

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité: Microbiologie Appliquée

Département: Écologie et Génie de l'Environnement

THÈME :

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA BIODIVERSITE
PHYTOPLANCTONIQUE DANS LE LAC TONGA- EL-KALA (NORD-
EST ALGERIEN) PENDANT LA PERIODE HIVERNALE**

Présenté par :

- FERHI Ikram
- ZERAOULA Chourouk
- BOUTABET Amar

Devant le jury composé de :

Président:	Mr. MERZOUG Abdelghani	MCB	Université de Guelma
Examineur :	Mr. HOUHAMDI Moussa	Pr.	Université de Guelma
Encadreur :	Mr. ROUABHIA Kamel	MAA	Université de Guelma

Année universitaire: 2022/2023

Remerciements



Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le Tout-Puissant pour nous donner la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

La recherche n'est pas une activité solitaire et ce qui peut être présenté comme un travail personnel doit toujours beaucoup à de nombreuses collaborations. Le travail présenté ici ne fait pas une exception à cette règle et a bénéficié, à des degrés variés, de la bonne volonté de nombreuses personnes.

*Nous exprimons nos meilleurs sentiments de gratitude aux honorables membres du jury : **Mr. MERZOUG Abdelghani**, qui a l'honneur d'accepter la présidence du jury, et **Mr. HOUHAMDI Moussa**, qui a gracieusement jugé ce travail.*

*Nous remercions tout particulièrement notre directeur de thèse **Mr. ROUABHIA Kamel** pour sa supervision attentive tout au long du processus. Sa solide expertise, son engagement et son dévouement m'ont permis de développer une réflexion approfondie et de construire une mémoire de qualité. Ses précieux commentaires et ses suggestions éclairées ont joué un rôle essentiel dans l'amélioration de notre travail.*

*Nos remerciements vont plus particulièrement à **nos familles** qui ont su nous soutenir, nous encourager, nous aider et nous supporter tout au long des années.*

Nos vifs remerciements à l'ensemble des enseignants de la faculté de science de la nature et de la vie de l'université 8 Mai 1945 - Guelma. Ainsi à toute l'équipe de techniciens de laboratoires pour son aide durant la réalisation de ce travail.

Dédicace

﴿وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

Avec une profonde gratitude et une galanterie sincère, je dédie ce moment de succès à la grâce de Dieu. Mes louanges vont à Allah, le Seigneur des mondes, et mes prières et bénédictions sont envoyées au Saint Prophète.

Cette recherche et mes efforts académiques sont humblement dédiés à ceux qui ont illuminé ma vie de leur amour et de leur tendresse, ouvrant les portes de la connaissance et devenant mon refuge tout au long de ce parcours.

"Le plus grand trésor d'une maison est la présence aimante d'une mère"

À ma mère, je réserve une dédicace spéciale, que Dieu la protège, source inépuisable d'inspiration.

« Le père est une boussole qui guide nos pas et un gardien de nos racines familiales »

À mon père, celui qui a su écarter les épines de mon chemin et m'a transmis fièrement son nom, je rends hommage de tout cœur.

"Les frères et sœurs sont les gardiens de nos souvenirs d'enfance et les complices de nos aventures à venir"

*À ma sœur **Asma**, que Dieu lui accorde Sa miséricorde, compagnon précieux dans cette réussite et éclat de mes jours. Je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance à mon cher frère **Hamza**, modèle inspirant, mentor et celui qui a surmonté de nombreux obstacles avec brio.*

« Une belle-sœur est une âme sœur par alliance »

*À ma belle-sœur **Rimelle**, qui se réjouit de mes succès et partage mes échecs avec une compassion infinie, je suis profondément reconnaissant.*

"Les amis sont la famille que l'on choisit"

*À mon amie **Sonia**, présente dans les moments sombres, telle une pluie bienfaisante pendant les périodes de sécheresse, je témoigne ma gratitude. Mes remerciements vont également à mon ami **Amir Selmi**, qui m'a soutenu et accompagné sur ce chemin.*

*J'exprime ma gratitude envers mes compagnons de réussite et de bienveillance, à mon amie **Chourouk** et à mon camarade de classe **Ammar**, solides piliers tout au long de notre quête commune.*

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes honorables professeurs. C'est en suivant vos traces et en m'inspirant de votre sagesse que j'ai pu progresser. Votre faveur, après celle de Dieu, a été essentielle pour atteindre de tels sommets.



Ikram



Dédicace

À l'homme de ma vie ; mon cher père. Aucune dédicace ne saurait exprime l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours pour vous .Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

À mes chers frères (Moussab) et (Sami) et ma chère sœur (Meriem), pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

À mes partenaires Ikram et Ammar et à l'effort conjoint qui a finalement conduit à la fin de ce travail.

À mes chères amies Aya, Lina, Amina et wissem pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.



Chourouk

Dédicace



*A mes perles du cœur, à mes très chers parents « **Abdelghani et ghania** » Chaque ligne, chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents que dieu le tout puissant, les protège et les gardes.*

*À mes frères **Imad et Bouchra** que dieu vous procure santé et bonheur durant toute votre vie.*

For my soul, Je vous souhaite à tous succès et bonheur dans la vie

À mes très chères amies, je vous souhaite tous un avenir plein de succès.

*Un grand merci à mes collègues dans ce travail « **Chourouk et Ikram** » Je vous souhaite le succès, les postes les plus prestigieux et le bonheur dans la vie.*

À ceux qui ont attendu avec impatience les fruits de leurs bonnes éducations, leurs efforts, leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes mes études.

*À chef service de laboratoire bactériologie d'hôpital Ibn Zohr Mme **Menidjel Nadia** et votre service merci de m'accueillir et de m'apprendre votre façon de travailler ainsi que de me permettre de travailler et d'apprendre au laboratoire, merci infiniment.*

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.

Merci



Ammar



Table des matières

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction01

Chapitre I : Généralités sur le phytoplancton

1. Le phytoplancton	03
2. Composante du phytoplancton	04
2.1. Les Cyanobactéries.....	04
2.2. Les Chlorophycées.....	05
2.3. Les Chrysophytes	06
2.3.1. Les Chrysophycées	06
2.3.2. Les Xanthophycées	07
2.3.3. Les Diatomées	07
2.4. Les Pyrrophycées	07
2.4.1. Les Cryptophycées	07
2.4.2. Les Dinophycées	07
2.5. Les Euglenophycées.....	07
2.6. Les Rhodophytes.....	08
3. L'habitat et l'écologie du phytoplancton	08
4. Rôle du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques.....	09
4.1. Traitement des eaux usées.....	09
4.2. La photosynthèse	10
4.3. La chaîne trophique	11
4.4. Autres rôles du phytoplancton	11
5. Le développement du phytoplancton	12
6. Les facteurs d'influence des phytoplanctons	12
6.1. Les facteurs biotiques	12
6.2. Les facteurs abiotiques	13
6.2.1. La lumière	13
6.2.2. La température	13

6.2.3. Le vent	14
6.2.4. Les nutriments	14
6.2.4.1. Les macronutriments	14
6.2.4.2. Les micronutriments	16
7. Les effets bénéfiques du phytoplancton	16
8. Le risque du phytoplancton	17
8.1. Risque sur la santé humaine	17
8.2. Risque sur les organismes marins	18
8.3. Risque sur le fonctionnement de l'écosystème	19
9. Les domaines d'application des micro-algues	19
9.1. Domaine agricole	20
9.2. Domaine alimentaire.....	20
9.3. Domaine pharmaceutique.....	20
9.4. Domaine cosmétique.....	21
9.5. Domaine environnemental.....	21
9.6. Domaine énergétique.....	22

Chapitre II : Présentation du site d'étude

1. Présentation du Parc National d'El-Kala	23
2. Présentation du lac Tonga	24
3. Les caractéristiques écologiques du lac Tonga	24
4. La diversité naturelle	25
4.1. La flore remarquable	25
4.1.1. L'écosystème forestier	25
4.1.2. Les plantes aquatiques	26
4.2. La faune remarquable	26
4.2.1. Les insectes	26
4.2.2. Les poissons	27
4.2.3. Les mammifères	28
4.2.4. L'avifaune	28

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Méthode de prélèvement	29
1.1. Echantillonnage et choix des zones de prélèvement	30

1.2. Méthode de prélèvement	31
1.3. Enregistrement et étiquetage des échantillons	32
1.4. Transport et conservation des échantillons avant l'analyse	32
2. Analyses physicochimiques	32
2.1. La température	33
2.2. Le potentiel d'hydrogène	33
2.3. La salinité	34
2.4. La conductivité électrique	35
2.5. L'oxygène dissous	36
3. L'analyse phytoplanctonique	36
3.1. Méthode expérimentale	36
3.2. Analyse qualitative	37
3.3. Analyse quantitative	37

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Résultats des analyses physicochimiques	38
1.1. La température	38
1.2. Potentiel d'hydrogène	39
1.3. La Conductivité électrique	39
1.4. Oxygène dissous	40
1.5. La salinité	41
2. Résultats des analyses phytoplanctoniques	42
2.1. Résultats de l'analyse qualitative	42
2.2. Résultats de l'analyse quantitative	49
2.2.1. Richesse spécifique	49
2.2.2. Diversité phytoplanctonique	51

Conclusion53

Références bibliographiques55

Résumé

Abstract

المخلص

Liste des abréviations

AGPI : polysaccharides et acides gras polyinsaturés.

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

CE : Conductivité électrique.

CIT : carbone inorganique total.

FAO : Food and Agriculture Organisation.

Indv : Individu.

PNEK : Parc National d'El-Kala.

ppt : parties par millier.

PUFA: polyunsaturated fatty acids (acides gras polyinsaturés).

μS : micro- semence.

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
Figure 01	Formes nutritives des microalgues : (A) La Chlorelle « <i>Chlorella vulgaris</i> ». (B) La Spiruline « <i>Arthrospira Platensis</i> ».	19
Figure 02	Situation et limites géographiques de l'aire du Parc National d'El-Kala et lac Tonga.	23
Figure 03	Photo de l'espèce <i>Anguilla anguilla</i> qui est protégé par l'organisation mondiale.	27
Figure 04	Photo représente le matériel utilisé au laboratoire (Photos prise personnel).	29
Figure 05	Localisation de station de prélèvement (Google Earth, 2023).	30
Figure 06	Photo de multi-paramètre utilisé.	31
Figure 07	Photo présente l'échantillon prélevé (Photos prise personnel).	32
Figure 08	Représentation schématique des différentes méthodes de comptage (Sonia, 2013).	37
Figure 09	Variations de la température de l'eau de lac Tonga.	38
Figure 10	Variations du pH de l'eau de lac Tonga.	39
Figure 11	Variations de la conductivité des eaux du lac Tonga.	40
Figure 12	Variations de l'oxygène dissous des eaux du lac Tonga.	41
Figure 13	Variations de la salinité des eaux du lac Tonga.	41
Figure 14	Variations de la richesse spécifique de la population phytoplanctonique du lac Tonga.	50
Figure 15	Variations de la richesse spécifique des groupes phytoplanctoniques.	51
Figure 16	Variations de la diversité des groupes phytoplanctoniques.	52

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
Tableau 01	Les principales espèces de micro-algues commercialisées.	22
Tableau 02	Les arbres forestiers qui entourent le lac Tonga.	25
Tableau 03	Types de plantes aquatiques et de fleurs qui caractérisent le lac Tonga.	26
Tableau 04	Les différentes espèces des insectes du lac Tonga.	27
Tableau 05	Les différents animaux présents dans l'aire géographique du lac, dont certains sont en voie d'extinction.	28
Tableau 06	Le matériel utilisé pour les analyses sur terrain et au laboratoire.	29
Tableau 07	Dates et heures des prélèvements d'échantillonnage.	30
Tableau 08	Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Monod, 1989).	33
Tableau 09	Les variations du pH de l'eau (Zerluth, 2004).	34
Tableau 10	Classification des eaux selon la salinité (Chevallier, 2007).	34
Tableau 11	Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (Kemmer F.N., 1984).	35
Tableau 12	Classification des eaux selon l'oxygène dissous (Rodier, 1976).	36
Tableau 13	L'identification des taxons phytoplanctoniques de lac Tonga pendant la période d'étude.	42



Introduction

Introduction

L'Algérie dispose de ressources en eau douce limitées, principalement alimentées par les précipitations. Les sources d'eau douce comprennent les rivières, les nappes phréatiques et les barrages, les lacs.

Le lac Tonga faisant l'objet de cette étude est situé au Nord Est algérien. Ce lac, unique en Algérie et en Afrique du Nord, est le site d'hivernage et de nidification le plus important pour l'avifaune aquatique de ces régions. Ainsi, il est classé dans le site Ramsar, comme zone humide d'importance internationale, et constitue une réserve intégrale au sein du Parc national d'El-Kala. Le lac Tonga El Kala est un écosystème aquatique situé dans la région d'El Tarf en Algérie. C'est un lac qui abrite une grande biodiversité de micro-organismes végétaux appelés phytoplancton, qui comprend notamment les diatomées, les dinoflagellés et les cyanobactéries.

Parce qu'il s'agit des micro-organismes très important en tant que premier maillon de la chaîne alimentaire des écosystèmes aquatiques, de nombreuses études ont été menées sur eux avec des résultats différents, on mentionne les suivantes :

La population phytoplanctonique recensée dans le lac Oubeira est en grande partie représentée par 24 genres de Bacillariophyceae, 15 genres de Cyanophyceae et 8 genres de Dinophyceae à des proportions respectives de 51%, 32% et 17%. Ces communautés phytoplanctoniques montrent des préférences saisonnières illustrées par de fortes présences de diatomées (33%) au printemps, de dinoflagellés (55%) et de cyanobactéries (41%) en été. **(Djabourabi et al., 2014).**

Une autre étude sur le lac Tonga, montre que la communauté phytoplanctonique de ce lac est influencé par les changements des paramètres physico-chimiques de l'eau, hydrodynamique, rythme des saisons et changement climatique et elle est dominée génériquement par la classe des diatomées ; cependant en termes de densité, c'est la classe des cyanobactéries qui prédomine **(Djabourabi et al., 2017).**

Par contre au niveau du lac Noir la communauté micro-algale se compose de 7 classes taxinomiques (Chlorophycées, Chrysophycées, Euglénophycées, Cryptophycées, Cyanophycées, Diatomophycées et Dinophycées) et comprend 77 espèces **(Amri et al., 2010).**

Dans les régions arides, l'étude de diversité phytoplanctonique a été menée en 2016 au niveau de deux mares Lella Fatma et Zerzaim au nord de la ville de Touggourt à Ouargla, Algérie, où 55 espèces de phytoplancton ont été enregistrées dans la mare de Lella Fatma et 56 au niveau de Zerzaim. Ces espèces appartenaient à 5 classes dont les Bacillariophycées est la classe la plus abondante de la communauté phytoplanctonique (**Khellou et al., 2022**).

L'objectif de notre travail est :

- Évaluer qualitativement et quantitativement les peuplements phytoplanctoniques existants dans cet écosystème aquatique appelé lac Tonga.
- Et étudier et mesurer quelques paramètres physicochimiques des eaux, qui peuvent être liées à la diversité de la communauté phytoplanctonique présente dans le lac.

Notre mémoire est partagée en quatre parties, sont développées et structurées de la manière suivante :

- Le premier chapitre, une étude bibliographique présente des généralités sur les phytoplanctons (Composante du phytoplancton, habitats et écologie, le rôle et leurs développements, ...etc.).
- Le deuxième chapitre, qui commence par la description du site d'étude, les caractéristiques écologiques et la diversité naturelle de la région (faune et flore).
- Le troisième chapitre, une étude expérimentale consacrée aux présentations du matériel et méthodologie suivie pour l'étude et la réalisation des analyses physicochimiques et phytoplanctoniques.
- Le quatrième chapitre, résultats et discussion sous forme de présentations graphiques des résultats commentées avec les explications nécessaires. Ce chapitre est suivi d'une conclusion qui résume brièvement les résultats obtenus précédemment.



***Chapitre I : Généralités sur
le phytoplancton***

Chapitre I : Généralités sur le phytoplancton

1. Le phytoplancton

Le phytoplancton ou les algues du grec **phyton: plante** et **planktos: errant**, rassemble les organismes aquatiques flottant librement (**Prescott et al., 1995**). Parmi ces organismes, le phytoplancton, la composante végétale du plancton est le premier maillon des chaînes trophiques des eaux marines et des eaux douces (**Cellamare, 2009**).

On peut le trouver les phytoplanctons soit:

- En suspension dans l'eau: le phytoplancton (du grec «planktos» = errer).
- Sur le sédiment ou les rochers: les microalgues benthiques (du grec «benthos» = fond) (**Hélène et Alexis, 1983**).

Ces organismes sont généralement microscopiques invisibles à l'œil nu, flottant dans l'eau ou fixés à un substrat, servant de nourriture à la faune aquatique. L'ensemble des organismes végétaux généralement microscopiques vivant librement en pleine eau, constitue le phytoplancton. Selon **André (1986)**, on peut distinguer d'après la taille des algues présentes :

- L'ultra nannoplancton de moins de 2 μ .
- Le nannoplancton de 2 à 20 μ .
- Le microplancton de 20 à 200 μ .
- Le macroplancton de 200 à 2000 μ .

La plupart des algues sont unicellulaires et microscopiques et d'autres pluricellulaires forment des filaments de longueur variable, d'autres également pluricellulaire sont formées d'un thalle, c'est-à-dire, d'une structure en forme de lame aplatie plus ou moins ramifiée. Leurs caractères sont typiquement végétaux ; la cellule algale contient un noyau et des organismes propres aux eucaryotes qui possèdent une membrane cellulosique. Douée de photosynthèse grâce à un chloroplaste qui occupe une partie importante du volume cellulaire (**Haslay et Leclerc 1993**).

Le développement du phytoplancton dépend en grande partie de la quantité de nutriments présents dans l'eau (phosphate, azote, fer, calcium...) mais il est aussi influencé par la salinité, la luminosité, la profondeur, de l'eau ou le vent et les saisons (**Celine Deluzarche, 2021**).

Les microalgues sont des organismes qui fabriquent leur substance à partir du gaz carbonique (CO₂) et des composés minéraux (azote, phosphates, potassium, fer, silice...)

dissous dans l'eau. Pour cela, elles utilisent l'énergie de la lumière qu'elles captent grâce à la chlorophylle contenue dans leur cellule (**Mollo et Noury, 2013**).

2. Composante du phytoplancton

Les algues sont divisées en 6 grands phylums d'après la nature des pigments et des réserves cellulaires. Ce sont les Cyanophytes, les Chlorophytes, les Euglénophytes, les Chrysophytes, les Rhodophytes et les Pyrrophytes (**André, 1986**).

2.1. Les Cyanobactéries

Dénommées aussi Algues bleues ou Schizophytes ou encore Myxophytes, ne possèdent pas de noyau à membrane définie (**André, 1986**). Ce sont des bactéries à Gram négatif «procaryotes» (**Hoek et al., 1995**). Elles se répartissent en 150 genres regroupant quelques 2000 espèces. Le diamètre de ces procaryotes varie d'environ 1 à 10 μ m (**Duy et al., 2000**). Se caractérisent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée (**Bourrelly, 1985**).

Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : chlorophylle verte a et c, phycocyanine bleu-vert, phycoérythrine rouge et pigments d'accompagnement, β carotène et xanthophylles jaunes ou ochracés. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle. Ces pigments ne sont pas portés par des plastides mais sont diffus 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 (**André, 1986**).

Les Cyanobactéries sont dépourvues de flagelles et leur appareil végétatif peut être unicellulaire, colonial ou filamenteux. Les réserves sont constituées par du glycogène, de la cyanophycine et des gouttelettes lipidiques. La multiplication s'effectue principalement par division cellulaire et par fragmentation chez les formes filamenteuses (**De Reviere, 2003**).

La croissance des cyanobactéries dépend d'abord de la température, de la lumière ainsi que de la présence de sources inorganiques d'azote et de phosphore (**Mur et al., 1999 ; Haider et al., 2003**). Les cyanobactéries ont développé des optima de températures plus élevés que les autres groupes de microalgues (**Coles et Jones, 2000**).

Le dégagement de l'oxygène par les cyanobactéries entraîna l'oxydation du fer ferreux Fe^{2+} en fer ferrique et sa précipitation en hématite ou magnétite (**Pittera, 2015**).

Le mode nutritionnel des cyanobactéries peut être de trois types (**Reviere, 2003 ; Lee, 2008**) :

- **Photolithotrophie stricte** : Ces cyanobactéries ne peuvent croître qu'en présence de lumière, leur donneur d'électrons est minéral (H_2O ou H_2S) et leur source de carbone est inorganique (CO_2).
- **Photohétérotrophie** : La croissance se fait également en présence de lumière, la source d'électrons est minérale (H_2O ou H_2S), mais ce groupe de cyanobactéries est capable d'utiliser une source de carbone inorganique ou organique.
- **Chimiohétérotrophie facultative** : Ces cyanobactéries sont phototrophes en présence de lumière, mais leur croissance peut également se dérouler dans l'obscurité en utilisant une source de carbone organique (limitée au glucose, au fructose et à quelques disaccharides).

2.2. Les Chlorophycées

Toujours selon **Haslay et Leclerc (1993)**, ce groupe comprend environ 7000 espèces dont la plupart vivent en eau douce ; on les appelle aussi des algues vertes ont des plastides d'un beau vert franc et mettent de l'amidon en réserve, cet amidon est logé dans les plastides (**Bourrelly P, 1966**). Elles sont réparties en quatre classes : Les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricophycées et les Chlorophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (**Johan, 1994**).

Elles possèdent des plastides d'un vert franc, contenant de la chlorophylle a et b associée à l' α et β -carotène et des xanthophylles (**Gorenflot et Guern, 1989**), les cellules mobiles sont isokontées et les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial (**Larpen et Larpen-Gourgaud, 1997**).

Les chlorophycées peuvent se présenter sous une forme unicellulaire ou cénobiale ou encore sous forme de Thales de structure et l'aspect morphologique varié :

- Soit cellulaires mobiles (à l'aide de flagelles) ou immobiles, dans ce cas isolées ou réunies, avec ou sans intermédiaire de gelée, en colonie de forme indéterminée (formant souvent des cénobes).

- Soit pluricellulaires et chez les formes d'eau douce, généralement filamenteuses simples ou ramifiées avec ou sans axe principal, plus rarement en lames formées 1 ou 2 assises de cellules (**Gayral, 1975 ; Gaston et Maurice, 1977**).

La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures, la plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre. Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animale (**Garon et Lardiere, 2004**).

L'état végétatif est sous forme immobile et les flagelles sont absents au stade adulte. On distingue comme précédemment un noyau par cellule et les mêmes pigments majeurs (**Bourrelly, 1985**). Pour assurer leur reproduction, *les Volvocales* et *les Chlorococcales* forment des zoospores à l'intérieur de la paroi cellulaire de la cellule mère. On distingue 3 types de zoospores: celles avec membrane et 2 fouets égaux, celles sans membrane et à fouets égaux et celles sans membrane et à fouets légèrement inégaux mais de même structure (**Bourrelly, 1985**), dans les formes coloniales, chaque cellule de la colonie se divise par division végétative en n cellules formant 2xn cellules filles. On retrouve également 3 types de reproduction sexuée: isogamie (2 gamètes de même taille), anisogamie (gamète male plus petit que gamète femelle) et oogamie (gamète femelle non flagellé et gamète mâle flagellé) (**Nozaki, 2003**).

2.3. Les Chrysophytes

Appelées aussi les algues dorées, sont des algues vraies, caractérisées par des plastes bruns, jaunes ou vert– jaunâtres. Elles ne possèdent jamais d'amidon (**Pierre, 2001**), leurs réserves sont constituées de chrysolaminarine ou de laminarine, selon le cas (**Ba, 2006**), les cellules mobiles sont hétérokontées (**Larpen et Larpen-Gourgaud, 1997**).

Les Chrysophytes peuvent être divisés en 3 classes : Les Chrysophycées, les Xanthophycées, les Bacillariophycées ou Diatomées (**Bourrelly, 1972**).

2.3.1. Les Chrysophycées

A plastes jaunes ou bruns renfermant des chlorophylles a et c, du carotène et diverses xanthophylles, sont des organismes unicellulaires ou coloniaux, rarement filamenteux. Elles forment souvent des logettes ou kystes siliceux plus ou moins sphériques, percés d'un pore fermé par un bouchon. (**André, 1986**). La multiplication se fait par fission binaire ou par zoosporulation. Les phénomènes sexuels, rarement signalés, sont de nature isogamique (**Canter-Lund et Lund, 1995**).

2.3.2. Les Xanthophycées

Sont des algues unicellulaires, pluricellulaires ou coenocytiques. Ils possèdent des plastes vert-jaune ou vert à peine jaunâtre où les chlorophylles a et c, sont associées à plusieurs xanthophylles et du β -carotène (**Larpen et Larpen-Gourgaud, 1997 ; Pierre, 2001**).

2.3.3. Les Diatomées

Les Diatomées ou Diatomophycées (ou Bacillariophycées) sont des algues unicellulaires ou coloniales, quelquefois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle a et c du β carotène et plusieurs xanthophylles. Elles sont caractérisées par leurs parois cellulaires imprégnées de silice formant une logette bivalve appelée frustule. Celui-ci a l'aspect d'une boîte surmontée d'un couvercle, les deux valves sont ornementées de stries, pores, aiguillons, épines qui ont un grand rôle dans la systématique de ces organismes. (**André, 1986**).

2.4. Les Pyrrhophycées

Elles sont aussi nommées Phaeophyceae ou Phéophycées. Il existe 1500 espèces différentes d'algues brunes. Ce sont les algues marines les plus abondantes. On les retrouve surtout au niveau des côtes rocheuses à faible profondeur. Elles possèdent toutes une structure pluricellulaire et leur couleur jaunâtre à brune est due à l'abondance de la xanthophylle et de la fucoxanthine, qui dominent les autres pigments comme la chlorophylle a et c. Elles sont riches en alginates et en phlorotannins à propriétés antioxydantes (**Garon-Lardiere, 2004 ; Wijesinghe, 2011**). Selon **FAO (2004)**, leur taille varie de 30 à 60 centimètres jusqu'à 20 mètres de longs. On distingue deux classes (**André, 1986**):

2.4.1. Les Cryptophycées

Toutes unicellulaires, à fouets légèrement inégaux, à insertion latérale et dirigés dans le même sens, sortant d'un cytopharynx.

2.4.2. Les Dinophycées

Les Dinophycées ou Péridiniens 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.

2.5. Les Euglenophycées

Les Euglénophytes sont des algues vraies unicellulaires, contenant des plastes verts renfermant de la chlorophylle a et b, associée à du β -carotène et des xanthophylles. (**Bourrelly, 1968 ; Gorenflot et Guern, 1989**).

Les euglènes sont réparties en 13 genres et plus de 2000 espèces (**Rosowski, 2003**). Elles peuvent être phototrophes, hétérotrophes, phagotrophes. De nombreux Eugléniens sont pourvus d'un appareil photosynthétique comme les végétaux supérieurs. Les plastes des euglènes renferment de la chlorophylle a et b et des pigments caroténoïdes. Pourtant, les essais de culture ont montré qu'aucun Eugléniens vert n'est entièrement photo-autotrophe. Tous sont photo-auxotrophes et ont besoin de vitamines (vitamine B12 ou vitamine B1).

Certains Euglènes incolores sont dépourvus d'appareil plastidial et d'appareil pharyngien (ex. *Astasia*, *Menoidium*, *Cyclidiopsis*, ...etc.). Ce sont des hétérotrophes stricts qui ne se développent que sur des milieux contenant des substances organiques. Ils absorbent ces substances à l'état dissous et ils sont dits, pour cette raison, osmotrophes (15).

2.6. Les Rhodophytes

Elles sont souvent connues sous le nom d'algues rouges et sont représentées par les Rhodophycées, une seule famille d'algues. Ils sont souvent filamenteux, largement distribués dans les mers et rétrécissent dans l'eau douce chez certains genres. Seulement 29 des 600 genres connus se trouvent en eau douce, avec environ 180 espèces (**Boulefa et Bouldjedri, 2020**).

Les algues rouges sont divisées en deux groupes : les Bangiophycées (qualificatifs originaux) et les Floridéophycées (plus complexes). Ils se distinguent souvent par un cycle de reproduction particulièrement compliqué (**Garon-Lardiere, 2004**).

3. L'habitat et l'écologie du phytoplancton

Le phytoplancton peut vivre partout où il y a de l'eau. On le trouve aussi bien dans les eaux douces, marines que saumâtres (mélange d'eau douce et d'eau salée comme les estuaires). Ainsi, la concentration de phytoplancton est jusqu'à dix fois plus forte dans les eaux continentales qu'en haute mer (**Mollo et Noury, 2013**). Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures (**Groga, 2012**).

Le phytoplancton tient la place de producteur primaire dans le réseau trophique et il évolue de façon saisonnière aussi bien en milieu lacustre. Ce qui a pour conséquence de structurer le réseau trophique, les niveaux trophiques supérieurs dépendant directement ou indirectement de cette saisonnalité (**Rossi, 2008**).

Les microalgues présentent une capacité d'adaptation et de survie telles qu'elles se sont adaptées à différentes niches écologiques : des glaces polaires aux zones désertiques, arides et semi arides et aux sources d'eau chaudes. De même les milieux hyper salins, alcalins et/ ou acides sont colonisés par quelques espèces (**Sialve et Steyer, 2008**).

En outre, certaines espèces peuvent subsister dans les grottes, associées sous forme de symbioses avec tout type d'organisme vivant et même parasite, entre autre de l'homme. Elles sont également capables de se développer sur des surfaces rigides, tels que les murs ou les troncs d'arbres et même le sol (**Becerra et Celis, 2009**). Aussi, certaines espèces ont la particularité de croître même dans des conditions où la luminosité est très faible (**Subhadra et Edwards, 2010**).

Le phytoplancton vit là où les éléments de la photosynthèse sont réunis: la lumière, les sels minéraux, le gaz carbonique. Les différentes espèces de phytoplancton ne réagissent pas de la même manière aux facteurs du milieu, en particulier la turbulence. Leurs taux de croissance, ainsi que leur dépendance vis-à-vis des nutriments, sont également variables. En outre, afin de faire face aux variations environnementales, les espèces phytoplanctoniques ont développé des stratégies adaptatives, telles que différents mécanismes favorisant leur mobilité et leur migration vers des zones riches en nutriments et en lumière (**Groga, 2012**).

4. Rôle des phytoplanctons dans les écosystèmes aquatiques

Dans le milieu aquatique, la communauté phytoplanctonique joue un rôle clés dans la biodiversité de l'écosystème et par conséquent, dans la qualité de leurs eaux (**Hamilton et Schladow, 1997**). Le phytoplancton possède d'importants rôles, dont les plus connus sont:

4.1. Traitement des eaux usées

Les micro-algues sont considérées comme l'un des agents favorables des eaux usées en raison de leur capacité à absorber les nutriments et à les convertir en biomasse (**Chinnasamy et al., 2010**). Pendant le traitement des eaux usées de brasserie, l'azote, le phosphore et les autres éléments nutritifs présents dans les eaux usées sont absorbés adéquatement par les micro-algues pour leur croissance. Les micro-algues, par leurs activités photosynthétiques, libèrent librement de l'oxygène qui est utilisé par les bactéries dans les eaux usées. Les micro-algues fixent également le CO₂ en assimilant le HCO₃ du par CO₂ la respiration (**Rogers et al., 2014**).

Les algues microscopiques jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage :

✚ Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries (**Humenik et Hanna, 1971**). Comme elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques (**Pearson et al., 1987**).

✚ Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduelles (**Ergashev et Tajiev, 1986**).

✚ Elles agissent comme bio-absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux (**Becker, 1983**).

✚ Par leur activité biologique, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et voire leur disparition (**Pearson et al., 1987**).

4.2. La Photosynthèse

Par la photosynthèse, le phytoplancton produit une grande quantité d'oxygène nécessaire à la vie dans l'eau, mais aussi, grâce aux échanges gazeux à la surface des océans, il fournit les deux tiers de l'oxygène de l'air de notre planète (poumon de la planète), le dernier tiers provenant des végétaux des continents. Contrairement à une idée reçue, le premier producteur d'oxygène sur Terre n'est pas la forêt, mais le plancton végétal qui apporte à l'atmosphère plus d'oxygène que l'ensemble de toutes les forêts du monde réunies, forêt amazonienne comprise (**Pierre et Anne, 2014**).

Les réactions de la photosynthèse sont de deux types : les réactions de la phase lumineuse, qui se produisent dans la membrane des thylacoïdes, et les réactions de la phase obscure, qui ont lieu dans le stroma des chloroplastes. De nombreuses algues ne sont pas uniquement phototrophes. Elles peuvent aussi se nourrir par phagocytose, ou être saprophyte en absorbant des nutriments (**Nicklin et al., 2000**). L'atmosphère est riche de 21% d'oxygène. Cet élément vital a été produit essentiellement par le plancton végétal et les bactéries photosynthétiques au début de l'histoire de la terre grâce à la photosynthèse. Cet oxygène aquatique libéré dans l'air a permis la formation de la couche d'ozone (qui comporte trois atomes d'oxygènes) de la haute atmosphère. Sans cette protection contre les rayonnements ultraviolets du soleil, jamais les plantes vertes n'auraient pu conquérir les continents, il y a 600 millions d'années, suivies de près par les animaux (**Pierre et Anne, 2014**).

4.3. La Chaîne alimentaire

Le phytoplancton est universellement reconnu comme étant le premier maillon de la chaîne trophique dans l'écosystème aquatique. Le phytoplancton se compose d'organismes que l'on qualifie de producteurs primaires et c'est à ce titre qu'il joue un rôle essentiel dans le développement et la survie de tous les organismes aquatiques vivants puisqu'il correspond en réalité au premier maillon d'une pyramide alimentaire, dans laquelle chaque échelle en sert de nourriture au suivant (**Boutahraoui, 2017**).

Il est absorbé par les organismes microscopiques (zooplancton) et les animaux de petite taille. Ceux-ci constituent eux-mêmes la nourriture de consommateurs plus gros qui, à leur tour, sont mangés par d'autres prédateurs. Le phytoplancton est ainsi à la base de la chaîne alimentaire aquatique. Les micro-algues ne sont pas appréciées exclusivement par le zooplancton, elles sont un aliment de choix pour des espèces filtreuses de plus grande taille comme les huîtres, les moules, à leur stade larvaire et durant toute leur vie d'adulte. Se nourrissant à tous les étages de la pyramide, y compris au rez-de-chaussée, l'homme consomme également du phytoplancton (spiruline, chlorelle...etc.) (**Pierre et Anne, 2014**).

4.4. Autres rôles du phytoplancton

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

- Certaines espèces du phytoplancton, peuvent être utilisées comme des indicateurs de pollution, ainsi «*Chamaesiphon polonius*» et «*Calothris sp*» sont caractéristiques des eaux non polluées, par contre «*Oxillatoria chlorina*» et «*Spirulina jenniferi*» peuvent survivre dans les milieux très pollués et pauvres en oxygène. Cependant «*Phormidium sp*» est présent dans les eaux moyennement polluées (**Champiat et Larpent, 1994**).
- Certains genres de phytoplancton comme : *Euglena*, *Volvox* et *Spirogyra* sont des bio-accumulateurs d'éléments radioactifs. Ils sont utilisés pour lutter contre ce type particulier de pollution (**Champiat et Larpent, 1994**).

5. Le développement du phytoplancton

Le phytoplancton a beaucoup de variations saisonnières ; leur croissance est mieux observée au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont idéales. À l'heure actuelle,

ce cycle annuel a été perturbé en raison des changements dans l'environnement récepteur causés par les apports excessifs de nutriments et les changements climatiques (**Cadier, 2016**). Le schéma classique est décrit dès **1958** par **Margalef**, qui considère trois étapes successives : Le premier stade est caractérisé par une croissance élevée des petites diatomées, puis des diatomées de plus grande taille et à faible taux de croissance deviennent dominantes, le troisième stade étant caractérisé par la présence de dinoflagellés, de grande taille également, et à taux de croissance encore plus faible. Le passage progressif du premier état au troisième s'accompagne d'une diminution de la concentration en nutriments dans le milieu.

6. Les facteurs d'influence des phytoplanctons

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

6.1. Les facteurs biotiques

Appelés aussi facteurs dépendants de la densité ; correspondant à l'ensemble des interactions entre individus (prédation, compétition et 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 :

- 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.
- 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.
- Les facteurs intra-spécifiques, qui regroupent les interactions se déroulant à l'intérieur d'une même espèce (entre individus) (**Oliver et Ganf, 2000**).
- Les facteurs interspécifiques, qui concernent les interactions entre populations d'espèces différentes (facteurs de prédation et de parasitisme) (**Leveque, 2001**).

6.2. Les facteurs abiotiques

La dynamique d'un écosystème, en fonction de sa localisation géographique est ainsi sous le contrôle de plusieurs paramètres abiotiques en interaction à la fois du climat et

des conditions lithologiques (**Findley et Klinch, 1994**). L'effet de chaque facteur, ou stress, varie avec le temps et l'espace et l'importance relative de chaque facteur varie également (**Rhee, 1982**). Ce sont des facteurs abiotiques tels que la lumière, la source de carbone, les nutriments minéraux, la température, la salinité, le pH, la teneur en O₂ (**Kumar et al., 2010**).

6.2.1. La lumière

La lumière est un des facteurs indispensables au métabolisme photosynthétique des microalgues. L'apport de l'énergie lumineuse peut se produire de manière naturelle grâce aux microalgues, ou artificiellement grâce à des tubes fluorescents émettant la lumière à une longueur d'onde bien spécifique.

La lumière qui dirige non seulement la photosynthèse mais aussi, selon sa quantité et de sa qualité, régit aussi une partie de sa croissance et, par conséquent, la structure de la communauté algale. Ce facteur varie en fonction de l'heure du jour, les saisons et la couverture nuageuse. Selon **Robert et Catesson (2000)**, dans un système aquatique dont les caractères ne changent pas, la production phytoplanctonique est directement influencée par le degré d'ensoleillement durant les 48 heures précédentes. Les hautes intensités lumineuses ont une inhibitrice sur le mécanisme photosynthétique ainsi que l'activation fixatrice des microorganismes photosynthétiques fixateurs d'azote (**Anglier, 2000**).

6.2.2. La température

La température est l'un des plus importants paramètres physiques du milieu marin. En effet, elle influe non seulement sur le nombre des êtres vivants présents aux différentes profondeurs, mais aussi sur le climat des terres voisines et sur la densité de l'eau, dans ce cas, elle est à l'origine de certains courants (**Giacomini et al., 1984**).

La température influence plusieurs paramètres physicochimiques de l'eau tels que les concentrations en oxygène dissous et en nutriments. En effet, elle est un stimulus des phénomènes d'accroissement, de la reproduction et du développement de la majorité des espèces végétales macro et microscopiques (**Amiot et Chaussepied, 1983**). Les microalgues tolèrent en général une gamme de température comprise entre 15 et 26°C avec une concentration cellulaire optimale à 23°C (**Kumar et al., 2010**). Des températures extrêmes, supérieures à 35°C, peuvent constituer un optimum pour certaines espèces, alors qu'elles peuvent être létales pour d'autres espèces. De plus, l'augmentation de la

température affecte le métabolisme de fixation de CO₂ par les microalgues. Selon **Eppley (1972)**, la croissance phytoplanctonique se trouvera ralentie dans les eaux froides (écosystèmes des hautes latitudes) par rapport à des eaux plus chaudes (régions tempérées). L'élévation de la température de l'eau agit positivement sur la production primaire du phytoplancton en influençant le métabolisme des organismes par action sur la vitesse des réactions enzymatiques (**Doney, 2006 ; Chavez et al., 2011**). La température pourrait aussi provoquer le déclin des proliférations microalgales dans le cas du réchauffement climatique (**Boyce et al., 2010 ; Moran et al., 2010**).

6.2.3. Le vent

Les études de fluctuation des vents sont nécessaires afin de comprendre le fonctionnement de l'écosystème. En effet, le vent a une grande influence sur la transparence de l'eau et le déplacement des espèces (**De Casabianca et Kepel, 1999**). 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 (**Richlifs et Miller, 2015**).

6.2.4. Les nutriments

Les microalgues ont besoin pour leur développement, croissance et efflorescence de nutriments. On les divise en deux groupes les macronutriments et les micronutriments.

6.2.4.1. Les macronutriments

L'azote(N) et le phosphore (P) et le carbone (C) représentent des éléments essentiels à la croissance du phytoplancton, car ils rentrent dans le cycle métabolique (**Ba, 2006**).

- **Le carbone (C)**

La source de carbone d'une culture algale en condition d'autotrophie est présente en phase liquide sous forme de différentes espèces en équilibre : CO₂, H₂CO₃, HCO₃[○] et CO₃²⁻. Ces équilibres sont régis par les équations de dissociation de l'eau et du mélange carbonate bicarbonate à une température de 25 °C (**Livansky, 1990 ; Filali, 2012**).

Ces différentes formes de carbone constituent le carbone inorganique total « CIT ». Les microalgues peuvent assimiler le carbone inorganique par la photosynthèse. L'énergie solaire est utilisée pour assimiler le CO₂ et le transformer en sucre selon la réaction suivante: $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{lumière} \Rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

- **L'azote**

L'azote constitue un élément nutritif essentiel pour la croissance algale. Est un élément qui rentre le cycle métabolique (Ba, 2006). Le phytoplancton devra trouver une source d'azote, sa croissance est proportionnelle à la quantité d'azote dans le milieu (Bougis, 1974). L'azote est un second nutriment essentiel pour la croissance des micro-algues comme il constitue 10 % de la biomasse (Becker, 1981). L'azote minéral se trouve sous les formes ammoniacale, nitreuse et surtout nitrique dans l'eau de mer. Il peut être absorbé sous ces trois formes par le phytoplancton (Lemée, 1978). Dans l'eau, l'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes : L'ion ammonium (NH_4^+) et la forme non dissociée communément appelée ammoniaque (NH_3). Ces deux formes traduisent un équilibre acido-basique. L'ammoniaque stimule les poussées planctoniques (Gaujons, 1995). Dans les eaux naturelles la détection d'ammoniac en grandes quantités est un critère de pollution (Dussart, 1966).

La carence de cet élément induit une accumulation importante de réserves lipidiques (polysaccharides et acides gras polyinsaturés "AGPI") (Chen et al., 2011), une limitation de l'activité photosynthétique et cellulaire (Alcaine, 2010) ainsi qu'une augmentation de la synthèse des caroténoïdes.

- **Le phosphore**

Le phosphore est impliqué dans plusieurs voies métaboliques (Chen et al., 2011). Il rentre en particulier dans la composition de l'ATP, des acides nucléiques et des lipides phosphorés, donc le phytoplancton devra trouver une source de phosphate dans son milieu (Bougis, 1974). Les micro-algues sont capables d'utiliser les formes inorganiques du phosphore (PO_4^{3-} , H_2PO_4^- et HPO_4^{2-}) ainsi que ses formes organiques via le phénomène d'hydrolyse grâce à une enzyme de la famille des phosphatases (Alcaine, 2010). La carence en phosphore joue sur l'activité photosynthétique principalement au niveau de la fonction de l'enzyme « Rubisco », indispensable à la fixation du CO_2 (Maziliak, 1998 ; Agren, 2004), sur l'accumulation des réserves lipidiques (Wang et al., 2008), et sur la productivité en biomasse (Borowitzka, 1988).

6.2.4.2. Les micronutriments

Plusieurs microéléments organiques et inorganiques sont nécessaires à la croissance des micro-algues, tels le soufre (S), le fer (Fe), le magnésium (Mg), le potassium (K), le sodium (Na) ; il en va de même pour les oligoéléments tels le cuivre (Cu), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cobalt (Co), le molybdène (Mo).

Le magnésium est indispensable à l'activité nitrogénase dans le métabolisme cellulaire des micro-algues (Wang et al., 2008). On a par ailleurs mis en évidence l'implication du cuivre, du fer et du zinc dans diverses fonctions enzymatiques telles que l'activité de l'anhydrase carbonique, enzyme impliquée dans le mécanisme d'assimilation du carbone (Buitenhuis et al., 2003 ; Filali, 2012). De même, une carence en cuivre est susceptible d'affecter le mécanisme photosynthétique des micro-algues (Rochaix, 2001).

Une carence en molybdène peut influencer sur le processus métabolique d'assimilation de l'azote au niveau cellulaire (Glass et al., 2009).

Le soufre est un des éléments essentiels dans la composition de deux acides aminés : la cystéine et la méthionine. Une carence en soufre induit une inhibition de la synthèse protéique et de l'activité photosynthétique des micro-algues (Wang et al., 2008). Une carence en fer entraîne des changements métaboliques cellulaires à travers une diminution de la densité et de la taille cellulaire et une inhibition de la synthèse protéique et lipidique (Valera et al., 2011; Filali, 2012).

7. Les effets bénéfiques du phytoplancton

Le phytoplancton est riche en chlorophylle, il neutralise l'acidité, débarrasse le corps de ses toxines, guérit les tissus, améliore et la santé des yeux, la peau semble plus radieuse, c'est un produit naturel. Il est riche en oméga 3, il permet de garder un système cardiovasculaire sain en permettant une réduction de l'inflammation (marqueur important de maladie cardiaque), une diminution du risque d'ACV et de crise cardiaque, ainsi que de bons taux de cholestérol et de triglycérides. Les Oméga-3 ont un impact bénéfique sur l'organisme humain en contribuant par exemple au bon fonctionnement du système cardiovasculaire. Ils sont présents dans la diatomée «*Odontella aurita*», microalgue utilisée dans le secteur des compléments nutritionnels et en cosmétologie. Comprenant 22 % d'Oméga-3, elle serait, associée à la spiruline, le complément alimentaire idéal.

Les millions d'années de dépôts de diatomées mortes ont participé à la formation des gisements d'hydrocarbures que nous utilisons pour faire avancer nos voitures. Le pétrole est le résultat d'une dégradation lente (+ de 100 million d'années) du plancton, notamment des diatomées, accumulé au fond des océans. Sous l'action des bactéries, de la pression et de la température, la matière organique s'est peu à peu transformée en hydrocarbures. Ce pétrole a ensuite traversé des roches poreuses, expulsé vers la surface sous la pression des

gaz. Parfois stoppé par une couche de sédiment étanche, il s'est accumulé dans des roches réservoirs qui constituent les gisements pétrolifères actuels.

Les algues planctoniques produisent naturellement des molécules utilisées pour des cosmétiques (anti-rides, soin des cheveux, ...etc.). Il existe encore des milliers d'espèces d'algues à découvrir, certaines produiront les médicaments de demain. Il a été démontré que certaines diatomées étaient capables de produire des substances antibiotiques et bactéricides, concernant directement les activités humaines. Par exemple, la présence des « bonnes diatomées » dans les milieux de production peut assurer la prévention des maladies virales et bactériologiques chez les huîtres et les palourdes d'élevage (**Pierre et Anne Noury ; Morgane, 2011**). Microalgues également produire une variété de produits chimiques produits qui sont uniques à eux, y compris l'agar-agar, alginates, carraghénanes, et une variété d'autres polysaccharides (**Chader et Touzi, 2001**).

8. Le risque du phytoplancton

Depuis quelques années, l'eutrophisation croissante des rivières et des retenues d'eaux se traduit par des phénomènes de proliférations algales de plus en plus préoccupantes, du fait de multiples problèmes liés à la toxicité potentielle de certaines espèces phytoplanctoniques (**Nasri et al., 2004**), capables de produire des toxines pouvant causées des mortalités chez l'animal et des maladies chez l'Homme (**kuiper-Goodman et al., 1999**). Leur impacte peut être résumé comme suit :

8.1. Risque sur la santé humaine

Les toxines produites par les cyanobactéries sont principalement des endotoxines qui s'accumulent dans les cellules des algues. Ils agissent soit après l'ingestion de ces microalgues ou après la libération de la lyse algale (**Fremy et Lassus, 2001**). Les effets toxiques de ces toxines observés au niveau cutané, des reins et des intestins, ont conduit a envisagé la possibilité d'une activité cancérigène pour d'autres organes (**Bouaïcha et al., 2002**).

➤ **Intoxications paralysantes par les fruits de mer**

L'indentification d'intoxication paralysante (PSP) est ancienne (**Dale et Yentsch, 1978**), les toxines responsables sont des dérivés hydrosolubles de tétrahydropusine qui peuvent être divisés en 3 groupes: «Les carbamates» (les plus puissantes), «Les dérivés décarbamoyl» (toxicité intermédiaire) et «Les Nsulfocarbamoyl» (faiblement toxiques)

(Cembella et al., 1995). Ces intoxications entraînent une paralysie musculaire et dans les cas les plus graves peuvent être mortelles, lorsque le système respiratoire est atteint (Amzil et Motteau, 2000).

➤ **Intoxications de type ciguatériques**

Les ciguatéra (CFP) connues depuis longtemps dans les zones tropicales, sous les noms de maïtotoxine et ciguatotoxine, elles sont transmises à l'Homme par le biais de la chaîne alimentaire, en général par les poissons (Richardson, 1997). Il existe plus de 20 types différents de ciguatoxine. Alors que la maïtotoxine (MTX) est une toxine poly-éthérée hydrosoluble (Bagnis et al., 1992), qui s'accumule dans les viscères des poissons herbivores (Hansen et al., 2001).

➤ **Toxines Cyanobactériennes**

Plusieurs espèces de Cyanobactéries sont capables de produire des toxines qui provoquent l'intoxication de l'Homme et de l'animal, lors de la consommation ou l'exposition à l'eau (Turner et al., 1990). Les facteurs à l'origine de la synthèse des toxines ne sont pas très bien connus, mais pourrait être liée à une faible concentration en fer et une abondance en zinc (Lukac et Aegerter, 1993). Ces toxines peuvent être classées en :

- **Hépto-toxines** : Des expositions chroniques à ces toxines peuvent provoquer des cancers (Falconer, 1996).
- **Dermato-toxines** : Ces toxines sont de très puissants promoteurs tumoraux (Falconer, 1993), Cyto-toxines et Neuro-toxines.

8.2. Risque sur les organismes marins

Les micro-algues peut 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 : Hétérocarpes circularisquama «*Dinoflagellé*» causant des mortalités massives d'huitres perlières et autres bivalves (Mortensen, 1985).

8.3. Risque sur le fonctionnement de l'écosystème

Le phytoplancton est capable de provoquer un dysfonctionnement de l'écosystème (Chauvaud et al., 2000), due à une prolifération micro-algale intense. Le développement excessif du phytoplancton conduirait à l'eutrophisation du milieu qui se traduit par une

efflorescence, cette dernière résulte d'un déséquilibre entre l'azote et le phosphate (**Dufour et Berland, 1999**).

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

9. Les domaines d'application des microalgues

Les algues microscopiques jouent un rôle important dans de nombreux domaines (**Fig. 01**).



Figure 01 : Formes nutritives des microalgues : (A) La Chlorelle «*Chlorella vulgaris*». (B) La Spiruline «*Arthrospira Platensis*».

Ces micro-algues ont un large éventail d'applications, y compris la nutrition humaine, la nutrition animale, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. Chaque espèce de micro-algue a des propriétés uniques et aucune micro-algue produite n'a une seule application. Il est possible de classer les espèces en fonction de leurs utilisations principales (**Filali, 2012**).

9.1. Domaine agricole

En agriculture, les microalgues sont principalement utilisées comme engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, les algues sont transformées en poudre épanchées sur le sol. En effet, les microalgues favorisent la croissance des plantes, la

résistance aux maladies et produisent des substances protectrices contre les agressions par les gastéropodes. En outre, les microalgues sont utilisées comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail, les fucales sont utilisées comme additifs alimentaires pour leurs qualités digestives. Elles sont transformées en farines mélangées à la nourriture des animaux d'élevage (Abadli et Harkati, 2015).

9.2. Domaine alimentaire

Ces microorganismes sont utilisés dans l'alimentation animale et humaine, et dans l'aquaculture (Pulz et al., 2004). Certaines espèces de micro-algues peuvent être consommées comme légumes «*Undariapinnatifida*», «*Laminariajaponica*» et «*Porphyra sp*» sont les plus couramment consommées espèces (Abadli et Harkati, 2005). Les chinois utilisaient la micro-algue «*Nostoc*» commune pour assurer leur alimentation il y a plus de 2000 ans. Actuellement, la plus connue dans ce domaine est une microalgue appelée «*Arthrospira platensis*», ou «*Spiruline*» (Becerra – Celis, 2009).

Les microalgues ont un potentiel intéressant de production de pigments (Lorenz et Cysewski, 2000), le β -carotène est un pigment synthétisé par l'algue *Dunaliella* et est utilisé comme colorant en industrie alimentaire. D'autres caroténoïdes, tel que l'astaxanthine synthétisé par l'algue *Haematococcus*, la lutéine, zéaxanthine et canthaxanthine sont des antioxydants utilisés en alimentation humaine, animale et en aquaculture. Les phycobiliprotéines sont des pigments qui peuvent être utilisées comme colorants naturels en industrie alimentaire comme l'huile de soja (Gouveia et al., 2007).

9.3. Domaine pharmaceutique

Au vu de leur grande diversité biochimique, les micro-algues représentent une source intéressante de molécules bioactives et de toxines utilisables dans le développement de nouveaux médicaments. Ainsi, plusieurs études ont permis de mettre en évidence l'implication des micro-algues dans le domaine pharmaceutique par l'identification de nouvelles molécules naturelles (Ghobrini et al., 2014).

Les principes actifs extraits de micro-algues sont utilisés comme anti-inflammatoire sophagien, pour lutter contre l'embolie, pour des effets laxatifs, ou encore pour des pansements, pour les micro-algues peuvent être utilisés pour améliorer le confort

diabétique. En effet, certains polysaccharides peuvent moduler l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulinique aux aliments (**Gana, 2014**).

Les microalgues peuvent synthétiser des sulfolipides antiviraux (**Gustafson et al., 1989**), les cyanobactéries suscitent actuellement un réel intérêt pour le développement de nouvelles molécules ayant une activité antibiotique et pharmacologique (**Borowitzka, 1999**). Ainsi, des extraits sélectionnés de plus de 900 souches de cyanobactéries ont permis de mettre en évidence une action inhibitrice anti-HIV. Des effets antiparasitaires ont été également détectés chez les microalgues «*Spirogyra* et *Oedogonium*» (**Pulz et al., 2004**).

9.4. Domaine cosmétique

Plusieurs espèces de micro-algues sont exploitées industriellement dans le domaine cosmétique, principalement les deux espèces «*Arthrospira* et *Chlorella*» (**Stolz et Obermayer, 2005**). Des extraits d'algues, ayant une activité anti-oxydante, sont exploités sur le marché dans la fabrication des produits de soin capillaire, du visage et de la peau ainsi que dans les crèmes solaires (**Fillali, 2012**). Aussi, des extraits protéiques de la souche «*Arthrospira*» entraînent une réparation des premiers signes de vieillissement de la peau.

9.5. Domaine environnemental

L'utilisation des micro-algues dans le secteur de l'environnement s'intègre dans une optique de dépollution avec pour idée de transformer nos déchets en produits ; comme par exemple le traitement des eaux usées chargées en nitrates, phosphates, l'épuration d'effluents gazeux contenant du CO₂ mais aussi divers oxydes NO_x, SO_x, et la bioremédiation possible des sites pollués (**Person, 2010**). Pour éviter la pollution de la nappe phréatique, il est possible de cultiver des algues à partir de ces déchets organiques, et de les épandre ensuite par l'eau d'irrigation. Les matières organiques contenues dans les algues établiront alors des liaisons avec les argiles du sol en formant un complexe argilo-humique qui ne libérera ses matières minérales que très progressivement, préservant ainsi la nappe phréatique (**Dabbadie, 1992**).

9.6. Domaine énergétique

Les microalgues peuvent être une source d'énergie non négligeable. Comme toute biomasse (**Céline, 2013**), celles-ci peuvent produire du biogaz par méthanisation sous forme de bio-méthane ou sous forme d'électricité et/ou chaleur par combustion directe, ou sous

forme de biocarburant ou d'hydrogène (Chisti, 2008). Certaines micro-algues sont riches en sucre et peuvent produire alors du bioéthanol.

Tableau 01 : Les principales espèces de micro-algues commercialisées.

Espèces (ou genres)	Produits	Exemples d'applications
<i>Chlorella</i>	Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> • Complément alimentaire • Nutrition animale
<i>Aphanizomenon flosaquae</i>	β -carotène	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrition
<i>Isochrysis galbana</i>	PUFA* Oméga 3, 6	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrition animale • Aquaculture
<i>Nannochloropsis</i>	Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> • Aquaculture • Algoturburants
<i>Odontella aurita</i>	PUFA* Oméga 3	<ul style="list-style-type: none"> • Nutraceutique • Pharmaceutique • Cosmétique
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Lipides, PUFA*	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrition • Aquaculture • Algoturburants
<i>Porphyridium cruentum</i>	Polysaccharides	<ul style="list-style-type: none"> • Pharmaceutique • Cosmétique • Nutrition
<i>Shizochytrium</i>	PUFA* Oméga 3	<ul style="list-style-type: none"> • Nutraceutique



Chapitre II :
Présentation du site
d'étude

Chapitre II : Présentation du site d'étude

1. Présentation du Parc National d'El-Kala

Le Parc National d'El Kala (PNEK), est niché dans la région d'El Kala wilaya d'El Tarf, dans le nord-est de l'Algérie, à proximité de la frontière avec la Tunisie (Fig. 02). Il s'étend sur une superficie impressionnante de 78 000 hectares, comprenant des lacs, des forêts, des prairies, des montagnes et une magnifique côte méditerranéenne. En ce qui concerne le climat, El Kala bénéficie d'un climat méditerranéen typique, caractérisé par des étés chauds et secs, et des hivers doux et pluvieux. Les températures estivales peuvent atteindre les 35 degrés Celsius, tandis que les températures hivernales descendent rarement en dessous de 5 degrés Celsius.

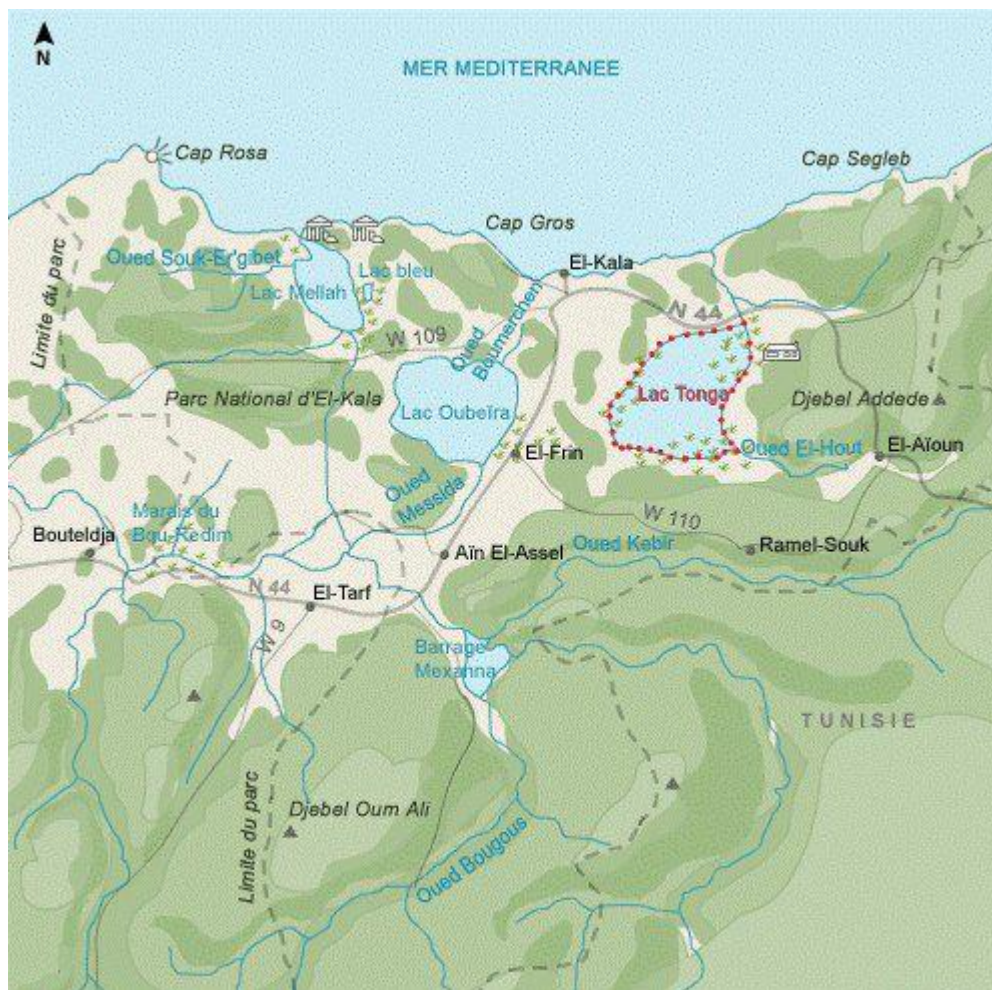


Figure 02: Situation et limites géographiques de l'aire du Parc National d'El-Kala et lac Tonga.

La région d'El Kala a la particularité d'abriter le complexe de zones humides le plus important, Les principales zones humides de la région sont les lacs : Mellah (860 ha), Oubeira

(2200 ha) et Tonga (2400 ha). Ces zones humides constituent des sites privilégiés de reproduction d'espèces animales d'un grand intérêt pour la biodiversité régionale voire nationale ; telles les «Odonates, les Amphibiens et Reptiles» (**Rouag, 1999**), les Oiseaux (**Rizi, 2001**).

Par ailleurs, elles constituent des sites d'accueil pour de nombreux oiseaux migrateurs et hivernants tel que les Anatidés (**Ziane, 1999**), les Limicoles (**Boukhroufa, 2001**). Elles renferment une flore riche et diversifiée comprenant de nombreuses espèces rares, tel que «*Trapa natans*» au niveau du lac Oubeira, «*Marsilea diffusa*» dans le lac Tonga (**Kadid, 1999**).

2. Présentation du lac Tonga

Le Lac Tonga El Kala est un lac d'eau douce situé à l'extrême NordEst de l'Algérie (**Fig. 02**). Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 36°53' de latitude N et 08°31' de longitude E (**Belhadj et al., 2007**).

En ce qui concerne la longueur du lac Tonga El Kala, il s'étend sur environ 7,5 kilomètres et 4 km de large, avec une profondeur moyenne d'environ 5 à 10 mètres.

3. Les caractéristiques écologiques du Lac Tonga

La surface du Lac est recouverte à 90% d'une végétation émergente avec 14 groupements dont 10 associations et 82 espèces dont 32 sont classées assez rares et rarissime. Il existe 22 espèces d'Odonates appartenant à quatre familles.

C'est un site d'hivernage pour des dizaines de milliers d'oiseaux d'eau (canards, oies, rallidés, ardéidés), un site de nidification d'un nombre important d'espèces aviaires et une zone de mue et d'escale (**Ghedadbia, 2012**). Le bassin versant du Tonga de 150 km² est constitué de diverses formations géologiques, calcaires noirs de l'Eocène moyen qui constituent les contreforts entourant le lac (**Otmani M et al., 2018**).

Le vent jouent un rôle important et sont souvent liés aux pluies d'équinoxes qui apportent les précipitations les plus importantes venues de l'Atlantique. D'une manière générale la période hivernale se caractérise par des régimes de Nord et de Nord-Ouest forts à modérés (**Benyacoub, 1993**).

4. La diversité naturelle

Le Parc représente un réservoir de la biodiversité méditerranéenne (Stevenson, 1988). On y trouve 1264 espèces végétales, et 878 espèces animales (Aberkane, 2013).

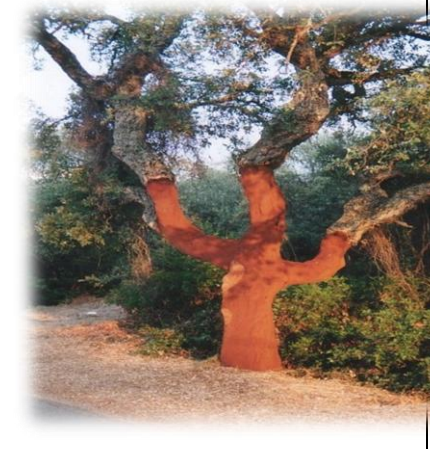


4.1. La flore remarquable

La surface du lac est recouverte à 90 % d'une végétation émergente, il y existe 14 groupements dont dix associations, 82 espèces recensées dont 32 sont classées d'assez rares à rarissimes (Bakaria, 2003).

4.1.1. L'écosystème forestier

La flore forestière se répartit en trois strates, les essences arborées, buissonnantes et herbacées. Le chêne liège «*Quercus suber*» est l'espèce arborée dominante par excellence, suivi des peuplements naturels ou plantés de résineux : Pin maritime «*Pinus pinaster*» et Pin pignon. Au Nord du Lac, se trouve L'aulne glutineux qui s'étend sur environ 37 ha. Le climat quasi tropical de cette dernière, est particulièrement favorable au développement du Cyprès chauve «*Taxodium distichum*», à l'Acacia cyanophylla (Gehu et al., 1993) (Tab. 02).

Tableau 02 : Les arbres forestiers qui entourent le lac Tonga.



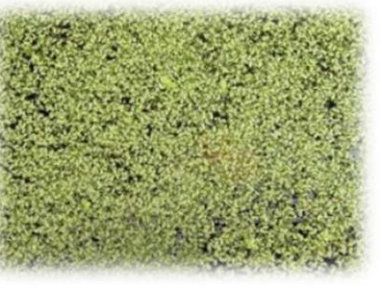
Les arbres		
		
<i>Le chêne liège</i>	<i>Pin maritime</i>	<i>Cyprès chauve</i>

4.1.2. Les plantes aquatiques

La végétation aquatique est représentée par 62 espèces dont une algue «*Chara delicatula*», deux Bryophytes «*Riccia fluitans* et *Ricciocarpus natans*» et une Ptéridophyte «*Marsilea diffusa*» (Kadid, 1999). Elle se divise en deux groupes principaux : (les héliophytes et les hydrophytes). Les héliophytes sont dominés par le Scirpe lacustre «*Scirpus lacustris*». Les hydrophytes sont représentés par le Cornifle d'eau et les myriophylles «*Myriophyllum alterniflorum*». Les lentilles d'eau «*Lemna minor* et *Wolffia arrhiza*» et les utriculaire «*Utricularia exoleta* et *Utricularia vulgari*» représentent les plantes flottantes (Belhadj et al., 2007) (Tab. 03).

Un inventaire permanent de la faune et de la flore a montré la présence de 44 plantes, dont trois protégées en Algérie: *Populus nigra*, *Marsilia diffusa*, *Osmunda regalis* (Gherib et Lazli, 2016).

Tableau 03: Types de plantes aquatiques et de fleurs qui caractérisent le lac Tonga.




Les plantes aquatiques		
		
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>

4.2. La faune remarquable

4.2.1. Les insectes

22 espèces d'odonates sont inventoriées au niveau du lac Tonga. Elles appartiennent à quatre familles taxonomiques : (*Lestidae*, *Coenagrillonidae*, *Aeshnidae* et *Libellulidae*). (Saouche, 1993) (Tab. 04).

Tableau 04: Les différentes espèces des insectes du lac Tonga.

Les insectes		
		
<i>Lestidae</i>	<i>Coenagrillonidae</i>	<i>Aeshnidae</i>

4.2.2. Les poissons

Il existe certains types de poissons qui vivent dans les lacs salés, et c'est la connexion du lac Tonga avec la mer Méditerranée qui a conduit à la diversification des poissons et des crustacés dans ce milieu aqueux, mais nous nous concentrerons sur «*Anguilla anguilla*» (**Fig. 03**).

L'anguille européenne est un poisson migrateur amphihaline thalassotoque (**Dekker, 2003**). L'anguille occupe des habitats très variés: eaux saumâtres (baies, fjords, lagunes, estuaires), milieux dulçaquicoles lotiques (fleuves, rivières, torrents) et lentiques (lacs, étangs, canaux (**Adam, 1997**)).





Figure03 : Photo de l'espèce *Anguilla anguilla* qui est protégé par l'organisation mondiale.

4.2.3. Les mammifères

Le groupe des mammifères est représenté au moins par 37 espèces dont 9 «Chiroptères» (Fekroune, 1998), et une espèce marine, le «Phoque moine de Méditerranée». Si certaines espèces sont particulièrement abondantes, «Chacal» et «Mangouste». La loutre, espèce rare et menacée d'extinction, confinée au lac Tonga reste tributaire de l'intégrité de son biotope (Gacem H, 2015) (Tab. 05).

Tableau 05: Les différents animaux présents dans l'aire géographique du lac, dont certains sont en voie d'extinction.

Les mammifères	
	La loutre
	La mangouste

4.2.4. L'avifaune

Quelques dizaines de milliers d'oiseaux d'eau (canards, oies, rallidés, ardéidés, limicoles et autres), hivernent au Tonga, est un site de nidification d'un nombre important d'espèces aviaires. Parmi elles, nous avons une colonie d'Ardéidés représentée par des Hérons et des Aigrettes. Le busard des roseaux «*Circus aeruginosus*», la poule d'eau «*Gallinula chloropus*» et la talève sultane «*Porphyrio porphyrio*», la guifette moustac «*Chlidonias hybridus*» (Bakaria, 2003).



Chapitre III :
Matériel et méthodes

Chapitre III: Matériel et méthodes

Après avoir terminé la première section, qui est le côté théorique, nous passons à la partie clé de notre étude, le côté appliqué. Ici, nous discuterons de tous les outils et techniques qui ont contribué au succès du processus.

1. Méthode de travail

L'étude menée repose sur les mesures des paramètres physico-chimiques (Température, pH, l'oxygène dissous, la salinité et la conductivité électrique) de l'eau du lac Tonga et l'identification et dénombrement des différentes espèces phytoplanctoniques présents dans cet écosystème aquatique. A cet effet, des matériels et dispositifs ont été utilisés, que ce soit sur le terrain ou en laboratoire, qui sont résumés dans le tableau 06 ci-dessous et (Fig. 04).

Tableau 06: Le matériel utilisé pour les analyses sur terrain et au laboratoire.

Analyses sur terrain	Analyses de laboratoire
<ul style="list-style-type: none"> • Multiparamètres. • L'eau distillée. • Trois bouteilles en plastiques de 1,5L. • Des étiquettes et un stylo indélébile. 	<ul style="list-style-type: none"> • Microscope optique. • Tubes secs. • Lames et lamelles. • Micropipette. • Lugol. • Eprouvette graduée. • Portoir. • Vernie transparent. • Huile d'immersion.



Figure 04 : Photo représente le matériel utilisé au laboratoire (Photos prise personnel).

1.1. Echantillonnage et choix des zones de prélèvement

Etre effectué conformément aux normes internationales bien documentées afin de produire de bons résultats pour les résultats d'analyse de l'eau de cette région.

On doit éviter de prélever dans des zones proches du bord, dans ces zones on peut rencontrer des concentrations considérables de sable et de sédiment. Pour cette raison, les lieux de prélèvement d'échantillons sont généralement choisis aux endroits où la profondeur de l'eau se situe entre 1 et 1,5m (Lightfoot, 2002).

Afin d'atteindre les objectifs d'évaluation de la qualité de l'eau et d'aide au développement de la qualité du phytoplancton du lac Tonga, nous avons sélectionnée une seule station de collecte (Fig. 05). Les prélèvements sont réalisés sur une période de trois mois (janvier, février et mars 2023) (Tab.07) avec un seul échantillonnage par mois.



Figure 05: Localisation de station de prélèvement (Google Earth, 2023).

Tableau 07: Dates et heures des prélèvements d'échantillonnage.

Prélèvement	Dates et heures
Prélèvement 01	Le 18 janvier 2023 (11:50H)
Prélèvement 02	Le 18 février 2023 (14:00H)
Prélèvement 03	Le 18 mars 2023 (13:00H)

1.2. Méthode de prélèvement

La mesure des paramètres physico-chimiques (Température, pH, l'oxygène dissous, la salinité et la conductivité électrique) a été faite à l'aide d'un multi-paramètre de terrain de marque WTW Multi 1970i (**Fig. 06**), qui consiste à descendre la sonde appropriée dans l'eau après étalonnage, puis à attendre quelques secondes que l'affichage du résultat de la mesure se stabilise à l'écran.



Figure 06: Photo de multi-paramètre utilisé.

La bouteille en plastique est utilisée pour l'échantillon destiné à l'analyse phytoplanktonique, qui est réalisé en faisant tourner la bouteille et en l'immergeant complètement à une profondeur de 50 cm tout en maintenant l'alignement vertical et en maintenant le bas. La deuxième et le troisième prélèvement (**Tab. 07**), se fait à partir la même méthode. Le remplissage de la bouteille ne doit pas se faire jusqu'en haut pour permettre une bonne homogénéisation de l'échantillon avant la prise des sous-échantillons pour comptage au laboratoire.

Pour fixer les structures phytoplanktoniques incluses dans les échantillons, un volume de Lugol concentré a été ajouté immédiatement après leur collecte (5 ml pour une bouteille de 1 L) (**Thronsdén, 1978**), Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair. Et pour notre cas on ajoute presque 7.5ml ou plus de Lugol pour une bouteille 1.5L (**Fig. 07**). Ensuite les échantillons sont transportés au laboratoire pour être analysés.

Avant leurs analyses les bouteilles sont conservées dans un milieu frais à l'abri de la lumière afin d'éviter la décoloration et la détérioration des cellules. On transfère 25 ml de l'échantillon mère fixé préalablement avec le Lugol dans un tube à essai et on le laisse décanté 24 h (**Bourelly, 1990**).



Figure 07 : Photo présente l'échantillon prélevé (Photos prise personnel).

1.3. Enregistrement et étiquetage des échantillons

Il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables (**Rodier et al., 1996**). La réalisation de ce cas requiert la disponibilité des informations : sites de prélèvements, quantité prélevée, température, salinité, pH, l'oxygène dissous, conductivité, date et heure de prélèvement, conditions météorologiques, numéro d'échantillon et toutes circonstances anormales.

1.4. Transport et conservation des échantillons avant l'analyse

L'échantillon ainsi fixé peut être conservé au maximum 3 semaines à l'obscurité avant l'analyse ou 12 mois s'il est maintenu au froid et à l'obscurité (entre 1 et 4°C) (**Jean Claude et al., 2008**).

Il est préférable d'envelopper les flacons d'échantillons avec du papier d'aluminium et placées dans une glacière contenant la glace et transporté afin de les isoler de la lumière lors de leur transport, pour assurer une conservation satisfaisante. Une décoloration peut se produire avec le temps et l'exposition à la lumière. Dans ce cas, ajouter un petit volume de Lugol (quelques gouttes) pour maintenir la fixation de l'échantillon.

2. Analyses physicochimiques

Les paramètres physico-chimiques (T° , pH et taux d'oxygène dissous, salinité, la conductivité électrique (CE)) ont été mesurés sur site à l'aide d'un système multi-paramètres «WTW. Multi 197i/ SET». En fait, ces paramètres sont très sensibles aux conditions environnementales et sont susceptibles de changer de manière significative s'ils

ne sont pas mesurés sur site. Après chaque utilisation, les sondes doivent être rincées avec l'eau distillée.

2.1. La température

La température est une mesure momentanée en fonction du temps, de l'heure et du lieu de prélèvement. Elle agit comme un facteur écologique majeur dans les biotopes terrestre et aquatique (**Ramade, 2000**). La température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (**Rodier, 1984**).

Elle affecte la densité et la viscosité de l'eau, la solubilité des gaz et en particulier de l'oxygène, la vitesse de réactions chimiques et biochimiques. Ces variations peuvent tuer certaines espèces aquicoles, mais également favoriser le développement d'autres espèces, ce qui entraîne un déséquilibre écologique (**Arrignon, 1991**).

Selon la recherche de **Monod (1989)**, il y a une relation entre la température et la qualité de l'eau, présenté dans le tableau 08.

Tableau 08: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (**Monod, 1989**).

Température	< 20°C	20°C - 22°C	22°C – 25°C	25°C – 30°C	> 30°C
Qualité	Normale	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise

La mesure de la température est effectuée sur le terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètres. La lecture est faite après une immersion de 10 minutes (**Rodier, 1996**).

2.2. Le potentiel d'hydrogène

Le pH influence fortement la diversité biologique des lacs. En effet, la majorité des organismes aquatiques ont besoin d'un pH voisin de la neutralité (6-9) afin de survivre. Des variations importantes de pH peuvent donc compromettre certaines de leurs fonctions essentielles telles que la respiration et la reproduction. Ainsi, les eaux acidifiées sont caractérisées par un déclin de la diversité biologique (**Hade, 2002**).

L'échelle de pH détermine si un matériau est acide, neutre ou basique, et elle est calculée en utilisant le nombre d'ions hydrogène présents. Le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14, un pH 7 signifie que la solution est neutre. Un pH inférieur à 7 indique que

la solution est acide, et un pH supérieur à 7 indique que la solution est basique, une solution est neutre lorsqu'il y a autant de H⁺ que d'OH⁻ (Tab. 09) (Rodier et al., 1996).

Le pH de l'eau influence la quantité de nutriments (ex: phosphore, azote) et de métaux lourds (ex: plomb, mercure, cuivre) dissous dans l'eau et disponibles pour les organismes aquatiques. Dans des conditions acides, certains métaux lourds toxiques se libèrent des sédiments et deviennent disponibles pour l'assimilation par les organismes aquatiques (Landry et al., 1992). Il peut être déterminé par diverses méthodes d'analyses, telles que les indicateurs colorés, le papier-pH ou l'utilisation d'un pH-mètre (Rodier, 1996).

Tableau 09: Les variations du pH de l'eau (Zerluth, 2004).

pH ≤ 5	Acidité forte = présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 ≤ pH ≤ 8	Neutralité approchée la majorité des eaux de surface
5.5 ≤ pH ≤ 8	Majorité des eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité forte évaporation intense

2.3. La salinité

La salinité fait référence à la mesure de concentration en sels dissous dans l'eau. Elle est généralement exprimée en parties par millier (ppt) ou en pourcentage (‰). La salinité est principalement due à la présence de chlorure de sodium (sel de table), mais d'autres sels, tels que le sulfate de magnésium et le bicarbonate de calcium, peuvent également contribuer à sa composition.

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximal de densité), d'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin certains sont essentiellement déterminés par la qualité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) (Bouzaaroura, 2011). En fonction de la salinité, les eaux peuvent être classées suivant les indicateurs du tableau 10.

Tableau 10: Classification des eaux selon la salinité (Chevallier, 2007).

Qualité de l'eau	La salinité
Eaux douces	Moins de 0,5 g/l

Tableau 10: (Suite)

Eaux oligohalines (légèrement saumâtres)	0,5 à 5 g/l
Eaux mésohalines (saumâtres)	0,5 à 18g/l
Eaux polyhalines (très saumâtres)	18 à 30g/l
Eaux salées	30 à 45 g/l
Eaux hyperhalines	Plus de 45g/l

2.4. La conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau (CE) est la capacité d'une eau à conduire l'électricité. La conductivité augmente avec la teneur en solides dissous. Elle donne une bonne indication des changements de la composition des eaux, et spécialement de leur concentration en minéraux.

Lorsque des changements notables de conductivité sont observés dans un lac, c'est le signe d'une augmentation des apports de substances dissoutes provenant du bassin versant. Cependant, il est difficile de dire si les matières qui provoquent un changement proviennent de minéraux naturels ou de polluants et c'est pourquoi seule une analyse en laboratoire indique avec précision la nature des minéraux dissous dans le lac (**Mddelcc, 2014**).

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (**Merabet, 2010**). La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S/cm}$. Le tableau 11 montre les différents états de conductivité électrique de l'eau.

Tableau 11: Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (**Kemmer F.N., 1984**).

Conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation
<100	Eau de minéralisation très faible
Entre 100 et 200	Eau de minéralisation faible
Entre 200 et 333	Eau de minéralisation peu accentuée
Entre 333 et 666	Eau de minéralisation moyenne
Entre 666 et 1000	Eau de minéralisation importante
>1000	Eau de minéralisation élevée

2.5. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments.

Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau, une valeur inférieure à 1 mg/l d'O₂ indique un état proche de l'anaérobiose (**Beupoil et Bornens, 1997**).

Tableau 12: Classification des eaux selon l'oxygène dissous (**Rodier, 1976**).

Qualité d'eau	Eau très Pures	Eaux potables	Eaux suspecte	Eaux Mauvaise
Oxygène dissous	Moins de 1 mg/l	Entre 1 et 2 mg/l	Entre 1 et 2 mg/	Plus de 4 mg/l

3. Analyse phytoplanctonique

3.1. Méthode expérimentale

Nous avons fait des analyses de phytoplancton au laboratoire de microbiologie à l'université 8 Mai 1945 – Guelma, selon le protocole suivant :

- Transférer un volume de 50 ml dans éprouvette pour la sédimentation.
- L'éprouvette remplie doit être laissée à l'obscurité et un lieu sans vibration pour une sédimentation correcte de l'échantillon.
- Prélever un volume de 20 µl de l'échantillon à analyser par une micropipette.
- Placer le volume prélevé entre lame et lamelle, éviter d'enfermer sur des bulles d'air.
- Lutter la lamelle avec du vernis à ongles pour que cette préparation reste valable plusieurs heures.
- Utiliser un microscope optique après l'ajout d'une goutte d'huile d'immersion au-dessus de lamelle pour les observations à l'objectif x100.

3.2. Analyse qualitative

L'analyse qualitative vise à identifier les espèces phytoplanctonique en se référant et en s'appuyant sur les clés d'identification proposées par **Bourelly (1985)**, basées sur les caractères morphologiques, tels que: La forme des cellules (largeur, longueur, filamenteuse, coloniale), leurs enveloppes mucilagineuses, coloration, pigmentation et la présence ou non de structures cellulaires caractéristiques «akinètes, hétérocystes et vacuoles gazeuses» (**Ghedadbia, 2012**).

3.3. Analyse quantitative

Dans notre étude, la numération du phytoplancton est effectuée à l'aide d'un microscope optique, selon la méthode proposée par (**Andersen et al., 1983**). Après la préparation des lames on commencer l'observation. Le décompte des individus est exprimé en nombre par microlitre. Pour ce faire, la moyenne du nombre d'individus présents dans les trois lames par volume est calculée, puis convertie en nombre d'individus par litre. La méthode de comptage utilisée dépend de la concentration de phytoplancton. Le comptage peut être effectué de trois manières différentes selon la faible concentration d'algues (**Fig. 08**):

- Sur au minimum 30 champs choisis aléatoirement, si les algues sont très abondantes.
- Sur un ou plusieurs transects en parcourant le diamètre de la chambre, soit 26 millimètres.
- Sur une demi-chambre ou sur l'ensemble de la chambre de sédimentation.

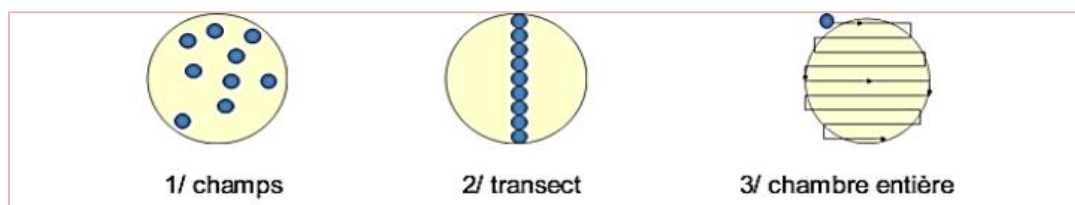


Figure 08: Représentation schématique des différentes méthodes de comptage (**Sonia, 2013**).

A horizontal red banner with rounded corners and a slight 3D effect, resembling a scroll. It has a darker red border and a lighter red fill. The text is centered on the banner.

Chapitre IV:
Résultats et discussion

Chapitre IV: Résultats et discussions

1. Résultats des analyses physicochimiques

Afin d'étudier une population de phytoplancton associée au site de notre recherche, les paramètres physico-chimiques tels que le potentiel d'hydrogène, la salinité, la conductivité électrique, la température de l'eau et la quantité d'oxygène dissous sont mesurées pour caractériser l'eau dans laquelle vivent ces organismes, car ces derniers sont très sensibles aux changements dans leur environnement.

Les valeurs mesurées que nous avons obtenues Au cours de la période d'étude (de janvier à mars), nous ont permis de connaître quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Tonga et leurs variations au cours de cette période. Ces variations sont représentées par les graphiques ci-dessous.

1.1. Température

La température de l'eau doit être mesurée sur place, du fait qu'il s'agit d'un paramètre variable qui évolue avec le temps et les conditions météorologiques.

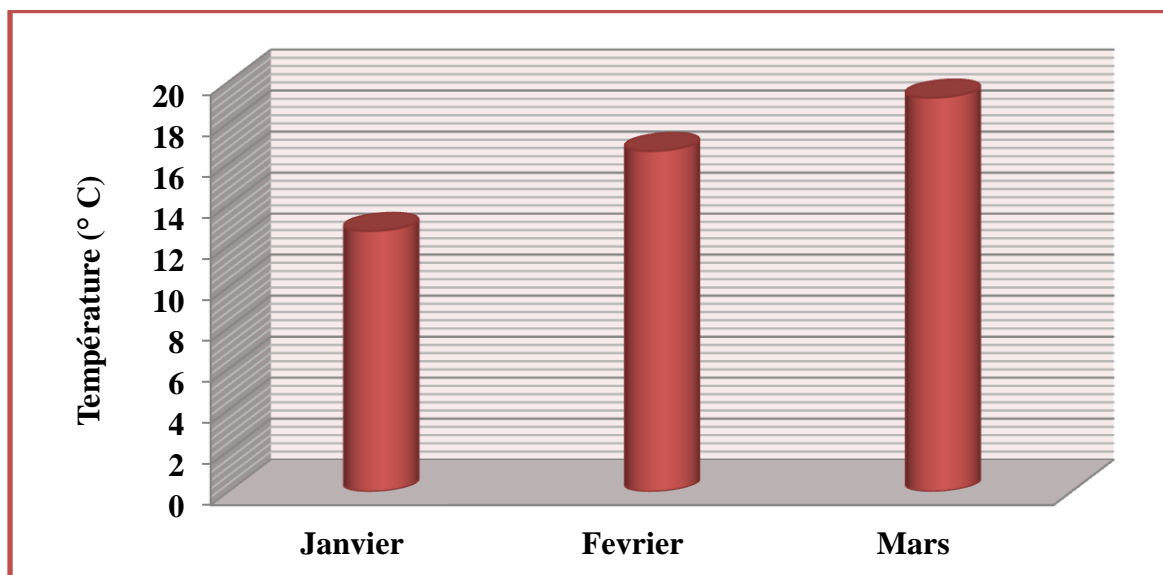


Figure 09: Variations de la température de l'eau de lac Tonga.

D'après les résultats présentés dans la figure ci-dessus (**Fig. 09**), nous constatons que la température des eaux du lac augmente, où 12,7°C ont été enregistrés en janvier comme la valeur la plus basse, et cette température a atteint sa valeur maximale en mars, alors qu'elle était estimée à 19,2°C. Ces changements dans la température de l'eau du lac sont directement proportionnels aux changements dans la température de l'atmosphère régnant dans la région, et sont donc des changements saisonniers.

1.2. Potentiel d'hydrogène

Le pH est un paramètre important dans les études des milieux aquatiques, et la plus part des microorganismes aquatiques besoin d'un pH entre 6 et 9 pour leurs survies. La variation de pH est influencée par plusieurs paramètres, comme les activités des microorganismes parmi eux la respiration et la photosynthèse par l'utilisation de dioxyde de carbone (CO_2). Le pH se change pendant toute la journée car il est sous control d'effets précités, eux-mêmes contrôlés par les changements de température et d'intensité lumineuse.

La figure 10 au-dessous présente les valeurs de pH qu'on a enregistré pendant notre étude sur lac Tonga.

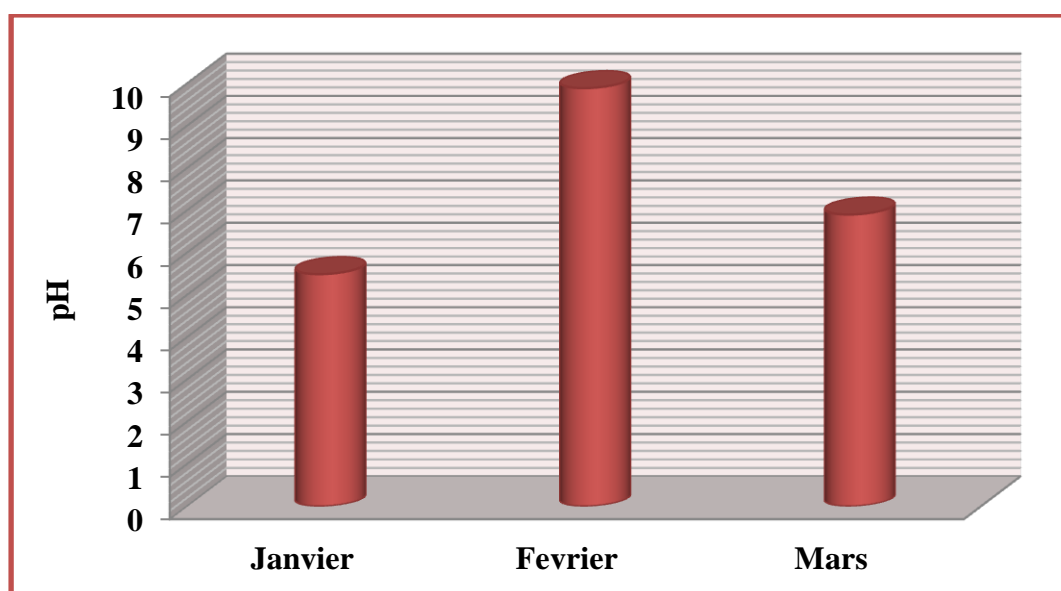


Figure 10: Variations du pH de l'eau de lac Tonga.

Selon cette figure, le pH de l'eau du lac est généralement considéré comme une eau de modéré à alcalin selon le tableau 11, car cette acidité varie entre 5,49 et 9,89. Cette acidité est propice à la croissance de nombreux phytoplanctons en eau douce, et elle atteint sa valeur la plus élevée au mois de février, et cela est dû à l'eau de pluie qui a atteint le lac chargée de nombreux éléments chimiques et minéraux et d'engrais trouvés dans le bassin versant du lac, ce qui a entraîné un pH élevé.

1.3. Conductivité électriques (CE)

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

plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rejsek, 2002).

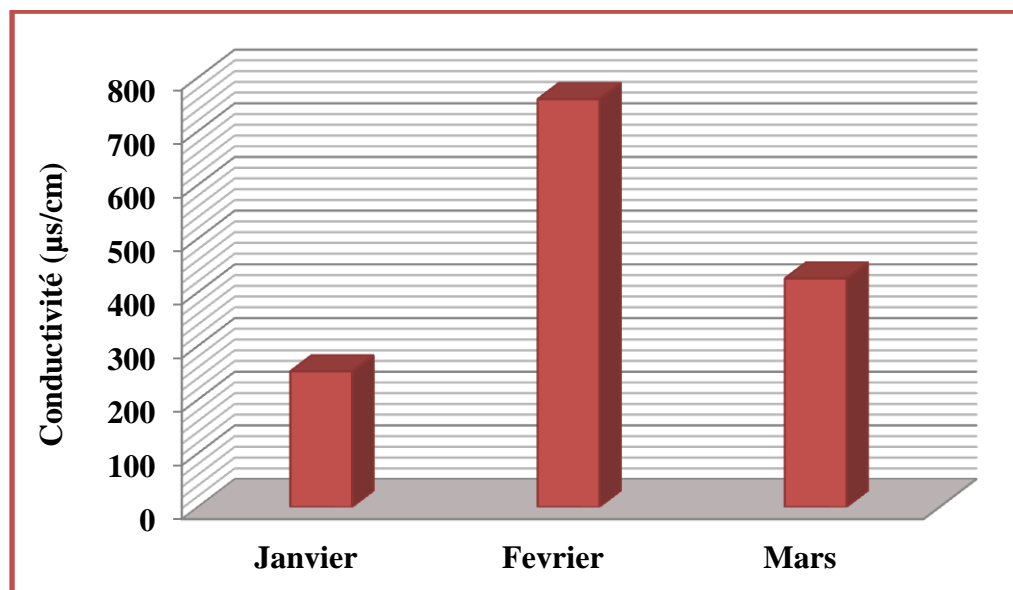


Figure 11: Variations de la conductivité des eaux du lac Tonga.

Les résultats présentés sur la figure 11 montrent que la conductivité électrique de l'eau du lac Tonga au cours de cette période d'étude est de faible à significative selon la grille d'appréciation de la qualité de l'eau selon la conductivité électrique (Tab. 11), puisque sa valeur la plus basse a été estimée à 253 µs/ml au mois de janvier, lorsque le lac était presque à sec après la vague d'incendies qui a affecté la région en août 2022. Quant à la valeur la plus élevée, elle a été enregistrée au mois de février, et elle a été estimée à 760 µs/ml, et cela est dû aux précipitations et lorsque l'eau se réchauffe, la conductivité augmente. Cela est dû au fait que l'évaporation enlève l'eau mais pas les sels.

1.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous mesure important pour la vie des microorganismes (essentiel pour les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse), et participe dans la plus part des réactions chimiques.

Les résultats de la mesure de l'oxygène dissous dans les eaux du lac Tonga sont présentés dans la figure 12 ci-dessous.

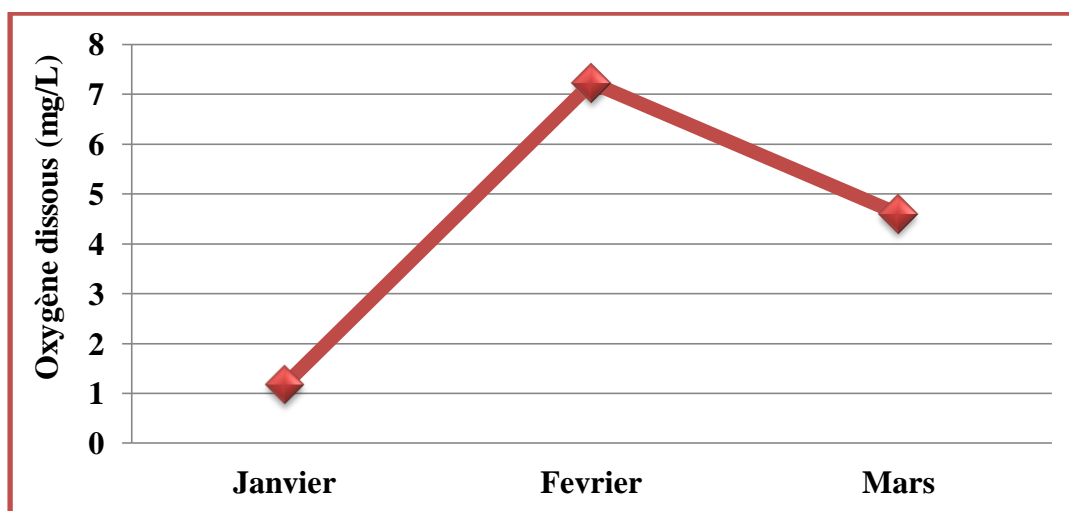


Figure 12: Variations de l'oxygène dissous des eaux du lac Tonga.

Ces mesures de la quantité d'oxygène dissous (**Fig. 12**) ont montré que l'eau de ce lac avait une faible quantité au cours du mois de janvier, et elle a été estimée à 1,18 mg/L, et c'est parce que l'eau est très faible et stagnante pendant cette période, aussi la fin de l'été, lorsque la croissance des algues atteint son maximum et celles-ci commencent à se dégrader. Alors que la plus grande quantité d'oxygène dissous a été enregistrées au mois de février avec 7,24 mg/L, car les précipitations ont entraîné le débit des rivières et des vallées qui se jettent dans le lac et ont ainsi créé un mouvement de la colonne d'eau et son mélange avec l'air, ce qui a entraîné à une augmentation de ce pourcentage d'oxygène.

1.5. Salinité

L'eau est dite douce lorsque sa salinité est inférieure à 1 g/L (1000mg/L) (Kloppmann et Asfirane, 2011).

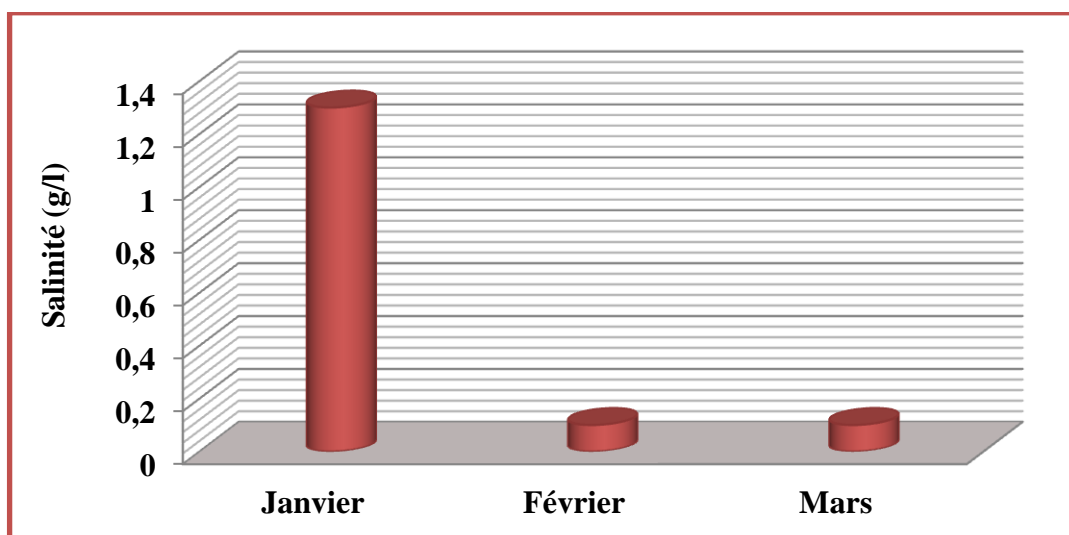


Figure 13: Variations de la salinité des eaux du lac Tonga.

Selon les résultats illustrés dans l'histogramme (**Fig. 13**), la salinité de l'eau du lac Tonga au cours de la période d'étude variait de 0,1 à 1,3 g/l, ce qui se situe dans les limites de la salinité des eaux de surface en général, ce qui convient à la croissance d'organismes aquatiques tels que le phytoplancton. Enregistrement de la valeur la plus élevée (1,3 g/l) au mois de janvier en raison du faible pourcentage d'eau et de la forte évaporation de l'eau à la suite de la vague de chaleur qui a précédemment balayé la région, ce qui a entraîné une augmentation de la concentration de sels et d'éléments chimiques dans cette eau.

2. Résultats des analyses phytoplanctoniques

2.1. Résultats de l'analyse qualitative

Les résultats de l'étude qualitative du phytoplancton durant la période hivernale, soit la période d'étude s'étendant de janvier à mars 2023, ont montré que les eaux du lac Tonga contiennent un peuplement phytoplanctonique représenté par 39 espèces classées en 30 genres et appartiennent à 05 familles ou embranchements indiqués selon leur identification et leur classification dans le tableau 13 où ces embranchements sont : Les Cyanobactéries, les Chlorophycées, les Chrysophycées, les Pyrrophyées et les Euglenophycées.

Tableau 13: L'identification des taxons phytoplanctoniques de lac Tonga pendant la période d'étude.

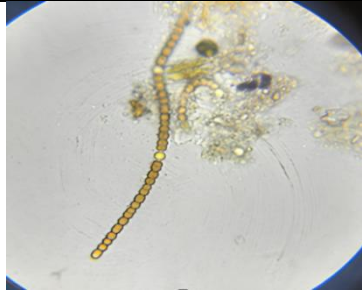

Classe	Genre	Espèce	Aspect microscopique
Cyanobactéries	Anabaena	<i>Anabaena azollae</i>	
		<i>Anabaena flos-aquae</i>	

Tableau 13: (Suite)




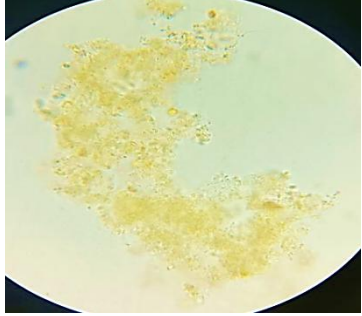
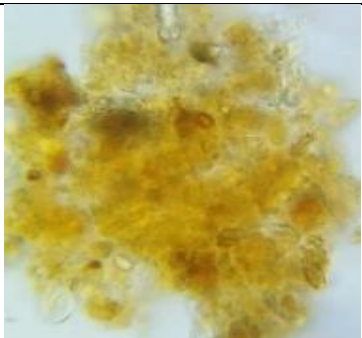
	<i>Pseudanabaena</i>	<i>Pseudanabaena sp</i>	
	<i>Chroococcus</i>	<i>Chroococcus limneticus</i>	
	<i>Eptolyngbia</i>	<i>Leptolyngbia sp</i>	
	<i>Microcystis</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
<i>Microcystis sp</i>			

Tableau 13: (Suite)

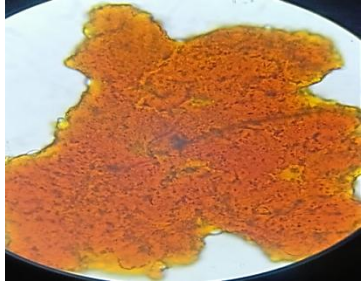


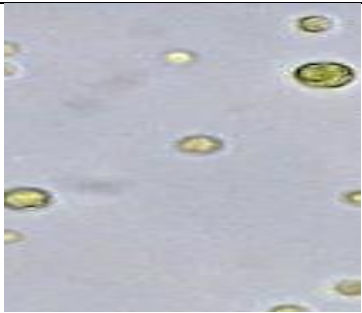


Chlorophycées	<i>Botryococcus</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
	<i>Chatonella</i>	<i>Chatonella</i> spp	
	<i>Chlamydomonas</i>	<i>Chlamydomonas</i> sp	
	<i>Chlorella</i>	<i>Chlorella sorokiniana</i>	
	<i>Dunaliella</i>	<i>Dunaliella salina</i>	
	<i>Golenkiniopsis</i>	<i>Golenkiniopsis longispina</i>	

Tableau 13: (Suite)


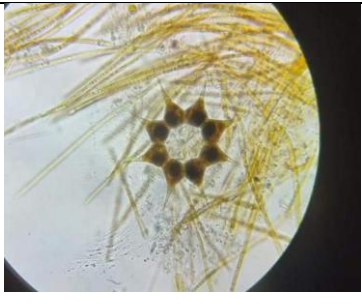
	<i>Microthamnion</i>	<i>Microthamnion sp</i>	
	<i>Micractinium</i>	<i>Micractinium pusillum</i>	
	<i>Oocystis</i>	<i>Oocystis borgei</i>	
	<i>Pediastrum</i>	<i>Pediastrum sp</i>	
	<i>Pseudoschroederia</i> <i>a</i>	<i>Pseudoschroederia</i> <i>robusta</i>	

Tableau 13: (Suite)

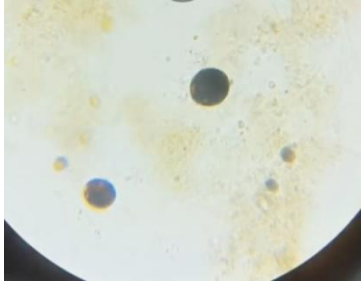
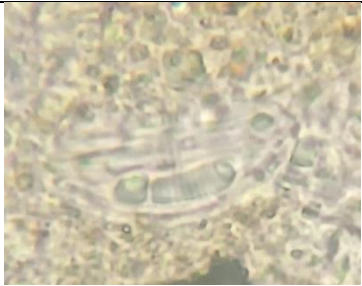
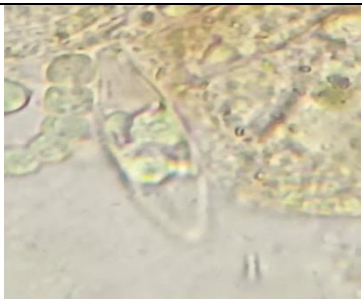


	<i>Symbiodinium</i>	<i>Symbiodinium psygmophilum</i>	
<i>Chrysophycées</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella sp</i>	
	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema affine</i>	
	<i>Guinardia</i>	<i>Guinardia delicatula</i>	
	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	

Tableau 13: (Suite)






	<i>Menisculus</i>	<i>Menisculus schumann</i>	
	<i>Navicula</i>	<i>Navicula secreta</i>	
		<i>Navicula sp</i>	
	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia pelea</i>	
		<i>Nitzschia sp</i>	

Tableau 13: (Suite)



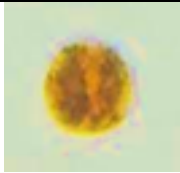





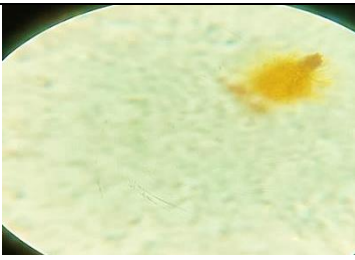
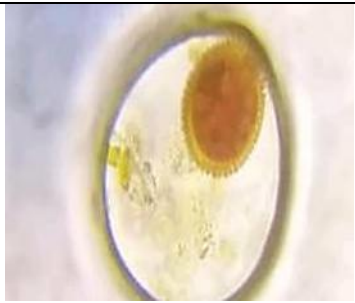

	<i>Pinnuloria</i>	<i>Pinnuloria borealis</i>	
	<i>Surirella</i>	<i>Surirella elegans</i>	
<i>Pyrrhophycées</i>		<i>Cryptomonas ovata</i>	
	<i>Cryptomonas</i>	<i>Cryptomonas sp</i>	
	<i>Ostreopsis</i>	<i>Ostreopsis ovata</i>	
<i>Euglenophycées</i>	<i>Euglena</i>	<i>Euglena bellavacensis</i>	

Tableau 13: (Suite)

		<i>Euglena sanguinea</i>	
	<i>Trachelomonas</i>	<i>Trachelomonas armata</i>	
		<i>Trachelomonas bituricensis</i>	
		<i>Trachelomonas hispida</i>	
		<i>Trachelomonas volvacina</i>	

2.2. Résultats de l'analyse quantitative

2.2.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique totale de la population de phytoplancton inventoriée dans le lac Tonga évolue d'un mois à l'autre sous l'influence des facteurs physico-chimiques du milieu, car nous avons constaté que cette richesse spécifique est à son maximum avec 26 espèces et 20 genres en mois de février (**Fig. 14**) et cela est dû aux degrés de température,

conductivité électrique, acidité et d'oxygène dissous qui sont favorables et permettent l'apparition et la croissance à de nombreux espèces de phytoplancton. En revanche, la richesse spécifique la plus faible a été enregistrée au mois de janvier avec 9 espèces et 9 genres, et ce parce que certaines espèces comme les Chrysophycées qui ne sont pas adaptées aux facteurs abiotique dominantes du milieu, notamment avec l'étiage du lac, où ces espèces se déposent au fond du lac et n'apparaissent pas dans la colonne d'eau. Aussi, la basse température de ce mois ne permet pas l'apparition et la croissance des espèces de la classe des Cyanobactéries.

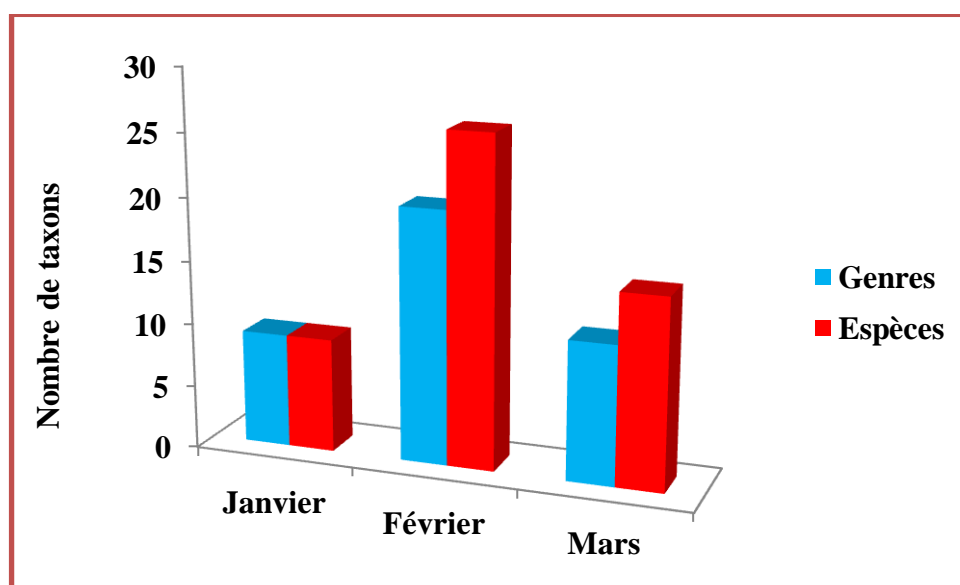


Figure 14: Variations de la richesse spécifique de la population phytoplanctonique du lac Tonga.

En termes de nombre d'unités taxonomiques du phytoplancton total présent dans le lac pendant la période d'étude, on constate que la classe des Chlorophycées se classe première par 12 espèces et 12 genres (**Tab. 13**), suivie de la classe des Chrysophycées par 11 espèces 9 genres, puis la classe des Cyanobactéries par 7 espèces et 5 genres, la classe des Euglenophycées par deux genres et 6 espèces, et enfin on trouve les Pyrrophycées, qui est représenté par 3 espèces appartenant à deux genres seulement.

La contribution des groupes phytoplanctoniques à la richesse spécifique varie d'un mois à l'autre et d'un groupe à l'autre. La figure 15 ci-dessous montre que la population phytoplanctonique du lac Tonga au mois de janvier est dominée par les Chlorophycées par 7 espèces et un taux de contribution estimé à 78% dans la richesse spécifique totale pour ce

mois, suivi par les Pyrrophytes et les Euglenophytes, avec une contribution de 11% pour chacun d'eux.

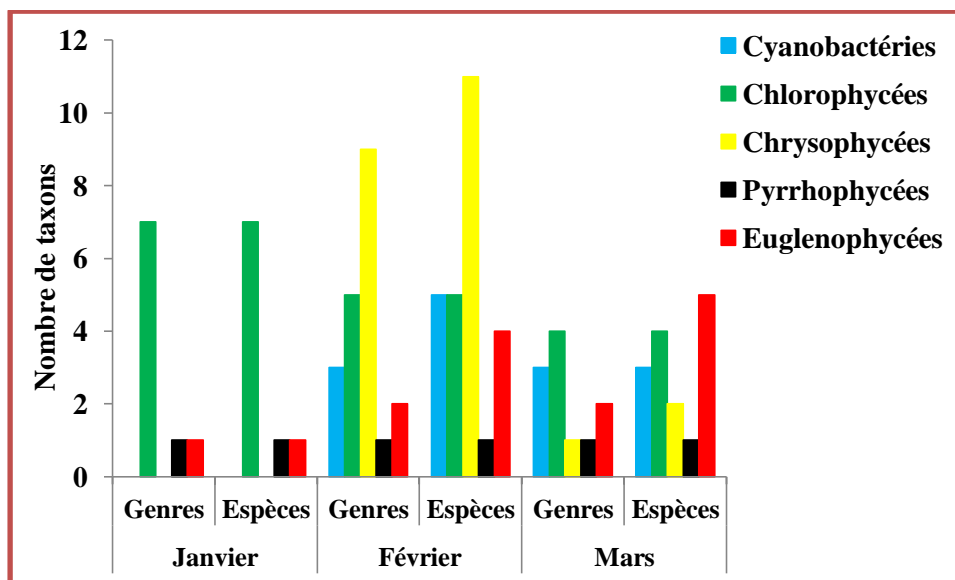


Figure 15: Variations de la richesse spécifique des groupes phytoplanctoniques.

Au mois de février, du fait de la crue du lac et du brassage des eaux, les Chrysophycées sont apparues, car elles étaient les dominantes, représentées par 11 espèces, avec un taux de contribution estimé à 42 % (**Fig. 15**). De plus, la température élevée de l'eau et le taux élevé d'oxygène dissous ont conduit à l'apparition des cyanobactéries, qui se sont classées au deuxième rang en termes de pourcentage de contribution à la richesse spécifique avec la classe des chlorophycées par 19 % pour chacune. Quant au pourcentage de contribution le plus faible, il est représenté par la classe des Pyrrophytes par 4% et avec une seule espèce.

La représentation de la plupart des groupes phytoplanctoniques et leur contribution à la richesse spécifique coïncident au mois de mars, où l'on remarque que la contribution des Euglenophytes est estimée à 33%, suivi des Chlorophycées et des Cyanobactéries avec 27 et 20%, respectivement. Alors que la moindre contribution était estimée à 7%, elle était représentée par les Pyrrophytes.

2.2.2. Diversité phytoplanctonique

L'étude des variations de la diversité de la population de phytoplancton au niveau du lac Tonga à chaque mois de la période d'étude a été réalisée à l'aide de l'indice de

Shannon calculé à partir de la densité de population totale à chaque mois, la figure 16 montre l'évolution de cette diversité.

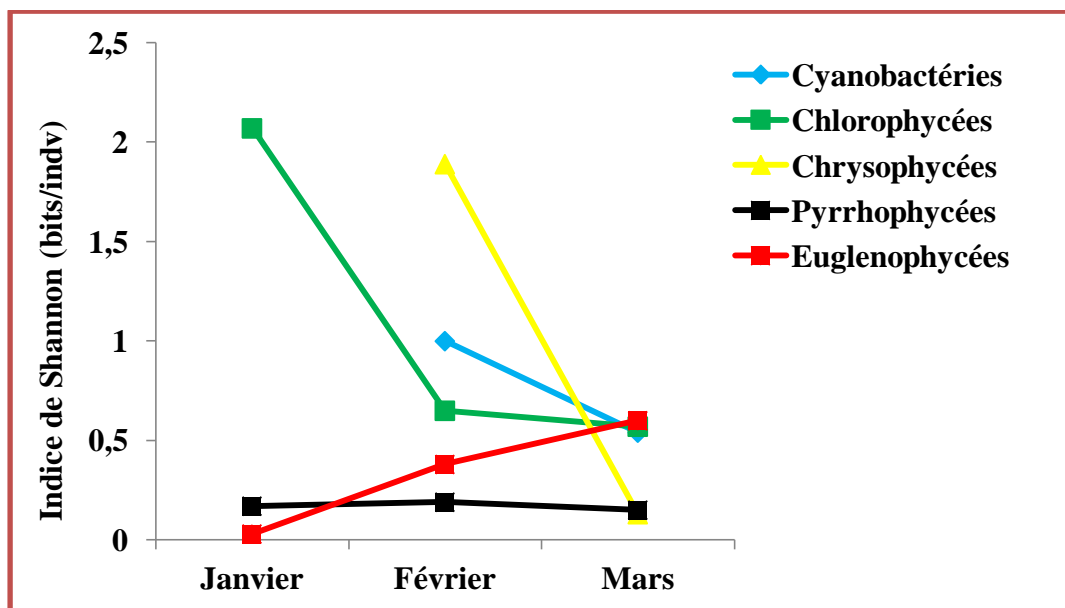


Figure 16: Variations de la diversité des groupes phytoplanctoniques.

La classe des Cyanobactéries est plus diversifiée en février, atteignant 1 bits/indv, cette diversité diminue en mars. Alors que les Chlorophycées sont dominantes sur l'ensemble de la population au mois de janvier, où la diversité atteint sa valeur maximale, estimée à 2,07 bits/indv, avec un écart important sur le reste des classes, puis cette diversité diminue jusqu'à 0,57 bits/indv au mois de mars à cause de la disparition de nombreuses espèces qui lui appartiennent.

Les Chrysophycées sont plus diversifiées au mois de février par 0,13 bits/indv. La diversité des Euglenophycées augmente durant la période d'étude de 0,03 bits/indv en janvier à 0,6 bits/indv en mars. Alors que la diversité des Pyrrhophycées, est presque constante à tous les mois et est proche de zéro, ce qui indique l'apparition égale de ses espèces à tous les mois, car en réalité une seule espèce appartenant à cette classe apparaît à chaque mois.

La figure 16 nous montre également que la plus forte diversité au mois de janvier était dans la classe des Chlorophycées, et la plus forte diversité au mois de février était pour les Chrysophycées. Quant au mois de mars, la diversité de chacune des Cyanobactéries, des Euglenophycées et des Chlorophycées est proche.



Conclusion

Conclusion

Ce travail représente une étude de la biodiversité phytoplanctonique du lac Tonga en tant qu'une zone humide du Park nationale d'El Kala. Cette étude est basée sur les analyses des échantillons à partir d'un seul point de prélèvement pendant la période hivernal 2023.

On commence par une analyse des paramètres physicochimiques puis une analyse qualitative et autre quantitative des phytoplanctons. Les résultats des paramètres physico-chimiques à montrer que l'eau de lac Tonga est généralement considéré comme une eau de modéré à alcalin, avec une acidité varie entre 5,49 et 9,89, cette acidité atteint sa valeur la plus élevée au mois de février, et avec des valeurs de salinité entre 1 et 0,1 la salinité des eaux de surface en général, ce qui signifier que l'eau du lac est douce, La conductivité électrique de l'eau du lac varié entre 253 et 760 $\mu\text{s}/\text{cm}$, c'est-à-dire une très faible à faible minéralisation, où la valeur la plus basse a été estimée au mois de janvier, Cette eau est également bien oxygénée surtout au mois de février, lorsque la quantité d'oxygène dissous dans l'eau a atteint 7,24 mg/L a cause des précipitations qui ont créé un mouvement de la colonne d'eau et son mélange avec l'air. La température de l'eau du lac est directement proportionnelle aux changements dans la température de l'atmosphère régnant dans la région, et elle est donc une température saisonnière.

L'analyse phytoplanctonique a fait ressortir de 39 espèces et 30 genres, réparties sur 05 classes qui sont : les Chlorophycées qui est la classe dominante (30,76%), suivie par les Chrysophycées (28,20%) puis les Cyanobactéries (17,94%) et les Euglenophycées (15,38%) en fin les Pyrrhophycées (7,69%). On plus on a identifié deux taxons de nature toxique tel que *Microcystis aeruginosa* et *Anabaena flos-aquae*. En revanche, la présence des genres toxiques fait que le lac n'est pas totalement à l'abri d'éventuelles eutrophisations qui pourraient être à l'origine des perturbations écologiques notamment au niveau des chaines trophiques.

La richesse spécifique totale de la population de phytoplancton inventoriée dans le lac Tonga évolue d'un mois à l'autre sous l'influence des facteurs physico-chimiques du milieu cette richesse spécifique est à son maximum avec 26 espèces en mois de février, cela est dû aux degrés de température, conductivité électrique, acidité et d'oxygène dissous qui sont favorables et permettent l'apparition et la croissance à de nombreux espèces de phytoplancton.

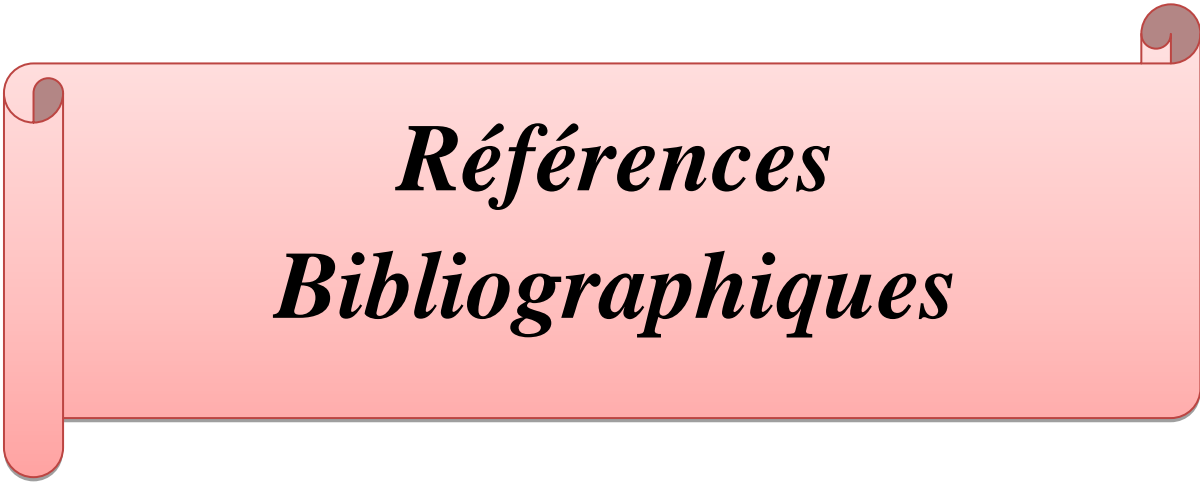
La classe des Chlorophycées se classe première en termes de nombre d'unités taxonomiques par 12 espèces et 12 genres, suivie de la classe des Chrysophycées par 11 espèces 9 genres. Les Pyrrophytes, n'est représenté que par 3 espèces appartenant à deux genres seulement, et ils se classent dernier en termes de qualité richesse spécifique.

La population phytoplanctonique du lac Tonga au mois de janvier est dominée par les Chlorophycées par 7 espèces. Au mois de février, du fait de la crue du lac et du brassage des eaux, les Chrysophycées sont apparues, elles étaient les dominantes et représentées par 11 espèces, avec un taux de contribution estimé à 42 %. Au mois de mars nous avons remarqué que la représentation de la plupart des groupes phytoplanctoniques et leur contribution à la richesse spécifique coïncident.

Les résultats obtenus sur la composition des communautés phytoplanctoniques du lac Tonga, bien que limités à la seule période hivernale, sont similaires aux résultats atteints par **Djabourabi et al., (2017)**, notamment en ce qui concerne les classes existantes et dominantes à cette période.

La diversité de la population de phytoplancton au niveau du lac Tonga a été a été réalisée à l'aide de l'indice de Shannon calculé à partir de la densité de population totale montre que la classe des Cyanobactéries est plus diversifiée en février. Alors que les Chlorophycées sont dominantes sur l'ensemble de la population au mois de janvier où la diversité atteint sa valeur maximale, estimée à 2,07 bits/indv. Les Chrysophycées sont plus diversifiées au mois de février par 0,13 bits/indv. La diversité des Pyrrophytes, est presque constante à tous les mois car elle regroupe une seule espèce à chaque mois.

Notre étude est faite dans une période courte, il serait souhaitable de faire une autre étude durant une période d'une année ou plus pour mieux connaître la biodiversité de ce lac.



*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

A

- Abadli M. & Harkati G., (2005).** Contribution à l'inventaire des quelques micro-algues vert d'intérêt nutritionnel dans quelques zones humides de la wilaya d'El Oud (lac Ayata). Chott Merouane Sife Lemnade, STEP Kouinine, Mémoire de Master, P (7-9).
- Aberkane M., (2013).** Ecologie de la Sarcelle marbée *Marmaronetta angustirostris* dans les zones humides de l'Est algérien. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar d'Annaba.
- Adam G., (1997).** L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758) : dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. Thèse de l'Université de Toulouse. 299 pp.
- Agren G. I., (2004).** The C:N:P stoichiometry of autotrophs — theory and observations. *Ecology Letters*, 7, pp: 185-191.
- Alcaine A. A., (2010).** Biodiesel from microalgae. Final degree project. Royal School of Technology Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Sweden.
- Amiot A. & Chaussepied M., (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'exploitation des Océans, 395 p.
- Amri S., Branes Z. & Oudra B., (2010).** Inventory of potentially toxic Cyanobacteria in the tourbiere of lake Noir "National park of El-Kala" (Algeria). *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 4, N°1, p : 49-68.
- Amzil Z. & Motteau L., (2000).** Toxines amnésiantes en France. Rapport interne IFREMER/DEL/MP/RST/00/07 Nantes. 37p.
- André I., (1986).** Les algues, page 10.
- André I., (1986).** Les algues, pp11.
- Andresen-Leitao M. P., Lassus P., Maggi P., La Baut C., Chauvin J. & Truquet P., (1983).** Phytoplancton des zones mytilicoles de la baie de vilaines et intoxication par les coquillages. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* 46 (3): 233- 266.

Anglier E., (2000). Ecologie des eaux courantes Edit : Tec et Doc : Paris p.350.**Arrignon J., (1991).** Aménagement piscicole des eaux douces. 4^{éd} ED: Lavoisier. 631p.

B

Ba N., (2006). La communauté phytoplanctonique du lac de Guiers (Sènègal) : Types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des factures de régulation. (Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle Université Cheikh Anta de Dakar (Sènègal), 10p.

Bagnis R., Spiegel A., N'guyen L. & Plichard R., (1992). Trente ans de surveillance sanitaire et épidémiologique de la ciquatera à Tahiti .In: Deditus C., Amade P., Laurent D. & Cosson J.P (eds). Actes du troisième symposium sur les substances naturelles d'intérêt biologique de la région pacifique–Asie,Nouméa. pp: 335-338.

Bakaria Fatiha., (2003). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar Réserve Intégrale du Lac Tonga, Wilaya d'El Tarf, page 03.

Beaupoil C. & Bornens P., (1997). Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes : seuils d'acceptabilité. Station de Biol. Mar. (Concarneau). Ed. Agence de l'Eau Loire-Bretagne. 48 p.

Becerra-Celis G. P., (2009). Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photobioréacteur continu. Thèse de Doctorat, Ecole supérieure d'électricité, Gif-sur-Yvette (France).

Becker E. W., (1983). Limitations of heavy metal removal from waste water by means of algae. Wat. Res. vol. 17, 4, pp.459-466.

Becker E., (1981). Algae mass cultivation – production and utilization. s. l. : Biochem, 1981. est un élément qui rentre le cycle métabolique.

Belhadj G., Chabi Y., Chalabi B. & Gauthier-Clerc M., (2007). The Breeding Biology of the Cattle Egret *Ardea ibis*, the Little Egret *Egretta garzetta*, the Squacco Heron *Ardeola ralloides*, the Black-Crowned Night Heron *Nycticorax nycticorax*, the Purple Heron *Ardea purpurea* and the Glossy Ibis *Plegadis falcinellus*, at the Lac Tonga, Algeria, Vol. 19, No. 1, 59-60. ISSN 1450-216X.

- Belhadj G., Chalabi B., Chabi Y., Kayser Y. & Gauthier-clerc M., (2007).** Le retour de l'ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) nicheur en Algérie. *Aves*, 44, 29-36p.
- Benyacoub S., (1993).** Ecologie de l'Avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord-Est algérien). Thèse. Doct. Univ. Bourgogne, 271 p.
- Borowitzka A., (1988).** Vitamins and fine chemicals from micro-algae. In : -Borowitzka M. A. and Borowitzka L.J. (Eds) , *Micro Algal Biotechnology*. Cambridge University Press. Pp : 153-196.
- Borowitzka A., (1999).** Commercial production of microalgae: Ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of biotechnology*, 70: 313-321.
- Bouaïcha N., Maatouk I., Vincent G. & Levi Y., (2002).** A colorimetric and fluorometric microplate assay for the detection of microcystin-LR in drinking water without preconcentration. *Food and Chemical Toxicology* 40: 1677–1683.
- Bougis P., (1974).** Ecologie du plancton marin. L. Le phytoplancton .Masson et Cie, Paris ,196p.
- Boukhroufa M., (2001).** Rôle fonctionnel du marais du Mellah pour les oiseaux d'eau : caractérisation et analyse de la variation des paramètres de structure du peuplement. Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 54 p.
- Boulefa W. & Bouldjedri M. E., (2020).** Dynamique et structure du phytoplancton des milieux lenticules et lotiques (Doctoral dissertation, Université de jijel).
- Bourelly P., (1990).** Les algues d'eau douce : initiation a la systématique. 572 pages.
- Bourelly P., (1985).** Les algues bleues ou cyanophycées, 5ème partie. Edition Boubée Paris. P : 297,303, 457-458, 606.
- Bourelly P., (1985).** Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome III: Les algues Vertes. Editions N. Boubée & Cie, Paris.
- Bourelly P., (1985).** Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome I: Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.

Bourelly P., (1972). Les algues d'eau douce ; initiation à la systématique. Tome I : Les algues vertes. Edition N. Boubée & Cie, 512p.

Bourelly P., (1968). Les algues d'eau douces. Algues jaunes et brunes. Edition Boubée et Cie. Paris. P: 438.

Bourelly P., (1966). Les Algues d'eau douce : les algues vertes, éd. N. Boubée, 1572p.

Bouzaaroura A., (2011). Etude de la qualité bactériologique et physico-chimique du lac Tonga. Mémoire de master II. (université de 8 mai Guelma), pp: 20,53,52.

Boyce D.G., Lewis M. R. & Worm B., (2010). Global phytoplankton decline over the past century. Nature 466, 591–596.

Buitenhuis E.T., (2003). Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. PNAS ; 104 (47) : 18866-18870 ; 20 novembre 2007.

C

Cadier M., (2016). Diversité des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux en mer d'Iroise : approche par la modélisation 3D (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest).

Canter-Lund. H. & Lund J. W. G., (1995). Freshwater Algae: Their microscopic world explored. No. 582. 26CAN.

Céline D., (2021). Développement phytoplancton, Futura planète, page 01.

Céline D., (2013). Eco-extraction et analyse de lipides de micro-algues pour la production d'algo- carburant. Autre. Thèse de doctorat. Université d'Avignon,. Français. NNT:2013 AVIG0251. tel-01712195. p: 55-56-57.

Cellamare M., (2009). Évaluation de l'état écologique des plans d'eau aquitains à partir des communautés de producteurs primaires. Thèse de doctorat Université Bordeaux 1, 334 p.

Cembella A. D., Milenkovic L., Douchette G. & Fernandez M., (1995). In vitro biochemical methods and mammalian bioassays for phycotoxins. In:

Hallegraeff G.M., Anderson D.M. & Cembella A.D (eds). Manual on harmful microalgae. IOC Manuals and guides N°33. UNESCO. pp: 177-179.

Chader S. & Touzi A., (2001). Biomasse algale : Source énergétique et alimentaire. Rev. Energ. Ren: production et valorisation–biomasse : pp 47-50.

Champiat D. & Larpent J. P., (1994). Biologie des eaux: Méthodes & Techniques, 2ème tirage. pp : 24, 37, 39.

Chauvaud L., Jean F., Ragueneau O. & Thouzeau G., (2000). Long-term variation of the Bay of Brest ecosystem benthic–Pelagic coupling revisited. Mar. Ecol. Prog. Ser. 200: 35-48.

Chavez F. P., Messie M. & Pennington J.T., (2011). Marine primary production in relation to climate variability and change. Annual Review of Marine Science 3, 227–260.

Chen M., Tanga H., Holland T. C. & Salley S. O., (2011). Effect of nutrients on growth and lipid accumulation in the green algae *Dunaliella tertiolecta*. Bioresource Technology, Volume 102, Issue 2, pp. 1649-1955.

Chevallier H., (2007). L'eau un enjeu pour demain. 352p.

Chinnasamy S., Bhatnagar A., Hunt, R.W. & Das K.C., (2010). Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel application. Bioresour., 101, 3097–3105.

Chisti Y., (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. Trends Biotechnol. 26, 126–131.

Coles J.F. & Jones R.C., (2000). Effect of temperature on photosynthesis-light response and growth of four phytoplankton species isolated from a tidal freshwater river. J. Phycol. 36 :7-16.

D

Dabbadie L., (1992). Cultures intensives de microalgues sur lisier de porc: performances, contraintes, utilisation des biomasses. Mémoire d'Ingénieur Agronome de l'école nationale supérieure agronomique de Montpellier, France, 125p.

Dale B. & Yentsch C.M., (1978). Red tide and paralytic shellfish poisoning. *Océanes*.21pp: 41-49.

De Casabianca M. L., & Kepel R.C. H., (1999). Impact of dominant Wind on hydrological variables in a Mediterranean lagoon (Than Lagoon-France) *Oebalia*. Vol: XXV: 3-16.

De Reviere B., (2003). Biologie et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences .Tome 2. Paris. ISBN 2-7011-3512-5. pp : 78, 255.

Dekker W., (2003). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla Anguilla*, *Fisheries Management and Ecology*, 10: 365-376.

Djabourabi A., Touati H., Sehili N., Boussadia M.I. & Bensouilah M., (2017). Study of the physicochemical parameters of water and phytoplankton in Lake Tonga (wetland of the national park of El Kala, North East of Algeria). *International Journal of Biosciences | IJB*. ISSN: 2220-6655 (Print), 2222-5234, Vol. 11, No. 3, p. 213-226.

Djabourabi A., Sehili N., Boussadia M., Samar F. & Bensouilah M., (2014). Fluctuations des Paramètres Physico Chimiques et des Communautés Phytoplanctoniques dans le lac Oubeira (Nord-Est Algérien). *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X / 1450-202X Vol. 118 No 2 February, 2014, pp.183-196.

Doney S.C., (2006). Phytoplankton in a warmer world. *Nature* 444, 695–696.

Dufour P. & Berland B., (1999). Nutrient control of phytoplanktonic biomass in atoll lagoons and Pacific ocean waters: studies with factorial enrichment bioassays. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 234 (2) : 147-166.

Dussart B., (1966). *Limnologie : l'étude des continentales*. Ed Gauthier Villars, Paris, 667p.

Duy TN., Lam PKS., Shaw GR. & Connell DW., (2000). Toxicology and risk assessment of Freshwater cyanobacteria (blue-green algal)toxins in water. *Rev. Environ. Contamination. Toxicology*. 163:113-186.

E

Eppley R. W., (1972). Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.* 70, 1063–1085.

Ergasheva E. & Tajievs H., (1986). Seasonal variation of phytoplankton in series of waste treatment lagoons (Chmkent, Central Asia); artificial inoculation and role of algae in sewage purification. *Hydrobiology*. Vol. 17, 4, pp. 545-555.

F

Falconer I.R., (1996). Potentiel impact on human health of toxic Cyanobacteria. *Phycologia* 35 suppl, pp: 6-11.

Falconer I.R., (1993). Mechanism of toxicity of cyclic peptide toxins from blue-green algae. In:Falconer I (ed). *Algal toxins in seafood and drinking water*. Academic Press. London. pp: 177-186.

Food and Agriculture Organisation (FAO), (2004). Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, 111-148.

Fekroune E. K., (1998). Caractérisation des populations des Chiroptères dans le Parc National d'El-Kala (Nord-Est algérien). Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 37 p.

Filali R., (2012). Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique du CO₂. Ecole supérieur d'Électricité / Supelec, Paris, 224 p.

Findley D.L. & Klingh H.J., (1994). Protocol de mesure de la biodiversité : le phytoplancton d'eau douce .Ministère des pêches et océans institut des eaux douces .501 Université Crescent Winnipeg (Manitoba) R3T2N6 Canada, 17P.

Fremy J. M. & Lassus P., (2001). Toxine d'algues dans l'alimentation. Ed. Quae, France, 553p.

G

Gacem H.,(2015). Etude bioécologique et systématique des Hydrachnidiae dans deux sites : Annaba et lac Tonga. Lutte biologique anticulicidienne et du parasitisme larvaires des Hydracariens. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. P : 31,33.

Gana N., (2014). Détermination de certains paramètres biochimiques urinaires chez le ratwistar recevant un régime cafeteria supplémenté en algues vertes. Mémoire master physiopathologie cellulaire. Université Abou Bakr BELKAID. Tlemcen, 41p.

- Garon-Lardiere S., (2004).** Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). Thèse de doctorat. Spécialité : chimie. Université de Bretagne Occidentale. P 226.
- Gaston. P & Maurice P., (1977).** Atlas de microscopie des eaux douces Édition de CHEVALIER, Paris ; 285 p.
- Gaujons G., (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire. 2ème édition. Lavoisier, Paris 217p.
- Gayral P., (1975).** Les algues ; morphologie, cytologie, reproduction, écologie ; Edition Dion, Paris ; 51 p, 154 p.
- Gehu J. M., Kaabeche M. & Ghazouli, R., (1993).** Phytosociologie et typologie des habitats des rives des lacs de la région d'El Kala (Algérie). Colloques phytosociologiques XXII. Syntaxonomie typologique des habitats Bailleul (France): 298- 309.
- Ghedadbia M., (2012).** La Contribution à l'identification générique des Cyanobactéries potentiellement toxiques et l'étude de leurs paramètres de croissance: Cas du Lac Tonga. Mémoire de Magister. Université Badji Mokhtar- Annaba. p68-69-51.
- Gherib A. & Lazli A., (2016).** Aspects of the breeding ecology of three rallidae species in northeastern algeria. Bull. Soc. Zool. Fr., 141(4): 155-169. P: 158.
- Ghobrini D., Aiboud K. & Yakoub-Bougdal S., (2014).** Effect of red and far-red light on biomass productivity on *Chlorella vulgaris* cultivated on photobioreactor. BioTech 2014 and Czech-Swiss symposium, 11 – 14 Jun 2014, Praha Czech Republic.
- Giacomini V., Bertino S. & Tibaldi E., (1984).** La nature : mers et côtes la faune des rivages. Volume 3, Paris.
- Gorenflot R. & Guern M., (1989).** Organisation et Biologie des Thallophytes. Doin édit. Paris. P: 196, 201.
- Gouveia L., Nobre B. P., Marcelo F. M., Mrejen S., Cardoso M. T., PalavraA. F. & Mendes R. L., (2007).** Functional food oil coloured by pigments extracted from microalgae with supercritical CO₂. Food Chemistry, 101: 717-723.

Groga N., (2012). Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse Université de Toulouse, 180p.

Gustafson K. R., Cardellina J. H., Fuller R. W., Weislow O. S., Kiser R. F., Snader K. M., Patterson K. M. L. & Boyd M. R., (1989). AIDS-antiviral sulfolipids from cyanobacteria (blue green algae). *Journal of the National Cancer Institute*. 81: 1254-1258.

H

Hade A., (2002). Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.

Haider S., Naithani V., Viswanathan P. N. & Kakkar P., (2003). Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern. *Chemosphere*, 52, 1-21.

Hamilton D. P. & Schladow S. G., (1997). Prediction of water quality in lakes and reservoirs. Part I - Model description. *Ecological Modelling*, 96, (1-3), 91-110.

Hansen G., Turquet J., Quod J.P., Ten Hage L., Lugomela C., Kyewalyanga M., Hurbungs M., Wawiye P., Ogongo B., Tunje S. & Rakotoarinjanahary H., (2001). Potentially Harmful Microalgae of the Western Indian Ocean. *Manuals and Guides* 41. pp: 5, 79.

Haslay C., Leclerc H., (1993). Micrologie des eaux d'alimentation, pp.8- - 5.

Hélène L. & Alexis M., (1983). Fiche PLANCTON n°2, 1, Biologie du plancton: agrocampusouest. 19 pages.

Hoek C. V. D., Mann D. G. & Jahns H. M., (1995). Algae. An Introduction to phycology. Cambridge University Press. Cambridge. P: 623.

Humenik J. & Hanna G.P., (1971). Algal-bacterial symbiosis for removal and Conservation of wastewater nutrients. *J.W.P.C.F.* vol. 43, 4, pp .580-594.

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

J

Jean-Claude D. & Fredric R., (2008). Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA: prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA-Thono, rapport SHL 283,96p.

Johan D. M., (1994). Alternation of generations in algae: its complexity, maintenance and evolution. *Biology Review*. 69: 275-291.

K

Kadid Y., (1999). Contribution à l'étude des phytocénoses aquatiques du lac Tonga, El-Kala (wilaya d'El-Tarf). Thèse Magistère, INA Alger, 161 p.

Kemmer F.N., (1984). Nalco-Manuel de l'eau . Édition : Paris : Technique et Documentation Lavoisier, (4e tirage revu, 1983). Livre, ISBN/ISSN/EAN : 978-2-85206-220-7.

Khellou M., Razkallah Z., Laifa A., Loukidi M., Douma M. & Houhamdi M., (2022). Structure And Diversity of Phytoplankton Community in Thewater of a Saharan Wetland's: Case of Oued Righ Algeria (Lella Fatma and Zerzaim Ponds). *Journal of Faculty of Food Engineering, Ştefan cel Mare University of Suceava, Romania*. Volume XXI, Issue 1 - 2022, pag. 16 – 27.

Kloppmann W., Bourhane, A. & Asfirane F., (2011). Méthodologie de diagnostic de l'origine de salinité des masses d'eau. Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysique. 129p.

Kuiper-Goodman T., Falconer I.R. & Fitzgerald J., (1999). Human Health aspects. In: Chorus I. Barttram J (eds) Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health, monitoring and management. WHO E & FN SPON. London. pp: 113.

Kumar A., Ergas S., Yuan X., Sahu A., Zhang Q., Dewulf J., Malcata F. X. & Van Langenhove H., (2010). Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions. *Trends in Biotechnology*, Volume 28, Issue 7, pp. 371-380.

L

- Landry B. & Mercier M., (1992).** Notions de géologie, 3e édition, Modulo, 565 p.
- Larpen J. P. & Larpen-Gourgaud M., (1997).** Mémento technique de microbiologie. 3^{ème} édit. Paris. P: 245, 246.
- 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) pp: 329-333.
- Lee R. E., (2008).** Phycology (4th edition), Cambridge University Press.
- Lemée G., (1978).** Précis d'écologie végétale. Paris. Edition Masson.
- Leveque C., (2001).** De l'écologie à la biosphère. Dunod. Paris, 502 p.
- Lightfoot N.F., (2002).** Analyses microbiologiques des aliments et de l'eau. Directives pour l'assurance qualité. 387 p.
- Livansky K., (1990).** Novel outdoor thin-layer high density microalgal culture system: Productivity and operational parameters. Algol. Stud. (Trebon) 76: 129-147.
- Lorenz R. T. & Cysewski G. R., (2000).** Commercial potential for Haematococcus microalgae as a natural source of astaxanthin. Trends biotechnology, 18: 160-167.
- Louis J., Jean-Pierre M. EUGLÉNOPHYCÉES, Encyclopædia.
- Lukac M. & Aegerter R., (1993).** Influence of trace metals on growth and toxin production of Microcystis aeruginosa. Toxicol. 31 pp: 293-305.

M

- Margalef R., (1958).** Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In [Ed.] A.A. Buzzati-Traverso. Perspectives in marine biology. University of California Press, Berkeley, pp. 323-349.
- Maziliak P., (1998).** Physiologie végétale. Croissance et développement. Editions Hermann, Tome 2, Paris, 575 p.

Mddelcc., (2014). Le Réseau de surveillance volontaire des lacs: les méthodes. (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques).

Merabet S., (2010). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de Constantine. pp 4, 5,9.

Mollo P. & Noury A., (2013). Le manuel du plancton, Éditions Charles Léopold Mayer, Essai N° 195, France, 198p.

Monod T., (1989). Méharées géographie. France loisir. 233p.

Moran X.A.G., Lopez-Urrutia A., Calvo-Diaz A. & Li W.K.W., (2010). Increasing importance of small phytoplankton in a warmer ocean. *Global Change Biology* 16 (3), 1137–1144.

Mortensen A.M., (1985). Massive Fish mortalities in the Faroe Islands caused by a *Gonyaulax excavate* red tide. In: Anderson D.M, White A.W & Baden D.G (Eds). *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier. New York. P: 165-170.

Mur L.R., Skumberg O.M. & Utkilen H., (1999). Cyanobacteria in the Environment. In: Chorus, I. et Bartram, J 1999. (Eds.). *Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management*. WHO Ed. E & FN SPON, pp 41-111.

N

Nasri A.B., Bouaïcha N. & Fastner J., (2004). First Report of a Microcystin-Containing Bloom of the Cyanobacteria *Microcystis* spp in Lake Oubeira, eastern Algeria. *Arch.Environ.Contam.Toxicol.*46.pp : 197-202.

Nicholls K.H., (1995). Chrysophytes bloom in the plankton and neuston of marine and freshwater systems. P: 181-216. In: Sandgren C.D., Smol J.P. et Kristiansen J.(eds). *Chrysophytes algae: Ecology, phylogeny and development*. Cambridge University Press.

Nicklin J., Graeme K., Pajet T. & Killington R., (2000). L'essentiel en microbiologie. Edition BERTI ; 365 p.

Nozaki H., (2003). Flagellated Green Algae. Dans: Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. Wehr, J. D. et Sheath, R. G. (eds). Academic Press, Paris.

O

Oliver R. L. & Ganf G.G., (2000). Freshwater Blooms. P: 149-194. In: Whitton B.A., & Potts M., The Ecology of Cyanobacteria .Their Diversity in Time and Space. Kluwer. Academic. Publishers.

Otmani M. L., Bouacha Y. & Bendjedda N., (6 avril 2018). Fiche descriptive Ramsar. Page 12 ; 19.

P

Paerl H.W., (1988). Nuisance phytoplankton blooms in coastal estuarine and inland waters. Limn and Ocean 33: 823-84.

Pearson H.W., Mara D. D., Mills S. W. & Smallman D.L., (1987). Factors determining algal population in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance. Wat. Sci. Tech. vol .19, 12, pp. 131-140.

Person J., (2010). Livre turquoise – Algues, filières du futur. Édition Adebitech, Romainville, 163 p.

Pierre J. F., (2001). Bulletin de l'académie lorraine des sciences: catalogue des algues (du Nord –Est de la France et des régions attenantes 1959-2001). P: 45-46.

Pierre M., Anne N. & Morgane N., (2011). Module de formation plankton.

Pierre M., & Anne N., (2014). Le manuel du plancton . Editions : Charles Léopold Mayer. P32.P89-90.P35.

Pittera J., (2015). Adaptation des cyanobactéries marines du genre *Synechococcus* au gradient latitudinal de température. Thèse de doctorat, option : Océanographie Biologique. Université d'Ile. France. p.200.

Prescott L. M., Harley J. P. & Klein D. A., (1995). Microbiologie. 1er édit. Bruxelles. P: 536.

Pulz O. & Gross W., (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65: 635-648.

R

Ramade F., (2005). Elements d'écologie : écologie appliquée. Edit Dunod. 6 édition. Paris, 863P.

Ramade F., (2000). Dictionnaire encyclopédique des pollutions (pollution : de l'environnement à l'homme Ed science internationale. Paris. 382p.

Rejsek F., (2002). Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série : Sciences et techniques de l'environnement. Paris, 360p.

Reynolds C.S., (1984). The ecology of fresh water phytoplankton. Cambridge University Press. P: 384.

Rhee G. Y., (1982). Effects of environmental factors and their interactions on phytoplankton growth. *Advances in microbial ecology*, 33-74.

Richardson K., (1997). Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Adv. Mar. Biol.* 31pp: 301-385.

Richlifs & Miller., (2015). Ecologie .Edit De Boeck, 821p.

Robert D. & Catesson A.M., (2000). Organisation végétative. Ed: Doin. Paris.

Rochaix J. D., (2011). Assembly, function, and dynamics of the photosynthetic machinery in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant physiology* 127 (4): 1394-1398.

Rodier J., (1996). Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires. 8ème édition, Dunod, Paris 1130p.

Rodier, J., (1984). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition. Dunod. Paris.

Rodier J., (1976). L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 5ème édition Ed. Dunod, paris.

Rodier J., Bazinc A.C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. & Rodier L., (2005). L'analyse de l'eau - Eaux naturelles et Eaux résiduaires et Eau de mer. Dunod. 8ème édition [entièrement revue et mise à jour] , 1384 p.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi, L., (1996). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Dunod. Paris. 1383p.

Rogers J.N., Rosenberg J.N., Guzman B.J., Oh V.H., Mimbela L.E., Ghassemi A., Betenbaugh M.J., Oyler G.A. & Donohue M.D., (2014). A critical analysis of paddlewheel-driven raceway ponds for algal biofuel production at commercial scales. *Algal. Res.* 4, 76–88.

Rosowski., (2003). Journal brésilien de botanique 35(1).Euglénophytes pigmentées dans un lac naturel et peu profond de la région semi-aride de l'état de Paraíba, Brésil.

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

Rouag R., (1999). Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d'El Kala. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie environnement. Université d'Annaba. 61 p.

S

Saouech Y., (1993). Etude de la reproduction et le développement larvaire des Odonates du lac Tonga. Thèse de Magister. Univ de Constantine.

Sialve B. & Steyer J-P., (2013). Les microalgues, promesses et défis. *Innovations Agronomiques*, 26 : 25-39.

Sonia B., (2013). Utilisation des groupes morpho-fonctionnels du phytoplancton pour le diagnostic écologique des plans d'eau du bassin Loire Bretagne, pp 36,

Stevenson. A.C., Skinner J. & Smart M., (1988). The El Kala National Park and Environs, Algeria: An Ecological Evaluation. Lecturer, Department of Geography, University of Newcastle, Newcastle-upon-Tyne NE17RU, England, UK: 335-347.

Stolz P. & Obermayer B., (2005). Manufacturing microalgae for skincare. *Cosmetics Toiletries*, 120: 99-106.

Subhadra B. & Edwards M., (2010). An integrated renewable energy park approach for algal biofuel production in United States. *Energy Policy* 38, 4897.

T

Thronsen J., (1978). Préservation and storage. In: Sournia A (ed). *Phytoplankton manual*. Monographs on oceanographic methodology. UNESCO. P: 67-74.

Turner P.C., Gamie A.J., Hallinrake K. & Codd G.A., (1990). Pneumonia associated with contact with Cyanobacteria. *BMJ* 300pp: 1440-1441.

W

Wang B., Li Y., Wu N. & Lan C.Q., (2008). CO₂ bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79, pp. 707–718.

Wijesinghe W.A.J.P. & Jyj., (2011). Biological activities and potential cosmeceutical applications of bioactive components from brown seaweeds: a review *Phytochemistry Reviews* 10:431-443.

Z

Zerluth J. & Gienger M., (2004). L'eau et ses secrets. Edition désirés.223p.

Ziane N., (1999). Le Peuplement d'Anatidés hivernants dans la région d'El-kala: Chronologie d'hivernage et rythmes d'activité.Thèse. Magistère. Univ. Annaba.107 p.

Webographie

- 1) <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.algerie-monde.com/parcs-naturels/el-kala/>
- 2) <https://pin.it/1erB80h>
- 3) <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.pinterest.fr/>
- 4) <https://pin.it/1E1xfLN>
- 5) <https://www.nzpcn.org.nz/flora/species/ricciocarpos-natans/>
- 6) <https://www.gardenia.net/plant/lemna-minor>
- 7) https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/130119
- 8) <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:LestesSponsaMale.jpg>
- 9) https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Damsselfly_September_2007
- 10) https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Aeshna_cyanea_
- 11) <https://pin.it/6McyfHV>
- 12) https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/60630
- 13) <https://pin.it/3MW2xff>
- 14) <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://labstuff.eu/en/wtw-oxi-197i-dissolved-oxygen-meter->
- 15) <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.universalis.>



Résumés

Résumé

Le lac Tonga situé dans la partie centrale du Parc National d'El Kala dans la wilaya d'EL Tarf, en Algérie, et est connu pour sa biodiversité importante. Notre travail consiste de faire une évaluation quantitative et qualitative de la communauté phytoplanctonique ce lac durant la période hivernale en fonction des facteurs physico-chimiques du milieu et des facteurs environnementaux affectant la structure et la dynamique de cette communautés. Les échantillons ont été prélevés mensuellement à partir d'une seule station pendant la période qui s'étale de janvier à mars 2023. Les résultats liés à la mesure des paramètres physico-chimiques du milieu, ont montré que la température de l'eau est saisonnière liée aux changements de la température de l'air qui prévaut dans la région avec un pH alcalin et une faible conductivité électrique qui varié entre 253 et 760 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Cette eau est caractérisée par des niveaux importants d'oxygène dissous. C'est une eau douce, sa salinité est similaire à celle de la plupart des eaux de surface naturelles, qui a une valeur autour de zéro. Les résultats de l'analyse phytoplanctonique nous a permis d'identifier 30 genres et 39 espèces appartenant aux 5 classes : *Les Chlorophycées*, *les Chrysophycées*, *les Cyanobactéries*, *les Euglenophycées* et *les Pyrrhophycées*. On a identifié 2 espèces toxiques: *Anabaena flos-aquae* et *Microcystis aeruginosa*. Les Chlorophycées se classe première en termes de nombre d'espèces. L'indice de diversité de Shannon montre que la classe des Cyanobactéries et les Chrysophycées sont plus diversifiées en février. Alors que les Chlorophycées sont dominantes sur l'ensemble de la population au mois de janvier.

Mots clés : Paramètres physico-chimiques, phytoplancton, indice de Shannon, Lac Tonga, PNEK.

Abstract

Tonga Lake located in the central part of El Kala National Park in the wilaya of EL Tarf, Algeria, and is known for its significant biodiversity. Our work consists in making a quantitative and qualitative evaluation of the phytoplankton community of this lake during the winter period according to the physico-chemical factors of the environment and the environmental factors affecting the structure and the dynamics of this community. The samples were taken monthly from a single station during the period from January to March 2023. The results related to the measurement of the physico-chemical parameters of the environment showed that the water temperature is seasonal linked to changes in the air temperature prevailing in the region with an alkaline pH and a low electrical conductivity which varied between 253 and 760 $\mu\text{s}/\text{cm}$. This water is characterized by high levels of dissolved oxygen. It is soft water, its salinity is similar to that of most natural surface waters, which has a value around zero. The results of the phytoplankton analysis allowed us to identify 30 genera and 39 species belonging to 5 classes: Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanobacteria, Euglenophyceae and Pyrrophyceae. Two toxic species have been identified: *Anabaena flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa*. The Chlorophyceae rank first in terms of number of species. Shannon's diversity index shows that the class of Cyanobacteria and Chrysophyceae are more diverse in February. While Chlorophyceae are dominant over the whole population in January.

Key words: Physico-chemical parameters, phytoplankton, Shannon index, Tonga Lake, PNEK.

المخلص

تقع بحيرة طونقة في الجزء الوسطي من الحظيرة الوطنية للقالا في ولاية الطارف بالجزائر ، وتشتهر بتنوعها البيولوجي الكبير. يتمثل عملنا في إجراء تقييم كمي ونوعي لعشيرة العوالق النباتية لهذه البحيرة خلال فترة الشتاء وفقاً للعوامل الفيزيائية والكيميائية للوسط والعوامل البيئية التي تؤثر على تركيبة وحركية هذه العشيرة. تم أخذ العينات شهريا من محطة واحدة خلال الفترة من جانفي إلى مارس 2023. وأظهرت النتائج المتعلقة بقياس العوامل الفيزيائية والكيميائية للوسط أن درجة حرارة الماء موسمية مرتبطة بالتغيرات في درجة حرارة الجو السائدة في المنطقة. ذات درجة حموضة قلبية وناقلية كهربائية منخفضة تتراوح بين 253 و 760 $\mu\text{s}/\text{cm}$. تتميز هذه المياه بمستويات عالية من الأكسجين المذاب. وهي مياه عذبة ، ملوحتها تشبه تلك الموجودة في معظم المياه السطحية الطبيعية ، والتي تبلغ قيمتها حوالي الصفر. سمحت لنا نتائج تحليل العوالق النباتية بتحديد 30 جنسا و 39 نوعا تنتمي إلى 5 فئات Chlorophyceae و Chrysophyceae و Cyanobacteria و Euglenophyceae و Pyrrhophyceae. تم تحديد نوعين سامين: *Anabaena flos-aquae* و *Microcystis aeruginosa*. تحتل Chlorophyceae المرتبة الأولى من حيث عدد الأنواع. يوضح مؤشر تنوع شانون أن فئة Cyanobacteria و Chrysophyceae أكثر تنوعا في شهر فيفري. في حين أن Chlorophyceae هي المهيمنة على جميع المجموعات الأخرى في جانفي .

الكلمات المفتاحية: العوامل الفيزيوكيميائية ، العوالق النباتية ، مؤشر شانون ، بحيرة طونقة ، الحظيرة الوطنية للقالا.