

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique
Université Chadli Bendjedid
El Tarf



جامعة الشاذلي بن جديد
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشاذلي بن جديد
الطارف

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie

كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم العلوم البيولوجية



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master 2 Recherche en

« Toxicologie industriel et environnemental »

THÈME

**Contribution à l'étude de l'inventaire des phytoplanctons au
niveau du lac Oubeira (PNEK El tarf)**

Présenté Par : NECER Khaled

NAFAA Imen

Devant le jury composé de :

Mme : TOUILWidad	MCB	Présidente	UCBET
Mr : BELDI Moncef	MAA	Examineur	UCBET
Mme : GHERIB Imane	MAA	Promotrice	UCBET

Année universitaire 2020 - 2021



Remerciement



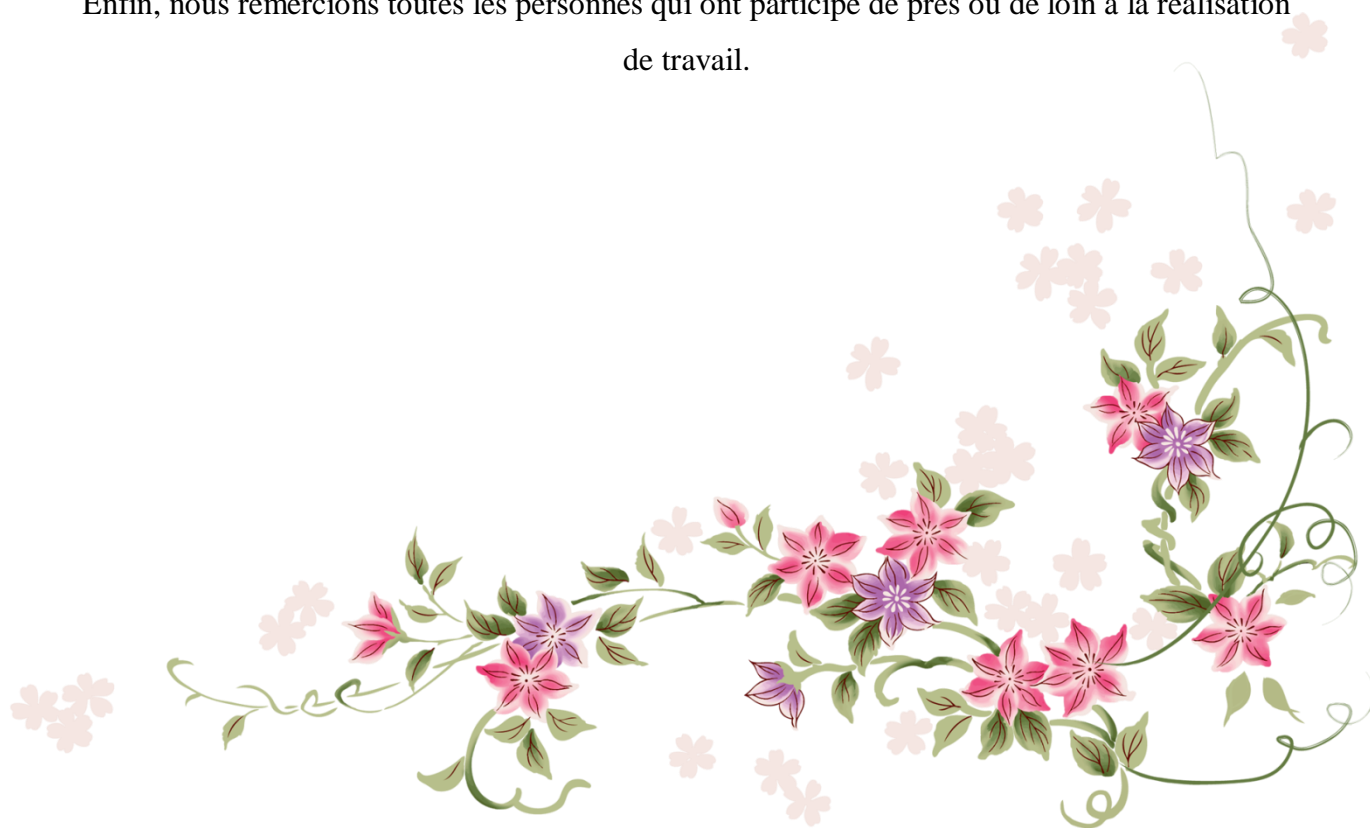
Nous remercions avant tous. *Allah* le tout puissant de nous avoir donné la force de bien mener ce modeste travail.

Nous voudrions exprimer notre profonde gratitude à madame « *Gherik Imene* » pour avoir accepté d'assurer notre encadrement. Ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer pour mener à bien cette étude.

Nous vif remercions vont également aux *membres du jury* pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur proposition.

Nous remercions de tout cœur Mr *Benoumechiara Zouhir* pour avoir mis à notre disposition tous les moyens humains et matériels, nécessaires au bon déroulement de notre étude, et en particulier les matériels de laboratoire.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de travail.



Dédicaces



Avant tous, Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce présent travail. Pour toute la protection, l'assistance dans toute ma vie.

Toute l'encre du monde ne pourrait suffire pour exprimer mes sentiments envers papa « Djebar ».

Je voudrais te remercier pour ton amour, ta compréhension... Ton soutien, J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

Aucune dédicace très chère maman « Khaoukha », ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous.

Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester. Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

A mon cher frère Houssem et sa jolie femme « Randa » et mes charmantes sœurs Samah, Hamida, Sandra, et ma belle petite sœur Chourouk et mes petites anges « Mouhamed, Loudjain, Anes, Fadi et Iline » que Dieu les protège pour toujours.

A toute ma famille Nafaa

A ma chère ami Khaled et toute sa famille « Necer ». Je te souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.

A tous mes amies pour tous les moments passés ensemble Chocolata, Merieme, Fola, Chaima, Oumaima, Fawba, Chahra Zed, Loubna, Hayette, Souad, Feriel

A toute ma promotion TIE (2020/2021)

Imen

Dédicaces



Je remercie ALLAH, le tout puissant pour m'avoir aidé à élaborer ce travail et qui m'a donné la patience par rapport aux moments difficiles rencontrés sur mon chemin.

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont soutenue tout au long de ma vie.

A papa «L'Ouchatchi » qui m'a toujours aidé à faire le bon choix dans ma vie et qui m'a aidé avec son soutien et ses conseils.

A ma tendre mère «Noura " qui m'a beaucoup aidé par son soutien, sa compréhension et ses encouragements.

A mes charmantes sœurs Wafa, Ahlem, Nour El Houda, Imene et la petite princesse « KENZA Yasmine » que Dieu les protège pour toujours.

A toute la famille Necer, Ziani, Mourakel, Grèrra, Belhacene, Benlaiche

A mes tantes et mes oncles (Mohamed, Abed Rahmane)

A ma chère amie Imene et toute sa famille

A tous mes amies, Akram, Mouhammed Amine, Badr Elddine, Rabeh, Ramzi, Sami, Abd El Aziz, Hassane, Housin, Rabie, Ibrahime Hamza, Mounira, Ghalia, Hamida, Siheme, Hafiza, Zahra, Loubna, Hayatte, , Chakra Zed

A toute ma promotion TIE (2020/2021)

A tous ceux qui sont pour la science, le savoir je dédie ce travail.

Khaled

Résumé

Notre étude porte sur la composition et la distribution des phytoplanctons au niveau du lac Oubeira. Des prélèvements sont effectués au niveau de 06 stations au mois de février 2021.

Les paramètres de croissance sont mesurés, pour mieux souligner la répartition spatiale des phytoplanctons dans le site d'étude.

La composition phytoplanctonique du lac Oubeira nous a permis d'identifier 07 divisions dont 32 genres de la communauté phytoplanctonique tel que *Melosira sp*, *Navicula sp*, *Closterium Sp*, *Euglen Sp*, *Mallomonas sp*, *Aulacoseira sp*.

L'analyse de l'évolution de la densité des phytoplanctons a montré une variation en fonction de l'espace.

La répartition spatiale du phytoplancton lors de la période étude, indique une dominance des *Diatomophycées* et des *Cyanophycées*. Ainsi que la station (S3) Demnet Errihana abrite le pourcentage le plus haut de 21 % à la densité totale des phytoplanctons. Ceci est lié vraisemblablement à l'interaction de plusieurs facteurs tels que : L'oxygène dissous qui assure le développement des phytoplanctons,

Mots clés : *Diatomophycées*, *Cyanophycées*, Répartition spatiale densité, paramètres de croissance, phytoplancton.

Abstract

This study focuses on the phytoplankton composition of the Lake Oubeira. Samples are taken at 06 stations in the month of February 2021. The growth parameters are measured to better underline the spatial distribution of phytoplankton in the study site.

The spatial distribution of phytoplankton during the study period. We have identified 07 divisions, including 32 genera phytoplankton community such as *Melosira sp*, *Navicula sp*, *Oscillatoria sp*, *Closterium Sp*, *Euglen Sp*, *Mallomonas sp*, *Aulacoseira sp*.

The analysis of the evolution of the Phytoplankton density showed a variation according to the space. *Diatomophyceae* and *Cyanophyceae*. Dominates the phytoplankton composition of the Lake Oubeira.

As well as the station (S3), Demnet Errihana houses the highest percentage of 21%. This is probably related to the interaction of several factors such as dissolved oxygen, which ensures the development of phytoplankton,

Key words: *Diatomophyceae*, *Cyanophyceae*, Spatial density distribution, growth parameters, phytoplankton.

الملخص

تركز هذه الدراسة على تكوين وتوزيع العوالق النباتية في بحيرة اوبيرا . العينات أخذت من 06 مواقع في شهر فيفري 2021 وقد تم قياس معايير النمو للتأكد بشكل أفضل على التوزيع المكاني للعوالق النباتية لقد حددنا 7 شعب و 32 نوعاً من مختلف العوالق النباتية مثل *Melosira sp* و *Navicula sp* و *Oscillatoria sp* و *Closterium Sp* و *Euglen Sp* و *Malomonas sp*, *Aulacoseira sp*. كما أظهر تحليل تطور كثافة العوالق النباتية تبايناً وفقاً للمواقع. يشير التوزيع المكاني للعوالق النباتية خلال فترة الدراسة إلى هيمنة *Diatomophyceae* و *Cyanophyceae*, وأن الموقع رقم 03 (دمنت الريجان) يضم أعلى نسبة من العوالق بـ 21٪. من تكوين العوالق النباتية لبحيرة اوبيرا.. قد يكون هذا مرتبطاً بتفاعل عدة عوامل مثل: الأكسجين الذائب الذي يضمن تطور العوالق النباتية.

الكلمات المفتاحية: توزيع الكثافة المكانية، معاملات النمو، العوالق النباتية.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Schéma de classification des différents groupes d'algues	18
02	Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique	30
03	Les différentes stations étudiées.	38
04	Composition taxonomique des phytoplanctons au niveau du Lac Oubeira	50

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Cycle de l'eau	03
02	Développement de bloom à Cyanobactéries	11
03	Les différentes formes du phytoplancton.	17
04	Les différentes formes des Cyanobactéries.	20
05	Les chlorophycées.	21
06	Les xanthophycées.	22
07	Les chrysophycées	23
08	Les cryptophycées	24
09	Les dinoflagellés.	25
10	Les euglènes.	25
11	Carte de zonage du Parc National d'El Kala	36
12	Schéma d'un Filet à plancton	42
13	Variation de la température dans lac Oubeira	46
14	Variations de potentiel Hydrogène de différentes stations des Lac Oubeira.	46
15	Variations de la conductivité de différentes stations du Lac Oubeira	47
16	Variations de l'oxygène dissous de différentes stations du Lac Oubeira.	48
17	Variations de la turbidité de différentes stations du Lac Oubeira.	48
18	Répartition spatiale des taux phytoplanctoniques (%) au niveau de Lac Oubeira	52
19	La densité totale des phytoplanctons selon la division (%) au niveau de Lac Oubeira	52
20	Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 01 du Lac Oubeira	53
21	Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 02 du Lac Oubeira	54
22	Variations de la densité de différentes espèces et les familles des phytoplanctons dans la station 03 du Lac Oubeira	54
23	Variations de la densité de différentes espèces et les familles des phytoplanctons dans la station 04 du Lac Oubeira	55
24	Variations de la densité de différentes espèces et les familles des phytoplanctons dans la station 05 du Lac Oubeira	55
25	Variations de la densité de différentes espèces et les familles des phytoplanctons dans la station 06 du Lac Oubeira	56

Liste des photos

N°	Titre	Page
01	Localisation des stations de prélèvement	39
02	Les six stations de prélèvements	40
03	Les mesures sur terrain à l'aide d'un multi paramètre	41
04	Technique de récolte les phytoplanctons	43
05	Echantillons d'eau	45
06	Microscope inversé	45
07	Les rejets domestiques de la commune du lac Oubeira	60

Liste des abréviations

DCE : Directive cadre de l'eau.
SEQ-Eau : Le système d'évaluation de la qualité
L'ONU : Organisation des Nations Unies.
L'ABH : Agence de Bassin Hydrographique
T : Température.
Ph : Potentiel d'hydrogène.
NTU : Nephelometric Turbidity Unit.
EC : Conductivité électrique.
Od : Oxygène dissous.
Eh : Potentiel redox
TH : Titre hydrotimétrique.
Alc : Alcalinité.
TAC : Titre Alcalimétrique complet.
TDS : Sels dissous.
DBO : Demande biochimique en oxygène.
DCO : Demande chimique en oxygène.
MES : Matières en suspension.
MO : Matières organique.
CT : Coliformes totaux.
CF : Coliformes fécaux.
m : Mètre
m³ : Mètre cube
mg : Milligramme
ml : Millilitre
mg/l : Milligramme par litre.
% : Pourcentage.
°C : Degré celsius.
cm : Centimètre
D.N.H. : Direction Nationale de l'Hydraulique
Fév. : Février
g : Gramme
g/L : Gramme par litre

h : Heure

Km : Kilomètre

m³/h : Mètre cube par heure.

m³/j : Mètre cube par jour.

mn : Minute.

m³/s : Mètre cube par seconde.

Na⁺: Ion sodium.

NO₃⁻ : Nitrates.

NO₂⁻ : Nitrites.

NH₄⁺ : Ammoniaque.

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé.

°C : Degré Celsius.

UTN : Unité Néphélométrique Turbidité.

µm : micromètre.

µS/cm : microsiemens par centimètre.

FTU: Formazine Turbidity Unit.

ASTM: American Society for Testing Material.

S/m: Le siemens par mètre.

ISO : L'Organisation Internationale de Standardisation.

NF : Norme française.

ADN: Acide Désoxyribo Nucléique.

O.M .S: Organisation mondiale de la santé

N: L'azote.

P : Le phosphore.

Fig. : figure

Sommaire

Introduction	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'EAU	
I.1. Définition de l'eau	3
I.1.1. La molécule de l'eau	3
I.1.2. Importance de l'eau	4
I.1.3. La pollution de l'eau	4
I.1.4. Sources de pollution de l'eau	5
I.2. L'eau dans la nature	5
I.2.1. L'eau douce	6
I.2.2. Eaux des lacs	6
I.3. L'eutrophisation des eaux douces	7
I.3.1. Définition de l'eutrophisation	7
I.3.2. Le processus d'eutrophisation	9
I.3.3. Les cause de l'eutrophisation	9
I.3.4. Conséquences de l'eutrophisation	10
I.3.5. Le phytoplancton, indicateur de l'eutrophisation	12
CHAPITRE II : LES PHYTOPLANCTONS	
II. Les Phytoplanctons	14
II.1. Généralités sur les phytoplanctons	14
II.2. La place des phytoplanctons dans le réseau trophique	15
II.3. Description morphologique des phytoplanctons	16
II.4. Description taxinomique	17
II.5. Description des principales classes du phytoplancton	19
II.5.1. Les cyanobactéries	19
II.5.2. Les chlorophycées	20
II.5.3. Les xanthophycées	21
II.5.4. Les chrysophycées	22
II.5.5. Les diatomées (Bacillariophycées)	23
II.5.6. Les cryptophycées	23
II.5.7. Les dinoflagellés	24
II.5.8. Les euglènes	25
II.6. Ecologie du phytoplancton	26

II.7. Effets de la prolifération des algues sur le milieu	26
II.8. Eutrophisation et risques sanitaires	27
II.9. Le phytoplancton indicateur de qualité biologique	27

CHAPITRE III : LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU

III. Les paramètres physico-chimiques de l'eau	29
III.1. Les paramètres physiques	29
III.1.1. Température (°C)	29
III.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	29
III.1.3. La conductivité électrique (CE)	29
III.1.4. Oxygène dissous	30
III.1.5. Les Résidus Secs	31
III.2. Paramètres relatifs à la pollution organique	31
III.2.1. Demande biochimique en oxygène (DBO)	31
III.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	31
III.3. Les paramètres chimiques	32
III.3.1. L'azote ammoniacal	32
III.3.2. Les Nitrites (NO ₂ ⁻)	32
III.3.3. Les nitrates (NO ₃ ⁻)	33
III.3.4. Les phosphates (PO ₄ ⁻³)	33
III.4. Evaluation de la qualité des eaux	34
III.4.1. Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)	34
III.4.2. La qualité physico-chimique des cours d'eaux	34
III.5. Normes et classes de la qualité des eaux superficielles	35

CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES

IV. Matériels et méthodes	36
IV.1. Présentation de zone d'étude	36
IV.1.1 Importance écologique du lac	37
IV.1.2 Topographie	37
IV.1.3 Facteur hydrique	37
IV.1.4 Biodiversité du lac Oubeïra	37
IV.2. Présentation de site d'échantonnage	38
IV.3. Présentation du matériel technique d'étude	41
IV.4. Mesure des paramètres physiques	41

IV.5. Mesure les paramètres biologiques	42
IV.5. 1 Récolte des échantillons des Phytoplanctons	42
IV.6. Identification et dénombrement des phytoplanctons	44
IV.6.1. Identification des phytoplanctons	44
IV.6.2. Dénombrement des phytoplanctons	44
CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION	
V. Résultats et discussions	46
V.1. Caractéristiques du paramètre physico-chimique du Lac Oubeira	46
V.1.1 .La température	46
V.1.2. Le potentiel hydrogène	46
V.1.3. Conductivité électrique	47
V.1.4. Oxygène dissous	47
V.1.5. Turbidité	48
V.2. L'identification et l'inventaire des populations phytoplanctoniques récoltés au niveau du Lac Oubeira	49
V.2.1. Identification des phytoplanctons récoltés	49
V.2.2. Répartition de la densité totale des phytoplanctons	52
V.2.3. La densité totale des phytoplanctons	52
V.2.3. La répartition spatiale des phytoplanctons récoltés	53
Discussion générale	57
Conclusion	61
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction

Le milieu aquatique d'eau douce est soumis à une série de paramètres dont les plus importants sont sa composition chimique, son contenu biologique, sa température et la périodicité de son éclairage. A ces paramètres s'ajoutent le climat et la nature géologique du terrain, facteurs qui influencent sur les caractéristiques du milieu aquatique est loin d'être négligeable (**Nasri, 2001**).

Les algues sont des végétaux chlorophylliens qui se développent dans les eaux ou dans les milieux humides (**Iltis, 1981**). Elles constituent une part importante de l'écologie des milieux aquatiques (**Gayral, 1975**). Aussi, le premier maillon de la chaîne alimentaire en milieu aquatique qui produisent près de 70 % de l'oxygène atmosphérique (**Catarini, 1985**) et sont ainsi au cœur du monde vivant (**Chadefaud, 1960**).

Les microorganismes photosynthétiques occupent une fonction clé au sein des écosystèmes. Elles présentent une grande variété de modes de vies (mobiles, dérivant dans la colonne d'eau ou sessiles) et de morphologies cellulaires (sphériques, ovoïdes, fusiformes, cylindriques et même pyramidales). Ces organismes vivent principalement en cellules isolées de quelques microns à plusieurs centaines de microns pour les cellules les plus volumineuses, et parfois en colonies. Du fait de ces caractéristiques uniques, les microalgues sont aujourd'hui valorisées dans de nombreux domaines et notamment les industries pharmaceutiques, agroalimentaires, cosmétiques et aquacoles (**Spolaoreet al. 2006**).

Les proliférations d'algues peuvent avoir un impact majeur sur le fonctionnement des écosystèmes ainsi que sur la santé humaine et animale, autant lors de la consommation de l'eau que lors de loisirs aquatiques, elle est favorisée par des facteurs principaux qui sont : les concentrations élevées en nutriments (phosphore et azote), stabilité élevée de la colonne d'eau au moment de l'efflorescence et les conditions météorologiques (luminosité et température). Ces efflorescences peuvent avoir de nombreuses conséquences sanitaires, écologiques et économiques et peuvent entraîner des dysfonctionnements écologiques majeurs (anoxie, eutrophisation, pollution organique) pouvant conduire à des mortalités de macro invertébrés et de poissons (**Jones, 1987**).

La croissance algale est favorisée par des caractéristiques optimales particulières (Température, pH, ensoleillement, nutriments, etc.). La toxicité du phytoplancton est un

problème dont l'importance est grandissante dans le monde. En fait , il semble que les efflorescences toxiques soient de plus en plus fréquentes et associées à l'eutrophisation qui dépend de la géomorphologie et l'hydrodynamisme (profondeur et mélange des couches d'eaux, taux de renouvellement des eaux, les bassins versants des grands fleuves, le volume d'eau, et les apports d'eau douce (apports fluviaux et précipitation) des facteurs physicochimiques (oxygène dissous, température, lumière, turbidité et pH) et également l'enrichissement des eaux en nutriments essentiellement le phosphore et l'azote qui vont favoriser la croissance algale (**Lacaze 1996**).

Le lac d'Oubeira est un écosystème aquatique qui appartient à un ensemble biogéographique, exceptionnel par sa diversité biologique.

Nous sommes fixés pour objectifs dans cette étude

- La détermination de la qualité physico-chimique des eaux au niveau du lac Oubeira.
- L'identification et l'inventaire des populations phytoplanctoniques qui peuplent le lac Oubeira
- Suivi leurs répartitions et distributions spatiales au niveau du lac.

I.1. Définition de l'eau

I.1.1. La molécule de l'eau

L'eau ou oxyde dihydrogène est définie comme étant un liquide incolore. Dans sa phase gazeuse l'eau se compose des molécules libres H₂O dont l'angle H-O-H est de 105° (Martin et Hine., 2008).

La structure d'eau liquide est encore controversée, le collage d'hydrogène de type .H-O-H impose un degré élevé de structure (Daintith, 2008). La molécule d'eau est constituée d'un édifice électronique stable, qualitativement semblable au néon.

Le mot "eau" vient du latin aqua, c'est un composé chimique ubiquitaire sur la terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. Il se trouve en général dans son état liquide. L'eau est quelque fois désignée sous le nom de : solvant universel (Quemerai ; 2005).

Près de 70 % de la surface de la terre est recouverte d'eau (97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce), essentiellement sous forme d'océans (Quemerai; 2005).

Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, un fleuve, une rivière, un ruisseau, un canal...etc, et la circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique (figure 1).

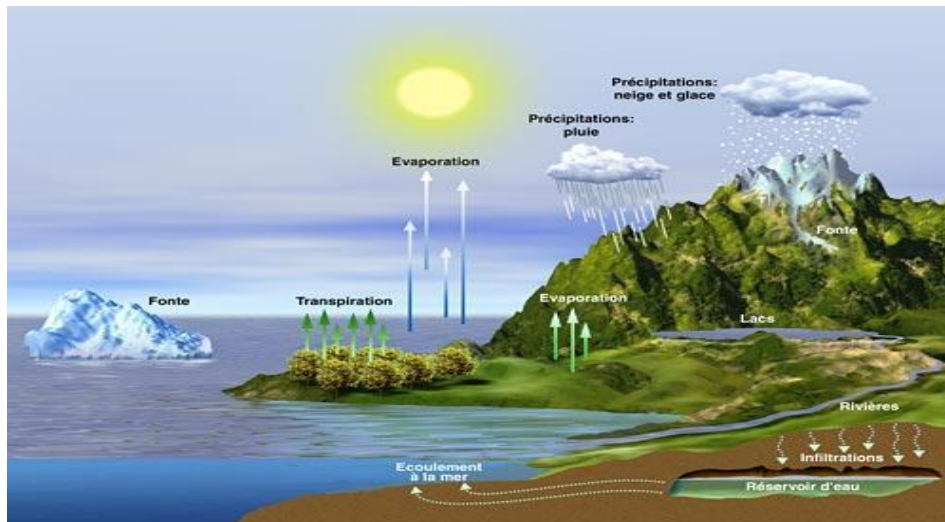


Figure 1 :Cycle de l'eau dans la nature (Aubourg et al. 2000)

I.1.2. Importance de l'eau

L'eau est essentielle à la vie : il s'agit d'une ressource vitale pour l'humanité et le reste du monde vivant. Tout le monde en a besoin, et pas uniquement pour boire. Nos rivières, lacs, eaux côtières et marines, ainsi que nos eaux souterraines, sont de précieuses ressources que nous devons protéger (CE, 2011).

L'eau est au cœur des écosystèmes naturels et de la régulation climatique. Le cycle hydrologique est le nom donné au mouvement continu de l'eau en dessous, au-dessus et à la surface de la Terre, qui, sans début ni fin, traverse les états liquide, gazeux et solide. Bien que la quantité d'eau sur Terre reste tout à fait constante au fil du temps, la structure de l'offre et de la demande est particulièrement vulnérable aux changements climatiques. Pour le siècle à venir, les scientifiques mettent en garde contre une réduction de l'accès à l'eau potable, due à la fonte des glaciers et à l'augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse dans des régions comme la Méditerranée. Ce phénomène entraînera une réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et la production alimentaire (CE, 2011).

La pollution et la rareté de l'eau menacent la santé et la qualité de vie de l'homme. Or, des préoccupations écologiques plus larges entrent également en ligne de compte. Le libre écoulement des eaux, inaltéré par la pollution, est important pour soutenir les écosystèmes dépendant de l'eau. Une pénurie d'eau de qualité nuit aux environnements aquatiques, terrestres et à ceux des zones humides en exerçant une pression supplémentaire sur la faune et la flore, qui subissent déjà les conséquences de l'urbanisation et du changement climatique (CE, 2011).

I.1.3. La pollution de l'eau

L'eau est la deuxième en importance après l'air pour la vie humaine sur Terre. Notre eau est composée d'eau de surface telle que les rivières, les lacs, les mers et d'eau souterraine (Jeng, 2007). La pollution de l'eau décrit généralement l'introduction ou la présence des substances nocives ou inacceptables dans l'ampleur suffisante pour modifier les indices de qualité de l'eau naturelle (Nsikak, 2008).

La pollution de l'eau douce (par exemple par le biais de l'eutrophisation, l'acidification, et la pollution des eaux souterraines) est celle qui diminue sa pureté (Park, 2007).

I.1.4. Sources de pollution de l'eau

En général, les eaux souterraines sont moins vulnérables à la pollution que les eaux de surface (**Fawell et. Nieuwenhuijsen, 2003**)

Il existe des sources naturelles de contamination des eaux, tels que les ressorts des poisons, les suintements de pétrole, l'érosion et la sédimentation ; mais la plupart des discussions sur la pollution de l'eau se rapportent aux changements d'origine humaine qui affectent la qualité de l'eau ou son utilisation (**Cunningham, 2003**).

La pollution de production peut être considérée sous la rubrique des quatre grands secteurs d'activités humaines : l'industrie, l'énergie, le transport et l'agriculture.

Avec l'augmentation marquée de la population et l'industrialisation, un nouvel ensemble des polluants est apparu. (**Goldstein, 2002**)

I.2. L'eau dans la nature

Oxyde dihydrogène (H₂O), une substance qui existe abondamment en phase solide, liquide et gazeuse sur la surface terrestre et dans l'atmosphère. (**Storm, 2008**).

La majorité de cette eau est salée, elle se trouve dans les océans et les mers (97,2 %). L'eau douce est répartie entre les glaciers, les nappes souterraines, les lacs, les cours d'eau et l'atmosphère, sous forme de vapeur. Bien que seulement 2% d'eau douce est disponible pour la boisson et l'irrigation, et presque la moitié des humains manquent d'accès à un approvisionnement suffisant d'eau potable (**In Dictionary of Public Health, 2007**)

Le volume approximatif de l'eau de la Terre (toutes les réserves d'eau du monde) est de 1 360 000 000 km³. Dans ce volume :

- 1 320 000 000 km³ (97,2 %) se trouvent dans les océans,
- 25 000 000 km³ (1,8 %) se trouvent dans les glaciers et les calottes glaciaires,
- 13 000 000 km³ (0,9 %) sont des eaux souterraines,
- 250 000 km³ (0,02 %) sous forme d'eau douce dans les lacs, les mers intérieures et les fleuves,
- 13 000 km³ (0,001 %) sous forme de vapeur d'eau atmosphérique à un moment donné.

L'eau liquide est trouvée dans toutes sortes d'étendues d'eau, telles que les océans, les mers, les lacs, et de cours d'eau tel que les fleuves, les rivières, les torrents, les canaux ou les étangs. La majorité de l'eau sur Terre est de l'eau de mer. L'eau est également présente

dans l'atmosphère en phase liquide et vapeur. Elle existe aussi dans les eaux souterraines (aquifères) (**Banque Mondiale, 2002 & UN-Water**).

I.2.1.L'eau douce

Environ 99,9 % des eaux douces de la planète se trouvent dans les glaciers, dans les champs de glace, ou encore sous la terre. Cependant, le mince pourcentage d'eau douce que nous connaissons provient de l'eau de surface (lacs, rivières et terres humides), de l'eau atmosphérique ou de l'eau souterraine. Selon certaines estimations, l'eau souterraine, répartie sur toute la surface du globe, forme une épaisseur de 120 m. Les scientifiques estiment la quantité d'eau douce mondiale à plus d'un milliard de kilomètres cubes (**Klymchuk, 2008**).

L'eau douce est vitale : elle nourrit les plantes et les animaux de presque tous les écosystèmes, même ceux du désert. Les écosystèmes aquatiques constituent les écosystèmes les plus grands et les plus stables des systèmes écologiques naturels et /ou artificiels, illustrant de mieux l'importance de l'eau douce : les lacs, les étangs, les cours d'eau, les ruisseaux et les terres humides en aidant à la survie d'une grande diversité d'espèces (microorganismes, zooplancton et phytoplancton), et jouent un rôle écologique essentiel (**ONU, 2000**).

Dans les eaux douces, les conditions écologiques sont d'autant plus précaires que l'étendue d'eau est de petite dimension, car aucun effet tampon n'est possible. Ainsi quand il fait chaud, l'eau s'évapore jusqu'à l'assèchement ; quand il pleut c'est le phénomène inverse (**Zaafour, 2008**).

L'eau douce est une ressource naturelle dont la partie utilisable par l'homme est limitée. Cela signifie qu'il faut la gérer comme un capital : un stock dont on doit préserver la quantité et les qualités, c'est pour ça l'homme a pensé à la conserver (**ONU, 2000**).

I.2.2. Eaux des lacs

Les lacs se forment lorsque les eaux qui coulent le long des pentes, cours d'eau ou eaux de ruissellement, rencontrent un obstacle, une contre-pente, qui les empêche de poursuivre leur course. Les eaux envahissent alors la dépression ainsi créée formant des étendues d'eaux parfois immenses, à tel point que certains grands lacs sont appelés des mers comme la mer Caspienne avec ses 371 000 kilomètres carrés de superficie (**ONU, 2000**).

Ces dépressions sont dues le plus souvent aux creusements des sols réalisés par d'anciens glaciers. D'autres résultent de barrages naturels souvent dus à des dépôts glaciaires, laissés il y a 10 000 ans, mais aussi parfois à des éboulements, à des coulées de laves de volcans ou même à des volcans. D'autres encore sont dus à des déformations tectoniques de l'écorce terrestre. Il existe enfin des lacs de cratères (ONU, 2000).

Des lacs, il en existe partout dans le monde, et à toutes les latitudes, même s'ils sont particulièrement nombreux dans les régions subpolaires et de montagne. Tous ne sont pas alimentés par un cours d'eau. Certains ne reçoivent que des eaux de ruissellement, tandis que d'autres sont essentiellement alimentés par des eaux souterraines. Mais tous sont capables de stocker l'eau quand il y en a, en période de forte pluviosité ou de fonte des glaciers, et de la rendre aux cours d'eau, quand elle manque, au moment de la saison la plus sèche (CNRS, 2008).

Comme les mers et les océans, les lacs alimentés par des cours d'eau reçoivent en permanence quantité d'alluvions et de sels dissous. Par nature, si rien n'est fait, de tels lacs sont condamnés à être progressivement comblés par ces alluvions qui s'accumulent progressivement sur leurs fonds. Les sels dissous peuvent également s'accumuler dans certains lacs. Cela se produit lorsque l'évaporation est intense par rapport aux entrées d'eau : au cours de l'évaporation en effet, seules les molécules d'eau s'échappent dans l'atmosphère, laissant les composés dissous dans les eaux du lac où leur concentration augmente, ce qui stimule la croissance des algues et des plantes aquatiques menant à l'eutrophisation (CNRS, 2008).

I.3. L'eutrophisation des eaux douces

I.3.1. Définition de l'eutrophisation :

L'importance de la ressource « eau » a émergé devant le constat que de nombreux pays souffrent actuellement de pénuries d'eau mais, surtout, devant les prédictions pour les vingt-cinq prochaines années. Celles-ci indiquent que 49% de la population vivront avec moins de 1700 m³ d'eau, soit une quantité d'eau inférieure au seuil établi par l'ONU pour définir une situation de pénurie d'eau (BOUCHARD, 2004). L'origine de cette pénurie planétaire d'eau vient du fait que l'eau douce ne représente qu'une part infime de la réserve mondiale, soit 2,5% (www.webencyclo.com, 2004). En plus certains facteurs contribuent à la diminution de l'offre. C'est le cas de la dégradation des écosystèmes

aquatiques en même temps que de la qualité de leurs eaux, conduisant généralement au phénomène d'eutrophisation (**Wetzel et Likens, 2000**).

Dans le monde, l'eutrophisation devient un important problème (**Orive et al. 2002**). Ce processus est défini comme étant le développement d'une production biologique importante des plans d'eau par un apport augmenté des éléments nutritifs utiles à la croissance des plantes ou autres producteurs primaires (**Chorus & Bartram, 1999 ; Paerl et al., 2001; Havens et al., 2003**), les substances eutrophisantes incriminées sont avant tout le phosphore et l'azote car ces deux éléments limitent généralement la croissance des producteurs primaires plus que tout autre élément (**Champiat&Larpen, 1998; Wetzel&Likens, 2000**), **Champiat&Larpen (1998)** rajoutent que d'autres facteurs physiques (éclairage, température,...etc.) et chimiques (le carbone, les micropolluants organiques) semblent jouer un rôle important dans ce processus.

Ce phénomène qui menace les lacs et les rivières se traduit par une modification de la transparence et de la coloration des eaux due à la prolifération d'algue. Cette menace est de plus en plus préoccupante du fait de multiples problèmes liés à la toxicité potentielle de certaines espèces phytoplanctoniques (**Carmichael, 1993**).

On distingue l'eutrophisation naturelle de l'eutrophisation anthropique, la deuxième étant un processus accélérant de façon drastique l'évolution du plan d'eau vers un état eutrophe(**Chorus et Bartram, 1999**). Cela représente un problème croissant pour les activités économiques liées au milieu aquatique (tourisme, pisciculture, aquaculture...etc.), mais surtout pour la distribution d'eau potable et plus généralement pour la santé humaine (**Falconer, 1999**).

L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques est à l'origine un phénomène naturel résultant de l'enrichissement des eaux en sels minéraux nutritifs. En effet, le lessivage des sols et les eaux de ruissellement contribuent naturellement à augmenter le stock des éléments nutritifs des hydrosystèmes. Il en résulte un accroissement de la production de biomasse végétale (phytoplancton, macrophytes), une diminution de l'oxygénation des systèmes concernés, une accumulation de matière partiellement dégradée contribuant à l'épaississement de la couche de sédiment et finalement, un comblement progressif. L'anthropisation des bassins versants, par l'augmentation des apports en éléments nutritifs qu'elle implique (nitrates apportés par les engrais, phosphates issus des détergents...etc.) accentue et accélère fortement ce phénomène (**Wetzel, 1983**).

I.3.2. Le processus d'eutrophisation

Voici en résumé les grandes étapes de ce phénomène complexe :

1. Le lac reçoit des apports en d'éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps).
2. L'accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau provoque, à plus ou moins long terme, une prolifération de plantes aquatiques et d'algues dans la couche supérieure du lac et dans le littoral, ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau (l'eau devient plus turbide).
3. L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau. La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du lac.
4. Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion se dépose au fond du lac, suite à sa sénescence (mortalité).
5. Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale, ce qui provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur.
6. La raréfaction de l'oxygène dissous de la couche inférieure du lac occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes au lac (CRE Laurentides 2009, Groupe de recherche en limnologie et en environnement aquatique).

I.3.3. Les causes de l'eutrophisation :

D'après Hade (2002), tout facteur qui participe à l'augmentation de la qualité d'éléments nutritifs dans les lacs peut influencer la vitesse d'eutrophisation des lacs. Ces facteurs peuvent être naturels (ruissellement dans le bassin versant, barrage de castor, ...etc.) ou anthropiques, comme par exemple :

- Epannage d'engrais à des fins agricoles ou horticoles (chimique ou naturels).
- Absence de bande riveraine qui favorise l'érosion des berges et limite la capacité de rétention des éléments nutritifs provenant du bassin versant (sources naturelles et artificielles) et transportés par ruissellement.
- Utilisation de produits domestiques contenant des phosphates.
- Rejets d'eaux usées industriels, urbains et domestiques.

I.3.4. Conséquences de l'eutrophisation :

Les problèmes liés aux efflorescences algales sont variés, depuis l'asphyxie du milieu du à la consommation excessive d'oxygène par les microorganismes décomposeurs, en passant par des problèmes purement esthétiques dans les aires récréatives quand les efflorescences forment une écume colorée et souvent malodorante à la surface de l'eau, ou des problèmes techniques liés au colmatage des filtres des stations de pompage et de traitement pour la production d'eau potable (**Kenefick et al., 1993**). A ces problèmes habituels s'ajoutent les productions éventuelles de toxines par les efflorescences à cyanobactéries dont 40 à 75 % sont susceptibles de synthétiser divers peptides cycliques hépatotoxiques, ainsi que des alcaloïdes neurotoxiques, dermatotoxiques ou cytotoxiques, qui présentent des effets adverses sur la faune et la flore aquatiques, la vie animale et la santé humaine (**Carmichael et Falconer, 1993 ; Falconer, 1996 ;1999 ; Kuiper-Goodman et al., 1999 et Hitzfeld et al., 2000**).

Les symptômes les plus désagréables de l'eutrophisation (e.g. blooms d'algues) sont observés lorsque les cycles biogéochimiques deviennent inefficaces (**Chudyba, 1975 ; Spodniewska, 1986**). Par ailleurs, l'eutrophisation implique également une modification de la composition et de la structure des peuplements végétaux. Ainsi, d'une communauté phytoplanctonique riche en espèces, les systèmes aquatiques en voie d'eutrophisation évoluent progressivement vers un peuplement peu diversifié. Ce phénomène implique souvent le développement massif d'un nombre limité d'espèces voire même une seule espèce. On parle alors d'efflorescence, de fleur d'eau ou de « bloom », selon la dénomination anglo-saxonne (**Smayda, 1997**).

En eau douce, ces efflorescences sont souvent dominées par des cyanobactéries qui peuvent persister de quelques jours à plusieurs mois et la densité de ces microorganismes devient si importante qu'il se forme à la surface de l'eau une mousse verdâtre (dite fleur d'eau). En fait, ces fleurs d'eau correspondent à des explosions démographiques appelées "blooms" et leur flottabilité est due à la présence dans le cytoplasme des cellules des cyanobactéries, de vésicules à gaz (**Klemar, 1990 ; Landsberg 2002 et Rondel et al. 2008**).



Figure 02: Développement de bloom à Cyanobactéries (Timstitt, 1997).

Par forte chaleur un voile d'algues et de bactéries peut couvrir l'eau stagnante et piéger les bulles de gaz. Ce type de bloom ne dure généralement pas plus de deux semaines.

Les proliférations de cyanobactéries occasionnent également des nuisances pour les différents usages de l'eau (production d'eau potable, activités récréatives...etc.). Enfin, de nombreuses espèces de cyanobactéries sont capables de synthétiser des métabolites secondaires toxiques pour les animaux et les hommes (Backer, 2002 ; de Figueiredo et al., 2003 et Funari et Testai, 2008). Ces cyanotoxines, qui ont différentes natures chimiques, ont pour organes-cible le foie, le système nerveux ou la peau et les muqueuses (Carmichael, 1992 ; 1997).

Ces dernières années, de nombreux pays à travers le monde ont été confrontés à de graves problèmes de toxicité dus à des proliférations ou des accumulations excessives de cyanobactéries dans les réservoirs d'eau potable et les aires de loisirs aquatiques (Carmichael & Falconer, 1993 ; Falconer, 1996 ; 1999 ; Kuiper-Goodman *et al.*, 1999 ; Hitzfeld *et al.*, 2000 Falconer *et al.*, 1983 ; Turner *et al.*, 1990 ; Carmichael *et al.*, 2001 ; Zimba *et al.*, 2001 ; Azevedo *et al.*, 2002 ; Chittick *et al.*, 2002 et Stewart *et al.*, 2008).

Le cas le plus tragique est celui qui a eu lieu au Brésil en 1996 causant la mort de 60% des patients hémodialysés suite à l'utilisation d'une eau contaminée par les cyanotoxines «microcystines» (Pouria *et al.* 1998). Suite à ce drame, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a recommandé une valeur guide relative à la concentration d'hépatotoxines dans les eaux potables qui est de $1\mu\text{g.L}^{-1}$ en équivalent Microcystin-LR (WHO, 1998).

Les espèces productrices de ces toxines et ayant été impliquées dans de tels incidents appartiennent essentiellement aux genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Oscillatoria* et moins souvent *Gomphosphaeria*, *Coelosphaerium*, *Gloeotrichia*, *Nodularia* et *Nostoc* (**Sivonen et Jones, 1999**).

Les toxines des cyanobactéries pourraient avoir un impact négatif aussi bien sur le rendement et la qualité des cultures agricoles que sur la santé du bétail en causant des pertes économiques très importantes. Des travaux scientifiques ont montré que l'irrigation par une eau contenant les cyanotoxines entraîne des changements morphologiques et physiologiques des plantes exposées (**Chen et al. 2004 ; Pflugmacher et al. 2006**). Récemment, des études ont confirmé que les plantes terrestres peuvent accumuler ces toxines dans leurs tissus et par conséquent les transférer à travers la chaîne trophique en impliquant par la suite des risques potentiels pour la santé humaine (**Peuthert et al. 2007 ; Järvenpää et al. 2007**).

Ces organismes suscitent donc de la part des pouvoirs publics et des acteurs socioéconomiques un intérêt croissant sur les risques liés à ces contaminants aussi bien pour l'homme que pour les écosystèmes (**Reynolds, 1987**).

I.3.5. Le phytoplancton, indicateur de l'eutrophisation

Etant un maillon indispensable de la chaîne trophique, le phytoplancton joue un rôle de base dans les écosystèmes aquatiques. Les processus qui y sont liés affectent directement ou indirectement son environnement, en formant des structures biocoenotiques qui jouent un rôle essentiel dans la régulation des processus biogéochimiques (**Hutchinson, 1967**).

Dans les lacs, la biomasse du phytoplancton a été employée pendant des décennies pour évaluer la chaîne trophique et pour identifier l'eutrophisation artificielle induite par des activités humaines (**Wetzel, 1983 ; Harper, 1992**). Cette dynamique phytoplanctonique répond d'abord à l'influence des facteurs physiques et peut fluctuer considérablement dans l'espace et dans le temps (**Ruse et Love, 1997**).

Cela peut être un élément explicatif du fait que les modèles prédictifs de la production du phytoplancton ou de la composition des espèces, n'ont rencontré qu'un succès modeste (**Billen et al. 1994**). Pourtant, les études menées sur le long terme sur la biomasse phytoplanctonique et la composition taxinomique ont prouvé que les organismes

sont, en général, des indicateurs sensibles aux divers changements environnementaux **(Maberlyetal. 1994)**.

Comparés aux animaux, les peuplements algaux représentent un très bon outil pour appréhender la biodiversité, la dynamique spatio-temporelle et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. En effet, du fait de leur faible longévité et de leur taux élevé de multiplication, les algues intègrent un pas de temps très court et permettent une saisie quasi immédiate des changements écologiques naturels (ou provoqués) comme l'eutrophisation **(Maia De Oliveira, 2000)**.

II. Les Phytoplanctons

II.1. Généralités sur les phytoplanctons

Le phytoplancton du grec *phyton* plante et *planktos* errant se définit comme le plancton de nature végétale, c'est-à-dire le plancton capable de synthétiser sa propre substance par photosynthèse à partir de l'eau, du gaz carbonique et de l'énergie lumineuse. **(Bougis, 1974)**. Anciennement connus sous le nom d'algues. **(Ifermer, 2006)**. Caractérisés par la présence de pigments chlorophylliens dont majoritairement la chlorophylle a. **(Dauta et Feuillade, 1995)**. Qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau. **(Rolland, 2009)**. Unicellulaires, filamenteux ou coloniaux. **(Dauta et Feuillade, 1995)**. Ou en symbiose. **(Sournia, 1973)**. Ces microorganismes sont qualifiés de thallophytes, c'est à dire dépourvus de tige, racine et de vaisseaux conducteurs. **(Dauta et Feuillade, 1995)**. Ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique (n'ayant pas d'attaches directes avec un substrat passant leur vie entièrement ou partiellement dans le milieu aquatique) et/ou qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints. **(Rolland, 2009)**

Le phytoplancton est capable d'élaborer par photosynthèse son propre substance organique, à partir de l'énergie solaire, de l'eau, du dioxyde de carbone et des sels nutritifs. **(Gailhard, 2003)**. Toutefois, certains groupes du phytoplancton comme les dinoflagellés sont hétérotrophes et utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme **(De Reviere, 2003)**

Les communautés phytoplanctoniques présentent des caractéristiques biologiques (taille, forme...) et physiologiques (mode de nutrition, taux de croissance...) très différentes **(Smayda, 1997 ; Gailhard, 2003)**. Leur taille varie de quelques microns (< 20 μm) à quelques centaines de microns (200 μm). leurs formes peuvent être extrêmement variées **(Sourniaetal. 1997)**.

Le phytoplancton est une composante majeure des écosystèmes aquatiques. Son étude, la compréhension de ses mécanismes internes de même que de sa dynamique en tant que population, est très importante, pour de nombreuses raisons **(Arino, 2001)**

Tout d'abord, le phytoplancton est à la base de toutes les chaînes trophiques aquatiques, il joue un rôle fondamental dans le fonctionnement de ces écosystèmes.

L'activité de la biomasse phytoplanctonique participe au flux de carbone entre l'océan et l'atmosphère, et contribue ainsi à la régulation de la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique qui détermine l'évolution du climat à moyen et à long termes. De ce fait, les variations de la production biologique ont des conséquences majeures sur les flux de matière à l'intérieur de l'écosystème (**Gailhard, 2003**)

En effet, le phytoplancton est également responsable de la production d'une bonne partie de l'oxygène atmosphérique. (**Bains et al, 2000**)

Dans les lacs, la biomasse du phytoplancton a été employée pendant des décennies pour évaluer la chaîne trophique et pour identifier l'eutrophisation artificielle induite par des activités humaines (**Wetzel, 1983 ; Harper, 1992**). Dans les fleuves, la dynamique, la composition et la production des communautés d'algues sont moins bien comprises, ce qui constitue un frein à l'utilisation de ces organismes pour la gestion du milieu.

La dynamique phytoplanctonique répond d'abord à l'influence des facteurs physiques et peut fluctuer considérablement dans l'espace et dans le temps. L'abondance du phytoplancton des grands fleuves n'est souvent pas corrélée fortement avec la teneur en nutriments chimiques, comme cela a été observé sur la Severn (**Ruse et Love, 1997**), elle peut même être corrélée négativement, comme dans le fleuve Ohio (**Wehr et Thorp, 1997**). Cela peut être un élément explicatif du fait que les modèles prédictifs de la production du phytoplancton ou de la composition des espèces, n'ont rencontré qu'un succès modeste (**Billenet al., 1994**). Pourtant, les études menées sur le long terme sur la biomasse phytoplanctonique et la composition taxinomique ont prouvé que les organismes sont, en général, des indicateurs sensibles aux divers changements environnementaux (**Maberly et al., 1994**).

II.2. La place des phytoplanctons dans le réseau trophique

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.

Lorsque certaines conditions sont favorables (températures élevées associées à des conditions météorologiques calmes, niveaux élevés d'éléments nutritifs d'origine anthropique ou naturelle), certaines espèces peuvent proliférer de manière significative (**Reynolds, 1998**). Selon **MCQueen et al. (1986)**, la structure de toute communauté aquatique est sous le contrôle de différents facteurs qui interagissent simultanément entre eux :

- Les facteurs ascendants qui se définissent en particulier par la dynamique des ressources nutritives (apports endogènes et exogènes) et qui vont déterminer le type de peuplement algal ;
- Les facteurs descendants (« top-down » en anglais) qui sont définis en particulier par la pression de prédation exercée par les herbivores et qui vont en retour modifier la structure du réseau trophique (**Rolland, 2009**)

II.3. Description morphologique des phytoplanctons

Très diverses également par leur morphologie et le degré de complication de leur structure, on peut, en outre, rencontrer parmi elles tous les types possibles de reproduction asexuée et de cycle de développement. Elles se multiplient par mitoses, et/ou parfois par reproduction sexuée.

Les algues présentent des formes variées dont les dimensions vont de quelques microns à plusieurs dizaines de mètres. Il existe différents types de morphologies :

- les algues unicellulaires, mobiles ou non
- les algues pluricellulaires

Le phytoplancton peut être subdivisé en trois classes de tailles : le microplancton (200-20 μm), le nanoplancton (20-2 μm) et le picoplancton (2-0.2 μm). (**Jeffrey et Hallegraeff, 1990**)

Il existe des milliers d'espèces de phytoplancton, dont beaucoup n'ont pas encore été décrites. L'enveloppe de la cellule du phytoplancton varie d'un groupement taxinomique à un autre et à l'intérieur de ceux-ci. Ces enveloppes sont de simples membranes de plasma, des frustules thèques ornées et protectrices, des structures

loricaires, des frustules siliceuses ou en cellulose. L'identification des espèces repose sur des caractéristiques morphologiques, la structure cellulaire, la couleur, la taille et la division cellulaire qui sont toutes visibles au microscope optique. On peut identifier les spécimens conservés ou vivants. Le microscope électronique améliore la taxinomie, particulièrement pour les taxons qui sont porteurs de caractéristiques externes reconnaissables, comme les diatomées.

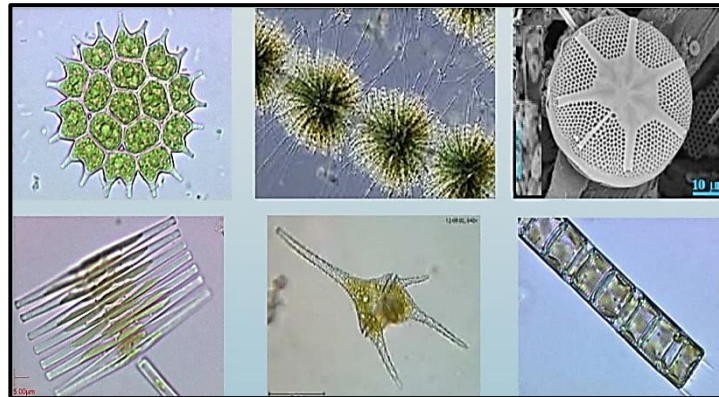


Figure 3 : Les différentes formes du phytoplancton.

La couleur des algues peut être très variée : verte, rouge ou brune. Les algues ne possèdent pas de tissus nettement individualisés, comme on peut en trouver parmi les végétaux terrestres vasculaires.

II.4. Description taxinomique

Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytologique essentiellement par la présence – eucaryotes – ou non – procaryotes - d'un noyau cellulaire (ADN confiné dans une enveloppe nucléaire) (**Prescott et al. 2003**). Actuellement, la phylogénie est en pleine évolution, grâce notamment aux avancées technologiques en biologie moléculaire (**Iglesias-Rodriguez et al. 2006 ; Not et al. 2007 ; Saez et al. 2008**)

Les schémas taxinomiques de classification du phytoplancton sont provisoires car la taxinomie est sous une révision rapide et constante à tous les niveaux en mettant chaque jour de nouvelles évidences génétiques et ultra structurales. Un schéma de classification provisoire a été adopté en se basant principalement sur les travaux de **Van Den Hoeketal. (1995)** et comparé avec la classification de **Graham & Wilcox(2000)**. Les membres de procaryotes de ces assemblages sont regroupés en

deux divisions :Cyanophyta et Prochlorophyta. Tandis que les membres eucaryotes sont regroupés en neuf divisions : Glaucophyta, Rhodophyta, Heterokontophyta, Haptophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Euglenophyta, Chlorarachniophyta et Chlorophyta (**tableau 01**) (**Barsanti & Gualtieri, 2006**)

Tableau N°1 : Schéma de classification des différents groupes d'algues (Barsanti & Gualtieri, 2006) :

Groupe	Division	Classe
Eubactérie procaryote	Cyanophyta	<i>Cyanophyceae</i>
	Prochlorophyta	<i>Prochlorophyceae</i>
Eucaryote	Glaucophyta	<i>Glaucophyceae</i>
	Rhodophyta	<i>Bangiophyceae</i>
		<i>Florideophyceae</i>
	Heterokontophyta	<i>Chrysophyceae</i>
		<i>Xanthophyceae</i>
		<i>Eustigmatophyceae</i>
		<i>Bacillariophyceae</i>
		<i>Raphidophyceae</i>
		<i>Dictyochophyceae</i>
		<i>Phaeophyceae</i>
	Haptophyta	<i>Haptophyceae</i>
	Cryptophyta	<i>Cryptophyceae</i>
	Dinophyta	<i>Dinophyceae</i>
	Euglenophyta	<i>Euglenophyceae</i>
	Chlorarachniophyta	<i>Chlorarachniophyceae</i>
Chlorophyta	<i>Prasinophyceae</i>	
	<i>Chlorophyceae</i>	
	<i>Ulvophyceae</i>	
	<i>Cladophorophyceae</i>	
	<i>Bryopsidophyceae</i>	
	<i>Zygnematophyceae</i>	

		<i>Trentepohliophyceae</i> <i>Klebsormidiophyceae</i> <i>Charophyceae</i> <i>Dasycladophyceae</i>
--	--	--

II.5. Description des principales classes du phytoplancton

A ce jour, 8 principales classes différenciées selon des critères morphologiques, cytologiques, biochimiques et reproductifs sont recensées dans les milieux aquatiques

II.5.1. Les cyanobactéries

Organismes procaryotes, regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces dulçaquicoles. La plupart des cyanobactéries sphériques appartiennent à la famille des Chroococcacées et les filamenteuses aux familles des Nostocacées et Oscillatoriacées (**Bourrelly, 1985a**). Les cellules appartenant à cette classe se caractérisent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée. Les cyanobactéries (ou « algues bleues ») se distinguent des procaryotes hétérotrophes par la présence de chlorophylle-a et de pigments accessoires (phycocyanine, phycoérythrine, caroténoïdes) (**Ganf et al., 1991 ; Schagerl et Donabaum, 2003 ; Colyer et al., 2005**). Certaines cyanobactéries possèdent des vacuoles gazeuses qui leur permettent de réguler leur position dans la colonne d'eau et de se maintenir à une profondeur où la température, la lumière et les éléments nutritifs sont favorables à leur développement. Un bon exemple de cette propriété physiologique est fourni avec l'espèce *Planktothrix rubescens* (**Schanz et al., 1997 ; Bright et Walsby, 1999 ; Walsby et al., 2004 ; Walsby, 2005**). D'autres cyanobactéries, également filamenteuses comme la précédente, possèdent deux types de cellules particulières : des hétérocystes et des akinètes.

C'est par exemple le cas des genres *Anabaena* et *Nostoc* (**Stewart, 1973 ; Mur et al. 1999**). Les hétérocystes sont des cellules à membrane épaisse, à contenu cellulaire homogène et très clair, capables de fixer l'azote atmosphérique. Ces cyanobactéries sont donc avantagées en milieu limitant en azote assimilable. Les akinètes sont des spores durables et chargées de réserves qui, une fois détachées en conditions favorables, forment un nouveau filament (**Bourrelly, 1985a**). Les

cyanobactéries se divisent essentiellement par fission binaire ou division végétative, c'est à dire que la membrane cellulaire s'invagine et sépare la cellule mère en deux cellules filles isomorphiques. Généralement, cette division a lieu dans un, deux ou trois plans qui sont plus ou moins perpendiculaires les uns aux autres entre générations successives (Komarek, 2003). La diversité des cyanobactéries a été moins étudiée en milieu marin que dans les milieux d'eau douce. Cette différence résulte de l'occurrence de fortes efflorescences de cyanobactéries en milieu d'eau douce et du fait que les cyanobactéries marines sont constituées de deux principaux genres unicellulaires de petite taille (Synechococcus et Prochlorococcus) plus difficilement étudiables. Prochlorococcus, découverte en 1988 (Chisholm et al., 1988), est l'espèce photosynthétique la plus abondante de la biosphère (Partensky et al., 1999) contribue jusqu'à 84% de la fixation du CO₂ dans certaines eaux oligotrophes.

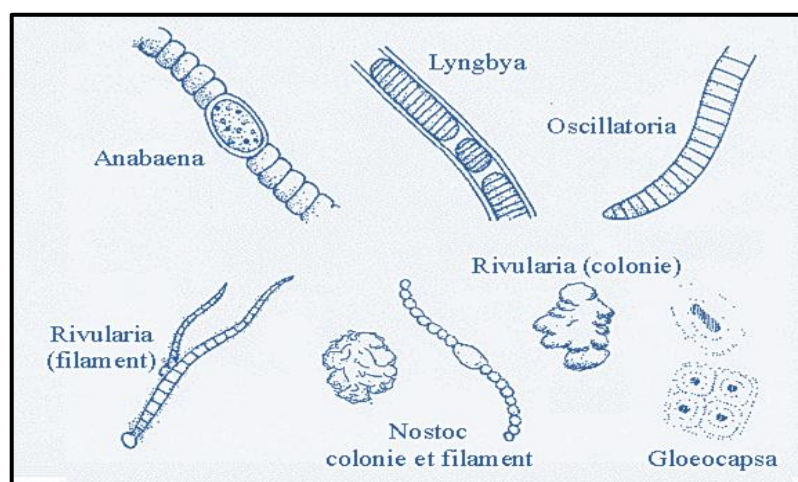


Figure 04 : Les différentes formes des Cyanobactéries.

II.5.2. Les chlorophycées

Forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricophycées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (John, 1994). Toutefois, la plupart des algues vertes planctoniques lacustres appartiennent à l'ordre des Volvocales et à celui des Chlorococcales qui font partis de la classe des Euchlorophycées (Bourelly, 1985b). Les cellules des Volvocales possèdent une paroi cellulaire glycoprotéique pourvue de 2, 4 ou 8 flagelles de même taille, 1 noyau et 2 vacuoles contractiles localisées à

la base des flagelles. Les chloroplastes de la plupart des volvocales sont en forme de U et les chlorophylles a et b sont les pigments majeurs (Ettl, 1983). Les Chlorococcales sont unicellulaires ou coloniales avec une membrane bien définie, parfois de formes filamenteuses (Ettl et Gärtner, 1988). L'état végétatif est sous forme immobile et les flagelles sont absents au stade adulte. On distingue comme précédemment un noyau par cellule et les mêmes pigments majeurs (Bourrelly, 1985b). Pour assurer leur reproduction, les Volvocales et les Chlorococcales forment des zoospores à l'intérieur de la paroi cellulaire de la cellule mère. On distingue 3 types de zoospores : celles avec membrane et 2 fouets égaux, celles sans membrane et à fouets égaux et celles sans membrane et à fouets légèrement inégaux mais de même structure (Bourrelly, 1985b). Dans les formes coloniales, chaque cellule de la colonie se divise par division végétative en n cellules formant 2 x n cellules filles. On retrouve également 3 types de reproduction sexuée : isogamie (2 gamètes de même taille), anisogamie (gamète male plus petit que gamète femelle) et oogamie (gamète femelle non flagellé et gamète mâle flagellé) (Nozaki, 2003)

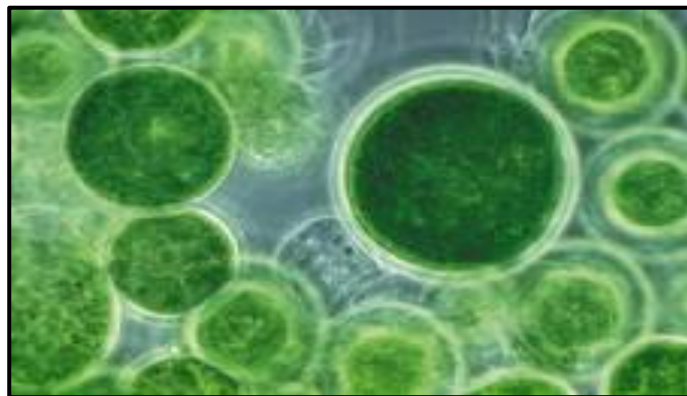


Figure 05 : Les chlorophycées.

II.5.3. Les xanthophycées

Regroupent plus de 100 genres et environ 600 espèces dulçaquicoles. Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes (β -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte (Ettl, 1978). Les cellules mobiles possèdent deux flagelles de taille différente. La paroi cellulaire est souvent absente et quand elle est présente elle contient une grande quantité de pectine et peut être siliceuse chez plusieurs espèces. Les xanthophycées se divisent essentiellement par fission binaire

mais peuvent également former des zoospores. La reproduction sexuée, quand elle a lieu, est le plus souvent isogame (Ott et Oldham-Ott, 2003)



Figure 06 : Les xanthophycées.

II.5.4. Les chrysophycées

Sont des algues unicellulaires ou coloniales (rarement filamenteuses), dont certaines vivent dans une enveloppe protectrice appelée lorique. Leurs cellules possèdent un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns à cause de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes (β -carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles a et c (Wetzel et al. 2001). La plupart de ces cellules obtiennent leur énergie par mixotrophie, c'est à dire qu'elles sont capables d'autotrophie et d'hétérotrophie. Dans le dernier cas, elles se nourrissent en consommant de la matière particulaire comme des bactéries ou des protistes (phagotrophie) ou bien en absorbant des molécules organiques complexes (osmotrophie) (Sanders et al., 1990 ; Domaizon et al., 2003).

Le nombre de flagelles est variable. La plupart des cellules sont uniflagellées mais d'autres possèdent deux flagelles généralement de même taille. Beaucoup des espèces appartenant à cette classe n'ont pas de paroi cellulaire mais sont juste entourées d'une membrane cytoplasmique. D'autres possèdent une surface cellulaire couverte de plaques ou d'écailles siliceuses ou calcaires. La multiplication se fait par fission binaire ou par zoosporulation. Les phénomènes sexuels, rarement signalés, sont de nature isogamique. En période de repos, la formation endogène de kystes siliceux, globuleux, percés d'un pore obstrué par un bouchon, est caractéristique des Chrysophycées (Rolland, 2009).

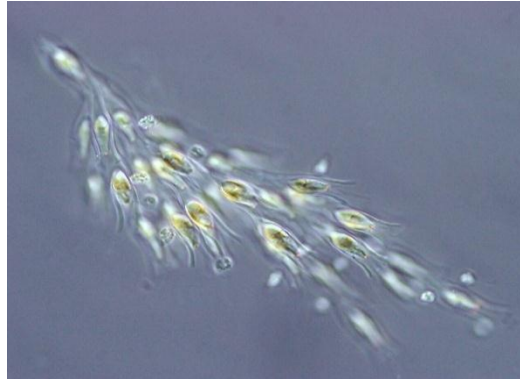


Figure 07 : Les chrysophycées.

II.5.5. Les diatomées (Bacillariophycées)

Engloberaient plus de 100 000 espèces et on estime que près de 15 000 ont été identifiées à ce jour. C'est un des groupes les plus importants du phytoplancton même si beaucoup d'espèces sont sessiles ou associées aux substrats littoraux. Leur caractéristique principale est la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustule (**Germain, 1981**). Le pourtour des valves est connecté avec des bandes qui constituent la ceinture de la cellule. Ces microorganismes sont unicellulaires ou coloniaux et sont communément divisés en deux groupes : les diatomées centriques qui ont une symétrie radiale et les diatomées pennées qui ont une symétrie bilatérale. Les valves des diatomées pennées présentent des parties de cellules plus épaisses et dilatées. Chez certaines espèces, une fente, nommée raphée, traverse une partie ou la cellule entière alors que chez d'autres espèces, on observe une dépression de la paroi cellulaire appelée pseudoraphée.

Quatre groupes de diatomées pennées sont différenciés sur la base de ces structures : les Araphidées, les Raphidiodées, les Monoraphidées et les Biraphidées. La reproduction végétative par division cellulaire est le mode le plus commun de multiplication (**Canter-Lund et Lund, 1995**).

II.5.6. Les cryptophycées

Sont unicellulaires, mobiles de par la présence de deux flagelles (de taille égale) et dépourvues de paroi cellulaire. En effet, l'enveloppe qui les entoure est appelée périplaste et est composé de deux couches distinctes, le périplaste interne (succession de plaques protéiques) et le périplaste externe (membrane protéique

unique) qui entourent la membrane plasmique (**Kugrens et Clay, 2003**). Les cellules sont aplaties dorso-ventralement et sont pourvues d'une invagination antérieure qui porte les deux flagelles. Les cellules contiennent une variété de pigments dont la phycoérythrine qui leur donne une couleur rougeâtre caractéristique. La reproduction se fait par fission binaire (**Starmach, 1974 ; Bourelly, 1985a**).



Figure 08: Les cryptophycées.

II.5.7. Les dinoflagellés

Regroupent environ 300 espèces et sont des algues flagellées unicellulaires dont la plupart sont mobiles. Une ceinture transversale, le cingulum, encercle la cellule et la divise en une épithèque et une hypothèque alors qu'une invagination longitudinale, le sulcus, définit la face ventrale de la cellule. Ils possèdent des plaques de cellulose sur la partie externe de la membrane et la taxonomie de ces microorganismes est basée sur le nombre et l'arrangement de ces plaques (**Kofoed, 1909**). Ces plaques peuvent être très fines et sont parfois difficiles à voir par microscopie optique. Des pores apicaux, des extensions de plaques et des épines peuvent aussi apparaître chez certaines espèces. La chlorophylle a et c 2 sont deux pigments photosynthétiques majeurs des cellules de dinoflagellés. La péridinine qui fait partie des pigments accessoires de type caroténoïdes est responsable de la couleur dorée bien que les cellules puissent apparaître jaunâtre voire marron. Bien que la reproduction sexuée se produise de temps en temps, la reproduction asexuée par la formation d'aplanospores (spores non flagellés) prédomine. En période de diapause, la formation de kystes peut s'accroître considérablement (**Carty, 2003**).

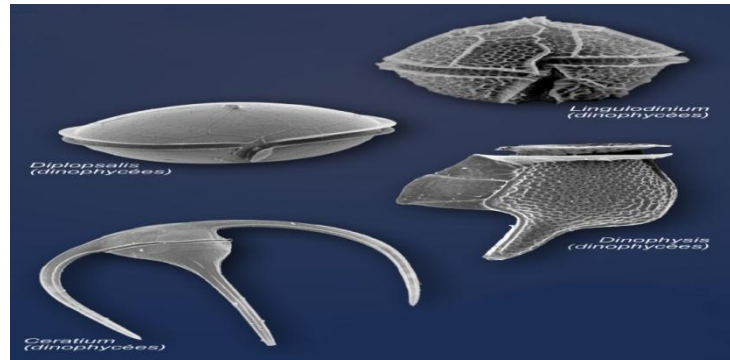


Figure 09: Les dinoflagellés.

II.5.8. Les euglènes

Sont répartis en 13 genres et plus de 2000 espèces. Ils sont presque tous unicellulaires, sans paroi cellulaire, possèdent un, deux ou trois flagelles qui émanent d'une invagination de la membrane cellulaire, une vacuole contractile et un stigma « eyespot » orange à rouge composé de globules de caroténoïdes (Rosowski 2003). Bien que certains euglènes soient non pigmentés, phagotrophes (capable d'ingérer des particules solides) et par conséquent considérés comme des protistes animaux (ex protozoaires), la plupart sont photosynthétiques et parfois hétérotrophes. Il reste que même si la phagotrophie peut constituer le mode d'assimilation de carbone principal, aucune de ces espèces n'en dépend uniquement. Ce dernier est toujours combiné à l'absorption de composés organiques dissous. En ce qui concerne leur mode de reproduction, la division cellulaire semble être la règle pour cette classe du phytoplancton (Bourelly, 1985a).



Figure10 : Les euglènes.

II.6. Ecologie du phytoplancton

La littérature du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle des diatomées a indiqué que ce groupe du phytoplancton colonise les eaux douces, saumâtres (Seckbach, 2007) et hypersalines (Janech et al., 2006). Ceci ne nie pas le fait que certaines espèces phytoplanctoniques possèdent la capacité de coloniser les environnements extrêmes : cyanobactéries thermophiles *Thermosynechococcus*, le genre d'algues verts halophiles ou extrêmement halotolérants, *Dunaliella*, dont *Dunaliella acidophila* qui est acidophile plutôt que halophile (Seckbach et al., 2005).

Certaines Diatomées sont thermophiles (Owen et al., 2004), d'autres sont acidophiles tels que le genre *Eunotia* qui colonise des environnements acides à pH 2,5 (Witkowski et al., 2007).

II.7. Effets de la prolifération des algues sur le milieu

Les algues du phytoplancton ont une influence directe sur les conditions physicochimiques d'un écosystème aquatique.

❖ Oxygénation

La présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton (DABBADI, 1992 ; GAUJOUS, 1995). Ainsi, dans un milieu contenant beaucoup d'algues productrices d'oxygène par photosynthèse et peu de consommateurs (bactéries, zooplancton, poissons), la teneur en oxygène du milieu va beaucoup varier au cours de la journée: minimale le matin, elle peut atteindre, voire dépasser largement 100% de saturation dans la journée (DABBADI, 1992).

❖ Epuration

En se développant et en prélevant des éléments nutritifs dans le milieu, les algues contribuent à l'épurer. Il est donc possible de dépolluer des eaux usées en utilisant ces végétaux, c'est le principe du lagunage (DABBADIE, 1992).

II.8. Eutrophisation et risques sanitaires

L'eutrophisation est le phénomène d'enrichissement excessif des eaux en éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore stimulateurs de la production primaire. C'est un problème qui se pose depuis longtemps dans les eaux douces et se trouve accéléré par les déchets agricoles et industriels suite activités anthropiques.

Il représente une menace croissante pour les plans d'eau en général et induit une dégradation importante de la qualité des eaux. Ceci peut se traduire par des pertes économiques et des risques pour la santé humaine. (LACAZE, 1996 ; CAPBLANCQ et DECAMPS, 2002).

Désagréments associés à l'eutrophisation : L'eutrophisation est considérée comme indésirable, car les plans d'eau eutrophies présentent des caractéristiques rarement compatibles avec les utilisations auxquelles ils sont destinés (potabilisation de l'eau, zone de loisirs, irrigation). Le tableau I rapporte les problèmes les plus courants causés par l'eutrophisation des lacs, réservoirs et retenues.(LACAZE, 1996)

II.9. 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 *etal.* (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 :

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

III. Les paramètres physico-chimiques de l'eau

III.1. Les paramètres physiques

III.1.1. Température (°C)

La température de l'eau est un facteur écologique important des milieux aqueux et ses variations peuvent perturber fortement la vie d'un cours d'eau. La température de l'eau est fonction de la température ambiante, des processus chimiques et biochimiques qui ont cours dans le milieu aquatique, de la température des affluents au cours d'eau. Elle influence beaucoup de phénomènes physico-chimiques tels que le pouvoir auto épuratoire d'une eau polluée, la solubilité des gaz, la conductivité et le pH (**Leynaud, 1968**).

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduelles chaudes (**Rodier, 1984**).

III.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH mesurant l'acidité d'une solution, est défini par l'expression $\text{pH} = -\log H^+$ où (H^+) est l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution (**Ramade, 1998**).

Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité et la température, Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6 (**Bremond et Vuichard, 1973**). Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. (**Rodier et al., 2009**).

III.1.3. La conductivité électrique (CE)

Est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (ms /cm) à 20 °C. Une conductivité

élevée traduit, soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée qu'elle soit naturelle ou due à des rejets salins (**Afri -Mehennaoui, 1998**)

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. On peut admettre que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Une conductivité de l'eau supérieure à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées.

Tableau 2: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (**Rodier, 2009**).

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
$CE < 100 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
$100 < CE < 200$	$\mu\text{S}/\text{cm}$ Minéralisation faible
$200 < CE < 333 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne
$333 < CE < 666 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 < CE < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
$CE > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

III.1.4. Oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique (**Rodier et al, 2009**). L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau, une valeur inférieure à 1 mg/l d'O₂ indique un état proche de l'anaérobie. (**Beupoil et Bornens, 1997**).

III.1.5. Les Résidus Secs

Reliquat obtenu à partir d'un prélèvement d'échantillon après dessiccation totale au four à 105 °C, c'est un indicateur qui exprime le taux de minéraux. Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (**Mekaoussi, 2014**). Il donne une indication du degré de minéralisation de l'eau (**Marcel, 1995**).

III.2. Paramètres relatives à la pollution organique

De très nombreux paramètres permettent de qualifier la nature des pollutions, et le degré de pollution organique notamment : la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO), l'azote, sous forme réduite (ammoniacal) et oxydée (nitrites, nitrates), le phosphore.

III.2.1. Demande biochimique en oxygène (DBO)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de la DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution. La dégradation complète de la matière organique peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes ; elle s'exprime en milligrammes d'oxygène par litre (mg O₂/l) (**Beaudry et Henry, 1984**).

III.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation complète des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium (**Rodier et al, 2005**).

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions de l'essai. Contrairement à la DBO5 où l'oxydation se fait lentement par l'activité des microorganismes, l'oxydation, pour la DCO, est provoquée à l'aide d'un puissant oxydant (bichromate de potassium) en milieu acide fort (H₂SO₄) et au reflux pendant deux heures. Alors que la DBO5 ne mesure que la matière organique naturellement dégradable (**Beaudry et Henry, 1984**).

La DCO permet de quantifier la majeure partie de la matière organique biodégradable. C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de la DBO5. Le rapport DCO/DBO5 permet d'évaluer le caractère biodégradable de la matière organique (le rapport à peu varier entre 1,5 et 2) (**Marcel, 1995**).

III.3. Les paramètres chimiques

III.3.1. L'azote ammoniacal

Est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Dans les eaux superficielles, il peut avoir pour origine : la matière végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine, les rejets industriels, les engrais, etc. L'azote ammoniacal est fréquent dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne (**Bremond et Vuichard, 1973**). L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, qui est un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH₃⁺ / l (**De Villers et al. 2005**).

III.3.2. Les Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices et proviennent : soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux et dans les zones où l'autoépuration est active, les teneurs se maintiennent à des niveaux très faibles (de l'ordre de 0,01 mg/l). En dessous d'un centième de mg/l, les eaux peuvent être considérées comme pure ou se trouvant sous l'action d'une auto épuration active, en présence de quelques

dixièmes de mg/l, la pollution est sensible et devient significative au-delà de 1 mg/l (Rodier et al., 2009).

III.3.3. Les nitrates (NO₃⁻)

L'azote des nitrates, comme celui des nitrites et de l'ammoniac, est un des éléments nutritifs des plantes et à ce titre il a donné lieu, au même titre qu'au phosphore, à des études intensives sur le terrain. Les nitrates présents naturellement dans les eaux, proviennent en grande partie de ruissellement des eaux sur le sol constituant le bassin versant (Bremond et Vuichard, 1973). Sels minéraux de l'acide nitrique, les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs tant pour les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques (Ramade, 1998).

Le nitrate étant un sel très soluble dans l'eau, très mobile dans le sol, pénètre dans la nappe phréatique lorsque sa quantité dépasse ce que les plantes peuvent utiliser. (Kemoukh, 2007). Les nitrates sont utilisés comme indicateur de pollution (Djermakoye, 2005).

III.3.4. Les phosphates (PO₄⁻³)

Sel de l'acide ortho-phosphorique, les phosphates représentent des éléments minéraux nutritifs essentiels pour les végétaux autotrophes. C'est un élément limitant pour la croissance et le développement des organismes dans le milieu aquatique. Dans la quasi-totalité des cas, les phosphates sont le type de nutriment présent en faible quantité. Leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traitées aux phosphates, industrie chimique...) (Bremond et Vuichard, 1973).

Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 µg P/l) (De Villers et al, 2005). Le phosphore est naturellement présent dans les eaux superficielles en faible concentration ; compte tenu de son importance dans la constitution des êtres vivants, il joue souvent, vis-à-vis de leur développement, le rôle de "facteur limitant" (Afri-Mehennaoui, 1998).

La présence des phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à 0,1 ou

0,2 mg/l est l'indice d'une pollution par des eaux vannes contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques ainsi que par les eaux de ruissellement (Verneaux, 1973 in Afri-Mehennaoui, 1998).

III.4. Evaluation de la qualité des eaux

Différents outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau sont utilisés. La qualité physico-chimique des eaux est évaluée grâce au système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau).

III.4.1. Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)

Le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau, permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités. Les évaluations sont réalisées au moyen de plusieurs paramètres physico-chimiques, le SEQ-Eau, permet un diagnostic précis de la qualité de l'eau et contribue à définir les actions de correction nécessaires pour son amélioration en fonction des utilisations souhaitées (Boissonneault, 2009).

III.4.2. La qualité physico-chimique des cours d'eaux

Les cours d'eau sont initialement classés en plusieurs catégories pour l'usage et la vie aquatique. Les pays développés ont fait beaucoup d'efforts pour définir les objectifs de la qualité des eaux et les classer en fonction de ces derniers. En fonction du degré de pollution, les agences de l'eau françaises ont classé les cours d'eau à partir des critères physico-chimiques en quatre catégories principales :

- **Classe 1** : eaux d'excellente qualité considérées comme exemptes de pollution, aptes à satisfaire tous les usages possibles, même les plus exigeants.
- **Classe 1.b** : eaux de bonne qualité quoique légèrement moindre par rapport à de la classe précédente. Elles peuvent néanmoins satisfaire tous les usages et ne requièrent qu'un traitement simple pour l'approvisionnement en eau potable d'un réseau d'adduction urbain.
- **Classe 2** : eaux de qualité passable, suffisante pour l'irrigation et les usages industriels possibles, mais des traitements sévères sont requis pour la potabilisation, l'utilisation est tolérable pour abreuver les animaux domestiques.
- **Classe 3** : eaux de qualité médiocre juste aptes au refroidissement d'installation thermiques et à la navigation. L'usage est tolérable pour l'irrigation des cultures, l'utilisation est impossible pour les réseaux d'adduction d'eau potable.

- **Hors catégories** : forte pollution, eaux dépassant la valeur maximale tolérée en classe 3 pour un ou plusieurs paramètres. Elles sont considérées comme inaptes à tout usage à l'exception de la navigation fluviale et peuvent constituer une menace pour la santé publique et l'environnement (**Ramade, 2000**).

III.5. Normes et classes de la qualité des eaux superficielles

La qualité des eaux est extrêmement variable dans le temps et elle est fonction de différents facteurs. Afin d'avoir une bonne connaissance de l'état global d'un cours d'eau, et de pouvoir suivre son évolution dans le temps ; le SEQ (Système d'Évaluation de la Qualité des eaux superficielles) a mis en place un outil d'évaluation qui permet d'obtenir une image globale de la qualité des cours d'eau, et définit les aptitudes à satisfaire les équilibres biologiques et les différents usages des cours d'eau. **l'ABH** est inspiré du SEQ pour classer les eaux superficielles. Cette classification repose sur une grille de la qualité des eaux superficielles. L'agence des bassins hydrographiques algérienne s'est inspirée de cette classification et elle a mis au point une classification de la qualité des eaux de surface utilisée pour les bassins hydrographiques.

IV. Matériels et méthodes

IV.1. Présentation de zone d'étude

La réserve intégrale du lac Oubeïra, qui est un site Ramsar sous les critères ; 1, 5 et 6, se situe $36^{\circ}50'N-08^{\circ}23'E$ à 3 km à l'Ouest de la ville d'El Kala, dans la wilaya d'El Tarf à l'extrême Nord-Est de l'Algérie, entre lac Mellah et lac Tonga, en couvrant environ 2200 ha de superficie avec une altitude moyenne de 25 m (De Belair, 1990 ; Messerer, 1999).

Ce lac d'eau douce endoréique a une profondeur maximale de 4 m, avec en moyenne 1,24 m, dont le fond plus ou moins plat est légèrement incliné vers le Nord. De forme subcirculaire, il est au centre d'un bassin versant de 9900 ha, à 4 km de la mer à vol d'oiseau. (Benyacoub, 1996 ; Messerer, 1999).

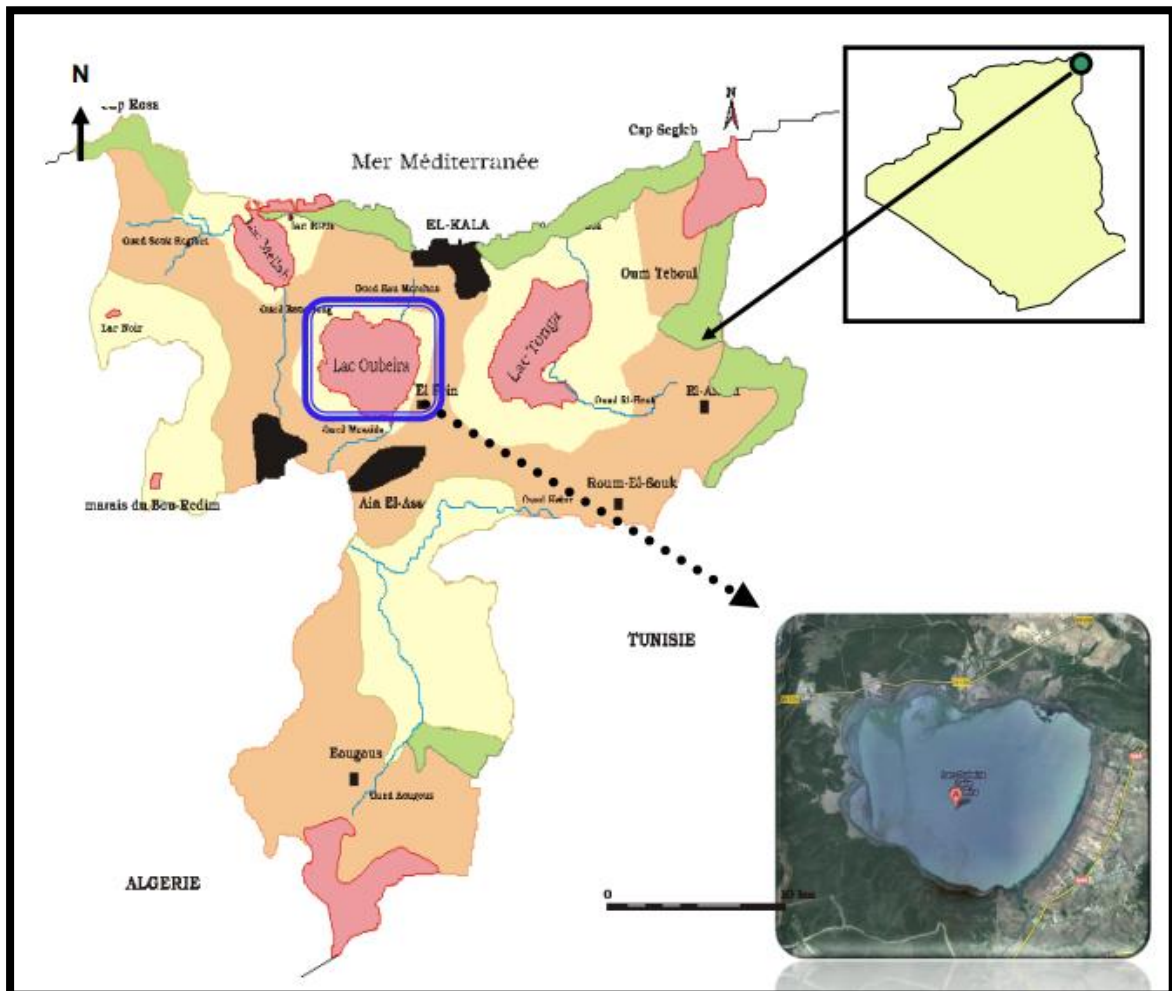


Figure 11 : Carte de zonage du Parc National d'El Kala (Direction Général des Forêt, 2011)

IV.1.1 Importance écologique du lac

En Afrique du Nord, c'est l'unique plan d'eau de cette dimension que ne s'assèche jamais même après une longue période sécheresse. Cette singularité lui a donné les caractéristiques écologiques exceptionnelles qui étaient les siennes. On y compté 400.000 oiseaux dans la première partie des années 1980. Un signe indésirable de sont importance écologique à l'origine de son classement comme zone d'importance internationale pour l'avifaune aquatique. C'est l'unique station dans le Maghreb pour la châtaigne d'eau (Trapanatans). La végétation aquatique parfaitement adaptée aux conditions de l'environnement nourrissait une faune piscicole riche et variée notamment les mulets et les barbeaux qui étaient pêchés et vendus avec des revenus substantiels (**Baba Ahmed, 2003**)

IV.1.2 Topographie

Les coupes topographiques du lac révèlent une forme de cuvette avec un fond plat bien développé occupant la majorité de sa surface (**Messerer, 1999**)

C'est un système endoréique dont l'alimentation en eau est assurée par l'oued Messida, par l'oued El-Kebir (**Bouguenais, 1993**). Et plus particulièrement par le ruissellement des eaux sur les estuaires argilo gréseux composant le bassin versant

IV.1.3 Facteur hydrique

Le lac est fortement influencé par les variations climatiques En effet en période estivale le lac atteint un volume d'eau de 22 031 078,80 m³ avec une profondeur moyenne de 96m et en période hivernale, le lac présente un volume d'eau de 32 535 096,80 m³, avec une profondeur moyenne de 124m par ailleurs la vase présente un volume de 30 207 685 30 m³ (**Messerer, 1999**).

IV.1.4 Biodiversité du lac Oubeïra

➤ La richesse Floristique

C'est le seul site du complexe humide de la région qui présente une organisation spatiale typique en ceintures de végétation (Hélophytes) avec une importante superficie colonisée par des herbiers flottants d'hydrophytes. (**MIRI, 1996**) Les monts qui alimentent le lac Oubeïra sont couverts de forêts ; ce plan d'eau est fréquenté par de nombreuses espèces d'oiseaux aussi bien sédentaires que migratrices (**Brahmia, 2002**),

➤ **La richesse Faunistique**

On note la nidification du Blongios nain, la Talève sultane, la Rousserolle turdoïde, le Butor étoilé, et le Busard des roseaux, avec la présence du Balbuzard pêcheur qui chasse ses proies dans le lac. Les hivernants sont présentés par l'Erismature à tête blanche, la Grande aigrette, la spatule blanche, l'Oiecendrée, le grand cormoran, plusieurs espèces de limicoles et l'Avocette élégante, et de façon irrégulière, l'Ibis falcinelle et le Flamant rose (Brahmia, 2002). Or les oiseaux, les insectes sont aussi présents avec 28 espèces

IV.2.Présentation de site d'echantionnage

La stratégie de notre étude s'appui sur des prélèvements effectués dans six (6) stations au niveau du Lac Oubeira. (Tableau 03).

Tableau 03 : Les différentes stations étudiées.

Station	Nom
01	Bou Hchicha
02	El Frin
03	Demnet Errihana
04	A coté de la route (w109)
05	Bouceta Ahmed
06	Coté de Ain Khiar

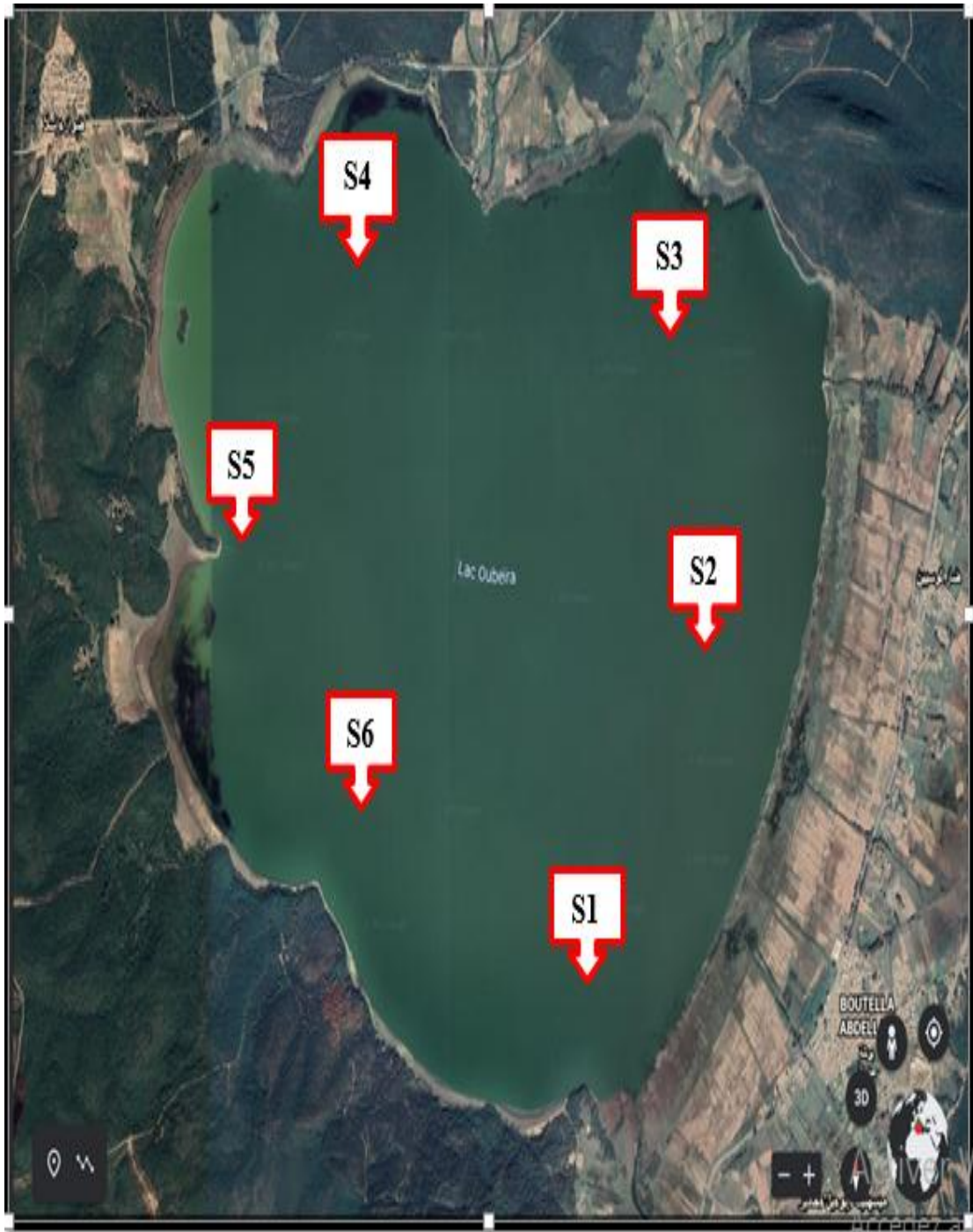


Photo 01: Localisation des stations de prélèvement (Necer ;Nafaa., 2021).



Station(01) : Bou Hachicha



Station(02) : El Frine



Station(03) : Demnet Errihana



Station(04) : A coté de la route (w109)



Station (05): Bouceta Ahmed



Station (06) : Coté de Ain Khiair

Photo02 : Les six stations de prélèvements (Nafàa ;Necer 2021).

IV.3. Présentation du matériel technique d'étude

- Filet à plancton (20 μ m) ;
- Multi paramètre de terrain (**Horiba UV59**) ;
- Bouteille ombrée de 125ml ;
- Bouteille en plastique de 1,5L ;
- Papier aluminiums ;
- Glacière ;
- Appareil photos numérique (**Sony**);
- Chambre de comptage ;
- Microscope inverse ;
- Pipette graduée ;
- Burette ;
- Lugol ;

IV.4. Mesure les paramètres physiques

Lors de notre étude, des prélèvements ont été effectués pendant le mois février 2021 au niveau du Lac Oubeira. Au cours de l'échantillonnage, On a mesuré in situ pour chaque station les paramètres physiques le pH, la température de l'eau, la conductivité électrique et l'oxygène dissous, et la turbidité. A l'aide d'un multi-paramètre terrain HoribaUV59(**Photo03**).



Photo03 : Les mesures sur terrain à l'aide d'un multi paramètre (Nafaa ; 2021).

Technique de mesure :

- Faire plonger la sonde appropriée dans la station ;

- La lecture s'effectue après la stabilisation de l'affichage sur l'écran.
- Le rinçage des sondes avec de l'eau distillée est obligatoire avant et après chaque usage.

IV.5. Mesure les paramètres biologiques

IV.5. 1 Récolte des échantillons des phytoplanctons

Lors de notre étude, ont été effectués des prélèvements au mois de février 2021 au niveau du Lac Oubeira.

La technique de récolte des phytoplanctons consiste à filtrer 30 l d'eau brute au niveau des stations au moyen d'un filet à plancton de 20 μ m de maille munie d'un robinet. Puis, récupérer 100ml du volume collecté dans une bouteille en verre ombrée et le fixer immédiatement avec 5 % du Lugol à une concentration finale de 35% afin d'éviter la prolifération des microorganismes vivants (photo 07).

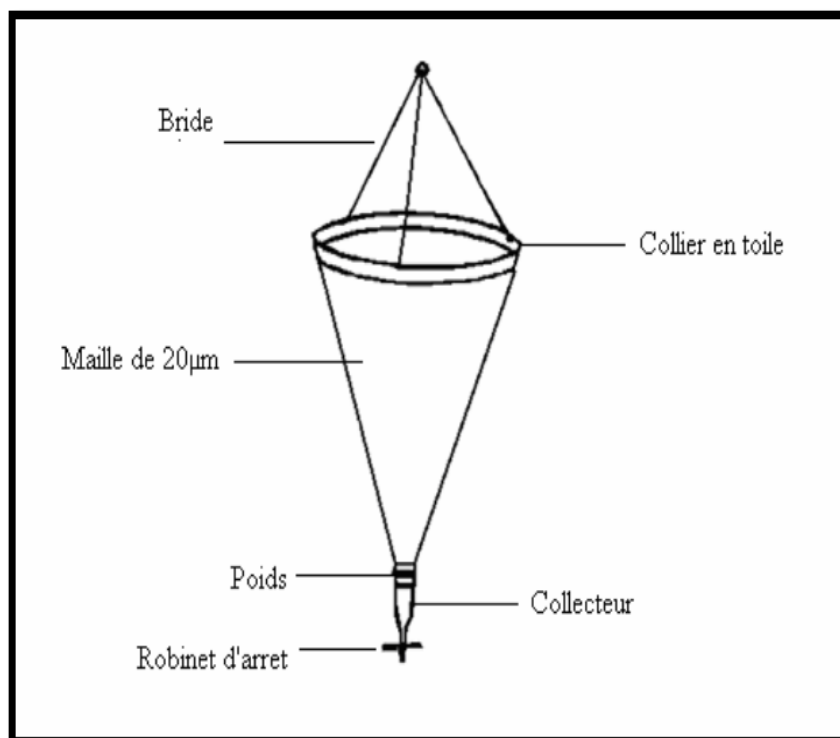


Figure 12 : Schéma d'un Filet à plancton



Photo04 : Technique de récolte des phytoplanctons (Necer ;Nafâa ; 2021).

IV.6. Identification et dénombrement des phytoplanctons

IV.6.1. Identification des phytoplanctons

L'identification des phytoplanctons a été réalisée dans le laboratoire d'analyse biologiques au niveau de la faculté SNV (Université Chadli Bendjedid El tarf), sous microscope inversé (**ZEISS Primovert**) au grossissement (x20 et x40) ; un volume de 10ml est versé dans la chambre de sédimentation (Chambre de 10ml). Elle est posée sur une surface plane sans vibrations pour effectuer la sédimentation des phytoplanctons. Ensuite, on fait un parcours de différents champs sur toute la surface de la chambre pour faire l'identification des espèces.

L'étude taxinomique des différentes classes des phytoplanctons ainsi que les différents taxa de chaque classe a été effectuée en se basant sur les manuels et le guide d'identification suivants :

- Le phytoplancton de la Baie des chaleurs (**Brunel, 1962**) ;
- Atlas du phytoplancton marin (**Ricard, 1987**) ;
- Phytoplankton Identification Catalogue of Saldanha Bay, South Africa (**Botes, 2001**);

IV.6.2. Dénombrement des phytoplanctons :

Le comptage des phytoplanctons a été réalisé sous microscope inversé (**ZEISS Primovert**) selon la méthode **Utermöhl(1931)** et **Lund et al. (1958)** ; cette méthode est basé sur la décantation de phytoplanctons via une chambre de sédimentation.

La méthode Utermöhl permet d'analyser un volume relativement réduit d'eau, habituellement entre 10 et 50 ml. La limite de détection est donc d'environ 20 cellules l-1 si on analyse l'ensemble du fond d'une chambre de 50 ml. En réalité, la limite de détection est plus élevée pour des raisons stochastiques. De nombreux gros phytoplanctons se trouvent en abondance à proximité de cette limite de détection, il en est de même pour de nombreuses espèces nocives. Ceci signifie qu'elles ne figureront pas souvent dans les résultats, concentrer par sédimentation, afin d'inclure également les organismes rares.

Le principe de la méthode consiste à concentrer les phytoplanctons en suspension dans un échantillon d'eau, sur une surface réduite directement observable par microscopie. En

pratique, un volume connu d'échantillon d'eau est soumis à une étape de sédimentation verticale dans un contenant de faible section et dont le volume est calibré. Après un temps de sédimentation suffisant, les phytoplanctons se répartissent sur le fond du contenant de manière aléatoire. Il est alors directement observable à l'aide d'un microscope inversé.

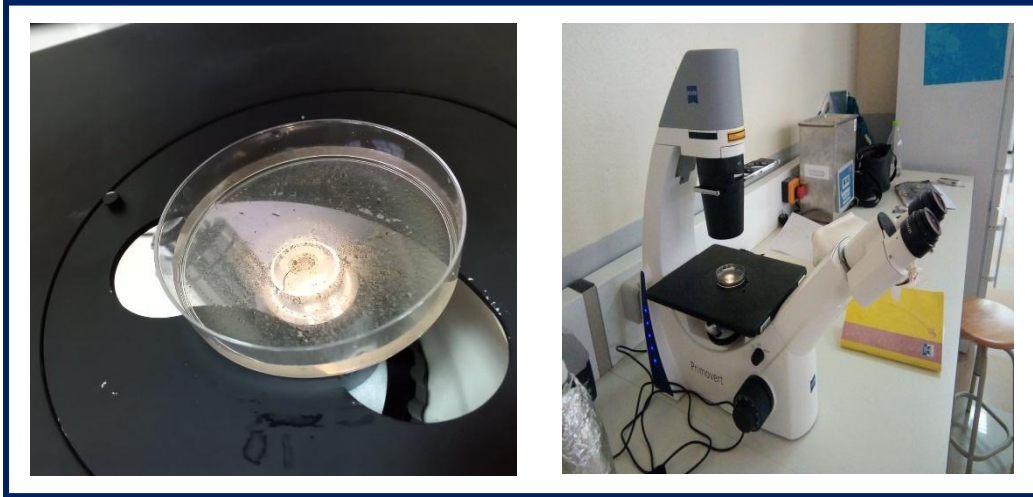


Photo 05 : Echantillon d'eau
(Dans chambre en verre)

Photo 06 : Microscope inversé
(ZEISS Primovert)

V. Résultats et discussions

V.1. Caractéristiques du paramètre physico-chimique du Lac Oubeira

V.1.1 .La température

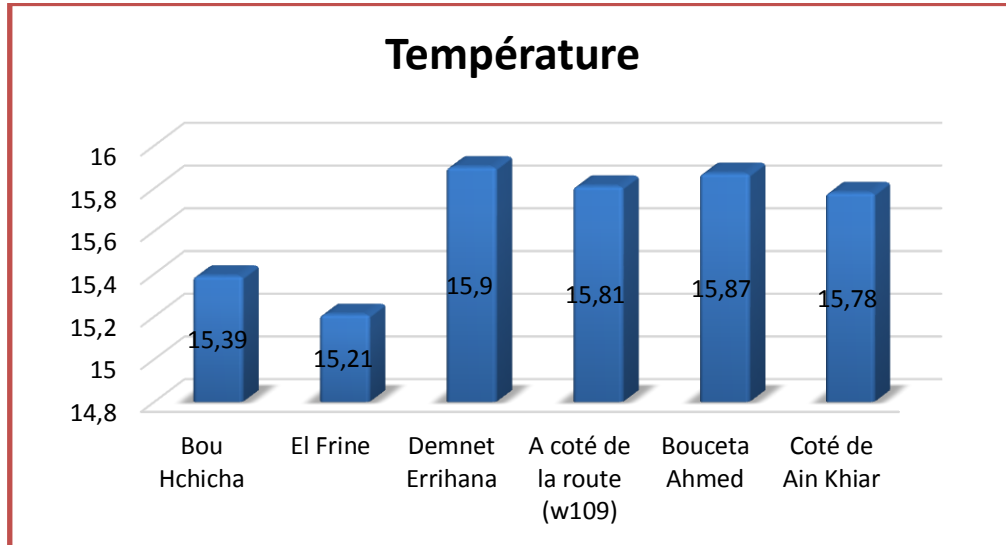


Figure13: Variation de la température dans lac Oubeira

La figure (13) représente les variations spatiales de la température dans lac Oubeira pendant la période d'étude. La température mesurée est presque constante dans les six (06) les stations étudiées, Elle atteint une valeur maximal de 15.90°C dans Demnet El Errihana,

V.1.2. Le potentiel hydrogène

La figure ci-dessous représente les variations du PH dans les six stations des Lac Oubeira.

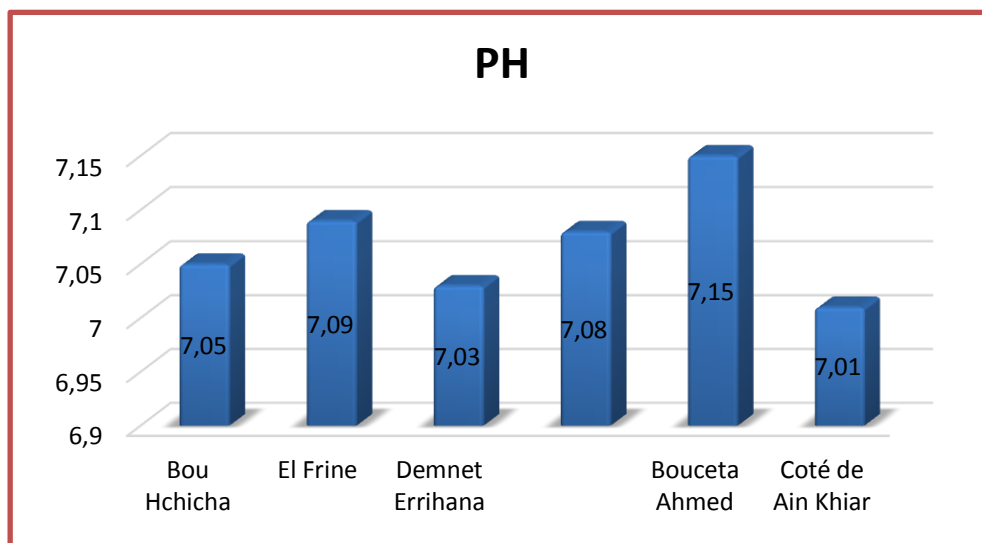


Figure14 : Variations de potentiel Hydrogène de différentes stations des Lac Oubeira.

Selon la figure (14), Le pH est presque stable dans toutes les stations à des valeurs entre 7.03-7.15.

V.1.3. Conductivité électrique

La figure ci-dessous montre les variations de la Conductivité électrique.

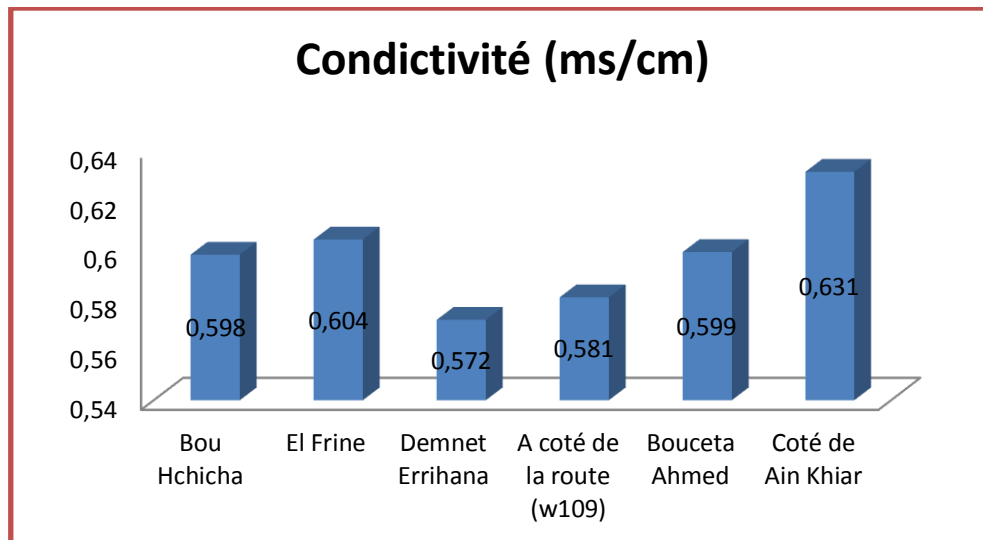


Figure15: Variations de la conductivité de différentes stations du Lac Oubeira.

La conductivité, qui varie en fonction de la température, est étroitement liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature (Rodier et al, 2005).

D'une manière générale, plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée.

D'après la figure (15), le plus faible résultat de la conductivité est enregistré dans la station S3 (Demat Errihane) avec 0.572 $\mu\text{s}/\text{cm}$, Alors que, la plus élevée est enregistrée au niveau de la station S6 (Cote d' Ain Khiar) à 0.631 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

V.1.4. Oxygène dissous

La figure ci-dessous représente les variations de l'Oxygène dissous dans les six 06 stations des Lac Oubeira.

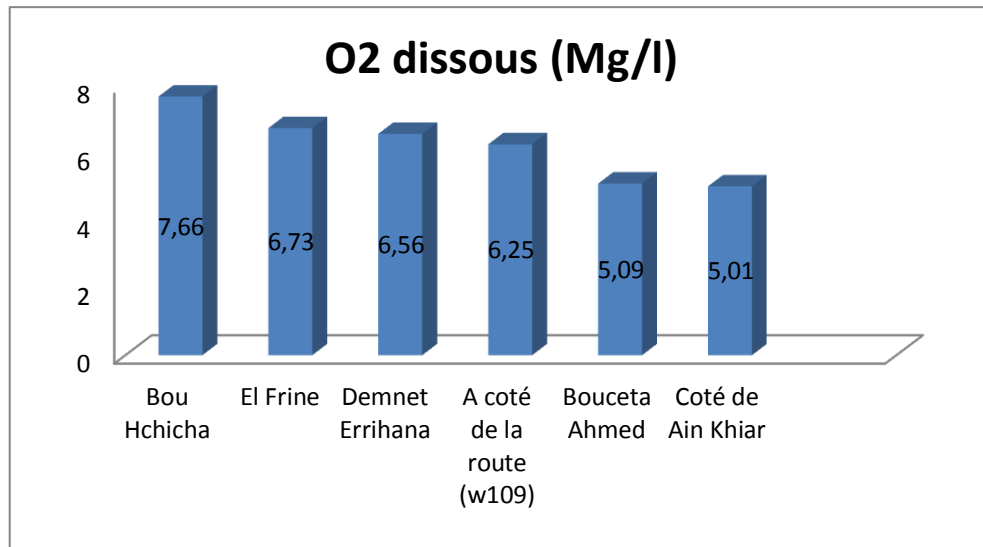


Figure16: Variations de l'oxygène dissous de différentes stations du Lac Oubeira.

Dans les milieux aquatiques, l'oxygène est le moteur essentiel à la vie des organismes, il assure l'oxydation de la matière organique en faisant intervenir les différents groupements bactériens et en contribuant donc à l'auto-épuration du milieu.

D'après l'histogramme, l'oxygène dissous est élevée dans les six 06 stations, avec des variations bien observées entre les stations (5.01 mg/l'o₂, 7.66 mg/l'o₂), la valeur maximal est enregistrée à Bouhchicha (S1) par contre la valeur minimal est observé aux stations 6 sur le cote de Ain khiair.

V.1.5. Turbidité :

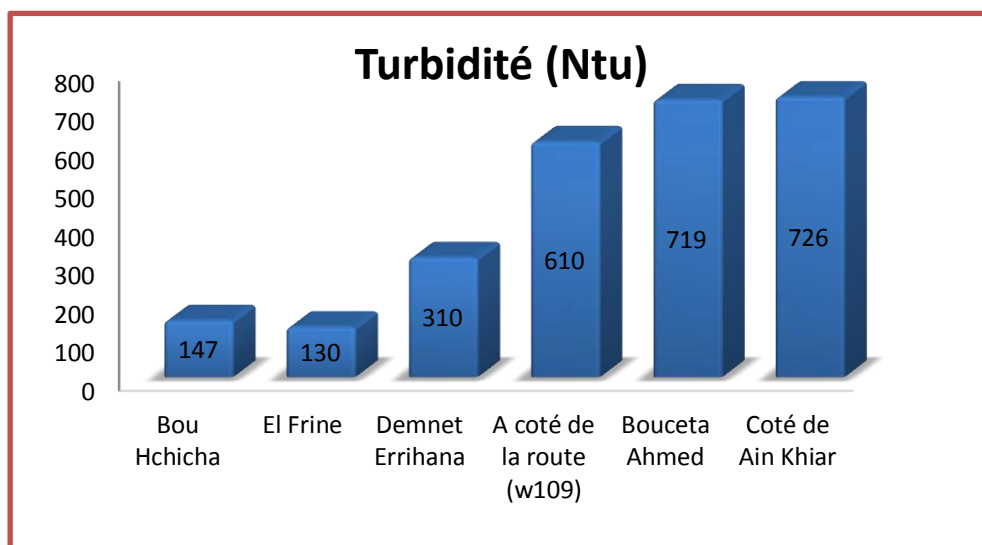


Figure 17 : Variations de la turbidité de différentes stations du Lac Oubeira.

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organique, argiles, organismes microscopiques...)

Les résultats de turbidité obtenus à partir des échantillons d'eau prélevés montrent que la valeur la plus élevée est enregistré dans la station cotée d'Ain Khiar, elle atteint une valeur de 726 NTU. Suivie par la station de Bouceta ahmed 719 NTU par contre les valeurs minimales observent dans les stations de Bou-Hchicha et El Frine (147 NTU–130 NTU).

V.2. L'identification et l'inventaire des populations phytoplanctoniques récoltés au niveau du Lac Oubeira :

V.2.1. Identification des phytoplanctons récoltés :

Les résultats du dépouillement et identification des prélèvements des six 06 stations de la campagne du mois février 2021 moyennant plusieurs clés d'identification (*Robin, 2015. Maria, 2005. Wiley et sons, 2010. Sylvaine et Jean-Paul, 1996*) et beaucoup d'effort Nous a permis d'identifier 07divisions dans le peuplement des phytoplanctons.

Les résultats d'identification des prélèvements de six (06) stations duLac Oubeira au mois février 2021 moyennant plusieurs clés d'identification (*Robin, 2015. Maria, 2005. Wiley et sons, 2010. Sylvaine et Jean-Paul, 1996*) et selon les individus, les valves présentent des formes diversifiées et des ornements (stries, pores, ponctuations...) nous ont permis d'identifier 07divisions dans le peuplement des phytoplanctons (**Bacillariophyta, Chrysophycée, Euglenozoa, Zygothycées, Dinoflagellata, Cyanobacteria, Chlorophyta**) (Tableau.04)

- Un genre dans le peuplement desChrysophycée (**Mallomonas**). Ces genres inclus dans une seul Ordre (**Synurales**) et la famille (**Mallomonadaceae**).
- Un genre dans le peuplement desEuglenophycée(**Euglena**). Ces genres inclus dans une seul Ordre (**Euglenales**) et la famille (**Euglenaceae**).
- 02 genres dans le peuplement desZygothycées(**Clasteruim, Pleurotaenuim**).Ces genres inclus dans une seul Ordre (**Desmidiiales**) et02 familles (**Closteriaceae, Desmidiaceae**).
- 04 genres dans le peuplement des Dinophycées (**Peridinium, Gonyaulax ,Ceratium , Prorocentrum**).Ces genres inclus dans une 03 Ordre (**Peridinales**,

- Gonyaulacales ,Prorocentrales) et 04 familles (Peridiniaceae , Gonyaulaxaceae , Ceratiaceae , Procentraceae).
- 11 genres dans le peuplement des Chlorophycées (Scenedesmus, Desmodesmus, Selenastrum, Ankistrodesmus, Pediastrum, Tetraedron, Binuclearia, Stigeoclonium, Chodatella, Oocystis, Chlorella). Ces genres inclus dans une 04 Ordre (Sphaeropleales, Chlorococcales, Chaetophorales, Synurales, Chlorellales) et 07 familles (Scenedesmaceae, Selenastraceae, Hydrodictyaceae, Binucleariaceae, Chaetophoraceae, Oocystaceae, Chlorellaceae).
 - 08 genres dans le peuplement des Cyanobacteria (Spirulina, Anabaena, Rivularia, Pseudanabaena, Merismopedia, Phormidium, Lyngbya, Oscillatoria). Ces genres inclus dans une 04 Ordre (Chroococcales, Nostocales, Synechococcales, Oscillatoriales)et 07 familles (Spirulinaceae, Rivulariaceae, Nostocaceae, Pseudanabaenaceae, Merismopediaceae, Phormidiaceae, Oscillatoriaceae)
 - 08 genres dans le peuplement des diatomées (Melosira ,Syndra , Cocconcis , Navicula, Cyclotella , Aulacosiera , Caloncis , Asterionella). Ces genres inclus dans 07 Ordres (Achnanthales ,Tabellariales ,Melosirales ,Naviculales ,Aulacoseirales ,Fragilariales ,Stephanodiscales) et 07 familles (Cocconeidaceae, Tabellariaceae ,Melosiraceae , Naviculaceae ,Aulacoseiraceae ,Fragilariaceae , Stephanodiscaceae).

Tableau 04 : Composition taxonomique des phytoplanctons au niveau du Lac Oubeira

Division	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Achnanthales	Cocconeidaceae	Cocconeis	Sp
		Tabellariales	Tabellariaceae	Asterionella	Sp
		Melosirales	Melosiraceae	Melosira	Sp
		Naviculales	Naviculaceae	Navicula	Sp
				Caloneis	Sp
		Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	Sp
		Fragilariales	Fragilariaceae	Synedra	Sp
Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	Cyclotella	Sp		
Chrysophycée	Synurophyceae	Synurales	Mallomonadaceae	Mallomonas	Sp

Euglenozoa	Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	Sp
Zygomycetes	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	Closterium	sp
			Desmidiaceae	Pleurotaenium	sp
Dinoflagellata	Dinophyceae	Peridinales	Peridiniaceae	Peridinium	Sp
		Gonyaulacales	Gonyaulaxaceae	Gonyaulax	sp
			Ceratiaceae	Ceratium	sp
		Prorocentrales	Prorocentraceae	Prorocentrum	Sp
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	Spirulinaceae	Spirulina	Sp
		Nostocales	Nostocaceae	Anabaena	SP
			Rivulariaceae	Rivularia	sp
		Synechococcales	Pseudanabaenaceae	Pseudanabaena	sp
			Merismopediaceae	Merismopedia	Sp
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	sp
				Lyngbya	sp
			Phormidiaceae	Phormidium	Sp
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	sp
				Desmodesmus	Sp
			Selenactreaceae	Selenastrum	Sp
				Ankistrodesmus	Sp
			Hydrodictyceae	Pediastrum	sp
				Tetraedron	sp
		Chlorococcales	Binucleariaceae	Binuclearia	Sp
		Chaetophorales	Chaetophoraceae	Stigeoclonium	sp
		Chlorellales	Chlorellaceae	Chodatella	sp
			Oocystaceae	Oocystis	Sp
			Chlorellaceae	Chlorella	Sp

V.2.2. Répartition de la densité totale des phytoplanctons :

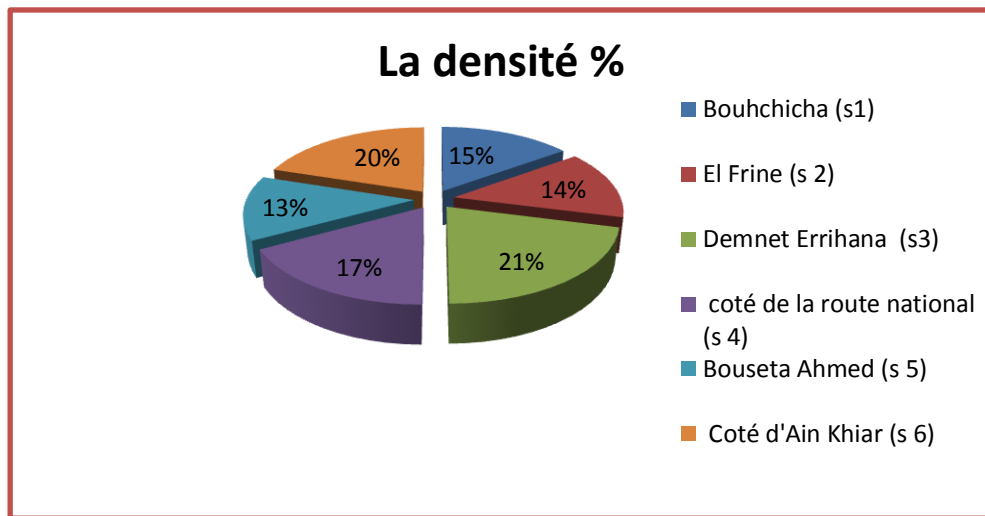


Figure 18: Répartition spatiale des taux phytoplanctoniques (%) au niveau de Lac Oubeira

La répartition spatiale du phytoplancton lors de la période d'étude représentée dans la figure 18, indique que : La station (S5) Bouceta Ahmed abrite le pourcentage le plus faible, soit 13 %. Alors que la station (S2) El Frin abrite un pourcentage de 14 %.

Cependant la station (S3) Demnet Errihana abrite le pourcentage le plus haut de 21 %. Ceci est lié vraisemblablement à l'interaction de plusieurs facteurs tels que : L'oxygène dissous qui assure le développement des phytoplanctons

V.2.3. La densité totale des phytoplanctons

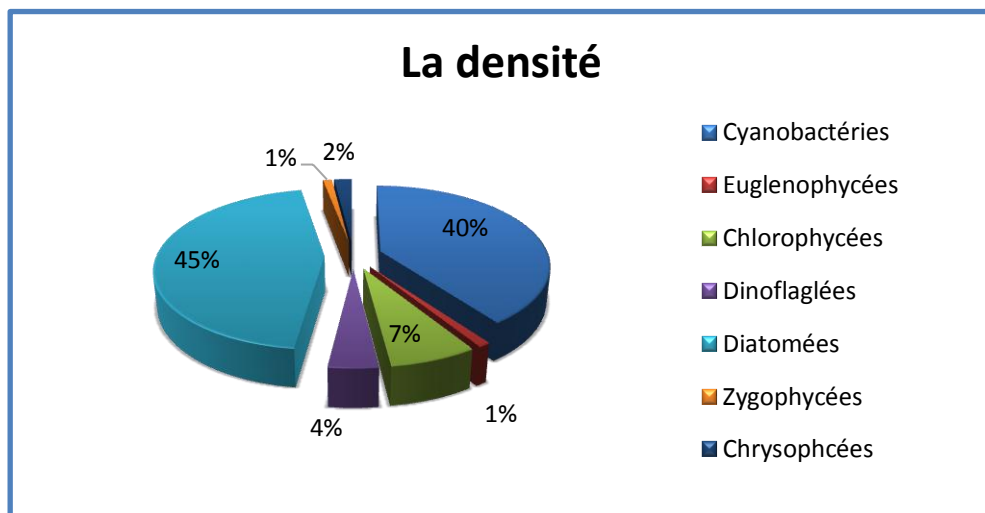


Figure 19: La densité totale des phytoplanctons selon la division (%) au niveau de Lac Oubeira

Le profil de la densité totale des phytoplanctons selon la division représentée dans la figure 19 montre que les diatomites et les cyanobactéries sont les plus dominants, elles constituent 45% et 40%.

V.2.3. La répartition spatiale des phytoplanctons récoltés

Station 01 : Bouhchicha(S1)

Selon le travail effectué, la moyenne des résultats de la densité des différentes espèces et familles des phytoplanctons au niveau de station 01 Bouhchicha dans le mois de février 2021 est illustrée dans la figure(20).

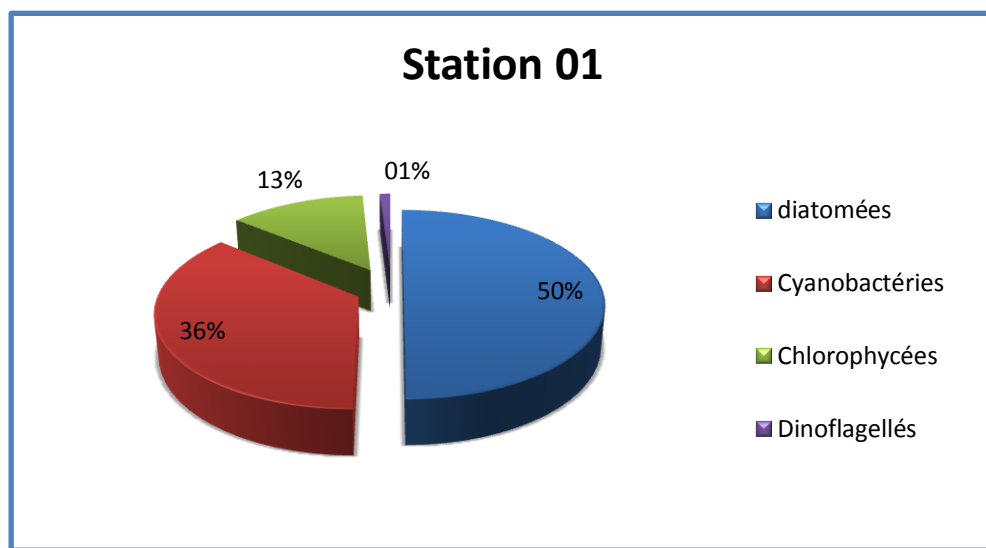


Figure20 : Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 01 du Lac Oubeira

D'après la figure (20), La classe des Diatomophycées est dominées au niveau du station (01) BouHchicha , avec une portion de 50 %. Suivi par la classe des Cyanophycées par 36%. Le pourcentage de la classe des Dinophycées, est très faible à 1%.

Station 02 ElFrine :

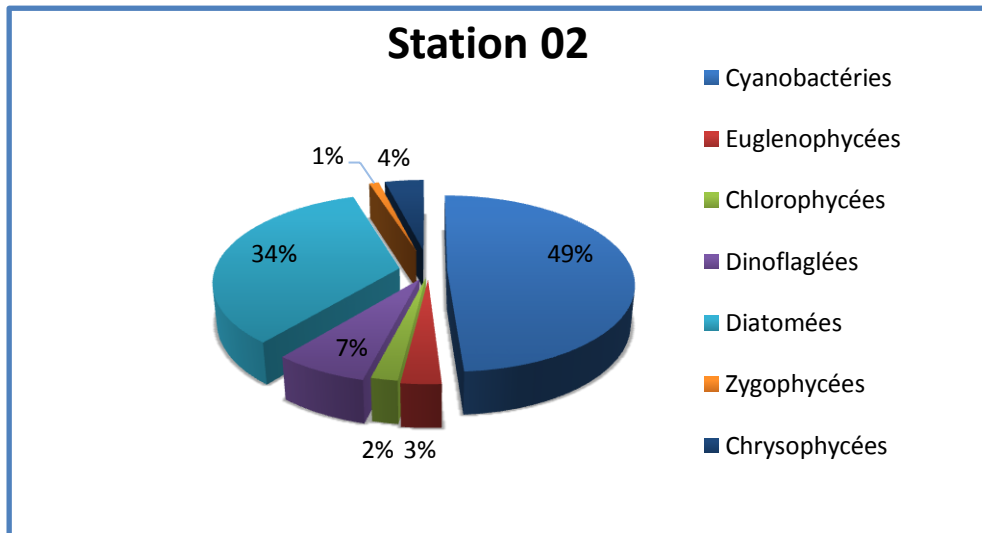


Figure21: Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 02 du Lac Oubeira

Selon la figure (21), la famille des cyanobactéries des phytoplanctons est plus abondantes, avec un pourcentage de 49 %, par contre la famille des Zygophycées est plus rare avec 1%

Station 03 : Demnet El Errihana

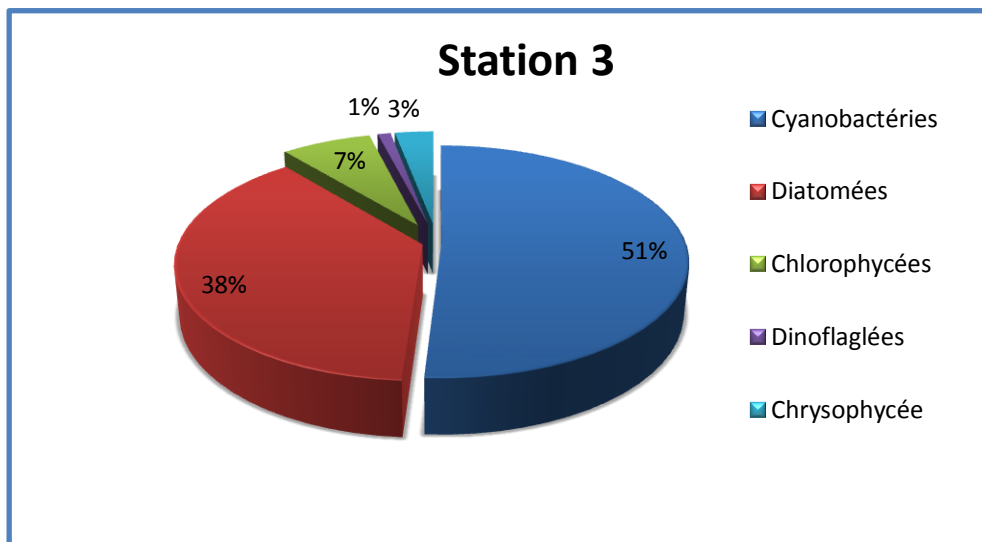


Figure22 : Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 03 du Lac Oubeira

La classe des Cyanophycées domine au niveau de la station (03) Demnet El Errihana avec une portion de 51 %, suivie par la classe des diatomées à 38% par contre les autres classe sont plus rares.

Station 04 : A côté de la route (w 109)

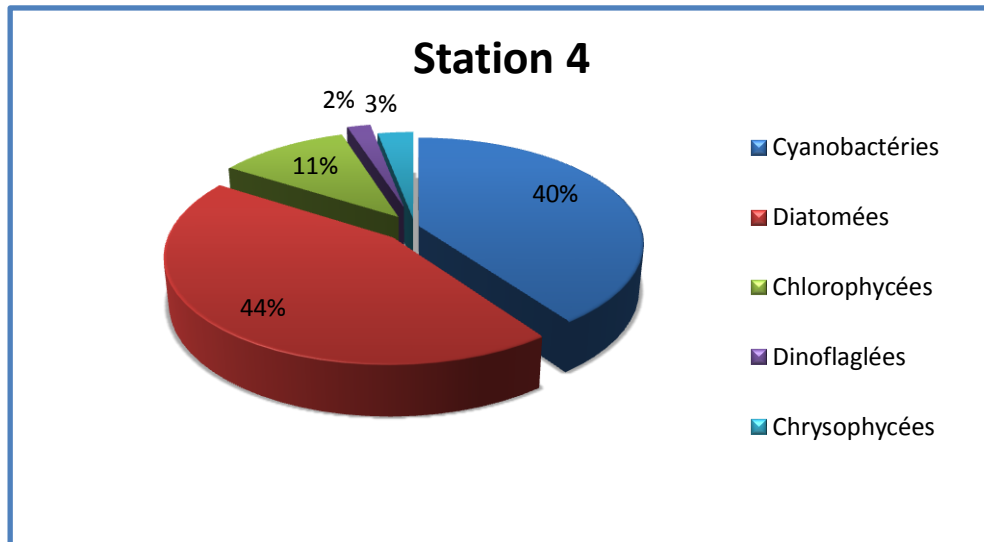


Figure23 : Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 04 du Lac Oubeira

La classe des Diatomophycées présente la portion la plus élevée de 44% au niveau de la station (04). Cependant, la contribution de la classe des Cyanophycées se situe par 40%. Ces résultats indiquent que la station de à côté de la route est très riche en Diatomées.

Station 05 : Bouceta Ahmed

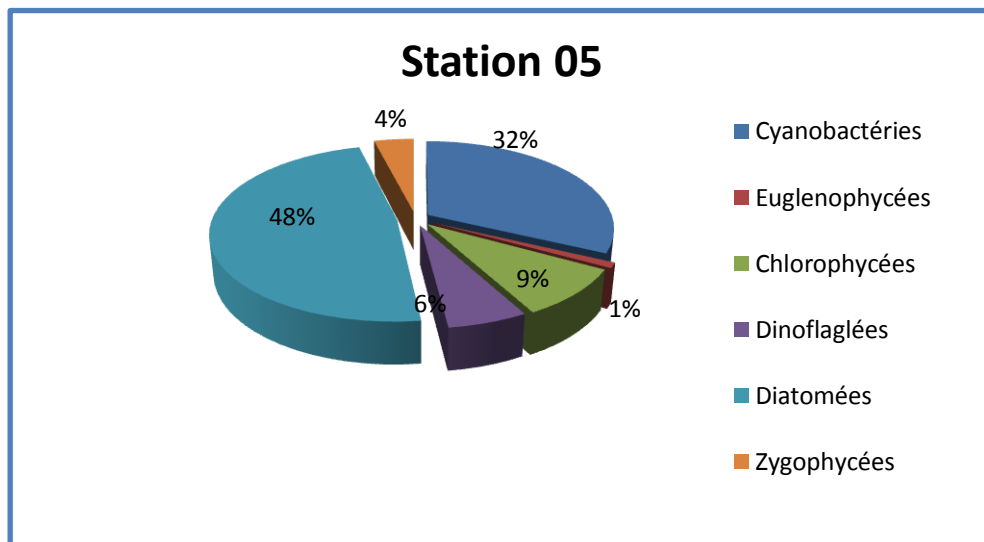


Figure24: Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 05 du Lac Oubeira

La classe des Diatomophycées présente la portion la plus élevée de 48% au niveau de la station (05) Boucetta Ahmed. Cependant, la contribution de la classe des Cyanophycées se

situé Le pourcentage de la classe des Euglénophycées, Zygothécées paraît très faible et constant autour de 1% et 4%.

Station 06 : Coté d'Ain Khiair

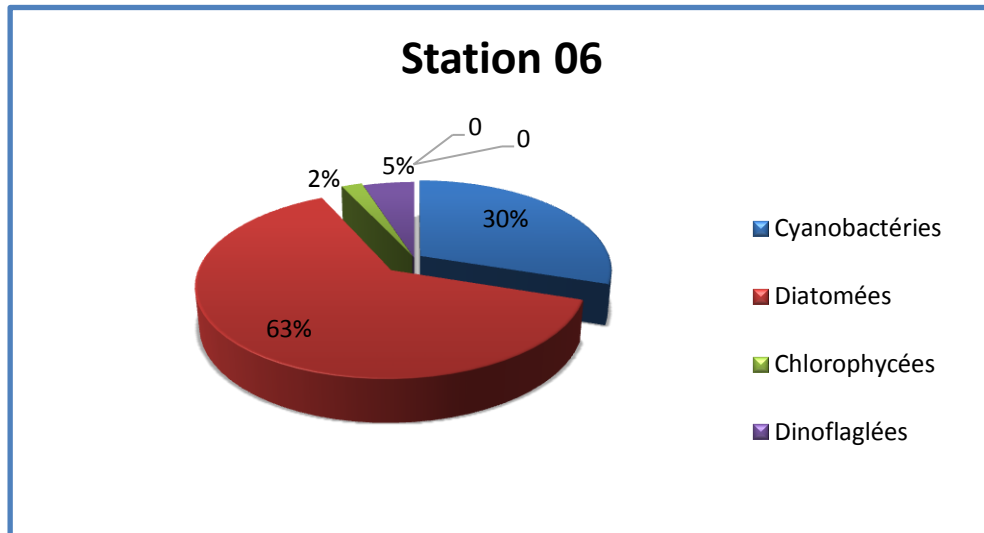


Figure 25 : Variations de la densité des phytoplanctons dans la station 06 du Lac Oubeira

D'après la figure 25 La classe des Diatomophycées présente la portion la plus élevée de 63%. Suivi par la class des Cyanophycées à 30%. Le pourcentage de la classe des Chlorophycées, Dinophycéessont très faible à 2% et 5%.

Discussion générale

❖ La température :

La température est une mesure momentanée en fonction du temps, de l'heure et du lieu de prélèvement. Elle agit comme un facteur écologique majeur dans les biotopes terrestre et aquatique (**Ramade ; 2000**).

D'après nos résultats, les mesures de la température dans toutes les stations sont variées entre 15.21°C-15.90°C, et d'une manière générale ne dépasse pas la norme autorisée qui est de 25°C (**Bulletin Officiel, 2002**).

❖ Le potentiel d'hydrogène :

Le pH est un paramètre qui permet de déterminer le degré d'acidité ou d'alcalinité des écosystèmes aquatiques. Il joue un rôle capital dans le développement de la faune et de la flore aquatique dont le pH optimum varie de 05 et 08(**Ramade ; 2000**).

Notre résultat de pH au niveau des six points de prélèvement est selon les normes et qui sont situés entre 7.1 et 7.15.

❖ La conductivité :

La conductivité varie d'une station à une autre. La plus élevée est enregistrée au niveau d'Ain Khiair (S6), avec 0.631 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Une conductivité élevée traduit, soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée qu'elle soit naturelle ou due à des rejets salins (**Afri -Mehennaoui, 1998**)

L'élévation de la conductivité électrique au niveau de cette station serait liée une bonne appréciation des eaux de recueils du degré de minéralisation où chaque ion agit par sa concentration par rapport des autres stations. Selon **Gaugous (1995)**, la conductivité varie suivant la concentration ionique de l'eau.

❖ L'oxygène dissous :

Dans les milieux aquatiques, l'oxygène est le moteur essentiel à la vie des organismes, il assure l'oxydation de la matière organique en faisant intervenir les différents groupements bactériens et en contribuant donc à l'auto-épuration du milieu.

Les résultats d'oxygène dissous des stations étudiées sont variés entre 5.01 et 7.66 mg/l.

Ces résultats de concentration en oxygène dissous est également fonction de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques et de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

Selon **Beaupoil et Bornens, 1997** une valeur inférieure à 1 mg/l d'O₂ indique un état proche de l'anaérobie.

❖ **La Turbidité :**

La Turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...).

La forte turbidité au niveau de la station 06 coté d'Ain Khiair (726 NTU) et la station 05 de Boucetta ahmed (719 NTU) par rapport aux autres stations ; peut provenir soit des effets de l'érosion naturelle ou débris organiques du bassin versant, soit des rejets d'eaux résiduaires urbaines de village de Boucetta ahmed.

❖ **Identification et l'inventaire des phytoplanctons récoltés**

Lac Oubeira est un écosystème aquatique qui appartient à un ensemble biogéographique, exceptionnel par sa diversité biologique. Le site étudié est un écosystème aquatique répertorié dans le registre très élaboré des zones humides.

L'étude qualitative des phytoplanctons récoltés au niveau des six stations du lac Oubeira nous a permis d'identifier sept (**07**) classes phytoplanctoniques : Les Diatomées, Les Chrysophycées., Les Euglènes, Les Zygophycées, Les Dinoflagellés, Les Cyanobactéries, Les Chlorophycées.

Les Diatomées sont présentes avec 08 genres. Ce qui représente 45 % de la densité totale **des phytoplanctons. Suivies par les Cyanobactéries** qui sont présentes avec 08 genres. Ce qui représente 40%. **Les Chlorophycées** sont présentes avec 12 genres. Ce qui représente 7%. **Les Dinoflagellés** sont représentés 4%, **les Chrysophycées** à 2%, **Les Euglènes** et **Les Zygophycées** à 1 %..

La présence des espèces phytoplanctoniques au niveau du lac est souvent liée à plusieurs paramètres physiques, outre l'intensité lumineuse et la présence des composants

minéraux qui sont nécessaire à ces algues ce sont notamment la température, le pH. La concentration en oxygène, qui assure le développement des phytoplanctons.

❖ **La répartition et la distribution spatiale des phytoplanctons**

La répartition spatiale du phytoplancton lors de la période d'étude, indique que la station (S3) **Dement Errihana** abrite le pourcentage le plus haut de **21 %** et très riche en **Cyanobactéries**. Peut être due à l'utilisation d'engrais dans l'agriculture et les rejets domestiques de ce village.

Selon **Chorus et Bartram 1999** les cyanobactéries, sont susceptibles de synthétiser des toxines à l'origine d'intoxications plus ou moins graves, représentant des risques important pour la santé humaine et animale.

Dans les lacs, la biomasse du phytoplancton a été employée pendant des décennies pour évaluer la chaîne trophique et pour identifier l'eutrophisation artificielle induite par des activités humaines (**Wetzel, 1983 ; Harper, 1992**). Elle est considérée comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (**Solheim et al. 2005**).

Cependant la station (6) **Coté d'Ain Khia** est très riche en Diatomées à 63% de la masse phytoplanctoniques, ce qui indique l'absence des polluants due aux activités humaines et industriels. En effet selon **Garlsson et Graneli** les diatomées dominant dans les eux à PH basique.

Les résultats de notre études montrent que les classes des cyanobactéries et des diatomées sont plus dominant par apport les autres classes.

La présence de l'eutrophisation dans lac Oubeira. Peuvent être expliquées par les **quatre Oueds** qui alimentent le lac et qui passe par des terres agricoles qui chargées en matières organiques et en nutriments (phosphores et nitrate) sont Oued la Messida au Sud-Est, recueille les eaux de crues de l'oued El Kebir au Nord d'El Tarf , Oued Dement Errihana au Nord, Oued Boumerchène au Nord-Est, et l'Oued Degrah à l'Est. (Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (Réserve Intégrale du Lac Oubeira, Wilaya d'El Tarf).



Photo 07 : Les rejets domestiques de la commune du lac Oubeira(**Nafaa; Nacer 2021**)

Conclusion

Le présent travail constitue une contribution à l'Etude de l'inventaire des phytoplanctons au niveau du lac Oubeira (PNEK El tarf). Des prélèvements sont réalisés durant le mois de février 2021 au niveau de six (06) stations du lac Oubeira.

Le suivi des paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux durant la période d'étude a montré que les eaux du lac sont caractérisées par des normes de la qualité des eaux douces. Ph neutre et bien oxygénées. Avec une forte turbidité peut-être dû par la période pluvieuse.

L'observation des caractères morpho anatomiques des taxons phytoplanctoniques récoltés dans le lac nous a permis d'identifier 36 genres repartis en sept classes; 01 genres pour les chrysophytes, 11 genres pour les Chlorophytes, 08 pour les cyanobactéries qui sont connus par leur toxicité, 08 genres dans le peuplement des diatomées, 04 genres des Dinophycées, Un genre des Euglenophycée et 02 genres des Zygothécées.

L'analyse de la densité des phytoplanctons a montré une variation en fonction d'espace. Les peuplements phytoplanctoniques présentent des densités importantes.

La forte présence du phytoplancton durant le mois de février peut être liée à la disponibilité des nutriments, due à l'utilisation d'engrais et pesticides dans l'agriculture.

La distribution et la répartition spatiale des phytoplanctons lors de la période d'étude, indique que la station (S3) **Dement Errihana** abrite le pourcentage le plus haut de **21 %** et très riche en *Cyanobactéries*. Cependant la station (6) **Coté d'Ain Khia** est très riche en Diatomées à 63% de la masse phytoplanctoniques. Ces différences dans la densité algale entre les stations étudiées peuvent être dues à l'action combinée des facteurs physiques (température, pluviosité, lumière, régime des vents, hydrodynamisme, importance relative des entrées et des sorties d'eau), chimiques (pH, oxygène dissous, nutriments) et biologiques (brouillage, prédateurs, compétition inter et intra spécifique,...).

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

- Procéder des suivis des paramètres physico-chimiques (sels nutritifs) de l'eau afin de déterminer le degré de l'eutrophisation du milieu, influençant ainsi la distribution et la prolifération de la communauté phytoplanctonique.
- L'étude des différents paramètres biologiques influençant la flore algale : étude des prédateurs, brouteurs, compétitions intra et inter spécifique.
- étudier les populations des phytoplanctons détaillées et leur répartition spatio-temporelle durant toute une année ; et enfin pour mieux comprendre le phénomène d'eutrophisation du barrage et du oued il est nécessaire d'identifier toute la colonne d'eau et les sédiments.
- Effectuer des programmes de Biosurveillance dans les lagunes pour évaluer les risques engendrés par l'utilisation de l'eau contaminée et la consommation de produits aquacoles.

Références bibliographiques

AlgaeBase : embranchement Bacillariophyta (consulté le 15 août 2017)

ANBT., 2003. Monographie, barrage Koudiet-M'douar (Batna). Cosider-Tp, document interne. 271p.

Afssa, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. (2006). Évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries dans les eaux destinées et de leurs toxines à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives (231p)

Aggoun K. (2009). Etude de la biodiversité des cyanobactéries au niveau de Barrage Koudiat Medaouar Timgad (Batna). Thèse d'ingénieur, CUET

Alatou (1996). Projet de plan de gestion du PNEK. Agence National pour la conservation de la nature

Anonyme (2006). Fiche N°4A, la population piscicole, les espèces et leurs caractéristiques. Guides de Bonne Pratiques de Gestion Piscicole d'Etangs. 78p.

Arhonditsis GB, Winder M, Brett MT, and Schindler DE. 2004. Patterns and mechanisms of phytoplankton variability in Lake Washington (USA). *Water Res*, 38: 4013- 4027.

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

BENAMOR T et SEDOUR A (2009). Fonctionnement de la station d'épuration de la ville d'El-Kala et la qualité des eaux épurées à usage agricole. Mémoire d'ingénieur en sciences agronomiques. Université d'El-Tarf.

Benabdellouahad S, 2006. Structure, dynamique et typologies physico-chimiques et phytoplanctoniques de l'estuaire du Bou Regreg (Côte atlantique marocaine). Thèse de Doctorat.

Bensafia N., 2005. Le peuplement des cyanobactéries de deux plans d'eau douce (lac Oubeira, lac Tonga); Thèse de magister ; Université d'Annaba. P :4.

Benyakoub S., 1996. Diagnose écologique de l'avifaune du parc national d'El-Kala. Expertise 107 projet banque mondiale. 96 pp.

Bouaïcha N., 2001. Impact sanitaire des toxines de Cyanobactéries en milieu d'eau douce. Revue française des laboratoires, N° 836.39-46.

Bouaïcha N., 2002. La ruée vers l'eau en Algérie, Maroc et Tunisie. Université Paris -Sud, UFR de Pharmacie / Laboratoire Santé Publique-Environnement. 1- 2.

Boujis P., 1974. Ecologie du plankton marin. I. Phytoplancton. Ed. MASSON et C^{ie}. P 6- 7.

Boukehili H & Msalmi M., 2008. Effet du choix de la méthode d'échantillonnage sur les résultats de démembrement et d'identification du zooplancton des eaux du lac Oubeira. Mémoire des études supérieures en biologie. Centre Universitaire d'El Tarf.p26.

Boumezbeur A., 2003. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Réserve intégrale du lac Oubeira. p :2-5.

Brahmia Z., 2002. Rôle fonctionnel du lac Oubeira et du lac Mellah (Parc National d'El-Kala) pour les oiseaux marins. Thèse de magistère. Université d'Annaba, Algérie 88 pp.

Brunel, J. (1962). Le Phytoplancton de la Baie des Chaleurs. Contribution No. 77 de L'Institut Botanique de l'Université de Montreal. Montreal, Les Presses de l'Université, 365 pp., 66 planches en heliogravure.

CARTY,S.2003:Dinoflagellates,in Fresh Water Algae of North America.Ecologie and Classification ,Ecology and Classification.Wehr ,J.D.and Sheath,R.G.(EDS) Academic Press,Paris.

Glover, J.D., Cox, C.M., Reganold, J.P., 2007. Future farming: a return to roots? Sci. Am. 297, 66–73.

Coate A., 1995. Diversité chez les micro algues. TSM ; 01-1995, 20-24 pp.

Cromwell I.I., Smith J.E., J.B., Raucher R.S., 2007. No doubt about climate change and its implications for water suppliers.Journal of the American Water Works Association. 99: 9.112- 117.

Guiry, M. D. (2012), How many species of algae are there?.J. Phycol., 48: 1057–1063.

(Harris & Piccinin, 1977). Photosynthésis by natural Phytoplankton Populations.Arch.Hydrobiol.80:405-457.

Kugrens, P. et Clay, B.L. 2003. Cryptomonads. Dans : Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

Kofoed, C.A., 1909: On *Peridinium steini* Jörgensen, with a note on the nomenclature of the skeleton of the Peridinidae. Archiv für Protistenkunde, 16, p.25-47, 1 pl.

Michael J. Witkowski, Plaintiff-appellant, v. Milwaukee County, et al., Defendants-appellees, 480 F.3d 511 (7th Cir. 2007).

Nasri H ,2006. Etude de la dynamique spatio-temporelle et des paramètres de croissance des cyanoprocaryotes toxiques .Dans un milieu d'eau douce (cas du barrage de Cheffia), thèse de magister .Univ .d'Annaba ,78pp.

NCBI : Bacillariophyta (consulté le 15 août 2017).

Owen AM, Coleman MR, Menon DK, Johnsrude IS, Rodd JM, Davies MH, et al. Residual auditory function in persistent vegetative state: a combined PET and fMRI study. Neuropsychol Rehabil 2005; 15: 290–306.

P. N. R. (2010). Programme National de Recherche. Ressources en Eau. Direction de la Programmation de la recherche de l'Evaluation et de la Prospective (DPREP).

PAERL, H. W., L. M. VALDES,J.E.ADOLF,B.L.PEIERLS, AND L. W.HARDING JR. 2006a. Anthropogenic and climatic influences onthe eutrophication of large estuarine ecosystems. Limnology andOceanography 51:448–462.

PAERL, H. W., L. M. VALDES,J.L.PINCKNEY,M.F.PIEHLER,J.DYBLE,AND P. H. MOISANDER. 2003. Phytoplankton photopigments as indicators of estuarine and coastal eutrophication. BioScience 53:953–964.

PEIERLS, B. L., R. R. CHRISTIAN, AND H. W. PAERL. 2003. Waterquality and phytoplankton as indicators of hurricane impactson large estuarine ecosystems. Estuaries 26:1329–1343.

P. N. R. (2010). Programme National de Recherche. Ressources en Eau. Direction de la Programmation de la recherche de l'Evaluation et de la Prospective (DPREP).

PNUE/OMS. (1977)- Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 168P.

Padisák, J., Borics, G., Grigorszky, I. et Soróczki-Pinter, E. 2006. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive the assemblage index. *Hydrobiologia*. 553: 1-14.

Ramade F., 1984. *Éléments d'écologie: écologie fondamentale*. Édit Mc Graw-Hill. Paris. P: 61.

Reynolds C.S., 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status. *Hydrobiologia*. 11 (26): 369-370.

Rivasseau, C.; Racaud, P.; Deguin, A.; Hennion, M. C., Development of a bioanalytical phosphatase inhibition test for the monitoring of microcystins in environmental water samples. *Anal. Chim. Acta* 1999, 394, 243-257.

Ramade F., 1984. *Éléments d'écologie: écologie fondamentale*. Édit Mc Graw-Hill. Paris. P: 61.

RAMADE F. (2000)- Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p.

REJSEK F. (2002)- Analyse des eaux; aspect réglementaire et techniques, Tome I. Edition Scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux. 71, 144p.

SIMPSON B. (2007). Les eaux souterraines – Une ressource rurale importante .Comprendre les eaux souterraines. Les ressources du monde entier au service de l'Ontario rural.

Starmach, K. 1974. Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. *Flora Slodkowodna Polski*. Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Seckbach, J. and Kociolek, J.P. [Eds]. 2011. *The Diatom World*. Springer Verlag. 531 p. DOI: 10.1007/978-94-007-1327-7.

Smayda T.J., 1997 a. Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton bloom in the sea .*Limnol. Oceanogr.* 42 (5, Supp 2): 1137-1153.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen PhytoplanktonMethodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9: 1-38.

Walsby, A. E. (1974). The extracellular products of *Anabaena cylindrica* Lemm. I. Isolation of a macromolecular pigment-peptide complex and other components. British Phycological Journal, 9(4), 371-381.

Wetzel, R.G. and Likens, G.E. (2000) Limnological Analyses. 3rd Edition, Springer, New York, Chapter: Nitrogen, Phosphorus, and Other Nutrients, 85-113.

ANNEXE 01 : FICHE DE RENSEIGNEMENT

Date de sortie :.....

Région :.....

Lieu-dit :.....

Lac Oubeira :.....

Station n° :.....

Paramètres physico-chimiques :

Paramètres	Valeurs
Température (°C)	
pH	
Oxygène dissous (mg/l)	
Conductivité électrique (µs/cm)	
Turbidité (NTU)	

Quelque photo des différentes formes du phytoplancton :

