup> (février à 2m) à 210,0 µg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> .h<sup>-1</sup> (juin à 3 m) (**Figure 8**).

Les variations temporelles font apparaître des valeurs élevées au printemps, le phytoplancton est alors composé essentiellement de la Chlorophycée *Ankidrodesmus falcatus* (23%) *Cosmarium marsonii*, *Oocystis* sp. et *Mallomonas fastigiata* (33%).

Ces activités relativement élevées sont à rattacher au développement de la population de la Cryptophycée *Cryptomonas marsonii* et à la Chlorophycée *Monoraphidium* sp. qui, malgré leurs faibles biovolumes spécifiques contiennent un taux important de chlorophylle a et ce qui leur confère une capacité photosynthétique importante. En période estivale, ces valeurs sont relativement plus faibles en réponse à la baisse de l'abondance phytoplanctonique. A la fin de l'étude qui coïncide avec la fin de la saison automnale, les valeurs de production primaire

diminuent en raison de la baisse de la température et de l'énergie lumineuse et de la faible biomasse phytoplanctonique.

#### 1.2.4- chlorophylle a



**Figure 9: Variations** spatio-temporelles des teneurs en chlorophylle a aux profondeurs 0m, 1m, 2m ET 4m

Les teneurs ET les variations spatiotemporelles de la chlorophylle a reflètent les faibles biomasses ET suivent globalement la même évolution que les densités phytoplanctoniques (**Figure 9**). Les valeurs ont varié de 0, 45  $\mu\text{g.L}^{-1}$  à 1 ET 4 m en novembre à 5, 50  $\mu\text{g.L}^{-1}$  enregistrées au mois de juin à 3m.

## **Conclusion**

## Conclusion

---

### Conclusion

Depuis quelques années, l'eutrophisation croissante des lacs se traduit par des phénomènes de proliférations du phytoplancton de plus en plus préoccupantes du fait de multiples problèmes liés à la toxicité potentielle de certaines espèces phytoplanctoniques.

Le phytoplancton représente un groupe systématique large et très diversifié, l'étude de l'écologie de cette communauté fait ressortir plusieurs modalités d'adaptation, de reproduction, de multiplication chez ces organismes plus une variété de forme et de morphologie qui représente le point essentiel de leur identification. La communauté de phytoplancton Na pas connus UN intérêt large en terme d'inventaire ET de systématiques dans la littérature Algérienne, les principales études effectués sur Ce groupement systématiques ont été réalisés dans la partie EST de l'Algérie principalement les régions de Annaba, El Taraf, Skikda et Guelma.

Le lac sidi mhamed benali EST UN site artificiel construit dans le but de maintenir les ressources en eau au niveau de la région de sarno.

La densité moyenne sur l'ensemble des prélèvements EST de  $2,505 \times 10^4$  cellules.L-1. Les variations saisonnières montrent que les densités sont très faibles en période hivernale, le peuplement phytoplanctonique est composé essentiellement de la cryptophycée, *Cryptomonas marsonii* qui représente plus 41% de la densité totale et qui nous a accompagnée tout au long de l'étude, de la cryptophycée, *C. ovata* (11%), et de la chlorophycée *Scenedesmus* sp. (13%). C'est en période printanière que les densités sont les plus élevées concomitantes avec la hausse de la température et l'apparition de la chlorophycée *Ankistrodesmus falcatus* qui domine le peuplement phytoplanctonique (38% de la densité totale) avec toujours la présence de la Cryptophycée *Cryptomonas marsonii* (14%), les Chlorophycées *Oocystis lacustris* (10%) et ne coïncident pas avec les fortes températures enregistrées en été.

Nous avons noté une chute des densités phytoplanctoniques qui pourrait être expliquée par la pression de prédation exercée par la communauté zooplanctonique dont nous avons remarqué visuellement une prolifération massive. Malheureusement, aucune étude n'a été effectuée jusqu'à présent concernant le zooplancton pour argumenter ET valider notre constatation. C'est ainsi que les fluctuations de la densité de *Cryptomonas marsonii* seraient liées à une pression de prédation sélective exercée par le zooplancton en raison de sa petite taille comme cela a été rapporté par

## Conclusion

---

**ALEYA et DEVAUX et BERGQUIST et al.** Par ailleurs, la prédation des métazoaires est probablement très importante à cette période de l'année et affecte la totalité des microorganismes de la boucle microbienne. Ces résultats témoignent de l'état d'équilibre de notre écosystème, c.a.d. que le phytoplancton est consommé au fur et à mesure qu'il est produit et aboutit à la clarification des eaux.

A l'issue de cette étude et lors de l'interprétation des résultats, il est apparu utile de faire certaines suggestions en vue de l'amélioration de la qualité des eaux des deux milieux :

- ✓ Empêcher l'arrivée des effluents riches en éléments minéraux dans le lac.
- ✓ Contrôler l'utilisation des engrais par les agriculteurs en les sensibilisant pour l'utilisation modérée des fertilisants.
- ✓ Un suivi physico-chimique et biologique de l'eau est imposé sur une durée plus importante, afin de constituer une base de données sur ces sites, particulièrement le dosage du phosphore et l'azote total.
- ✓ Poursuivre l'étude du phytoplancton et étudier les autres maillons de la chaîne trophique.

## **Références bibliographiques**



## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

**Abouabdellah. R.2012.** Étude des phycotoxines paralytiques ET lipophiles chez les mollusques bivalves de l'Atlantique sub marocain. Thèse de Doctorat en Sciences. Université Ibn Zohr. 174p.

**Anneville. O. Kaiblinger. C. Tadonlécé.R.D. Druart. J.C. ET Dokulil, M.T. 2008.** Contribution of Long-Term Monitoring to the European Water Framework Directive Implementation. Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference. Sengupta, M. ET Dalwani, R. (Eds). Pp: 1122-1131.

**Aouchiche. Met Salhi.M .2013-**les algues ET la qualité de l'eau du batchihaf (bejaia). Mémoire de master.63p.

**Arrignon. 1976. Aménagement** écologique ET piscicole des eaux. 5eme Edition Gauthier Villars.

**Azam .F. ET. Malfatti F.2007.** Microbial Structuring of marine ecosystems. Nature Reviews Microbiology. 5, Pp: 782-791.

**Barnabé. G. ET. Barnabé.Quet. R. 1997.**Ecologie aménagement des eaux côtières. Lavoisier. Pp: 131, 135,138.

**Barroin. 2003. Gestion** des risques Santé ET environnement: les lacs des nitrates, phosphore, azote ET prolifération des végétaux aquatiques. Courier de l'environnement, n°48.

**Beaux .2004.** Les milieux d'eau douce.Les lacs Pp: 20-21.

**Becerra .Celis. G., 2009.** Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans une photo bioréacteur continu. Thèse doctorat Génie des Procédés. École centrale Paris, 266p.

**Behrenfeld. M.J.Randerson .J.T. McClain. C.R. Feldman .G.C. Los S.O. Tucker. C.J.Falkowski .P.G. Field C.B. Frouin R. Esaias W.E. Kolber D.D ET Pollack N.H., 2001.** Biospheric primary production during an ENSO transition. Science, Pp: 2594–2597.

**Bengtsson. J. 1998.** Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. AppliedSoilEcology. 10 (3) Pp: 191-199.

**Bensafia. N. 2005.** Les peuplements de cyanobacteries de deux plans d'eau douce

## Références bibliographiques

---

(lac ouberia, lac Tonga inventaire el dynamique spatiotemporelle. Département des sciences de la mer, Université Badji-Mokhtar, Annaba. Magister en Sciences de la Mer: 110p.

**Berger. C. 2005.** Cyanobactéries du Bas Delta du fleuve Sénégal: diversité, toxicité, toxines ET risques associés. Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 211 p.

**Blandin. P. 1986.** Bioindicateurs ET diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin d'écologie, 17: Pp: 215-307.

**Bougis. P. 1974.** Ecologie du plancton Marin. L. Le phytoplancton. Masson et Cie, Parise. 196 p.

**Bourelly. P. 1972.** Les Algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome I: Les Algues vertes. Edition N. Boubée ET Cie, 512 p.

**Baki afaf 2020.** Systematic study of the phytoplankton biodiversity of the sidi mhamed Benali Lake of sidi bel abbes North-west Algeria, Eurasian journal of biosciences, eurasai j biosci 14, 7439-7444.

**Cadier. M.2016.** Diversité des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux en mer d'iroise : approche par la modélisation 3D, Bretagne occidentale. Doctorat, 338p

**Champiat. D. ET. Larpent. J.P.1994.** Biologie des eaux: Méthodes & Techniques, 2ème tirage. Pp: 24, 37, 39.

**Chaocachi. B. Ben Hassine. O.K. ET. Lemoalle J. 2002.** Impact du vent sur la Transparence des eaux de la lagune de l'ICHKEUL. Bull. Inst. Natu. Scien. Tech. Mer de Salammbö. Vol. 29. Pp: **Chisholm. S.W.1995.** The iron hypothesis: Basic research meets environmental policy. Reviews of Geophysics. 33: 95RG00743.

**CLAUDE FAURIE. CHRISTIANE FERRA. PAUL MEDORI. JEAN DEVAUX ET**

**Crossetti L. Bicudo D. Bicudo C. & Bini L. 2008.** Phytoplankton biodiversity changes in a shallow tropical reservoir during the hypertrophicatio process. Brazilian Journal of Biology 68: Pp: 1061-1067.

**Demers S. Therriault T. Bourget E. ET. Bah A. 1987.** Resuspension in the shallow

## Références bibliographiques

---

sub littoral zone of a macrotidal estuarine environment: Wind influence. *Limnol. Oceanogr.* 32: Pp: 327-39.

**Des Abbayes H. Chadeaud M. Feldmann J. De Ferre Y. Gausson H. Grasse P.P. ET. Prévot A.R. 1978.** Précis de botanique : 1 végétaux inférieurs. 2ème édit. Masson, Paris. Pp: 302-303.

**Édition.** 11 rue Lavoisier 75008 Paris.

**Dajor, 2003.** Précis d'écologie 7ème édition Dunod Paris. Pp: 576-586.

**El Haouati H. 2009.** Suivi des caractéristiques physico-chimiques ET phytoplanctoniques du lac de Réghaia (Wilaya d'Alger). Thèse de Magister. U.S.T.H.B. 160 p.

**El Badaoui Naima ép. Belkhir. 2016.** Etude de l'état trophique ET éco-toxicologique d'un milieu limnique: CAS du lac Sidi M'hamed Benali (ouest algérien). Thèse de doctorat. Pp 1, 2.

**Feki-Sahnoun W. 2013.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations phytoplanctoniques observées dans le réseau national de surveillance du phytoplancton dans le golfe de Gabès. Thèse de Doctorat. Université de Sfax. P: 33, 34.

**Filali R. 2012.** Estimation ET commande robuste de culture de micro-algues pour la valorisation biologique de CO<sub>2</sub>. Thèse doctorat Sciences ET Technologies de l'Information des télécommunications et des Systèmes, AUTOMATIQUE. HAL. 221p.

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

**Faurie C. Ferrac. Medorie P, Devaux J. Hempti . MSL. 2003.** Ecologie approche scientifique ET pratique, 5ème édition Tec ET Doc. Lavoisier p 407 (encyclopédie universelle 1999 France).

**Gailhard I. 2003.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations micro-algales côtières observées par le « Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines ». Thèse de doctorat. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille 2 ROOORO), 114p.

**Gana N. 2014.** Détermination de certains paramètres biochimiques urinaires chez le

## Références bibliographiques

---

rat wistar recevant UN régime cafeteria supplémenté en algues vertes. Mémoire Mastère physiopathologie cellulaire. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.41p.

**Gayral P. 1975.** Les Algues: morphologie, cytologie, reproduction ET écologie. Doin. Édit. Paris. P: 52,133-138.

**Germain. ET. Seguy.1957.** La faune des lacs ET des étanges ET des marais de l'europe occidentale. Edition: Paul, chevalier.

**Groga. N. 2012.** Structure, fonctionnement ET dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) Ecologie Fonctionnelle, L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE. Doctorat: 224.

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

**Wawiye P. Ogongo B. Tunje S. & Rakotoarinjanahary H. 2001.** Potentially Harmful microalgae of the Western India Ocean.Manuals and guides 41. Pp: 5,79.

**Harris.G.J.1986.** Phytoplankton ecology: Structure, function and fluctuation. Chapman and Hall, London.

**Herzi F. 2013.** Caractérisation chimique des exsudats du dinoflagellé Marin toxique *Alexandrium catenella* ET de la diatomée marine *Skeletonema costatum* ET étude de la réponse protéomique d'*Alexandrium catenella* en conditions de stress métalliques. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Université de Carthage (Tunisie) ET de l'Université de Toulon (France). P: 14, 24.

**Hudnell H.K.2008.** Cyan bacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Advances in Experimental Medicine and Biology (Vol. 619), SpringerVerlag, Berlin, Germany, 950 p.

**Hutchinson G.E.1957.** A treatise on Limnology. Geography, Physical and Chemistry. John Wiley and Sons. Vol. 1. Inc., New York, 1115 p.

**Hachemi Mohamed Riadh El achraf. 2020.** Démarche méthodologique par l'utilisation des données multi-sources pour cartographier la pollution du lac Sidi m'hamed ben Ali Pp26, 27. Université de Djillali Liabes Sidi Bel –Abbes.

**Idealg. 2014.** Étude de la consommation des algues alimentaires en France. Agrocampus Ouest. France.71p.

**Iltis A. 1980.** Les Algues 1. Pp: 55.59

**JEAN-LOUIS HEMPTINNE. 2012.** Écologie approche scientifique que ET pratique; 6e

## Références bibliographiques

---

- Lampert W. 1987.** Laboratory studies on zooplankton-Cyanobacteria interaction. New. Zeal. Jour. Mar. Fresh .RES. 21: 483-490.
- Ledreux A. 2010.** Contribution à l'évaluation du risque pour l'homme lors de l'apparition de neurotoxines émergentes: analyse de réponses cellulaires ET sélection de modèles expérimentaux de criblage. Thèse de Doctorat. AgroParisTech. P: 47, 43.
- Mollo P .et Noury A.2013.** Manuel du plancton C, Imayer, Paris, 21, 23-32p.
- Mollo P. ET. Noury A. 2013.** Le Manuel du plancton. Edition: ECLM. Paris. 198P
- Mhamdia chafic ET Bakki 2014.** Etude de L'eutrophisation de l'écosystème lacustre sidi mhammed benali de la wilaya SBA.
- Mokkedem mohamed salah, sadouki mohamed Ali ET toudert abd elwahab2014.** Contribution à l'étude du periphyton du lac sidi mhammed benali CAS des milieux: calme ET agités.
- NOËL. G. 2012.** Structure, fonctionnement ET dynamique du phytoplancton dans le lac Taabo (côte d'ivoire).
- Olivier R.L. ET. Ganf G.G. 2000.** Freshwater blooms. In Whitton B. A. & Potts M. (eds.). The Ecology of Cyanobacteria – Their Diversity in Time and Space. Kluwer Academic Publishers, Pp: 149-194.
- Ozenda P. 2000.** Les végétaux: Organisation ET diversité biologique. 2 Dunod éd. P: 9- 13.
- Padisák J. Borics G. Grigorszky I. Soróczki-Pinter E. 2006** Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive : the assemblage index. Hydrobiologia. 553 , Pp: 1-14.
- Paulmier G. 1972.** Phytoplancton ET microphytobenthos en rivière d'Auray. Leur rôle dans le cycle biologique des huîtres *Ostrea edulis* L. Thèse Doctorat Université de Provence. Mention Sciences.
- Rafiqul I.M. Jalal K.C.A. et. Alam M.Z. 2005.** Environmental Factors for Optimization of Spirulina Biomass in Laboratory Culture. Biotechnology 4(1) Pp: 1922.
- Ramade F. 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau, Pp: 707-709.
- Ramade F. 2002,** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris, Dunod, 1075 p.
- Reynolds C. S.1987.** Cyanobacterial water blooms. Adv. Bot. Res. 13, Pp: 67-143.

## Références bibliographiques

---

- Reynolds C. S.1998.** What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status. *Hydrobiologia*. 11 (26): Pp: 369-370
- Reynolds, C.S. Huszar. V.Kruk, C. Naselli-flores. L. ET. Melo S. 2002.** Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*. 24 Pp: 417-428.
- Roger P.A. 1996.** Biology and Management of the Flood water Ecosystem in Rice fields. IRRI. Editor William H. Smith 132 P.
- Roland A. 2009.** Dynamique et diversité du phytoplancton dans le réservoir marne (bassin versant de la Seine). Thèse de doctorat Université de Savoie.261p.
- Ramade F.1998.**Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau, Pp: 707-709.
- Ramade F.2000.** « Les polluants de l'environnement et de l'homme » dictionnaire.
- Salsamo N. Morabito G. Buzzi F. Garibaldi L.Simona M. Mosello R. 2006** Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia*. 563: Pp: 167-187.
- SANE S.2006-** contrôle environnemental de la production primaire du lac de Guiers au Nord du sénégal. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle. Université cheikh Anta diop-dakar.187p.
- Sialve B.Steyer J-P.2013.** Les microalgues, promesses ET défis. *Innovations agronomiques*. vol.26. (25-30), Pp: 25-39.
- SMAYDA TJ. 1980.** Phytoplankton succession. In: Morris (ed) *physiological Ecology of phytoplankton*. Oxford Blackwell scientific publications: Pp: 493-570.
- SMAYDA TJ. 1997.** Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea.*limnol,oceanogr.*, 42(5,supp2) : Pp: 1137-1153.
- Soudant D. Belin C. 2010** Évaluation DCE janvier 2010 Éléments d'expertise. Élément de qualité : phytoplancton. Rapport de l'Agence de l'eau : Artois-Picardie. 27p.
- Stockner J.G. Antia. N.J. 1986** Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: A multidisciplinary perspective. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43 : Pp: 2472-2503
- Thyssen M. 2008.** Analyse à haute fréquence spatiale et temporelle du phytoplancton

## **Références bibliographiques**

---

à l'aide de la cytométrie en flux automatisée et immergeable. Thèse de doctorat. pp.217. Thyssen M., Mathieu D., Garcia N., Denis M. (2008 a) Short-term variation of the phytoplankton assemblage in the bay of Marseille (France) monitored by in situ flow cytometry. Journal of Plankton Research Vol.30 No.9 1027- 1040

**Trégouboff G. et. Rose M. 1957.** Manuel de planctonologie méditerranéenne. Tome 1. CNRS, 128 P.

**Wiegand C. et. Pflugmacher S. 2005.** Ecotoxicological affects of selected cyanobacterial secondary metabolites: a short review Toxicol. Applied Pharmac. 203 Pp: 201-218.

**Wiegand C. et Pflugmacher S. 2005.** Ecotoxicological affects of selected cyanobacterial secondary met **Aouchiche. Met Salhi M .2013-**les algues et la qualité de l'eau du barrage tchihaf (bejaia). Mémoire de master.63p.

**Zaidi. 2005.Contribution** à l'étude physico-chimique de l'eau du lac sidi m'hamed Benali (wilaya SBA mémoire de fin d'étude d'ingénieur U.D.L SBA)

### **Web master :**

**Web master 01 :** <http://www.isto.fr /domaines /ecosystemes>.

**Web master 02 :** <http:// rappel.qc.ca /publications /informations –techniques /lacs /les composants –d un lac.html>.

**Web master 03 :** <http://www.un – spider.org / links – and-ressources /gis-rs-software /google –earth – engine-google>.

# **Annexes**

## Annexe

### Annex 1 : Nitrate en mg/L

Profondeur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
0m	0,040	0,030	0,020	0,020	0,000	0,035	0,015	0,015	0,015	0,010	0,025	0,050
1m	0,020	0,030	0,020	0,020	0,010	0,020	0,010	0,015	0,015	0,010	0,010	0,045
2m	0,040	0,030	0,020	0,020	0,010	0,020	0,010	0,015	0,015	0,010	0,025	0,035
4m	0,150	0,005	0,010	0,015	0,005	0,020	0,010	0,015	0,015	0,010	0,025	0,035
moyenne	0,063	0,024	0,018	0,019	0,006	0,024	0,011	0,015	0,015	0,010	0,021	0,041

### Annex 2 : Azote Total en mg/L

Profondeur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
0m	0,020	0,010	0,010	0,005	0,005	0,015	0,015	0,015	0,010	0,005	0,020	0,035
1m	0,035	0,010	0,015	0,005	0,005	0,010	0,005	0,005	0,015	0,015	0,000	0,045
2m	0,030	0,010	0,010	0,005	0,005	0,010	0,005	0,005	0,010	0,005	0,020	0,035
4m	0,035	0,020	0,015	0,005	0,005	0,020	0,010	0,010	0,005	0,005	0,025	0,045
moyenne	0,030	0,013	0,013	0,005	0,005	0,014	0,009	0,009	0,010	0,008	0,016	0,040

### Annex 3 : Orthophosphate en mg/L

Profondeur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
0m	0,20	0,30	0,20	0,10	0,20	0,20	0,05	0,15	0,25	0,20	0,25	0,80
1m	0,20	0,30	0,15	0,10	0,20	0,20	0,05	0,10	0,25	0,15	0,20	0,45
2m	0,35	0,30	0,15	0,10	0,15	0,20	0,05	0,10	0,20	0,15	0,25	0,60
4m	0,20	0,30	0,05	0,10	0,05	0,20	0,05	0,10	0,20	0,15	0,25	0,60
moyenne	0,238	0,300	0,138	0,100	0,150	0,200	0,050	0,113	0,225	0,163	0,238	0,613

### Annex 4: Phosphate Total en mg/L

Profondeur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
0m	0,085	0,370	0,015	0,015	0,010	0,010	0,010	0,025	0,035	0,025	0,040	0,080
1m	0,085	0,380	0,020	0,005	0,020	0,015	0,015	0,025	0,030	0,025	0,040	0,080
2m	0,506	0,370	0,020	0,015	0,015	0,015	0,015	0,025	0,050	0,025	0,040	0,120
4m	0,085	0,060	0,020	0,015	0,015	0,015	0,015	0,020	0,050	0,025	0,060	0,080
moyenne	0,190	0,295	0,019	0,013	0,015	0,014	0,014	0,024	0,041	0,025	0,045	0,090

### Annex 5 : Densité phytoplanctonique

Profondeur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
0m	4	4	4	41,5	30	37,5	15	17,5	27,5	27	17,5	7
1m	4	9,5	20,5	56	30	37,5	9,5	19	29,5	29,5	21	7,5
2m	6,5	12,5	38	0	37,5	32,5	35	20	42,5	30	16	11,5
4m	4	19	25,5	41,5	70	30,5	45	17,5	34	29,5	22,5	13,5
moyenne	4,625	11,250	22,000	34,750	41,875	34,500	26,125	18,500	33,375	29,000	19,250	9,875

## Annex 6 : Biomasse phytoplanctonique

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
	0,95	0,52	3,25	4,95	4,75	2,5	0,75	1,5	2,5	2,5	1,9	0,95
	0,95	2,5	2,95	4,6	4,75	2,75	0,75	1,5	3,3	2,5	1,9	0,95
	1	2,75	3,75	5,35	5,5	3	1	1,95	2,75	3,15	1,9	1
	0,95	2,75	2,75	5,5	5	2,5	1	1,95	2,75	3,15	1,5	0,95
moyenne	0,963	2,130	3,175	5,100	5,000	2,688	0,875	1,725	2,825	2,825	1,800	0,963

## Annex 7 : Production Primaire

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
	95	40	70	135	180	165	75	190	135	125	80	85
	80	30	85	125	180	165	75	175	175	150	80	75
	80	40	85	151	185	210	75	140	145	155	190	100
	70	40	85	159,5	190	190	75	120	175	150	110	100
moyenne	81,250	37,500	81,250	142,625	183,750	182,500	75,000	156,250	157,500	145,000	115,000	90,000

## Annex 8 : Teneur en Chlorophylle

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
	1,75	2,4	4	4,45	2,5	5	0,6	1	1,85	0,5	0,45	1,5
	1,9	2	4	2,75	3	5	1,4	1,25	2,3	1,5	0,95	1,7
	2,8	2,65	4,5	3,25	3,2	5,5	1,75	2	2,6	1,9	1,8	1,75
	1,75	2	4	5,25	3,4	5	0,6	2	2,25	1	0,45	1,5
moyenne	2,050	2,263	4,125	3,925	3,025	5,125	1,088	1,563	2,250	1,225	0,913	1,613
Profondeur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Nitrate	0,063	0,024	0,018	0,019	0,006	0,024	0,011	0,015	0,015	0,010	0,021	0,041
Orthophosphate	0,030	0,013	0,013	0,005	0,005	0,014	0,009	0,009	0,010	0,008	0,016	0,040
Azote total	0,238	0,300	0,138	0,100	0,150	0,200	0,050	0,113	0,225	0,163	0,238	0,613
Phosphate total	0,190	0,295	0,019	0,013	0,015	0,014	0,014	0,024	0,041	0,025	0,045	0,090
Densité phytoplanctonique	0,963	2,130	3,175	5,100	5,000	2,688	0,875	1,725	2,825	2,825	1,800	0,963
Chlorophylle a	2,050	2,263	4,125	3,925	3,025	5,125	1,088	1,563	2,250	1,225	0,913	1,613
Production primaire	81,250	37,500	81,250	142,625	183,750	182,500	75,000	156,250	157,500	145,000	115,000	90,000
Biomasse phytoplanctonique	4,625	11,25	22	34,75	41,875	34,5	26,125	18,5	33,375	29	19,25	9,875