

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Science de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Biologiques

**Spécialité/Option :** Microbiologie Appliquée

**Département :** Ecologie et Génie de l'Environnement

### Thème

## Approche qualitative et quantitative du phytoplancton de la lagune Mellah (PNEK)

**Présenté par :**

- GHAOUI Safa
- MEFTAH Asma

**Devant la commission composée de :**

<b>Président(e) :</b> Mr. ROUBI A.	M.C.B	Université de Guelma
<b>Examineur :</b> Mr. MERZOUG A.	M.C.B	Université de Guelma
<b>Encadreur :</b> Mr. ROUABHIA K.	M.A.A	Université de Guelma

Juillet 2019

## *Remerciement*

*Nos remerciements sont d'abord au «Dieu», qui nous a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout le long de la période de nos études.*

*Un grand merci aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner Et d'évaluer notre travail  
La présidente du jury **Mr Rouibi A** et ainsi que **Mr Merzoug A**, pour l'examen de ce travail.*

*Nous tenons à adresser l'expression de nos profonds remerciements à notre encadreur **Mr Rouabhia Kamal** qui nous a fait l'honneur de bien vouloir assuré la direction de ce mémoire. Nous vous remercions pour votre soutien, la pertinence de vos conseils, votre grande disponibilité, votre patience et son aide précieuse pour l'élaboration de ce travail.*

*Nous aimerons également remercier toute l'équipe du laboratoire pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers pour leurs conseils et aides et pour nous avoir facilité l'accès au laboratoire.*

*Nous sommes redevables à l'ensemble des enseignants qui contribué à notre formation durant ces 5 ans.*

*On réserve enfin nos derniers remerciements aux gens qui nous aidées le près ou de loin pour réaliser ce travail.*

*Merci a toute l'équipe de l'université de 08mai 1945.*

*Merci bien*

*Merci*

## Dédicace

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie le fruit de ce modeste travail :*

*A mon très chère père au monde «**Hocine**»*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estimation, le développement et le respect que j'ai toujours en pour lui. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuits pour mon éducation et mon bien être.*

*A ma très chère mère au monde «**Fadila**»*

*Que je ne cesserai jamais de remercier pour son soutien et son encouragement durant mes années d'étude, et aussi pour son sacrifice, sa patience sans limite et l'éducation qu'il m'ont donnée. Je leur dit merci mille fois, qu'ALLAH me les garder.*

*A ma très chère sœurs **Houda** , **Hadil** et **Maleke** que les j'adore*

*A ma grand-mère et tous les membres de ma famille qui m'ont aidée chacun de son côté. Mes tantes et mes oncles, mes cousines et cousins.*

*A mon fiancé : **Dyaa***

*A mon binôme*

***Safa** pour les bons moments passés ensemble, merci à vous que dieu vous protège.*

*A mes chères amies*

*Pour les bons moments qu'en a passés dans tous les spécialités : BMC, QPSA, Microbiologie Appliquée, immunologie, Ecologie de l'environnement.*

*A tous les étudiants de la promotion 2019*

*A tous ceux qui me sont chers, à tous ceux qui m'aiment, à tous que j'aime, je dédie ce travail.*

*Asma*

## Dédicace

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie le fruit de ce modeste travail :*

*A mon très chère père au monde «**Moubarek**»*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estimation, le développement et le respect que j'ai toujours en pour lui. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuits pour mon éducation et mon bien être.*

*A ma très chère mère au monde «**Houria**»*

*Que je ne cesserai jamais de remercier pour son soutien et son encouragement durant mes années d'étude, et aussi pour son sacrifice, sa patience sans limite et l'éducation qu'il m'ont donnée. Je leur dit merci mille fois, qu'ALLAH me les garder.*

*A ma très chères sœurs **Sara** et **Roukia** que j'adore*

*A ma chère frère : **Abd El Basset***

*A mon fiancé : **Rjadh***

*A ma très chère amie : **Salma** et son fils : **Mohammed Wassim***

*A ma grand-mère et tous les membres de ma famille qui m'ont aidée chacun de son côté. Mes tantes et mes oncles, mes cousines et cousins.*

*A toute ma grande famille : **Ghaoui** et **Gouaidia***

*A mon binôme*

***Asma** pour les bons moments passés ensemble, merci à vous que dieu vous protège.*

*A mes chères amies*

*Pour les bons moments qu'en a passés dans tous les spécialités : BMC, QPSA, Microbiologie Appliquée, immunologie, Ecologie de l'environnement.*

*A tous les étudiants de la promotion 2019*

*A tous ceux qui me sont chers, à tous ceux qui m'aiment, à tous que j'aime, je dédie ce travail.*

*☞ **Safa** ☞*

# Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

**Introduction ..... 1**

## *Chapitre I : Généralité sur le phytoplancton*

1. Phytoplancton.....	3
2. Classification et diversité du phytoplancton .....	3
2.1. Microalgues eucaryotes .....	5
2.1.1. Chlorophytes .....	5
2.1.2. Euglénophytes .....	5
2.1.3. Chrysophyte.....	5
2.1.4. Pyrrophytes.....	7
2.2. Microalgues procaryotes.....	7
2.2.1. Cyanobactéries (Algues bleues) .....	8
2.2.2. Caractéristiques uniques des cyanobactéries.....	8
3. Habitat et écologie des phytoplanctons.....	9
4. Cycle annuel du phytoplancton.....	10
5. Écologie du phytoplancton.....	10
6. Ecophysiologie du phytoplancton .....	11
7. Rôle du phytoplancton dans l'écosystème aquatique .....	12
7.1. Photosynthétique.....	12
7.2. Chaîne alimentaire .....	12
7.3. Rôle du phytoplancton dans le traitement des eaux usées .....	13
7.4. Autres rôles du phytoplancton .....	13
8. Phytoplanctons toxiques .....	14
9. Risque des microalgues.....	15
9.1. Risque sur la santé humaine .....	15

9.2. Risque sur le fonctionnement de l'écosystème.....	15
--	----

## *Chapitre II : Matériel & méthodes*

I. Description du site d'étude.....	19
1. Présentation du Parc national d'El-Kala (PNEK) .....	19
2. La lagune Mellah.....	19
2.1. Position géographique .....	19
2.2. Description de la lagune .....	20
2.3. Caractéristiques hydrologiques.....	21
2.3.1. Courants.....	21
2.3.2. Phénomène de marées .....	22
2.3.3. Houles.....	22
2.4. Texture sédimentaire .....	22
2.5. Climatologie .....	23
2.5.1. Climat .....	23
2.5.2. Synthèse climatique.....	23
2.6. Richesse biologique .....	25
3. Chenal de communication avec la mer .....	26
II. Méthodes de travail .....	27
1. Choix des stations de prélèvements .....	27
2. L'échantillonnage.....	28
2.1. Méthode de prélèvement.....	28
2.2. Choix du contenant .....	28
2.3. Enregistrement et étiquetage des échantillons .....	29
2.4. Transport et conservation des échantillons avant l'analyse.....	29
3. Analyses physico-chimiques.....	29
3.1. La température .....	30

3.2.	Potentiel hydrogène .....	31
3.3.	La conductivité électrique.....	31
3.4.	L'oxygène dissous .....	31
3.5.	La Salinité.....	32
4.	Analyses phytoplanctoniques.....	32
4.1.	Analyse qualitative .....	32
4.2.	Analyse quantitative .....	33
4.2.1.	Richesse spécifique .....	33
4.2.2.	Abondance.....	33
4.2.3.	Diversité globale.....	33
5.	Les groupes fonctionnels du phytoplancton.....	34

### ***Chapitre III : Résultats et discussion***

1.	Résultats des analyses physicochimiques .....	36
1.1.	La température .....	36
1.2.	Potentiel d'hydrogène (pH) .....	37
1.3.	Oxygène dissous .....	38
1.4.	Salinité .....	38
1.5.	Conductivité électrique .....	39
2.	Résultats des analyses phytoplanctoniques.....	40
2.1.	Résultats de l'analyse qualitative et composition taxonomique du phytoplancton	40
2.2.	Résultats de l'analyse quantitative.....	47
2.2.1.	Richesse spécifique de la population phytoplanctonique.....	47
2.2.2.	Richesse spécifique totale des groupes phytoplanctoniques .....	48
2.2.3.	Variation de la richesse spécifique des groupes phytoplanctoniques.....	48
2.2.4.	Abondance totale du phytoplancton .....	50
2.2.5.	Contribution des différentes classes dans l'abondance totale .....	50
2.2.6.	Indice de diversité .....	51

2.2.7. Diversité des différentes classes .....	52
2.3. Composition des groupes fonctionnels de la lagune mellah.....	53
<b>Conclusion .....</b>	<b>55</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>57</b>

**Résumé**

**Abstract**

**المخلص**

**Annexes**

## Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
01	Structure d'une cyanobactérie	08
02	Position géographique de la lagune Mellah. ( <b>Google earth 2019</b> )	19
03	<b>A</b> : Mouvements des eaux superficielles ; <b>B</b> : trajectoires hypothétiques ; <b>C</b> : mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant.	20
04	Graphe d'Emberger pour la région d'El-Kala [ <b>Touati, 2008</b> ].	23
05	Diagramme pluvio-thermique de la région d'El-Kala [ <b>Touati, 2008</b> ].	23
06	Localisation des points de prélèvement. ( <b>Google earth, 2019</b> )	26
07	Photos des stations de prélèvement : a-b (Station 1), c-d (Station 2) (Photo personnelle).	26
08	Photo du multi-paramètre (WTW Multi 197i) (Photo personnelle).	28
09	Variations spatiotemporelles de la température de l'eau de la lagune Mellah.	34
10	Variations spatiotemporelles du pH de l'eau de la lagune Mellah.	35
11	Variations des teneurs en oxygène dissous dans l'eau de la lagune Mellah.	36
12	Variations spatiotemporelles de la salinité de l'eau de la lagune Mellah.	37
13	Variations de la conductivité électrique de l'eau de la lagune Mellah.	37
14	Evolution de la richesse spécifique de la population phytoplanctonique dans les eaux de la lagune Mellah.	46
15	Evolution de la richesse spécifique totale des groupes phytoplanctoniques dans les eaux de la lagune Mellah.	46
16	Evolution de la richesse spécifique des groupes phytoplanctoniques.	47
17	Variation de l'abondance de la population phytoplanctonique.	48
18	Contribution des différentes classes dans l'abondance.	49
19	Evolution de l'indice de diversité de Shannon et l'Equitabilité à	50

	partir de l'abondance totale.	
20	Evolution de l'indice de diversité de Shannon des classes phytoplanctoniques à partir des abondances spécifiques.	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
01	Effets nuisibles causés par le phytoplancton ( <b>Zingone et Enevoldsen, 2000</b> ) modifiée.	16
02	Présentation des sites et période de prélèvement.	26
03	Classification des espèces phytoplanctonique de la lagune Mellah.	38
04	Les principaux groupes fonctionnels de la lagune Mellah selon les critères de <b>Reynolds et al. (2002)</b> .	51

## Liste des abréviations

**µl** : microlitre.

**µm** : micromètre.

**µs** : micro-semence.

**ASP** : Amnesic Shellfish Poisoning, Acide Domoic.

**AZP** : Azaspiracides.

**Bit** : Binary digit (unité de l'Indice de Shannon).

**CFP** : Ciguatera Fish Poisoning.

**DCE** : Directive Cadre sur l'Eau.

**DSP** : Diarrheic Shellfish Poisoning.

**FG** : Functional Groupe.

**Indv** : Individu.

**Ish** : Indice de Shannon.

**Ln** : Le logarithme binaire.

**MAB** : Man And Biosphère.

**NSP** : Neurotoxic shellfish poisoning.

**P** : Prélèvement.

**PAR** : Photosynthetically Available Radiation.

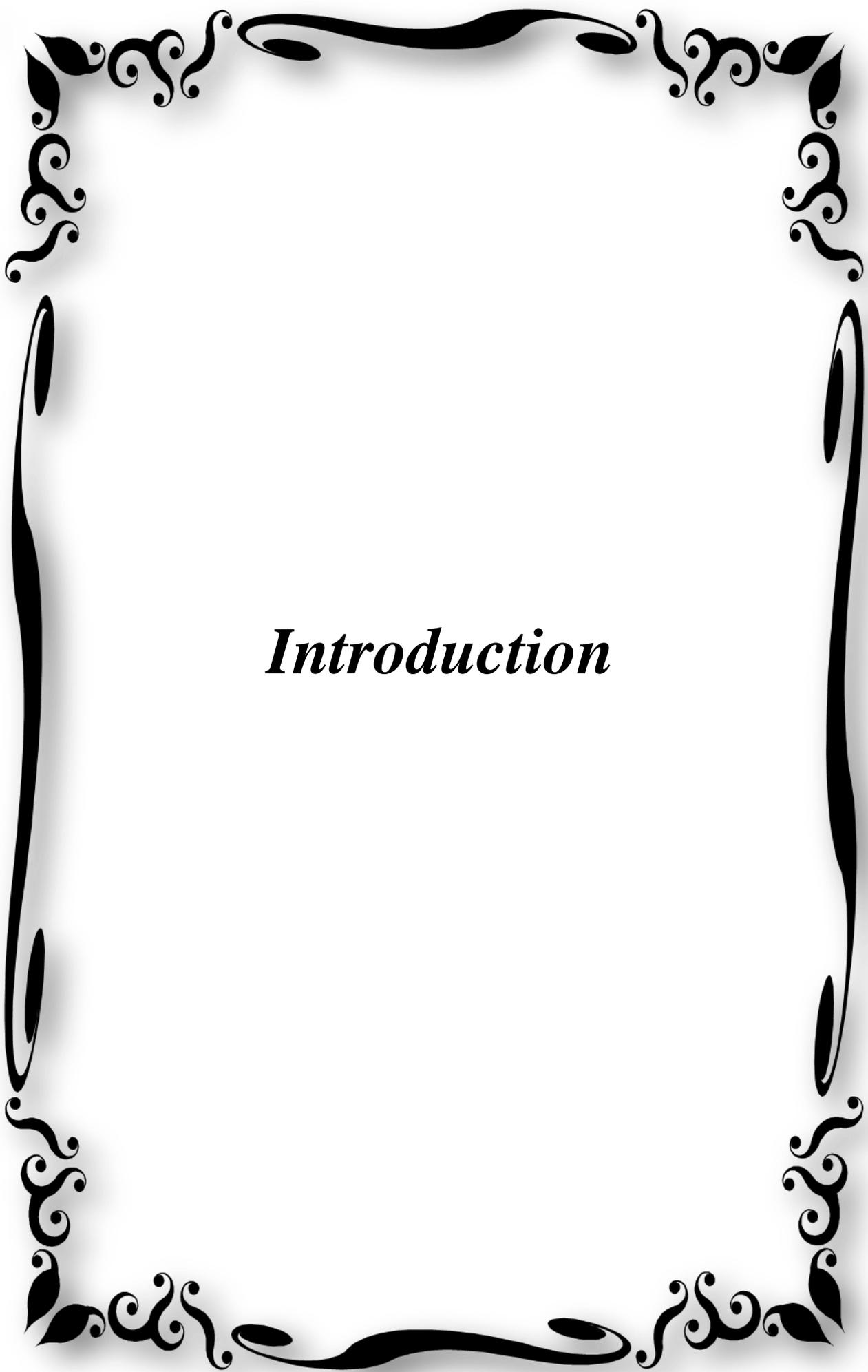
**pH** : potentiel d'Hydrogène.

**PNEK** : Parc National d'El-Kala.

**RAMASAR** : Ville en Iran, lieu de la convention sur les zones humides.

**S** : Station.

**UNESCO** : United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.

A decorative border with intricate scrollwork and floral motifs surrounds the central text. The border is composed of four main sections, one for each side, with ornate corner pieces. The top and bottom sections feature a central horizontal flourish, while the left and right sections are more vertical and symmetrical.

*Introduction*

## **Introduction**

Les plans d'eau sont très nombreux en Algérie et abritent des ressources biologiques très précieuses et diversifiées. Ces milieux sont d'eau douce, saumâtre, salée ou hyper salée. Les premiers sont largement utilisés pour l'irrigation, les autres milieux peuvent être valorisés par une exploitation rationnelle et durable pour leur faune ou pour le sel qu'ils produisent (**Baouia et Koul, 2008**).

L'Algérie englobe une grande diversité de milieux aquatiques : des tourbières aux lagunes littorales en passant par les forêts alluviales et les étangs d'eau douce,... Certaines sont reconnues d'importance majeure au niveau national voire international comme lac El Mellah (El Taref), Chott Ain El Beida, lac Témacine (Ouargla)... (**Henry, 1999**).

Les milieux lagunaires du littoral sont, depuis la plus haute antiquité, des sites d'une grande importance économique. Cette réputation, justifiée, est fondée sur l'exploitation de leurs ressources aussi bien minérales que biologiques. L'Algérie a adhéré à la convention de Ramsar en 1983 en classant, les lacs Tonga, Oubeïra et Mellah comme réserve intégrale du parc national d'El-Kala. Ce complexe se trouve à l'extrême Nord-Est de l'Algérie. Ce site est le seul lac saumâtre de la région, le contact avec la mer lui confèrent un gradient de salinité du plus haut intérêt limnologique (**Djebari et al., 2009**).

La richesse biologique du lac Mellah repose entièrement sur la nature de ses eaux qui sont un mélange d'eau de mer et d'eau douce et d'eau usée dont une part importante a ruisselé sur le bassin versant. (**Kherifi , Kherici-Bousnoubra ,2012**)

De part le monde, de nombreux plans d'eau sont ainsi irréversiblement endommagés par la pollution et/ou l'eutrophisation. Les plus vulnérables étant ceux situés proches des grandes agglomérations humaines (**Zohary et al., 1996**). Il y a unanimité pour considérer que le phosphore joue un rôle prépondérant dans le processus d'eutrophisation (**Lacaze, 1996**). Mais la vulnérabilité établie des écosystèmes lacustres tropicaux appelle à plus de vigilance et d'investigations hydrobiologiques en Afrique en vue de rechercher des facteurs qui pourraient lui être spécifiques.

Le phytoplancton constitue la base de la chaîne trophique, il est composé d'organismes végétaux (unicellulaires, filamenteux ou coloniaux) microscopiques en suspension dans la colonne d'eau, caractérisés par la présence de pigments chlorophylliens

dont majoritairement la chlorophylle a. Ils sont localisés dans les couches superficielles éclairées des étendues d'eau, généralement de la surface à 100 m de profondeur ; la plupart des microalgues est favorable aux animaux marins, mais certaines sont, en revanche, toxiques pour la faune aquatique, notamment pour les poissons et les coquillages les rendant impropres à la consommation humaine (**Ifremer, 2006**).

Dans les milieux aquatiques, la communauté phytoplanctonique joue un rôle clé dans la biodiversité de l'écosystème et par conséquent, dans la qualité de leurs eaux. Des proliférations phytoplanctoniques, devenues plus fréquentes dans les milieux lenticques ces dernières années (**Hamilton et Schladow, 1997**), perturbent le fonctionnement de leur écosystème en réduisant la transparence de l'eau et la concentration d'oxygène dissous, entraînant une perte de biodiversité de tous les niveaux trophiques (**Talita et al., 2011**).

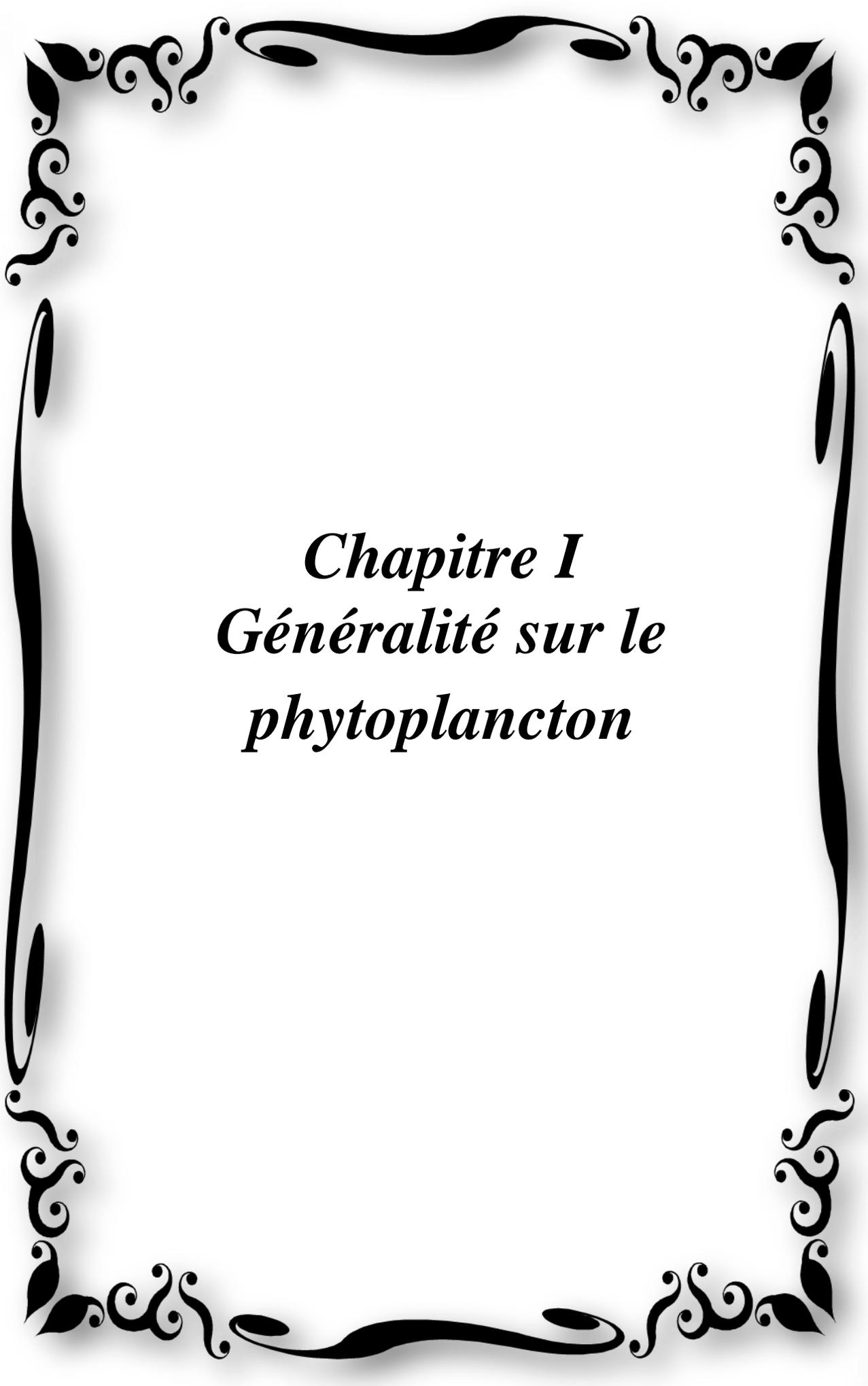
Ces proliférations apparaissent lorsque le temps est chaud et ensoleillé, dans les eaux eutrophes (**Carr et al., 1997**). L'intoxication de l'homme et des animaux par des cyanobactéries toxiques se fait soit, directement par l'ingestion des micro algues, soit de manière indirecte par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire contaminée (**Skulberg et al., 1993**).

Le principal objectif de cette étude est d'avoir une idée sur la composition du peuplement du phytoplancton d'un plans d'eau saumâtre, la lagune Mellah, par :

- Etudier et mesurer quelque paramètre physicochimique des eaux de cette lagune.
- L'évaluation qualitative et quantitative des populations phytoplanctoniques pendant la période printanière.
- Faire un inventaire, identification et classification du phytoplancton des eaux de la lagune mellah.

Notre travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier consiste en une synthèse bibliographique avec des généralités sur les phytoplanctons.
- Le deuxième présente une description du site de travail et matériels et méthodes.
- Et le dernier chapitre représenté sous forme des figures, tableaux et des graphes comportent les résultats obtenus au cours de la période d'étude avec la discussion de ces résultats et on termine par une conclusion générale.



*Chapitre I*  
*Généralité sur le*  
*phytoplancton*

## **Généralité sur le phytoplancton**

### **1. Phytoplancton**

Le phytoplancton (du grec phyton pour plante et planktos ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau (**Rolland A, 2009**). Il s'agit de cellules, colonies ou filaments qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints (**Atanle et al., 2013**).

Le plancton est pélagique, c'est-à-dire vivant en pleine eau (par opposition, les organismes vivant au fond sont dits benthiques). De nature très diverse, ces organismes ont des tailles variant de 0,2 micromètres à plusieurs centimètres voire plusieurs décimètres pour les plus grands. Le plancton se divise en 2 grands règnes, que sont le plancton végétal ou phytoplancton, et le plancton animal, ou zooplancton. Ces organismes présentent souvent des adaptations favorisant la flottaison : leur corps contient des inclusions de lipides qui diminuent la densité.

De très nombreux organismes appartiennent au plancton : algues unicellulaires, petits crustacés et autres invertébrés, œufs et des larves de poissons, de mollusques, d'échinodermes. Le plancton joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes [1].

### **2. Classification et diversité du phytoplancton**

En eau douce comme en milieu marin, une multiplicité de formes de vie du phytoplancton existe, donc cette diversité taxonomique permet un regroupement des individus au sein de groupes basés sur des ressemblances à la fois morphologiques, écologiques et/ou phylogénétiques [2].

La définition du plancton est extrêmement large ; son étude approfondie nécessite de le classer en catégories plus limitées, suivant différents critères tels (référence) :

#### **a. Selon le mode de nutrition**

- **Phytoplancton** : plancton végétal autotrophe ; capable de synthétiser la matière organique

- **Zooplancton** : plancton animal hétérotrophe ; se nourrissant le plus souvent de phytoplancton.

**b. Selon la taille**

- **Ultraplancton**: taille inférieure à 5 microns (bactéries)
- **Nanoplancton** : taille comprise entre 5 et 50  $\mu\text{m}$
- **Microplancton** : taille comprise entre 50 $\mu\text{m}$  et 1 mm
- **Mésoplancton** : taille comprise entre 1 et 5 mm
- **Macroplancton**: taille supérieure à 5 mm

**c. Répartition dans la colonne d'eau**

- **Epiplancton**: couches superficielles
- **Mésoplancton**: couches intermédiaires
- **Bathyplancton**: couches profondes

**d. Répartition par rapport au cout**

- **Plancton néritique** : près des côtes ou au-dessus du plateau continental (zone néritique).
- **Plancton océanique** : au large, au-delà du plateau continental (zone océanique).

**e. Répartition selon le cycle biologique**

- **Holoplancton** : organismes planctoniques durant toute leur vie
- **Méropiancton** : organismes qui passent une partie de leur vie parmi le plancton, puis basculent sur une phase benthique ou nectonique. C'est généralement le cas des larves [3].

**f. Selon la morphologie et la nature des pigments**

Le phytoplancton est constitué de très nombreuses espèces regroupées en différentes classes et familles selon leur caractéristique morphologique et la nature de leurs pigments. Il regroupe deux catégories bien marquées d'organismes en se basant sur un caractère cytologique, à savoir la présence ou l'absence de membrane nucléaire. Les individus qui en sont pourvus sont classés sous le nom d'eucaryotes ou algues vraies, ceux qui en sont dépourvus sous le nom de procaryotes ou Cyanobactéries (**Couté et Chauveau, 1994**).

## 2.1. Microalgues eucaryotes

(Du grec Eu : typique, véritable). Ce sont des êtres vivant qui s'opposent aux procaryotes ; leur noyau est entouré d'une membrane nucléaire renferment chromatine et nucléoles ; ils possèdent des dictyosomes et de vrai mitochondries [4].

### 2.1.1. Chlorophytes

Les Chlorophytes ont des plastes d'un beau vert franc et mettant de l'amidon en réserve. Cet amidon est logé dans les plastes (amidon intraplastidial). Il se colore en bleu noirâtre, et souvent même, en noir par la solution iodo-iodurée. Les cellules nageuses possèdent habituellement deux fouets de même taille, rarement quatre ou plus. Cet embranchement comporte quatre classes : Les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricophycées et les Charophycées (**Bourelly, 1972**).

### 2.1.2. Euglénophytes

Les *Euglénophytes* sont des algues vraies unicellulaires, contenant des plastes verts renfermant de la chlorophylle *a* et *b*, associée à du  $\beta$ -carotène et des xanthophylles. Les réserves sont constituées de grains de paramylon extraplastidial (**Bourelly, 1968; Gorenflot et Guern, 1989**), et des gouttelettes lipidiques pouvant constituer des réserves supplémentaires (**De Reviere, 2003**). Les cellules mobiles possèdent un ou deux flagelles (**Larpent et Larpent-Gourgaud, 1997**).

### 2.1.3. Chrysophyte

Les Chrysophycées sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaunes ou vert-jaunâtre. Ces algues ne possèdent jamais d'amidon, mais un polysaccharide ne se colorant pas à la solution iodo-iodurée. On distingue 3 classes : les Chrysophycées, les Xanthophycées et les Bacillariophycées ou Diatomées (**Bourelly, 1972**).

#### a. 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 ( $\beta$ -carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles *a* etc. (**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'écaillés 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.

#### **b. 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 ( $\beta$ -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte (Ettl et al., 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).

#### **c. Diatomophycées**

Les Diatomophycées sont des algues unicellulaires ou coloniales quelque fois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle *a* et *c*, du  $\beta$ -carotène et plusieurs xanthophylles (Gorenflot et Guern, 1989). Les cellules synthétisent une enveloppe externe siliceuse souvent très ornementée (Pierre, 2001). Elles sont dépourvues de flagelles et les mouvements se font grâce à la sécrétion de mucilage (Reviere, 2003).

#### **d. Raphidophycées**

Les Raphidophycées sont des algues unicellulaires et solitaires, nageant à l'aide de deux flagelles de taille inégale, leurs pigments sont constitués par de la chlorophylle *a*, du  $\beta$  carotène et des xanthophylles (**Gorenflot et Guern, 1989**).

##### **2.1.4. Pyrrhophytes**

Elles ont des plastes bruns, moins souvent rouges ou bleu-vert et mettent de l'amidon en réserve. Mais cet amidon n'est pas contenu dans des plastes ; il est extraplastidial (**Bourelly, 1970**). On les divise en Dinophycées (ou Péridiniens), Cryptophycées, Euglénophycées et Chloromonadophycées.

##### **a. 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, 1985**).

##### **b. Dinophycées**

Les Dinophycées sont majoritairement unicellulaires, cependant ils existent quelques rares formes filamenteuses, pourvues de deux flagelles dirigés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, l'un longitudinal et l'autre transversal (**Reviere, 2003**). Les Rhodophytes et les Phéophycées « Chrysophytes » sont plus évoluées comme l'attestent leurs morphologies et presque toutes marines (**Gorenflot et Guern, 1989**).

#### **2.2. Microalgues procaryotes**

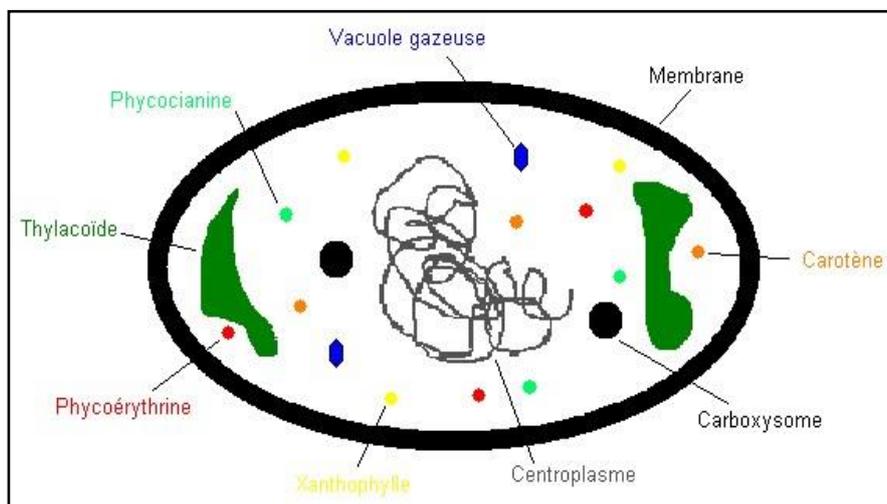
(Des grecs portos : primitif et crayon : noyau). Ce sont des êtres vivants dont le noyau n'est pas entouré de membrane nucléaire ; ils sont dépourvus de nucléoles et ne possèdent ni

dictyosomes ni mitochondries. On y distingue 3 embranchements : bactéries, algues bleues (cyanophycées), actinomycètes.

### 2.2.1. Cyanobactéries (Algues bleues)

Les cyanobactéries (couramment appelées cyanophycées ou algues bleues) du phytoplancton lacustre sont les organismes qui forment les fleurs d'eau les plus nuisances (**J. Feuillade1992**).

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, 1985**). Les cellules appartenant à cette classe se caractérisent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée. 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.



**Figure 01 : Structure d'une cyanobactérie ref**

### 2.2.2. Caractéristiques uniques des cyanobactéries

#### a. Pigments photosynthétiques

Les cyanobactéries utilisent un ensemble de stratégies qui leur a permis décoloniser tous les écosystèmes d'eau douce. D'abord, elles présentent une pigmentation diversifiée qui assure une efficacité photosynthétique élevée et une capacité à soutenir la production photosynthétique nette à une faible intensité lumineuse. Ce sont les phycobiliprotéines qui

confèrent cet avantage aux cyanobactéries, comparativement à la plupart des algues, en leur permettant d'exploiter le rayonnement solaire disponible (PAR, *photosynthetically available radiation* ou lumière visible, 400-700 (nm) sur une plus grande étendue de longueurs d'ondes.

Une caractéristique importante des cyanobactéries est leur capacité à modifier la composition des pigments-protéines dans leurs complexes photosynthétiques (*light harvesting complexes*), ce qui leur donne une couleur différente selon les longueurs d'ondes auxquelles elles croissent (**Grossman et al., 2001**). La forme des cellules et la taille des colonies peuvent également influencer l'absorption de la lumière par les différentes espèces de cyanobactéries (**Vincent, 1989**).

#### **b. Dormance**

Lorsque les conditions du milieu ne sont plus favorables à leur prolifération, les Cyanobactéries ont la capacité d'entrer en dormance en attendant un environnement meilleur. Cet état de dormance est possible grâce à la formation des spores ou akinètes (cellules aux parois épaisses contenant des réserves) ou à une modification des cellules végétatives (**Mur et al., 1999**). Les akinètes peuvent ainsi survivre dans les sédiments durant l'hiver et même durant plusieurs années en consommant leurs réserves d'hydrates de carbone par respiration ou fermentation. Les cellules qui remontent vers la surface après la dormance sont unicellulaires ou en colonies de très petite taille.

#### **c. Multiplication**

La multiplication des cyanobactéries est végétative (asexuée), les temps de doublement varient de quelques heures à plusieurs jours. Les genres unicellulaires peuvent produire des baeocytes (mini cellules) à l'intérieur de la cellule maternelle. Les individus coloniaux se multiplient également par fragmentation. Ainsi, les formes filamenteuses produisent des hormogonies (mini filaments mobiles) qui, après détachement du filament, participent à la colonisation.

### **3. Habitat et écologie des phytoplanctons**

Les organismes qui constituent le phytoplancton est d'une extrême plasticité écologique. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques (**Fogg et al., 1973**), et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée. Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures des lacs arctiques et antarctiques (**Skulberg, 1996**). Certaines espèces vivent en association avec des animaux comme des protozoaires, des éponges ou des ascidies (endozoïques), ou

avec des végétaux comme des fougères aquatiques ou des angiospermes (endophytiques) (**Couté et Bernard, 2001**). Elles peuvent encore vivre en symbiose avec des champignons et des algues vertes comme dans le cas des lichens.

Le phytoplancton comporte des organismes autotrophes qui possèdent, suivant les espèces, en plus de leurs remarquables possibilités d'adaptation à la température, une excellente adaptabilité aux variations lumineuses grâce à une composition pigmentaire qui leur permet d'utiliser une large gamme du spectre lumineux. Certaines espèces peuvent aussi se déplacer dans la colonne d'eau grâce à des glissements, à des mouvements hélicoïdaux ou à la présence de vésicules à gaz. Ces éléments leur permettent d'aller se positionner au niveau de leur optimum lumineux dans la zone euphotique ou de descendre dans les couches inférieures chercher des concentrations plus importantes en nutriments. D'autres peuvent s'affranchir partiellement des éléments nutritifs de part leurs capacités de stockage ou de transformation de l'azote atmosphérique (**Groga, 2012**).

#### **4. Cycle annuel du phytoplancton**

Le développement de phytoplancton d'un secteur quelconque dépend des conditions climatiques générales et microclimatiques locales. D'autres facteurs d'ordre physicochimique ou hydrographique, eux-mêmes soumis directement mais dans une plus ou moins large mesure aux variations climatiques, interviennent également sur le développement du phytoplancton. En fait, les facteurs influents sont très nombreux et interfèrent souvent les uns avec les autres, aussi est-il toujours difficile d'évaluer, leur part respective. On peut cependant considérer des variables telles que ensoleillement, turbulence, température, salinité, nutriments et certains oligo-éléments comme ayant une influence prépondérante sur l'évolution et la distribution du phytoplancton d'un secteur donné (**Paulmier, 1972**).

En plein hiver, la faible luminosité et brassage des eaux font que la photosynthèse est très faible, bien que le potentiel nutritif soit au plus haut. Dès la fin de l'hiver, et au début de printemps, l'augmentation de l'éclairement et l'amorce de stratification font que le phytoplancton prolifère. Dès la fin des printemps, la raréfaction des nutriments et l'accroissement de l'activité des organismes brouteurs font que le phytoplancton diminue drastiquement (**G.Barroin, 1999**).

## **5. Écologie du phytoplancton**

Les Chlorophycées sont représentées dans toutes les collections d'eaux douces ou saumâtres ainsi que dans les eaux marines. Elles sont planctoniques lorsqu'elles sont unicellulaires ou cénobiales et leur importance quantitative peut varier considérablement au cours de l'année avec les divers facteurs physiques et chimiques du milieu. Les Diatomées sont très rependues, on en trouve dans tous les milieux aquatiques ainsi que dans le sol ou sur des substrats capables de conserver une certaine humidité. De nombreuses espèces sont purement planctoniques et leur abondance peut leur faire jouer un rôle de premier plan dans la composition des phytoplanctons marins et d'eaux douces (**Gayral, 1975**).

A côté des formes libres dont la plupart sont planctoniques, les Dinophycées renferment des espèces symbiotiques et parasites. L'ensemble des Dinophycées joue un très grand rôle dans les populations phytoplanctoniques aussi bien d'eaux marines que d'eaux douces ou saumâtres. Le groupe a une très large répartition et occupe des milieux aquatiques très variés. Toutes les formes mobiles sont planctoniques et certains d'entre elles présentent des particularités qui semblent être des adaptations en rapport avec leur mode de vie (**Gayral, 1975**).

Dans leur grande majorité, les Euglenophycées libres vivent en eaux douces; quelques-unes se trouvent dans des eaux saumâtres. Elles préfèrent en général les milieux riches en matières organiques et pour cette raison, sont les indicateurs de pollution. Elles peuvent être planctoniques, mais très souvent, elles se trouvent dans la terre humide ou sur le fond vaseux de formation aquatique. Les formes incolores se développent dans les eaux polluées (**Gayral, 1975 ; Gaston et Maurice, 1977**).

## **6. Ecophysiologie du phytoplancton**

En supposant la lumière, la température et l'hydrodynamisme favorables à la croissance du phytoplancton, la biodisponibilité des nutriments présents dans l'eau (contrôle ascendant) et l'intensité de la prédation (contrôle descendant) commandent le développement des espèces phytoplanctoniques.

La demande exercée par les organismes est fonction de la composition de leurs tissus vivants. L'une des sources de carbone est sous forme de gaz carbonique d'origine atmosphérique qui se dissout facilement dans les écosystèmes aquatiques par diffusion (**Hutchinson, 1957**). Il est généralement admis que le carbone est excédentaire environ d'un

coefficient 30, et donc rarement limitant (**Schindler et al., 1971; Schindler, 1974 ; Moss, 1980 ; Welch, 1980**).

Toutefois, dans les milieux Hyper-eutrophes, l'augmentation du pH entraîne une diminution de la solubilité des bicarbonates dans l'eau pouvant créer une limitation décroissance du phytoplancton (**Sevrine-reyssac et al., 1996**). Par contre, l'azote peut être le facteur limitant du développement du phytoplancton (**Dufour & Berland, 1999**). Les sources sont généralement minérales : nitrate, ammonium ou même le nitrite. Les deux premières sont susceptibles de provoquer les mêmes vitesses de croissance, tandis que les nitrites ont rapidement un effet toxique à faibles concentrations (**Pourriot et Meybeck, 1995**). En terme moléculaire, d'après les calculs de **Redfield (1934)**, la composition intracellulaire des algues en culture se traduit par des concentrations en azote (N) environ 16 fois plus élevées qu'en phosphore (P). Les résultats d'expériences faites par **Chiandani et Vighi (1974)** confirment ces travaux et montrent que les demandes algales en N et P peuvent varier entre des rapports compris entre 17 : 1 et 13 : 1. Cependant, les modifications de la production au cours d'expérience de fertilisation par divers éléments sous des formulations diverses, ont montré qu'un apport en azote exerçait peu ou pas d'effet alors que même une petite quantité de phosphore pouvait stimuler la production d'une façon considérable (**Paloheimo et Zimmerman, 1983**). Les apports en carbone et en oligoélément sont également un effet limité (**Goldman, 1960; Schindler et al., 1971; Schindler et Fee, 1974; Robarts et Southall, 1977**). Le phosphore peut être fortement adsorbé par des espèces phytoplanctoniques dont certaines sont prédisposées à la sédimentation et donc à terme être éliminées de la colonne d'eau (**Welch, 1980; Sonzogni et al., 1982**).

## **7. Rôle du phytoplancton dans l'écosystème aquatique**

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

### **7.1. Dans la photosynthèse**

L'importance du phytoplancton dans les milieux aquatiques est due à leur capacité de synthétiser des hydrates de carbone et de l'oxygène, à partir des éléments minéraux dissous dans l'eau et de l'énergie lumineuse, selon l'équation de Redfield (**Stumm et Morgan, 1996**). Lors de la photosynthèse, le phytoplancton est capable de fixer en milieu marin entre  $20 \times 10^9$  et  $55 \times 10^9$  tonnes de carbone (**Mann et Lazier, 1966**).

## 7.2. Chaîne alimentaire

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

## 7.3. Rôle du phytoplancton dans le traitement des eaux usées

Les microalgues jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage. Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries (**Humenik et Hanna, 1971**). Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques (**Abeliovich et Weisman, 1978; Pearson et al., 1987**).

- Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires (**Kalisz, 1973; Pouliot et Delanoüe, 1985; Ergashev et Tajiev, 1986**).
- Elles agissent comme bio absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux (**Beker, 1983**).
- Par leur activité biologique, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et même leur disparition (**Parhad et Rao, 1974; Pearson et al., 1987**).

## 7.4. Autres rôles du phytoplancton

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

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

- Certains genres de phytoplancton comme : *Euglena*, *Volvox* et *Spirogyra* sont des bio accumulateurs d'éléments radioactifs. Ils sont utilisés pour lutter contre ce type particulier de pollution (**Champiat et Larpent, 1994**).
- Certains genres des Cyanobactéries peuvent être utilisés comme engrais naturels dans les rizières grâce à leurs capacités de fixation de l'azote atmosphérique par des hétérocystes (**Roger, 1996**).
- Le phytoplancton est connu pour libérer dans le milieu des substances antibactériennes (**Barnabé et Barnabé-Quet, 1997**). Certaines espèces appartenant aux genres *Scenedesmus* et *Chlorella*, ont un effet inhibiteur sur *Bacillus cereus* et *Pseudomonas sp*, tandis que d'autres espèces présentent un effet biocide marqué vis à vis des Coliformes et des Salmonelles (**Champiat et Larpent, 1994**).
- *Spirulina sp* est une Cyanobactérie qui possède des qualités intéressantes pour l'alimentation et la santé, tant pour l'Homme que pour les animaux car elle est riche en protéine et en vitamine B12 (**Rafiqul et al., 2005**). Alors que *Scenedesmus*, *Chlorella* et *Oxillatoria* sont utilisées en culture semi-industrielles en vue d'obtenir des produits riches en protéines utilisables pour l'alimentation humaine ou animale (**Iltis, 1980**).

## 8. Phytoplanctons toxiques

Quelques rares espèces de phytoplancton sont toxiques. Lorsque les coquillages filtrent l'eau de mer, ils capturent parfois ces espèces toxiques. C'est pour cette raison que la vente de moules ou d'huitres est parfois interdite (sinon nous risquerions d'être malades en consommant les toxines accumulées dans la chair des coquillages) [8].

Certaines espèces de phytoplancton (principalement la famille des dinoflagellés) produisent des toxines puissantes qui peuvent se concentrer dans la chaîne alimentaire par les coquillages, organismes filtreurs ou certains poissons.

Ils peuvent être à l'origine d'interdiction de vente de coquillages afin de prévenir d'éventuels désagréments de santé.

Ces mêmes organismes peuvent également concentrer des toxiques modifiés et/ou bioaccumulé par le plancton (pesticides, métaux lourds...) et ainsi mettre en danger la santé de tout l'écosystème et des consommateurs humains.

La Bretagne doit également faire face au problème de la trop grande disponibilité des éléments nutritifs, en particulier celle de l'azote et du phosphore.

Dans les eaux douces calmes, la croissance algale peut s'intensifier anormalement allant même jusqu'à fragiliser l'équilibre écologique des milieux aquatiques. C'est ce qu'on appelle l'eutrophisation.

Un phénomène en grande partie hérité des pollutions agricoles (engrais, lisiers...), mais aussi domestiques (lessives, produits ménagers...) [9].

Les mauvais planctons à qui il arrive de se propager inconsidérément au point de prendre leur place. Parmi les quelques 5000 espèces d'algues unicellulaires composant le phytoplancton, seule une cinquantaine sont indésirables, dont une dizaine sont avérées toxiques. La plupart de ces micro-algues toxiques font partie de la famille des dinoflagellés [10].

## 9. Risque des microalgues

### 9.1. Risque sur la santé humaine

Certaines espèces phytoplanctoniques produisent des phycotoxines, qui sont accumulées par les organismes phytoplanctonophages « les mollusques bivalves, gastéropodes, crustacés, ainsi que certains poissons ». Ces organismes jouent le rôle de vecteurs sains. Ils ne sont pas affectés par ces toxines, mais sont toxiques pour les consommateurs secondaires dont l'Homme (Gailhard, 2003). Les effets toxiques de ces toxines observés au niveau cutané, des reins et des intestins, ont conduit à envisager la possibilité d'une activité cancérogène pour d'autres organes (Bouaïcha, et al., 2002). Le premier cas d'intoxication humaine liée aux cyanobactéries a été rapporté par Tisdale en 1931. Un important bloom hépatotoxique de *Microcystis sp*, Les symptômes étaient des hépatites, des lésions rénales et intestinales, des vomissements, des céphalées, des douleurs abdominales, des pertes de sang, de glucose et de protéines dans les urines, des constipations suivies de diarrhées sanglantes profuses et des déséquilibres électrolytiques sévères (Bourke et al., 1983).

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

Outre les intoxications et la mortalité des organismes évoqués précédemment, le phytoplancton est capable de provoquer un dysfonctionnement de l'écosystème (Chauvaud

et *al.*, 2000), due à une prolifération algale intense. Pour décrire cet événement, différents termes sont utilisés « bloom, marrées rouges, efflorescence... » (Smayda, 1997).

L'ensemble de ces termes est aujourd'hui rassemblé sous l'appellation internationale HAB « Harmful Algal Bloom ». Bien que les HAB sont des phénomènes anciens, il semblerait qu'ils sont en augmentation tant en termes d'aires géographiques touchées que la diversité des micro-organismes incriminés (Hallegraeff, 1998), provoquant ainsi des dangers pour la santé publique et des pertes économiques importantes (Gailhard, 2003).

Le développement excessif du phytoplancton conduirait à l'eutrophisation du milieu qui se traduit par une efflorescence, cette dernière résulte d'un déséquilibre entre l'azote et le phosphate (Graziano et al., 1996; Dufour et Berland, 1999). L'origine de ces sels nutritifs est divers, le nitrate serait l'issue du lessivage des engrais chimiques, par contre le rejet urbain apporterait le phosphate et l'azote ammoniacal (Barnabé et Barnabé-Guet, 1997).

Parmi les différents groupes phytoplanctoniques capables de former des floraisons nocives en eau douce. Certaines espèces de Dinophycées et de Chrysophycées, mais ces floraisons sont moins fréquentes que celles des Cyanobactéries et sont associées à des conditions différentes. Les floraisons de Dinophycées sont généralement associées aux milieux salés (Paerl, 1988). Dans les lacs, elles préfèrent des milieux bien mélangés et riches en éléments nutritifs (Reynolds, 1984), alors que les Chrysophycées ont tendance à former des floraisons dans des lacs oligotrophes (Nicholls, 1995). Cependant les Cyanobactéries demeurent sans conteste le groupe principal capable de former des floraisons en eau douce (Paerl et al., 2001)

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

	Impacts	Organismes responsables	
Santé humaine	Intoxications Paralysantes par les fruits de mer (PSP)	Dinoflagellés Cyanobactéries	<i>Gymnodinium catenatum</i> <i>Anabaena circinalis</i>
	Intoxications diarrhéiques par les fruits de mer (DSP).	Dinoflagellés	<i>Prorocentrum sp</i>
	Intoxications neurologiques par les fruits de mer (NSP).	Dinoflagellés	<i>Karenia brevis</i>

Tab.01 : (Suite)

	Intoxications amnésiantes par les fruits de mer (ASP).	Diatomées	<i>Pseudo-nitzschia sp</i>
	Intoxications par les azaspir acides (AZP).	inconnu	Inconnu
	Intoxications de type ciguatérique(CFP).	Dinoflagellé	<i>Gambierdiscus toxicus</i>
	Hépatotoxines.	Cyanobactéries	<i>Microcystis sp</i>
	Neurotoxines	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon sp</i>
	Cytotoxines	Cyanobactéries	<i>Cylindro spermopsis raciborskii</i>
	Dermatotoxines	Cyanobactéries	<i>Lyngbya majuscula</i>
<b>Ressources marines naturelles et exploitées</b>	Lésions mécaniques	Diatomées	<i>Chaetoceros sp</i>
<b>Activités touristiques</b>	Production d'écume, de mucilage, variation de la couleur de l'eau et odeurs nauséabondes	Dinoflagellés Diatomées Cyanobactéries	<i>Prorocentrum sp</i> <i>Cylindro thecaclostenum</i> <i>Aphanizomenon flosaquae</i>
<b>Fonctionnement de l'écosystème</b>	Toxicités pour les organismes marins (poissons, invertébrés,	Dinoflagellés Diatomées	<i>Alexandrium sp</i> <i>Pseudo-nitzschia australis</i>



*Chapitre II*  
*Matériel et méthodes*

## **Matériel et méthodes**

### **I. Description du site d'étude**

#### **1. Présentation du Parc national d'El-Kala (PNEK)**

El Kala (ex-La Calle), la ville du corail, commune de la wilaya d'El Taref proche de la frontière algéro-tunisienne, est ensorcelante avec ses lacs, ses lagunes, ses forêts et ses marécages classés réserve nationale. C'est une très jolie ville côtière. Son littoral recèle une richesse inestimable : le corail [5].

**Le Parc National d'El Kala** est l'un des plus grands parcs nationaux d'Algérie. Il est situé au nord-est de l'Algérie à 70km de la ville d'Annaba et est limitrophe avec la frontière de la Tunisie [6]. Il a été créé par **décret le 23 juillet 1983** et depuis **1990** il est classé Réserve de la Biosphère dans le réseau des réserves du programme MAB (Man And Biosphère) de l'UNESCO.

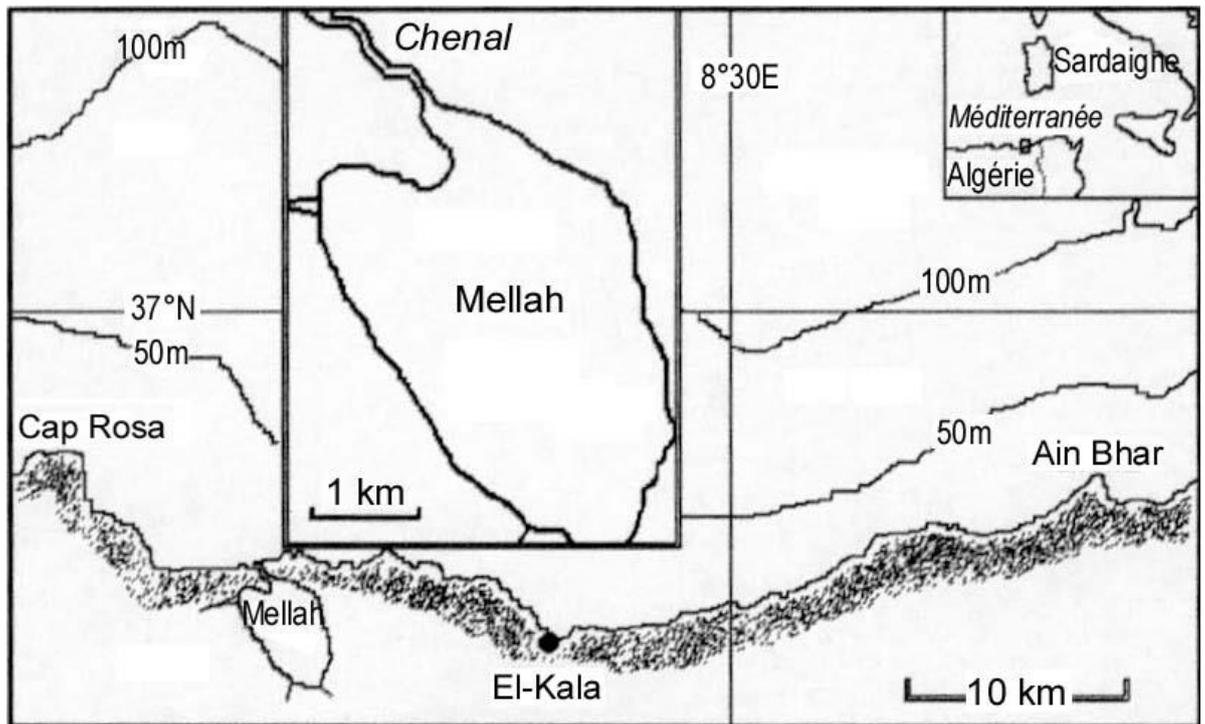
Le parc s'étend sur une superficie de 76438 Hectare ce qui en fait l'un des plus grands parcs nationaux d'Algérie. Le parc comprend plusieurs ensembles naturels et variés comme des lacs, montagnes, et rivières ainsi qu'une grande façade maritime [7].

#### **2. La lagune Mellah**

##### **2.1.Position géographique**

La lagune Mellah est située à l'extrême nord-est algérien (8°20'E, 36°54'N). Cette étendue d'eau saumâtre en bordure de la méditerranée occupe une superficie d'environ 900hectares. Selon Guelorget et Ounissi ; la profondeur maximale varie entre 0,50 et 5,20 m.

Le site étudié est l'unique milieu lagunaire en Algérie, son originalité réside dans son caractère saumâtre. D'après la configuration et les oueds qui s'y jettent, la lagune Mellah serait une ancienne vallée fluviale envahie par la mer (**Arrignon, 1963**). D'autre part, le Mellah est une lagune qui se trouve insérée dans des collines d'alluvions quaternaires, où les mouvements tectoniques y ont fortement contribué (**Morel, 1967**). Toutefois, **Guelorget et al. (1989)** le qualifient comme étant un milieu qui correspond à une dépression endoréique lacustre würmienne, envahie par la mer lors de la remontée eustatique flandrienne.



**Figure02** : Position géographique de la lagune Mellah.

([www.researchgate.net/figure/Position-geographique-de-la-lagune-Mellah](http://www.researchgate.net/figure/Position-geographique-de-la-lagune-Mellah))

## 2.2. Description de la lagune

La lagune Mellah est l'unique milieu lagunaire côtier en Algérie. D'après la configuration de la lagune et les Oueds qui s'y jettent, elle pourrait être une ancienne vallée fluviale envahie par la mer (**Arrignon, 1963**). D'autre part, le Mellah communique avec la mer par un chenal d'une longueur d'environ 900 m et une largeur variable (5 à 10 m) en fonction des endroits. Ce dernier parvient à la lagune par plusieurs ramifications dont un seul bras communique avec la lagune. (**Guelorget et al., 1989**), ont évalué le débit moyen avant l'aménagement du chenal à environ  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ce qui traduit l'extrême faiblesse vis-à-vis le volume d'eau de la lagune. Cependant, il est important de signaler que la situation actuelle du chenal devient très défavorable en raison du rétrécissement et le colmatage de ce dernier, ce qui est à l'origine de la diminution des échanges mer – lagune. La lagune Mellah se présente comme une gouttière axiale, d'une profondeur maximale n'excédant pas 6 m. Cependant, (**Messerer, 1999**) montre que la gouttière centrale ne dépasse pas 5,20 m. De part et d'autre de cette dépression axiale deux plateaux peu profonds inférieur à 2 m, correspondent à l'accumulation en périphérie des matériaux détritiques du bassin versant (**Guelorget et al., 1989**).

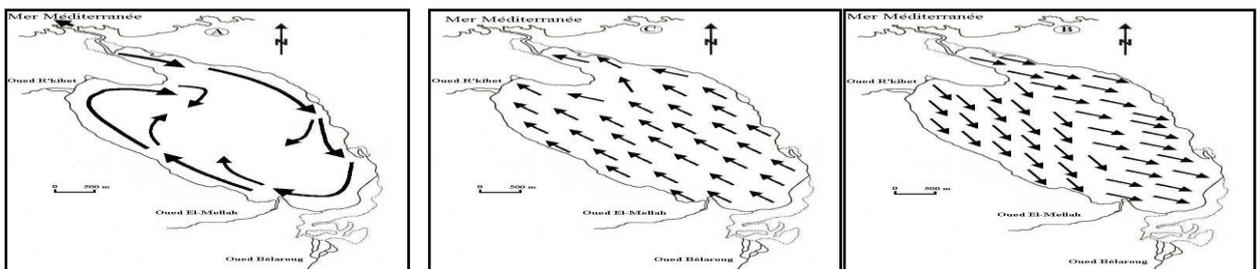
### 2.3. Caractéristiques hydrologiques

En dehors des précipitations exceptionnelles, deux principaux facteurs tendent à modifier l'épaisseur de la lame et à provoquer des échanges avec la mer, l'une et le phénomène de marées, l'autre est météorologique ; c'est le champ de pression barométrique agissant de façon statique (équilibre atmosphère - lagune - mer) et surtout dynamique (effet du vent) (Boutière, 1974).

#### 2.3.1. Courants

Selon Guelorget *et al.*, (1989), la circulation des courants s'effectue en une lente rotation périphérique dans le sens des aiguilles d'une montre. Toutefois, Messerer (1999) décrit des courants rectilignes dans le lac, du Nord au Sud le flot et le jusant inversement selon le sens des courants de la marée (flot et jusant), (Fig.03).

D'autre part, il faut noter que les échanges entre le lac et la mer sont très importants. (Thomas *et al.*, 1973), affirment que des débits de l'ordre de  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dans le sens mer-lagune et  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dans le sens lagune-mer (en hiver), ces débits ne reflètent qu'une situation d'une période donnée. Cependant, les débits sont directement liés à l'état de colmatage du chenal de communication avec la mer actuellement presque fermé, réduisant ainsi l'échange entre les deux milieux à son minimum.



**Figure 03** : **A** : Mouvements des eaux superficielles ; **B** : trajectoires hypothétiques ; **C** : mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant.

(<http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/09/MELOUAH-Khalil.pdf>)

### **2.3.2. Phénomène de marées**

Les marées sont mises en évidence par l'alternance de mouvement d'entrées d'eaux de mer vers la lagune (le flot), et les sorties des eaux de celle-ci vers la mer (le jusant). Dans la lagune Mellah, ces marées peuvent atteindre une amplitude de 40 cm (**Thomas et al., 1973**). Cependant, la dynamique des eaux de la lagune est réglée par le régime des marées non seulement barométriques (**Semroud, 1983**) qui sont d'ailleurs très faibles, mais surtout d'origines astronomiques (**Ounissi et al., 2002**). Le régime de marée est de type microtidal semi-diurne. Il peut être occulté par le remplissage de la lagune en hiver et au printemps, où la marée se trouve masquée par l'évacuation d'eau excédentaire continentale. En été, le régime semi-diurne s'affirme avec deux cycles de marée durant 23 heures environ.

### **2.3.3. Houles**

Selon **Grimes (1994)**, en se basant sur les données hydrologiques pour les prévisions des houles dans la région d'El-Kala, on note en période estivale, des houles de Nord-Ouest qui vont favoriser le courant entrant par le chenal, tandis que les houles de direction Nord-Ouest agissent durant le mois d'octobre à avril.

## **2.4. Texture sédimentaire**

La granulométrie de la lagune Mellah comme dans la majorité des lagunes méditerranéennes, s'organise d'une façon concentrique ; c'est-à-dire que la taille des grains diminue régulièrement de la rive vers le centre de la lagune. Ce phénomène serait dû au processus d'accumulation des particules fines dans la cuvette centrale, ainsi qu'à la courantologie des eaux, accompagnée d'une forte agitation à la périphérie, puis le courant s'affaiblit vers l'intérieur de la lagune (**Guelorget et al., 1989**). C'est ainsi qu'on rencontre des sables fins au niveau des rives et au fur et à mesure que l'on se dirige vers les grandes profondeurs la fraction fine a tendance à augmenter, et le centre de la lagune n'est formé que d'une vase pure très fluide. Toutefois, (**Draredja, 1992**) signale en saison printanière avant l'aménagement du chenal de communication (1988), l'existence de cinq zones lithologiques, allant des sables purs près des rives aux vases pures au centre de l'étendue, en passant par les sables légèrement envasés, les vases sableuses et les vases légèrement ensablées. Selon cet auteur, la fraction pélitique reste également importante dans les sédiments de la zone centrale de l'étranglement de la lagune au Nord. Toutefois, le tapis de

l'herbier *Ruppia* sp. Couvre les sables purs du pourtour lagunaire. Cet herbier est d'une importance écologique majeure, car beaucoup d'espèces macrozoo-benthiques l'utilisent comme refuge et zone d'abri pour leurs œufs et leurs jeunes recrues. En effet, la plupart des jeunes palourdes (Refes, 1994) et des jeunes coques (Grimes, 1994) sont rencontrés au niveau de cet herbier.

## 2.5. Climatologie

### 2.5.1. Climat

El-Kala bénéficie d'une forte pluviométrie faisant d'elle une des régions les plus arrosées d'Algérie, se situant dans l'étage bioclimatique Sub-humide chaud ; le minimum absolu observé a lieu en décembre avec 6°C. Et le maximum en août avec 39°C. La région, particulièrement sa partie lacustre bénéficie d'une forte pluviométrie et reçoit une moyenne annuelle de 910 mm, avec un maximum de 1300 mm le paramètre «d'humidité de l'eau» atteints ses valeurs les plus fortes au lever et au coucher du soleil et dans les mois les plus froids, en janvier et décembre. Les vents dominants, ceux du Nord-est, avec une vitesse moyenne variant de 3, 3 à 4, 8 m/s, apportent les précipitations les plus important venues de l'atlantique. A l'opposé ; le sirocco souffle principalement en été venant du sud-est, assèche l'atmosphère et favorise, avec les températures élevées, les incendies de forêts. L'évapotranspiration relative et potentielle moyenne est respectivement de 600 à 640 mm/an, et 889 mm/an.

### 2.5.2. Synthèse climatique

#### a. Climatogramme d'Emberger

En 1955, Emberger a classé les climats méditerranés en faisant intervenir deux facteurs essentiels : les précipitations et la température.

$$Q_2 = P1000 / [M+m] \cdot 2[M-m]$$

**Q<sub>2</sub>** : Quotient pluviométrique.

**P** : Précipitation moyennes annuelles.

**M** : T° max du mois le plus chaud (K°).

**m** : Température des minima du mois le plus froid (K°).

Le quotient pluviométrique de la région d'El-Kala Q<sub>2</sub>=130.71.

La Numidie est localisée dans l'étage biochimique sub-humide à hiver chaude (**Fig.05**)

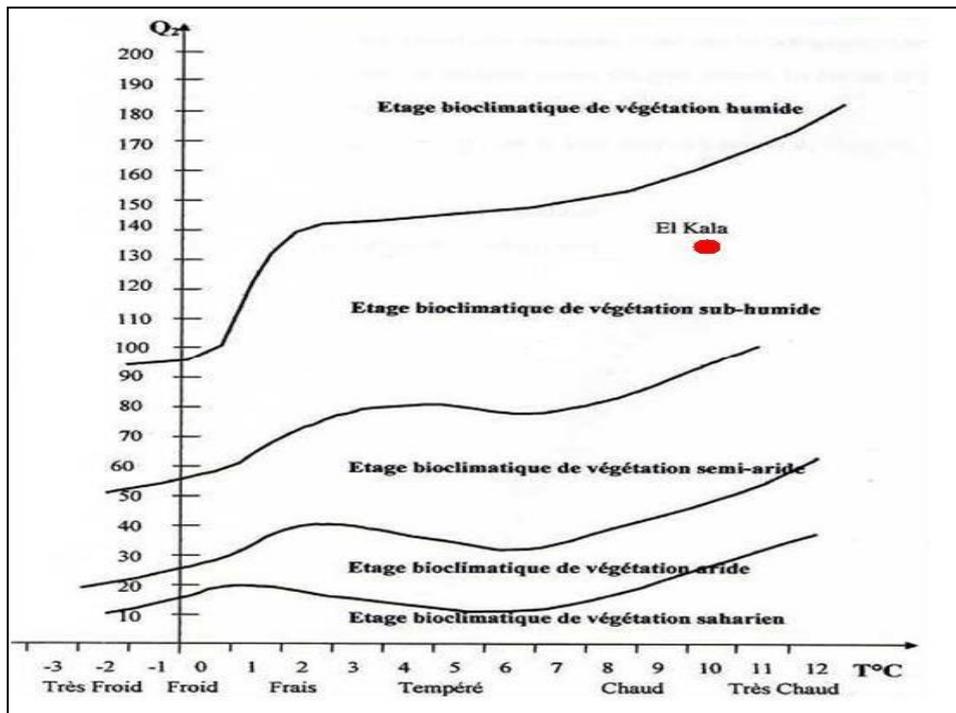


Figure 04: Graphe d'Emberger pour la région d'El-Kala [Touati, 2008].

#### b. Diagramme pluvio -thermique de Bagnols et Gaussen

Pour l'élaboration du diagramme pluvio-thermique de **Bagnols et Gaussen (1957)** nous avons tenu comptes des données climatiques bien précises qui sont les précipitations annuelles et les températures moyennes étalées sur plusieurs années des deux stations. Le but est de déterminer la période sèche et la période humide (Fig.05).

Les courbes pluvio -thermiques ainsi établies, nous ont permis de visualiser deux saisons distinctes : l'une sèche de Mai à Septembre et l'autre d'Octobre à Avril [Touati, 2008].

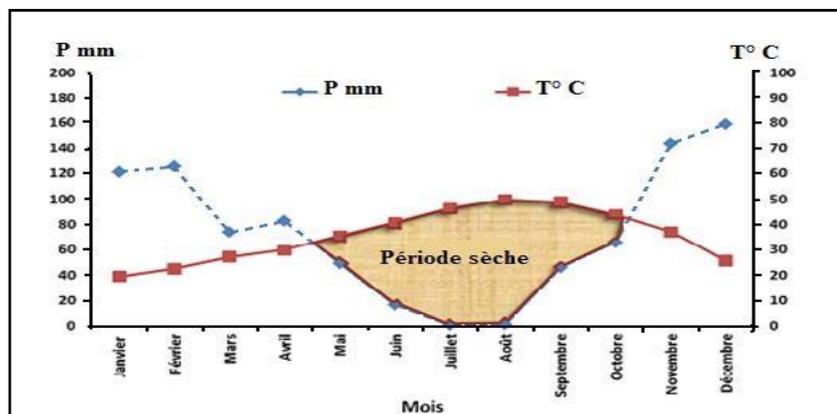


Figure 05: Diagramme pluvio-thermique de la région d'El-Kala [Touati, 2008].

## 2.6. Richesse biologique

Le lac Mellah est remarquable par l'abondance des poissons (50 kg/ha selon **Boumezbeur (1993)** ; on y trouve, principalement, le loup de mer (*Dicentrarchus labras*), la Sole commune (*Solea vulgaris*), la Daurade (*Sparus auratus*), l'Anguille (*Anguilla anguilla*), le Mulet ainsi que les mollusques tel que l'Huitre, les Moule, les Palourde et des crustacés à savoir la crevette (**Aouari et Ouadda, 1994**).

Selon **Gauthier-Lievre (1931)** les algues sont représentées, en majeure partie, par les Myxophycées et les Diatomées connus pour être une flore. Habituellement, des eaux saumâtres ; par ailleurs les Acontées, les Phéophycées, les Charophycées et les Rhodophycées ont été recensés dans le lac ; ainsi que les Isocontées représentées par *Cladophora sp* et *Enteromorpha intestinalis* espèces marines qui viennent, également, s'y ajouter.

Il ressort du recensement des espèces d'oiseaux nicheurs effectué sur le pourtour du lac Mellah par **Akli (2003)**, un nombre de 39 espèces appartenant à 19 familles dont celle des *Sylviidae* est la plus importante avec 42.10 % , représenté par la Fauvette à tête noire (*Sylvia atricapilla*), la Rousserolle effarvée (*Acrocephalus scirpaceus*), le Cisticole des joncs (*Cisticola juncidis*), et le Pouillot vérole (*Phylloscopus collybita*). Cet auteur précise que le lac Mellah n'abrite pas une faune très importante d'oiseaux d'eau tels que l'Echasse blanche (*Himantopus himantopus*), le Héron cendré (*Ardea cinerea*), le Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*), et l'Argenteuse (*Egretta garzetta*). Il explique ceci par le fait qu'il s'agit d'une lagune salée.

**Behadj (1996)**, cite comme espèces des oiseaux d'eau le Cormoran huppé (*Phalacrocorax aristotis*), le Héron cendré (*Ardea cinerea*), le Héron pourpré (*Ardea purpurea*), l'Argenteuse (*Egretta garzetta*), le Blongios nain (*Ixobrychus exilis*), la Poule d'eau (*Gallinula chloropus*), l'Echasse blanche (*Himantopus himantopus*), le Gravelot à collier interrompu (*Charadrius alexandrinus*), le Martin pêcheur d'Europe (*Alcedo atthis*), et une espèce de rapace le Milan royal (*Milvus milvus*).

Quant à la végétation aquatique, **Djaaboub (2003)** estime que, comparativement aux autres lacs, le Mellah est la seule zone humide présentant une végétation aquatique halophile en ceintures représentée par *Zosteranotia*, *Ruppia maritima* *spiralis*, *Athenia filiformis* et

*Cymodoceanodosa*. Mentionnons que ces deux derniers taxons sont décrits pour la première fois au lac Mellah par cet auteur.

### **3. Chenal de communication avec la mer**

La lagune Mellah est reliée à la mer par un chenal d'une longueur d'environ 900 m, mais très étroit et sinueux. L'aménagement du chenal réalisé en 1988, a permis de l'élargir et d'approfondir son lit à 2 m, afin d'améliorer les échanges entre la mer et le lac, et par conséquent améliorer sa production halieutique. Une fois calibré ce chenal devrait permettre un échange quotidien d'environ 900 000 m<sup>3</sup> soit trois fois l'ancien débit tout en maintenant sa salinité inférieure à celle de la mer (FAO, 1987). Pendant notre échantillonnage (environ 23 ans après l'opération d'aménagement), nous avons constaté une diminution remarquable des échanges. Le ralentissement de la circulation des eaux lors de flux et de reflux (pendant la marée), est directement lié au colmatage du chenal en raison de l'ensablement très important qui réduit progressivement la section libre du chenal. Cependant cette sédimentation est de plusieurs origines :

- ✓ Les crues hivernales et printanières des oueds charrient d'importantes charges des matériaux dont une partie peut être acheminée vers le chenal.
- ✓ Les courants côtiers entraînent du sable dans les zones mortes de chenal (transfert littoral) et les vents violents du secteur Ouest et Nord-Ouest transportent du sable, qui le dépose dans le chenal (transport éolien).

Pour mettre fin à ce problème d'ensablement, il est recommandé de :

- Rectifier le profil (notamment la fermeture des accès aux marécages).
- La mise en place d'un moyen de protection dunaire par la plantation d'espèces d'arbres locales, afin de limiter les transferts éoliens et réduire le phénomène d'érosion au niveau des bords.
- Établir un système de régulation hydraulique afin de permettre une augmentation des échanges mer-lac.

## **II. Méthodes de travail**

### **1. Choix des stations de prélèvements**

Les sites où seront prélevés les échantillons pour refléter la qualité de l'eau de la région où on les a prélevés, d'où on doit éviter de prélever dans des zones proches du bord. Dans ces zones on peut rencontrer des concentrations considérables de sable et de sédiment.

Pour cette raison, les lieux de prélèvement des échantillons sont généralement Choisis aux endroits où la profondeur de l'eau se situe entre 1 et 1,5m (**Light foot, 2002**).

Pour contribuer à l'évaluation de la qualité phytoplanctoniques de l'eau de la lagune Mellah

nous avons choisi 02 stations de prélèvement) (**Fig.06**). Les prélèvements ont été réalisés sur une période de deux mois (mars et avril 2019) (**Tab.02**)

**Tableau 02** : Présentation des sites et période de prélèvement.

Points de prélèvement	Date de prélèvement	Heure de prélèvement
<b>Station 01</b> 36°90'N - 08°32'E	<b>01/03/2019</b>	<b>12h30</b>
	<b>02/05/2019</b>	<b>12h30</b>
<b>Station 02</b> 36°88'N- 08°34'E	<b>01/03/2019</b>	<b>13h30</b>
	<b>02/05/2019</b>	<b>13h30</b>



**Figure 06** : Localisation des points de prélèvement. (Google earth, 2019)



**Figure 07** : Photos des stations de prélèvement : a-b (Station 1), c-d (Station 2) (Photo personnelle).

## **2. L'échantillonnage**

### **2.1.Méthode de prélèvement**

Les techniques de prélèvement sont variables en fonction du but recherché et de la nature de l'eau à analyser. Pour une eau de surface (eau superficielle), les bouteilles stériles sont plongées à une distance qui varie de 25 à 30 cm de la surface assez loin des bords, ainsi que des obstacles naturel ou artificiel (**Rodier et al., 1996**).

Pour l'analyse phytoplanctonique une quantité d'eau environ 1,5 L est prélevée aseptiquement dans la colonne d'eau, puis on a ajouté environ 5 ml du **Lugol** pour fixer les phytoplanctons, les échantillons doit être stockés à l'obscurité à +4 °C (**Jean-Claude et al., 2008**).

### **2.2.Choix du contenant**

Les prélèvements ont été faits manuellement dans des bouteilles bien fermées qui ont été rincée plusieurs fois avec de l'eau à prélever puis remplis jusqu'au bord

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des contenants en matière plastique pour trois raisons majeures :

- La facilité qu'ils présentent pour le transport.
- Leur résistance par rapport au contenant en verre.
- La disponibilité (flacons de récupération).

### **2.3.Enregistrement et étiquetage des échantillons**

Pour faciliter le travail et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, Il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables **Rodier et al., (1996)**.

Dans ces derniers, on doit noter avec précision : la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales **Light foot, (2002)**.

### **2.4.Transport et conservation des échantillons avant l'analyse**

Les échantillons soigneusement étiquetés sont places dans une glacière à + 4° C et transportés ensuite au laboratoire.

L'analyse phytoplanctonique a été réalisée au niveau du laboratoire de microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie, université du 08 Mai 1945 de Guelma.

### **3. Analyses physico-chimiques**

Les mesures *in situ* sont des analyses réalisées sur place en plongeant directement les sondes dans l'eau (Fig.08) Ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur place (**Rodier, 2009**).

La température (T °C), le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous (O<sub>2</sub> en mg/l), la salinité, ont été mesurés à l'aide de trois sondes d'un multi paramètres de terrain de marque (WTW), la couleur a été estimée à l'œil nue (**Rodier, 1996**).



**Figure 08 :** Photo du multi-paramètre (de marque (WTW Multi 197i)) (Photo personnelle).

Ces paramètres sont très variables aux conditions du milieu et ils permettent une estimation de la qualité générale de l'eau. En effet ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

#### **3.1.La température**

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (**Rodier, 1984**).

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

Ces variations peuvent tuer certaines espèces aquicoles, mais également favoriser le développement d'autres espèces, ce qui entraîne un déséquilibre écologique. Chaque espèce ne peut vivre que dans un certain intervalle de températures hors duquel elle est amenée à disparaître ; elle a son référendum thermique (emprunté au latin *praeferendum*, «ce qui doit être préféré » désigne la valeur d'une variable ou d'un gradient, notamment la température, pour laquelle un organisme vivant, ou plus généralement une espèce, peut atteindre son développement optimum) qui correspond à la zone de température où l'espèce se tient le plus facilement (**Arrignon, 1991**).

### **3.2.Le potentiel hydrogène**

La mesure du potentiel hydrogène (pH) des eaux usées donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux. Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 6,5 à 7,5. Des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent directement la viabilité et la croissance des micro-organismes (**Mara, 1980 ; Who, 1987**). Le pH est donc l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toute opération de traitement (**Rodier et al, 1996**).

La détermination du pH est importante par le fait qu'associée aux mesures du CO<sub>2</sub> dissous, de la dureté totale et température, elle permet d'estimer le degré d'agressivité d'une eau et, par ailleurs, si cette eau est ou non convenable à la vie animale supérieure.

Le pH des eaux varie à la conséquence de différentes causes endogènes (dégradation de la flore et de la faune) et exogènes (température, apports en éléments nutritifs).

### **3.3.La Conductivité électrique**

La conductivité électrique l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions.

La conductivité est également en fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (**Rodier, 1984**).

### **3.4.L'Oxygène dissous**

L'oxygène dissous dépend essentiellement de la respiration et de la Photosynthèse des populations planctoniques et de la minéralisation de la biomasse. La teneur en oxygène dissous dans l'eau est étroitement liée au régime thermique du lac (**Villeneuve et al., 2006**).

L'oxygène présent dans l'eau est également d'origine biologique par la fonction chlorophyllienne exercée par les végétaux, les algues planctoniques dans les lacs, par les phanérogames aquatiques dans les zones littorales des plans d'eau. Elle conduit également à la sursaturation si la flore aquatique est abondante et l'ensoleillement élevé. L'oxygène dissous est considéré comme l'élément le mieux explicité des variations de la densité phytoplanctonique (**Arrignon, 1991**).

### **3.5.La Salinité**

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximal de densité), d'autres (viscosité, absorption de la lumière). Enfin certains sont essentiellement déterminés par la qualité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) (**Merzoug, 2009**).

## **4. Analyses phytoplanctoniques**

Pour l'analyse quantitative et qualitative des phytoplanctons les prélèvements sont effectués avec les mêmes fréquences que pour l'étude physico-chimique et bactériologique. Les échantillons de phytoplancton sont fixés sur le terrain à l'aide d'une solution de Lugol Alcalin afin d'obtenir une concentration finale d'environ 0,5 % dans l'échantillon, soit environ 8 gouttes pour 100 ml (ou 2,5 ml pour un flacon de 500 ml). Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair, orangée (**Christophe et al., 2009**).

A partir des échantillons d'eau bruts fixés au Lugol, un sous-échantillonnage de 25 ml a été réalisé après agitation et homogénéisation, on le laisse se sédimenter dans une éprouvette graduée pendant 24 h, on garde ce qui se trouve en bas et qui présente le sous-échantillon, et on se débarrasse du reste, et à partir de cette petite quantité on fait notre analyse quantitative et qualitative en même temps selon la méthode de comptage d'**Utermohl (1958)** modifiée.

#### 4.1. Analyse qualitative

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

Après le dépôt des espèces lugolées au fond du flacon, un volume de l'eau (20 $\mu$ l) est prélevé au fond à l'aide d'une micropipette après homogénéisation. Cette eau est déposée entre lame et lamelle, luter la lamelle avec du vernis et observée aux microscopes OPTIKA à l'objectif à immersion ( $\times 100$ ) suivant un parcours horizontal sur toute la longueur de la lamelle, cette opération est répétée 3 fois en décalant nettement sur hauteur de la lamelle, d'environ un champ de microscope, afin d'éviter tout chevauchement.

L'identification des taxons est basée sur l'observation des caractères morphologiques (forme, taille, couleur...) (Fott., 1969; Bourrelly., 1966, 1970, 1972), anatomique (disposition des chloroplastes, flagelles...) et à l'aide des clés de détermination (Pestalozzi *et al.*, 1983 ; John *et al.*, 2001). La détermination taxonomique des diatomées a été faite grâce aux travaux d'abord de Sournia (1968), puis de (Compère, 1991) et de (Krammer et Lange-Bertalot, 1986, 2000).

#### 4.2. Analyse quantitative

L'analyse quantitative des phytoplanctons se fait en même temps que l'analyse qualitative.

##### 4.2.1. Richesse spécifique

C'est le nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage. Elle mesure la diversité la plus élémentaire, fondée directement sur le nombre total d'espèces dans un site. Un grand nombre d'espèces fait augmenter la diversité spécifique. Toutefois, cette méthode dépend de la taille des échantillons et ne considère pas l'abondance relative des différentes espèces. Sa valeur écologique est donc limitée (Travers, 1964).

##### 4.2.2. Abondance

En tant que concept écologique, l'abondance est une composante importante de la diversité (Hurlbert, 1971). Suivant le type d'organismes, l'unité de comptage a été soit une cellule, une colonie ou un filament. Dans chaque champ, le nombre d'individus (ou unité de comptage) a été déterminé. Le comptage s'effectue à l'aide d'un objectif  $\times 100$  avec des balayages de toute la surface de la lamelle.

### 4.2.3. Diversité globale

Les indices de diversité constituent une autre piste pour caractériser la composition du phytoplancton et l'évolution temporelle de sa biodiversité. Un indice de diversité exprime l'importance relative du nombre des espèces abondantes dans un milieu donné. Son expression est fonction de deux paramètres : le nombre d'espèces et le nombre d'individus par espèce. Un indice de diversité présente une valeur minimale quand tous les individus appartiennent à la même espèce, et une valeur élevée quand la diversité est élevée (**Goffart, 2010**).

De nombreux indices de diversité sont ainsi proposés et permettent de donner une expression qualitative plus ou moins pertinente de la structure de l'écosystème. Dans cette étude, nous avons utilisé l'indice de (**Shannon – Wiener, 1963**) qui est largement utilisé pour décrire la diversité du phytoplancton et l'état de l'écosystème.

L'indice de Shannon (Ish) peut se calculer sous deux formes, en utilisant le biovolume ou l'effectif spécifique :

$$Ish = -\sum [(ni/N) \times \ln (ni/N)]$$

Avec :

$n_i$  = le biovolume ou l'effectif de la  $i$  espèces.

$N$  = le nombre totale d'individus dans l'échantillon.

Ish = est exprimé en bit

L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Pielou : L'équitabilité constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité, (RAMADE, 1984). Selon DAJOZ(1975), c'est la distribution du nombre d'individus par espèces, elle s'exprime comme suite :

$$E = H' / H_{\max}$$

$$H_{\max} = \text{Log}_2 (S)$$

$S$  : Est le nombre total d'espèces.

L'équitabilité permet de comparer les structures des peuplements phytoplanctoniques, et permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée

sur une espèce (dominance d'une des espèces) à 1 lorsque toutes les espèces ont même abondance (équirépartition des individus dans les espèces).

## 5. Les groupes fonctionnels du phytoplancton

Les groupes fonctionnels (Functional Groups, FG) élaborés par Reynolds dès 1984, regroupent, en différents assemblages, les espèces retrouvées fréquemment ensemble dans un même milieu et partageant les mêmes exigences écologiques. Ces assemblages d'espèces permettent une classification fonctionnelle des espèces communes du phytoplancton. Les FG s'inspirent des associations végétales employées en phytosociologie dans le domaine de la botanique. Selon la définition du phytosociologue **Braun-Blanquet (1928)** : « L'association végétale est un groupement végétal plus ou moins stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près (espèces caractéristiques) révèlent, par leur présence, une écologie particulière et autonome ». Selon la même réflexion, les FG regroupent les espèces présentant des similitudes écologiques, caractéristiques d'un type d'habitat. Une attention particulière est portée aux caractéristiques propres à chaque espèce représentative (**Reynolds, 2006**).

Ces groupes, souvent polyphylétiques, sont actuellement au nombre de 41 (**Padisák et al., 2009**) et dénommés sous le terme de codons. Un codon est formé d'une lettre parfois avec un indice formé par une lettre ou un chiffre (ex : codon A, codon SN, codon S2,...). De nouvelles aggregations d'espèces ou de nouveaux codons sont régulièrement proposés par les utilisateurs des FG (**Reynolds et al., 2002 ; Padisák et al., 2003 ; Callieri et al., 2006 ; Padisák et al., 2006 ; Borics et al., 2007 ; Souza et al., 2008 ; Padisák et al., 2009**).

Au moment de la collecte du phytoplancton, une étude des conditions environnementales du milieu fournit une aide précieuse à l'attribution des codons, notamment lorsqu'une espèce est potentiellement présente dans plusieurs habitats. Des données sur les plans d'eau comme la profondeur, la richesse en nutriments, le cycle thermique, la taille de l'épilimnion se sont avérées utiles pour placer correctement les taxons potentiellement présent dans plusieurs codons. Le (**Tab.03 Annexe**) présente les codons décrits par **Reynolds et al. (2002)** (**Sonia, 2013**).



*Chapitre III*  
*Résultats et discussion*

## Résultats et discussion

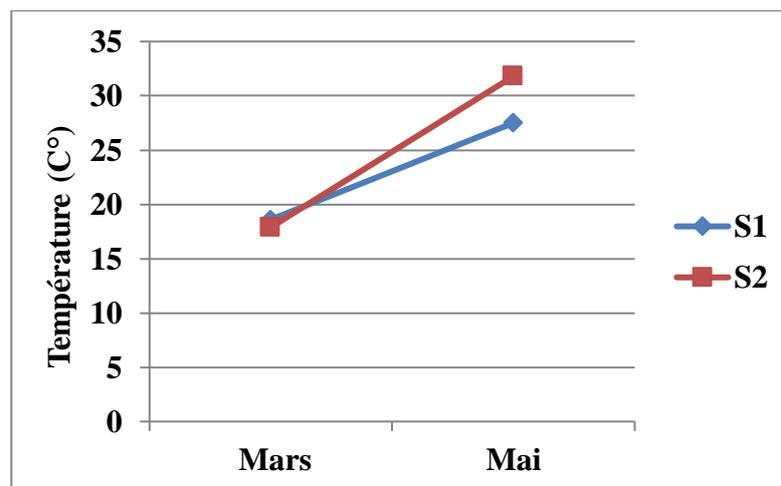
La qualité physico-chimique des eaux est déterminée à partir des mesures ponctuelles et non continues. Il est donc possible que les prélèvements soient réalisés lors de conditions exceptionnelles (aussi bien favorables que défavorables), peu représentatives du véritable état du milieu.

Les résultats que nous avons obtenus, nous a permis d'obtenir les différent courbes qui récapitulent notre étude.

### 1. Résultats des analyses physicochimiques

#### 1.1.La température

La température est un facteur écologique très important qui a une grande influence sur les propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques. Elle conditionne les possibilités de développement et la durée du cycle biologique des espèces aquatiques (Aberkan et al., 2011).



**Figure 09 :** Variations spatiotemporelles de la température de l'eau de la lagune Mellah.

D'après les résultats (Fig.09), la température minimale de l'eau de lagune de Mellah est de 17,9°C enregistrée dans le mois de Mars à la station (S2) cette température caractérise la période d'étude (saison hivernale). La température maximale est 31.8°C notée pendant le mois de mai à la station (S2).

Selon Draredja et Kara (2004), le paramètre température montre une certaine homogénéité entre les eaux de surface et les eaux du fond avec une amplitude qui ne dépasse pas 1°C. Les fluctuations de température sont vraisemblablement sous l'effet des marées et des quantités d'eau échangées entre la méditerranée et la lagune.

La température agit sur la croissance du phytoplancton de façon directe et indirecte. De manière directe, elle influence le métabolisme des organismes (action sur la vitesse des réactions enzymatiques). De façon indirecte, la température va déterminer les conditions de milieu, Elle conditionnera ainsi partiellement le déclenchement des blooms. La croissance phytoplanctonique se trouvera ralentie dans les eaux froides (écosystèmes des hautes latitudes) par rapport à des eaux plus chaudes (régions tempérées).

Les algues phytoplanctoniques peuvent se développer à l'intérieur d'une vaste gamme de températures : elles sont donc généralement eurythermes.

### 1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH doit être compris entre 5 et 9 pour permettre un développement normal de la faune et de la flore. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Il donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Du point de vue sanitaire, un pH élevé peut provoquer un problème de corrosion alors qu'un pH faible peut modifier le goût de l'eau (Benmira et al., 2012).

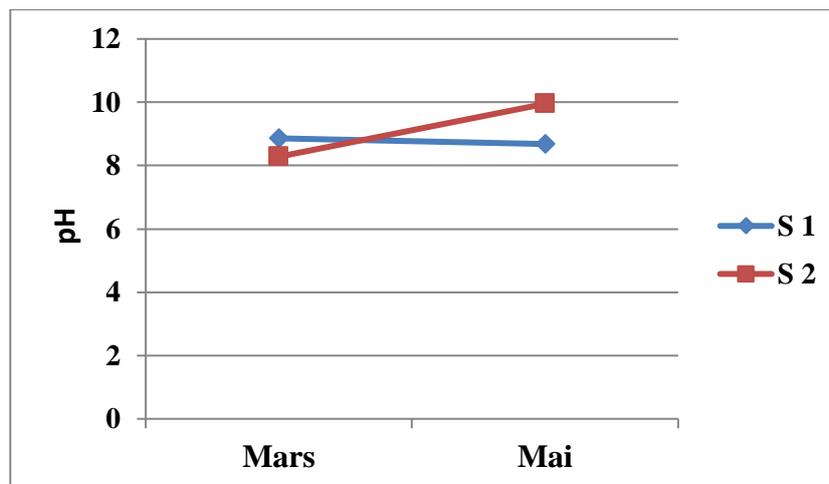


Figure 10 : Variations spatiotemporelles du pH de l'eau de la lagune Mellah.

Les valeurs de pH telles que présentées dans la **figure 10** montre une variation au cours des mois dans les deux stations mais généralement le pH est basique avec une moyenne pour toute la lagune environ 8, et une valeur maximale de 9.95 marquée en mois de mai dans la station (2). Le pH présent de faible valeur en mai à la station (1) est 8.68.

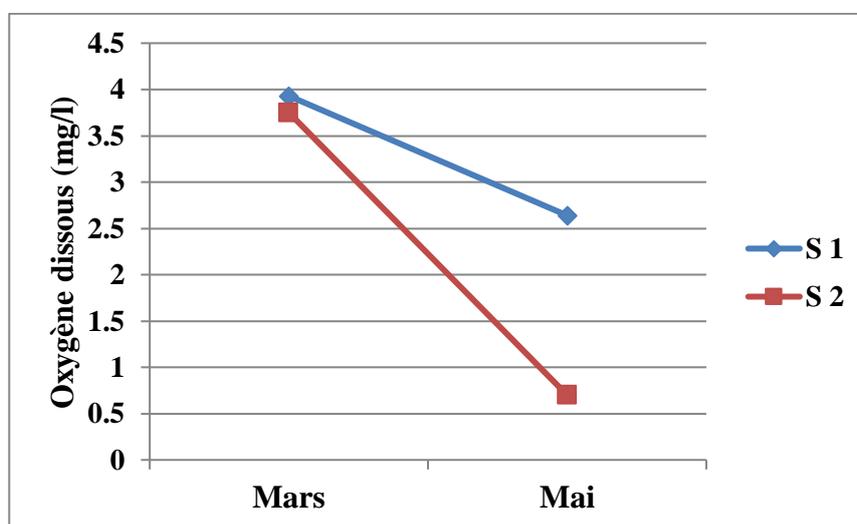
Selon **Stumm et Morgan (1996)**, le pH dans les systèmes lacustre varie de 6 à 10 selon le degré trophique. Il augmente en période à forte production primaire. Les variations

de pH sont également fonction de l'activité photosynthétique qui soustrait du CO<sub>2</sub> au milieu (Hartley *et al.*, 1997).

### 1.3.L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des microorganismes aquatiques. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeur (Rodier, 1996).

L'oxygène représente environ 35% de gaz dissous dans l'eau. Il a une importance primordiale dans les eaux de surface puisqu'il conditionne les processus d'autoépuration et de préservation de la vie aquatique (Gaujous, 1995).



**Figure 11 :** Variations des teneurs en oxygène dissous dans l'eau de la lagune Mellah.

Selon les résultats illustrés dans la courbe ci-dessus (Fig.11) on marque qu'il y a une grande différence d'un mois à un autre. Dont la valeur minimale 0.7 mg/L a été enregistrée dans la station (2) durant le mois de Mai. La valeur maximale 3.93 mg/L a été enregistrée dans la station (1) durant le mois de Mars.

### 1.4.La salinité

Dans les milieux lagunaires, les valeurs de salinité sont toujours élevées, dépassant 26‰ en jusant, pour atteindre 37‰ pendant le flot (la lagune de Venise) (Tolomio *et al.*, 1999). Dans la lagune Mellah, les amplitudes des fluctuations temporelles de la salinité sont bien prononcées. La figure 12 montre, que la salinité fluctue énormément au cours de la période d'étude, dans les deux stations étudiées dont la valeur maximale 1.47 a été marquée

dans la station (2) durant le mois de Mai autant que la valeur minimal a été marquée dans la station (1) durant le mois de Mars de 0.1. Selon **Drardja et al.,(2012)** Les variations halines dans la lagune sont sous l'influence directe des échanges avec la mer et les apports en eaux douces. Le suivi de la salinité a permis de déceler deux grandes phases halines. Une phase décroissante, où les fluctuations de salinité dépendent plutôt de conditions météorologiques. Une phase croissante, où les influences marines s'affirment davantage.

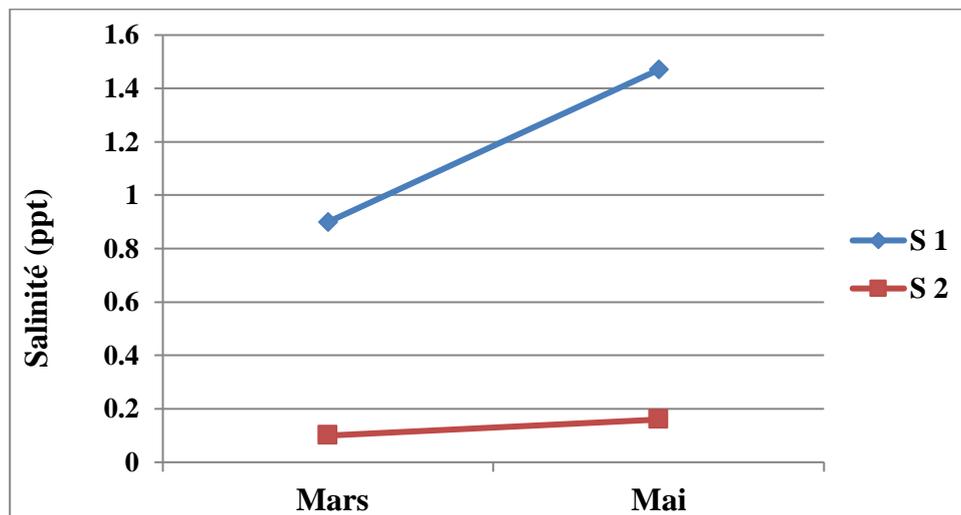


Figure 12 : Variations spatiotemporelles de la salinité de l'eau de la lagune Mellah.

### 1.5. La conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique (**Rejsek, 2002**). Elle est proportionnelle à la quantité des sels ionisables et varie avec la température (**Zourez et Ferhani, 2003**). La conductivité est déterminée par un conductimètre en micro-siemens par centimètre.

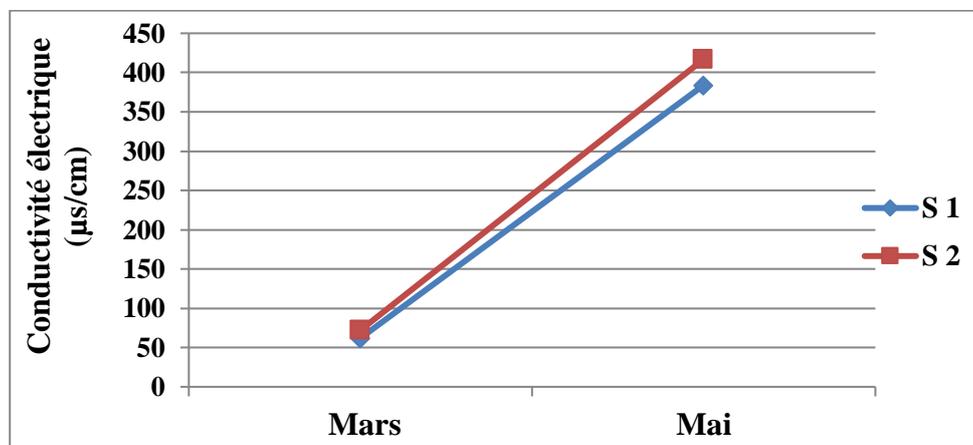


Figure 13 : Variations de la conductivité électrique de l'eau de la lagune Mellah.

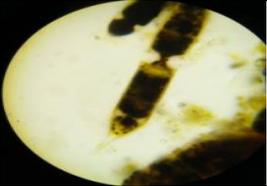
Les résultats montrent que la conductivité électrique de la lagune Mellah varie entre 62.1µs/cm et 417µs/cm (**Fig.13**) ce qui signifie que l'eau est de bonne qualité selon la grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la conductivité (**Tab.02 Annexe**). Ceci est dû à l'augmentation de la température qui entraîne l'évaporation de l'eau qui favorise la concentration des sels dans l'eau.

## 2. Résultats des analyses phytoplanctoniques

### 2.1. Résultats de l'analyse qualitative et composition taxonomique du phytoplancton

L'analyse de la composition spécifique des échantillons durant notre période d'étude pendant Mars et Mai 2019, nous a permis de répertorier 63 taxons ou espèces et 30 genres (**Tab.03**). Ces espèces se répartissent dans les cinq classes des eaux douces et dominées par les, les Chrysophycées suivit par les Cyanobactéries et les Pyrrophytées et enfin les Chlorophycées et les Euglenophycées.

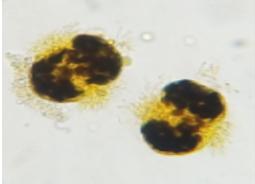
**Tableau 03** : Classification des espèces phytoplanctonique de la lagune Mellah.

Classe	Genre	Espèce	Aspect microscopique
<i>Chlorophycées</i>	<i>Cladophora</i>	<i>Cladophora glomerata</i>	
	<i>Closterium</i>	<i>Closterium navicula</i>	
		<i>Closterium acerosum</i>	
	<i>Coelastrum</i>	<i>Coelastrum microporum</i>	
		<i>Cosmarium candianum</i>	

Tab.03 : (suite)

	<i>Oocystis</i>	<i>Oocystis lacustris</i>	
	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	
		<i>Scenedesmus tropicus</i>	
	<i>Tetrastrum</i>	<i>Tetrastrum elegans</i>	
<b>Chrysophycées</b>	<i>Achnanthe</i>	<i>Achnanthe sminutissima</i>	
	<i>Craticula</i>	<i>Craticula cuspidata</i>	
	<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella quillensis</i>	
	<i>Diatoma</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	
	<i>Gomphoseptatum</i>	<i>Gomphoseptatum aestuarii</i>	

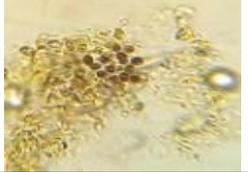
Tab.03 : (Suite)

	<i>Mallomonas</i>	<i>Mallomonas acaroides</i>	
		<i>Mallomonas heterospina</i>	
	<i>Mastogloia</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	
	<i>Melosira</i>	<i>Melosira granulata</i>	
		<i>Melosira varians</i>	
	<i>Navicula</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>	
		<i>Navicula gracilis</i>	
		<i>Navicula lanceolata</i>	
		<i>Navicula mutica</i>	

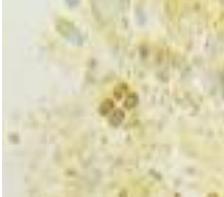
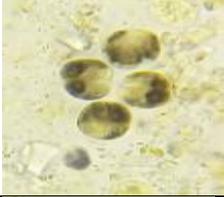
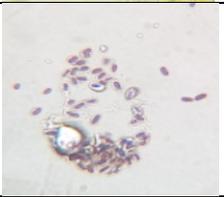
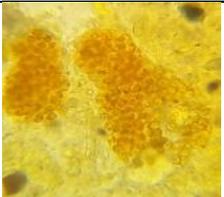
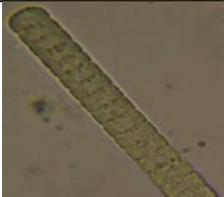
Tab.03 : (Suite)

		<i>Navicula transitans</i>	
		<i>Navicula trivialis</i>	
	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia amphibia</i>	
		<i>Nitzschia draveillensis</i>	
		<i>Nitzschia linearis</i>	
		<i>Nitzschia longissima</i>	
		<i>Nitzschia navis- varingica</i>	
		<i>Nitzschia palea</i>	

Tab.03 : (Suite)

		<i>Nitzschia subcurvata</i>	
	<i>Surirella</i>	<i>Surirella linearis</i>	
	<i>Synedra</i>	<i>Synedra acus</i>	
		<i>Synedra ulna</i>	
	<i>Tabellaria</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>	
<i>Cyanobactéries</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena cylindrica</i>	
		<i>Anabaena flos-aquae</i>	
	<i>Chroococcus</i>	<i>Chroococcus limneticus</i>	

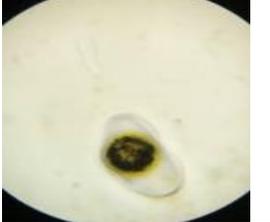
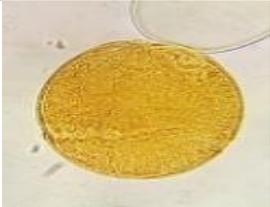
Tab.03 : (Suite)

		<i>Chroococcus minor</i>	
		<i>Chroococcus turgidus</i>	
		<i>Chroococcus virescens</i>	
	<i>Gloeothece</i>	<i>Gloeothece linearis</i>	
	<i>Microcystis</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
		<i>Microcystis viridis</i>	
<i>Cyanobactéries</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Oscillatoria margaritifera</i>	
		<i>Oscillatoria princeps</i>	
<i>Euglénophycées</i>	<i>Trachelomonas</i>	<i>Trachelomonas armata</i>	

Tab.03 : (Suite)

		<i>Trachelomonas hispida</i>	
		<i>Trachelomonas intermedia</i>	
		<i>Trachelomonas scabratula</i>	
		<i>Trachelomonas volvocina</i>	
<i>Pyrrhophycées</i>	<i>Cryptomonas</i>	<i>Cryptomonas erosa</i>	
		<i>Cryptomonas marssonii</i>	
		<i>Cryptomonas ovata</i>	

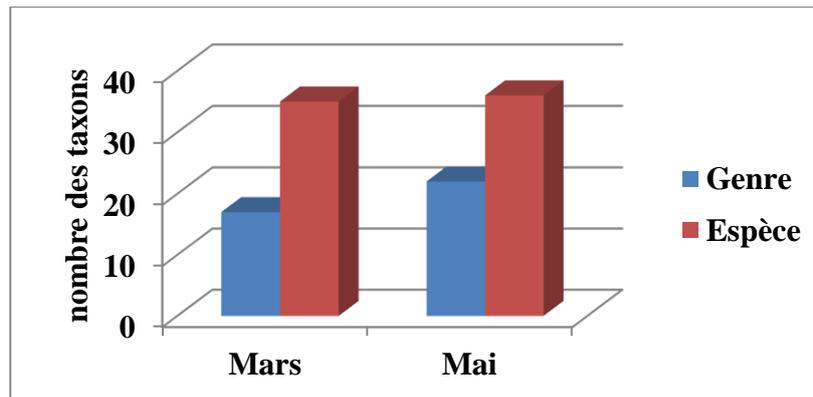
Tab.03 : (Suite)

		<i>Cryptomonas phaseolus</i>	
		<i>Cryptomonas pyrenoidifera</i>	
	<i>Gymnodinium</i>	<i>Gymnodinium mirabile</i>	
	<i>Gymnodium</i>	<i>Gymnodium caudatum</i>	
	<i>Peridiniopsis</i>	<i>Peridiniopsis oculatum</i>	
		<i>Prorocentrum compressum</i>	
	<i>Prorocentrum</i>	<i>Prorocentrum lima</i>	
		<i>Prorocentrum micans</i>	

## 2.2. Résultats de l'analyse quantitative

### 2.2.1. Richesse spécifique de la population phytoplanctonique

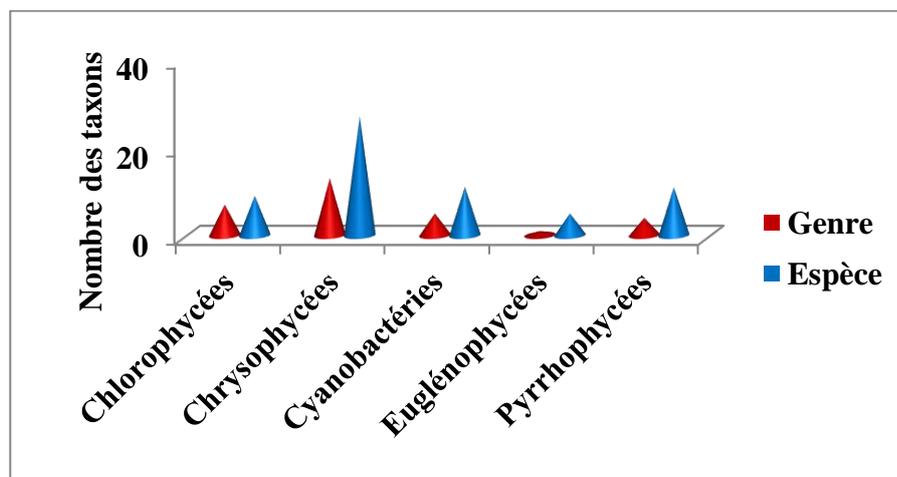
L'analyse des échantillons révèle que la lagune Mellah est caractérisée par une richesse spécifique importante (63 taxons). La richesse est faible au mois de Mars en genres avec 17 genres (**Fig.14**). Toutefois, aucune différence significative de la richesse spécifique n'a été observée entre le mois de mars et mai en nombre d'espèces.



**Figure 14 :** Evolution de la richesse spécifique de la population phytoplanctonique dans les eaux de la lagune Mellah.

### 2.2.2. Richesse spécifique totale des groupes phytoplanctoniques

Selon la **figure 15**, la lagune Mellah est caractérisée par un nombre d'espèces importante, surtout pour les Chrysophycées une richesse maximale présentée dans les deux stations. Tandis que les Euglénophycées présente une richesse spécifique faible en mois de mars dans les deux stations. Et pour les Cyanobactéries et les Pyrrophycées sont présentés avec une faible richesse.



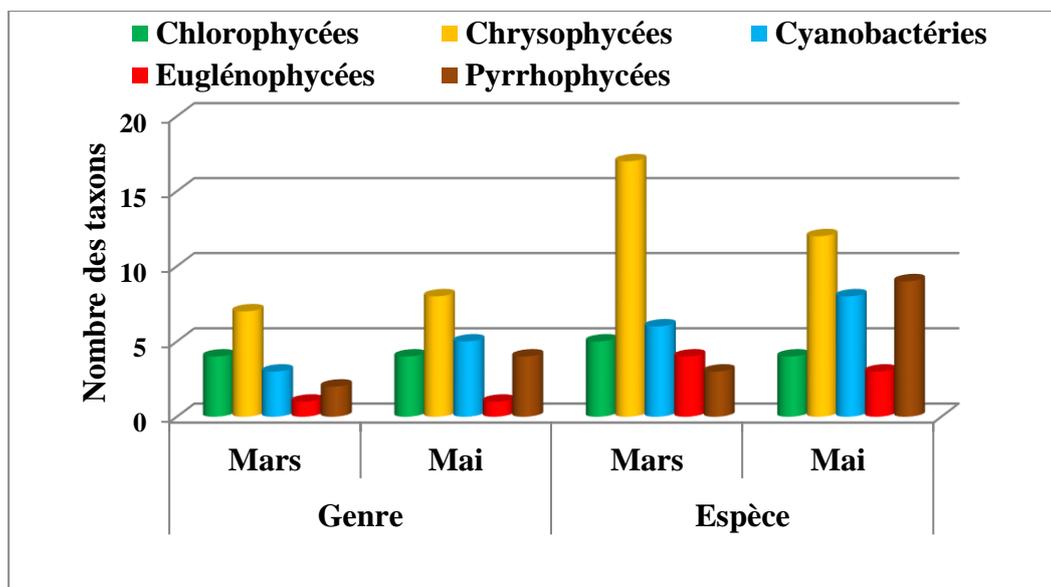
**Figure 15 :** Evolution de la richesse spécifique totale des groupes phytoplanctoniques dans les eaux de la lagune Mellah.

En termes de nombre des genres, la classe des Chrysophycées est la classe la plus importante par 13 genres, tandis que les Euglénophycées forment la classe la moins représentée avec seulement 01 genre.

### 2.2.3. Variation de la richesse spécifique des groupes phytoplanctoniques

La **figure 16** montre que la population phytoplanctonique de la lagune mellah est dominée essentiellement par les Chrysophycées en mars et en mai en nombre d'espèces, et notamment par le genre *Navicula* et *Nitzschia* en mois de mars et par le genre *Mallomonas* en mois de mai, suivies par des Pyrrophycées et des Cyanobactéries en mois de mai. En termes de nombre de genres, les Chrysophycées sont aussi les premières en mars, alors qu'en mai, suivies par des Cyanobactéries et des Pyrrophycées en mois de mai, et aussi avec des Chlorophycées en mois de mars et mai. Tandis que les Euglénophycées présente un très faible nombre de genres en mois de mars et mai.

Le nombre des Chrysophycées varie de 17 espèces en mars à 12 en mai. Le nombre des genres varie de 7 en mars à 8 en mai (**Fig.16**). L'augmentation du nombre d'espèces de cette classe en mars liée au mouvement de la colonne d'eau et le mélange des sédiments, ce qui contribue à fournir l'élément de silicium et de réduire le phénomène de la prédation de ces espèces par le zooplancton.



**Figure 16 :** Evolution de la richesse spécifique des groupes phytoplanctoniques.

Pour la classe des Cyanobactéries, le nombre d'espèces varie de 6 espèces en mars à 8 en mai, et le nombre de genres varie de 3 en mars à 5 genres en mai (**Fig.16**).

L'augmentation de nombre des espèces et des genres des Cyanobactéries au mois de mai est en raison de la stabilité de la colonne d'eau (due au fermeture de la chenal de la lagune avec la mer méditerranéenne) et de la température appropriée ainsi que de l'abondance de phosphate et d'azote des engrais agricoles et de la décomposition de la matière organique par les bactéries et l'apparition des espèces filamenteuses qui peuvent échapper à la prédation.

Le nombre d'espèces des Chlorophycées en mars et en mai est le même avec 4 espèces. Le nombre des genres varie de 5 en mars à de 4 en mai (Fig.16).

La classe des Euglenophycées est marquée seulement un genre dans le mois de mars et mai, alors que le nombre d'espèces est 4 en mois de mars et 3 en mois de mai (Fig.19). On pourrait expliquer cette pauvreté en Euglénophycées aux pluies abondantes et au manque d'ensoleillement sur plusieurs jours ce qui a fait diminuer les températures et retarder le développement.

Enfin, la classe des Pyrrophycées a varié de 2 à 4 genres respectivement en mars et en mai Le nombre le plus élevé d'espèces enregistré au mois de mai avec 9 espèces et en mars était 3 espèces (Fig.16).

#### 2.2.4. Abondance totale du phytoplancton

Selon la figure 17, l'abondance totale de la population phytoplanctonique pendant notre étude est élevée en mai où elle atteinte  $5.396 \times 10^6$  indv/l et en mars  $3.198 \times 10^6$  indv/l.

La stabilité de la colonne d'eau, l'augmentation de la température en mai, ainsi que l'abondance des ortho-phosphates et l'azote sont des conditions favorables pour la croissance et le développement du phytoplancton en particulier les Chrysophycées et les Cyanobactéries.

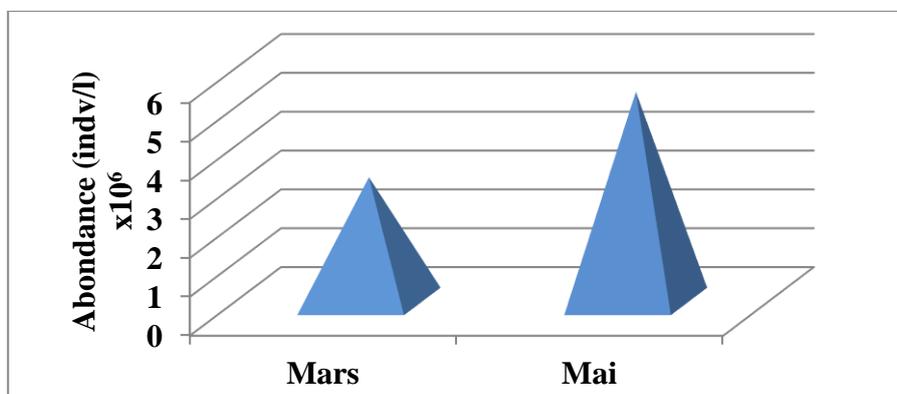
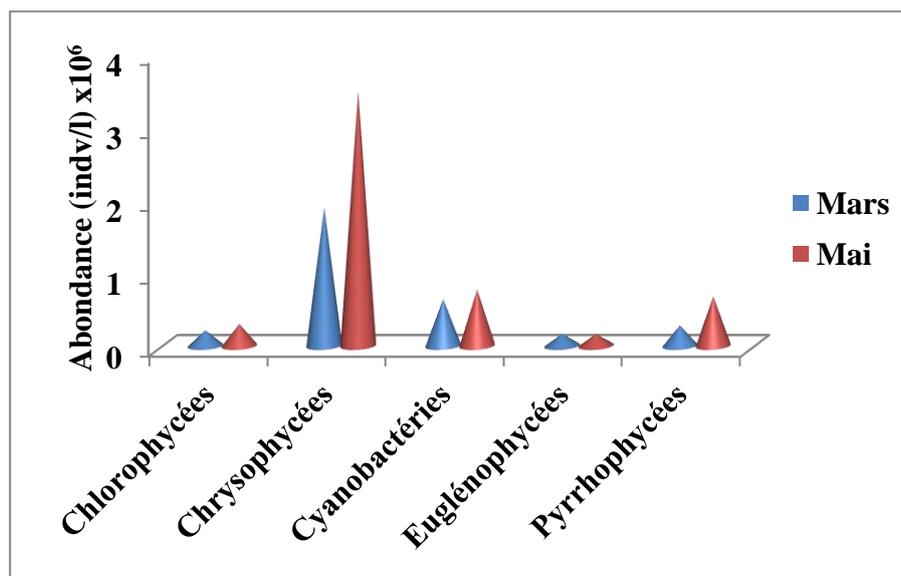


Figure 17 : Variation de l'abondance de la population phytoplanctonique.

L'abondance du phytoplancton peut fluctuer beaucoup à l'échelle même de l'heure, en raison des courants de marée, créant des mouvements turbulents de la masse d'eau générant ainsi des phénomènes de dissémination, de concentration ou de transport advectif d'espèces marines ou lagunaires en présence (Ounissi *et al.*, 2003).

### 2.2.5. Contribution des différentes classes dans l'abondance totale

La **figure 18** montre la contribution de différentes classes dans l'abondance totale, où seulement la classe des Chrysophycées parmi les 5 classes est plus abondante, avec  $1.89 \times 10^6$  indv/l en mars et  $3.48 \times 10^6$  indv/l en mai. Suivie par les Cyanobactéries avec une densité plus au moins élevée de  $0.64 \times 10^6$  indv/l en mars et  $0.77 \times 10^6$  indv/l en mai. Ceci s'explique probablement par la température appropriée et l'abondance de nutriments minéraux tels que les phosphates et l'azote.



**Figure 18 :** Contribution des différentes classes dans l'abondance.

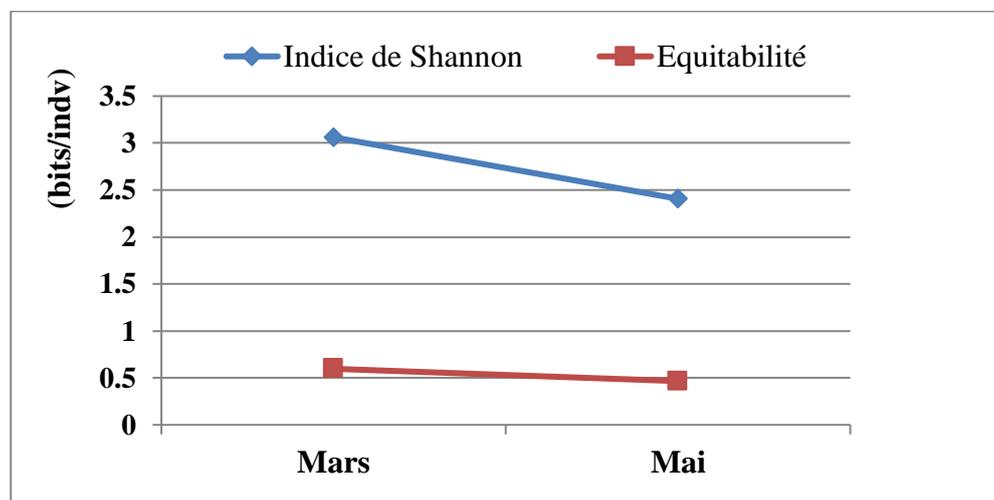
Pour les autres classes sont moins abondantes de  $0.21 \times 10^6$  indv/l et  $0.16 \times 10^6$  indv/l en mars respectivement pour Chlorophycées et Euglénophycées et en mai de  $0.29 \times 10^6$  indv/l et  $0.16 \times 10^6$  indv/l. Tandis que la classe des Pyrrophycées est moins abondante au mois de mars avec  $0.28 \times 10^6$  indv/l, et plus au moins élevé en mai avec  $0.68 \times 10^6$  indv/l (**Fig.18**).

### 2.2.6. Indice de diversité

#### a. La diversité totale

Les indices de Shannon (H) et d'équitabilité (E) sont basés sur les proportions d'espèces observées. Dans la lagune de mellah les valeurs minimales de H et de E sont observées  $E= 0.465$  ;  $H=2.406$  au mois de mai tandis que les valeurs maximales sont obtenues ( $E=0.596$  ;  $H= 3.061$ ) au mois de mars (**Fig.19**), donc les communautés sont au maximum de leur diversité.

L'apparition de nouvelles espèces des Pyrrophytes et des Cyanobactéries et disparition de quelques genres des Chrysophytes tel que *Navicula* Contribuée de manière significative dans la grande diversité au mois de mai.



**Figure 19** : Evolution de l'indice de diversité de Shannon et l'Equitabilité à partir de l'abondance totale.

#### 2.2.7. Diversité des différentes classes

En tenant compte de l'indice de diversité de Shannon calculé à partir des effectifs, La classe des Chrysophytes parmi les 5 classes est la plus diversifiées (1.723 bits/indv) en mois de mars à 0.622 bits/indv en mai. Ceci expliqué que la diversité est faible alors que l'abondance est élevée ; La diversité des Cyanobactéries augmente de mars à mai où elle était 0,571 bits/indv en mars et a enregistré sa valeur importante en mai avec 0,737 bits/indv. Suivie par des Pyrrophytes qui sont variés de 0.28 bits/indv en mars à 0.655 bits/indv en mai.

Les variations de la diversité des Euglenophytes et des Chlorophytes étaient similaires, la valeur la plus faible pour leurs diversités était 0.218 bits/indv et 0.269 bits/indv

respectivement au mois de mars. Les valeurs les plus élevées pour cette diversité ont été enregistrées en mai avec 0.15 bits/indv et 0.242 bits/indv respectivement pour les deux classes (Fig.20).

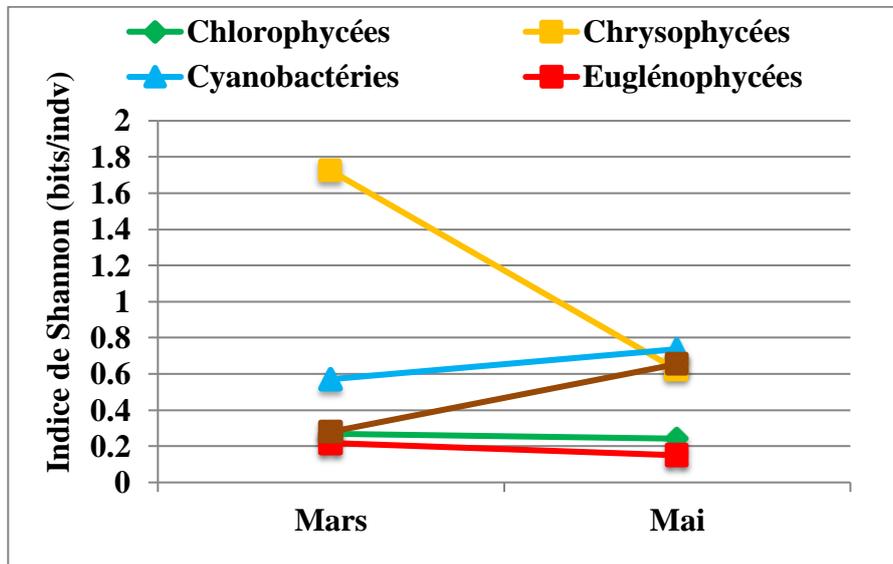


Figure 20 : Evolution de l'indice de diversité de Shannon des classes phytoplanctoniques à partir des abondances spécifiques.

### 2.3.Composition des groupes fonctionnels de la lagune mellah

La structure des assemblages d'espèces phytoplanctoniques au niveau de la lagune Mellah se caractérise par 7 groupes fonctionnels (Tab.04) selon les critères de Reynolds *et al.* (2002).

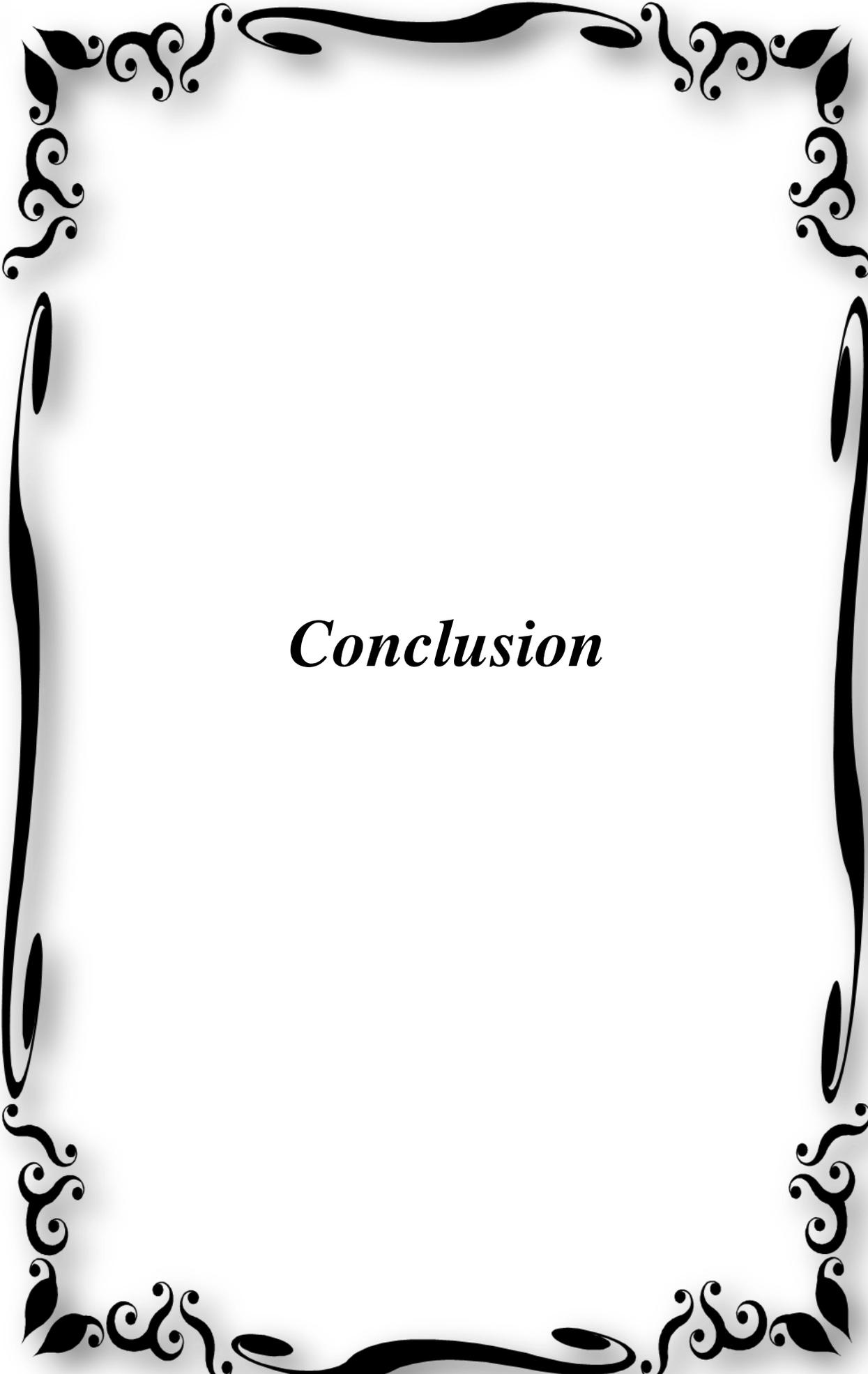
Tableau 04 : Les principaux groupes fonctionnels de la lagune Mellah selon les critères de Reynolds *et al.* (2002).

Groupe fonctionnelle	Habitat	Genres ou espèces représentatives	Résistance	Sensibilité
Sn	Couches d'eaux chaudes et mélangées	<i>Cylindro spermopsis</i> , <i>Anabaena minutissima</i>	Conditions pauvres en azote	Ecoulement
Y	Lacs généralement petits et enrichis	<i>Cryptomonas</i> , <i>Peridinium Lomnickii</i>	Manque de lumière	Phagotrophes
F	Epilimnion claire	Chlorophytes coloniales : <i>Botryococcus</i> , <i>Pseudosphaerocystis</i> , <i>Coenochloris</i> , <i>Oocystis</i>	Carence en nutriments	Manque en CO <sub>2</sub> (?), Forte turbidité

Tab.04 : (Suite)		<i>Lacustris</i>		
<b>J</b>	Lacs, étangs ou rivières peu profonds et enrichis	<i>Pediastrum</i> , <i>Coelastrum</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Golenkinia</i>		Faibles conditions de luminosité
<b>H1</b>	Nostocales fixatrices d'azote	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon</i>	Faible azote et carbone	Mélange, faible lumière, et faible niveau de phosphore
<b>M</b>	Couches d'eaux mélangées de petits lacs eutrophes, faibles latitudes	<i>Microcystis</i> , <i>Sphaerocavum</i>	Fort ensoleillement	Ecoulement, faible luminosité globale
<b>W1</b>	Lacs mésotrophes peu profonds	Bottom-dwelling <i>Trachelomonas</i> (e.g <i>Trachelomonas volvocina</i> )	?	?

Parmi ces groupes fonctionnels, (**F et J**), 3 groupes réunissent les Cyanobactéries (**H1, M, Sn**), 2 groupes pour les Chlorophycées, 1 seule groupe pour les Pyrrophycées (**Y**) et 1 groupe également pour les Euglénophycées (**W1**).

Ces groupes montrent que la lagune Mellah est un écosystème aquatique mésotrophes à eutrophes, peu profonds et enrichis à couche d'eau chaude et mélange, de faible latitude, avec des organismes fixatrice d'azote.

A decorative border with intricate scrollwork and floral motifs surrounds the central text. The border is composed of black lines on a white background, featuring symmetrical patterns of leaves, scrolls, and flourishes.

# *Conclusion*

## Conclusion

L'eutrophisation d'un plan d'eau désigne la surabondance de ce milieu en nutriments, qui entraîne la prolifération des phytoplanctons. L'un des objectifs de recherche en Ecologie est d'identifier les facteurs et d'étudier les interactions qui contrôlent la distribution et l'abondance des organismes dans un environnement.

Dans ce contexte notre étude a été basée sur l'analyse phytoplanctonique ainsi que quelques paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* des eaux de lagune Mellah, situé à l'extrême Est de l'Algérie près de la ville d'El-Kala.

Cette étude est réalisée sur deux stations, sur une période de deux mois (Mars et Mai). Les communautés phytoplanctoniques sont constituées d'assemblages d'espèces présentant des caractéristiques morphologiques (taille, forme, ...) et physiologiques (mode de nutrition, taux de croissance, ...) très différentes dont l'organisation est une composante essentielle à la compréhension du fonctionnement d'un écosystème aquatique. La structure et la dynamique de la communauté phytoplanctonique sont sous le contrôle de différents facteurs tel que température, pH, O<sub>2</sub> dissous et conductivité électrique...

Au sein du phytoplancton de la lagune Mellah, nous avons rencontré les Cyanobactéries (Procaryotes) que les algues vraies (Eucaryotes) regroupant les Chlorophycées, les Bacillariophycées (Diatomées), les Euglénophycées, les Xanthophycées et les Dinophycées. En termes de structure, la communauté phytoplanctonique est caractérisée par un nombre d'espèces plus élevé de Chrysophycées (44%) suivit par les Pyrrophycées (34%), et les Cyanobactéries qui forment chacun environ 11%. Les autres classes présentes sont les Chlorophycées (6%) et les Euglénophycées (5%).

Il ressort de cette étude que la communauté phytoplanctonique de la lagune Mellah est composée de 63 taxons ou espèces et 30 genres constituent 5 classes dont la classe des *Chrysophycées* est la plus représentative en terme de nombre d'espèces et des genres, suivit par les Cyanobactéries et les Pyrrophycées et ensuite les Euglénophycées sont moins représentées. Cette lagune est présente quelques espèces toxiques tels que *Nitzschia sp*, *Microcystis sp*, *Oscillatoria sp*, *Gymnodinium sp*, *Anabaena sp*.

Les variables phytoplanctoniques (richesse spécifique, abondance et indice de diversité) étudiées ont montré une variation au nombre de taxons entre le mois de mars et mai. Les faibles densités sont notées en mars liées au mouvement de la colonne d'eau (le chenal avec le méditerranéen est ouverte), L'indice de diversité de Shannon et de l'équitabilité calculé à

partir des effectifs montre que la diversité de la communauté phytoplanctonique est diminuée de mars à mai.

Parmi ces groupes fonctionnels, 3 groupes réunissent les Cyanobactéries (**H1, M, Sn**), 2 groupes pour les Chlorophycées (**F et J**), 1 seule groupe pour les Pyrrophycées (**Y**) et 1 groupe également pour les Euglénophycées (**W1**). Ces groupes montrent que la lagune Mellah est un écosystème aquatique mésotrophes à eutrophes, peu profonds et enrichis à couche d'eau chaude et mélange, de faible latitude, avec des organismes fixatrice d'azote.

En perspectives, ils seraient intéressant de :

- Etaler la période d'étude en un cycle annuel voir sur plusieurs années et sur plusieurs stations au niveau de lagune.
- Réaliser une étude et une identification spécifique du phytoplancton.

Evaluer l'impact des paramètres physico-chimiques sur la dynamique mensuelle du phytoplancton.



*Références*  
*Bibliographique et*  
*électronique*

## Références bibliographiques

- **Abeliovich A. & Weisman D., 1978.** Role of heterotrophic nutrition in growth of algae *Scenedesmus obliquus* in high rate oxidation ponds, *Appl. and environ. Microbiol.* 35pp:32-37.
- **Aberkan M., Harkat R. & Mkhalfi M., 2011.** Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaat Hadj Tahar (Skikda). Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 Guelma.
- **Akli., 2003.** Caractérisation écologique de l'avifaune nicheuse du pourtour de lac Mellah (El Kala. D'El-Taref) Parc National de El Kala. Thèse. Ing. Agr., I.N.A, El-Harrach, Alger, 64p.
- **Anonyme., 1996.** La Wilya d'El Taref vous invite à découvrir ses sites merveilleux. Direction de tourisme et de l'artisanat de la wilya d'el-Taref. pp :10.
- **Aouar S. et Ouadda H., 1994** -Contribution à la connaissance des peuplements macrozoobenthiques des sables du lac Mellah (El Kala) Evolution saisonnière et microrépartition. Thèse. D.E.U.A. I.S.M.A.L. Alger, pp.1- 7.
- **Arrignon J., 1963.** Contribution à l'inventaire des marécages, tourbières et autres zones humides d'Algérie. *Ann. Cent. Rech. Exp. Forest.*, Alger, 5 : 30 - 32.
- **Arrignon J., 1991.** Aménagement piscicole des eaux douces. 4<sup>éd</sup> ED: Lavoisier. 631p.
- **Baouia O et Koul A, 2008.** Inventaire de la micro- et la macrofaune aquatique.
- **Barnabé G. & Barnabé-Quet R., 1997.** Ecologie aménagement des eaux côtières. Lavoisier. pp: 131, 135,138.
- **Becker E. W., 1983;** Limitations of heavy metal removal from waste water by means of algae. *Wat. Res.* 17(4) pp: 459-466.
- **Behadj (1996).** Contribution à la cartographie des ornithocénoses en Algérie. Atlas de de l'avifaune nicheuse du pourtour de lac Mellah (El Kala. D'El-Taref) Parc National de El Kala. Thèse. Ing. Agr., I.N.A, El-Harrach, Alger, 200p.
- **Benamira M. & Halassi I., 2012.** Evaluation de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau du lac souterrain : Bir Osman hammam Dabagh-Guelma. Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, p 60.

- **Borics G., Varbiro G., Grigorszky I., Krasznai E., Szabo S. & Kiss K. T., 2007.** A new evaluation technique of potamoplankton for the assessment of the ecological status of rivers. *Hydrobiologia*, 161 Supplement 17, Large Rivers, 465–486.
- **Bouaïcha N., Maatouk I., Vincent G. ET Levi Y., 2002.** A colorimetric and fluorometric microplate assay for the detection of microcystin-LR in drinking water without preconcentration. *Food and Chemical Toxicology* 40: 1677–1683.
- **Boumezbeur A., 1993.** Ecologie et biologie de la reproduction de l'Erismature à tête blanche (*Oxyra leucocephala*) et du fuligule nyroca (*Fuligula nyroca*) sur le Lac Tonga et le Lac des Oiseaux) Est algérien. Thèse doctorat USTL. Montpellier. 250p. Apria, 331p.
- **Bourke A. T. C., Hawes R. B., Neilson A. & Stallman N. D., 1983,** An Outbreak of Hepato-Enteritis (the Palm Island Mystery Disease) Possibly Caused by Algal Intoxication, *Toxicon* 21: 45–48.
- **Bourelly P., 1966.** Les algues d'eau douce : les algues vertes, éd. N. Boubée, 1572p.
- **Bourelly P., 1968.** Les algues d'eau douces. Algues jaunes et brunes. Edition Boubée et Cie. Paris. pp : 438.
- **Bourelly P., 1970.** Algues d'eau douce ; Initiation à la systématique. Tome 3 : Les Algues bleues et rouges, les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Edition N. Boubée & Cie, 572p.
- **Bourelly P., 1972.** *Les Algues d'eau douce ; Initiation à la systématique. Tome 1 : Les Algues vertes.* Edition N. Boubée & Cie, 512 p.
- **Bourelly P., 1985.** Les algues bleues ou Cyanophycées, 5<sup>ème</sup> partie. Edition Boubée Paris. pp: 297,303, 457-458,606.
- **Boutière H., 1974.** L'étang de Bages-Sigean : modèle de lagune méditerranéenne. *Vie & Milieu*. Vol. XXIV, fasc.1, sér. B : 23-58.
- **Bagnouls. ET Gausson H. (1957)** .Les climats biologiques et leurs classifications. ann. geogr. FR. N° 355: 193-220.
- **Callieri C., Caravati E., Morabito G. & Oggioni A., 2006.** The unicellular freshwater cyanobacterium *Synechococcus* and mixotrophic flagellates : Evidence for a functional association in an oligotrophic, subalpine lake. *Freshwater Biology* 51, 263–273.
- **Carr et al., 1997. in: Chevalier, P Pilote, R Leclerc, J.M. 2001, in:** Risques à la santé publique découlant de la présence de cyanobactéries et de micro cystine dans trois bassins versants du sud-ouest q Skulberg et al, 1993 : Taxonomy of toxic cyanophyceae

(cyanobacteria) in : Algal toxins in seafood and drinking water, chap 9 : 145-164. Ébécois. Unité de recherché en santé publique.151p.

- **Champiat D. &Larpent J.P., 1994.** Biologie des eaux: Méthodes &Techniques, 2éme tirage. pp : 24, 37, 39.
- **Chauvaud L., Jean F., Ragueneau O. & Thouzeau G., 2000.** Long-term variation of the Bay of Brest ecosystem benthic–Pelagic coupling revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.***200**: 35-48
- **Chiandani G., et Vighi M., 1974.** The N: P ratio and testes with *Selenastrum* to predict eutrophication in lakes. *Water Res.*, 8 pp: 1062-1069.
- **Christophe L-T., 2009.** Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de d'énombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en oeuvre de la DCE édition Inra.
- **Compère P., 1991.** Contribution à l'étude des algues du Sénégal. Algues du lac de Guiers et du Bas Sénégal. Bulletin du jardin botanique national de Belgique, 61 : 171-267.
- **Couté A. et Chauveau O., 1994.** Algae. *Encyclopaedia Biospeologica I*, éd., Société de Biopédologie, ISSN 0398-7973, 3ème trimestre pp: 371-380.
- **Couté A. et Bernard C., 2001.** Les cyanobactéries toxiques. In: Toxines d'algues dans l'alimentation, Frémy, J. M. & Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, 21-37.
- **Dajoz R., 1975.** Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée (3e éd.). Paris, Gauthier-Villars, 1-549.
- **De Reviere B., 2003.**biologiste et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences. Tome 2. pp : 78, 255.
- **Djaaboub., 2003.** Etude de la végétation aquatique du lac Mellah (El Kala. D'El-Taref). Thèse.Ing.Agr., I.N.A, El-Harrach, Alger, 60p.
- **Djebbari N., Boudjadi Z. et Bensouilah M., 2009.** L'infestation de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758 par le parasite *Anguillicola crassus* Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974 dans le complexe de zones humides d'El Kala (Nord-Est algérien), *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Vie, 2009, n°31 (1), 45-50.
- **Domaizon I., Viboud S. et Fontvieille D., 2003.** Taxon-specific and seasonal variations in flagellates grazing on heterotrophic bacteria in the oligotrophic Lake Annecy - importance of mixotrophy.FEMS Microbiology Ecology. 46:317-329.
- **Draredja, B. & Kara, M. H., (2004).** Caractères physico-chimiques de la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 37: 93.

- **Draredja, B., Melouah, K., Beldi, H & Benmarce, S 2012.** Diversité de la macrofaune benthique de la lagune mellah (parc national d'el-kala, algérie nord-est). *Bull. Soc. zool. Fr.*, 2012, 137(1-4) : 73-86.
- **Draredja B., 1992.** Conditions hydro-sédimentaires et structure de la macrofaune benthique en période printanière d'un écosystème lagunaire méditerranéen: le lac Mellah (Algérie). Thèse de Magister. ISMAL, Alger. 212 p.
- **Dufour P. et Berland B., 1999.** Nutrient control of phytoplanktonic biomass in atoll lagoons and Pacific Ocean waters: Studies with factorial enrichment bioassays. *Jou. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **234** pp: 147-166.
- **Ergashev A.E. & Tajiev S.H., 1986.** Seasonal variation of phytoplankton in series of waste treatment lagoons (Chmkent, Central Asia): Artificial inoculation and role of algae in sewage purification. *Int. Res. Der. Ges. Hydrobiol.* 17 (4) pp: 545-555.
- **Ettl H., Gerloff J. & Heynig H., 1978.** Xnathophyceae. (eds). Suw ßasser flora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- **FAO, 1987.** F.A.O"Amélioration des échanges hydrologiques entre le lac Mellah et la mer, recalibrage du grau existant dans le cadre du P.N.U.D et M.E.D.R.A.R"
- **Fogg G.E., Stewart W.D.P., Fay P. & Walsby A.E., 1973.** The blue-green algae. Academic Press-London and New York. pp: 9-297.
- **Fott B., 1969.** Studies In Phycology, E. schweizerbart'sche Verlags buchhandlung,
- **G.Barroin, 1999.** Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau – les études des agences de l'eau- 215 p
- **Gailhard I., 2003.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le « Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée (Aix–Marseille II).pp: 1,14.
- **Gaston P. et Maurice P., 1977.** Atlas de microscopie des eaux douces Édition de CHEVALIER, Paris ; 285 p.
- **Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire. *Technique et documentation.* Lavoisier. Paris, 220P.
- **Gauthier-Lièvre L., "Recherche sur la flore des eaux continentales de l'Afrique du Nord",** Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Mémoire Hors série, (1931), 298p.
- **Gayral P., 1975.** Les Algues : morphologie, cytologie, reproduction et écologie. Doin. édit. Paris. P: 52,133-138.

- **Goffart A., 2010.** Les Indices De Composition Phytoplanctonique En Eaux Côtières Synthèse Bibliographique, Université de Liège Belgique et STARESO Calvi Corse.
- **Goldman C.R., 1960.** Primary production and limiting factors in three lakes of the Alaskan peninsula. *Ecol. Monogr.*, 30 pp: 207-230.
- **Gorenflot R. & Guern M., 1989.** Organisation et Biologie des Thallophytes. Doin édit. Paris. pp: 196, 201.
- **Graziano L.M., Geider R.J., Li W.K.W. & Olaizola M., 1996.** Nitrogen limitation of North Atlantic phytoplankton: Analysis of physiological condition in nutrient enrichment experiments. *Aquat Microb Ecol.* **11** pp: 53-64.
- **Grimes S., 1994.** Contribution à la connaissance des populations de *Cardium glaucum* (Bryguière, 1789) ; *Loripes lacteus* (Linnaeus, 1758) ; *Brachydontes marioni* (Locard, 1889) du lac El Mellah, Algérie), écologie et dynamique. Thèse de magister, ISMAL., 244pp.
- **Groga, N., 2012.** Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). pp 35.36.37.40.41.
- **Grossman, A.R., D. Bhaya et Q. HE, 2001.** "Tracking the Light Environment by Cyanobacteria and the Dynamic Nature of Light Harvesting", *The Journal of Biological Chemistry*, vol. 276, p. 11449-11452. Lake", *Journal of Ecology*, vol. 70, p. 829-844.
- **Guelorget O., Ximenes M.C., Frisoni G.F & Perthuisot J.P., 1989.** Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne: le lac El Mellah (Algérie). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 255(2) : 87-99.
- **Hallegraeff G.M., 1998.** Transport of toxic Dinoflagellates via ship's ballast water. Bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **168** pp: 297-309.
- **Hamilton D.P. & Schladow S.G., 1997.** Prediction of water quality in lakes and reservoirs. Part I- Model description. *Ecological Modeling*, 96,(1-3),91-110.
- **Hansen G., Turquet J., Quod J.P., Ten Hage L., Lugomela C., Kyewalyanga M., Hurbungs M., Wawiye P., Ogongo B., Tunje S. & Rakotoarinjanahary H., 2001.** Potentially Harmful Microalgae of the Western Indian Ocean. *Manuals and Guides* 41. pp: 5, 79.
- **Henry, R., 1999.** Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In : Tundisi, J. G. & Straskraba, M., (eds). *Theoretical Reservoir Ecology and*

Its Applications. International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences & Backhuys Publishers , São Paulo, 125-151.

- **Humenik F.J. & Hanna G.P., 1971.** Algal-bacterial symbiosis for removal and conservation of wastewater nutrients, *J.W.P.C.F.*, 43 (4) pp: 580-594.
- **Hurlbert S.H., 1971.** The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters, *Ecology* **52** (1971), pp. 577–586.
- **Hutchinson G. E., 1957.** A treatise on Limnology. Vol. 1. Geography, Physico and Chemistry. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1115 p.
- **Ifremer, 2006-** Bilan des connaissances générales : la surveillance dans le Bassin d'Arcachon Phytoplancton et phycotoxines ; laboratoire Environnement Ressources côtier d'Arcachon.
- **Iltis A., 1980.** Les Algues 1. pp: 55.
- **Jean-Claude D. et Fredric R., 2008.** Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA-Thono, rapport SHL 283 2008, 96p.
- **John D.M., Whitton B.A. & Brook A.J., 2001.** The Freshwater Algal Flora of the British Isles, An identification Guide to freshwater and terrestrial algae, *Cambridge University Press*, 710p.
- **Kalisz I., 1973.** Role of algae in sewage purification .II. Nutrient removal, *Pol. Arch. Hydrobiol.* 20(3) pp: 413-434.
- **Kherifi.W, Kherici-Bousnoubra.H, 2012.** Evolution saisonnière de la qualité microbiologique des eaux du lac mellah (nord-est algérien). *Rev. Sci.* pp. 109-118.
- **Krammer K., et Lange-Bertalot H., 1986-2000.** Bacillariophyceae. In *susswasserflora von Mitteleuropa* Ettl H, Gerloff J., Heyning H. & Mollenhauer D., eds. spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 1-5.
- **Kugrens P. & Clay B.L., 2003.** Cryptomonas. *Dans: Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification.* Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press,
- **Lacaze, J-C., 1996.** L'eutrophisation des eaux marines et continentales. Ellipses, Paris, 191 p.
- **Larpent J.P. et Larpent-Gourgaud M., 1997.** Mémento technique de microbiologie. 3ème édit. Paris. P: 245, 246 Lavoisier. P: 131, 135, 138.
- **Lightfoot N.F., 2002.** Analyse microbiologiques des aliments et de l'eau .directives pour l'assurance qualité. France. 387p.

- **Mann K.H. & Lazier J.R.N., 1966.** Dynamics of marine's ecosystems. Blackwell Science Inc. pp: 394.
- **Mara D., 1980.** Sewage treatment in hot climates, ED. John Wiley and Sons.168p.
- **Merzoug S.E., 2009.** Etude de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher (Benazzouz, Wilaya de Skikda), mémoire de magister, université de Guelma .pp : 51,68.
- **Messerer Y., 1999.** Etude morphométrique et hydrologique du complexe lacustre d'El Kala (cas du lac Mellah et lac Oubeira). *Thèse de Magister.* Université d'Annaba. 123p.
- **Morel, P., 1967.** Faune marine des Pyrénées orientales: Mollusques aplacophores, Scaphopodes et Bivalves. *Ed. Masson. Publication du laboratoire Arago, Univ. Paris, 5 :* 156p. Océanis, Vol. 5, Fasc.5 : 823-832.
- **Moss B., 1980.**Ecology of Freshwaters. Blackwell Scientific Publications, Oxford. NP
- **Mur L.R., Skumberg O.M. &Utkilen H., 1999.** Cyanobacteria in the Environment. In: Chorus, I. et Bartram, J 1999. (Eds.). Toxic Cyanobacteria in water.A guide to their public Health consequences, monitoring and management. WHO Ed. E & FN SPON,pp: 41-111.
- **Nicholls K.H., 1995.** *Chrysophytes* bloom in the plankton and neuston of marine and freshwater systems. pp: 181-216. *In:* Sandgren C.D., Smol J.P. et KristiansenJ. (eds). Chrysophytes algae: Ecology, phylogeny and development. Cambridge University Press.
- **Ott D.W. & Oldham-Ott C.K., 2003.** Eustigmatophyte, RaphidophyteandTribophyte Algae. Dans: *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification.* Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Ounissi M., Haridi A. & Retima A., 2002.** Variabilité du zooplancton de la lagune Mellah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. *J.Rech. Océanoger.* 27 (1) : 1-13.
- **Padisák J., Barbosa F. A. R., Koschel R. & Krienitz L., 2003.**Deep layer cyanoprokaryota maxima are constitutional features of lakes: Examples from temperate and tropical regions. *Hydrobiologia*, 58 Special Issues, Advances in Limnology, 175–199.
- **Padisák J., Crossetti L. O. & Naselli-Flores L., 2009.** Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1-19.

- **Padisák J., Grigorszky I., Borics G. & Soroczki-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.
- **Paerl H.W., 1988.** Nuisance phytoplankton blooms in coastal estuarine and inland waters. *Limn and Ocean* 33pp: 823-84.
- **Paerl H.W., Fulton R.S., Moisander P.H. et Dyble J., 2001.** Harmful freshwater algal bloom with an emphasis on Cyanobacteria. *The Scientific World. Journal.* 1pp: 76-113.
- **Paloheimo J.E. & Zimmerman A.P., 1983.** Factors influencing phosphorus phytoplankton relationships. *Can. J.Fish.Aquat. Sci.* 40 pp: 1804-1812.
- **Parhad N.M. & Raon. U., 1974.** Effect of pH on survival of *Escherichia coli*. *Jourl. Water Poll. Control. Fed.*, 46 pp: 980-986. Paris.
- **Paulmier G., 1972.** Phytoplancton et microphyte benthoe en rivière d'Auray. Leur raLedane le cycle biologique des huitres *Ostrea edulis* L. Thèse Doctorat Université de Provence. Mention Sciences.
- **Pearson H.W., Mara D.D., Mills S.W. & Smallman D.L., 1987.** Factors determining algal population in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance. *Wat. Sci. Tech.* 19 (12) pp: 131-140.
- **Pestalozzi G.H., Komarek T.J. & Fott B., 1983.** Das Phytoplankton des Subwassers, Systematik und Biologie, E. Schweizerbart'sche Verlags burchhandlung, Stuttgart.
- **Pierre J.F., 2001.** Bulletin de l'academie lorraine des sciences : catalogue des algues (du Nord –Est de la France et des régions attenantes 1959-2001). pp : 45-46.
- **Pouliot Y. & Delanoue J., 1985.** Mise au point d'une installation pilote d'épuration tertiaire des eaux usées par production de microalgues. *Rev. Franç. des sci. de l'eau*, 4 pp: 207-222.
- **Pourriot R. & Meybeck M., 1995.** Limnologie générale, Masson, Paris. 956 p.
- **Redfield A.C., 1934.** On the proportion of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton, James Johnston Memorial Volume pp: 176–192.
- **Rafiqul I.M., Jalal K.C.A. & Alam M.Z., 2005.** Environmental Factors for Optimization of *Spirulina* Biomass in Laboratory Culture. *Biotechnology* 4(1) pp: 1922.
- **Ramade F., 1984.** Eléments d'écologie: écologie fondamentale. *Auckland, McGraw-Hill*, 1-394.

- **Reynolds C. S., 2006.** Ecology of Phytoplankton, Cambridge. University Press, Cambridge.
- **Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S., 2002.** Toward a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24, 417-428.
- **Reynolds C.S., 1984.** The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. pp: 384.
- **Reynolds C.S., 1998.** What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status. *Hydrobiologia*. **11** (26) pp: 369-370
- **Robarts R.D. & Southall G.C., 1977.** Nutrient limitation of phytoplankton growth in seven tropical man-made lakes, with special reference to Lake McIlwaine, Rhodesia. *Arch. Hydrobiol.*, 79 pp: 1-35.
- **Rodier J., 1984.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition. Dunod. Paris.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L., 1996.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édit. Dunod. P :4,6.
- **Rodier J., Legube B., Marlet N., et Coll., 2009.** L'analyse de l'eau .9ème édition Dunod. Paris. 1579p.
- **Roger P.A., 1996.** Biology and Management of the Flood water Ecosystem in Rice fields. IRRI. Editor William H. Smith. pp: 132
- **Refes W., 1994.** *Contribution à la connaissance de la population de Ruditapes decussata (Linnaeus, 1758) du lac Mellah (El-Kala, Algérie): écologie, reproduction, dynamique des populations et exploitation.* Thèse Magister en océanographie biologique, ISMAL (Alger): 197p.
- **Rejsek F., 2002.** L'analyse des eaux technique et aspects réglementaires, Scérén CRDP Aquitaine, Bordeaux. 358p.
- **Rolland A., (2009).** Dynamique et diversité du phytoplankton dans le réservoir marne (bassin versant de la Seine). *Thèse de doctorat Université de Savoie* pp.261.
- **Sanders R.W., Porter K.G. & Caron D.A., 1990.** Relationship between phototrophy and phagotrophy in the mixotrophic chrysophyte *Poterioo chromonas malhamensis*. *Microbial Ecology*. 19pp: 97-109.
- **Schindler D.W., 1974.** Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management. *Science*, 184 pp: 897–899.

- **Schindler D.W., Armstrong F.A.J., Holmström S.K. & Brunskill G.J., 1971.** Eutrophication of Lake 227, Experimental Lakes Area, northwestern Ontario, by addition of phosphate and nitrate. *J. Fish. Res. Board Can.*, 28 pp: 1763-1782.
- **Semroud R., 1983.** Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Mellah, El-Kala, Algérie. Th. 3<sup>ème</sup> cycle, USTHB, *Alger*, 137p.
- **Sevrin-Reyssac J., Blier R., Dumes A. & Ouelette Y., 1996.** Epuration du lisier de porcs par des cultures intensives de micro-algues. *Bull. Ecol.* 35 pp : 41-68.
- **Shannon C. E. & Weaver W., 1963.** The mathematical theory of communication. Urbana University Press, Illinois, 117 pp.
- **Skulberg et al, 1993:** Taxonomy of toxic cyanophyceae (cyanobacteria) in: *Algal toxins in Seafood and drinking water* chap 9: 145-164.
- **Skulberg O.M., 1996.** Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland waters health and environment. In: *Chemical data as a basis of geomedical investigations*. ed. Lag. J., the Norwegian Academy of Sciences and Letters, Oslo. pp: 131-148.
- **Smayda, T.J., 1997.** Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to Phytoplankton blooms in the sea, *Limnol. Oceanogr.* 42 (5), 1137–1153.
- **Sonia Baillot.** Utilisation des groupes morpho-fonctionnels du phytoplancton pour le diagnostic écologique des plans d'eau du bassin loire bretagne. *Sciences de l'environnement.* 2013. hal-01572432.
- **Sonzogni W.C., Chapra S.C., Armstrong D.E. & Logan T.J., 1982.** Bioavailability of phosphorus inputs to lakes. *J. Environ. Qual.*, 11pp: 555–563.
- **Sournia A, 1968.** Diatomées planctoniques du canal de Mozambique et de l'il. Maurice, p152.
- **Souza M. B. G., Barros C. F. A., Barbosa F. A. R., Hajnal E. & Padisák J., 2008.** The role of atelomixis in phytoplankton assemblages' replacement in Dom Helvécio Lake, South-East Brazil. *Hydrobiologia*, 607, 211–224.
- **Starmach K., 1974.** Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. *Flora Slodkowodna Polski.* Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- **Stumm W. & Morgan J.J., 1996.** Aquatic Chemistry: Chemical equilibrium and rates in natural Waters. *Wiley. Inter. Science. Publication. Third edition.* pp: 1024. Stuttgart.
- **Talita SILVA, Bruno J .LEMAIRE et Brigitte VINCON-LETTE., 2011.** Suivi du phytoplancton dans les lacs urbains à l'aide d'une bouée instrumentée: le cas du lac

d'Enghien- les-Bains; Université paris- Est, LEESU, Ecole des ponts paris Tech, 6 et 8 avenue Blaise pascal, Cité Des cartes, 77455Marne la Vallée Cedex 2,2011.pp:2.

- **Thomas C-S., 2003.** "Protist phylogeny and the high-level classification of Protozoa", *Europ. J. Protistol.* 39, 338-348.
- **Thomas, J. P., Bougazelli, N., & Etender, M., 1973.** Projet de Parc National Marin, terrestre d'El Kala, Annaba, Algérie, 64p.
- **Tisdale, E. S., 1931,** Epidemic of Intestinal Disorders in Charleston, W. Va., Occurring Simultaneously with Unprecedented Water Supply Conditions, *American Journal of Public Health* 21: 198–200.
- **Tolomio C., Moschin E., Moro I. & Andreoli C., 1999.** Phytoplankton de la lagune de Venise I. Bassin Nord et Sud (avril 1988 –1989). *Vie Milieu*, 49 (1) : 33-44.
- **Touati L., 2008.** Distribution spatio-temporelle des genres Daphnia et Simocephalus des mares temporaire de la Numidie. Thèse de Magistère. Université de Guelma.70p.
- **Travers M., 1964.** Diversité spatio-temporelle des genres Daphnia et Simocephalus des mares tempore de la Numidie. Thèse de Magistère. Université de Guelma .70p.
- **Trégouboff G. & Rose M., 1957.** Manuel de planctonologie méditerranéenne. Tome1. CNRS, pp: 128.
- **Utermöhl H., 1958.** Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Method. *Int. Ver. theor. angew. Limnol.*, 9 : 1-39.
- **Villeneuve V., Legare S., Painchaud J.& Vincent W., 2006.** Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Rev. Sci. Eau, géol*, pp: 259-274.
- **Vincent W.F., 1989.** "Cyanobacterial growth and dominance in two eutrophic lakes: -Review and synthesis", *Archiv für Hydrobiologie*, vol. 32, pp: 239-254.
- **Welch E. B., 1980.** Ecological effects of waste water. Cambridge, Cambridge University Press, 337 p.
- **Wetzel, R.G., 2001.** *Limnology.Lake and River Ecosystems*.3rd Edition. Académie Press, London.
- **Zingone A. &Enevoldsen H.O., 2000.** The diversity of harmful algal blooms challenge for science and management.*Ocean & Coastal Management.* 43 pp:725-748.
- **Zohary, T., Pais-Madeira, A.M., Robarts, R. and Hambright, K.D., 1996.** Interannual phytoplankton dynamics of a hypertrophic african lake. *Arch Hydrobiol*, 136: 105 – 126.

- **Zourez O. et Ferhani, 2003.** Etude physico-chimique et biologique d'un écosystème aquatique : Barrage de Boukourdane (wilaya de tipaza).Mém.d'ing d'état en aquaculture, ISMAL ?104P.

### *Référence des sites*

- [1] <http://www.plancton-du-monde.org/decouvrir-le-plancton/>
- [2] [https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01383247/file/These-2016-EDSM Sciences de la terre et de l'univers-CADIER\\_Mathilde.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01383247/file/These-2016-EDSM_Sciences_de_la_terre_et_de_l'univers-CADIER_Mathilde.pdf)
- [3] <http://www.cotebleue.org/repartition.html>
- [4][https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/8110/1/BENFIALA\\_MEFATI H.pdf](https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/8110/1/BENFIALA_MEFATI_H.pdf)
- [5] <https://www.tsa-algerie.com/visas-voyages/lieu/11-bonnes-raisons-de-visiter-el-kala>
- [6] <http://www.algerie-monde.com/parcs-naturels/el-kala>
- [7] <http://www.algeriemonde.com/parcs-naturels/el-kala>
- [8][http://www.monoceanetmoi.com/web/index.php/fr/?option=com\\_content&view=article&id=68&Itemid=107#!rhizosolenia](http://www.monoceanetmoi.com/web/index.php/fr/?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=107#!rhizosolenia)
- [9] <http://www.observatoire-plancton.fr/Toxicite-et-menaces.html>
- [10] <http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/dino3.html>

## Résumé

La lagune Mellah dénommée localement lac Mellah ou “Garaat El-Melha“ est localisée à l’extrême Est de l’Algérie près de la ville d’EL-Kala à proximité de la frontière Algéro-tunisienne (8°20' E et 36°54' N), fait partie de la zone intégrale du parc national d’El Kala et sa zone humide. La richesse biologique de la lagune repose entièrement sur la nature de ses eaux qui sont un mélange d’eau de mer et d’eau douce et d’eau usée dont une part importante a ruisselé sur le bassin versant. Notre travail consiste à caractériser la biodiversité phytoplanctonique de la lagune Mellah, pendant deux mois de la période printanière (mars et mai) 2019. Les échantillons ont été prélevés à partir de deux stations. Les résultats des analyses physicochimiques montrent que cette lagune se caractérise par une température saisonnière varie de 18.6 en mars au 27.5 en mai, un pH en général alcalin qui se situe entre 8.28 et 9.95, l’eau est minéralisée et bien oxygénée au mois de mars (3.93mg/l) et une salinité moyennement élevée 1.47ppt en raison de la contacte de la lagune avec la mer méditerranéenne par un chenal de longueur d’environ 900 m et une largeur variable (5 à 10 m). Les résultats de l’analyse phytoplanctonique nous ont permis d’identifier 30 genres et 63 espèces appartenant aux 5 classes, sont dominées par les Chrysophycées suivies par les Cyanobactéries, les Pyrrophytes, les Chlorophycées, et les Euglénophycées. Des espèces toxiques telles que *Nitzschia sp*, *Microcystis sp*, *Oscillatoria sp*, *Gymnodinium sp*, et *Anabaena sp*, sont identifiées. Les variables phytoplanctoniques (richesse spécifique et abondance) étudiées ont montré une variation au nombre de taxons entre le mois de mars et mai. Les faibles densités sont notées en mars liées au mouvement de la colonne d’eau (le chenal avec le méditerranéen est ouvert). L’indice de diversité de Shannon et de l’équitabilité calculé à partir des effectifs montre que la diversité de la communauté phytoplanctonique est diminuée de mars à mai. En étudiant les groupes fonctionnels du phytoplancton de la lagune Mellah on peut dire que cette lagune est un écosystème aquatique mésotrophe à eutrophe, peu profond et enrichi à couche d’eau chaude et mélange, de faible latitude, avec des organismes fixateurs d’azote.

**Mots clés :** Analyses physicochimiques, analyse phytoplanctonique, Biodiversité, groupes fonctionnels, lagune Mellah, EL-Kala.

## Abstract

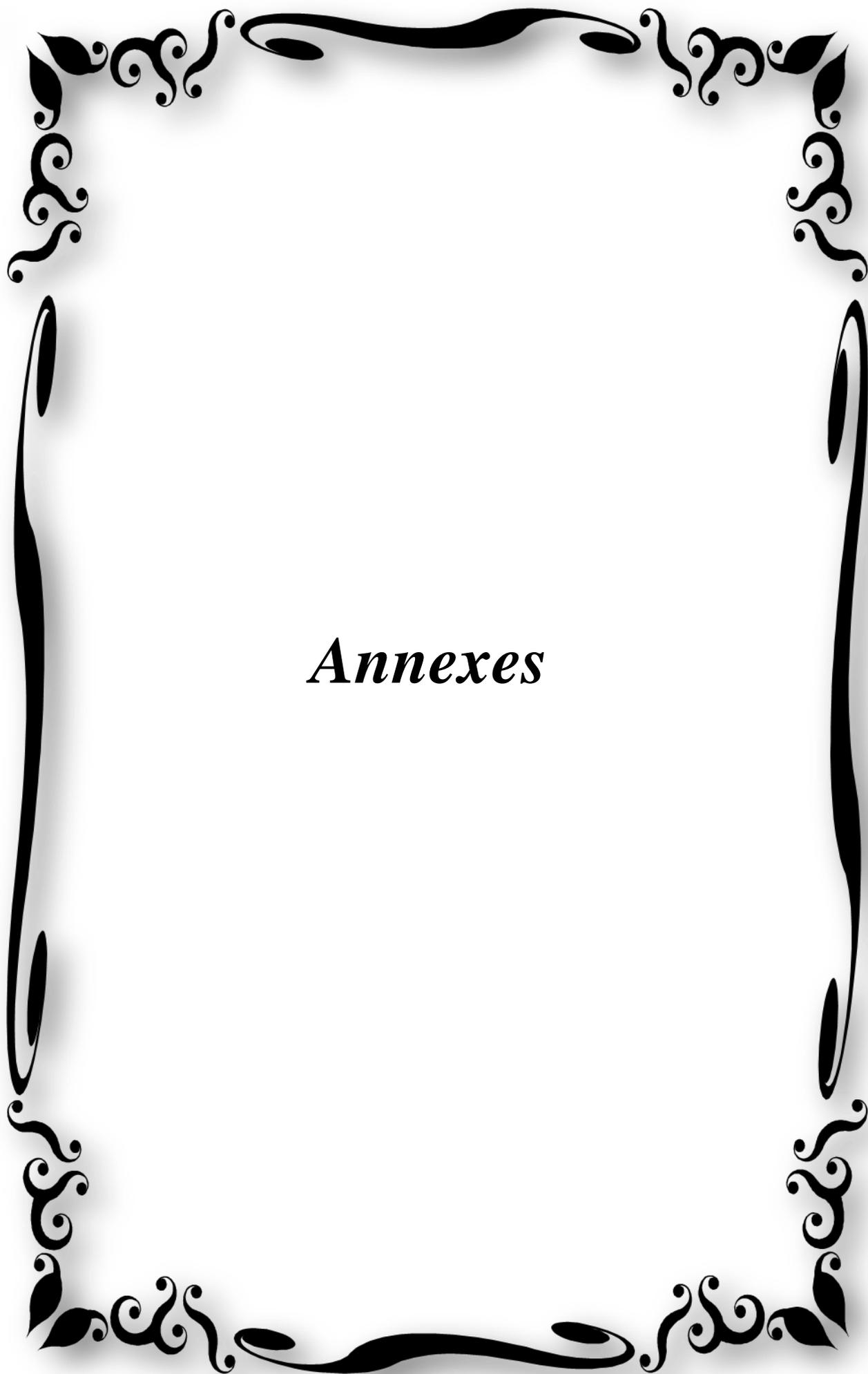
The Mellah lagoon locally referred to as Mellah Lake or "Garaat El-Melha" is located in the extreme east of Algeria near El-Kala city and near the Algerian-Tunisian border (8°20' E and 36°54' N), is part of the integral area of El Kala National Park and her wetland. The biological richness of the lagoon rests entirely on the nature of its waters which are a mixture of sea water and fresh water and waste water of which a large part has streamed on the watershed. Our work consists in characterizing the phytoplankton biodiversity of this lagoon, during two months of the spring (March and May) 2019. The samples were taken from two stations. The results of physicochemical analyzes show that this lagoon is characterized by a seasonal temperature varies from 18.6 in March to 27.5 in May, a pH generally alkaline which is between 8.28 and 9.95, the water is mineralized and well oxygen in March (3.93mg / l) and a moderately high salinity of 1.47 ppt due to the contact of the lagoon with the Mediterranean Sea by a channel about 900 m long and variable width (5 to 10 m). The results of the phytoplankton analysis allowed us to identify 30 genera and 63 species belonging to the 5 classes, are dominated by Chrysophyceae followed by Cyanobacteria, Pyrrophyceae, Chlorophyceae, and Euglenophyceae. Toxic species such as *Nitzschia sp.*, *Microcystis sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Gymnodinium sp.* And *Anabaena sp.* is identified. The phytoplankton variables (species richness and abundance) studied showed a variation in the number of taxa between March and May. The low densities are noted in March related to the movement of the water column (the channel with the Mediterranean is open), the Shannon Diversity Index and the equitability calculated from the numbers shows that the diversity of the community phytoplankton is decreased from March to May. By studying the functional groups of the phytoplankton of the Mellah Lagoon we can say that this lagoon is mesotrophic to eutrophic aquatic ecosystem, with shallow water, mixed and warm-water-enriched aquatic ecosystem, and low latitude where living nitrogen fixing organisms.

**Keywords:** Physicochemical analyzes, phytoplankton analysis, Biodiversity, functional groups, Mellah lagoon, EL-Kala.

## الملخص

تقع بحيرة الملاح التي تسمى محلياً باسم بحيرة الملاح أو "فرعة المالحه" في أقصى شرق الجزائر بالقرب من مدينة القالة بالقرب من الحدود الجزائرية التونسية (8° 20' شرقاً و36° 54' شمالاً)، تعتبر جزء من الحظيرة الوطنية للقالة وأراضيها الرطبة. يعتمد الثراء البيولوجي للبحيرة على طبيعة مياهها التي هي مزيج من مياه البحر والمياه العذبة ومياه الصرف الصحي التي يتدفق جزء كبير منها على الحوض التجميحي للبحيرة. يتمثل عملنا في دراسة التنوع البيولوجي للعوالق النباتية في هذه البحيرة خلال شهرين من الربيع (مارس وماي) 2019 حيث أخذت العينات من محطتين. تظهر نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية أن مياه هذه البحيرة تتميز بدرجة حرارة موسمية تتراوح من 18.6 في مارس إلى 27.5 في ماي، وهي قلووية الأس الهيدروجيني عموماً أين تراوحت درجة الحموضة بين 8.28 و 9.95 ، كما تمتاز هذه المياه بوفرة العناصر المعدنية والأكسجين جيداً في مارس ( 3.93 ملغ / لتر)، وملوحة مرتفعة بشكل معتدل تصل إلى 1.47 جزء من الألف بسبب اتصال البحيرة بالبحر الأبيض المتوسط من خلال قناة بطول حوالي 900 م وعرض متغير من 5 إلى 10م. سمحت لنا نتائج تحليل العوالق النباتية بتحديد 39 جنساً و 71 نوعاً ينتمون إلى 5 فئات أو مجاميع ، يهيمن عليهاChrysophyceae،Cyanobacteria،Pyrrhophyceae ،Chlorophyceae، و Euglenophyceae. تم تحديد الأنواع السامة مثل *Nitzschia sp* ، *Microcystis sp* ، *Oscillatoria sp* ، *Gymnodinium sp* ، *Anabaena sp*. أظهرت متغيرات التنوع للعوالق النباتية (الثراء النوعي والكثافة) التي تمت دراستها تبايناً في عدد الوحدات التصنيفية بين مارس وماي. أين لوحظ انخفاض الكثافة في شهر مارس بسبب حركة عمود المياه (القناة مع البحر المتوسط مفتوحة) ، وبين مؤشر شانون للتنوع انطلاقاً من كثافة الأنواع ومؤشر التساوي أن تنوع عشيرة العوالق النباتية ينخفض من مارس إلى ماي. ومن خلال دراسة المجموعات الوظيفية للعوالق النباتية لبحيرة الملاح يمكن القول بأن هذه البحيرة تعتبر نظام إيكولوجي مائي متوسط إلى عالي درجة التغذية، قليل العمق، مياهه غنية بها طبقة دافنة ومختلطة وتعيش به كائنات تثبت النيتروجين.

**الكلمات المفتاحية:** التحاليل الفيزيائية الكيميائية، تحليل العوالق النباتية، التنوع البيولوجي، المجموعات الوظيفية، بحيرة الملاح، القالة.



*Annexes*

## Annexes

**Tableau 01 :** Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température  
(Agrigon, 2000; Hakmi, 2002).

Température	Qualité	Classe
<20°C	Normale	1A
20°C-22°C	Bonne	1B
22°C-25°C	Moyenne	2
25°C-30°C	Médiocre	3
>30°C	Mauvaise	4

**Tableau 02 :** Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Merzoug, 2009).

Conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Qualité des eaux
CE<400	Bonne
400<CE<750	Bonne
750<CE<1500	Passable
1500<CE<3000	Médiocre

**Tableau 03 :** Présentation des groupes fonctionnels (Reynolds et al., 2002).

Groupe fonctionnelle	Habitat	Espèces représentatives	Resistance	Sensibilité
<b>S1</b>	Couches d'eaux troubles et mélangées	<i>Planktothrixagardii</i> , <i>Limnothrixredekei</i> , <i>Pseudanabaena</i>	Conditions de très faible luminosité	Ecoulement
<b>S2</b>	Eaux peu profondes, couches d'eaux troubles et mélangées	<i>Spirulina</i> , <i>Arthrospira</i>	Conditions de faible luminosité	Ecoulement
<b>Sn</b>	Couches d'eaux chaudes et mélangées	<i>Cylindro spermopsis</i> , <i>Anabaena minutissima</i>	Conditions pauvres en azote	Ecoulement
<b>Z</b>	Eaux profondes, claires, couches mélangées	<i>Synechococcus</i> , prokaryote  Picoplankton	Faible concentration de nutriments	Manque de lumière, broutage

Tableau 03 : (suite)

<b>X3</b>	Eaux peu profondes, claires, couches mélangées	<i>Koliella, Chrysococcus, Eukaryotepicoplankton</i>	Faible alcalinité	Mélange, broutage
<b>X2</b>	Eaux peu profondes, claires, couches mélangées dans des lacs méso-eutrophes	<i>Plagioselmis, Chrysochromulina</i>	Stratification	Mélange, organismes filtreurs
<b>X1</b>	Eaux peu profondes, couches d'eaux mélangées et conditions enrichies	<i>Chlorella, Ankyra, Monoraphidium</i>	Stratification	Carence en nutriments, organismes filtreurs
<b>Y</b>	Lacs généralement petits et enrichis	<i>Cryptomonas, Peridinium Lomnickii</i>	Manque de lumière	Phagotrophes
<b>E</b>	Lacs généralement petits, oligotrophes, d'alcalinité faible, lacs ou étangs hétérotrophes	<i>Dinobryon, Mallomonas, Synura</i>	Carence en nutriments (recours à la mixotrophie)	Manque en CO2 Manque en CO2
<b>F</b>	Epilimnion claire	Chlorophytes coloniales: <i>Botryococcus, Pseudosphaerocystis, Coenochloris, Oocysti Lacustris</i>	Carence en nutriments	Manque en CO2 (?), Forte turbidité

Tableau 03 : (suite)

<b>G</b>	Colonnes d'eaux petites et riches en nutriments	<i>Eudorina, Volvox</i>	Forte luminosité	Carence en nutriments
<b>J</b>	Lacs, étangs ou rivières peu profonds et enrichis	<i>Pediastrum, Coelastrum, Scenedesmus, Golenkinia</i>		Faibles conditions de luminosité
<b>K</b>	Colonnes d'eaux petites et avec des nutriments	<i>Aphanothece, Aphanocapsa</i>		Mélange profond
<b>H1</b>	Nostocales fixatrices d'azote	<i>Anabaena flos-aquae, Aphanizomenon</i>	Faible azote et carbone	Mélange, faible lumière, et faible niveau de phosphore
<b>H2</b>	Nostocales fixatrices d'azote de lacs mésotrophes plus vastes	<i>Anabaena lemmermanni, Gloeotrichiaechinulata</i>	Faible azote	Mélange, faible lumière
<b>U</b>	Epilimnion d'été	<i>Uroglena</i>	Faibles nutriments	Manque de CO <sub>2</sub>
<b>Lo</b>	Epilimnion d'été sur lacs mésotrophes	<i>Peridinium willei, Woronichinia</i>	Nutriments dispersés dans la colonne d'eau	Mélange prolongé ou profond

Tableau 03 : (suite)

<b>LM</b>	Epilimnion d'été sur lacs eutrophe	<i>Ceratium, Microcystis</i>	Très faibles niveaux de C, stratification	Mélange, faible lumière
<b>M</b>	Couches d'eaux mélangées de petits lacs eutrophes, faibles latitudes	<i>Microcystis, Sphaerocavum</i>	Fort ensoleillement	Ecoulement, faible luminosité globale
<b>R</b>	Métalimnion de lacs mésotrophes stratifiés	<i>Planktothrix rubescens, P. Mougeotii</i>	Faible lumière et forte ségrégation	Instabilité
<b>V</b>	Métalimnion de lacs eutrophes stratifiés	<i>Chromatium, Chlorobium</i>	Très faible lumière et forte ségrégation	Instabilité
<b>W1</b>	Petits étangs naturels	Euglenoids, <i>Synura, Gonium</i>	DBO élevée	Broutage
<b>W2</b>	Lacs mésotrophes peu profonds	Bottom-dwelling <i>Trachelomonas</i> (e.g. <i>Trachelomonas volvocina</i> )	?	?
<b>Q</b>	Petits lacs humiques	<i>Gonyostomum</i>	Eaux troubles	?