

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار تليجي بالأغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT  
كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**En vue de l'obtention du diplôme Master LMD**

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Ecologie et environnement

**Option :** Ecologie végétale ; steppes et oasis

**Présenté par :**

*Mlle : Halimi Feryel*

*Mlle : Takhi Zoulikha*

**THEME**

---

Le phytoplancton dans les cours d'eau de Laghouat ; inventaire  
et dynamique ; cas d'oued Bekhdech-Sidi Makhlouf

---

**Dirigé par :**

Dr. Chaibi Rachid Maître de conférences Univ-Laghouat

**Membres de jury:**

Mr : Boumedien abdelmadjid

Mlle : Abdessalam Amira

*Année Universitaire 2016/2017*

## Le phytoplancton dans les cours d'eau de Laghouat ; inventaire et dynamique : cas d'Oued Bakhdach-Sidi Makhoulouf

### Résumé

Cette étude contribue à l'évaluation de la qualité des cours d'eau de la région de Sidi Makhoulouf à travers de variables abiotiques comme les propriétés physico-chimiques et biotiques c'est le cas de la pression anthropique.

Une série de sept (07) sorties sur terrain a été réalisée entre le 08 décembre 2016 et le 10 avril 2017. L'observation microscopique des caractères morphoanatomiques nous ont permis de recensés 25 genres de phytoplancton repartis en 5 classes où les *Euglenophycées* dominent avec plus de 35% de la masse algale. 12% des genres recensés présente des espèces potentiellement toxiques : *Oscillatoria sp* (Hépatotoxique), *Lyngbya sp* (Dermatotoxique) et *Anabaena sp* (Neurotoxique).

Les activités anthropiques n'ont pas affectés la qualité physico chimique d'oued Bakhdach, ce qui le rend stable et favorable pour le développement, la reproduction et la propagation des espèces planctoniques.

**Mots clés :** Oued, Phytoplancton, genres toxique, physico-chimique, anthropiques, Sidi Makhoulouf.

العوالق المائية في المجاري المائية بالأغواط: عملية جرد و ديناميكية— منطقة واد بخدش — سيدي مخلوف

### ملخص

تساهم هذه الدراسة في تقييم نوعية مياه مسطح مائي في منطقة سيدي مخلوف ، و ذلك عبر التطرق لعوامل حيوية مثل الخصائص الفيزيوكيميائية وأخرى بيئية مثل النشاطات البشرية.

من خلال الدراسة التي امتدت خمسة أشهر، من 08 ديسمبر 2016 الى 10 أبريل 2017 قمنا بالتعرف على 25 نوع، متوزع على 5 أقسام . كما لاحظنا سيادة قسم الطحالب *Euglenophycées* بنسبة أكثر من 35%. كما نشير أيضا الى وجود نسبة 12% أنواع سامة.

النشاطات الإنسانية لم تؤثر بشكل كبير على نوعية المياه في واد بخدش ، مما يجعله يعتبر نظاما بيئيا متزنا لنمو و تكاثر و توزع العوالق المائية.

الكلمات الدالة : الأودية الطبيعية ، الخصائص الفيزيوكيميائية ، العوالق المائية، بشرية، أنواع سامة، سيدي مخلوف.

## The phytoplankton in Laghouat's watercourses ; inventory and dynamic : the case of Oued Bakhdach-Sidi Makhoulouf

### Abstract

This study is a contribution for an evaluation of watercourse's quality at Laghouat through two variables such as physicochemical properties and ones such as anthropogenic pressure.

A series of seven outings, from December 08 to the 10<sup>th</sup> of April, allowed us to inventory 25 kinds of phytoplankton redistributed into 5 classes, Euglenophyta dominates with more than 35 % of the algale mass. 12 % of the listed genera present potentially toxic species: *Oscillatoria sp* ( Hépatotoxic), *Lyngbya sp* ( Dermatotoxic) and *Anabaena sp* (Neurotoxic).

The anthropic activities did not affect the physicochemical quality of oued Bakhdach which makes it stable and favorable for the development, the reproduction and the distribution of phytoplankton's genera.

**Key words:** watercourse, physicochemical properties, anthropogenic, phytoplankton, Sidi Makhoulouf, toxic genera.

## Remerciements

D'abord, je remercie Allah, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui m'a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

La recherche n'est pas une activité solitaire et ce qui peut être présenté comme un Travail personnel doit toujours à de nombreuses collaborations.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes gratitudes et présenter mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation. Je tiens des remerciements spécifiques :

Tout d'abord à mes parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé  
A Dr. CHABI RACHID (Maître de Conférences, chef département de biologie), mon promoteur, d'avoir accepté de diriger ce travail. Pour sa patience, ses encouragements, sa disponibilité et surtout ces conseils prodigués et sa prévenance dans le suivi et la réalisation de ce mémoire. Merci monsieur.

Je tiens à remercier les membres du jury, qui ont accepté de m'accompagner lors de la dernière phase de ce travail.

A mes enseignants de tous les cycles pour leurs encouragements, que Dieu les garde et les offre ses miséricordes.

A Mr. MECHRAOUI. A (Responsable du laboratoire des analyses physico-chimiques de l'eau- ADE-Laghouat) et tous ces collaborateurs pour leurs permission et facilitations d'effectuer les analyses de l'eau.

A Mr Hamada ingénieur au niveau du laboratoire des analyses physico-chimiques de l'eau- ADE-Laghouat pour son aide précieuse.

A mon père et mes frères Abderrahim et Safouan, pour leur aide sur le terrain et accompagnement lors de toutes les sorties.

Aux ingénieurs des laboratoires de département de biologie.

**Listes de tableaux**

Tableau N°1	Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2016).....	18
Tableau N°2	Températures moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2016).....	19
Tableau N°3	Vitesse du vent (m/s) moyenne mensuelle de la région de Laghouat (2006-2015).....	19
Tableau N°4	Humidité moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2016).....	19
Tableau N°5	Les fréquences d'échantillonnage du phytoplancton.....	25
Tableau N°6	Protocoles de mesures des paramètres physico-chimiques.....	27
Tableau N°7	Analyses descriptives des paramètres physicochimiques de l'eau.....	34
Tableau N°8	Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée .....	38
Tableau N°9	Inventaire taxonomique de répartition par station du phytoplancton recensé .....	42
Tableau N°10	Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, au niveau du S1 et S2.....	43
Tableau N°11	Les principaux genres phytoplanctoniques reconnus potentiellement toxiques.....	44
Tableau N°12	La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par station.....	45
Tableau N°13	Indice de similitude de SORENSEN des 5 mois suivis au niveau de S1.....	49
Tableau N°14	Indice de similitude de SORENSEN des 5 mois suivis au niveau de S2.....	49
Tableau N°15	Les paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique.....	50

:

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Diversité du champ d'application des microalgues .....	14
<b>Figure 2</b>	situation géographique de la région de Laghouat.....	17
<b>Figure 3</b>	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de la région de Laghouat (2006-2016).....	20
<b>Figure 4</b>	Climagramme pluviométrique d'Emberger.....	22
<b>Figure 5</b>	Situation géographique de la commune de Sidi Makhlouf.....	23
<b>Figure 6</b>	Situation géographique des stations d'étude.....	25
<b>Figure 7</b>	Schéma représentatif d'un filet à plancton.....	28
<b>Figure 8</b>	Schéma synthétique de la technique de comptage du phytoplancton.....	29
<b>Figure 9</b>	Variations mensuelles de la température (°C) de l'eau des deux stations de la région prospectée.....	34
<b>Figure 10</b>	Variations mensuelles du pH de l'eau des deux stations dans l'Oued Bakhdach pendant la période d'étude d'étude.....	35
<b>Figure 11</b>	Variations mensuelle de la Salinité de l'eau.....	36
<b>Figure 12</b>	Variations mensuelles de la conductivité de l'eau des deux stations du site d'étude.....	37
<b>Figure 13</b>	Variations mensuelles du taux de la MES des deux stations du site d'étude.....	38
<b>Figure 14</b>	Variations mensuelles de la valeur des nitrates de l'eau des deux stations du site d'étude	39
<b>Figure 15</b>	Variations mensuelles de la valeur des orthophosphates de l'eau des deux stations du site d'étude.....	41
<b>Figure 16</b>	Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées au niveau du S1.....	45
<b>Figure 17</b>	Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées au niveau du S2.....	45
<b>Figure 18</b>	La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par station.....	47
<b>Figure 19</b>	Fréquences d'occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station1 ...	48
<b>Figure 20</b>	Fréquences d'occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station2	48
<b>Figure 21</b>	Fréquences d'occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station1	49
<b>Figure 22</b>	Fréquences d'occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station2	49
<b>Figure 23</b>	Les fréquences en pourcentage des différentes espèces de la S1.....	50

<b>Figure 24</b>	Les fréquences en pourcentage des différentes espèces de la S2.....	51
<b>Figure 25</b>	Variation de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.....	53
<b>Figure 26</b>	Variations mensuelles de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.....	54

## Liste d'abréviations

**DCE** : Directive Cadre de l'Eau

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de Carbone

**DSP** : Diarrhéiques

**PSP** : Paralysantes

**ASP** : Amnésiantes

**D.P.A.T** : Direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la wilaya de Laghouat

**ONM** : Office nationale de la météorologie

**Gr** : Grandissement

**log<sub>2</sub>** : Logarithme à base 2

**T°C** : Température par Degré *Celsius*

**pH** : Potentiel Hydrogène

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Nitrates

**PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>**: Orthophosphate

**T°C** : Température

**Cond** : Conductivité

**S ‰** : Salinité par mille

**Cel/l** : Cellule par litre

**S1** : Station 1

**S2** : Station 2

**MS** : Matière en suspension

**ANIREF** : Agence nationale d'intermédiation et de régulation foncière

## Sommaire

Résumé

Dédicace

Remerciements

Liste des tableaux

Liste de figures

Introduction..... 01

### **Chapitre I : Etude Bibliographique sur le phytoplancton**

1. Définition ..... 02

1.1. Généralités sur le phytoplancton..... 02

1.2. Le zooplancton ..... 03

1.3. Classification taxonomique du phytoplancton..... 03

1.3.1. Les cyanophycées..... 03

1.3.2. Les chlorophycées ..... 05

1.3.3. Les Dinophycées ..... 06

1.3.4. Les Euglenophycées ..... 06

1.3.5. Les Diatomophycées (Bacillariophycées) ..... 07

1.3.6. Les autres classes..... 07

1.4. Facteurs contrôlant le développement du phytoplancton..... 08

1.4.1. Les facteurs abiotiques..... 08

a. La température ..... 08

b. Salinité ..... 08

c. Le vent..... 08

d. La lumière ..... 08

e. Précipitations..... 09

f. Apports sahariens ..... 09

1.4.2. Effet des facteurs biotiques..... 09

1.5. Action des algues sur le milieu ..... 10

1.5.1. Oxygénation ..... 10

1.5.2. Consommation du dioxyde de carbone ..... 10

1.5.3. Action antibactérienne ..... 10

1.5.4. L'eutrophisation .....	10
1.6. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique.....	12
1.7. Application des microalgues .....	13
1.7.1. Applications alimentaires .....	13
1.7.2. Applications cosmétiques .....	13
1.7.3. Agrofournitures et traitement de l'eau .....	13
1.8. Risques des microalgues .....	14
1.8.1. Risques sur les organismes marins .....	14
1.8.2. Risques le fonctionnement de l'écosystème .....	14
1.8.3. Risques dur la santé humaine .....	15

## **Chapitre II : Matériel et Méthodes**

1: Présentation de la région d'étude .....	17
1.1. Situation géographique de la région d'étude .....	17
1.2. Caractéristiques climatiques .....	18
a. La pluviométrie .....	18
b. La température .....	18
c. Vents.....	19
d. Humidité.....	19
1.3. Synthèse climatologique.....	20
1.3.1. Le diagramme ombrothermique .....	20
1.3.2. Climagramme d'EMBERGER.....	20
2. Présentation de la zone d'étude : (Sidi Makhlouf).....	22
2.1. Localisation .....	22
2.2. Description du site d'étude (Oued Bakhdach) .....	23
2.2.1. Situation géographique .....	23
3. Méthodes d'études .....	25
3.1. Choix des sites et fréquences d'échantillonnage.....	25
3.2. Méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	26
3.2.1. Méthode de prélèvement de l'eau.....	26
3.2.2. Analyses physico-chimiques.....	26
3.3. Méthodes et techniques d'étude du phytoplancton.....	28
3.3.1. Prélèvement du phytoplancton .....	28

3.3.2. Etude qualitative et quantitative .....	28
3.4. Exploitation des résultats par des indices écologiques.....	30
3.4.1. Application d'indice de structure et d'organisation.....	30
a. Fréquence en nombre (abondance relative).....	30
b. Constance ou indice d'occurrence.....	30
3.4.2. Application d'indices de diversité des peuplements.....	31
a. Richesse générique totale.....	31
b. Richesse générique moyenne.....	31
c. Indice de diversité de SHANNON.....	31
d. Indice d'équirépartition des populations (équitabilité).....	32
3.5. Analyses statistiques.....	32
3.5.1. Analyses statistiques univariées.....	32
3.5.2. Analyses statistiques bivariées.....	32

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

<b>1. Paramètres physicochimiques de l'eau et leurs variations mensuelles .....</b>	<b>34</b>
1.1. Température .....	34
1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH) .....	35
1.3. La salinité.....	36
1.4. La conductivité électrique.....	37
1.5. Matières en suspension (MES).....	39
1.6. Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	40
1.7. Les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	41
<b>2. Etude qualitative et quantitative du peuplement du phytoplancton.....</b>	<b>42</b>
2.1. Composition taxonomique de la flore micro-algale recensée .....	42
2.2. Densité moyenne globale .....	46
2.3. Les fréquences d'occurrence.....	47
2.4. Evolution de l'abondance relative par espèce de phytoplancton recensé.....	47
2.5. Indice de similitude de SORENSEN.....	49
2.6. Variation des paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique.....	49
Conclusion.....	50

Références bibliographiques

Annexes

## Introduction

Les écosystèmes d'eau douce couvrent moins de 1 % de la surface terrestre, ils abritent près de 12 % des animaux et 2,4 % de toutes les espèces connues sur Terre (Revenga et *al.*, 2000).

La limnologie peut être définie comme la science des eaux continentales et des organismes qui y vivent. De nos jours, la limnologie s'intéresse à toutes les eaux intérieures, qu'elles soient douces ou saumâtres, stagnantes (lacs, étangs,...etc), courantes (ruisseaux, rivières...) ou souterraines (nappes, rivières souterraines...) et aux organismes de la flore et de la faune qui y sont liés ; elle examine l'ensemble des interactions entre les caractéristiques des milieux et ces organismes (DUSSART, 1966).

Parmi les groupes vivants les plus abordés dans les études limnologiques, nous citons le phytoplancton. Ce dernier appelé le plancton végétal, regroupe les algues unicellulaires photosynthétiques dont le rôle est essentiel au sein des cycles biogéochimiques et dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques puisqu'il est, entre autres, à la base des chaînes trophiques. On le trouve aussi bien sous forme de colonies, qu'en cellule libre, ou en symbiose et il peut être marin ou continental (SOURNIA, 1986).

L'érosion de la biodiversité observée depuis ces dernières décennies est principalement attribuée à l'influence des activités humaines (Ramade, 1999). La question des effets de l'anthropisation est désormais centrale de l'Ecologie (Loreau et *al.*, 2006) et au coeur du concept d'anthropocène défini par Revkin (1992) puis repris par Crutzen et Stoemer (2000) pour désigner une nouvelle ère géologique succédant à l'Holocène : celle des deux derniers siècles écoulés au cours desquels l'homme a acquis la capacité de modifier son environnement à grande échelle via l'agriculture ou l'urbanisation par exemple (Zalasiewicz et *al.*, 2008).

En Algérie, malgré la présence d'une multitude de plans d'eau et des Oued caractérisées par des richesses, indéniables peu d'étude ont été consacré à ce jour à la limnologie de nos eaux.

Le présent travail vise à la réalisation d'une étude dans un plan d'eau naturel de la région de Sidi Makhlouf et s'insère dans l'objectif principal d'évaluer la diversité limnologique et biologique de ce milieu aquatique. Cette étude pour objectif particulier de comprendre la structure de la communauté phytoplanctonique dans le site de Bakhdach, et la mise en valeur de leur richesse naturelle et de leur potentialité tant bioécologique qu'économique.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE PHYTOPLANCTON

### 1. Définition

Le mot plancton vient du grec *plankton* qui signifie « errer ». Il désigne l'ensemble des végétaux et animaux aquatiques, microscopiques ou de petite taille qui dérivent au gré des courants, se déplaçant en mouvements limités dans la masse d'eau, car ils sont incapables de contrer le courant (Mollo et Noury, 2013). Les organismes planctoniques peuvent être regroupés selon leur taille, leur nature, les caractéristiques biologiques de leur cycle de développement, leur répartition verticale sur la colonne d'eau ou le type d'environnement qu'ils peuplent (Rossi, 2008).

Le plancton se divise en deux grands règnes :

- Le plancton végétal, ou phytoplancton, constitué d'algues presque toutes unicellulaires, appelées de ce fait microalgues ou microphytes.
- Le plancton animal ou zooplancton.

#### 1.1 Généralités sur le phytoplancton

Le phytoplancton 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, ces microorganismes sont qualifiés de thallophytes, c'est-à-dire dépourvus de tige, racine et de vaisseaux conducteurs. Ils sont localisés dans les couches superficielles éclairées des étendues d'eau, soit généralement de a la surface à 100 m de profondeur (pour les mers).en effet leurs métabolisme est dominé par le mode de vie autotrophe basé sur la photosynthèse (besoin de lumière) qui est la source principale voire unique de leur énergie et permettent la constitution de molécules pour les cellules (Dauta et Feuillade, 1995).

Toutefois, certains groupes du phytoplancton comme les dinoflagellés (*prorocentrum* sp., *Gymnodinium* sp...) sont hétérotrophes et utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme (Reviere, 2003).

La flore algale est estimée entre 474 et 504 genres regroupant 3444-4375 espèces selon les auteurs. Mais ces chiffres augmentent au gré des découvertes (Laurion et *al.*, 2007).

Les espèces de phytoplancton se répartissent à l'échelle mondiale (espèces cosmopolites) ou se distribuent selon des grandes divisions climatiques classiques. On distingue ainsi des espèces d'eaux froides, d'eaux tempérées et d'eaux chaudes intertropicales (Lauriers et *al.*, 2007). (*in* Guedadbia, 2012).

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

Le phytoplancton regroupe deux catégories bien marquées d'organismes en se fondant sur un caractère cytologique, à savoir la présence ou l'absence de membrane nucléaire, les individus qui en sont munis sont classés sous le nom d'eucaryotes ou algues vraies, ceux qui en sont dépourvus sous le nom de procaryotes ou cyanobactéries (Coutés et Chauveau, 1994).

## 1.2 Le zooplancton

Le zooplancton est composé d'animaux unicellulaires ou pluricellulaires, petits ou microscopiques, issus de nombreux groupes zoologiques.

Le plancton animal comprend :

- le zooplancton permanent (holoplancton) qui naît, grandit et meurt plancton
- le zooplancton temporaire (méroplancton) constitué d'œufs et de larves qui vivent de quelques heures à plusieurs semaines dans le plancton et le quittent en se métamorphosant en juvéniles puis en adultes (Mollo et Noury, 2013).

## 1.3 Classification taxonomique du phytoplancton

Selon un article dans l'ERABLE (2009) (une revue belge) dans le système à 3 règnes, les algues sont classées dans le règne végétal parmi les thallophytes, avec les champignons et les lichens.

Dans le système à 5 règnes de Whittaker (1969), les algues sont réparties entre les Plantes, les Protistes et les Monères (bactéries).

D'après Angelli (1980), Pierre (2001) et De Riviers (2003), les algues les mieux représentés en eaux douces appartiennent aux classes suivantes.

### 1.3.1 Les cyanophycées

Dénotées également algues bleus, possèdent des cellules de type procaryotes dépourvues de noyaux individualisés, à l'inverse des autres groupes qui sont des (eucaryotes, ce qui les apparente aux bactéries). Aussi divers auteurs, Pierre (2001), De-Riviers (2003), Ramade (2005), préfèrent les citer « Cyanobactéries ». Ces organismes peuvent être reconnus sur la base de critères morphologiques ou cellulaires. L'appareil est coccoïde, colonial ou filamenteux. Ils ne possèdent pas de flagelles, ils sont souvent recouverts d'une enveloppe mucilagineuse. Les pigments présents dans la cellule sont

nombreux : chlorophylle verte a et c, phycocyanine bleu-vert, phycoérythrine rouge et pigments d'accompagnement,  $\beta$  carotène et xanthophylles jaunes ou ochracés. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle a. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffusés dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène. Le mélange de ces pigments dans le cytoplasme donne en général la teinte bleu-vert, caractéristique des Cyanophycées. Mais on rencontre aussi des teintes vert noirâtres, brunâtres, rouges, bleues ou même violettes. Les réserves cellulaires sont constituées par un corps très voisin du glycogène dispersé en particules très petites. Elles prennent une teinte acajou au contact d'une solution iodo-iodurée. Les Cyanophycées ne possèdent pas de formes flagellées. Ils peuvent renfermer des vacuoles gazeuses leur permettant le contrôle de la flottabilité ce qui leur permet de se déplacer vers le haut ou vers le bas de la colonne d'eau en fonction des contraintes liées à l'éclairement.

**-Habitat:** Les Cyanophycées colonisent des habitats variés. Ce sont des espèces dulçaquicoles et marines, planctoniques aussi bien que benthiques, aériennes dans l'atmosphère, présentes dans les poussières domestiques, dans les sols humides, les murs, enfin présentes dans tous les milieux tolérant des températures jusqu'à 70°C. On les rencontre dans les eaux les plus pures de montagne aux eaux les plus saturées en sel. Certaines espèces du genre *Nostoc* réalisent des symbioses avec des racines de Cycas, tissus d'Hépatiques, des lichens et même des champignons du genre *Geosiphon* (Frontier et Pichod-Viale, 1998).

**-Importance écologique:** Les Cyanophycées représentent souvent les derniers êtres capables de supporter l'agressivité du milieu. D'autre part certaines espèces sont capables de métaboliser l'azote atmosphérique grâce à l'existence de cellules spécialisées « les heterocystes ». Les *Anabaenae* vivants en rizière peuvent fixer jusqu'à 40 kg d'azote /Ha/an. Malheureusement les Cyanophycées peuvent poser des problèmes si leurs effectifs croissent de façon démesurée. Les proliférations formées alors, visibles, sont des fleurs d'eau « blooms ». Ces dernières sont souvent de couleur verte et à l'aspect visqueux au toucher (Blais, 2002). Ces proliférations sont connues pour être liées à des causes d'enrichissement des eaux en nutriments, principalement en azote et à plus fort degré en phosphore. Parmi les nuisances relevées par cet auteur on cite la production de toxines. En trop grande quantité ces dernières peuvent porter atteinte à la santé des usagers des milieux aquatiques. Trois catégories de toxines sont souvent rapportées par la littérature, Vaquer et al (1997), Pierre (2001), et Binderheim E., Göggel W (2007).

- Les endotoxines du type lipopolysaccharidiques (LPS).
- Les hepatotoxines (toxiques pour le foie).
- Les neurotoxines (agissant sur l'influx nerveux).

Les espèces les plus fréquemment incriminées sont *Anabaenae flos aqua*, *Aphanizomenon flos aqua* et *Microcystis aeruginosae*.

### 1.3.2 Les chlorophycées

Dénommées algues vertes, les Chlorophycées constituent un groupe gigantesque, 550 à 570 genres, et 16000 à 17000 espèces selon De Riviers (2003). Elles constituent un ensemble homogène avec une grande diversité morphologique et cytologique. Concernant leur détermination, la flore de Bourrely (1966) fait référence en ce domaine. L'appareil végétatif des algues vertes présente une grande diversité de niveau d'organisation. Individus unicellulaires, flagellés ou non, jusqu'à des thalles morphologiquement complexes (Charales). Les Chlorophycées possèdent des plastes d'un vert franc contenant de la chlorophylle a et b associée à de l' $\alpha$  et b carotène et des  $\beta$  xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial colorable en bleu par la solution iodo-iodurée. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille.

**-Habitat :** Majoritairement microscopiques et dulçaquicoles, on les rencontre dans presque tous les milieux. Elles peuvent être marines, d'eaux saumâtres, terrestres ou subaériennes. On les rencontre dans les salines, neiges, déserts, les cendres volcaniques, sur les sols ou l'écorce des arbres. Elles peuvent être épi-endophytes, épi-endozoïque et parfois pathogènes (Iltis, 1982) et (De-Riviers, 2003).

Compte de leur importance écologique, les espèces d'eau douce les plus rencontrées appartiennent aux ordres suivant :

- *Zynematales*: avec les genres : *Cosmarium*, *Closterium*, *Staurastrum*, *Xanthidium*. Ils caractérisent des eaux riches en acides humiques, acides organiques, fer et en chrome.
- *Volvocales* : avec des genres très communs tels que *Chlamydomonas*, *Gonium* et *Pandorina*. Selon les espèces, les représentants de cet ordre ont une référence marquée pour les eaux riches en azote, particulièrement l'ammoniac et les nitrates, et en substances organiques (effluents d'abattoirs, laiteries, brasseries...), donc douées d'une grande souplesse quant à leur métabolisme (Angelli, 1980).
- *Chlorococcales*: cet ordre inclut des genres très ubiquistes, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Scenedesmus*, *Oocystis*, *Ankistrodesmus*, *Selenastrum*, généralement bien représentés dans les milieux riches en hydrates de carbone, (aval d'effluents d'égouts, papeteries), capables

pour certaines de se développer en anaérobiose en fermentant les sucres tel que le glucose. Les algues qui présentent les plus larges tolérances aux conditions ambiantes et les taux de croissance les plus élevés se recrutent parmi les espèces du genre *Chlorella*. Leurs respirations se trouvent stimulées en présence de cyanures, alors que ces derniers inhibent la respiration de la majorité des autres formes de vie.

### 1.3.2 Les Dinophycées

Appelés également les Péridiniens, ils sont majoritairement unicellulaires avec quelques espèces filamenteuses. Les espèces de cette classe possèdent deux flagelles à fouets dirigés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, l'un longitudinal, l'autre transversal. Elles ont un très gros noyau à structure filamenteuse. Les Dinophycées contiennent de la chlorophylle a et c (Ngansoumana, 2006).

- **Habitat** : Majoritairement planctoniques, ils sont à 90 % marines, mais il existe de nombreuses espèces dulçaquicoles. Très abondantes dans les eaux chaudes, elles peuvent être responsables de fleurs d'eau sans conséquences fâcheuses.

- **Importance écologique** : Certaines Dinophycées marines sont réputées être toxiques. Le genre *Dinophysis* contient des toxines diarrhéiques alors que le genre *Alexandrium* est réputé pour ses toxines paralysantes, voire mortelles à fortes bioconcentration par les moules de culture. Les Dinophycées constituent le deuxième plus important producteur primaire après les Diatomophycées en eaux côtières (Margalef, 1984) et (De-Riviers, 2003).

### 1.3.4. Les Euglenophycées

Algues, également majoritairement unicellulaires, flagellées rarement coloniales, elles contiennent de la chlorophylle a et b associée à du  $\beta$  carotène et des xanthophylles. Les espèces sont dulçaquicoles surtout en milieux riches en matières organiques. Marines ou d'eaux saumâtres, elles se rencontrent en sols humides, dans les vases ou même dans l'intestin des batraciens. Le genre *Euglena*, est connu pour être utilisé en expérimentation physiologique et fait l'objet d'intenses recherches dans les mécanismes de la photosynthèse (De-Riviers, 2003). Pour la plupart des espèces d'Euglenales, la seule forme d'azote minérale utilisable est l'ammoniac (Angelli, 1980). D'après cet auteur, ces espèces sont également connues pour être très résistantes vis à vis du chrome, des sulfures, des eaux à pH très acides ou très basiques. Elles sont capables de se développer en anaérobiose et constituent d'intéressants indicateurs biologiques de la pollution des milieux aquatiques à l'image des genres, *Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas*.

### 1.3.5. Les Diatomophycées (Bacillariophycées)

Contiennent également de la chlorophylle a et c, ce sont toujours des formes unicellulaires, parfois coloniales, dont la cellule est enfermée dans une enveloppe siliceuse à deux valves « le frustule ». Ce dernier très finement orné de motifs spécifiques. La reconnaissance systématique repose fondamentalement sur cette ornementation (Pierre, 2001). Les cellules comportent un noyau plus ou moins central et un ou plusieurs plastes. Elles sont dépourvues de flagelles, mais celles possédant un raphé (fente sur le frustule) peuvent se mouvoir sur un substrat en excréant des substances mucilagineuses. Les diatomées sont presque toujours autotrophes. Par ailleurs cette classe est principalement composée des groupes suivants :

- Les Centrophycideae, regroupant des diatomées dont les valves sont circulaires polygonales ou elliptiques dans ce cas l'ornementation obéit à un axe de symétrie.
- Les Pennatophycideae, regroupant des diatomées avec des valves allongées et généralement avec une symétrie bilatérale (Pierre, 2001).
- **Habitat** : Extrêmement répandues dans la nature, aptes à coloniser tous les milieux aquatiques, benthiques ou planctoniques, dulçaquicoles, d'eaux saumâtres ou marines, stagnantes ou courantes des régions arides ou tempérées. Cependant les espèces peuvent présenter des préférences marquées pour certains facteurs de l'environnement. Le genre *Melosira*, est souvent cité pour sa capacité à proliférer dans des effluents de raffinerie et tolérant des températures élevées, l'espèce *Nitzschia palea* pour sa résistance au cuivre, aux phénols et au chrome et de *Navicula accommoda* dans les rejets d'égouts, effluents d'abattoirs (Angelli, 1980).
- Intérêt écologique** : Les diatomées sont utilisées comme indicateurs stratigraphiques en exploration pétrolière, comme bioindicateurs de la qualité des eaux douces (ID. indice diatomique), pour la reconstitution des paléoenvironnements, pour le verdissement des huîtres, comme fourrage pour l'aquaculture, dans le diagnostic de la noyade en médecine légale. Par ailleurs il existe très peu d'espèces dangereuses à l'exception du genre *Pseudonitzschia* qui contient un acide domoïque à l'origine de mortalité. Les eaux potables sont filtrées pour éviter que des frustules (enveloppes siliceuses) ne s'accumulent dans les reins (Angelli, 1980).

### 1.3.5. Les autres classes

Dans le phytoplancton d'eau douce différents groupes d'algues brunes et jaunes peuvent être rencontrés ce sont surtout :

-Chrysophycées, Xanthophycées, Cryptophycées, la plupart de ces classes renferment des espèces assez communes dans des eaux de bonne qualité, ces algues sont les premières touchées par les polluants.

#### **1.4. Facteurs contrôlant le développement du phytoplancton:**

##### **1.4.1. Les facteurs abiotiques :**

D'après Findley et Klingh (1994), les populations phytoplanctoniques varient avec les saisons et dépendent de facteurs à la fois physique et chimiques.

**a) La température :** La température est au nombre des facteurs les plus importants qui permettent à une espèce donnée d'apparaître, d'atteindre un développement maximal, enfin de disparaître à des époques de l'année bien déterminées (Gayral, 1975). En fonction du degré de perturbation de la température, les variations peuvent être notées au niveau du déplacement des espèces ou enregistrées dans les évolutions physiologiques des organismes (ex. problèmes de croissance, de reproduction, ...) (Feki, 2013).

**b) Salinité :** La salinité est un facteur qui conditionne l'aire de répartition des espèces vivantes dans un milieu donné en fonction de leur préférence. Si la salinité varie, la survie des organismes sera fonction de leur tolérance. La salinité influence également la densité des eaux entraînant un gradient vertical à l'origine d'une stratification des eaux (principalement aux environs du front de salinité) (Feki, 2013).

**c) Le vent :** Il joue un rôle important dans le cycle de l'eau. Il augmente l'évaporation consommatrice d'énergie et a donc un pouvoir de refroidissement considérable (Ricklifs et Miller, 2005). Dans les systèmes aquatiques le vent détermine la profondeur maximale à laquelle se fait sentir l'action du vent. L'eau brassée devient homogène sur toute la hauteur d'une couche de mélange. Par ailleurs ce processus y assure une bonne oxygénation dans les lacs profonds. D'autre part dans les lacs moins profonds on observe une remise en suspension du sédiment avec comme conséquences, une augmentation de la turbidité, réduction de la transparence et de la pénétration de la lumière. La limitation de la croissance des organismes photosynthétiques entraîne progressivement une anoxie de la masse d'eau au fond du lac (Pourcher, 1990).

**d) La lumière :** D'après Angelier (2000), Les hautes intensités lumineuses ont une action inhibitrice sur le mécanisme photosynthétique ainsi que sur l'activité fixatrice des microorganismes photosynthétiques fixateurs d'azote. La répartition spatiale des cyanobactéries est localisée préférentiellement en zones ombragées dans les milieux terrestres ou à quelques millimètres au-dessous de la surface du sol. En milieu aquatique, Horne et Fogg (1970) ont observé une dominance des Chlorophycées

filamenteuses en surface et des cyanobactéries en profondeur. De ce fait ce groupe phytoplanctonique évite les surfaces trop exposées (Houari, 2009).

- e) **Précipitations** : Les pluies jouent un rôle capital dans la dynamique planctonique puisqu'elles apportent une quantité non négligeable de nutriments et participent à l'initiation des efflorescences phytoplanctoniques automnales et printanières (Zingone et al., 1995 ; Jamet et al., 2005).
- f) **Nature géologique du bassin versant**: Les bassins versants constituent un système dynamique d'érosion, de transport et de sédimentation. C'est un système ouvert qui est le siège d'entrée et de sortie et transfert des flux de matières et d'énergie (Leveque, 2001). Il est donc évident pour cet auteur que les facteurs géolithologiques, la nature des terrains traversés, la couverture végétale, les activités anthropiques ainsi que la profondeur, la morphométrie de la cuvette et la stratification thermique exercent une influence importante sur la composition de la communauté phytoplanctonique en imposant la qualité physico-chimique de l'eau.

#### 1.4.2 Effet des facteurs biotiques :

Appelés aussi facteurs dépendants de la densité, correspondent à l'ensemble des interactions entre individus (prédation, compétition, mutualisme, etc.) Leveque (2001). Etendant sa définition Ramade (2005) réunit sous ce vocable la totalité des paramètres physico- chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants entre eux et sur les milieux. Cet auteur distingue :

- a/ Les facteurs physico- chimiques d'origine biotique conséquences des activités métaboliques et par les sécrétions dans le milieu de substances favorables ou toxiques pour les autres espèces.
- b/ Les facteurs trophiques de nature biologique, à l'exemple des sels nutritifs libérés dans les eaux (ou le sol) sous l'action de la décomposition.
- c/ Les facteurs intraspecifics, qui regroupent les interactions se déroulant à l'intérieur d'une même espèce (entre individus).

#### 1.5 Action des algues sur le milieu

Les algues du phytoplancton ont une influence directe sur les conditions physico-chimiques d'un écosystème aquatique (Barroin, 1999).

##### 1.5.1. Oxygénation

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température donnée et à une pression donnée, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute. C'est la teneur en O<sub>2</sub> pour laquelle l'eau est saturée à 100% (Dabadie, 1992). La

présence de l'oxygène dans l'eau est le fait de la diffusion de l'air dans l'eau à partir de la surface et surtout de l'activité photosynthétique. D'après Valyron (1989), dans un milieu contenant beaucoup d'algues et peu de consommateurs (bactéries, zooplancton, poissons), la teneur en O<sub>2</sub> varie au cours de la journée, minimale le matin, elle peut atteindre ou dépasser les 100% de saturation le soir.

### 1.5.2. Consommation du dioxyde de carbone

La consommation de CO<sub>2</sub> par les algues au cours de la photosynthèse va principalement se traduire par une augmentation du pH, Cette augmentation de pH du fait de la mobilisation du CO<sub>2</sub> par l'activité photosynthétique peut induire à l'ionisation de certains ions. Ainsi la forme toxique de l'ammoniaque NH<sub>3</sub> devient de plus en plus élevée quand le pH s'élève. L'incidence peut être fatale pour divers organismes aquatiques tels que le zooplancton (rotifères et daphnies) (Dabadie, 1992).

### 1.5.3. Action antibactérienne

Divers facteurs peuvent l'expliquer :

- L'augmentation du pH est défavorable pour les bactéries pathogènes compétition pour les nutriments.
- libération de substances inhibitrices antibactériennes, on cite la chlorelline produite par l'algue *Chlorella vulgaris*, la scenedesmine par *Scenedesmus quadricauda* , la pandorinine par *Pandorina morum* , et la phormidine par *Phormidium spp* (Houari, 2009).

### 1.5.4. L'eutrophisation

Le terme « eutrophe » a d'abord été proposé pour caractériser la fertilité des sols puis fut introduit en limnologie en 1913 et 1919 par Thienemann et Neumann pour différencier des lacs productifs et non productifs de différents milieux (Anneville et *al.*, 2001). Par la suite on a pu comprendre qu'au cours de son évolution, un lac tend naturellement à passer d'un état oligotrophe à un état eutrophe d'où l'origine selon les mêmes auteurs du terme « eutrophisation ». Le vieillissement accéléré des lacs se révéla un véritable problème dans la mesure où des forts développements algaux qui s'en suivent posent des entraves à l'utilisation des ressources en eaux. L'importance des besoins en eaux pour de multiples usages et l'augmentation des nuisances liées à l'eutrophisation accélérée ont poussé à intensifier les recherches sur les causes de ces efflorescences algales :

- rôle des facteurs ascendants (hydrodynamiques et nutriments).
- rôle des facteurs descendants (structure du réseau trophique et ses conséquences à travers la prédation et le broutage par le zooplancton) (Pinnel-Alloul et *al.*, 1998).

L'apport d'éléments nutritifs peut entraîner des risques accrus pour la santé humaine suite à la contamination des eaux dues à la prolifération d'algues. Elément clef du métabolisme cellulaire, le phosphore est naturellement rare en milieu aquatique, à la différence de l'azote et du carbone qui disposent d'une source quasi inépuisable (l'atmosphère et les processus biologiques de régulation que sont le couple fixation/dénitrification et photosynthèse/respiration) (Barroin, 1999). Dans la cellule algale le rapport N/P est approximativement compris entre 7 et 10. Toute eau définie par  $N/P > 10$  fait du phosphore le facteur limitant, alors que si  $N/P < 7$  c'est l'azote qui limite. Les effets majeurs de l'enrichissement des eaux en nutriments définissent le phénomène de l'eutrophisation (Jacquet, 2005). Parmi les effets majeurs relevés par cet auteur on a :

- Accroissement de la biomasse phytoplanctonique.
- Changement de la composition en espèces vers des taxons pouvant être plus toxiques.
- Diminution de la richesse spécifique.
- Accroissement des fleurs d'eau visibles.
- Réduction de transparence de l'eau.
- L'élévation du pH et la diminution de l'oxygène dissous dans la colonne d'eau suite à une forte demande en oxygène par les bactéries qui décomposent la biomasse morte produite en abondance.

D'autre part, selon Bouchrai (1992), l'eutrophisation complique la filière et l'exploitation des installations de potabilisation des eaux par :

- Elévation de la consommation d'agents oxydants et de flocculants ainsi que la formation d'haloformes nuisibles.
- Développement de goût et d'odeurs dans l'eau distribuée suite à la présence d'algues indésirables notamment les Cyanophycées.
- Risques d'apparition de toxines.
- Surconsommation de chlore.
- Colmatage prématuré des filtres ayant pour effet d'augmenter la fréquence de lavage de ces derniers.
- Accroissement des frais d'investissement et de fonctionnement des stations de potabilisation.

### **1.6 Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique**

Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés ou des poissons, les indicateurs biologiques (bio-indicateurs) sont basés sur le même principe.

La variété des taxons présents dans un prélèvement, leur assemblage, la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux. Ainsi, Blandin (1986) a donné au terme bio-indicateur la définition suivante : « *Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui – par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques – permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées* ». A cet effet, Reynolds et al., (2002) ont publié une description détaillée de 31 assemblages phytoplanctoniques qui peuvent être vus comme des groupes fonctionnels, c'est à dire des groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques internes au lac (profondeur de la zone de mélange, lumière, température, P, N, Si, CO<sub>2</sub> et pression de prédation). Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux (Padisak et al., 2006 ; Salsamo et al., 2006 ; Anneville et al., 2008), est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (Solheim et al., 2005). Ainsi, ce compartiment biologique a été proposé puis imposé par la DCE (directive cadre de l'eau, directive européenne du 23 décembre 2000) comme élément de qualité biologique pour les lacs et est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau. Trois paramètres relatifs au phytoplancton peuvent être utilisés pour l'évaluation de l'état écologique des lacs et la définition des statuts « très bon », « bon » et « moyen ». Il s'agit de i) l'abondance et la composition phytoplanctonique, ii) la biomasse phytoplanctonique (via les estimations de la concentration de chlorophylle *a* et du biovolume moyen) et iii) l'intensité et la fréquence des blooms planctoniques (*in* Grogan, 2012).

## **1.7 Application des microalgues**

### **1.7.1. Applications alimentaires**

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

Les principales espèces consommées sont : *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica* et *Porphyra* sp. Les Japonais consomment actuellement 1,4 kg de microalgue (poids sec) par an et par habitant, les microalgues dans l'alimentation sont bénéfiques outre leurs

propriétés épaississantes, gélifiantes ou stabilisantes, bien connues et largement utilisées par des industries agro-alimentaires, elles ont aussi des propriétés nutritionnelles intéressantes en alimentation humaine.

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

### **1.7.2 Applications cosmétiques**

Les microalgues utilisés par la filière cosmétique sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les applications alimentaires. Cependant, les travaux de recherche mettent en évidence de nouvelles applications pour de nouvelles espèces.

La filière cosmétique utilise les microalgues sous forme d'extraits de plantes, broyées (pour les gommages par exemple) ou en tant qu'agents de coloration. Etant donné que le marketing joue un rôle important dans l'industrie des cosmétiques, les microalgues sont souvent utilisées afin de véhiculer une image de produits naturels apportant les bienfaits de la mer (IDEALG, 2014).

### **1.7.3 Agrofournitures et traitement de l'eau**

En agriculture, les microalgues sont principalement utilisées comme engrais ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail. Concernant les engrais, les algues sont transformées en poudre, extraits liquides ou microbilles et sont épandues sur les terres.

En effet, les microalgues favorisent la croissance des plantes, la résistance aux maladies et produisent des substances protectrices contre les agressions par les gastéropodes. Pour l'alimentation animale, les fuciales sont utilisées comme additifs alimentaires pour leurs qualités digestives. Elles sont transformées en farines mélangées à la nourriture (Barsanti et Gualtieri, 2014).

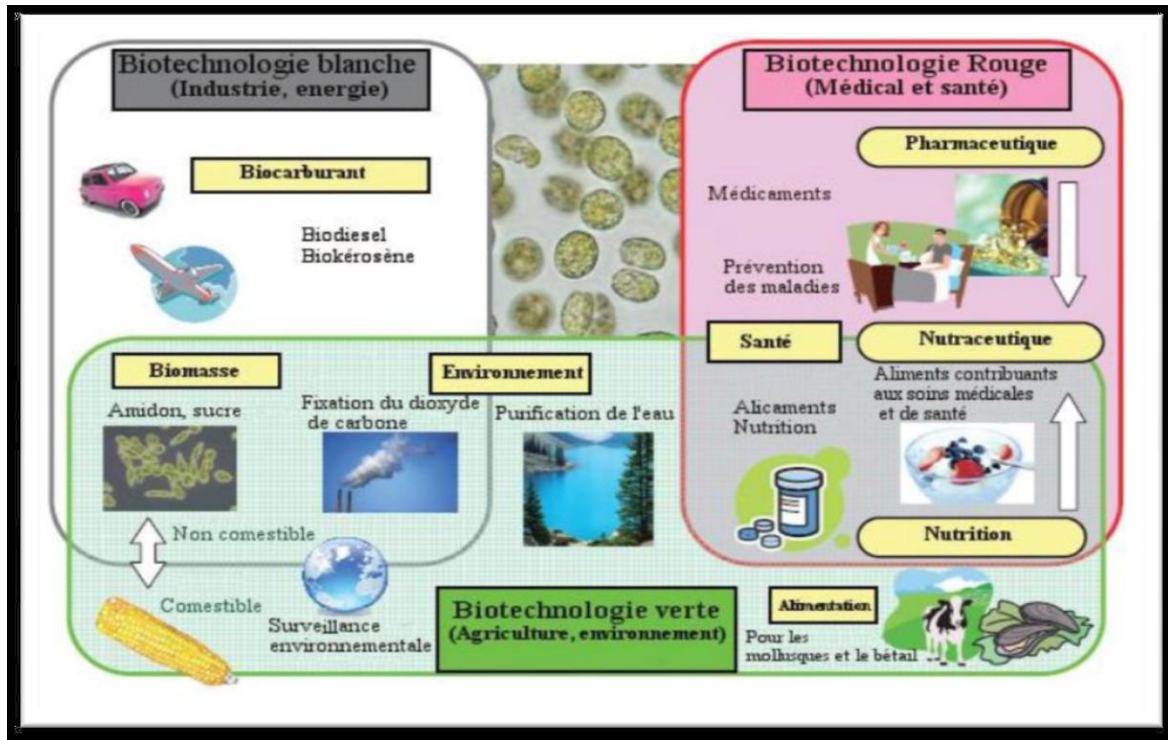


Figure 01 : Diversité du champ d'application des microalgues (Filali, 2012).

## 1.8 Risques liés aux microalgues

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.

### 1.8.1 Risques sur les organismes marins

Les microalgues peuvent avoir des impacts directs sur les populations marines, car certaines espèces peuvent produire des toxines extracellulaires « directement libérées dans le milieu », pouvant provoquer de nombreuses mortalités chez les poissons exemple : *Karenia brevis* ou encore chez les invertébrés marins, exemple : *Heterocapsa circularisquama* «Dinoflagellé » causant des mortalités massives d'huîtres perlières et autres bivalves. Or les toxines, des lésions mécaniques peuvent également être engendrées comme le colmatage des branchies par la production de mucus ou l'altération des branchies par les excroissances « les épines » de certaines espèces phytoplanctoniques, exemple : *Chaetoceros sp* « Diatomées » (Abadli et Harkati, 2015).

### 1.8.2 Risques 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 dû à une prolifération microalgale intense. Pour décrire cet événement, différents termes sont utilisés « bloom, marrées rouges, efflorescence,... », 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 microorganismes incriminés provoquant ainsi des dangers pour la santé publique et des pertes économiques importantes (Amri, 2008).

### 1.8.3 Risques sur la santé humaine

Certaines espèces microalgales produisent des toxines (phycotoxines) qui sont accumulées par les organismes phytoplanctonophages (mollusques bivalves principalement, mais également 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 (Feki, 2013).

Les différents types d'intoxications associées à des efflorescences algales toxigènes sont les suivants :

#### **\*Intoxications amnésiantes par la consommation des fruits de mer « IAFM »** **(*Amnesic Shellfish Poisoning: ASP*)**

Les symptômes sont de type gastro-intestinal, mais également neurologiques (avec notamment des pertes de mémoire), ces toxines pouvant, dans les cas les plus graves, entraîner la mort (Teitelbaum *et al.*, 1990). La toxine responsable de ces intoxications est l'acide domoïque (Wright *et al.*, 1989), synthétisée principalement par des diatomées Pennales du genre *Pseudo-nitzschia*.

#### **\*Intoxications paralysantes par la consommation des fruits de mer « IPFM »** **(*Paralytic Shellfish Poisoning: PSP*)**

Ces intoxications entraînent une paralysie musculaire et, dans les cas les plus graves, peuvent être mortelles lorsque le système respiratoire est atteint. Elles sont provoquées par la saxitoxine et ses dérivées (dont la néosaxitoxine et les gonyautoxines), toxines produites entre autres par des dinoflagellés du genre *Alexandrium* (Lassus *et al.*, 1994, Amzil et Motteau, 2000).

#### **\*Intoxications neurologiques par la consommation des fruits de mer « INFM »** **(*Neurotoxic Shellfish Poisoning : NSP*)**

Elles sont caractérisées par des symptômes neurologiques et provoquées par un groupe de toxines rassemblées sous l'appellation brève. Ces toxines (Richardson, 1997) qui sont synthétisées par le *Gymnodinium breve*. Ces toxines sont également responsables de mortalités de mammifères marins (Anderson et White, 1992).

**\*Intoxications diarrhéiques par la consommation des fruits de mer « IDFM » (Diarrhetic Shellfish Poisoning ou DSP)**

Les intoxications diarrhéiques ont été d'abord observées aux Pays-Bas dès 1961 (Korringa et Roskam, 1961). Des symptômes gastro-intestinaux (douleurs abdominales, diarrhées, nausées et vomissements) sont associés à ces intoxications. Les toxines responsables sont l'acide okadaïque et ses dérivés (dinophysistoxines, DTXs) produits par des dinoflagellés appartenant aux genres *Dinophysis* et *Prorocentrum* principalement (Lassus *et al.*, 1988; Sournia *et al.*, 1991; Amzil, 1993).

**\*Intoxications de type "ciguatériques" par la consommation des poissons« ICP » (Ciguatera Fish Poisoning : CFP)**

Des espèces de dinoflagellés benthiques, comme, par exemple, *Gambierdiscus toxicus*, sont à l'origine de ces intoxications connues depuis longtemps dans les zones tropicales. Les toxines responsables, la maïtotoxine et les ciguatoxines, sont transmises à l'homme au travers de la chaîne alimentaire, en général par des poissons (Richardson, 1997).

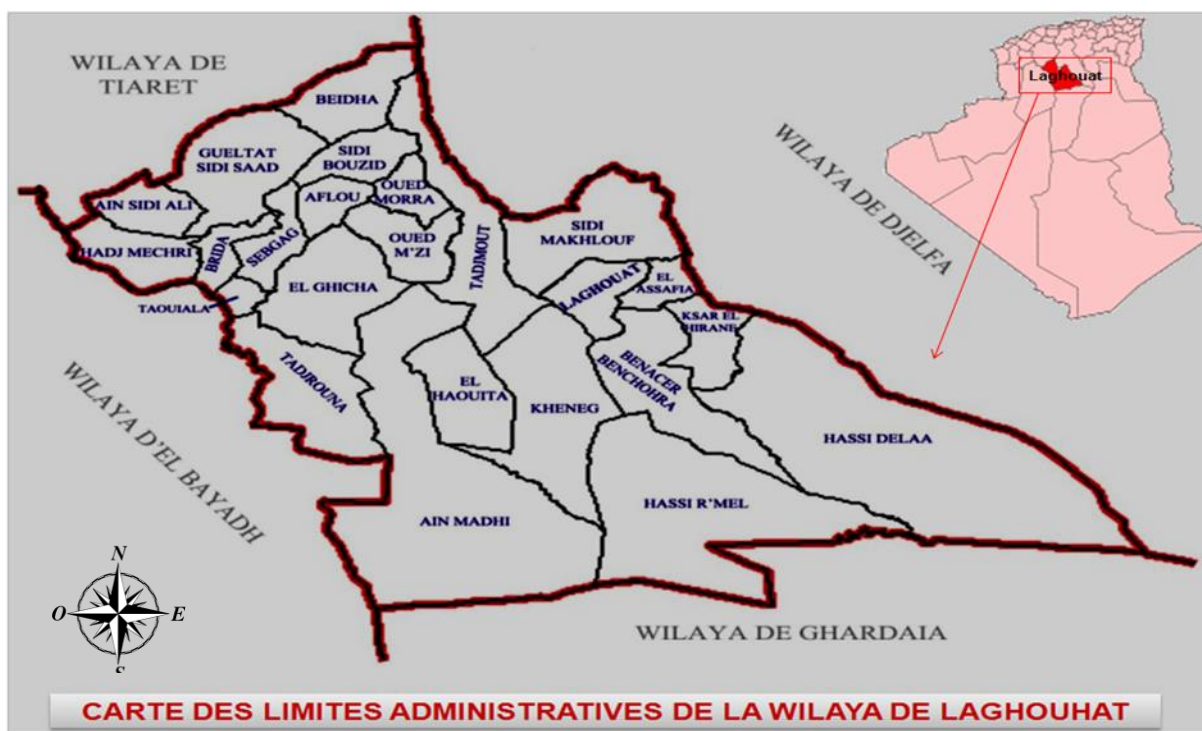
## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

### 1. Présentation de la région d'étude

#### 1.1 Situation géographique de la région d'étude

De par sa position géographique et ses caractéristiques climatiques, la Wilaya de Laghouat fait partie du groupe des neuf Wilayas pastorales du pays ainsi que Des Wilayas du Sud, le chef-lieu de la Wilaya est situé à 400 km à l'Est de la capitale Alger, situé à plus de 750 mètres d'altitude au niveau de la mer sur les hauts plateaux, la Wilaya de Laghouat est traversée par la chaîne de l'Atlas Saharien avec des sommets qui dépassent les 2000 mètres ("Djebel, Amour" 2200 mètres) situé à 100 km au Nord-Ouest de Laghouat (A.N.I.R.E.F, 2011).

La Wilaya s'étend sur une superficie de 27560 km<sup>2</sup>, d'une latitude Nord 33°48' et longitude Est de : 02°35', elle est limitée par quatre Wilayas au Nord : Tiaret, au Sud : Ghardaïa, à l'Est : Djelfa à l'Ouest : El-Bayadh (C.D.F, 2012 ; D.P.S.P, 2011) (Fig.2).



(A.N.I.R.E.F, 2011)

**Figure 2:** situation géographique de la région de Laghouat.

## 1.2 Caractéristiques climatiques

Pour caractériser l'état climatique de la région et mettre en évidence les impacts probables de ces facteurs sur la bio écologie des organismes vivants, on a pris en considération les observations homogènes sur une période de 11 ans (du 2006 à 2016) recueillies au niveau de la station météorologique d'El khenég (ONM, 2017).

### a) La pluviométrie

Nous pouvons déduire à partir des résultats des relevés que la région de Laghouat est caractérisée par une pluviométrie irrégulière dont la valeur mensuelle moyenne cumulée sur 11 ans est 155.27 mm (Tableau 1).

Les mois pluvieux dans la région de Laghouat sont : Septembre et octobre, avec des taux de précipitation respectivement 27,53mm et 23,31mm. Tandis que les mois les moins arrosés sont Juin et Juillet avec des taux de précipitation respectivement 7,45mm et 7,96mm.

**Tableau. 01** : Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2016)

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai.	jun.	juil.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.	Moy ann
P (mm)	9.77	8.58	10.56	18.72	9.93	7.45	7.96	10.85	27.53	23.31	12,45	19.35	155.27

(O.N.M. Laghouat, 2017).

### b) La température

La température est l'un des éléments importants pour la caractérisation du climat (Ramade, 1984 ; Dajoz, 1985).

Les températures de la région d'étude collectées durant la période allant de 2006 à 2016 sont récapitulées dans le (Tableau 2).

Le mois le plus frais dans la région de Laghouat est le mois de Janvier avec une température de 8,73°C, tandis que le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une température de 32,20°C. (Tableau 02).

**Tableau 02 :** Températures moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2016).

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai.	juin.	jut.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.
$\bar{M} = \frac{M+m}{2}$ (°C)	8.73	9.88	13.62	18.04	22.61	28.01	32.20	30.9 4	25.36	19.99	12.89	8.97

(O.N.M. Laghouat, 2017).

**c) Vents**

La vitesse moyenne annuelle du vent de la région de Laghouat sur 10 ans est de 3,65 m/s, avec des valeurs maximales enregistrées durant les mois d'Avril et Mai respectivement de 4,67 m/s, et 4,42 m/s (tableau 03).

**Tableau 03 :** Vitesse du vent (m/s) moyenne mensuelle de la région de Laghouat (2006-2015).

Mois	Jan.	fév.	mar.	avr.	mai.	jun.	jut.	août.	Sep.	oct.	nov.	déc.	Moy
Vitesse du vent (m/s)	2,97	3,96	3,99	4,67	4,42	4.19	3,66	3,47	3,51	2,87	3,16	2,94	3,65

(O.N.M. Laghouat, 2017).

**d) Humidité**

L'humidité de l'air ou l'état hygrométrique de l'air représente la proportion de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère par rapport à la quantité maximale qui peut être fixée à la température considérée (Prévost, 1999).

Dans la région de Laghouat, l'humidité moyenne annuelle est de 46,15% avec d'énormes fluctuations passant de 27,51% à 63,81%. Tandis que les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période automne-hivernale, correspondant aux mois de novembre, décembre et janvier. La sécheresse de l'air est établie en été; en particulier au cours des mois de juillet et août (Tableau 04).

**Tableau 04 :** Humidité moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2016)

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai.	jun.	jut.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.	Moy.
H (%)	63.81	56,60	43,81	42,11	38,48	34,27	27,51	29,94	44,1	52,58	57,71	62,92	46,15

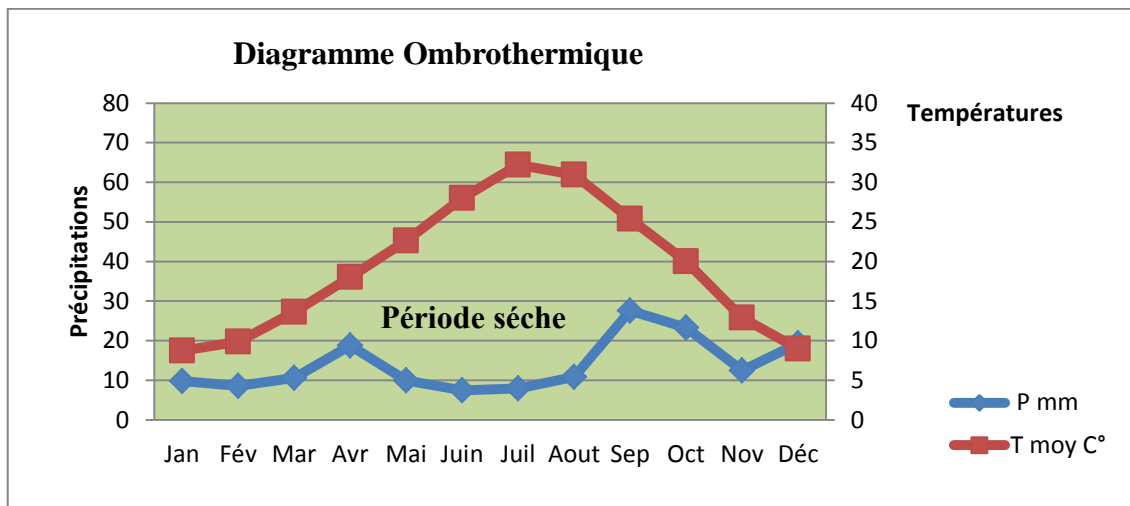
(O.N.M. Laghouat, 2017).

### 1.3 Synthèse climatologique

#### 1.3.1. Le diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Gaussen permet de représenter les éléments du climat d'une région du point de vue précipitations et températures pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides (Dajoz, 1985). D'après Dajoz (1975), la sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle (P) exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius ( $P_{(mm)} < 2T (^{\circ}C)$ ).

Le diagramme ombrothermique de la région de Laghouat révèle que la région est caractérisée par une période sèche qui s'étale durant toute l'année (Figure 03).



**Figure 03 :** Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de la région de Laghouat (2006-2016).

#### 1.3.2. Climagramme d'EMBERGER

C'est un quotient qui est fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud, de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid en degrés Celsius et de la pluviosité moyenne annuelle (P) en mm. Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide. Il est calculé par la formule suivante qui a été simplifiée par Stewart (1971) :

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{P}{(M - m)} \quad (\text{STEWART}, 1969)$$

**P** : Pluviométrie annuelle.

**M** : Température maximale du mois le plus chaud.

**m** : Température minimale du mois le plus froid.

Le quotient pluviothermique est d'autant plus élevé que le climat est plus humide (Dajoz, 2003). Cet indice n'est vraiment établi que pour la région méditerranéenne et qu'en fonction de la valeur de ce coefficient on distingue les zones suivantes :

Humides pour :  $Q > 100$  ;

Tempérées pour :  $100 > Q > 50$  ;

Semi arides pour :  $50 > Q > 25$  ;

Arides pour :  $25 > Q > 10$  ;

Désertiques pour :  $Q < 10$ .

Afin de déterminer l'étage bioclimatique de la région de Laghouat et la situer dans le climagramme d'EMBERGER, nous avons calculé le quotient pluviothermique Q avec les données climatiques calculées sur un période de 11 ans (2006-2016).

$$Q = 3,43 \times \frac{155,27}{(30,94 - 8,73)} = 23,97$$

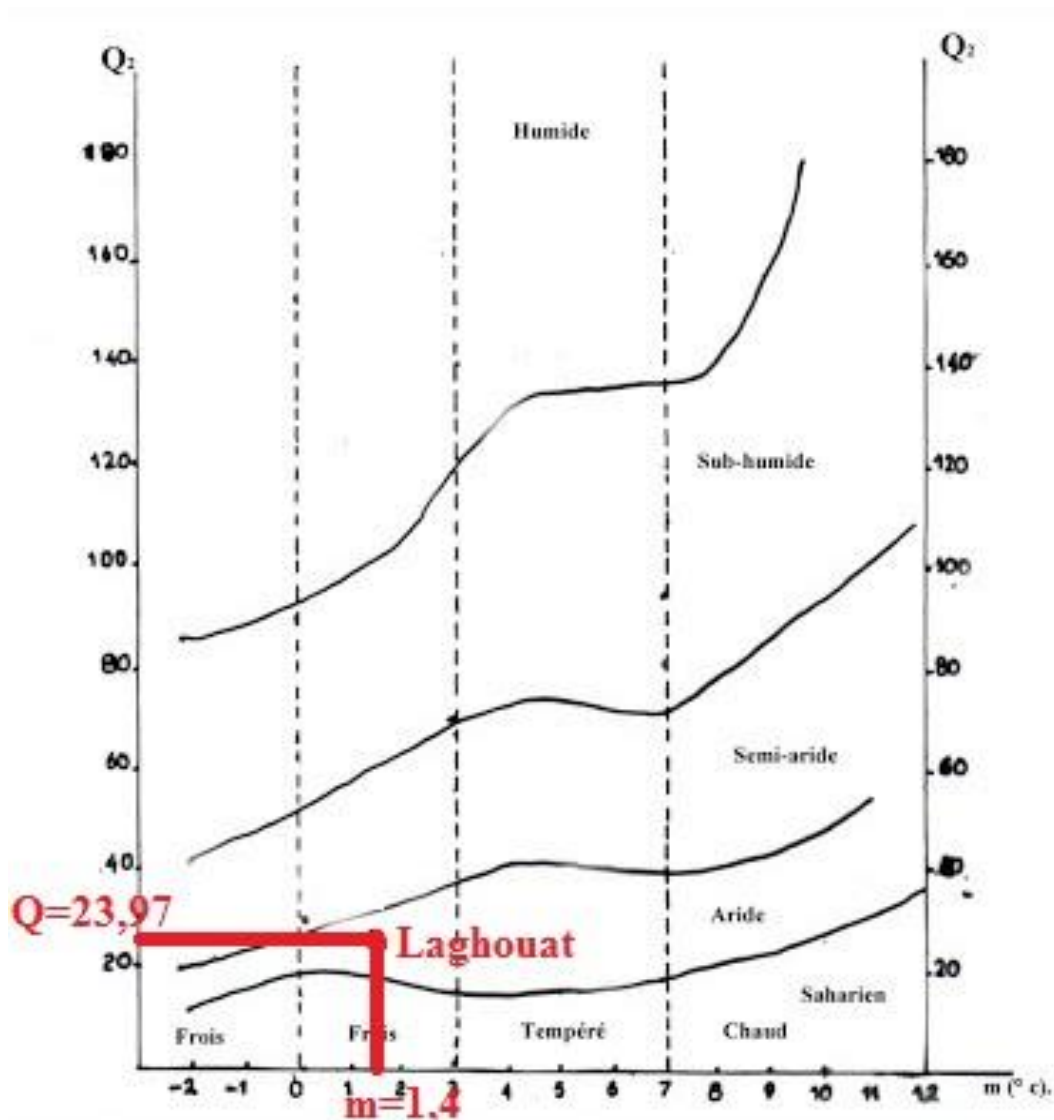


Figure 4: Climagramme pluviométrique d'Emberger.

## 2. Présentation de la zone d'étude : (Sidi Makhoulf)

### 2.1. Localisation

D'une superficie totale de 142000 ha, la commune de Sidi Makhoulf est le chef-lieu de la Daïra, rattachée administrativement à la wilaya de Laghouat.

Au niveau régional, elle appartient à la région de planification Hauts Plateaux Centre qui regroupe les wilayas de : M'sila, Djelfa et Laghouat ; Son chef-lieu est distant de : 42Km du chef-lieu de la wilaya de Laghouat (A.N.I.R.E.F, 2011) (Fig5).



**Figure 5** : Situation géographique de la commune de Sidi Makhlouf (Gana, 2013)

## 2.2 Description du site d'étude (Oued Bakhdach)

### 2.2.1 Situation géographique

Oued Bakhdach est située à l'Ouest de la commune de Sidi Makhlouf, à 02 km au chef-lieu de la commune. Ce site s'étend sur une superficie de 30 hectares. La caractéristique de cette région est bien les sources d'eau existantes et particulièrement Oued Bakhdach qui est bien notre site d'étude (Fig6) (Anonyme 1, 2013).

Ce dernier est pratiquement une retenue collinaire d'eau douce, permanente, alimenté par la nappe phréatique, le point le plus profond est en aval avec une profondeur de trois mètres, sa forme rectrice en amont puis s'élargit en aval, la roche mère occupe presque 80 %. Le matériau est très hétérométrique, sub-anguleux avec des graviers, cailloux et blocs de plusieurs dizaines de Kg dans une matrice sableuse où parfois s'individualise un encroûtement calcaire.

#### ❖ Donnée géologique :

Les terrains du site touristique Bakhdach sont des terrains domaniaux à 100%. La morphologie du terrain : Terrain naturel à protégé, constitué d'une surface de 30ha, surface en moyenne déclivité : en amont : 918,266m et en aval : 895,499m.

Signalons simplement la terrasse du Quaternaire ancien qui se présente en fait sous forme de lanières étroites orientées Ouest-Est. Elles sont rattacher des cônes anciens (issus du Djebel Azreg à l'Ouest) qui s'étalent ici le long des oueds empruntant le passage entre les djebels Zerga et Hasbaïa pour rejoindre l'Oued Netsila (qui traverse la chaîne Sud-Atlasique et rejoint ainsi l'Oued Djedi) (Anonyme, 2013).

### ❖ Potentiel touristique

Bakhdach est l'un des sites, de grandes potentialités touristiques (photo1), doté des caractéristiques suivantes:

- ✓ Paysage naturel et vues panoramiques.
- ✓ Un espace rural à vocation agro-pastoral, d'où le privilège de la nature est une priorité.
- ✓ La proximité d'une source d'eau.



**Photo 01 :** Vue globale du site d'étude (Oued Bakhdach) (Originale, 2017)

## 3. Méthodes d'études

### 3.1 Choix des sites et fréquences d'échantillonnage

Afin de choisir les stations les plus représentatives, tant du point de vue naturel que du point de vue pression humaine (présence des terrains agro-pastorales et des maisons peuplées), le choix s'est porté sur deux stations : S1 qui est l'amont et S2 l'aval.



**Figure 06** : Situation géographique des stations d'étude (Google earth, 2017)

Nous avons réalisées plusieurs sorties sur terrain pendant toute la période s'étendant entre Décembre 2016 et avril 2017.

Nous avons opté pour chaque sortie d'accomplir les objectifs fixés au préalable. Les détails concernant la chronologie des sorties et le type des prélèvements effectués, matériels utilisés lors de chaque sortie sont consignés dans le (tableau 05).

**Tableau 05** : Les fréquences d'échantillonnage du phytoplancton

		Mesures physico-chimiques		Etude phytoplanctonique	
		S1	S2	S1	S2
P1	08/12/2016	+	+	+	+
P2	28/12/2016	+	+	+	+
P3	15/01/2017	+	+	+	+
P4	30/01/2017	+	+	+	+
P5	15/02/2017	+	+	+	+
P6	27/03/2017	+	+	+	+
P7	10/04/2017	+	+	+	+

### 3.2 Méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau

#### 3.2.1 Méthode de prélèvement de l'eau

Le prélèvement consiste à réaliser un échantillon représentatif d'une colonne d'eau, d'un litre d'eau brute de surface dans une bouteille en plastique.

### 3.2.2 Analyses physico-chimiques

En vue de la caractérisation de la qualité de l'eau de deux stations prospectées, nous nous sommes intéressés à 7 paramètres physico-chimiques. Il s'agit de : la température, le pH, la conductivité électrique, la salinité, la matière en suspension, les nitrates et les Ortho phosphate. Ces paramètres ont été étudiés au niveau du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux. Les détails concernant tous ces paramètres sont notés dans le tableau ci-dessous.

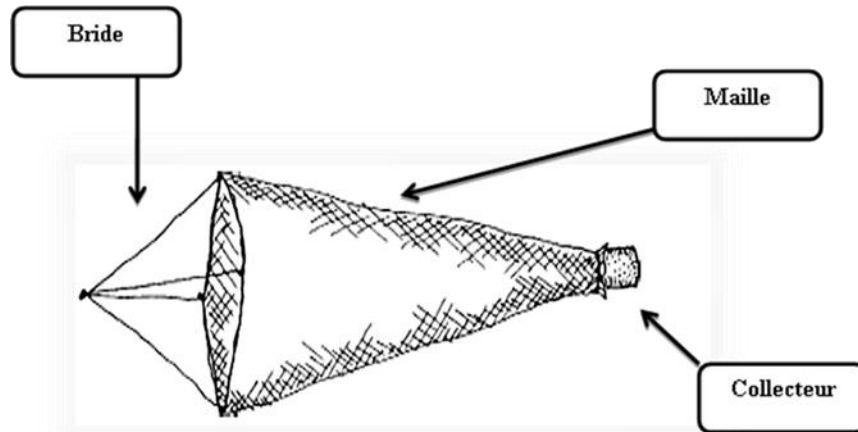
**Tableau 06:** Protocoles de mesures des paramètres physico-chimiques

Paramètre mesuré	unité	Matériel utilisé	Mode opératoire
Température	°C	Thermomètre a mercure	- Enfoncer le thermomètre dans l'eau - Attendre quelques minutes et lire la valeur indiquée.
pH	/	pH mètre (Baroid, petrlum industries)	- Prendre environ 100 ml de l'échantillon à mesurer - Immerger l'électrode dans le bécher contenant l'eau à analyser - Laisser stabiliser un moment et noter le pH indiqué
Conductivité	μS/cm	Conductimètre (HACH COMPANY)	- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité - Faire la mesure dans un récipient contenant de l'eau à examiner en prenant soin que les électrodes soient bien émergées.
Salinité	‰	Conductimètre (HACH COMPANY)	A partir de la conductivité (lecture directe).
Matières en suspension	g/l	Balance de précision	-Filtrer une quantité d'eau (500ml) sur un papier Whatman -Mettre le filtre dans une étuve à 80°C pendant une heure -Peser le poids de filtre après séchage
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (Taux de nitrates)	mg/l	Spectrophotomètre (modèle HACH ODYSSEY)	- Prendre 10 ml d'eau à analyser - Ajouter 4 gouttes d'acide acétique - Ajouter 8 gouttes de nitrure de sodium (NaN <sub>3</sub> ) - Attendre 5 minutes - ajouter une pincée de salicylate de sodium. - sécher à l'étuve à 200°C avec ventilation et laisser refroidir. - Reprendre le résidu avec 16 gouttes d'acide sulfurique concentré (8N). - laisser reposer 15 mn puis ajouter 10ml de NaOH (20%) - lecture à 699 nm. (Legube et Merlet, 2009)
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (Ortho phosphate)	mg/l	Spectrophotomètre (modèle HACH ODYSSEY)	-Prendre 10 ml de l'échantillon. - Ajouter 1 ml d'acide ascorbique (10%). - lecture à 699 nm. (Legube et Merlet, 2009)

### 3.3 Méthodes et techniques d'étude du phytoplancton

#### 3.3.1 Prélèvement du phytoplancton

Afin d'obtenir des données d'ordre qualitatives et quantitatives de la communauté microalgale des deux plans d'eau, nous avons utilisé un filet à plancton fabriqué traditionnellement (Fig.7) dont le principe de fonctionnement est de faire passer une quantité d'eau à plusieurs reprises (30 litres) afin de récupérer un volume de (100 ml) appelé le filtrat.



**Figure 07:** Schéma représentatif d'un filet à plancton.

#### 3.3.2 Etude qualitative et quantitative

Plusieurs classes d'algues ont fait l'objet de notre étude telles que, les euglénophycées, les diatomées, les cyanophycées et les chlorophycées.

Au laboratoire, l'échantillon est immédiatement fixé avec du lugol. Au minimum 8 gouttes pour 100 ml sont ajoutées. L'idéal étant d'obtenir une couleur orangée (mais pas brun foncé). En fonction du type de milieu (acidité de l'eau), la couleur orangée est obtenue avec un nombre nettement supérieur de gouttes (Druart et Rimet, 2008).

L'identification des genres de chaque récolte est réalisée à l'aide d'un microscope optique par l'observation des caractères morpho anatomiques (la forme de la colonie ou du trichome ainsi que la taille et la couleur) représentant les clés d'identification de différents genres.

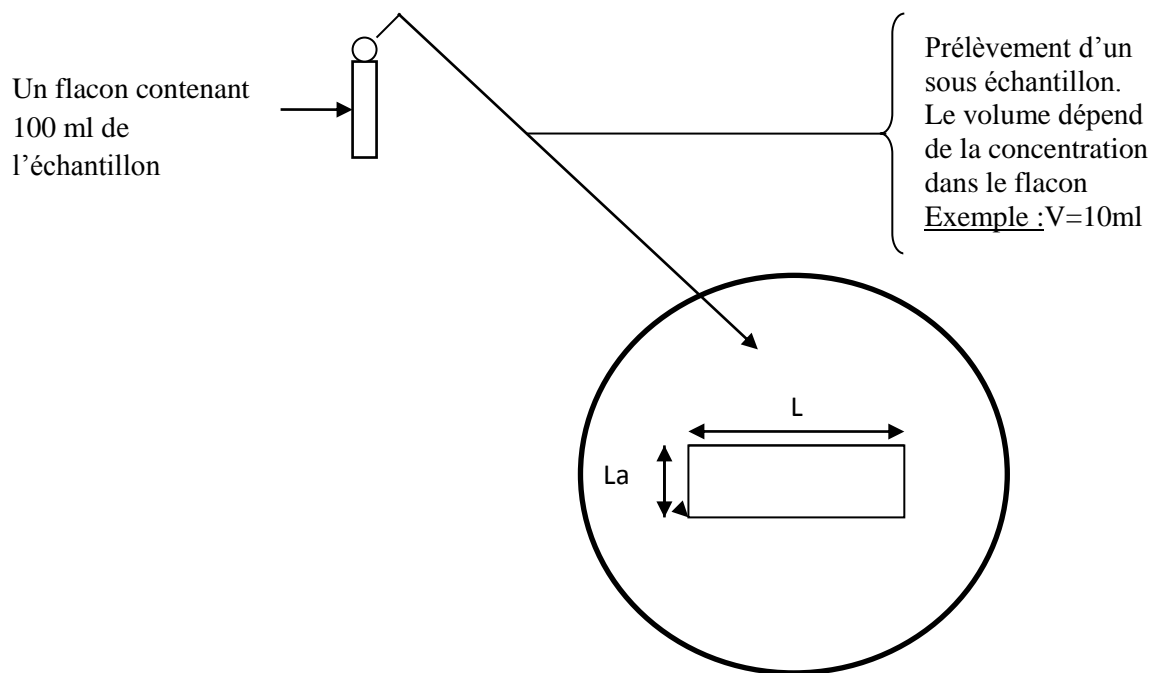
La détermination de toutes les espèces observées s'est arrêtée au niveau des genres en se basant sur les clés (Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du Canada, guide d'identification des fleurs d'eau des cyanobactéries...).

Le dénombrement du phytoplancton se fait suivant les étapes suivantes :

- Agiter le flacon pour assurer l'homogénéité de l'échantillon.

- Prélever un sous échantillon d'eau (le volume est choisi en fonction de la densité algale) et le déposer dans une chambre de comptage.
- Observer à l'aide d'un microscope optique, en utilisant l'objectif (Gr x 40).
- Compter les micro-algues rencontrées sur les parcours horizontaux effectués sur toute la longueur de la bande. Cette opération est répétée 3 fois.

Le comptage ne concerne pas l'ensemble de la surface de la chambre, mais seulement une « sous chambre » de superficie de 2 cm<sup>2</sup> (1 cm x 2 cm) (Fig.8).



**Figure 8:** Schéma synthétique de la technique de comptage du phytoplancton

### 3.4. Exploitation des résultats par des indices écologiques

#### 3.4.1. Application d'indice de structure et d'organisation

##### a) Fréquence en nombre (abondance relative)

La fréquence centésimale (Fc), représente l'abondance relative et correspond au pourcentage d'individus d'une espèce (ni) par rapport au total des individus recensés (N) d'un peuplement. Elle peut être calculée pour un prélèvement ou pour l'ensemble des prélèvements d'une biocénose (Dajoz, 2003).

$$F_c = \frac{ni}{N} \times 100$$

### b) Constance ou indice d'occurrence

La constance (C) est le rapport du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée (Pi) au nombre total de relevés (P) exprimé en pourcentage (Dajoz, 2003).

$$C\% = \frac{Pi}{P} \times 100$$

Bigot et Bodot (1973), distinguent des groupes d'espèces en fonction de leur fréquence d'occurrence :

- Les espèces constantes sont présentes dans 50 % ou plus des relevés effectués.
- Les espèces accessoires sont présentes dans 25 à 49 % des prélèvements.
- Les espèces accidentelles sont celles dont la fréquence est inférieure à 25 %.
- Les espèces très accidentelles qualifiées de sporadiques, ont une fréquence inférieure à 10%

### c) Analyse de Similitude

#### ✓ Indice de SORENSEN

Afin de pouvoir tester la similitude ou la différence existante dans la composition des peuplements d'une part dans l'espace, et d'autre part dans le temps, nous avons comparé la structure des relevés par une analyse discriminatoire en calculant l'indice de SORENSEN ou le coefficient de similitude de SORENSEN (Qs) (Magurran, 1988) :

$$Q_s = \left[ \frac{2c}{a+b} \right] \times 100$$

a : nombre d'espèces décrites dans le relevé 1,

b : nombre d'espèces décrites dans le relevé 2,

c : nombre d'espèces recensées simultanément dans les 2 relevés.

Pour notre cas, nous avons utilisé ce coefficient pour comparer la composition spécifique du peuplement phytoplanctonique des différents sites et pour différentes dates d'étude prises deux à deux.

### 3.4.2 Application d'indices de diversité des peuplements :

La diversité des peuplements vivants s'exprime généralement par la richesse spécifique totale qui est le nombre total (S) d'espèces dans un biotope et la richesse moyenne (Sm) qui est la moyenne du nombre d'espèces observées dans une série de prélèvements. Elle peut être également représentée par des indices différents.

**a) Richesse générique totale**

Par définition ; la richesse totale (S) est le nombre d'espèces recensées au moins une seule fois au terme de N relevés effectués.

L'adéquation de ce paramètre à la richesse réelle est bien entendu d'autant meilleure que le nombre de relevés est plus grand (Blondel, 1979).

**b) Richesse générique moyenne :**

La richesse spécifique moyenne ( $S_m$ ) est utile dans l'étude de la structure des peuplements. Elle est calculée par le nombre moyen d'espèces présentes dans un échantillon (Ramade, 1984).

$$S_m = \frac{\text{nombre total d'espèces recensées lors de chaque relevé}}{\text{nombre de relevés réalisés}}$$

**c) Indice de diversité de SHANNON :**

L'indice de diversité de SHANNON dérive d'une fonction établie par SHANNON et WIENER. Cet indice symbolisé par la lettre  $H'$ . La diversité est fonction de la probabilité de présence de chaque espèce dans un ensemble d'individus. La valeur de  $H'$  représentée en unités binaires d'information ou bits et donnée par la formule suivante (Dajoz, 2003).

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i$$

Où :  $P_i$  représente le nombre d'individus de l'espèce  $i$  par rapport au nombre total d'individus recensés (N) :

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Cet indice renseigne sur la diversité des espèces d'un milieu étudié. Selon Magurran (1988), la valeur de cet indice varie généralement entre 1,5 et 3,5. Il dépasse rarement 4,5. Lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, l'indice de diversité est égal à 0 bits. Cet indice est indépendant de la taille de l'échantillon et tient compte de la distribution du nombre d'individus par espèce (Dajoz, 2003).

**d) Indice d'équirépartition des populations (équitabilité) :**

L'indice d'équitabilité ou d'équirépartition ( $E$ ) est le rapport entre la diversité calculée ( $H'$ ) et la diversité théorique maximale ( $H'_{max}$ ) qui est représentée par le  $\log_2$  de la richesse totale ( $S$ ) (Blondel, 1979).

$$E = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Où :  $H'$  est l'indice de Shannon :  $H'_{max} = \log_2 S$

Cet indice varie de zéro à un. Lorsqu'il tend vers zéro ( $E < 0,5$ ), cela signifie que la quasi-totalité des effectifs tend à être concentrée sur une seule espèce. Il est égal à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Barbault, 1981).

**3.5 Analyses statistiques****3.5.1 Analyses statistiques univariées**

En analyse statistique univariée, nous avons calculé pour chaque variable les paramètres de base qui sont les statistiques descriptives : la moyenne, l'écart-type ( $s$ ), les valeurs max et min (Dagnelie, 2000).

**3.5.2 Analyses statistiques bivariées**

L'analyse statistique bivariée consiste à calculer les corrélations linéaires simples entre les différentes variables deux à deux (Dagnelie, 2000).

Ce coefficient est compris entre -1 et +1, il est en valeur absolue, d'autant plus proche de 1 que la liaison entre les deux séries d'observation est nette, pour autant que cette liaison soit linéaire ou approximativement linéaire.

Au contraire, si le coefficient est nul ou approximativement nul c'est que les deux variables ne sont pas corrélées entre elles.

D'autre part, le signe de coefficient de corrélation indique si la relation entre les deux variables (séries d'observations) est croissante ou décroissante. En effet, lorsque le coefficient de corrélation est positif, les valeurs élevées d'une variable correspondent, dans l'ensemble, aux valeurs élevées de l'autre variable et vice-versa.

- Si  $p > 0.05$  → il n'existe pas de corrélation.
- Si  $p \leq 0.05$  → il existe une corrélation significative → \*
- Si  $p \leq 0.01$  → il existe une corrélation hautement significative → \*\*
- Si  $p \leq 0.001$  → il existe une corrélation très hautement significative → \*\*\*

P : C'est la probabilité qui met en évidence les différences significatives entre la valeur du coefficient de corrélation « r » et la valeur zéro.

Tous les calculs des analyses univariées et bivariées ont été exécutés avec le logiciel MINITAB d'analyse et de traitement statistique des données.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

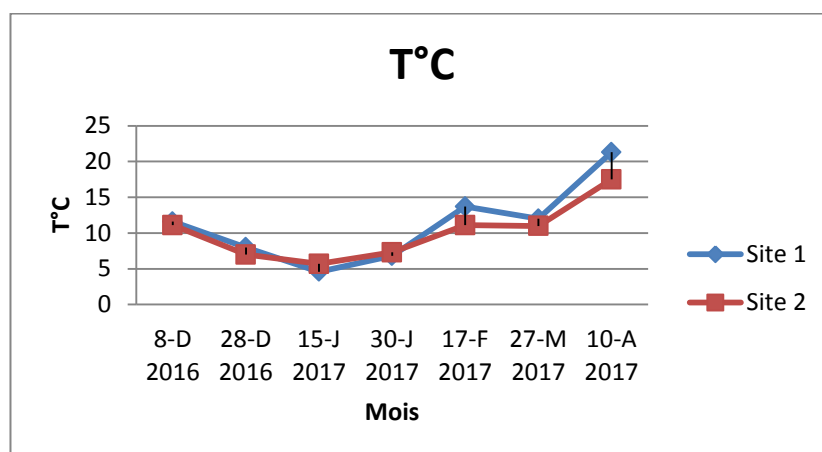
### 1. Paramètres physicochimiques de l'eau et leurs variations mensuelles

Les données caractérisant la nature physico-chimique de l'eau mesurées selon les méthodes décrites plus haut, ainsi que sa variation mensuelle sont rapportées dans le tableau (Annexe.01). Le tableau (07) montre l'analyse descriptive des paramètres physicochimiques de l'eau de notre site d'étude.

**Tableau 07** .Analyses descriptives des paramètres physicochimiques de l'eau.

Station 01				
Variabiles	N°	Moyenne	Ecart type	min – max
T°C	7	9.53	3.22	4.6 – 13.7
pH	7	8.134	0.600	6.99 – 8.8
Cond (µs/cm)	7	385.9	55.9	338 – 485
S‰	7	0.188	0.032	0.15 – 0.24
MES (mg/l)	7	0.37	0.233	0.175 – 0.788
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7	1.227	1.134	00 – 2.93
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	7	0.15	0.20	0.04 – 0.6
Station 02				
T°C	7	8.88	2.225	5.700-11.10
pH	7	8.06	0.57	7.00 – 8.91
Cond (µs/cm)	7	358.3	29.7	315 – 401
S‰	7	0.18	0.014	0.16 – 0.2
MES (mg/l)	7	0.4243	0.0149	0.1 – 0.73
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7	1.33	1.28	00 -3.2
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	7	0.142	0.109	0.03 – 0.37

#### 1.1 Température

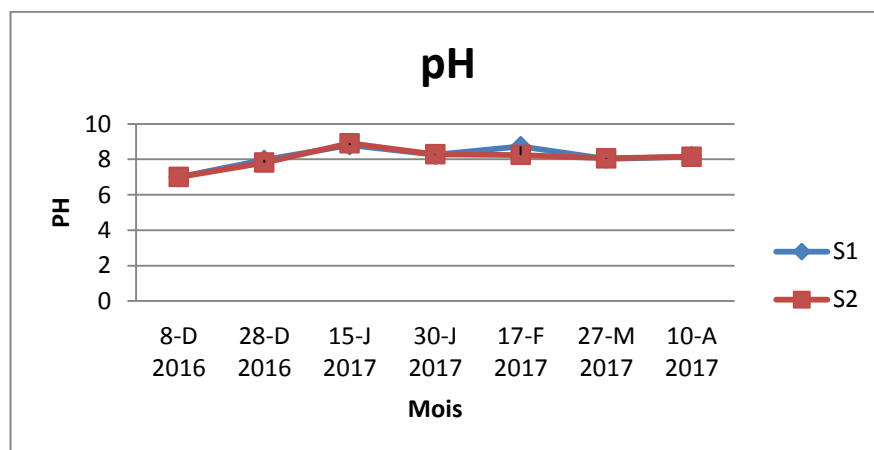


**Figure 09.** Variations mensuelles de la température (°C) de l'eau des deux stations de la région prospectée.

La figure 09 présente les variations temporelles de la température des deux stations de l'Oued Bakhdach pendant toute la période d'étude (5 mois). La valeur la plus basse est enregistrée à mi-janvier avec (4,6°C) pour S1 et (5,7°C) pour S2, tandis que la valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'avril avec (21,3°C) pour S1 et (17,5°C) pour S2.

La température, considérée par les scientifiques le paramètre clé et le stimulateur de toute activité biologique, influe sur cette dernière dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (Hamdi et Ait kaci, 2008). La composition du phytoplancton, dépend de la température de l'eau. Selon Goffart (2012) quand les eaux sont froides, les diatomées sont nombreuses. Ce sont des composantes du phytoplancton intéressantes car elles ont une valeur nutritive élevée pour le zooplancton. En coulant, elles exportent du CO<sub>2</sub> vers les couches profondes. Comme la température moyenne hivernale de l'eau augmente, nous constatons qu'il y a moins de diatomées dans l'eau (Beans et al, 2008).

## 1.2 Le potentiel d'hydrogène (pH)



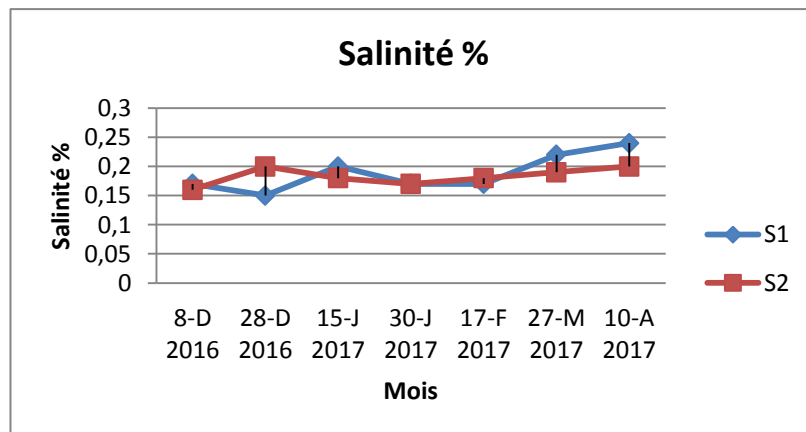
**Figure 10:** Variations mensuelles du pH de l'eau des deux stations dans l'Oued Bakhdach pendant la période d'étude.

La figure 10 présente la variation temporelle du pH du milieu dans l'Oued Bakhdach durant la période d'étude. Selon le graphe ci-dessus, nous avons constaté que les valeurs de pH les plus élevées sont observées à mi-janvier où le pH=8,8 et 8,9 pour les stations 1 et 2 respectivement. Cependant les valeurs les plus faibles sont obtenues au mois de Décembre avec (6,9) pour S1 et (7) pour S2. Les valeurs moyennes du pH enregistrées dans les deux stations du site d'Oued Bakhdach sont respectivement 8,1 et 8 (fig. 10). Ces valeurs montrent que l'eau des deux stations est alcaline. Ceci est dû à la présence de carbonates qui permettent de tamponner les eaux qui s'écoulent vers l'oued Bakhdach.

Le changement croissant de pH au cours de la période d'étude qui s'étend du mois de Décembre 2016 jusqu'au mois d'Avril 2017 (fig. 10) s'explique par le mouvement des cours d'eau durant la période hivernale sous l'effet des pluies et la stagnation de ces derniers pendant la période sèche.

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonate (Ezzaouaq, 1991; El Bliidi *et al.*, 2003; Himmi *et al.*, 2003). Le pH de l'eau dépend de la géologie, de la géochimie des roches et de l'activité biologique des sols du bassin versant (Hade, 2002). Le pH de l'eau permet de classer celle-ci en trois catégories selon l'échelle adoptée par (Hecker *et al.*, 1996). Eau acide ( $pH < 5,5$ ), eau neutre ( $pH = 5,5$  à  $7,4$ ), eau alcaline ( $pH > 7,4$ ). En pratique, les eaux ayant un pH supérieur à 8 ou inférieur à 6 sont rares mais on peut rencontrer des pH plus élevés dans des situations d'eutrophisation d'eau.

### 1.3 La salinité



**Figure 11:** Variations mensuelle de la Salinité de l'eau.

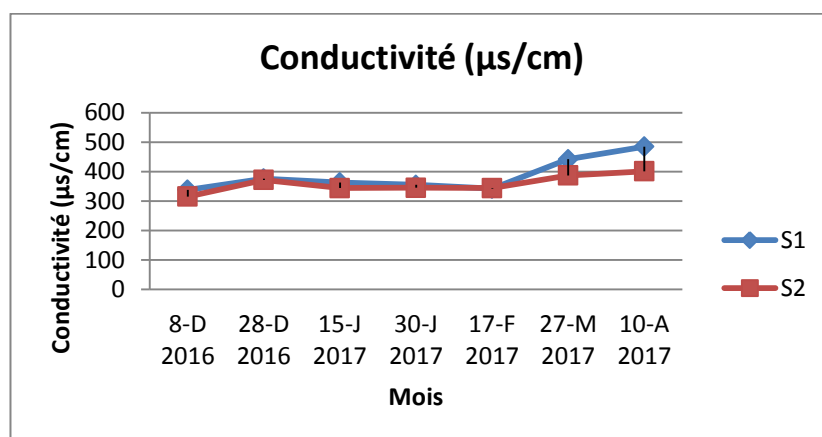
Nous notons, que la salinité enregistrée le long de la période d'étude ne présente pas de différences remarquables sachant que les teneurs notées varient de 0,1% à 0,2% (Fig.11) avec une moyenne de 0,18% pour les deux stations. Le degré de salinité permet de classer l'eau selon les catégories suivantes : Eau douce ( $S‰ < 0,5$  g/l), eau douce à saumâtre (0,5 à 5 g/l), eau saumâtre à salée (18 à 30 g/l) et eau salée ( $S‰ > 30$  g/l) (Hecker *et al.*, 1996) (Fig. 11).

Pour notre cas, les résultats de la salinité nous ont permis de classer le site dans la catégorie d'une eau douce à saumâtre. Il est clair de dire que cette dernière est directement

liée au rapport évaporation/précipitation. Cette constatation est prouvée par les travaux de Hacini *et al.*, (2008) sur les variations de la salinité avec la température et l'évaporation.

La salinité est définie à l'origine comme la quantité de sels dissous présents dans l'eau (Bouchar, 2010). Ce paramètre varie proportionnellement avec la conductivité (Terbah, 2007). L'eau est dure ou calcaire si elle est riche en sels de calcium, ou en sels minéraux en générale, au contraire elle est douce lorsqu'elle est pauvre en ces éléments (Rejsek, 2002).

#### 1.4 La conductivité électrique:



**Figure 12** : Variations mensuelles de la conductivité de l'eau des deux stations du site d'étude.

La conductivité suit le rythme de la salinité dans l'ensemble des mois prospectées, ce paramètre n'as pas présenté des fluctuations remarquables d'un mois à l'autre. La valeur la plus basique pour les deux stations est enregistrée au début le 08 décembre, avec (338µs/cm) pour S1 et (315µs /cm) pour S2, la valeur maximale est celle du mois d'avril avec (485 µs/cm) pour S1 et (401 µs/cm) pour S2.

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Si l'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, il n'en est plus de même lorsqu'elle est chargée en sels minéraux d'origine naturelle (calcium, magnésium, sodium, potassium). A cette minéralisation naturelle liée à la nature des sols s'ajoutent aussi les polluants.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Rejsek, 2002). Dans Le tableau 08 nous rapportons la relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité.

**Tableau 08** : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (Rejsek, 2002).

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation de l'eau	Conductivité moyenne mesurée
< 100	Très faible	
Entre 100 et 200	Faible	
Entre 200 et 333	Moyenne	
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée	Oued Bakhdach
Entre 666 et 1000	Importante	
>1000	Elevée	

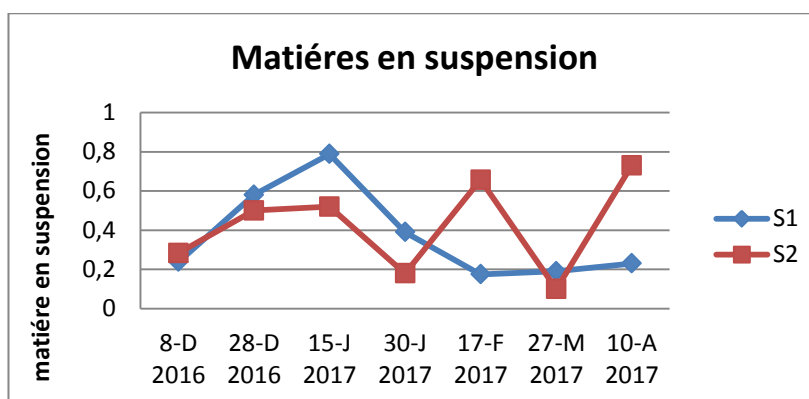
La plus part du temps, la conductivité a une origine naturelle due au lessivage des terrains. Ce lessivage entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux. Elle peut également avoir pour origine l'activité humaine causée par les effluents agricoles, industriels ou domestiques qui contiennent des sels contribuant eux aussi à l'accroissement de la conductivité.

Nous citons le cas de la dégradation de la qualité des eaux littorales dans certaines baies au lac Tanganyika (Burundi) est due selon (Ogutu et *al.*, 1997; Branchu et *al.*, 2005; Eggermont et Verschuren, 2003) aux activités humaines.

Selon (Hade, 2002) la conductivité est influencée par divers paramètres tels que :

- La géologie du bassin versant,
- Les apports d'eau souterraine,
- La température de l'eau,
- Les variations de débit des ruisseaux et des rivières qui alimentent l'Oued (la conductivité augmente lorsque le débit est faible, car il y a une plus grande concentration d'ions, et diminue lorsque le débit est élevé),
- Les apports d'eau contaminée provenant des activités humaines (déglacage des routes, agriculture, développement urbain, activités industrielles).

### 1.5 Matières en suspension (MES)

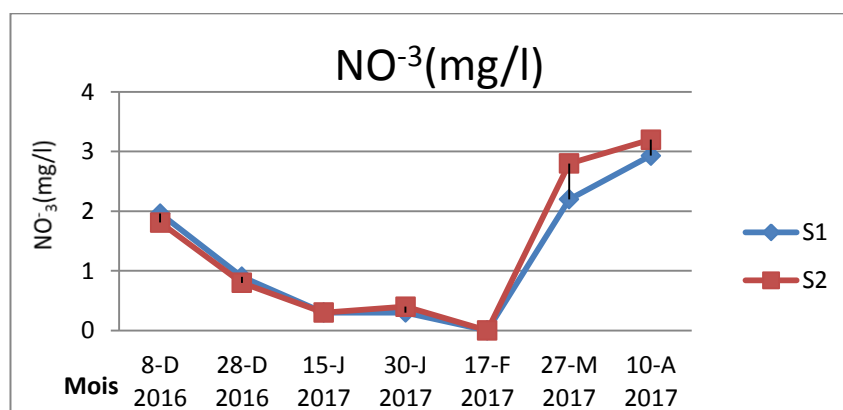


**Figure 13:** Variations mensuelles du taux de la MES des deux stations du site d'étude

Pour les deux stations S1 et S2 les valeurs de la MES enregistrées présentent des variations mensuelles avec une valeur maximale au mois de Janvier pour S1 (3,15g/l) et au mois d'Avril pour S2 (2,92g/L). Ces charges faibles peuvent être attribuées à l'absence des formes de pollutions (rejets urbains, engrais agricoles....ect) et des teneurs faibles en particules minérales et organiques (Fig. 13).

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (Rodier, 1984). Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide (Hébert et Légare, 2000).

### 1.6 Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

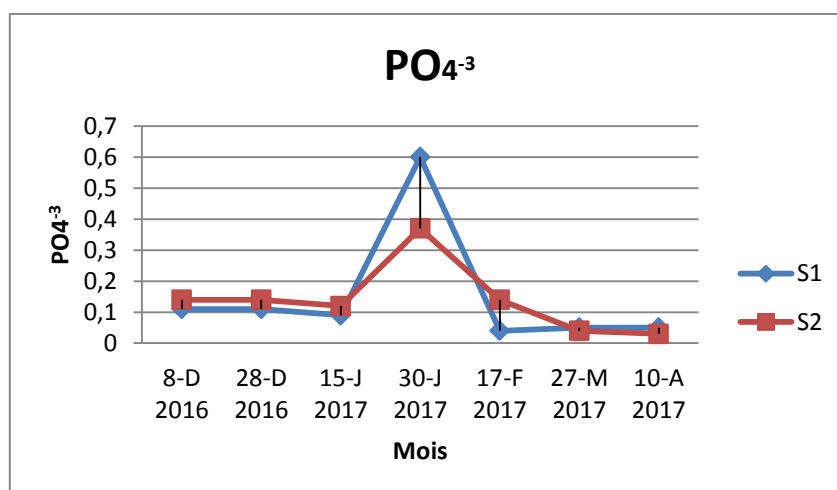


**Figure 14 :** Variations mensuelles de la valeur des nitrates de l'eau des deux stations du site d'étude.

La figure 14, présente les variations temporelles des concentrations des nitrates pendant la période d'étude au niveau des deux stations de l'Oued Bakhdach selon le graphe ci-dessus les concentrations les plus élevées sont en mois d'avril pour les deux stations, avec 2,93mg/l (S1) et 3,2mg/l (S2). En revanche les concentrations les plus faibles sont observées pendant le mois de février avec 0mg/l pour les deux stations. On peut conclure que les eaux étudiées ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l. Cependant leurs teneurs dans les eaux usées non traitées sont faibles (UNEP/MAP/MEDPOL, 2004).

### 1.7 Les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )



**Figure 15.** Variations mensuelles de la valeur des orthophosphates de l'eau des deux stations du site d'étude.

La figure 15 présente les variations temporelles des concentrations des Orthophosphates durant la période d'étude. D'après le graphe nous observons une forte augmentation de la concentration des orthophosphates au mois de janvier avec 0,6mg/l et 0,37mg/l pour S1 et S2 respectivement, la concentration la plus faible est enregistrée au mois d'avril avec 0,05mg/l pour S1 et 0,03mg/l pour S2.

Les teneurs d'orthophosphates supérieures à 0,5 mg / l permettent de suspecter la pollution d'eau. Les eaux de surface peuvent être contaminées par des rejets domestiques

ou par le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains Pesticides. Cette contamination entraîne un développement important des algues microscopiques mais aussi macroscopiques, qui caractérise le phénomène d'eutrophisation. On considère généralement que les phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation (Rejsek, 2002).

En règle générale le phosphate est peu abondant dans les eaux naturelles non polluées (Lacaze, 1995) et (Barroin, 1999), car il est immédiatement stocké par les végétaux, algues et plantes aquatiques ou bien fixé par les sédiments de fond. Les algues planctoniques stockent très facilement le phosphate et sont capables de se multiplier dans les eaux presque complètement dépourvues en cet élément (Severrin-Reyssac, 1995).

## **2. Etude qualitative et quantitative du peuplement du phytoplancton :**

### **2.1. Composition taxonomique de la flore micro-algale recensée :**

Après l'examen microscopique des échantillons d'eau prélevés, nous présentons dans le tableau (9) la liste systématique du phytoplancton identifié suivant la classification établie par Bourrelly (1970) et Sournia (1986).

Nos données montrent que la flore micro-algale recensée, dans les deux stations prospectées, est composée de 25 genres, appartenant à 19 familles, 16 ordres et 5 classes qui sont : *Les euglenophycées, les Diatomophycées, les Cyanophycées, les Chlorophyceae* et *les Dinophyceae*. (Tab.9)

**Tableau 09.** Inventaire taxonomique de répartition par station du phytoplancton recensé

Classes	Ordres	Familles	Genres	S1	S2
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	P	P
	Naviculales	Pleurosigmales	Gyrosigma	P	P
		Naviculaceae	Cymbella	P	P
			Navicula	P	P
			Pinnularia	P	P
		Caloneis	P	P	
	Nitzschiaceae	Nitzschia	P	P	
Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	Melosira	P	P	
Diatomophycées	Diatomales	Diatomaceae	Synedra	P	P
			Tabellaria	P	P
	Achnanthes	Achnantheaceae	Cocconeis	P	P
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithémia	P	A
	Surirellales	Surirellaceae	Surirella	P	P
	Bacillariales	Bacillariaceae	Pseudo-nitzshia	P	P
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	Amphora	P	P
Cyanophycées	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Lyngbya *	P	P
			Oscillatoria *	P	P
	Nostocales	Nostocaceae	Pseudanabaena	A	P
			Anabaena *	A	P
			Cylindrospermum	P	P
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	chlamydomonas	P	P
	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	P	P
	Chlorococcales	Hydrodictyaceae	Pediastrum	A	P
Dinophyceae	Gonyaulacales	Ceratiaceae	Ceratium	P	P
	Peridinales	Peridiniaceae	Peridinium	A	P

(P : espèce présente; A : espèce absente; (\*) : espèce toxique.)

Pour la S1 c'est la classe des Euglenophycées qui domine avec 07 genres (soit 37%), 5 familles (soit 29%) et 3 ordres (soit 25%). En revanche, la classe des Dinophycées est la plus faiblement représentée avec un seul genre (soit 5%), un ordre (soit 8%) et une famille (soit 6%) (Fig. 17).

Pour la S2 la classe des Euglenophycées regroupe les proportions les plus importantes du peuplement phytoplanctonique avec 08 genres (soit 35%), 5 familles (soit 31%) et 3 ordres (soit 32%). En revanche, la classe des Dinophycées est la plus faiblement représentée avec deux genres (soit 9%), deux ordres (soit 14%) et deux familles (soit 13 %) (Fig. 18).

**Tableau 10.** Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, au niveau du S1 et S2.

<b>S1</b>			
<b>Classe</b>	<b>Ordres</b>	<b>Familles</b>	<b>Genres</b>
Euglenophycées	25%	29%	37%
Diatomophycées	42%	29%	32%
Cyanophycées	8%	18%	16%
Dinophyceae	8%	12%	10%
Chlorophyceae	17%	12%	5%
<b>S2</b>			
Euglenophycées	22%	31%	35%
Diatomophycées	36%	31%	26%
Cyanophycées	14%	12%	22%
Dinophyceae	14%	13%	9%
Chlorophyceae	14%	13%	8%

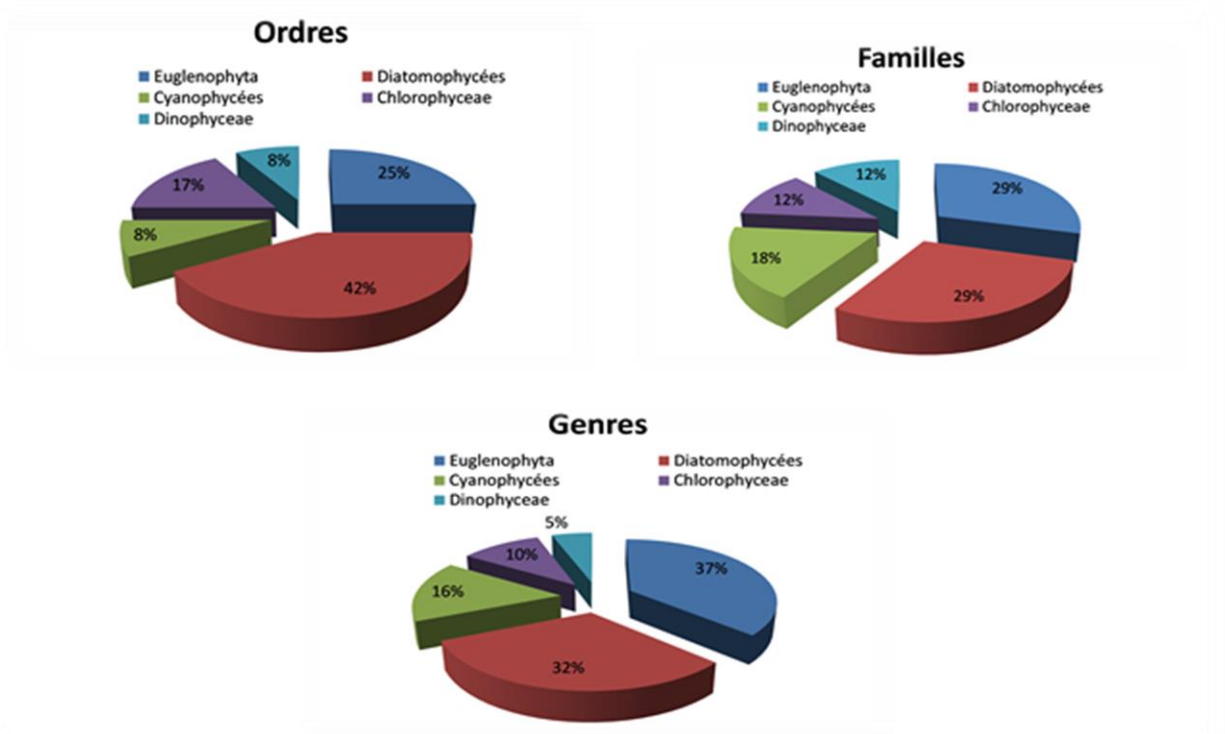


Figure 16. Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées au niveau du S1

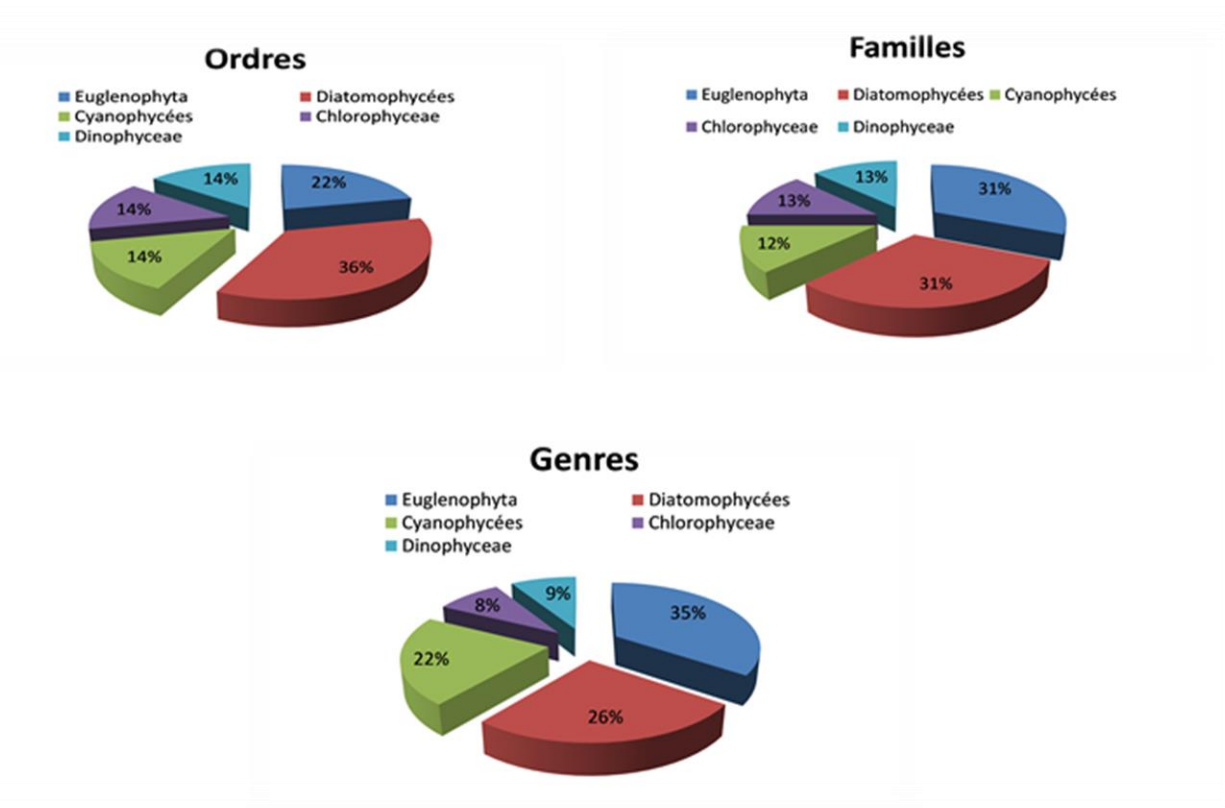


Figure 17. Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées au niveau du S2.

Nos données montrent que sur 25 genres identifiés, 3 sont potentiellement toxiques (soit 12% de la population phytoplanctonique) appartenant à la famille des Cyanophycées. (Tab.11)

**Tableau 11.** Les principaux genres phytoplanctoniques reconnus potentiellement toxiques

Type de toxicité	Genres
Hépatotoxique	<i>Oscillatoria sp.</i>
Dermatotoxique	<i>Lyngbya sp.</i>
Neurotoxique	<i>Anabaena sp.</i>

Selon Benoufella et *al.*, (1995), Les *Cyanophycées* présentent trois formes de toxicité : hépatotoxiques tel *Oscillatoria*, dermatotoxique avec le genre *Lyngbya* et neurotoxique tel que *Anabaena*.

Selon Sournia et *al.*, (1990), le phytoplancton aquatique se compose de plus de 6.000 espèces d'algues unicellulaires. Parmi elles, près de 600 espèces sont connues pour provoquer occasionnellement, par leur pullulation, une modification de la couleur de l'eau ; d'autre part, une quarantaine d'espèces provoquent des nuisances diverses telles que des intoxications pour l'homme ou la mortalité.

La majorité des micro-algues répertoriées dans les deux stations sont des espèces cosmopolites à large spectre écologique qui peuplent aussi d'autres sites à savoir les barrages, les lacs, les oueds..etc (Chaibi, 2014).

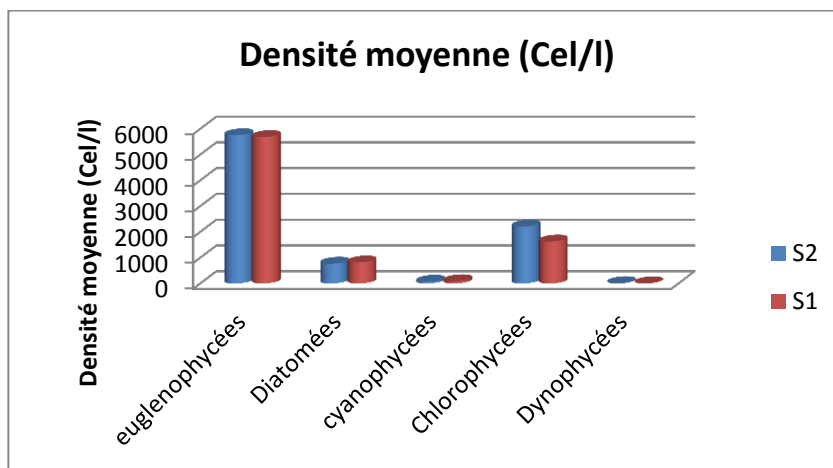
## 2.2. Densité moyenne globale

### ❖ Densité moyenne globale par classe :

Les résultats de notre comptage du S1 et S2 du site d'étude Oued Bakhdach font apparaître la prédominance des individus de la classe des Euglénophyceae qui comptabilisent une densité moyenne proche de 5680,26 ind/l et 5750,91 ind/l (soit 69,15% et 65,30% de la biomasse algale) respectivement (Tab.12); ces derniers sont suivis par les Chlorophyceae, les Diatomophyceae, les cyanophyceae et, les dynophyceae qui représentent moins de 0,1% de la biomasse (Fig.19).

**Tableau 12.** La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par station.

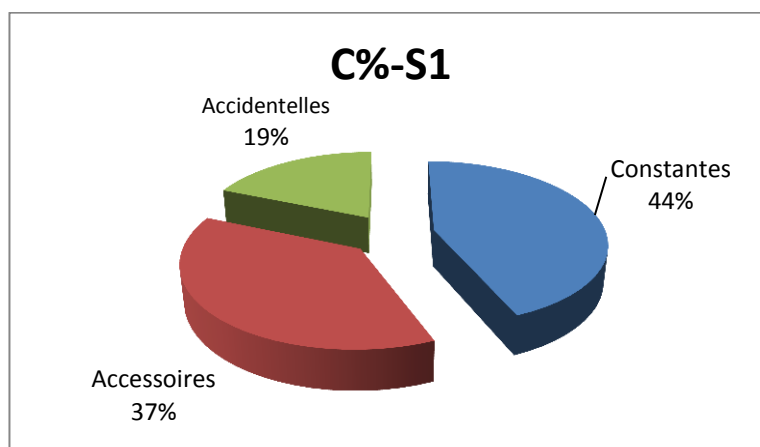
Classe	ni (Cel/l)	
	S1	S2
<b>Euglénophyceae</b>	5680,26	5750,91
<b>Diatomophyceae</b>	814,83	767,73
<b>Cyanophyceae</b>	86,35	69,08
<b>Chlorophyceae</b>	1626,52	2205,85
<b>Dynophyceae</b>	6,28	12,56



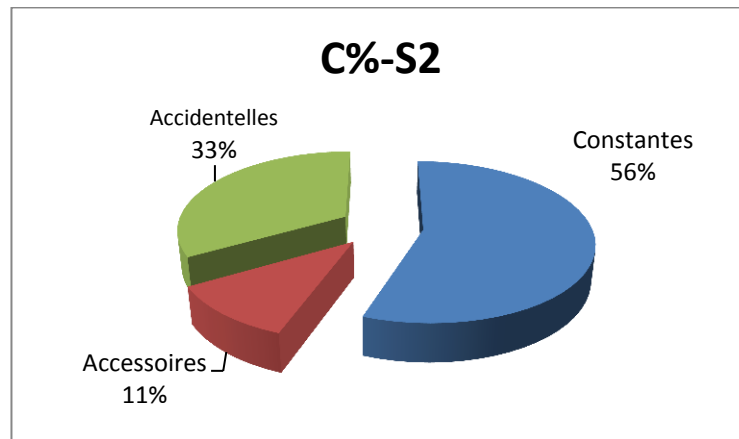
**Figure 18.** La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par station.

### 2.3. Les fréquences d’occurrence

Les fréquences d’occurrence sont calculées afin de définir l’organisation et la structure du peuplement de phytoplancton inventorié. Les résultats obtenus sont présentées dans la figure (20, 21).

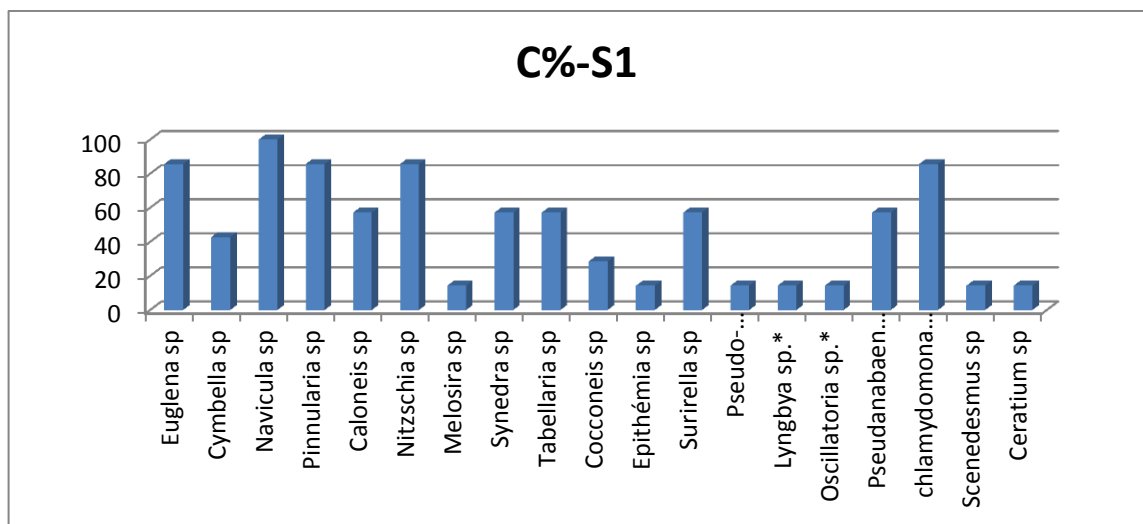


**Figure 19:** Fréquences d’occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station 1.

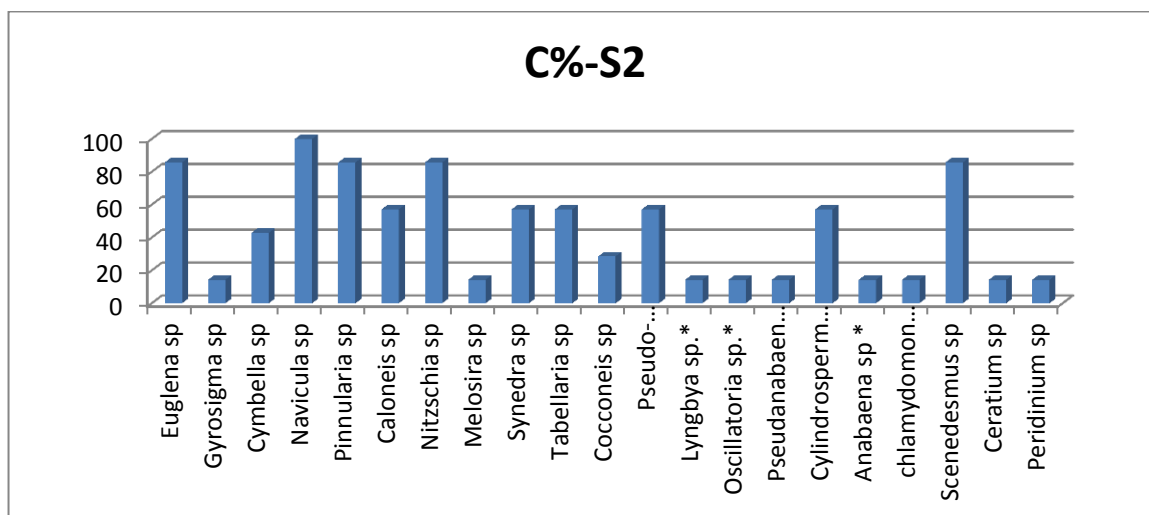


**Figure 20:** Fréquences d’occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station 2.

Les résultats obtenus pour S1 et S2 indiquent que la majorité des espèces sont constantes (soit 44%, 56%) respectivement, la faible présence des espèces accessoires dans la S2 (11%) est en relation avec les exigences bioécologiques de celle-ci.



**Figure 21:** Fréquences d’occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station 1.



**Figure 22:** Fréquences d'occurrence (%) des espèces phytoplanctoniques recensées dans la station 2.

#### 2.4. Evolution de l'abondance relative par espèce de phytoplancton recensé

##### ❖ Fréquences en nombre par espèce recensées

Les fréquences en nombre sont calculées pour marquer l'importance numérique des différentes espèces phytoplanctoniques recensées.

D'une manière globale, ce sont les espèces *Eugléna sp* et *Chlamydomonas sp* qui représentent la majorité des effectifs de phytoplancton recensé dans les deux stations (soit 54,44% et 18,39%) pour S1 et (32,14 et 25,03%) pour S2 respectivement.

En seconde et troisième position se classent les espèces *Navicula sp*, *surirella sp* et *Nitzschia sp* à S1 (soit 4,88% ; 4,76% et 3,31%) respectivement et *Nitzschia sp*, *Navicula sp* à S2 (soit 14,72% ; 11,65%). Les autres espèces se présentent avec des pourcentages inférieurs à 0,3% (Fig. 24 et 25).

La présence des conditions favorables et l'absence des facteurs limitant pour les espèces *Eugléna sp* et *Chlamydomonas sp* favorisent leur abondance en nombre dans les deux stations. En revanche, les faibles pourcentages notés pour les autres espèces sont dus aux exigences particulières de chaque espèce, mais aussi peuvent être en relation avec des phénomènes de concurrence ayant lieu entre les différentes espèces.

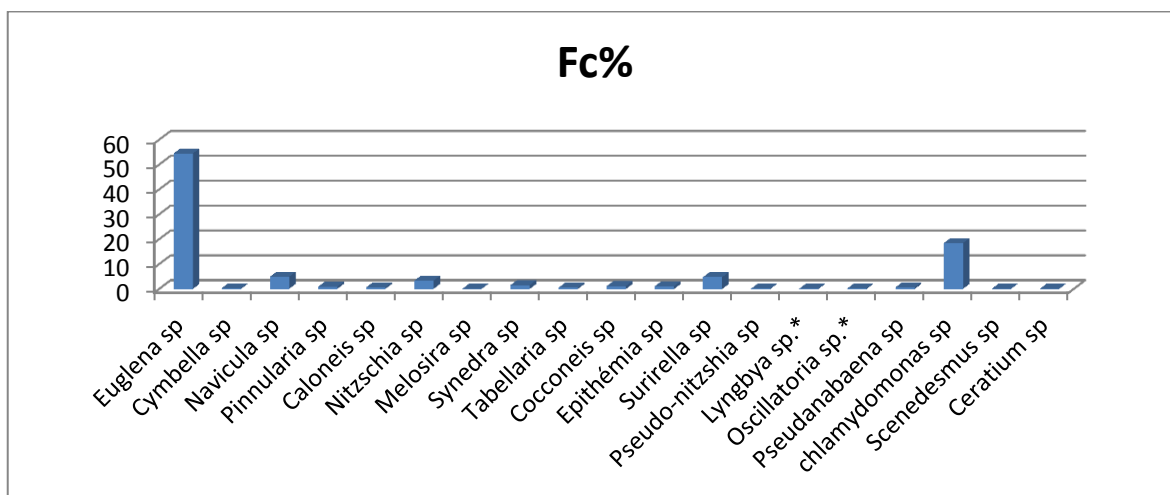


Figure 23. Les fréquences en pourcentage des différentes espèces de la S1.

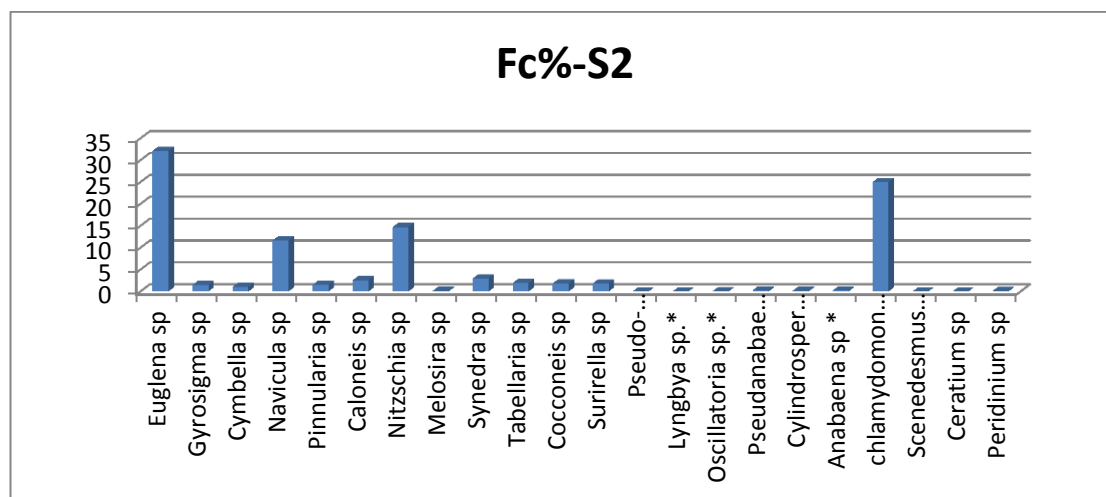


Figure 24. Les fréquences en pourcentage des différentes espèces de la S2.

### 2.5. Indice de similitude de SORENSEN

En se basant sur la présence ou l'absence des espèces, nous avons comparé à l'aide du calcul de l'indice de similitude de SORENSEN, la composition du peuplement phytoplanctonique des deux stations, ainsi que pendant les sept (07) relevés réalisés pris deux à deux. Cet indice est obtenu à partir des espèces communes entre les relevés pris deux à deux. (Tab. 15 et 16).

**Tableau 13.** Indice de similitude de SORENSEN des 5 mois de suivis au niveau de S1

S1	08-déc	28-déc	15-janv	30-janv	17-févr	27-mars	10-avr
<b>08-déc</b>	100						
<b>28-déc</b>	77.77	100					
<b>15-janv</b>	66.66	73.68	100				
<b>30-janv</b>	42.1	58.82	80	100			
<b>17-févr</b>	72.72	70	78.26	76.19	100		
<b>27-mars</b>	26.66	46.15	50	57.14	47.05	100	
<b>10-avr</b>	77.77	71.42	70.58	80	66.66	72.72	100

**Tableau 14.** Indice de similitude de SORENSEN des 5 mois de suivis au niveau de S2

S2	08-déc	28-déc	15-janv	30-janv	17-févr	27-mars	10-avr
<b>08-déc</b>	<b>100</b>						
<b>28-déc</b>	80	<b>100</b>					
<b>15-janv</b>	84.21	37.5	<b>100</b>				
<b>30-janv</b>	70	58.82	95.23	<b>100</b>			
<b>17-févr</b>	70.58	71.42	100	94.73	<b>100</b>		
<b>27-mars</b>	37.5	46.15	58.82	44.44	53.33	<b>100</b>	
<b>10-avr</b>	61.53	80	71.42	66.66	83.33	18.18	<b>100</b>

#### ❖ Similitude dans l'espace

L'indice de similitude calculé est égal à 76.47 %, cette similitude entre les deux stations s'explique par le fait qu'elles offrent généralement les mêmes conditions écologiques au peuplement du phytoplancton présent.

#### ❖ Similitude dans le temps

La valeur maximale de l'indice de similitude au niveau du S2, est notée entre le 15 Janvier et 30 Janvier (soit 95.23%).

Par ailleurs la station 1 enregistre deux valeurs maximales de similitude entre le 15 Janvier, 30 Janvier et entre 30 Janvier et Avril.

Dans les deux stations d'étude, le mois de janvier présente le plus de similitude avec les autres mois de l'étude prises deux à deux avec des taux supérieurs à 94%.

La ressemblance dans le temps n'est pas trop importante qu'en mois de janvier qui représenterait un mois modèle, cela est en relation avec la variation des conditions climatiques (saisonnalité).

## 2.6 Variation des paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique

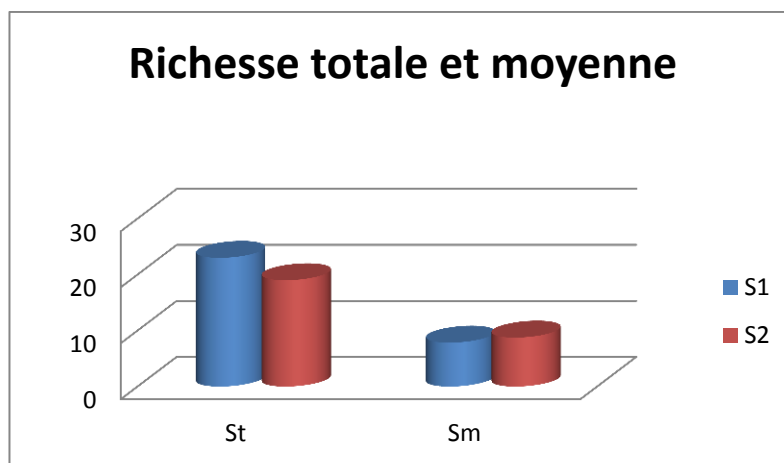
Afin d'évaluer la composition du peuplement du phytoplancton, nous avons calculé la richesse spécifique totale (S) et moyenne (Sm), l'indice de diversité de SHANNON et celui de l'équitabilité pour les deux stations d'étude (Tab. 15).

**Tableau 15** : Les paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique

	Site 01	Site 02
« S »	19	23
« Sm »	8.75	7.85
« H' »	2.13	2.77
« H max »	4.018	4.18
« E »	0.50	0.664

### ❖ Richesse générique totale (S)

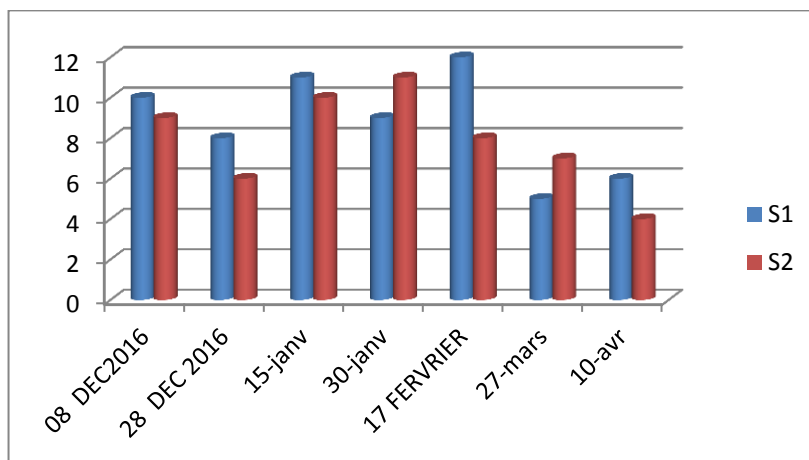
La plus grande valeur de la richesse totale est notée dans la S2 avec 23 genres et 19 genres pour la S1 (Fig. 21). Pour la richesse moyenne, il n'existe pas de différence entre les deux stations (soit 8,75 et 7,85 pour les stations 2 et 1 respectivement).



**Figure 25.** Variation de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.

Dans le temps, la richesse totale varie d'un mois à un autre et d'une station à une autre. On note pour le mois de Février le plus grand effectif en genres enregistré était au niveau de la première station (12 genres), suivi par le 15 janvier, 08 Décembre avec respectivement 11 et 10 genres, cependant au niveau de la S2 le 30 janvier est le plus riche en espèces suivi par le 15 Janvier, avec 11 et 10 genres respectivement. Le mois d'avril révèle une richesse faible avec 4 genres à S2. Sont les mois de Janvier, février

qui permettent le développement d'un peuplement plus diversifié en nombre d'espèces. (Fig. 26).



**Figure 26.** Variations mensuelles de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.

#### ❖ Indice de diversité de Shannon H'

L'indice de diversité de Shannon H' calculé au niveau des deux stations d'étude indique que le peuplement phytoplanctonique de notre site d'étude est diversifié avec des valeurs de 2,13 et 2,77 dans les deux stations respectivement.

#### ❖ Indice d'équitabilité E

Les valeurs d'indice d'équitabilité obtenues pour S1 et S2 tend vers le 1 (0,50 ; 0,66) respectivement, cela signifie que dans les deux stations il y a entre 50 et 60 % des espèces représentent l'abondance globale du peuplement.

## 2. Analyse des corrélations

### 3.1. Analyse des corrélations entre les paramètres physico-chimiques eux même et le peuplement phytoplanctonique

Afin de montrer la possible corrélation existant entre les paramètres physicochimiques entre eux et avec la densité phytoplanctonique étudiés, nous avons réalisé une analyse des corrélations. Les résultats obtenus sont démontrés dans les tableaux ci-dessous.

#### ❖ Station 1 :

Au niveau d'un seuil de signification  $\alpha = 0,05$  :

- Les euglènes sont inversement proportionnelles aux valeurs de pH. Autrement dit, dès que l'alcalinité augmente, ce paramètre devient de plus en plus limitant à la croissance des *Euglénophycées*.

- le genre *Caloneis sp* est fortement corrélé à la concentration de PO<sub>4</sub>, dans ce cas les orthophosphates sont considérés comme un facteur favorisant à la croissance de ce genre.
- Les euglènes, le genre *Caloneis sp* et les *Chlamidomonas sp*, sont fortement inversement proportionnelles avec l'augmentation de pH. En d'autres termes, dès que l'alcalinité augmente ce paramètre devient de plus en plus limitant à la concentration des *Euglénophycées*.

**Tableau 18.** Corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'eau et les espèces algales de S1.

	pH	PO <sub>4</sub>
<b>Euglénophycées</b>	<b>r = 0,814</b> <b>p = 0,026</b>	/
<i>Cocconeis sp</i>	<b>r = 0,881</b> <b>p = 0,009</b>	/
<i>Chlamydomonas sp</i>	<b>r = 8,826</b> <b>p = 0,021</b>	/
<i>Péridinium sp</i>	/	<b>r = 0,989</b> <b>p = 0,000</b>
<i>Caloneis sp</i>	/	<b>r = 0,999</b> <b>p = 0,000</b>

### ❖ Station 2

Au niveau d'un seuil de corrélation  $\alpha = 0,05$  :

- Les paramètres physiques : pH, salinité et conductivité sont corrélés inversement proportionnellement avec la densité algale globale.
- Les orthophosphates considérés comme le bon élément pour la croissance et la multiplication des algues (Tab. 19).

**Tableau 19.** Corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'eau et la densité algale de S2.

	pH	Conductivité	Salinité	Orthophosphates
<b>Densité algale</b>	<b>r = 0,808</b> <b>p = 0,015</b>	<b>r = 0,803</b> <b>p = 0,016</b>	<b>r = 0,876</b> <b>p = 0,021</b>	<b>r = 0,908</b> <b>p = 0,002</b>

## Conclusion

Dans le but de caractériser l'environnement physico-chimique du milieu aquatique; l'élaboration d'un inventaire de la communauté algale; ainsi que l'identification des facteurs déterminant l'état de qualité des eaux de deux stations a l'Oued Bakhdach, le suivi d'un programme de sept relevé a été adopté entre 08 Décembre 2016 et 10 Avril 2017 nous a permis de déduire les conclusions suivantes :

- L'analyse physico-chimique indique une alcalinité des eaux des deux stations, les nitrates présentent des valeurs faibles au niveau des deux stations avec respectivement 1,22mg/l et 1,33mg/l. Même chose pour les orthophosphates qui ont marqué des teneurs faibles avec des moyennes de 0,15mg/l et 0,14mg/l pour S1 et S2 respectivement.

-L'analyse des aspects qualitatifs du peuplement phytoplanctonique, révèle la présence de 25 genres repartis en 16 ordres, 19 familles et 5 classes qui sont : Les *Diatomophyceae*, *Euglénophycées*, *Cyanophyceae*, *Chlorophycées* et *Dynophycées*.

-La quasi-totalité de la biomasse algale est dominée par les espèces de la classe des *Euglénophycées* (soit 37% pour S1 et 35% pour S2).

-Sur les 25 genres identifiés, 12% sont connus potentiellement toxiques : *Oscillatoria sp* (Hepatotoxique) et *Lyngbya sp* (Dermatotoxique), *Anabaebna sp* (Neurotoxique) cela indique que cet écosystème n'est pas à l'abri d'éventuelles activités anthropiques.

-L'étude de la distribution temporelle montre que le mois de février est le plus favorable au développement des phytoplanctons (en particulier les *Euglénophycées*) pour les deux stations.

-L'analyse des indices écologiques montre que la population algale est diversifiée dont l'indice de Shannon tend vers le 1. Les classes identifiées sont constantes au niveau des deux stations d'Oued Bakhdach ce qui le rend stable et favorable au développement des micro-algues.

La qualité physicochimique de l'eau analysée conditionne le développement de la population algale. A partir de l'analyse des corrélations on déduit que la conductivité, la salinité, le pH, les taux des d'orthophosphates sont les paramètres clés au développement des algues.

Donc, d'une manière générale, l'absence des indices de pollutions indiquent que les activités anthropiques n'ont pas affecté la qualité physico chimique des eaux d'oued Bakhdach, ce qui le rend stable et favorable pour le développement, la reproduction et la propagation des espèces.

Ce travail vient compléter les travaux menés par (Lehzial, 2007 ; Othman, 2010 ; Nadjem et Ladjreb ,2011 et Abdelaziz, 2012) permettant de mieux connaître la qualité tant physico-chimique que biologique de l'eau, notamment par la connaissance de quelques aspects relatifs à la vie aquatique.

Toutefois, il serait intéressant de compléter ces résultats dans l'avenir par des études spécifiques concernant le phytoplancton, ainsi que d'autres éléments de la biocénose qui présentent de grands intérêts surtout du point de vue écologique.

Ces recherches devraient être menées sur des périodes plus longues et plus régulières afin d'assurer un suivi rigoureux et de pallier à d'éventuelles perturbation bioécologiques des eaux des oueds.

## **Références bibliographiques**

1. Abadli M et Harkati G., 2015. Contribution à l'inventaire des quelques microalgues vertes d'intérêt nutritionnel dans quelques zones humides de la wilaya d'El Oued (Lac Ayata , Chott Merouane, Sife Lemnade , STEP Kouinine) Algérie. Univ Hamma Lakhdar d'El Oued. 60p.
2. Amri S., 2008. Dynamique mensuelle du phytoplancton dans le lac Oubeira et le lac Noir « Parc National EL-Kala ».thèse Magister Microbiologie Moléculaire.
3. Amzil, Z. & Motteau, L., 2000. Toxines amnésiantes en France. Rapport interne IFREMER/DEL/MP/RST/00/07 Nantes. 37p.
4. Analysis of Freshwater Ecosystems: Freshwater Systems. Washington DC, USA; World Resources Institute. 83p.
5. Anderson, DM. & White, AW., 1992.Marine biotoxins at the top of the food chain. *Oceanus*. 35 (3): 55-61.
6. Anderson, DM. & White, AW., 1992.Marine biotoxins at the top of the food chain. *Oceanus*. 35 (3): 55-61.
7. Angelier E ., 2003. Introduction à l'écologie. Des écosystèmes naturels à l'écosystème humain. Edit : Tec et Doc, paris. 230 p.
8. Angelier E., 2000. Ecologie des eaux courantes. Edit : Tec et Doc, paris. p.
9. Angelli N., 1980. interaction entre la qualité des eaux et les éléments de son plancton. Gauthier Villars, pp. 97- 146
10. ANIREF., (2011) – Agence Nationale d'intermédiation et de régulation foncière, Rubrique Monographie wilaya de Laghouat .30p.
11. Anneville O., Angelli N., Ginot V., Pelletier JP., 2001. Ambiguïté sur l'état trophique du Léman : vers un indice fondé sur les associations des espèces. In Etat de santé des écosystèmes aquatiques 1996-1999., Cemagref. Edition pp. 153-175.
12. ANONYME 1.,(2012) – Plan d'aménagements touristiques de site bakhdach commune- sidi mekhlouf. Direction d'hydraulique. 17p.
13. Barbault C., (1981) – Écologie des populations et des peuplements. Ed.Masson, Paris, 200 p.
14. Barroin G, 1999. Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. I.N.R.A. Thonon -les-Bains, 119p.
15. Barsanti L, Gualtieri P., 2014.Algae Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. editonmsd LLC. Taylor et Francis.320p.
16. Benoufella F., Vezie C., Laplanche A. & Bertru G., (1995) - Detection of the toxicity of cyanobacterial strains by Artemia Salina and Microtox assays. 1st international Congress on Toxic Cyanobacteria - Roskilde, Danemark: pp 20-24.
17. Bigot L. & Bodot P., (1973) - Contribution à l'étude biocénotique de la garrigue à
18. Binderheim E., Göggel W., 2007 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Aspect général. L'environnement pratique no 0701. Office fédéral de l'environnement, Berne. 43 p.
19. Blais S. 2008. Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières, 3e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement

- durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550- 52408-3 (version imprimée), 54 p.
20. Blais S., 2003. la problématique des cyanobactéries(algues bleu-vert) à la baie de Missisquoi en 2001. Agrosol, vol. 13. N° 2, pp. 103- 110.
  21. Blondel J., (1979) – Biogéographie écologie, Masson, Paris, 173 p.
  22. Bouchar F. 2010. Mesure de Salinité- réalisation d'un conductimètre. TENUM Toulouse.
  23. Bouchrai S (1992) . Diagnostic et contrôle du phénomène d'eutrophisation du barrage de Keddara-Algérie SBGI. Lausanne Suisse, 10p.
  24. Bourrelly P., 1966. les algues d'eau douces, initiation à la systématique. Tome 1 : Les algues vertes. Edition N. Boubée et Cie, Paris, 572p.
  25. Branchu P., Bergonzini L., Benedetti Ambrosi J. P. & Klerkx J., (2005) - Sensibilité à la pollution méthanique de deux grands lacs africains (Tanganyika et Malawi). Revue des Sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau 18/spécial : 161-180.
  26. C.D.F., (2008) –Conservations des forets. Inventaire de principales espèces floristique et faunistique dans la wilaya de Laghouat.
  27. Chaibi R, 2014. Connaissance de l'Ichtyofaune des eaux continentales de la région des Aures et de Sahara septentrional avec sa mise en valeur. Thèse de doctorat. Univ Mohammed Khider-Bisikra. 210 p.
  28. Chorus I., Bartram J., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon: London. 416 p. (Reynolds 1987).
  29. Chorus I., Bartram J. 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon: London. 416 p.
  30. Couté A., & Chauveau O., 1994. Algae. Encyclopaedia Biospeologica I, éd., Société de Biopédologie, ISSN 0398-7973, 3ème trimestre : 371-380.
  31. Coute A., 1995. Diversité chez les micro-algues. TSM; 01-1995, pp. 20-24.
  32. D.P.S.B.,(2011) – Direction de programmation et suivi de budget. Monographie de la wilaya de lagouhat, 183p.
  33. Dabadie L., 1992. Cultures intensives de microalgues sur lisier de porc Performance, contraintes, utilisation de biomasse. D.A.A., E.N.S.A., Montpellier. Dip. DEA., 125p
  34. Dagnelie P., (2000) - Statistiques théorique et appliquées. Bruxelles Université de Boeck et Larcier, pp659.
  35. Dajoz R. 2003. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615p.
  36. DAJOZ. R., (1985) – Précis d'écologie. Éd. Dunod, Paris. 505p.
  37. DAJOZ. R., (1985) – Précis d'écologie. Éd. Dunod, Paris. 505p.
  38. Dauta A., Feuillade., 1995 – Croissance et dynamique des populations algales. IN Pourriot R. et Meybeck M. ( eds ). Limnologie générale. Masson, Paris Milan Barcelone. Collection Ecologie. Pp 328 – 350.
  39. De Reviers B., 2003. Biologie et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences. Tome 2 : 255p.
  40. De-Riviers B., 2003. Biologie et phylogénie des algues. Tome : 2. Edit : Belin, 255p.

41. De-Riviers B., 2003. Biologie et phylogénie des algues. Tome : 2. Edit : Belin, 255p.
42. Disponible sur [www.environnement-suisse.ch/uv-0701-f](http://www.environnement-suisse.ch/uv-0701-f)
43. Druart J.C. et Rmet F. 2008. Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA-Thonon, Rapport SHL 283, 96 p.
44. Dussart B., (1992) - Limnologie. L'étude des eaux continentales. 2ème édition. Collection 'Faunes et flores actuelles', 680 p.
45. Eggermont H., Verschuren D., (2003) - Impact of soil erosion in the disturbed tributary drainages on the benthic invertebrate fauna of Lake Tanganyika, East Africa. *Biological conservation*, 113: 99-109.
46. El Blidi .S, Fekhaoui M., (2003) – Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, 25 : 57–65p.
47. Emberger, L. 1950. Report on the arid and semi-arid regions of North Africa. Unesco. International Union of Agricultural Sciences.
48. Ezzaouaq M., (1991) – Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé. Thèse D.E.S. Fac. Sci. Rabat, 140p.
49. Feki Sahnoun W., 2013. Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations phytoplanctoniques observées dans le réseau national de surveillance du phytoplancton dans le golfe de Gabés.
50. FILALI R.,2012. Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO2.thèse doctorat Sciences et Technologies de l'Information des télécommunications et des Systèmes automatiques. HAL.221p
51. Findley DL., Klingh HJ., 1994. protocole de mesure de la biodiversité : Le phytoplancton d'eau douce. Ministère des pêches et océans Institut des eaux douces. 501 University Crescent Winnipeg (Manitoba) R3T2N6 Canada. 17P
52. Frontiers S., Pichod-Viale D., Lepretre A., Davoult D., Luczak C., (2004). *Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution*. 3éd. Dunod, Paris, 549 p.
53. Gana N., 2014. Détermination de certains paramètres biochimiques urinaires chez le rat wistar recevant un régime cafeteria supplémenté en algues vertes. Mémoire Mastère physiopathologie cellulaire. Université Abou Bekr Belkadi Tlemcen.41p.
54. Gayral P., 1975. Les algues : Morphologies, Cytologie, Reproduction, Ecologie-ed : DOIN, Paris, p.12, 49, 52.
55. Ghedadbia M., 2012. La contribution à l'identification générique des cyanobactéries potentiellement toxique et l'étude de leurs paramètre de croissance : Cas du Lac Tonga. Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar Annaba. 102p.
56. Goffart A., Hecq J.H. and Legendre L. 2012. How is phytoplankton of the oligotrophic Bay of Calvi (Corsica, Northwestern Mediterranean) responding to ongoing global change.
57. Grogga N., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). 224p. Univ de Toulouse.
58. HADE A., (2002) – Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.

59. Hade A.,( 2002) – Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.
60. Hamdi M ., Ait kaci I . 2008. Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'embouchure de l'oued \_Beni-Messous.
61. Harris G.J., 1986. Phytoplankton ecology: Structure, function and fluctuation. Chapman and Hall, London.
62. HEBERT S., LEGRE S. (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
63. Hecker N., Costa L T., Farinha J.C. et Tomas Vives P. 1996. Inventaire des zones humides Méditerranéennes : Collecte des données. Publication Med Wet / Wetlands International / Instituto da Conservação da Natureza. Volume II, Lisbonne. 99p.
64. HIMMIN, FEKHAOU M, FOUTLANE .A., BOURCHIC H., EL MMAROUFY M., BENAZZOUT T., HASNAOUI M.,(2003) – Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Universitadegli studi di perugia, Departemento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”, 110–111p.
65. Houari A, 2009. Diversité saisonnière des assemblages phytoplanctoniques dans la retenue de barrage de Sidi-Yacoub (Chlef). Impact des facteurs biotiques et abiotiques sur l'évolution de la qualité de l'eau. 64 p. Univ Hassiba Ben Bouali, Chlef.
66. IDEALG., 2014. Etude de la consommation des algues alimentaires en France. AGROCAMPUS OUEST. France.71p.
67. Iltis A., 1982. Peuplements algaux des rivières de Cote D'Ivoire. Rev. Hydrobiol. Trop. 15 (3) : pp 241-251.
68. Jacquet S; (2005). Impact des apports en nutriments sur le réseau trophique planctonique du lagon sud-ouest de la Nouvelle Calédonie. Thèse, Doc. Univ. Paris VI 278p
69. Jamet, J.L., Bogé, G., Richard, S., Geneys, C., Jamet, D., 2001. The zooplankton community in bays of Toulon areas (northwest Mediterranean Sea, France). Hydrobiologia 457, 155-165.
70. Korringa, P. & Roskam, RT., 1961. An unusual case of mussel poisoning. Int. Cons. Explor. Sea. CM/Shellfish Commitee, 2 p.
71. Korringa, P. & Roskam, RT., 1961. An unusual case of mussel poisoning. Int. Cons. Explor. Sea. CM/Shellfish Commitee, 2 p.
72. Lassus, P., 1999. Effect of a continuous supply of the toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* halim on the feeding behavior of the pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg). J. Schell. Rea. 18 (1): 211-216.
73. Lassus, P., Berthomé, JP., Maggi, P., Truquet, P., Le Dean, L., 1988. Seasonal occurrence of *Dinophysis* sp. along the French coast between 1983 and 1987. Aquatic Living Resources. 1(3): 155-164.

74. Lassus, P., Berthomé, JP., Maggi, P., Truquet, P., Le Dean, L., 1988. Seasonal occurrence of *Dinophysis* sp. along the French coast between 1983 and 1987. *Aquatic Living Resources*. 1(3): 155-164.
75. Lassus, P., Ledoux, M., Bardouil, M., Bohec, M., Erard, E., 1994. Kinetics of *Alexandrium minutum* toxin accumulation in mussels and clams. *Nat. Toxins*. 2 (5): 329-333.
76. Lavoie I., Hamilton P., Campeau S., Grenier M.; Dillon, P. 2008. Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du Canada. l'Université du Québec
77. Leveque C., 2001. De l'écologie à la biosphère. Dunod. Paris 502p.
78. Loreau M., Oteng -Yeboah A., Arroyo M.T.K., Babin D., Barbault R., Donoghue M., Gadgil M., Hauser C., Heip C., Larigauderie A., Ma K., Mace G., Mooney H.A., Perrings C., Raven P., Sarukhan J., Schei P., Scholes R.J., Watson R.T., (2006) - Diversity without representation. *Nature*, 442: 245-246.
79. Louis L, 2009. Le phytoplancton des eaux douces. L'ERABLE. 3<sup>e</sup> trimestre. 20p.
80. Magurran A.E., (1988) - Ecological diversity and its measurement. Princeton
81. Margalef R., 1984 . Le plancton de la Méditerranée. *La recherche* 158(15) : 1082-1094
82. mer. 7<sup>ème</sup> édition, Dunot, Paris.
83. Mollo Pierre., Noury Anne. (2013). Le manuel du plancton. Editions Charles Léopold Mayer. 201p.
84. Mur L.R., Skumberg O.M., et Utkilen H. 1999. Cyanobacteria in the Environment. In: Chorus, I. et Bartram, J. (eds.). *Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management*. WHO Ed. E & FN SPON. pp 41-111.
85. Mur L.R., Skumberg O.M., et Utkilen H. 1999. Cyanobacteria in the Environment. In: Chorus, I. et Bartram, J. (eds.). *Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management*. WHO Ed. E & FN SPON. pp 41-111.
86. Ngansoumana BA., 2006. La communauté phytoplanctonique du lac de Guiers (Sénégal) : types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs de régulation. Thèse Doc. 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Cheikh Anta Diop Dakar (Sénégal) 155p.
87. O.N.M., (2017) –Office National de la Météorologie : Bulletin d'information.
88. Ogutu-Ohwayo R., Robert E., Hecky A. S., Cohen & Les Kaufman, 1997. Human impact in the African Great Lake. *Environmental Biology of Fishes* 50: 117–13.
89. Pierre JF., 2001. Catalogue des algues du Nord-est de la France et des régions attenantes. *Bull. Acad. Lorraine, des Sci.* 40,3. 100p
90. Pinnel-Alloul B., Mazumder A., Lacroix G., Lazzaro X., (1998). Les réseaux trophiques lacustres : Structure, fonctionnement interactions et variations spatio-temporelles. *Rev. Sci. Eau*, N° spécial : 163-197.
91. *Quercus coccifera* – Composition biotique du peuplement des invertébrés. *Vie et Milieu*, Vol. 23, Fasc. 2 (Sér. C) : pp 229-249.

92. Ramade F., (1984) - Eléments d'écologie: écologie fondamentale. Ed. Mc. Graw & Hill, Paris, 576 p. Krebs, 1989.
93. Ramade F., (1999) - Le grand massacre : L'avenir des espèces vivantes. Hachette littératures. Évreux. ISBN : 201235341X.
94. Ramade F. 1984. Eléments d'écologie : Écologie fondamentale. Éd. Mc. Graw – Hill, Paris. 397p.
95. Ramade P., 2005. Eléments d'écologie : écologie appliquée. Edit Dunod. 6<sup>e</sup> édition. Paris, 863p
96. Ramade P., 2005. Eléments d'écologie : écologie appliquée. Edit Dunod. 6<sup>e</sup> édition. Paris, 863p
97. Rejsek F. 2002. Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Ed. CRDP Aquitaine. 360p.
98. Revenga C., Brunner J., Henninger N., Kassem K., & Payne R., (2000) – Pilot
99. Revkin A., (1992) - Global Warming: Understanding the Forecast, American Museum of Natural History, Environmental Defense Fund, New York, Abbeville Press, 180p.
100. Richardson, K., 1997. Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Advances in Marine Biology*. 31: 301-385.
101. Richardson, K., 1997. Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Advances in Marine Biology*. 31: 301-385.
102. Richardson, K., 1997. Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Advances in Marine Biology*. 31: 301-385.
103. Ricklifs et Miller., 2005. Ecologie. Edit. De Boeck. 821p
104. Rodier J. (1984) Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de
105. Rossi N. 2008. Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (Toulon, France).
106. Sournia A., (1986) – Atlas du phytoplancton marin: Vol 1- Cyanophycées, Dinophycées Dictyochophycées, Raphidophycées. Ed. CNRS. Parris, 219 pp.
107. Sournia, A., Belin, C., Berland, B., Erard-Le Denn, E., Gentien, P., Grzebyk, D., Marcaillou-Le-Baut, C., Lassus, P., Partensky, F., 1991b. Noxious phytoplankton species on the coasts of France: From biology to prevention. IFREMER. 154p.
108. Sournia, A., Chretiennot-Dinet, MJ., Ricard, M., 1991a. Marine phytoplankton: How many species in the world ocean? *Journal of Plankton Research*. 13 (5): 1093-1099.
109. Stewart P. 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. *Bull. Int. Nati. Agro. El Harrach* : 24 – 25.
110. Teitelbaum, JS., Zatorre, RJ., Carpenter, S., Gendron, D., Evans, AC., Gjedde, A., Cashman, NR., 1990. Neurologic sequelae of domoic acid intoxication due to the ingestion of contaminated mussels. *New England Journal of Medicine*. 322 (25): 1781-1787.
111. Teitelbaum, JS., Zatorre, RJ., Carpenter, S., Gendron, D., Evans, AC., Gjedde, A., Cashman, NR., 1990. Neurologic sequelae of domoic acid intoxication

- due to the ingestion of contaminated mussels. *New England Journal of Medicine*. 322 (25): 1781-1787.
112. Terbah K; 2007. Contribution à l'étude de quelques paramètres physico-chimiques, hydrobiologies (phytoplanctons) et bactériologiques des eaux (cas de l'oued Tadmit).
113. Therriault L.B., Poulin M. et Bosse L. 1999. Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint- Laurent. Ed. NRC : Research press. Paris. 387 p.
114. UNEP/MAP/MEDPOL. (2004) Guidelines on environmental inspection systems for mediterranean region. MAP technical reports series N° 149.
115. University Press, Princeton, New Jersey, 197p.
116. Valyron F., 1994. mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement. Tome 1. Edit. tec. & Doc. Paris. 375p
117. Vaquer A., Pons V., Lautier j. 1997. Distribution spatio-temporelle du phytoplancton dans le réservoir de Petit-saut (Guyane française). *Hydroecol. Appl.* Tome 9, Vol. 1-2, pp 169-193.
118. Wright, JLC., Boyd, RK., Freitas, ASW., Falk, M., Foxall, RA., Jamieson, WD., Laycock, MV., McCulloch, AW., McInnes, AG., 1989. Identification of domoic acid, a neuroexcitatory amino acid in toxic mussels from eastern Prince Edward Island. *Canadian Journal of Chemistry*. 67 (3): 481-490.
119. Wright, JLC., Boyd, RK., Freitas, ASW., Falk, M., Foxall, RA., Jamieson, WD., Laycock, MV., McCulloch, AW., McInnes, AG., 1989. Identification of domoic acid, a neuroexcitatory amino acid, in toxic mussels from eastern Prince Edward Island. *Canadian Journal of Chemistry*. 67 (3): 481-490.
120. Zalasiewicz J., Williams M., Smith A., Barry T.L., Bown P.R., Rawson P., Brenchley P., Cantrill D., Coe A.E., Cope J.C.W., Gale A., Gibbard P.L., Gregory F.J., Hounslow M., Knox R., Powell P., Waters C., Marshall J., Oates & Stone P., (2008) - Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today* 18 (2): 4-8.
121. Zingone A., Casotti R., d'Alcala M.R., Scardi M. et Marino D. 1995. St Martin's Summer: the case of an autumn phytoplankton bloom in the Gulf of Naples (Mediterranean Sea). *J. Plankton Res.* 17: 575-593.
- <http://www.algaebase.org>  
<http://www.cercles-naturalistes.be/Publications/Publicationstelechargeables/publicitelech.html>  
<http://www.idealg.ueb.eu/>  
[http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico\\_chimie\\_PresGen.htm](http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm)  
<http://www.unep.org>

**Annexe 01.** Les paramètres physico-chimiques mesurés par mois et par station.

**Station 1 :**

Date	08-déc	28-déc	15-janv	30-janv	17-févr	27-mars	10-avr
	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1
<b>T° (°C)</b>	11,6	8	4,6	6,8	13,7	12	10
<b>PH</b>	6,99	7,97	8,8	8,26	8,73	8,03	8,16
<b>Conductivité</b>	338	376	363	355	342	442	485
<b>Salinité %</b>	0,17	0,15	0,2	0,17	0,17	0,22	0,24
<b>MES g/l</b>	0,238	0,58	0,788	0,39	0,175	0,19	0,23
<b>Les orthophosphate mg/l</b>	0,11	0,11	0,09	0,6	0,04	0,05	0,05
<b>Les nitrates (mg/l)</b>	1,96	0,9	0,3	0,3	0	2,2	2,93

**Station 2 :**

Date	08-déc	28-déc	15-janv	30-janv	17-févr	27-mars	10-avr
	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
<b>T°</b>	11,1	7	5,7	7,3	11,1	11	9
<b>PH</b>	7	7,81	8,91	8,28	8,25	8,06	8,15
<b>Conductivité</b>	315	372	344	345	344	387	401
<b>Salinité %</b>	0,16	0,2	0,18	0,17	0,18	0,19	0,2
<b>MES</b>	0,283	0,5	0,52	0,18	0,657	0,1	0,73
<b>Les orthophosphate</b>	0,14	0,14	0,12	0,37	0,14	0,06	0,03
<b>Les nitrates</b>	1,81	0,8	0,3	0,4	0	2,8	3,2

