

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 à l'étude phytoplanctonique de la retenue collinaire
Oued El Nakhla - Nechmaya (Guelma)**

Présenté par :

- HAZEME Nadia
- MADOUI Nor Elhouda
- MEBROUK Chayma

Devant le jury composé de :

Président:	Mr. MERZOUG Abdelghani	MCB	Université de Guelma
Examineur :	Mr. RAMDANI Kamel	MCB	Université de Guelma
Encadreur :	Mr. ROUABHIA Kamel	MAA	Université de Guelma

Année universitaire: 2021/2022

Remerciements

La thèse est un voyage, un simple mot qui peut décrire ces cinq années de travail où nous avons emprunté un chemin mystérieux qui cachait des surprises dans chaque petit coin.

*Tout d'abord nous remercions, « **Allah** » tout-puissant de nous avoir donné le courage, la santé et la volonté pour la détermination de ce modeste travail.*

*Nous offrons premièrement de sincères et chaleureux remerciements à notre président du jury monsieur **MERZOUG Abdelghani** maître de conférences au Département de Biologie qui a accepté d'évaluer ce travail*

*Nous exprimons mes profonds remerciements à Monsieur **RAMDANI Kamel**, maître de conférences au Département d'Ecologie et Génie de l'Environnement, pour avoir exprimé son entière disponibilité à participer à ce jury et examiner ce mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont également à Monsieur **ROUABHIA Kamel**, maître assistant au Département de Biologie qui nous a fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail, pour sa patience, sa disponibilité et surtout pour ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.*

*Nous remercions vivement tous **les enseignants** de la faculté des Sciences de la nature et de la vie, et de l'univers.*

*Nous remercions également, sans oublier, **les responsables des laboratoires pédagogiques**, notamment la directrice du laboratoire, **Mme Hassiba.***

Dédicace

A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation et de ses dévouements

A ma chère mère

A celui qui s'est changé la nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions

A mon cher père

A ma chère sœur **Asma**, mon soutien dans la vie, pour le supporte et la sagesse qui m'a donné

A mon unique frère **Bilal** le plus bel homme, j'ai la chance d'avoir un frère adorable comme toi

A **mon oncles**, mon deuxième père, que dieu le protège et le donne la santé

A l'âme de **ma grande mère**, que dieu la garde dans son paradis

A l'âme de **mon oncle**, qui m'a toujours encouragé pour bien étudier, et qui était avec moi lors de mon premier jour d'école

A tous les membres de ma famille qui se reconnaîtront : **grand père, grande mère, tantes, oncles, cousins et cousines**

Et surtout à mes cousines **Soumia, Safa , Amira et Malak** pour leurs mots de soutien

A **mes amis** qui m'accompagnent dans les péripéties de ma vie

A mes deux belles partenaires **Nadia et Nor El Houda**

A tous ceux qui m'ont aidé et encouragé pour l'élaboration de ce mémoire

A tous ceux qui aime la science et surtout à ceux qui aime la microbiologie

Je dédie ce modeste travail.

Chayma

Dédicace

Je dédie ce travail à

Mes chers parents **ma mère** et **mon père** pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements pour que je puisse atteindre mes objectifs.

Ma petite sœur « **Ikram** », ma chère qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour moi.

Ma grand-mère et **mon grand-père**, **mes oncles** et **mes tantes**, qui n'ont pas cessé de me conseiller tout au long de mes études.

Mes cousines « **Wafa** », « **Dounia** », « **Imen** » que dieu leur donne une longue et joyeux vie.

Toute ma famille, Mes amis, et mes camarades

Mes deux chers amis « **Chayma** » et « **Nor elhouda** » qui ont travaillé avec moi avec amour et sincérité.

Sans oublier tous les professeurs du primaire, du moyen, du secondaire et de l'enseignement supérieur.

Nadia

Dédicace

Je remercie tout d'abord le bon dieu tout puissant qui m'a donnée la force et le courage
pour terminer ce travail.

Je dédie ce modeste aux deux personnes que j'aime le plus dans la vie, ma raison de vivre
qui méritent tout le respect du monde

A mon très cher père, **Hocine** l'homme le plus parfait dans le monde, mon grand
exemple et le secret de ma réussite ; Que dieu les protège et leur réserve une longue vie
pleine de bonheur et de santé.

Ma mère, **Chettibi Yasmina** source de compassion et de tendresse, l'exemple de patience
et de sacrifice, la raison de mon existence et le support de ma vie.

À mes sœur, **Amira** et **Rayane** et **Hind** et **Seline** la lumière de ma vie, qui m'a aidé à
avancer et m'a donné force et courage. Merci pour votre amour, votre patience.

Sans vous, je ne serais pas là. Et sa chère fille **Melissa** et **Alicia** et sa chère fil **Ali**, que
Dieu la garde et protéger.

À ma grand-tante **Fatima** et **Souad**, en particulier mes proches qui m'ont soutenu.

A mes partenaires **Chayma** et **Nadia**

A tous mes Amies de proche et de loin, **Sabrina**, **Ibtissem**, **Aya**, **Raja**, **Meriem**, **Nada**.

Nor-Elhouda

Liste des abréviations

- ACV** : Analyse de Cycle de Vie.
- AELB** : Agence de l'Eau Loire-Bretagne.
- CCME** : Conseil Canadien des Ministères de l'Environnement.
- CE**: conductivité électrique.
- CEAE** : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale.
- Chloro** : Chlorophylle.
- DBO** : Demande Biologique en Oxygène
- DCE** : Directive Cadre sur l'Eau.
- DHA** : Acide docosahexaénoïque.
- EPA** : Acide eicosapentaénoïque.
- HAB** : Harmful Algal Blooms.
- IBD** : Indice Biologique Diatomée.
- PAN** : Proliférations Algales Nuisibles.
- SEQ-Bio** : Système d'Evaluation de la Qualité Biologique.
- TAG**: Triacylglycérols.
- µm** : micromètre.
- µS**: micro-simens.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Typologie des traits fonctionnels du phytoplancton liés aux fonctions écologiques.	4
Figure 02	Organisation générale d'un dinoflagellé cuirassé.	7
Figure 03	Variétés des frustules de diatomées.	8
Figure 04	La pompe biologique régulatrice du climat.	14
Figure 05	Schéma simplifié d'un réseau trophique aquatique représentant les interactions proie/prédateur des organismes vivants.	15
Figure 06	Voies de transformation des microalgues en énergie.	23
Figure 07	Localisation de la retenue dans la wilaya de Guelma.	26
Figure 08	Localisation du point de prélèvement.	27
Figure 09	Quelques végétations de la zone d'étude	29
Figure 10	Prélèvement de l'eau à partir de la retenue.	30
Figure 11	La fixation de l'échantillon prélevé.	31
Figure 12	Multi-paramètres WTW Multi 1970i.	32
Figure 13	Présentation du matériel utilisé au laboratoire pour l'analyse de l'échantillon.	36
Figure 14	Variations de la température de l'eau.	44
Figure 15	Variations du pH de l'eau.	45
Figure 16	Variations de la conductivité électrique de l'eau.	46
Figure 17	Variations de l'oxygène dissous de l'eau.	47
Figure 18	Variations de la salinité de l'eau.	48
Figure 19	Evaluation de la richesse spécifique totale de phytoplancton de « Oued El Nakhla ».	60
Figure 20	Variations de l'indice de Shannon et d'équitabilité de Piélou.	61
Figure 21	Contribution aux classes phytoplanctonique de " Oued El Nakhla".	64

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 01	Les groupes de phytoplancton selon leur taille.	4
Tableau 02	Limites des classes de qualité pour les paramètres relatifs au phytoplancton retenus dans le cadre du SEQ-Bio	19
Tableau 03	Représentation des résultats de l'IBD.	20
Tableau 04	Les coordonnées géographiques de Nechmaya.	27
Tableau 05	Présentation d'échantillonnage.	28
Tableau 06	Quelques espèces fauniques du site d'étude.	28
Tableau 07	Le matériel utilisé pour l'analyse phytoplanctonique.	29
Tableau 08	Grolle d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température.	33
Tableau 09	Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique.	34
Tableau 10	Classification des eaux selon la salinité.	36
Tableau 11	Traits caractéristiques des différents groupes fonctionnels.	40
Tableau 12	Présence et absence des espèces phytoplanctonique dans la retenue.	49
Tableau 13	Aspect microscopique et identification des taxons phytoplanctonique répertoriées sans les eaux de « Oued El Nakhla ».	51
Tableau 14	Les principaux groupes fonctionnels de la retenue « Oued El Nakhla ».	62

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

- **Introduction1**

Chapitre 01 : Généralités sur le phytoplancton des eaux douces

1. Le phytoplancton.....	3
2. Clé d'identification.....	5
2.1. Cas des algues vraies	5
2.2. Cas des Cyanobactéries	5
3. Systématique.....	5
3.1. Cas des procaryotes	5
3.2. Cas des eucaryotes.....	6
3.2.1. Dinoflagellés.....	6
3.2.2. Diatomées.....	7
3.2.3. Chlorophycées.....	8
3.2.4. Chrysophycées.....	8
3.2.5. Cryptophycées.....	9
3.2.6. Euglénophycées.....	9
3.2.7. Xanthophycées.....	9
3.2.8. Rhodophycées.....	10
4. Différentes formes du phytoplancton.....	10
4.1. Formes unicellulaires.....	10
4.2. Formes coloniales.....	10
4.3. Formes filamenteuses.....	10
4.4. Formes pseudo-filamenteuses.....	11
5. Habitat et écologie.....	11
6. Reproduction.....	11
6.1. Reproduction asexuée.....	11
6.2. Reproduction sexuée.....	12
7. Nutrition.....	12
8. Les besoins du développement du phytoplancton.....	12
8.1. La lumière	12
8.2. Les sels minéraux	13
8.3. Le gaz carbonique	13

9. Cycle annuel du phytoplancton.....	13
10. Rôle du phytoplancton.....	14
10.1. Acteur de la photosynthèse.....	14
10.2. Base de la chaîne alimentaire.....	15
10.3. Poumon de la planète.....	15
10.4. Conséquence de la présence du phytoplancton	16
11. Importance du phytoplancton.....	16
12. Microalgues toxiques.....	17
13. Indicateurs de qualité biologique.....	18
14. Applications des phytoplanctons.....	20
14.1. Traitement et épuration d'eau.....	20
14.2. Alimentation.....	20
14.3. Pharmaceutique et médecine	21
14.4. Cosmétique.....	21
14.5. Valorisation énergétique	22
15. Effet nuisible des phytoplanctons	23
15.1. Eutrophisation.....	23
15.2. Toxicité.....	24
15.3. Risque sur le fonctionnement d'écosystème.....	24

Chapitre 02 : Matériel et méthodes

1. Description du site d'étude.....	26
1.1. Présentation de la wilaya de Guelma	26
1.2. Présentation de la commune de Nechmaya.....	27
1.3. Présentation de la retenue (station de prélèvement).....	27
2. Faune et flore de la retenue	28
2.1. Faune.....	28
2.2. Flore	29
3. Matériel utilisé	29
4. Méthode d'échantillonnage.....	30
4.1. Prélèvement.....	30
4.2. Fixation.....	31
4.3. Enregistrement et étiquetage	31
4.4. Conservation et transport	32
5. Les analyses physico-chimiques.....	32
5.1. Température.....	33
5.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	33
5.3. Conductivité électrique.....	34
5.4. Oxygène dissous.....	35
5.5. Salinité	35
6. Les analyses phytoplanctoniques	36
6.1. Analyse qualitative (Identification).....	37
6.2. Analyse quantitative (Dénombrement).....	37

6.2.1. La richesse spécifique	37
6.2.2. La densité	38
6.2.3. La dominance	38
6.2.4. La diversité	38
6.2.4.1. L'indice de Shannon	38
6.2.4.2. L'indice d'équitabilité de Piélou.....	39
7. Les groupes fonctionnels	39

Chapitre 03 : Résultats et discussion

1. Les résultats des analyses physico-chimiques.....	44
1.1. Température.....	44
1.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	45
1.3. Conductivité électrique.....	46
1.4. Oxygène dissous.....	47
1.5. Salinité	47
2. Les résultats des analyses phytoplanctoniques	48
2.1. Analyse qualitative	48
2.2. Analyse quantitative et richesse spécifique	59
2.2.1. La densité du phytoplancton récolté.....	60
2.2.2. La dominance du phytoplancton récolté.....	60
2.2.3. La diversité	61
3. Contribution aux classes phytoplanctonique dans la retenue	62
4. Composition des groupes fonctionnels de la retenue collinaire « Oued El Nakhla ».....	62
• Conclusion	64

Références bibliographiques	66
--	-----------

Résumés

Introduction

Introduction

La terre est la planète la plus fortunée du système solaire, elle est en effet la seule à posséder autant d'eau sur sa surface et dans son atmosphère. Il y a 1 386 000 000 km³ d'eau sur terre, toute cette eau est répartie dans différents réservoirs (**synonyme 1**). Environ 98% de ces eaux sont des eaux marines, le reste 2% sont des eaux continentales représentées par les rivières, les lacs, les étangs.

Les écosystèmes aquatiques constituent les écosystèmes les plus grands et les plus stables des systèmes écologiques naturels et artificiels, illustrant de mieux l'importance de l'eau douce en aidant à la survie d'une grande diversité d'espèces, et jouent un rôle écologique essentiel (**ONU, 2000**).

L'eau douce est le plus implacable pour l'humanité, impossible à remplacer, elle est essentielle à la production des aliments, au développement économique et à la vie elle-même. (**Gadelle, 1995**). Les microorganismes qui y vivent sont des bactéries, des champignons, des protozoaires et des algues.

Les retenues collinaires sont des ouvrages de stockage de l'eau qui sont remplies par les eaux de surface, les eaux de ruissellement. Au niveau réglementaire, elles sont considérées comme des barrages. Avec une démographie galopante et une demande en eau croissante, l'Algérie est contrainte de mobiliser au maximum ses ressources en eau superficielles par la réalisation d'un nombre assez important de retenues collinaires sur l'ensemble de son territoire (**Benlaoukli et al., 2022**).

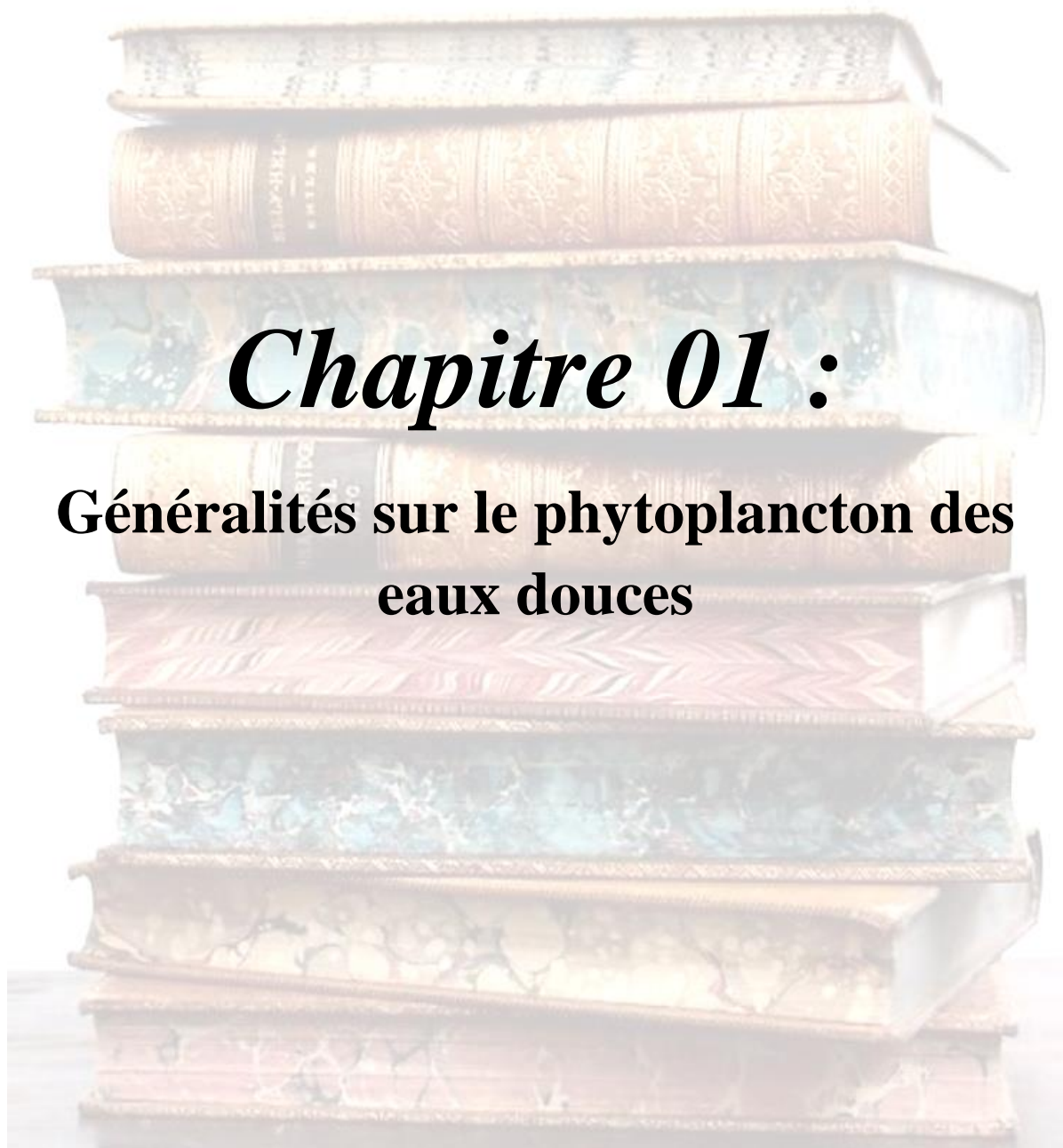
Ces retenues sont généralement utilisées pour l'irrigation des terres agricoles. Ainsi elles peuvent être utilisées comme source d'eau de consommation, mais dans certains cas ces eaux présentent une source de contamination car elle contient de nombreux microorganismes que la plupart des gens les ignorent. Cette contamination provoque un danger qui peut apparaître lorsque les conditions de milieu deviennent défavorables pour ces microorganismes ou lorsqu'il existe des microorganismes pathogènes capable de sécréter des toxines dans l'eau. Le phytoplancton fait partie des microorganismes que l'on trouve en abondance en eau, il faut donc l'étudier pour déterminer la qualité d'eau.

Dans le cadre de ce travail de Master notre objectif primordial est d'étudier les variations des paramètres physicochimiques et la biodiversité des espèces

phytoplanctoniques des eaux de la retenue collinaire «Oued El Nakhla » qui se situe dans la région de Nechmaya (wilaya de Guelma).

La présentation de notre travail sera procédée de :

- Premier chapitre sous forme d'une étude bibliographique reprenant des généralités sur le phytoplancton des eaux douces, ainsi que son importance et quelques applications de ce microorganisme.
- Le second chapitre du manuscrit présente la partie pratique de ce projet dans laquelle nous avons expliqués les méthodes utilisées pour la réalisation de cette étude, avec le matériel utilisée dans le laboratoire et sur terrain.
- Les résultats obtenus au cours de ce travail sont alors exposés dans le troisième chapitre.
- Une conclusion générale résumera les principaux acquis de ce travail et ouvrira les perspectives envisagées pour la poursuite de cette thématique de recherche.



Chapitre 01 :

**Généralités sur le phytoplancton des
eaux douces**

Chapitre 01 : Etude bibliographique et généralités sur le phytoplancton des eaux douces

1. Le phytoplancton

Le plancton du grec « planktos » signifiant « errant » a été pour la première fois utilisé par le Zoologiste allemand Victor Hensen en 1887. Il désigne l'ensemble des organismes aquatique vivant librement dans la colonne d'eau, et dont les mouvements propre ne leurs permettent pas de lutter contre ceux des masses d'eau les portants (**Trombetta, 2019**).

Les organismes planctoniques peuvent être regroupés selon leur taille, leur nature, les caractéristiques biologiques de leur cycle de développement, leur répartition verticale dans la colonne d'eau ou le type d'environnement qu'ils peuplent (**Hamaidi Chergui, 2012**).

Le plancton peut être autotrophe, hétérotrophe ou mixotrophe, viral, procaryote ou eucaryote, animal ou végétal, unicellulaire ou pluricellulaire (**Trombetta, 2019**). On distingue les plus généralement deux grands groupes : le phytoplancton et le zooplancton (**Berrabah et Tebrour, 2016**).

Le phytoplancton (du grec « phyton » ou plante et « planktos » ou errant), ou plancton végétal, désigne l'ensemble des organismes unicellulaires, principalement autotrophes, vivant dans l'eau et soumis au mouvement des masses d'eau. Il est constitué de cellules de diverses morphologies et de petites tailles (de moins d'1µm à plus de 100 µm), d'où leur appellation parfois de microalgues. Les cellules phytoplanctoniques peuvent vivre seules, dispersées, en colonies ou en étroite association (**Arzul et Quiniou, 2014**).

A l'instar des végétaux terrestres, le phytoplancton est photo autotrophe et contient de la chlorophylle (**Boulefa, 2020**), dont la présence et l'abondance sont variables selon les espèces algales (différent formes de chlorophylle, caroténoïdes et biliprotéines) (**Druart et Balvay, 2009**), ce qui lui permet d'effectuer la photosynthèse (**Boulefa, 2020**).

Le phytoplancton est constitué de très nombreuses espèces (**Druart et Balvay, 2009**) qui sont de taille variable ce qui permet de les séparés en trois groupes selon la taille (Tab. 01) :

Tableau 01 : Les groupes de phytoplancton selon leur taille (Alvain, 2005).

Le groupe	Picoplancton	Nanoplancton	Microplancton
La taille	Inférieur à 2 µm	2 µm- 20 µm	20µm à quelques millimètres

La diversité phytoplanctoniques, et notamment fonctionnelle, module fortement les interactions entre organismes, et donc le flux d'énergie au sein des écosystèmes (Fig. 02). A titre d'exemple, nous pouvons citer la taille des cellules phytoplanctoniques qui influence l'ensemble des fonctions écologiques et conditionne de ce fait les autres traits écologiques. Des cellules plus petites vont augmenter le rapport surface/volume et donc favoriser l'assimilation et l'utilisation des nutriments, mais seront plus facilement ingérables par les prédateurs (Trombetta, 2019).

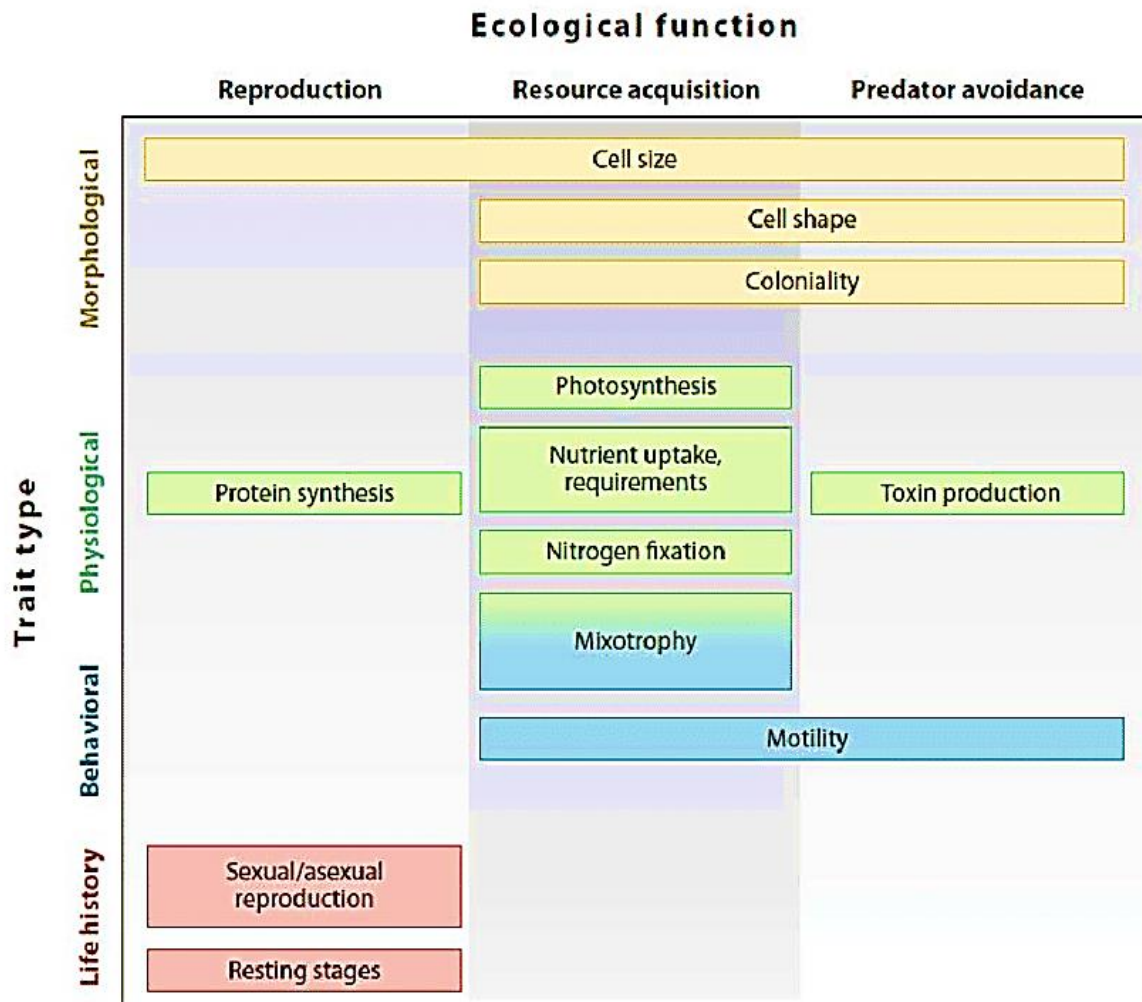


Figure 01 : Typologie des traits fonctionnels du phytoplancton liés aux fonctions écologiques (Litchman & Klausmeier, 2008).

2. Clé d'identification

Il existe deux clés permettant l'identification du phytoplancton peuvent être résumées comme suit :

2.1. Cas des algues vraies

Dans la systématique des algues vraies, les critères de classification proposée par **(Bourelly, 1985)** sont :

- La nature chimique des chlorophylles, des autres pigments et des réserves ;
- La cytologie du noyau et de l'appareil flagellaire ;
- Les caractères cytologiques ;
- Le mode de reproduction et la complexité structurale ;
- Les caractères morphologiques.

2.2. Cas des cyanobactéries

Dans la systématique des cyanobactéries, les caractères morphologiques représentent les clés essentielles d'identification, dont les critères proposés par **(Bourelly, 1985)** sont :

- La structure de la microalgue « cellulaire ou filamenteuse » ;
- La forme de la colonie ou du trichome ;
- La taille des cellules ;
- La gaine gélatineuse « couleur et aspect » ;
- La présence ou non de structures cellulaires caractéristiques « akinetes, hétérocystes et vacuoles gazeuses »

3. Systématique

Il existe deux types de phytoplancton selon la présence ou non d'un noyau cellulaire (respectivement Eucaryote et Procaryote). Les principaux groupes sont déterminés par des critères morphologiques, cytologiques, génétiques, biochimiques et reproductifs **(Broutin et al, 2010)** et aussi selon la nature de leurs pigments **(Druart et Balvay, 2009)**.

3.1. Cas des procaryotes

Les procaryotes sont des organismes dépourvus de compartimentation intracellulaire. Dès lors, ils se caractérisent par l'absence quasi totale de systèmes membranaires **(Willame et Hoffmann, 2005)**. On y distingue trois embranchements : bactéries, actinomycètes, algues bleues (cyanobactéries).

Les cyanobactéries également connues sous le nom de cyanophycées, cyanophytes ou algues bleues. Sont des organismes primitifs autotrophes apparentés aux bactéries, Sans noyau individualisé. Renfermant en plus de la chlorophylle des pigments surnuméraires (caroténoïdes, phycobilines, phycocyanine) permettant d'utiliser une plus grande partie du spectre lumineux (**Druart et Balvay, 2009**).

Plusieurs caractéristiques définissent ce groupe, les cyanobactéries sont des bactéries à Gram négatives réalisant la photosynthèse oxygénique, elles utilisent l'énergie lumineuse pour réduire du carbone inorganiques (CO₂) en carbone organique et oxyder l'eau en dioxygène (**Nithavong, 2015**).

La structure cellulaire est similaire à celle des bactéries et caractérisée en particulier par l'absence de mitochondrie, d'appareil de Golgi et de réticulum endoplasmique, La multiplication des cyanobactéries est végétative, c'est-à-dire asexuée, et elle effectue par division binaire d'une cellule mère en deux cellules filles, par bourgeonnement ou par divisions multiples (**Briand, 2008**).

Les cyanobactéries peuvent être sous forme de cellules isolées, de cœnobe (Microcystis) ou de filaments (Nostoc, Anabaena) (**synonyme 2**).

3.2. Cas des eucaryotes

Les algues sont définies comme des organismes eucaryotes dépourvus de racines, de tige (absence de tissus vasculaires) et de feuilles, mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments accessoires pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène (**synonyme 2**).

3.2.1. Dinoflagellés (Dinophycées)

Les dinoflagellés (Dinophyceae) sont des organismes aux formes et aux tailles très diverses possédant deux flagelle caractéristiques, l'un transversal et l'autre longitudinal, Plusieurs sont autotrophes, mais beaucoup sont hétérotrophe certains ont des parois fragiles et sont appelés dinoflagellés sans thèque, ou nus, alors que d'autre sont recouverts d'une thèque plus ou moins épaisse, constituée de plaques cellulodiques. La cellule est divisée en deux parties soit l'épithèque et l'hypothèque, séparées par un sillon équatorial appelé cingulum ou ceinture le sillon longitudinal s'appelle le sulcus (Fig. 02). L'extrémité antérieure de la cellule forme l'apex alors que l'extrémité postérieure et l'antapex (**Therriault et al., 1999**).

La chlorophylle a et c sont deux pigments majeurs au niveau des cellules de dinoflagellés. Les caroténoïdes sont responsable de la couleur dorée bien que les cellules puissent apparaître jaunâtre voire marron. La reproduction sexuée est temporaire, la reproduction asexuée par la formation d'aplanospores (spores non flagellés) prédomine (Grogg, 2012).

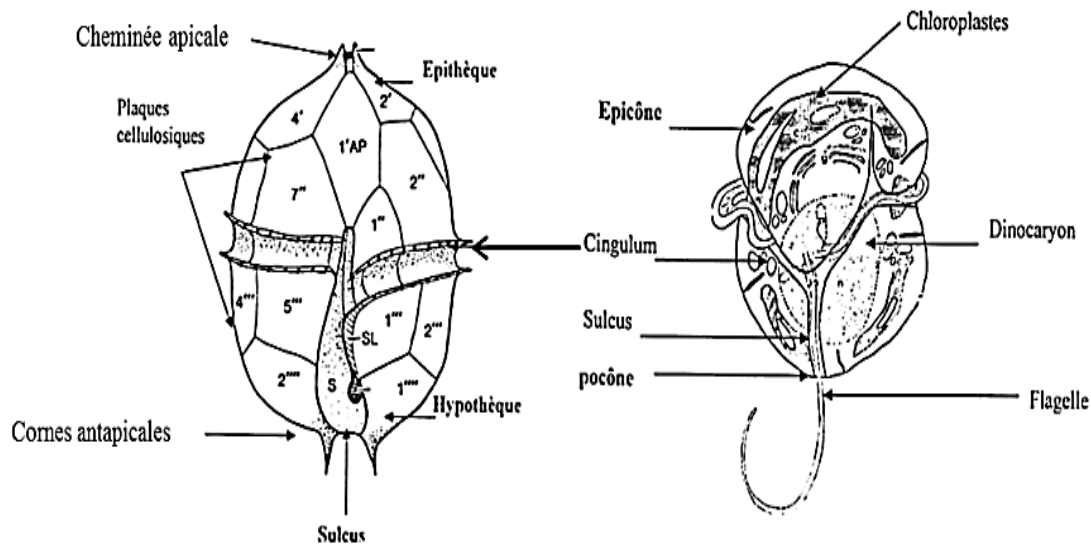


Figure 02: Organisation générale d'un dinoflagellé cuirassé (AP : plaque apicale, S : sulcus, SL: suture sulcal) (Dodge, 1985) et d'un dinoflagellé nu (Sournia, 1986).

3.2.2. Diatomées

Les Diatomophycées sont des cellules algales non flagellées enfermées dans une coque siliceuse (le frustule) dont l'ornementation est caractéristique des différentes espèces. Les diatomées sont des cellules isolées (*Cyclotella*, *Navicula*, etc.) ou associées en structures pseudo-coloniales (*Asterionella*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, ... etc.) (Druart et Balvay, 2009).

Ils se caractérisent par la présence des plusieurs plastes délimités par une enveloppe composée de 4 membranes, La couleur des plastes peut varier du jaune très pâle au brun en raison de la composition en pigments caroténoïdiens (β -carotènes, diatoxanthin, diadinoxanthine et fucoxanthine) qui masquent la couleur des pigments chlorophylliens a et c (c2, et c1 ou c3) (Kermarrec, 2012).

Selon la morphologie, les diatomées sont divisées en deux ordres (Fig. 03) : les Pennatophycideae (ou Pennées) et les Centrophycideae (ou Centriques) (Dhib, 2015).

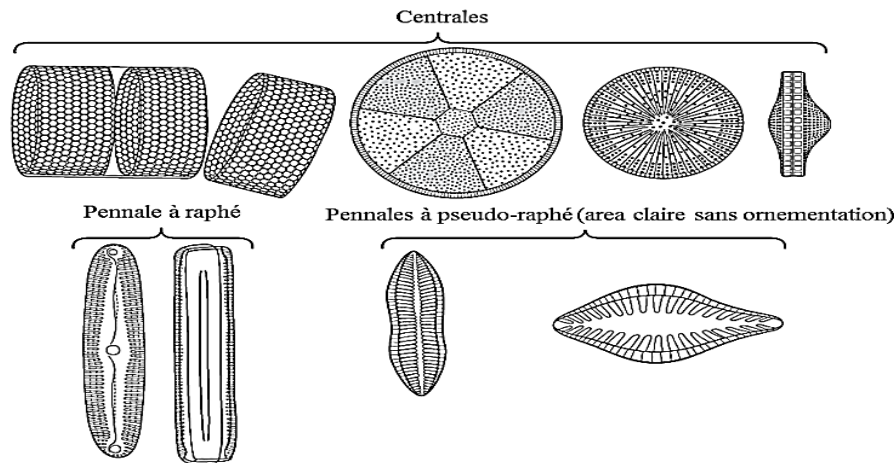


Figure 03 : Variétés des frustules de diatomées (Mathieu et al., 2011).

3.2.3. Chlorophycées

Les Chlorophycées sont des microalgues vertes vivant isolées ou organisées en colonies dans les eaux marines et douce des zones tempérées et chaudes unicellulaires ou pluricellulaire, de forme ovoïde, elles mesurent de 1 à 10 microns et peuvent comme les chrysophycées posséder deux flagelles qui leur permettent de se maintenir en surface (Mollo et Noury, 2013).

Les chlorophycées possèdent des plastes d'un vert franc, contenant de la chlorophylle a et b associée à l' α et β -carotène et des xanthophylles. Les cellules mobiles sont isokontées et les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial (Amri, 2008).

3.2.4. Chrysophycées

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 (Bourrelly, 1957).

La chrysophycée est une micro- algue pélagique. Dotée de deux flagelles, elle peut se déplacer, sans toutefois contrer les courants, et occuper tout le volume des eaux de surface, à la différence des diatomées qui tombent rapidement au fond de la mer où elles nourrissent le zooplancton benthique et les filtreurs (huîtres, moules...).

C'est un phytoplancton très intéressant pour les réseaux trophiques car il est présent partout (Mollo et Noury, 2013).

3.2.5. Cryptophycées

Les Cryptophycées sont unicellulaires, mobiles de par la présence de deux flagelles (de taille égale) et dépourvues de paroi cellulaire. En effet, l'enveloppe qui les entoure est appelée périplaste et est composé de deux couches distinctes, le périplaste interne (succession de plaques protéiques) et le périplaste externe (membrane protéique unique) qui entourent la membrane plasmique. Les cellules sont aplaties dorso-ventralement et sont pourvues d'une invagination antérieure qui porte les deux flagelles (**Groga, 2012**).

Les Cryptophycées renfermant en plus de la chlorophylle d'autres pigments comme caroténoïdes et des biliprotéines cette composante du nanoplancton (plancton dont la taille est égale ou inférieure à 20 µm) constitue une nourriture facilement ingérable pour les rotifères et les crustacés filtreurs (*daphania, bosmina*) (**Druart et Balvay, 2009**).

3.2.6. Euglénophycées

Les Euglénophycées ou euglènes sont des petites algues flagellées incolores ou possédant des chloroplastes (**Reviere, 2002**). Ces organismes peuvent être considérés comme étant à la limite entre le règne végétal et le règne animal (**Druart et Balvay, 2009**). Sont présentes dans les milieux riches en substances organique. Ils se caractérisent par :

- l'absence de membrane cellulosique, remplacées par une paroi souple, leur permettant de changer de forme et de se mouvoir à la façon des amibes ;
- Ils ont également une vacuole, qui règle la pression osmotique, ce qui est rarement observe chez les algues, mais plutôt chez les protozoaires (**Saheb, 2014**).

3.2.7. Xanthophycées

Les Xanthophycées regroupent plus de 100 genres et environ 600 espèces dulçaquicoles. Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes (β -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte Les cellules mobiles possèdent deux flagelles de taille différente.

La paroi cellulaire est souvent absente et quand elle est présente, elle contient une grande quantité de pectine et peut être siliceuse chez plusieurs espèces. Les xanthophycées se divisent essentiellement par fission binaire mais peuvent également former des zoospores. La reproduction sexuée, quand elle a lieu, est le plus souvent isogame (**Groga, 2012**).

3.2.8. Rhodophycées

Les Rhodophycées sont des algues eucaryotes, sont le plus souvent des algues marines et leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents. Leurs pigments sont constitués par des chlorophylles a et d, des α et β carotènes, des xanthophylles et des biliprotéines (Phycoérythrine et Phycocyanine). Les réserves sont constituées de rhodamylon ou (amidon floridéen O, amidon particulier toujours extraplastidial prenant une teinte rougeâtre au contact de l'iode. En eau douce, la couleur des Rhodophytes est bleu-vert, rouge-violacé, très souvent vert sale ou vert noirâtre (Bourrelly, 1957).

4. Différentes formes du phytoplancton

4.1. Formes unicellulaires

Ce sont des espèces qui se présentent sous forme de cellules solitaires qui peuvent être immobiles ou mobiles, ces dernières se déplaçant en utilisant un ou plus de flagelles ou glissant le long des surfaces via le mucilage ou d'autres moyens.

Une grande variété de formes existe parmi les unicellulaires, y compris celles contenues dans une gaine gélatineuse, cellules ayant des formes cellulaires flexibles, et des cellules avec deux flagelles de longueur égale ou des flagelles avec longueur inégale. Les cellules peuvent être tirées dans des projections en forme de corne ou sont contenues dans un boîtier durci ou lorica (Robert et al., 2015).

4.2. Formes coloniales

Une agrégation de cellules qui sont maintenues ensemble dans un schéma lâche ou serré bien organisé. Selon le taxon algal, les colonies peuvent contenir un nombre variable de cellules, ou elles peuvent être constantes tout au long de leur développement. Les colonies peuvent être composées de cellules flagellées ou non flagellées. Les cellules peuvent être disposées selon un modèle hautement organisé, directement attachés à leurs bords cellulaires, ou à la partie médiane de chaque cellule. Alternativement, les cellules peuvent être reliées à d'autres par leurs loricas (Robert et al., 2015).

4.3. Formes filamenteuses

Des filaments simples non branchus existent chez un grand nombre d'espèces d'algues d'eau douce. Ils peuvent être libres ou agrégés en colonies ou même attachés du moins au début de leur développement. Les filaments agrégés en colonies peuvent se

grouper dans une gelée commune. Des filaments ramifiés existent aussi dans de nombreux groupes (Bourrelly, 1957).

4.4. Formes pseudo-filamenteuses

Agglomération symbiotique de cellules. Les cellules ne sont pas directement connectées les unes aux autres ; au contraire, ils sont séparés et peuvent être contenus dans une matrice ou un gaine gélatineux commun. Quelques cyanobactéries pseudo filamenteuses forment des croûtes macroscopiquement reconnaissables sur les roches (Boulefa, 2020).

5. Habitat et écologie

Le phytoplancton a une plasticité écologique importante. Ces espèces très ubiquistes (Kafi, 2017), occupent la plupart des niches écologiques (Abadli et Harkati, 2015) et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée (Kafi, 2017). Il leur faut impérativement deux choses : la lumière pour la photosynthèse et l'eau pour leur reproduction (Saheb, 2014).

Il peut encore vivre en symbiose avec des champignons et des algues vertes comme dans le cas des lichens. Au cas où il est strictement aquatique, il peut être planctonique, vit dans la colonne d'eau, ou benthique, fixé ou très proche de divers substrats (roches, coraux, algues, animaux) et se développe même à l'intérieur des sédiments (Groga, 2012).

Les espèces de phytoplancton ne constituent que 0,3 % des espèces décrites, avec une répartition mondiale ou se distribuant par rapport aux grandes divisions climatiques classiques. On distingue ainsi des espèces d'eaux froides, d'eaux tempérées et d'eaux chaudes intertropicales (Ba, 2006).

6. Reproduction

Les modes de reproduction chez les phytoplanctons peuvent être végétatives par la division d'une cellule ou fragmentation d'une colonie, asexuée par la production de spore mobile, ou sexuelle par l'union de gamètes (Abadli et Harkati, 2015).

6.1. Reproduction asexuée

Il existe trois types de reproduction asexuée :

- Fragmentation : par la séparation du thalle en deux parties qui donnent chacune un nouveau thalle ;
- Sporulation : production de spores dans les cellules végétatives ordinaire ou dans les sporanges ;

- Scission binaire : division du noyau suivie par une division du cytoplasme (synonyme 2).

6.2. Reproduction sexuée

Le mode sexuel entraîne la formation des gamètes de sexe différents une male et l'autre femelle ce qui implique plasmogamie (union de cellules) et caryogamie (union de noyaux) (Abadli et Harkati, 2015) pour produire un zygote diploïde (synonyme 2).

7. Nutrition

Pour vivre, les phytoplanctons ont besoin de nutriments tels que le calcium, le phosphore (P) à différents niveaux selon les espèces (Lindsey et Scott, 2010) pour leur métabolisme (Sirois, 2013). Ils utilisent les éléments dissous dans l'eau (dont les orthophosphates, les nitrates et des éléments minéraux comme la silice) pour leur croissance (Druart et Balvay, 2007).

L'azote (N_2) est principalement fourni sous forme de nitrate (NO_3^-), mais souvent l'ammoniaque (NH_4^+) et l'urée sont également utilisées. De plus, la croissance des microalgues dépend non seulement d'un apport adéquat en éléments essentiels de macronutriments (carbone, azote, phosphore, silicium) et en ions majeurs, mais également d'un certain nombre de métaux (micronutriments) tels que le fer, le manganèse, le zinc, le cobalt, le cuivre et le molybdène (Dragone et al., 2010). Les aliments de complément et l'environnement naturel sont nécessaires mais seulement sous formes de trace (Little et Edwards, 2005).

8. Les besoins du développement du phytoplancton

Comme tous les êtres vivants, les phytoplanctons ont besoin des éléments nécessaires au développement dont les principaux sont :

8.1. La lumière

La lumière est paramètre limitant de la croissance phytoplanctonique (Cadier, 2016). En milieu aquatique, la lumière est fortement atténuée par le milieu, les substances dissoutes et les particules en suspension, ce qui entraîne un gradient vertical d'intensité et de distribution spectrale (Litchman et Klausmeier, 2008). C'est pourquoi le phytoplancton est abondant surtout dans les eaux de surface où il reçoit suffisamment de lumière pour réaliser la photosynthèse. Cette zone est la couche euphotique, dont l'épaisseur varie de plusieurs mètres dans les estuaires jusqu'à environ 200 mètres en haute mer (Mollo et Noury, 2013).

8.2. Les sels minéraux

Les sels minéraux sont présents partout où l'eau douce vient de rejoindre la mer, mais pour qu'ils soient accessibles au phytoplancton, ils doivent, comme lui, rester en suspension dans les eaux de surface où se trouve tous les éléments de la photosynthèse.

Les principaux sels minéraux nécessaires au développement du phytoplancton sont :

- Les nitrates, composés d'atomes d'azote et d'atomes d'oxygène ;
- Le phosphore, composé d'atomes de phosphates et d'atomes d'oxygène ;
- Les silicates, composés d'atomes de silice et d'atomes d'oxygène, qui constituent 97% de la croûte terrestre ;
- Le potassium, composé essentiellement d'atomes métalliques (**Mollo et Noury, 2013**).

8.3. Le gaz carbonique

Le phytoplancton, par le processus de photosynthèse, absorbe le carbone inorganique dissous dans les eaux pour synthétiser sa propre matière organique carbonée (**Mayot, 2016**). Le CO₂ vient des échanges gazeux (CO₂ – O₂) avec l'atmosphère et il est présent partout (**Mollo et Noury, 2013**).

9. Cycle annuel du phytoplancton

En théorie, le phytoplancton a une grande variabilité saisonnière (**Kafi, 2017**). Ainsi, son existence est étroitement liée aux conditions régnant dans son milieu : température et turbidité (degré d'opacité) de l'eau, précipitations, ensoleillement, pollution.

Le phytoplancton se développe de préférence au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont optimales. Aujourd'hui, ce rythme annuel est de moins en moins respecté en raison de l'évolution du milieu (excès d'apports en nutriments, réchauffement climatique) et certaines espèces peuvent proliférer tout au long de l'année (**Mollo et Noury, 2013**). Les Diatomées et les Euchlorophycées représentent en moyenne plus de 90% de la biomasse (**Dauta, 1975**).

- L'hiver est singularisé par une richesse faible en phytoplancton (**Hamaidi Chergui, 2012**) ;
- Le microplancton, représenté majoritairement par les Diatomées, se trouve principalement aux périodes et aux endroits où la disponibilité en nutriments est importante au printemps et en été ;

- Le nano et le picoplancton sont principalement observés dans les environnements où la disponibilité en nutriments est réduite au moment de la période estivale (Mayot, 2016).

10. Rôle du phytoplancton

Le phytoplancton joue un rôle majeur dans les écosystèmes de la Terre. Il constitue le point de départ de la plupart des activités biologiques dans les eaux (Kroeck, 2019). Non seulement le phytoplancton représente le premier maillon de la chaîne alimentaire aquatique, mais, il est aussi considéré comme le « poumon » de notre planète (Bordji et El Saadi, 2018).

10.1. Acteur de la photosynthèse

Les phytoplanctons eucaryotes et procaryotes ont en commun la photosynthèse oxygénique. Cette réaction assure la transformation du carbone inorganique en énergie chimique en captant l'énergie lumineuse (Sialve et Steyer, 2013) grâce à la chlorophylle contenue dans leur cellule.

La photosynthèse constitue une pompe biologique (Fig. 04) qui sert à réguler la quantité du CO₂ atmosphérique (dissous à la surface des eaux) qui le transforme en carbone organique particulaire ou dissous puis son transport de la couche euphotique vers les eaux profondes (Bonato, 2015).

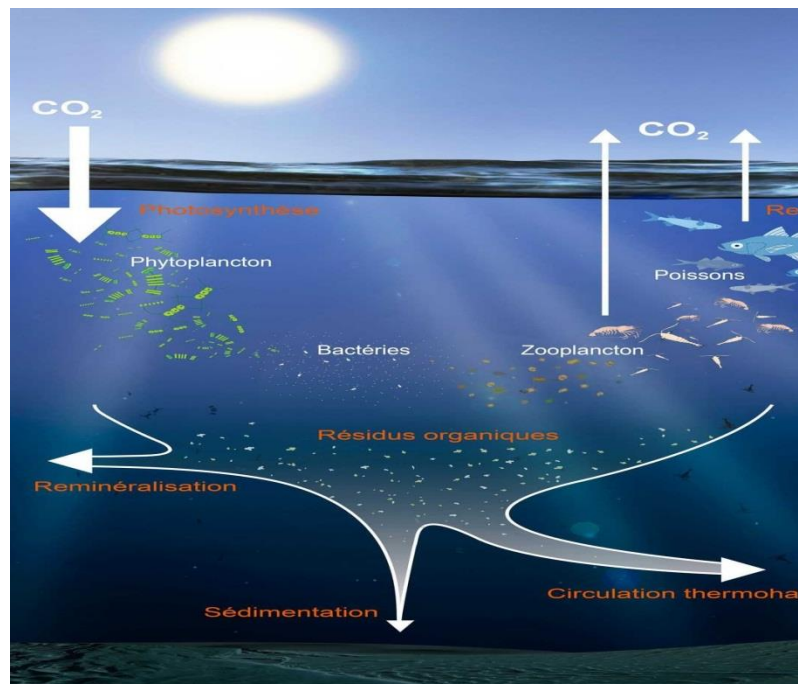


Figure 04 : La pompe biologique régulatrice du climat [3].

10.2. Base de la chaîne alimentaire

L'importance du phytoplancton était déjà perçue chez les pêcheurs italiens au moyen âge chez lesquels existait l'adage « che i pesci crede, che sia plancton », ce qui veut dire : « qui dit poisson, dit plancton » (Trégouboff et Rose, 1957).

Les organismes phytoplanctoniques sont à la base des chaînes alimentaires (trophiques) pélagiques et donc responsable d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques (Ba, 2006).

Par ailleurs, de façon théorique, un pic d'abondance de phytoplancton (proie) est suivi d'un pic d'abondance de zooplanctons phytophages (prédateurs), qui se développent car le phytoplancton est abondant (Fig. 05). Le phytoplancton diminue sous la pression de prédation. Ce déclin des populations de phytoplancton va engendrer par la suite un déclin des prédateurs. La pression de prédation diminuant, les populations de phytoplancton vont à nouveau augmenter. La relation proie/prédateur reste un modèle théorique, les relations trophiques sont complexes, où les prédateurs de « rang 2 » jouent également un rôle important dans cette dynamique, ainsi que les paramètres environnementaux (Laguerre, 2014).

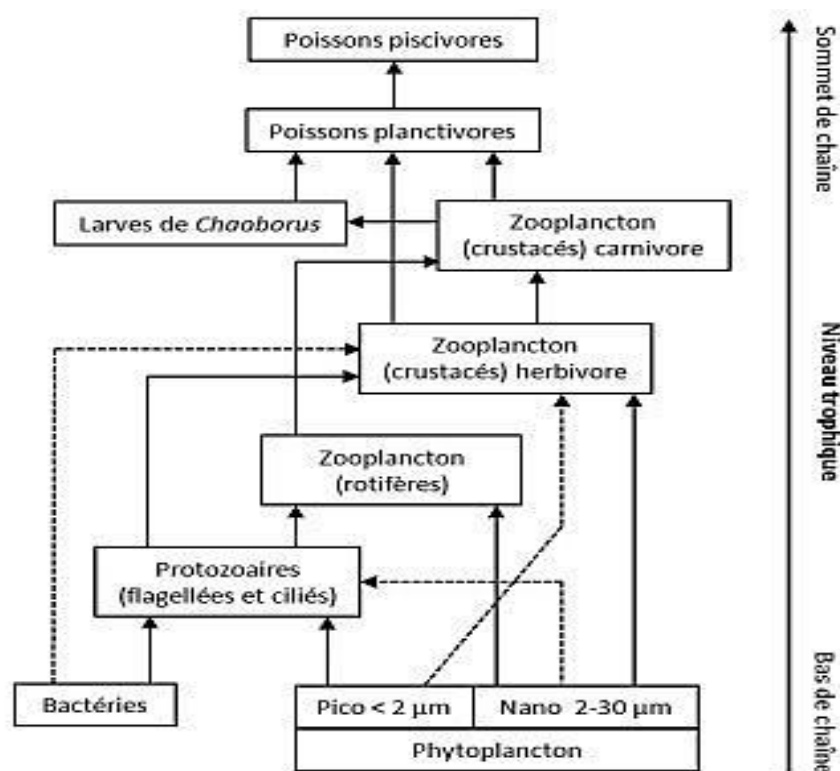


Figure 05: Schéma simplifié d'un réseau trophique aquatique représentant les interactions proie/prédateur des organismes vivants (Harrault, 2013).

10.3. Poumon de la planète

Le plancton végétal peut être qualifié le « poumon » de la planète, il ne représente que 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques mais assure 45% de la production primaire mondiale (**Bordji et El Saadi, 2018**).

Contrairement à une idée reçue, le premier producteur d'oxygène sur Terre n'est pas la forêt, mais le plancton végétal qui apporte plus d'oxygène que l'ensemble de toutes les forêts du monde réunies, forêt amazonienne comprise. Grâce au processus de 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 milieux aquatiques. Cet oxygène aquatique libéré dans l'air a permis la formation de la couche d'ozone (qui comporte trois atomes d'oxygène) de la haute atmosphère (**Mollo et Noury, 2013**).

10.4. Conséquence de la présence du phytoplancton

Le développement du plancton végétal dans un milieu va permettre la vie des animaux aquatiques dont l'aliment essentiel est le phytoplancton, ce qui explique la distribution des autres organismes vivants qui sont les consommateurs primaires et secondaires jusqu'aux prédateurs.

Les professionnels installent leurs exploitation ou choisissent leur zone d'activité dans ces endroits stratégiques car sont favorables aux :

- Elevages de coquillages ou de poissons : ostréiculture, mytiliculture, pisciculture ;
- Métiers de la pêche : pêche côtière ou hauturière et pêche à pied professionnelle de coquillages (**Mollo et Noury, 2013**).

11. Importance du phytoplancton

Le phytoplancton représente un compartiment remarquable par le rôle qu'il joue non seulement dans le milieu aquatique, mais aussi dans tous les domaines de notre vie (**Mollo et Noury, 2013**).

Les algues sont utilisées en agriculture comme engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, en particulier les sols sahariens squelettiques dont la structure est amoindrie par l'abondance des ions sodium dans l'eau d'irrigation, ce qui engendre des conditions asphyxiantes très défavorables ; ainsi l'apport d'algues microscopiques riches en azote à ce type de sol, peut corriger l'insuffisance en matière organiques.

Par ailleurs, ces mêmes algues représentent une source potentielle de protéines alimentaires non négligeable (50 à 60 % du poids sec) pour l'homme et l'animal qu'il soit terrestre ou aquatique. Les micro-algues fabriquent aussi une certaine catégorie de produits chimiques qui leurs sont propres : agar-agar, alginates, carraghénanes et bien d'autres polysaccharides. D'autres fabriquent des hydrocarbures, des lipides, d'autres encore des antibiotiques (**Chader et Touzi, 2001**).

Dans l'industrie on se sert des algues pour en extraire la soude, la potasse, l'iode et le brome, on retire aussi une matière sucrée (**Mangenot, 1883**). La production de micro-algues et cyanobactéries est en forte augmentation à travers le monde. Elle est passée de 5000 tonnes par an à plus de 10000 en l'espace de 5 ans. Les cultures à grande échelle de biomasse riches en protéines, en vitamines, sels minéraux, pigments, antioxydants, acides gras polyinsaturés à longue chaîne,...etc. sont principalement dédiées à l'industrie cosmétiques et des compléments alimentaires.

La spiruline (*Arthrospira platensis*) et les espèces de type *Chlorella* sont les principales espèces cultivées dans ce but. D'autres espèces sont cultivées en aquacultures pour produire du zooplancton, nourrir les larves de poissons, des bivalves,... etc. (**Cadoret et Bernard, 2008**).

12. Microalgues toxique

Les algues toxiques sont des micro-algues que l'on trouve dans l'eau et qui produisent des toxines. Certaines de ces toxines, en s'accumulant dans les coquillages (toxines diarrhéiques, paralysantes, amnésiantes), peuvent être dangereuses pour les consommateurs, d'autres sont dangereuses pour la faune (**Chapelle et al., 2014**).

- ***Dinophysis*** : (Dinoflagellés) Comprend de nombreuses espèces toxiques pour la plupart, la mise en cause de cette algue dans les intoxications diarrhéique a été mise en évidence en 1983 suite à la consommation de coquillages. Le phycotoxine émise provoque une intoxication rapide comparativement aux intoxications bactériennes se traduisant par des diarrhées, des douleurs abdominales, nausées, vomissements (**Genin et al., 2003**).
- ***Alexandrium minutum*** : (dinoflagellés) produit des toxines paralytiques (Paralytic Shellfish Poisoning, ou PSP). Ces toxines provoquent chez le consommateur de coquillages contaminés, une intoxication dont les effets apparaissent en moins de trente minutes.

- En cas d'intoxication faible ou modérée, les symptômes sont des fourmillements aux extrémités, des engourdissements autour des lèvres, des vertiges et des nausées, un pouls rapide, une incoordination motrice ;
- Si l'intoxication est forte, la paralysie et les troubles respiratoires qui s'ensuivent peuvent être mortels. Les toxines PSP étant stables à la chaleur, la cuisson des coquillages ne diminue pas leur toxicité (**Chapelle et al., 2014**) ;
- ***Pseudo nitzschia*** : plusieurs espèces de cette algue classée dans les Diatomées produisent des toxines amnésiantes observées pour la première fois en 2000, elles provoquent chez les consommateurs de coquillages contaminés une intoxication dans les premiers symptômes de type gastro-intestinal apparaissent dans un délai de 2 à 24 heures. puis entre 24 à 48 heures ce sont des symptômes neurologiques (maux de tête, persistants, trouble de la mémoire) et dans les cas graves convulsions et coma (**Genin et al., 2003**).
- **Les Cyanobactéries** : peuvent être toxiques pour les mammifères et pour l'homme en particulier. A la suite de leur prolifération dans des eaux d'alimentation humaine, leur ingestion a été à l'origine d'intoxications graves (**Mollo et Noury, 2013**). Les toxines produites par les cyanobactéries sont classées selon leurs effets : hépatotoxines, neurotoxines, ou cytotoxines, les microcystines par exemple sont sécrétées par *Microcystis*, *Anabaena*, *Nostoc*...et les nodularines sécrétées par *Nodularia* attaquent le foie (**Genin, 2003**).

13. Indicateurs de qualité biologiques

Les activités humaines exercent des pressions se traduisant par des impacts multiples sur les milieux aquatiques. Le développement de l'industrie, de l'agriculture intensive et l'anthropisation des territoires d'une manière générale ont entraîné de profondes modifications des milieux aquatiques et ont provoqué leur dégradation à plusieurs niveaux (**Bonnin, 2015**).

Selon la DCE, le diagnostic des systèmes écologiques passe le plus souvent par l'utilisation de « bio-indicateurs » (**Blandin et Luce, 1994**). L'utilisation des bioindicateurs repose sur le principe que la structure des communautés reflète l'état de leur écosystème et que toute altération du milieu provoque un changement de cette structure (**Kermarrec, 2012**). Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés, ou des poissons, les indicateurs biologiques sont basés sur le même principe (**Groga, 2012**).

Un indicateur biologique est organisme ou un ensemble d'organismes qui (par référence à des variables cytologiques, biochimiques, physiologiques, éthologiques, ou écologiques) permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco-complexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications naturelles ou provoquées (**Blandin, 1986**).

Le SEQ-Bio propose trois paramètres biologiques relatifs au phytoplancton et utilisables pour l'évaluation de la qualité biologique (Tab. 02) : rapport chlorophylle a / (chlorophylle a + phéopigments), proportion de cyanophytes (cyanobactéries) et proportion d'euglène (**Agence de l'eau, 2003**).

Tableau 02: Limites des classes de qualité pour les paramètres relatifs au phytoplancton retenus dans le cadre du SEQ-Bio.

Classe de qualité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
% maximum de cyanobactéries dans l'eau	< 5	5 – 30	30 – 60	60 – 90	>90
% chloro a/ chloro a + phéopigments	>80	80 – 60	60 – 40	40 – 20	< 20
% maximum d'euglène dans l'eau	< 10	10 – 30	30 – 60	60 – 90	>90

Parmi les indices de qualité on peut citer aussi le bloom phytoplanctonique. Lors du période favorable au développement, une espèce de phytoplancton peut se développer abondamment (concentration à plus de 100 000 cellules/litre). Cela est un signe de bonne qualité écologique d'un milieu. Toutefois, lorsque les concentrations dépassent le million de cellules/litre, on parle d'eutrophisation, le système est en déséquilibre (**Laguerre, 2014**).

Une autre espèce de phytoplancton peut être utilisée comme indicateur de qualité biologique, les diatomées qui sont présent dans l'ensemble des milieux aquatiques. Les espèces présentent des affinités particulières pour 14 paramètres physico-chimiques. Leur caractérisation permet d'établir l'IBD (Indice Biologique Diatomée) d'une ou plusieurs stations.

L'IBD, établi par station, s'exprime par une note comprise entre 1 et 20 (**synonyme 3**).

Pour une représentation des résultats de l'IBD les couleurs peuvent être utilisés selon le tableau 03 ci-dessous :

Tableau 03 : Représentation des résultats de l'IBD.

Indice IBD	1 – 4	5 – 8	9 – 12	13 – 16	17 – 20
Classe de qualité	Rouge	Orange	Jaune	Vert	Bleu
Qualité	Très mauvaise	Mauvaise	Passable	Bonne	Très bonne

14. Application des phytoplanctons

Les microalgues sont une source prometteuse de biomasse pour des applications aussi variées que l'alimentation animale et humaine, la production énergétique, ou la décontamination environnementale (**Przybyla et al., 2017**).

14.1. Traitement et épuration d'eau

Les phytoplanctons ont un rôle important dans le traitement des eaux. Ce rôle se traduit par :

- La production d'oxygène lors de la photosynthèse ce qui permet la survie des bactéries épuratrices ;
- L'assimilation et conversion des nutriments des eaux usées notamment l'azote et du phosphore ;
- l'élévation du pH lié aux processus de photosynthèse qui rend les eaux basiques. Cette augmentation du pH entraîne une croissance du taux de mortalité pour les coliformes thermotolerants (**Baya, 2012**) ;
- Ils agissent comme bio absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux ;
- Ils favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries (**Boulefa, 2020**). Ils participent aussi d'une façon directe à l'élimination de certains dérivés organiques ;
- L'assimilation de la matière organique et une influence sur les conditions qui affectent la mort des pathogènes (**Pearson et al., 1987**) ;

14.2. Alimentation

Certains phytoplanctons ont été exploités très tôt par l'homme pour son alimentation et celle des animaux (**Rmiki, 1999**). Les algues alimentaires sont fortement liées à la cuisine

asiatique. Cependant les bienfaits pour la santé sont clairement identifiés et ont une grande importance (Le Bras, 2014).

La consommation peut être directe ou par extraction de composants additifs (pigments colorants : caroténoïdes, et pigments bleu, rouge, jaune et vert ; texturants ; arômes) (Rastoin et Robin, 2016).

La valeur nutritionnelle des microalgues peut en effet s'expliquer en grande partie par la présence de trois grandes catégories de composants : les protéines, les lipides et les minéraux. Certains d'entre eux contiennent jusqu'à 60% de protéines et la teneur moyenne en lipides varie entre 1% et 4% du poids sec. Ils possèdent aussi une richesse incomparable d'éléments minéraux : calcium, sodium, magnésium, potassium, phosphore, silice, iode, zinc, manganèse... etc (Ramirez, 2013).

La *spiruline* est particulièrement populaire et la plus utilisée dans le domaine alimentaire grâce à ses remarquables qualités nutritionnelles. La teneur en protéine est comprise entre 60% et 70% de son poids sec. Elle est aussi considérée comme l'une des meilleures sources en oméga-3. Quant aux glucides, ils constituent 15 à 25% de sa masse (Mollo et Noury, 2013).

14.3. Pharmaceutique et médecine

Actuellement l'utilisation des caroténoïdes s'est diversifiée. Leur intérêt dépasse le domaine alimentaire pour être activement étudiées dans un but médical. Des études montrent qu'un régime alimentaire riche en caroténoïdes augmenterait l'immunité et retarderait la progression des maladies cardio-vasculaires. De plus, le β -carotène provoque des régressions des tumeurs mammaires induites chez le hamster et d'autres rongeurs (Rmiki, 1999).

Egalement, des molécules élaborées par des diatomées, dinoflagellées et cyanobactéries font l'objet de travaux de recherche car elles présentent des propriétés anticancéreuses. D'autres composés aux propriétés antifongiques, antibactériennes, antivirales et antihistaminiques comptent également parmi les molécules à intérêt pharmaceutique. Ainsi, les acides gras polyinsaturés appartiennent à la classe des oméga-3 et oméga-6 comme les DHA et EPA (Sialve et Steyer, 2013), et représentent une source importante de quasi toutes les vitamines essentielles : B1, B6, B12, C, E, K1, A, (Rastoin et Robin, 2016).

14.4. Cosmétique

L'utilisation de certaines espèces de phytoplancton est bien établie dans le marché des soins de la peau et certains industriels cosmétique. De par leur diverses natures

(antioxydant, hydratant, colorant...), leurs extraits se retrouvent dans les crèmes anti-âge, les produits de soin rafraîchissants ou régénérants, les émoullients, comme anti-irritant dans les gommages exfoliants et aussi dans la protection solaire et les produits de soins capillaires. C'est de la cosmétique « naturelle et bio » (**Person et al., 2010**).

En effet, en raison de la richesse des microalgues, notamment des *chlorelles* et de la *spiruline*, en protéines, vitamines, sels minéraux, pigments, antioxydants, acides gras polyinsaturés à longue chaîne, la biomasse phytoplanctonique est utilisée dans le domaine de la cosmétique et des compléments alimentaires (**Baya, 2012**).

14.5. Valorisation énergétique

Face à l'épuisement des énergies fossiles pronostiqué à moyen terme et leur pollution, comme la génération de gaz à effet de serre, la recherche de combustibles de substitution s'impose (**Chader, 2009**).

La production de bioénergie à partir de microalgues se présente comme une alternative intéressante aux biocarburants de première génération, notamment par la très forte diminution des impacts liés à l'utilisation et à l'occupation des sols.

Une revue bibliographique portant sur 14 publications utilisant l'ACV et portant sur la production de biomasse microalgale ou de bioénergie à partir de microalgues a été réalisée (**Collet, 2012**).

Dans ce contexte et à l'instar des pays industrialisés, l'Algérie inscrit sa volonté de participer à la protection de la planète, la préservation et la valorisation de ses ressources à travers la mise au point de nouveaux bioprocédés de production bioénergétique basés sur l'utilisation des microalgues isolées dans le sud Algérien pour la production d'hydrogène, générateur d'une énergie renouvelable, propre et durable (**Chader, 2009**).

Non seulement les phytoplanctons, mais aussi les produits issus de ces microorganismes peuvent être utilisés pour produire l'énergie.

Après la production des produits par les phytoplanctons intervient la récolte qui fournit une biomasse à traiter. Parmi ses produits on peut citer :

- Les polysaccharides pour produire du bioéthanol ;
- Les lipides neutres (les triacylglycérols, TAG), que l'on peut transformer en carburant diesel ou le biodiesel (**Le Grand et al., 2016**) ;
- L'amidon qui peut être fermentés en bioéthanol (**Sadi, 2012**).

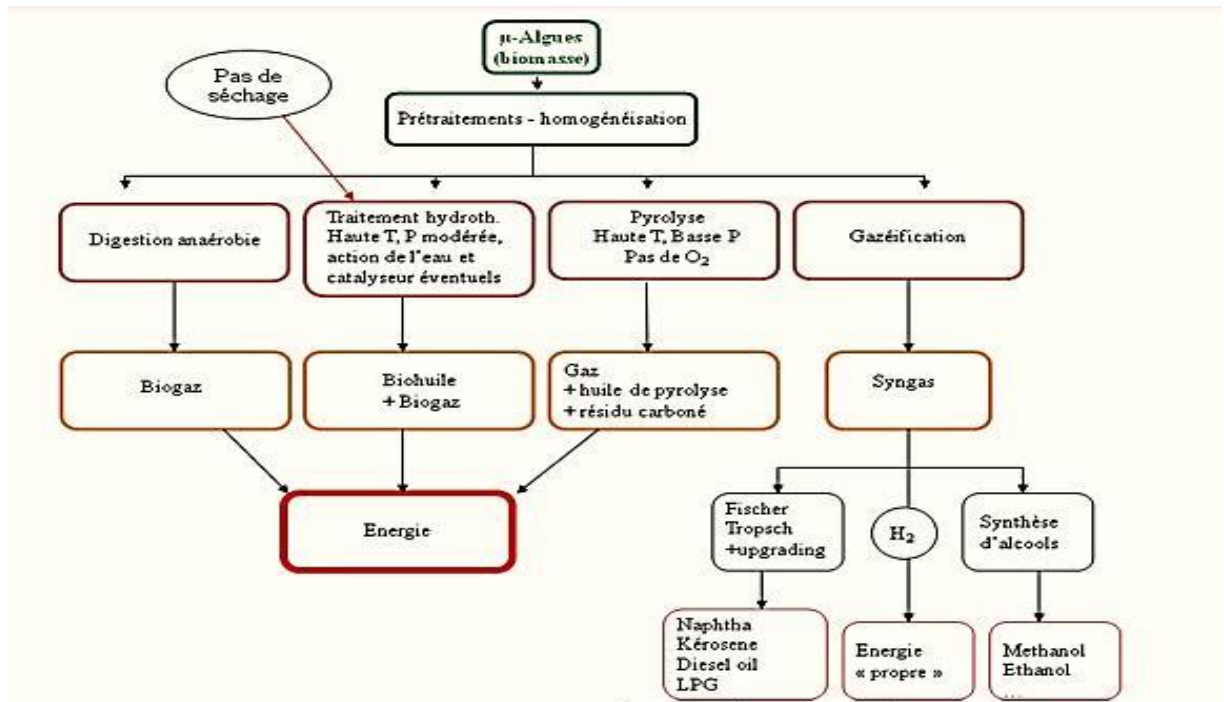


Figure 06: Voies de transformation des microalgues en énergie (Ramirez, 2013).

15. Effet nuisible des phytoplanctons

15.1. Eutrophisation

L'eutrophisation des eaux est l'un des problèmes environnementaux majeurs du monde contemporain (Mama, 2010). Ce phénomène est lié en général à un apport excessif de substances nutritives qui augmentent la production de microalgues. Ces efflorescences de microalgues sont désignées par les termes Harmful Algal Blooms (HAB) ou Proliférations Algales Nuisibles (PAN) (Abdennadher, 2014). En cas de prolifération phytoplanctoniques, les effets nuisibles sont diversifiés :

- L'eau est trouble et teintée en vert ou marron ;
- Très fortes variations d'oxygène dissous et de pH dans une même journée pendant les blooms, avec une sous-oxygénation marquée la nuit ;
- Mise en place de conditions favorisant le développement par opportunisme d'espèces végétale ou animales invasives (Minaudo, 2015) ;
- Une consommation importante de la concentration en oxygène dissous une anaérobie dans le système aquatique suite à la décomposition de la biomasse phytoplanctonique ;
- Développement d'odeurs nauséabondes ;
- dans le cas du développement de cyanobactéries, des risques sanitaires liés à la présence des cyanotoxines sont à craindre (Mama, 2010).

15.2. Toxicité

Les toxines des microalgues sont considérées comme des métabolites secondaires ; c'est-à-dire qu'elles ne sont pas essentielles à la vie ou à la survie des organismes (**Frémy et Lassus, 2001**). Certaines espèces phytoplanctoniques produisent des substances toxiques appelées phycotoxines étymologiquement toxines algales.

- Une première catégorie concerne la production des toxines libérées dans l'eau (**exotoxines**), agissant directement sur la faune et la flore et pouvant provoquer des mortalités massives parmi les organismes fixés ou peu mobiles, elles sont appelées ichtyotoxines quand elles causent des mortalités de poissons ;
- Une deuxième catégorie recouvre la production de toxines à l'intérieur des cellules de phytoplancton (**endotoxines**), les organismes qui les ingèrent par exemple les mollusques, bivalves, dont la nourriture inclut une forte proportion de phytoplancton sont alors susceptibles d'intoxiquer les consommateurs de ces organismes ;
- Une troisième catégorie concerne des espèces phytoplanctoniques qui émettent des toxines sous forme d'**aérosols**, potentiellement dangereux pour les promeneurs et baigneurs par leurs effets irritants ;
- Un autre type de nuisance est la production de **mousses** ou de **mucus**, pouvant conduire dans les cas extrêmes à des mortalités parfois importantes de poissons ou autres organismes marins.

Toutefois, seule une petite proportion des espèces phytoplanctoniques est dangereuse pour la santé humaine ou pour d'autres espèces (**Catherine et Dominique, 2018**).

15.3. Risque sur le fonctionnement d'écosystème

La dégradation de la biomasse associée à l'extinction des efflorescences algales massives entraîne une diminution de la teneur en oxygène, qui peut engendrer des phénomènes de mortalités d'organisme marin comme évoqué précédemment mais également un dysfonctionnement de l'écosystème marin en générale (anoxie) les blooms peuvent également avoir des conséquences sur la croissance de certains organismes tels que la coquille saint jacques (**Chauvaud et al., 2000**) par inhibition des fonctions de croissance, d'alimentation et de reproduction des organismes (**Wiegand et Pflugmacher, 2005**).

Le zooplancton peut consommer des dinoflagellés producteurs de phycotoxines des copépodes nourris avec des cultures de dinoflagellés toxiques voient leur taux de fécondité et leur croissance diminuer sans que l'on puisse pour autant attribuer ces effets aux toxines

elles-mêmes ou à d'autres composés inhibiteurs. Les cyanotoxines en eau douce et les phycotoxines en milieu marin sont donc susceptibles de gagner les réseaux trophiques supérieurs par accumulation dans le zooplancton phytophage puis par transfert dans des bivalves filtreurs (**Ledreux, 2010**).



Chapitre 02 :

Matériel et méthodes

Chapitre 02 : Matériel et méthodes

Après avoir terminé avec la première partie de notre travail, la partie théorique, dans laquelle on a rédigé des généralités sur le phytoplancton d'eau douce. Maintenant c'est le temps pour passer à la partie la plus importante de notre sujet de recherche, la partie pratique, où on va discuter le matériel et les méthodes utilisés afin de réaliser une analyse physicochimique et phytoplanctonique.

1. Description du site d'étude

La zone d'étude se situe dans la commune de Nechemaya, qui appartient à la wilaya de Guelma.

1.1. Présentation de la wilaya de Guelma

Guelma est Wilaya depuis 1974 et Ville universitaire depuis 1986, elle est située au Nord-Est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud. Elle s'étend sur une superficie de 3686,84 Km² (Abboudi et Foura, 2018).

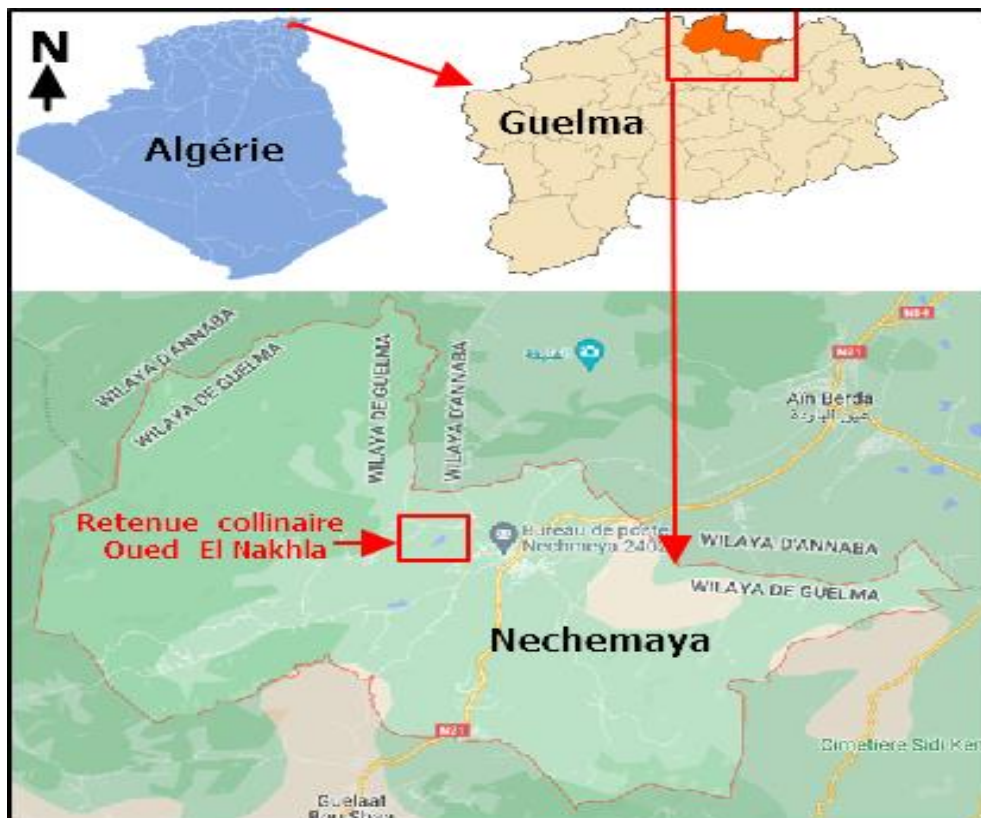


Figure 07: Localisation de la retenue collinaire Oued El Nakhla dans la wilaya de Guelma (Google MAPS, 2022).

1.2. Présentation de la commune de Nechmaya

Sur le plan administratif la commune de Nechmaya appartient à la daïra de Guellat Bou Sbaa et à la wilaya de Guelma, elle a été créée en 1855. La ville compte 9964 habitants d'après le dernier recensement de la population en 2013. Elle est délimitée au Nord par la commune d'Aïn Berda (wilaya d'Annaba), au Sud par la commune de Guellat Bou Sbaa et Djeballah Khmissi, à l'Est par la commune d'Ain Ben Beida et vers l'Ouest par la commune de Bouati Mahmoud et Héliopolis. La commune de Nechmaya est distante de la wilaya de Guelma de 20 Km.

Tableau 04 : Les coordonnées géographiques de Nechmaya (DB-City, 2013).

Latitude	36.6115 ou 36° 36' 41"
Longitude	7.51331 ou 7° 30' 48"
Altitude	254 m
Climat	Climat méditerranéen avec été chaud

1.3. Présentation de la retenue et station de prélèvement

Le choix de la retenue collinaire d'Oued El Nakhla comme un site de prélèvement est raisonné en fonction de l'accessibilité de cette station d'une part, et d'autre part à cause de l'absence des études menées sur ce site-là. L'étape qui suit c'est le choix de la période de prélèvement pour contribuer à l'étude de la diversité phytoplanctonique au niveau de cet écosystème aquatique.



Figure 08 : Localisation du point de prélèvement (Google MAPS, 2022).

Le phytoplancton est échantillonné une fois par mois tout au long de l'année dans les masses d'eau (Miossec, 2013). Dans ce cas, pour aboutir au travail présenté l'échantillonnage est réalisé une fois par mois, où des sorties mensuelles ont été organisées durant la période d'étude entre février et avril 2022.

Tableau 05 : Présentation d'échantillonnage

Date de prélèvement	Heure de prélèvement	Les coordonnées GPS	Caractéristiques et observations
Première prélèvement 27/02/2022	12h :00	X : 36°36.003' N Y : 007° 29.271' E Z : 298.8 m	Situé dans des terres agricoles. Utilisé pour l'irrigation.
Deuxième prélèvement 27/03/2022	12h :00		
Troisième prélèvement 27/04/2022	11h:37		

2. Faune et flore de la retenue

2.1. Faune

La retenue collinaire « Oued El Nakhla » possède une variété d'êtres vivants animale et végétale.

Ce site est caractérisé essentiellement par une faune aquatique et semi-aquatique (Tab. 06), où nous avons observées la présence des insectes, des amphibiens et des oiseaux qui doivent être identifier dans des recherches et des études spécialisées.

Tableau 6 : Quelques espèces faunique du site d'étude

Insectes	Oiseaux		Amphibiens
			

2.2. Flore

Le site d'étude est très riche en végétation. Plusieurs types de plantes, des arbres, des arbustes, des herbes sont présentes et entourent la retenue (Fig. 10), ces plantes doivent être identifiés par des spécialistes.



Figure 09 : Quelques végétations de la zone d'étude.

3. Le matériel utilisé

Notre travail de recherche est basé sur la mesure des paramètres physicochimiques et l'identification des espèces phytoplanctoniques obtenues durant la période d'étude. Pour réaliser ce travail nous avons utilisé le matériel présenté dans le tableau 06.

Tableau 07 : Matériel utilisé pour l'analyse phytoplanctonique.

Matériel de terrain	Matériel de laboratoire
<ul style="list-style-type: none"> • Multi-paramètre de type WTW Multi 1970i ; • L'eau distillée ; • Lugol ; • Des cuissards ; • Deux bouteilles en plastiques de 1.5 l ; • Etiquettes ; • Stylo et un notebook. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eprovette ; • Des tubes secs ; • Portoir ; • Micropipette ; • Lames et lamelles ; • Vernis transparent ; • Huile d'immersion (huile de cèdre) ; • Pipette pasteur ; • Microscope optique • Ethanol et lugol

4. Méthode d'échantillonnage

4.1. Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matière en suspension, ... etc.).

Il convient que le préleveur ait une connaissance précise de conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques, pour cela, il faut développer une méthodologie adaptée à chaque cas et d'utiliser le matériel convenable (**Rodier et al., 2016**).

L'utilisation de flacons jetable en verre ou en plastique s'est largement répandu en raison des facilités qu'ils présentent le transport et de la possibilité de leur usage unique étant donné leur prix raisonnable (**Rodier et al., 2016**).

L'échantillonnage de phytoplancton dans les eaux libres se fait par prélèvement d'échantillons instantanés en surfaces ou en profondeur, ou les deux (**CCME, 2011**).

Au niveau du site d'étude, l'équipe d'échantillonnage est composée de deux étudiantes, et un responsable scientifique. L'eau a été prélevée partir d'un point unique dans une bouteille en matière plastique de 1,5 L destinée à l'évaluation de la diversité phytoplanctonique. La bouteille a été prolongée avec la main à une distance de 30 cm de la surface.



Figure 10 : Prélèvement de l'eau à partir de la retenue (Photo prise par HAZEME Nadia, 2022).

La bouteille ne doit pas être remplie entièrement. En effet, laisser un petit volume d'air à la surface pour faciliter l'agitation de l'eau avant son analyse (Merzoug, 2009).

4.2. Fixation

L'échantillon de phytoplancton est fixé sur le terrain après le prélèvement à l'aide d'une solution de Lugol alcalin du commerce ou préparée (Christophe et al, 2010), en ajoutant environ 8 gouttes pour 100 ml (ou 2,5 ml pour un flacon de 500 ml). Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair, orangée que doit avoir l'échantillon. En fonction du type de milieu (acidité de l'eau par exemple), la couleur orangée peut être obtenue avec un nombre nettement supérieur de gouttes (Christophe et al., 2009).



Figure 11 : La fixation de l'échantillon prélevé (Photo prise par Mr. ROUABHIA Kamel, 2022).

Une fois la fixation est terminée, l'échantillon doit être transporté le plus tôt possible vers le laboratoire d'analyse.

4.3. Enregistrement et étiquetage de l'échantillon

La désignation des échantillons est une opération délicate, qui doit être réalisée avec le plus grand soin et immédiatement. Elle se traduit dans la pratique par l'étiquetage ou le marquage de chaque flacon d'échantillon d'eau (AELB, 2006).

L'étiquetage se fait pour faciliter le travail de l'analyste et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs (Rodier et al, 2016).

Chaque échantillon remis au laboratoire doit être accompagné d'une fiche de terrain comprenant au moins les éléments suivants :

- Nom de préleveur et type de prélèvement (ponctuel, moyen...);

- Date et heure du prélèvement ;
- Origine de l'eau (lac, barrage..) ;
- Résultats des analyses physicochimiques réalisées sur site (**Rodier, 2009**).

4.4. Conservation et transport

Une fois les échantillons d'eaux prélevées, doivent être transporté à l'obscurité ensuite au laboratoire pour éviter le risque des modifications dans les bouteilles, ce qui permet d'assurer une conservation satisfaisante.

Les échantillons lugolés sont conservés à la température ambiante, à l'obscurité (pour éviter la photo-oxydation) et dans un endroit bien aéré s'ils sont analysés dans les 30 jours suivant leur prélèvement (**CEAE, 2012**).

Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'analyse d'eau de la faculté des sciences de la nature et de la vie au niveau de l'université 08 mai 1945 à Guelma.

5. Les analyses physicochimiques

Les paramètres physicochimiques sont acquis sur le terrain car les valeurs peuvent évoluer très rapidement dans les échantillons prélevés. Les valeurs des paramètres suivants : la température ($^{\circ}\text{C}$), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$), l'oxygène dissous (mg/l) et la salinité (g/l) sont mesurés à l'aide d'un multi-paramètre de type WTW Multi 1970i.



Figure 12: Multi-paramètre WTW Multi 1970i (photo prise par MADOUI Nor Elhouda, 2022).

5.1. Température

La température est un facteur important dans la vie et l'évolution d'un écosystème. Il a une influence directe sur la faune et la flore (**Chettibi, 2014**).

La température conditionne la présence des espèces phytoplanctoniques selon leur thermo résistance. En fonction du degré de perturbation de la température, les variations peuvent être notées au niveau du déplacement des espèces ou enregistrées dans l'évolution physiologiques des organismes (ex. problème de croissance, de reproduction, ...etc.). La température agit directement sur le métabolisme cellulaire et indirectement (**Feki-Sahnoun, 2013**).

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

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

5.2. Potentiel hydrogène

Le pH (potentiel hydrogène) est la concentration molaire en ions $[H_3O^+]$ exprimée en mole par litre, la mesure du pH d'une solution peut se faire soit avec un indicateur coloré, soit avec le papier pH, soit à l'aide d'un pH mètre (appareil électrique) (**Brigitte et al., 2008**). Il permet de déterminer le degré d'acidité, l'alcalinité ou de neutralité d'une solution (**Gilorma, 2018**).

L'échelle de pH s'étend de [0 à 14], chaque espèce se développe dans une gamme définie de pH et montre un pH optimum de croissance : les acidophiles ont leur optimum de croissance entre pH [0 - 5.5], les neutrophiles entre pH [5.5 – 8], les alcalophiles entre [8 – 11.5] (**Prescott et al., 2018**). L'activité phytoplanctonique entraîne dans les milieux naturels d'importantes variations de pH. Pendant la journée, l'absorbance intense de gaz carbonique entraîne une élévation de pH et une précipitation des carbonates. Les mécanismes inverses interviennent pendant la nuit (**Pesson, 1978**).

Les mesures sont procéder in situ par le multi-paramètre comme suit :

- Plonger la sonde du pH-mètre dans l'eau ;
- Attendu quelques secondes d'affichage fixe à l'écran ;
- puis lecture du résultat mesure.

5.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre des électrodes de 1 cm² de surface, distante de 1 cm (**Deniz, 2000**). Est une représentation numérique de la capacité d'une solution à transporter du courant électrique. La majorité des minéraux en solution sont de bons conducteurs. Les composés organiques, en revanche, sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (ms/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise Entre 50 et 1500 µs/cm (**Villers, 2005**).

Elle représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimique de l'eau, en effet, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration elle sert aussi d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, la conductivité varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration, de leur mobilité et de la température de l'échantillon (**Mahamat et al., 2015**).

La conductivité est très utile pour mettre en évidence la qualité de l'eau (**Dahel Zanat, 2009**). Cette dernière peut être représentée selon les valeurs de la conductivité électrique dans le tableau suivant :

Tableau 09 : Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (**Monod, 1989**).

Conductivité électrique (µs/cm)	Qualité de l'eau	Classe
CE < 400	Bonne	1A
400 < CE < 750	Bonne	1B
750 < CE < 1500	Passable	2
1500 < CE < 3000	Médiocre	3

5.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des microorganismes aquatiques (**Aouissi, 2010**) et une variable clé pour le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (**Villeneuve, 2006**).

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est en fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau. La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

La détermination de l'oxygène dissous est effectuée sur terrain à l'aide d'un multi-paramètre (WTW Multi 1970i) en plongeant la sonde de l'appareil dans l'eau et puis la lecture de la valeur affichée sur l'écran. Le multi-paramètre permet de déterminer deux paramètres en relation avec l'oxygène :

- Concentration en O₂ dissous (mg/l) ;
- Saturation en O₂ dissous (%), qui est fonction de la pression et de la température.

5.5. Salinité

La salinité est la mesure de la quantité de sels dissouts dans un volume donné d'eau. L'eau est dite douce lorsque sa salinité est inférieure à 1 g/l (**synonyme 4**).

La méditerranée est une très salée, car l'évaporation y est intense et les apports d'eau douce sont peu importants, la salinité entraîne une modification de la densité. En effet, plus une eau est salée, plus elle est dense. La salinité superficielle, dans ses grandes lignes, suit la même évolution que la température : car est, aussi, soumise aux variations liées aux conditions atmosphériques et aux apports d'eau douce (**Touahria, 1999**).

Du point de vue hyalin, la mesure de la salinité est importante du fait qu'elle exerce une influence significative sur la densité de l'eau de mer. Représentant la proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer, elle permet d'identifier les masses d'eaux d'origine différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la cote (**Aminot et al., 1983**).

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	Salinité
Eaux douces	Moins de 0,5 g/l
Eaux oligo-halines (légèrement saumâtres)	0,5 – 5 g/l
Eaux méso-halines (saumâtres)	5 – 18 g/l
Eaux poly-halines (très saumâtres)	18 – 30 g/l
Eaux salées	30 – 45 g/l
Eaux hyper-halines	Plus de 45 g/l

6. Les analyses phytoplanctoniques

Pour réaliser les analyses phytoplanctoniques nous préparons le laboratoire puis nous préparons un sous échantillon de 50 ml à partir de l'eau brute fixée au Lugol dans une éprouvette graduée. Ensuite on la laisse à sédimenter pendant 24 h jusqu'à 48 h, après on garde une quantité de 5 ml qui sont trouvés en bas de l'éprouvette dans des tubes secs, on débarrasse le reste et on fait notre analyses qualitatives et quantitatives selon la méthode de comptage d'UTERMÖHL (1958), mais cela se fait entre une lame et une lamelle par un balayage de toute la surface de la lamelle.



Figure 13 : Présentation du matériel utilisé pour l'analyse des échantillons au laboratoire (Photo prise par MEBROUK Chayma, 2022).

6.1. Analyse qualitative (identification)

Les étapes pour déterminer les espèces phytoplanctoniques sont les suivantes :

- Un prélèvement de 20 μ l des espèces lugolée sédimentent au fond des tubes secs à l'aide d'une micropipette ;
- La déposition de ce volume entre une lame et lamelle ;
- La lutte de lamelle par un vernis transparent ;
- L'observation microscopique (le microscope utilisé est de marque OPTIKA avec un objectif x100) ;
- suivant un parcours horizontal sur toute la longueur de la lamelle, cette opération est répétée 3 fois en décalant nettement sur hauteur de la lamelle, d'environ un champ de microscope, afin d'éviter tout chevauchement.

L'identification des taxons est basée sur l'observation des caractères morphologiques (formes, taille, couleur,... etc.) anatomique (disposition des chloroplastes, flagelles,...etc.) et à l'aide des clés de détermination (**Fott, 1969 ; Bourrelly, 1966, 1968, 1970,1972 et 1985 ; Pestalozzi et al., 1983; John et al., 2001**).

Ainsi que différents ouvrages et publications traitant la taxonomie du phytoplancton, ont aidé à réaliser l'identification tels que : **Trégouboff et Rose (1978), Straub (1984), Nezan et al., (1997), Hansen et al., (2001), Pierre (2001), Straub et al., (2004), et Bafu (2007)**.

6.2. Analyse quantitative (dénombrement)

Ce type des analyses se fait en même temps que les analyses qualitatives. Premièrement les résultats de dénombrement sont exprimés en nombre d'individus par microlitre (μ l), puis convertis en nombre d'individus par litre.

Beaucoup des indices écologiques sont utilisés pour évaluer la structure de la communauté phytoplanctoniques sont les suivants :

6.2.1. La richesse spécifique

La richesse spécifique est le nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage. Elle

mesure la diversité la plus élémentaire, fondée directement sur le nombre total d'espèces dans un site. Un grand nombre d'espèces fait augmenter la diversité spécifique.

Toutefois, cette méthode dépend de la taille des échantillons et ne considère pas l'abondance relative des différentes espèces. Sa valeur écologique est donc limitée (Ngansoumana, 2006).

6.2.2. la densité

La densité d'une population est une mesure de nombre d'individus d'une espèce qui occupent une portion bien précise d'un milieu.

La densité est un paramètre quantitatif repose sur la méthode d'UTERMÖL pour déterminer le nombre des cellules par litre (**synonyme 5**).

6.2.3. La dominance

La dominance représente le recouvrement de l'ensemble des individus d'une espèce, elle représente par le nombre d'individus d'une espèce donnée sur le nombre total d'individus présent dans un échantillon donné, Elle est exprimée en pourcentage.

En termes de concepts environnementaux, l'abondance est une composante importante de la diversité (Hurlbert, 1971).

6.2.4. La diversité

Les indices de diversité constituent une autre piste pour caractériser la composition du phytoplancton et l'évolution temporelle de sa biodiversité.

Un indice de diversité exprime l'importance relative du nombre des espèces abondantes dans un milieu donné. Son expression est fonction de deux paramètres : le nombre d'espèces et le nombre d'individus par espèce. Un indice de diversité présente une valeur minimale quand tous les individus appartiennent à la même espèce, et une valeur élevée quand la diversité est élevée (Goffart, 2010).

6.2.2.1. Indice de Shannon

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une Communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une

communauté dont toutes les espèces sont codominances. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance) (Grall, 2006). Il est donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

Où :

p_i : abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce : $p_i = n_i/N$;

S : nombre total d'espèces ;

n_i : nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;

N : nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

6.2.2.2. Indice d'équitabilité de Piélou

Permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équipartition des individus dans les espèces) (Grall, 2006).

L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Piélou dont la formule suivante :

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

Avec $H_{max} = \log S$ (S : nombre d'espèces).

7. Les groupes fonctionnels

Les groupes fonctionnels élaborés par Reynolds dès 1984, regroupent en différents assemblages les espèces retrouvées fréquemment ensemble dans un même milieu et partageant les mêmes exigences écologiques. Ces assemblages d'espèces permettent une classification fonctionnelle des espèces communes du phytoplancton (Baillot, 2013).

L'approche des groupes fonctionnels de Reynolds proposé en 2002 (Tab 11) est l'approche répondant au mieux aux variations des paramètres environnementaux.

Tableau 11 : Traits caractéristiques des différents groupes fonctionnels (Reynolds et al., 2013).

Groupe fonctionnelle	Habitat	Espèces représentatives	Résistance	Sensibilité
A	Eaux claires, souvent bien mélangées, lacs de faible alcalinité	<i>Urosolenia</i> , <i>Cyclotella comensis</i>	Carences-en nutriments	Augmentation du pH
B	Mélange vertical des eaux, lacs mésotrophes de taille petite à moyenne	<i>Aulacoseira subartica</i> , <i>A. Islandica</i>	Carence de lumière	Augmentation du pH, appauvrissement en Si, stratification
C	Eaux mélangées, lacs eutrophes de taille petite à moyenne	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira ambigua</i> , <i>Stephanodiscus rotula</i>	Manque de lumière et de C	Epuisement en Si, stratification
D	Eaux peu profondes, troubles et enrichies, présents dans les rivières	<i>Synedra acus</i> , <i>Nitzschia ssp.</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Ecoulement	Raréfaction des nutriments
N	Epilimnion mésotrophe	<i>Tabellaria</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Staurodesmus</i>	Carences-en nutriments	Stratification, Augmentation du pH
P	Epilimnion eutrophe	<i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Closterium aciculare</i> , <i>Staurastrum pingue</i>	Lumière modérée et manque de C	Stratification, Rarefaction en Si
T	Eaux profondes, épilimnion bien Mélangé	<i>Geminella</i> , <i>Mougeotia</i> , <i>Tribonema</i>	Manque de lumière	Carences-en nutriments
S1	Couches d'eaux troubles Et mélangées	<i>Planktothrix agardii</i> , <i>Limnothrix redekei</i> , <i>Pseudanabaena</i>	Conditions de très faible luminosité	Ecoulement

Tableau 11 : (suite)

S2	Eaux peu profondes, couches d'eaux troubles et mélangées	<i>Spirulina, Arthrospira</i>	Conditions de faible luminosité	Ecoulement
Sn	Couches d'eaux chaudes Et mélangées	<i>Cylindrospermopsis, Anabaena minutissima</i>	Conditions pauvres en azote	Ecoulement
Z	Eaux profondes, claires, couches mélangées	<i>Synechococcus, prokaryote Picoplankton</i>	Faible concentration de nutriments	Manque de lumière, broutage
X3	Eaux peu profondes, claires, couches mélangées	<i>Koliella, Chrysococcus, Eukaryote picoplankton</i>	Faible alcalinité	Mélange, broutage
X2	Eaux peu profondes, claires, couches mélangées dans des lacs méso eutrophes	<i>Plagioselmis, Chrysochromulina</i>	Stratification	Mélange, organismes filtreurs
X1	Eaux peu profondes, couches d'eaux mélangées et conditions enrichies	<i>Chlorella, Ankyra, Monoraphidium</i>	Stratification	Carences-en nutriments, organismes filtreurs
Y	Lacs généralement petits et enrichis	<i>Cryptomonas, Peridinium Lomnicki</i>	Manque de lumière	Phagotrophes
E	Lacs généralement petits, oligotrophes, d'alcalinité faible, lacs ou étangs hétérotrophes	<i>Dinobryon, Mallomonas, Synura</i>	Carences-en nutriments (recours à la mixotrophie)	Manque en CO ₂

Tableau 11 : (suite)

G	Colonnes d'eaux petites et riches en nutriments	<i>Eudorina, Volvox</i>	Forte luminosité	Carences-en nutriments
J	Lacs, étangs ou rivières peu profonds et enrichis	<i>Pediastrum, Coelastrum, Scenedesmus, Golenkinia</i>		Faibles conditions de luminosité
K	Colonnes d'eaux petites et avec des nutriments	<i>Aphanothece, Aphanocapsa</i>		Mélange profond
H1	Nostocales fixatrices d'azote	<i>Anabaena flosaquae, Aphanizomenon</i>	Faible azote et carbone	Mélange, Faible lumière, et faible niveau de phosphore
H2	Nostocales fixatrices d'azote de lacs mésotrophes plus vastes lumière	<i>Anabaena lemmermanni, Gloeotrichia echinulata</i>	Faible azote	Mélange, faible
U	Epilimnion d'été	<i>Uroglena</i>	Faibles nutriments	Manque de CO ₂
Lo	Epilimnion d'été sur lacs mésotrophes	<i>Peridinium willei, Woron ichinia</i>	Nutriments dispersés dans la colonne d'eau	Mélange prolongé ou profond
LM	Epilimnion d'été sur lacs eutrophe	<i>Ceratium, Microcystis</i>	Très faibles niveaux de C, stratification	Mélange, Faible lumière
M	Couches d'eaux mélangées de petits lacs eutrophes, faibles latitudes	<i>Microcystis, Sphaerocavum</i>	Fort ensoleillement	Ecoulement, Faible luminosité globale
R	Métalimnion de lacs mésotrophes stratifiés	<i>Planktothrix rubescens, P. Mougeotii</i>	Faible lumière et forte ségrégation	Instabilité

Tableau 11 : (suite)

V	Métalimnion de lacs eutrophes stratifiés	<i>Chromatium, Chlorobium</i>	Très faible lumière et forte ségrégation	Instabilité
W1	Petits étangs naturels	<i>Euglenoids, Synura, Gonium</i>	DBO élevée	Broutage
W2	Lacs mésotrophes peu profonds	Bottom-dwelling <i>Trachelomonas</i> (e.g <i>Trachelomonas volvocina</i>)	?	?
Q	Petits lacs humiques	<i>Gonyostomum</i>	Eaux troubles	?



Chapitre 03 :
Résultats et discussion

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Notre travail a été réalisé durant une période de février à avril 2022 pour déterminer les paramètres physicochimiques, ainsi que la diversité phytoplanctonique au niveau de la retenue collinaire « Oued El Nakhla ».

1. Les résultats des analyses physicochimiques

Les résultats des paramètres physicochimiques obtenus durant la période d'étude sont présentés comme suit :

1.1. Température

La température est un paramètre qui peut être modifié avec le temps et le changement de climat entre les saisons de l'année, c'est pourquoi il faut la mesurer in situ.

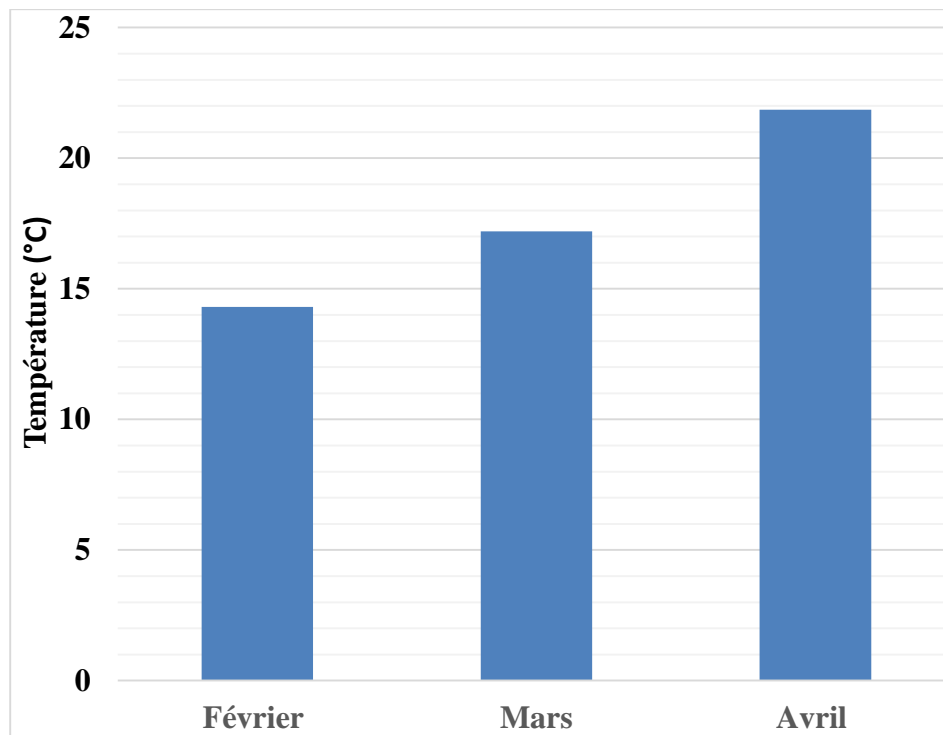


Figure 14: Variations de la température de l'eau.

A partir des résultats présentés ci-dessus (Fig. 14), on note que les valeurs de la température sont variables au cours des trois sorties où la température minimale de la retenue collinaire « Oued El Nakhla » est de 14,3°C enregistrée pendant le mois de Février, et la température maximale est de 21,85°C enregistrée pendant le mois d'avril, alors que l'optimum est de 17,2°C enregistrée pendant le mois de mars. Ces variations sont en fonction des changements saisonniers de l'hiver au printemps.

D'après le tableau 03 (Grolle d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température), nous affirmons que la qualité de l'eau de la retenue est normale au niveau des deux mois Février et Mars, et elle est bonne au niveau du mois d'Avril.

1.2. Potentiel hydrogène

Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des eaux acides augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les organismes (Villers *et al.*, 2005).

Le pH de l'eau influence la quantité de nutriments (ex. : phosphore, azote) et de métaux lourds (plomb, mercure, cuivre) dissous dans l'eau et disponibles pour les organismes aquatiques (CRE, 2009).

La figure 15 montre que la valeur de pH la plus faible est de (8,76) a été enregistré au niveau de Février. Nous remarquons aussi que les deux valeurs enregistrés pendant le mois de Mars (9,14) et le mois d'Avril (9,87) sont très proche.

Ces résultats permet d'affirmer que l'eau de la retenue collinaire « Oued El Nakhla » est une eau basique (alcalin) ce qui est le cas de la majorité des eaux de surface, Cette alcalinité indique que la production de phytoplancton augmente et cela est dû à l'activité photosynthétique des plantes (Dupont, 2004).

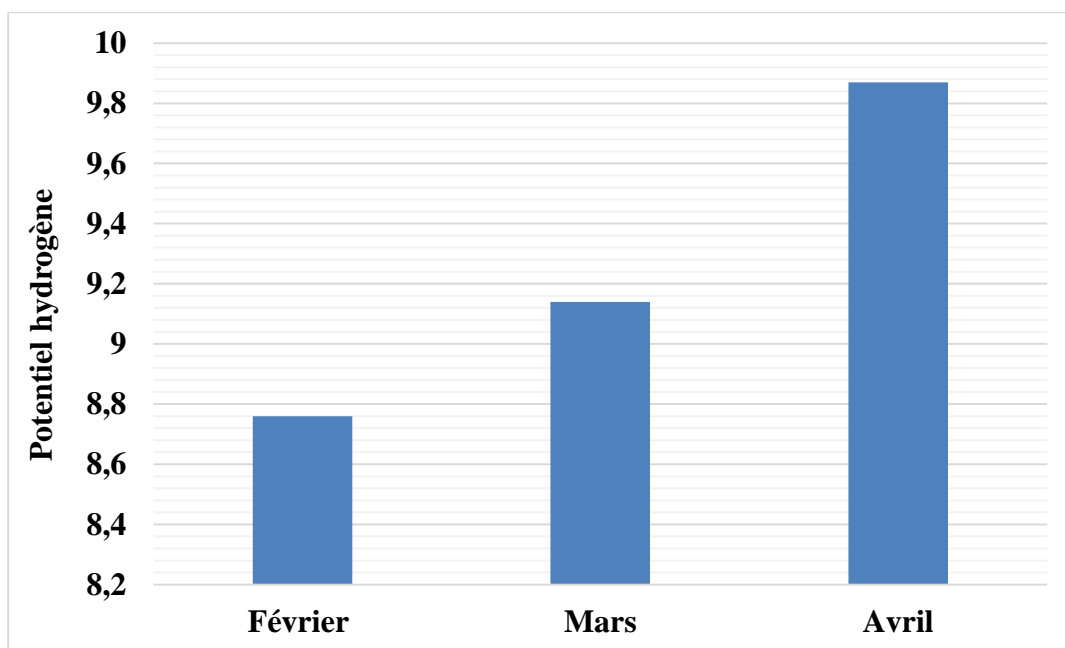


Figure 15 : Variations du pH de l'eau.

Ce résultat s'explique bien par le fait que ce sont des zones dans lesquelles l'activité photosynthétique du phytoplancton est la plus élevée, les mesures étant faites en période diurne. En plus de l'effet des engrais agricoles utilisés dans les terres adjacentes à la retenue. En conséquence l'augmentation du pH de l'eau pourrait être liée à ces hypothèses.

1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 2009).

Les résultats de la conductivité (Fig. 16) expriment que la valeur la plus faible est de 592 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est enregistré au niveau de la retenue au mois d'avril ce qui signifie que l'eau est moyennement minéralisée, les deux valeurs enregistrées pendant le mois de février (635 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et le mois de mars (628 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont très proches, ce qui signifie que l'eau est de minéralisation importante.

L'histogramme présenté ci-dessous, nous expose que les valeurs de la conductivité dans la retenue dépassent la norme recommandée pour les eaux potables (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Aouissi, 2010).

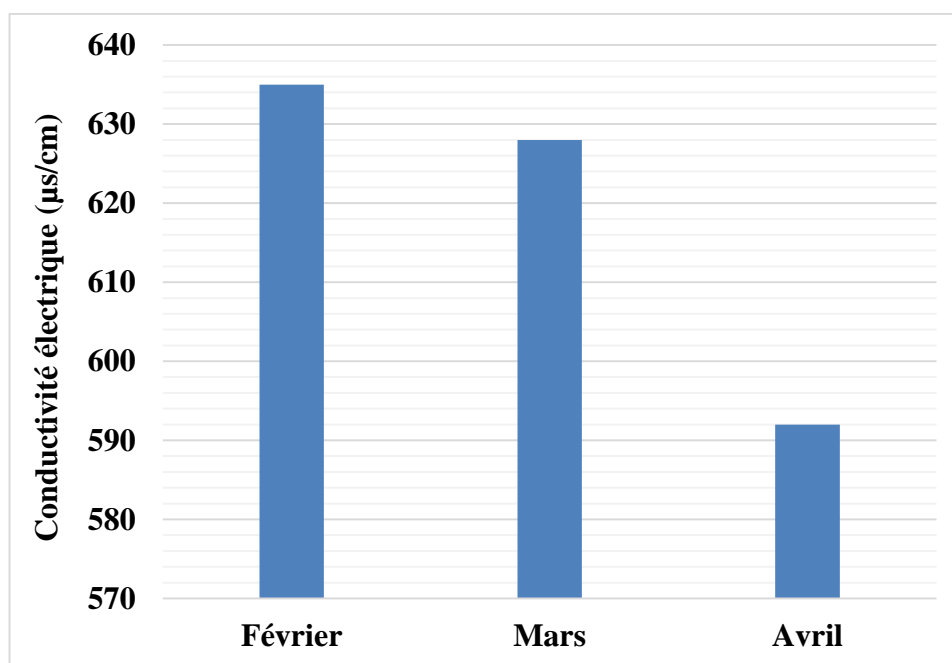


Figure 16 : Variations de la conductivité électrique de l'eau.

La conductivité électrique permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée (Rodier, 2005).

D'après le tableau 05 (Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique), nous pouvons noter que la qualité de l'eau au niveau de la retenue est bonne. D'une manière générale, la diminution de la conductivité électrique dans les périodes pluviales peut être attribuée à un phénomène de dilution (Merzoug, 2009).

1.4. Oxygène dissous

Selon les résultats affichés dans la figure 17, la valeur la plus élevée de l'oxygène dissous (3,05 mg/l) a été enregistrée au mois de mars, pour le mois de février la valeur est de (0,81 mg/l) est la plus basse. On remarque que la valeur diminue en avril (2,28 mg/l) par rapport au mois de mars. La fluctuation de ces valeurs est à cause des changements au niveau de la température pendant les trois mois, lorsque la température augmente l'oxygène dissous diminue.

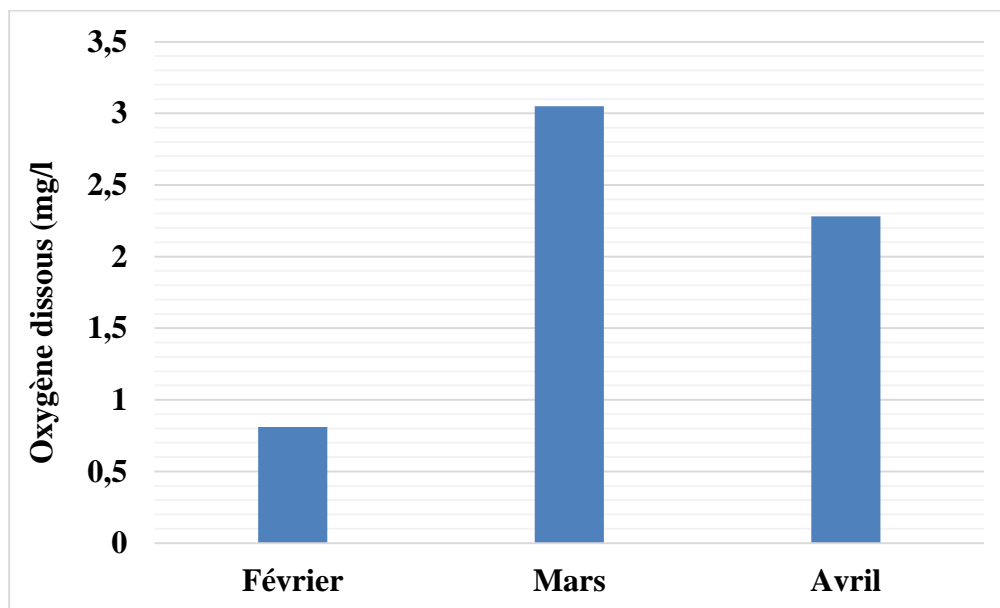


Figure 17 : Variations de l'oxygène dissous de l'eau.

1.5. Salinité

La salinité est une caractéristique physicochimique de l'eau, elle mesure la concentration d'eau en sels dissous.

A partir des résultats illustrés dans l'histogramme ci-dessous (Fig. 18), la salinité de l'eau de la retenue collinaire est de 0,1 g/l enregistré pendant les deux mois février et mars. La valeur la plus élevée est de 0,28 g/l enregistré au mois d'avril.

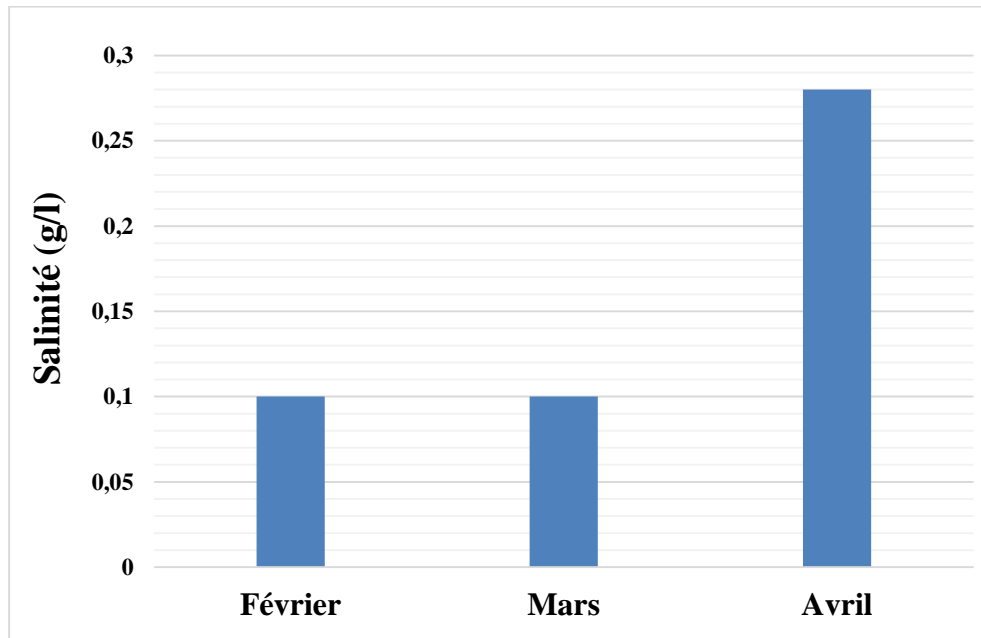


Figure 18 : Variations de la salinité de l'eau.

Selon le tableau 05 (Classification des eaux selon la salinité), ces valeurs indiquent que l'eau au niveau de la retenue est une eau douce.

2. Les résultats des analyses phytoplanctoniques

Au cours de la période d'étude qui s'étend de février à avril, les échantillons ont été prélevés de la retenue collinaire « Oued El Nakhla » afin d'étudier la diversité des microalgues des eaux douces.

2.1. Analyses qualitative

A la fin d'un examen microscopique des échantillons d'eau, en se basant sur l'observation des caractères morphologique (forme, couleur) et anatomiques (disposition de chloroplaste, absence ou présence et disposition des flagelles) du phytoplancton récolté à partir de l'eau de la même retenue nous ont permis d'identifier un total de 53 espèces phytoplanctoniques.

Les espèces identifiés sont rattachés à 09 classes taxonomiques : les Chlorophycées, les Cyanophycées, les Cryptophycées, les Bacillariophycées, les

Euglénophycées, les Zygnematophycées, les Trebouxiophycées, les Synurophycées, les Raphidophycées (Tab. 12).

Tableau 12 : Présence et absence des espèces phytoplanctonique dans la retenue (la case verte = espèce présent)

Classe	Genre	Espèce	Mois		
			Février	Mars	Avril
Bacillariophycées (Diatomées)	Nitzschia	<i>Nitzschia bizertensis</i>			
	Synedra	<i>Synedra ulna</i>			
	Diatoma	<i>Diatoma vulgare</i>			
	Flagelariopsis	<i>Flagelariopsis sp</i>			
	Cocconeis	<i>Cocconeis coreana</i>			
	Pseudonitzschia	<i>Pseudonitzschia multiseriis</i>			
		<i>Pseudonitzschia australis</i>			
	Frustulia	<i>Frustulia vulgaris</i>			
	Achnanthes	<i>Achnanthes minutissima</i>			
	Navicula	<i>Navicula sp</i>			
		<i>Navicula palea</i>			
		<i>Navicula cryptocephala</i>			
	Gyrosigma	<i>Gyrosigma sp</i>			
	Gomphonema	<i>Gomphonema subclavatum</i>			
	Capartogramma	<i>Capartogramma crucicula</i>			
Neidium	<i>Neidium densestritum</i>				
Chlorophycées	Gloeococcus	<i>Gloeococcus schroeteri</i>			
	tetrachlorella	<i>Tetrachlorella alternans</i>			
	Monoraphidium	<i>Monoraphidium circinale</i>			
		<i>Monoraphidium braunii</i>			
		<i>Monoraphidium griffithi</i>			
	Carteria	<i>Carteria fritschii</i>			
	Eudorina	<i>Eudorina peripheralis</i>			
	acutodesmus	<i>Acutodesmus obliquus</i>			
Sphaerocystis	<i>Sphaerocystis chlorophyte</i>				

Tableau 12 : (Suite)

	Scenedesmus	<i>Scenedesmus openliensis</i>			
	Schroederia	<i>Schroederia sp</i>			
	Oocystis	<i>Oocystis marssonii</i>			
Cyanophycées	Oscillatoria	<i>Oscillatoria nigro-virdis</i>			
	Anabaena	<i>Anabaena circularis</i>			
		<i>Anabaena sphaerica</i>			
		<i>Anabaena crassa</i>			
	Pseudanabaena	<i>Pseudanabaena galeata</i>			
	Chroococcus	<i>Chroococcus limenticus</i>			
Cryptophycées	Cryptomonas	<i>Cryptomonas erosa</i>			
		<i>Cryptomonas ovata</i>			
	Plagioselmis	<i>Plagioselmis prolonga</i>			
	Campylomonas	<i>Campylomonas rostratiformis</i>			
Zygnematophycées	Closterium	<i>Closterium gracile</i>			
		<i>Closterium acerosum</i>			
		<i>Closterium navicula</i>			
	Cosmarium	<i>Cosmarium subprotumidum</i>			
		<i>Cosmarium quadratulum</i>			
	Staurastrum	<i>Staurastrum bicornis</i>			
<i>Staurastrum anatinum</i>					
Trebouxiophycées	Chlorella	<i>Chlorella vulgaris</i>			
	Pseudococcomyxa	<i>Pseudococcomyxa adhaerens</i>			
Euglénophycées	Trachelomonas	<i>Trachelomonas woycickii</i>			
		<i>Trachelomonas volvocina</i>			
		<i>Trachelomonas intermedia</i>			
	Euglena	<i>Euglena geniculata</i>			
Synurophycées	Mallomonas	<i>Mallomonas acaroides</i>			
Raphidophycées	Heterosigma	<i>Heterosigma akashiwo</i>			

Les trois prélèvements réalisés pendant la période hivernale et la période printanière à la retenue « Oued El Nakhla » ont permis de décrire une diversité des taxons des phytoplanctons dans le site d'étude. Le tableau 13 explique bien l'aspect microscopique et l'identification des taxons phytoplanctoniques répertoriés dans les eaux de « Oued El Nakhla » :

Tableau 13 : Aspect microscopique et identification des taxons phytoplanctonique répertoriées dans les eaux de « Oued El Nakhla ».



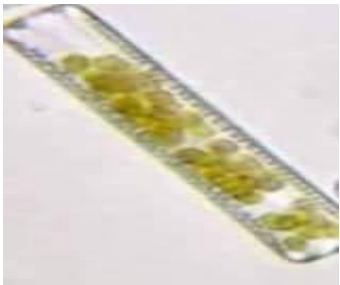

Classe	Genre	Espèce	Aspect Microscopique (Objectif ×100)
Bacillariophycées	Nitzchia	<i>Nitzchia bizertensis</i>	
	Synedra	<i>Synedra ulna</i>	
	Diatoma	<i>Diatoma vulgare</i>	
	Flagelariopsis	<i>Flagilariopsis sp</i>	

Tableau 13 : (Suite)




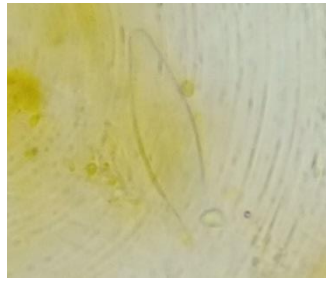



	Cocconeis	<i>Cocconeis coreana</i>	
	Pseudonitzchia	<i>Pseudonitzchia multiseriis</i>	
		<i>Pseudonitzchia australis</i>	
	Frustulia	<i>Frustulia vulgaris</i>	
	Achnanthes	<i>Achnanthes minutissima</i>	
	Navicula	<i>Navicula sp</i>	
<i>Navicula palea</i>			

Tableau 13 : (suite)

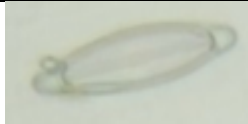




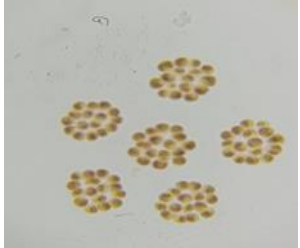
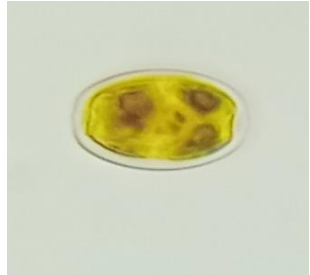
		<i>Navicula cryptocephala</i>	
	Gyrosigma	<i>Gyrosigma sp</i>	
	Gomphonema	<i>Gomphonema subclavatum</i>	
	Capartogramma	<i>Capartogramma crucicula</i>	
	Neidium	<i>Neidium densestriatum</i>	
Chlorophycées	Gloeococcus	<i>Gloeococcus schroeteri</i>	
	Tetrachlorella	<i>Tetrachlorella alternans</i>	

Tableau 13 : (suite)

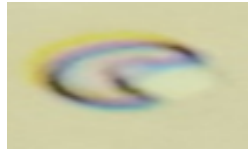
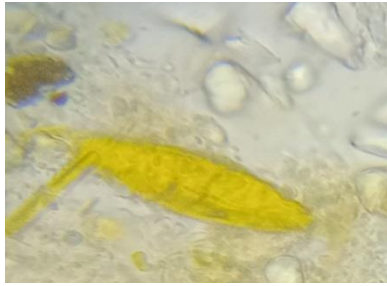

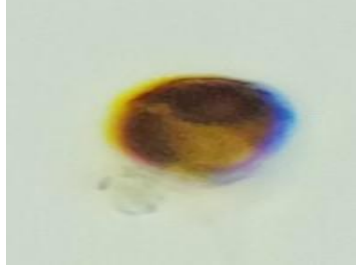

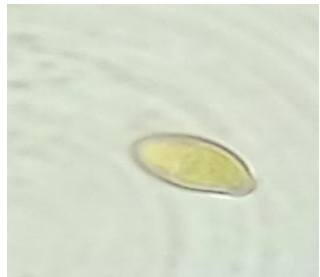
	Monoraphidium	<i>Monoraphidium circinale</i>	
		<i>Monoraphidium braunii</i>	
		<i>Monoraphidium griffithi</i>	
	Carteria	<i>Carteria fritschii</i>	
	Eudorina	<i>Eudorina peripheralis</i>	
	Acutodesmus	<i>Acutodesmus obliquus</i>	

Tableau 13 : (suite)




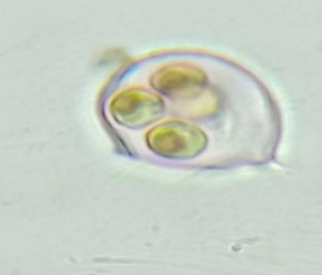

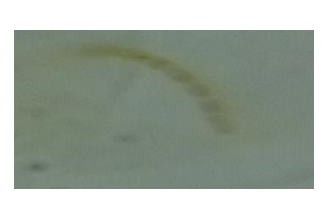
	Sphaerocystis	<i>Sphaerocystis chlorophyte</i>	
	Scenedesmus	<i>Scenedesmus openliensis</i>	
	Schroederia	<i>Schroederia sp</i>	
	Oocystis	<i>Oocystis marssonii</i>	
Cyanophycées	Oscillatoria	<i>Oscillatoria nigro-virdis</i>	
	Anabaena	<i>Anabaena circularis</i>	

Tableau 13 : (suite)

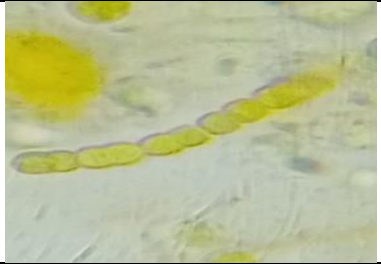
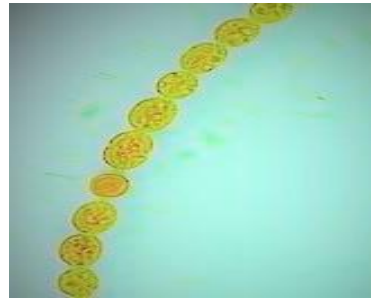

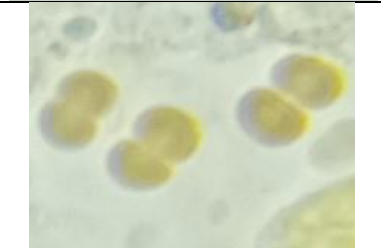

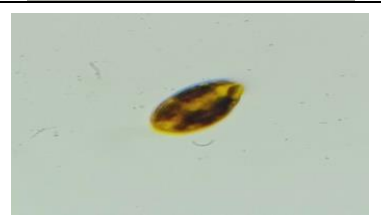
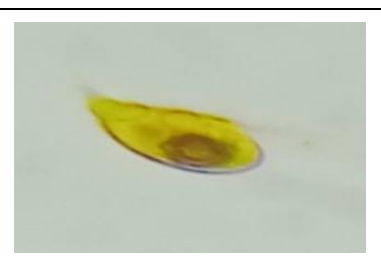
		<i>Anabaena sphaerica</i>	
		<i>Anabaena crassa</i>	
	Pseudanabaena	<i>Pseudanabaena galeata</i>	
	Chroococcus	<i>Chroococcus limenticus</i>	
Cryptophycées	Cryptomonas	<i>Cryptomonas erosa</i>	
		<i>Cryptomonas ovata</i>	
	Plagioselmis	<i>Plagioselmis prolunga</i>	

Tableau 13 : (suite)



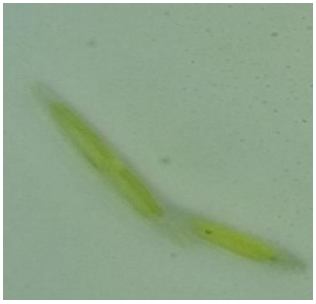

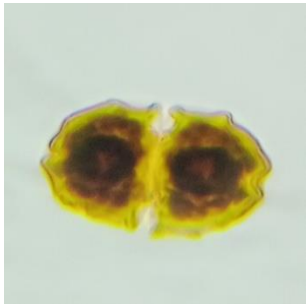

	Campylomonas	<i>Campylomonas rostratiformis</i>	
Zygnematophycées	Closterium	<i>Closterium gracile</i>	
		<i>Closterium acerosum</i>	
		<i>Closterium navicula</i>	
	Cosmarium	<i>Cosmarium subprotumidum</i>	
		<i>Cosmarium quadratulum</i>	

Tableau 13 : (suite)



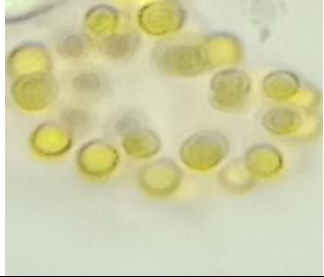

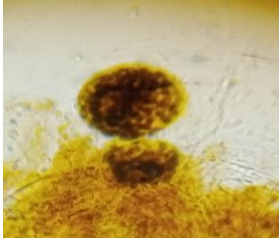



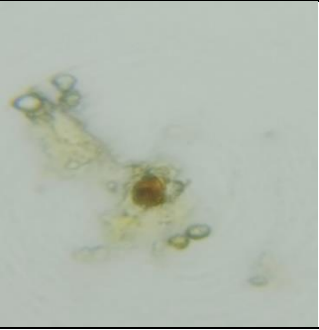
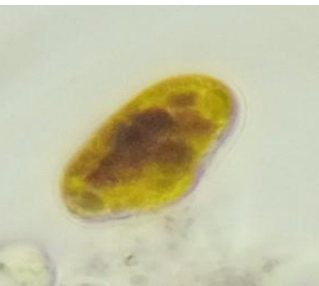
	Staurastrum	<i>Staurastrum bicorné</i>	
		<i>Staurastrum anatinum</i>	
Trebouxiophycées	Chlorelle	<i>Chlorella vulgaris</i>	
	Pseudococcomyxa	<i>Pseudococcomyxa adhaerens</i>	
Euglenophycées	Trachelomonas	<i>Trachelomonas woycickii</i>	
		<i>Trachelomonas volvocina</i>	

Tableau 13 : (suite)

		<i>Trachelomonas intermedia</i>	
	Euglena	<i>Euglena geniculata</i>	
Synurophycees	Mallomonas	<i>Mallomonas acaroides</i>	
Raphidophycées	Heterosigma	<i>Heterosigma akashiwo</i>	

2.2. Analyse quantitative et richesse spécifique

Sur le plan quantitatif, la retenue collinaire « Oued El Nakhla » présente une richesse taxonomiques importante , dont nous avons identifié dans les trois mois de prélèvements, 53 espèces et 39 genres, répartissant à 09 classes, avec une richesse spécifique de 12 espèces et 11 genres a été recensée au mois Février, et une richesse de 24 espèces et 19 genres au mois de mars, et une richesse de 28 espèces et 26 genres au mois d'avril.

En comparant la richesse spécifique des trois prélèvements (Fig. 19), nous pouvant affirmer que les résultats présentés sont sensiblement différente, la richesse

phytoplanctonique dans le mois de février est inférieure à celle des mois de mars et avril, alors que la richesse dans le mois de mars est proche à celle de mois d'avril.

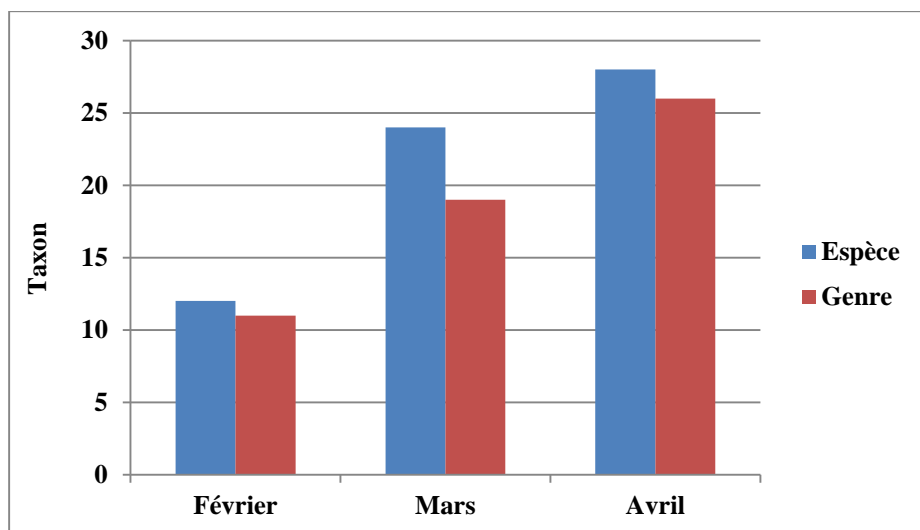


Figure 19 : Evaluation de la richesse spécifique totale de phytoplancton récolté

L'augmentation de la richesse spécifique totale au mois de mars et avril est due aux facteurs physicochimique du milieu qui deviennent favorables à la croissance des phytoplanctons et donc à l'émergence d'autre espèces qui n'apparaissaient pas au mois de février (période hivernale). Parmi les facteurs influençant cette augmentation, la température, l'absence de courants d'air, l'absence des moteurs utilisée pour l'irrigation des terres agricoles proches de la retenue (donc l'eau est stagnante) dans les derniers prélèvements.

2.2.1. La densité du phytoplancton récolté

En terme de nombre d'individu dans un litre d'eau de la retenue, la densité moyenne du phytoplancton s'échelonne entre $3,5 \cdot 10^6$ et $6 \cdot 10^6$ ind/l. Les densités sont relativement faible en hiver (mois de février) et élevées au printemps (fin de mois mars, mois d'avril) et en été ou elles se maintiennent à plus de 3 millions d'ind/l.

2.2.2. La dominance du phytoplancton récolté

Les résultats obtenus, exprime une dominance de l'espèce *Sphaerosistis chlorophyte* au mois de février, et de l'espèce *Achnanthes minutissima* au mois de mars, ainsi d'une dominance de l'espèce *Trachelomonas woycickii* au mois d'avril.

D'une manière générale, l'espèce la plus dominante dans les trois sorties est *Achnanthes minutissima* répertorié dans la classe des Bacillariophycées.

2.2.3. La diversité

La courbe représentée sur la figure 20 qui représente la variation de l'indice de Shannon en termes de mois, montre que la valeur la plus basse est de 2,816 bits enregistrée en février, immédiatement suivie de la valeur enregistrée au cours du mois de mars, avec 3,137 bits. La valeur la plus élevée est de 3,854 bits, était enregistré au cours du mois d'avril.

On remarque que les deux premières valeurs sont proches de zéro par rapport à la dernière valeur, ce qui indique qu'il y a une espèce dominante en février et mars: *Sphaerocystis chlorophyte* et *Achnanthes minutissima* respectivement. Quant au mois de mars, et comme l'indice est proche à $\log_2 S$ (5,75) (S : nombre totale d'espèces), cela indique qu'il n'y a pas une dominance et que toutes les espèces ont la même abondance qui peut se traduire par la compétition des espèces pour l'accès aux ressources limitées du milieu.

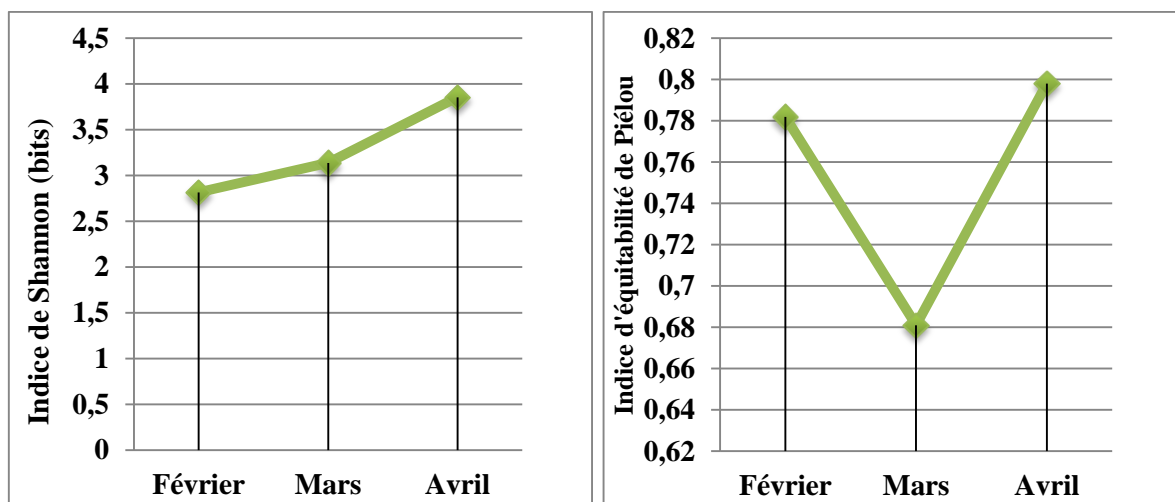


Figure 20 : Variations de l'indice de Shannon et d'équitabilité de Piélu.

La courbe qui représente les valeurs de l'indice d'équitabilité de Piélu montre une convergence entre les deux valeurs enregistrées durant février et mars (0,782 et 0,681). La valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'avril est de (0,798) ce qui traduit une équitpartition des individus au sein des espèces durant la période d'étude.

Tous ces résultats confirment que le printemps est plus propice que l'hiver à la reproduction de différentes espèces, en raison de la disponibilité des conditions (températures modérées et chaudes, un éclairage intense et autres).

3. Contribution aux classes phytoplanctoniques dans la retenue

Les résultats de notre étude, révèle une dominance générale de la classe des Bacillariophycées avec 16 espèces (34%) (Fig. 21), ce qui indique que cette classe est la plus riche en espèces parmi les phytoplanctons de « Oued El Nakhla ». Cette richesse peut être expliquée par le fait que les phytoplanctons trouvent les conditions favorables à leur croissance (lumière en quantité suffisante). En second lieu, on trouve les Chlorophycées avec 12 espèces (26%) et les Cyanophycées avec 6 espèces (13%). Et en dernier, les classes les moins diversifiées les Cryptophycées avec 4 espèces (9%), les Zygnematophycées avec 3 espèces (6%), les Euglenophycées et les Trebouxiophycées avec 2 espèces pour chaque classe (4%), les Synurophycées et Raphidophycées avec 1 espèce (2%).

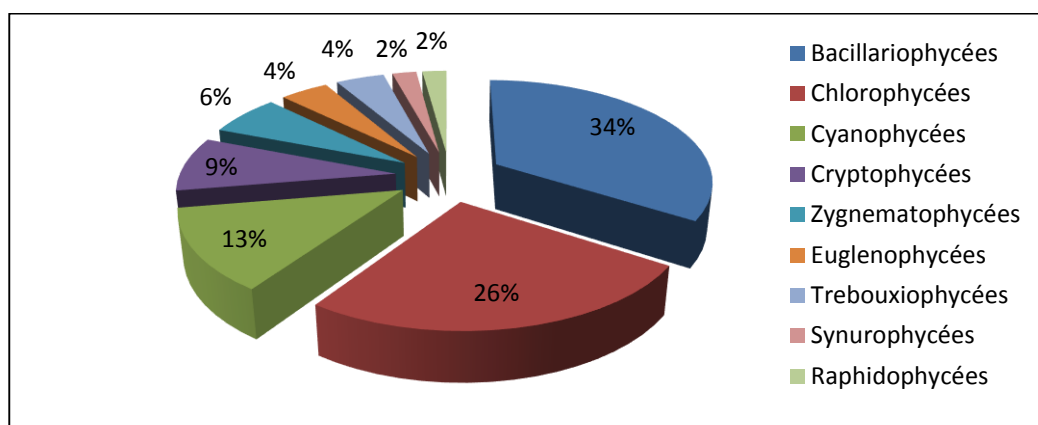


Figure 21 : Contribution des classes phytoplanctoniques dans le nombre total des espèces de " Oued El Nakhla".

4. Composition des groupes fonctionnels de la retenue collinaire « Oued El Nakhla »

La structure des assemblages d'espèces phytoplanctoniques au niveau de « Oued El Nakhla » se caractérise par 09 groupes fonctionnels (Tab. 14) selon les critères de **Reynolds et al., (2002)**.

Tableau 14 : Les principaux groupes fonctionnels de la retenue « Oued El Nakhla ».

Groupe fonctionnelle	Habitat	Espèces représentatives	Résistance	Sensibilité
N	Epilimnion mésotrophe	<i>Cosmarium</i>	Carences-en nutriments	Stratification, Augmentation du pH

Tableau 14 : (suite)

S1	Couches d'eaux troubles Et mélangées	<i>Pseudanabaena</i>	Conditions de très faible luminosité	Ecoulement
X2	Eaux peu profondes, claires, couches mélangées dans des lacs mésotrophes	<i>Plagioselmis</i>	Stratification	Mélange, organismes filtreurs
X1	Eaux peu profondes, couches d'eaux mélangées et conditions enrichies	<i>Chlorella, Monoraphidium</i>	Stratification	Carences-en nutriments, organismes filtreurs
Y	Lacs généralement petits et enrichis	<i>Cryptomonas</i>	Manque de lumière	Phagotrophes
E	Lacs généralement petits, oligotrophes, d'alcalinité faible, lacs ou étangs hétérotrophes	<i>Mallomonas</i>	Carences-en nutriments (recours à la mixotrophie)	Manque en CO ₂
G	Colonnes d'eaux petites et riches en nutriments	<i>Eudorina</i>	Forte luminosité	Carences-en nutriments
J	Lacs, étangs ou rivières peu profonds et enrichis	<i>Scenedesmus</i>		Faibles conditions de luminosité
W2	Lacs mésotrophes peu profonds	<i>Trachelomonas</i>	?	?

Le tableau 14 nous a permis de distinguer que les groupes fonctionnels du site d'étude sont divisés en 5 classes, dont ' groupe réunissent les Chlorophycées (N, X1, G, J), 1 groupe pour les Chrysophycées (E), 1 groupe pour les Cyanophycées (S1), 1 groupe pour les Euglénophycées (W2), 2 groupes pour les Cryptophycées (X2, Y).

L'existence des espèces de ces neuf groupes fonctionnels dans la retenue « Oued El Nakhla » indique que l'eau est mésotrophe à hétérotrophe, enrichis, peu profonde à couche trouble et mélangée, claire, petite colonne d'eau, avec des organismes résistant au carence de nutriment et à la condition de très faible luminosité, et sensible à la stratification, aux organismes filtreurs, manque en CO₂.

Conclusion et perspectives

Conclusion

Notre travail est basé sur la détermination de la qualité physicochimique et l'identification de la communauté phytoplanctonique des eaux de la retenue collinaire « Oued El Nakhla » située à Nechmaya- Guelma.

Cette étude a été effectuée durant une période de trois mois (Février, Mars et Avril 2022), dont laquelle les résultats des analyses de différents paramètres physicochimiques montrent que ces eaux ont des températures saisonnières principalement liées au climat de la région. Pendant Février et Mars la température était de 14,3 et 17,2 °C respectivement, et en Avril la température augmente à 21,85 °C, ce qui exprime que la qualité d'eau est normale à bonne. Concernant le pH de la retenue est alcalin pendant les trois mois, Ses valeurs enregistrées respectivement sont 8,76 et 9,14 et 9,87, ce qui est le cas de la majorité des eaux de surface. Avec une conductivité diminuée chaque mois à cause de le phénomène de dilution dans la période pluviale, en février et mars était de 635 et 628 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et en avril était de 592 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui signifie que l'eau est moyennement minéralisée à une minéralisation importante donc de bonne qualité. Ainsi un oxygène dissous avec des valeurs qui varient entre 0,81 et 3,05 mg/l, et une salinité de 0,1 g/l pendant les deux premiers mois et 0,28 g/l pour le mois d'avril ce qui indique que ces eaux sont des eaux douces.

L'observation des caractères morpho-anatomiques des taxons phytoplanctoniques récoltés dans la retenue collinaire « Oued El Nakhla » nous a permis d'identifier 53 espèces et 39 genres constituent 09 classes. Ce sont les Bacillariophycées qui regroupent la proportion la plus importante du peuplement phytoplanctonique avec 16 espèces (34%), cette dominance due à la disponibilité de certaines conditions favorables pour la croissance de cette classe comme : l'intensité lumineuse et les milieux tempérés à chaud et un milieu minéralisé. Suivie par les Chlorophycées avec 12 espèces (26%) et les Cyanophycées avec 6 espèces (13%), les Cryptophycées avec 4 espèces (9%), les Zygnemato-phycées avec 3 espèces (6%), les Euglenophycées et les Trebouxiophycées avec 2 espèces pour chaque classe (4%), les Synurophycées et Raphidophycées avec 1 espèce (2%).

La richesse spécifique augmente pendant la période des deux mois mars et avril car les facteurs physicochimiques deviennent favorables à la croissance des phytoplanctons. Les densités sont relativement faibles en février et élevées en mars et avril.

L'indice de diversité de Shannon calculé montre qu'il y a une espèce dominante en février et mars (respectivement : *Sphaerocystis chlorophyte* et *Achnanthes minutissima*),

tandis que toutes les espèces ont la même abondance au mois d'avril. Cela est dû au fait que les espèces recherchent et exploitent la même ressource présente en quantité limitée.

L'indice d'équitabilité de Pielou indique la présence d'une équipartition des individus au sein des espèces au trois mois d'étude.

Les groupes fonctionnels de ce site d'étude sont 09 groupes (N, X1, G, J, E, S1, X2, Y) réunissent les Chlorophycées, les Chrysophycées, les Cyanophycées, les Euglenophycées, les Cryptophycées. Ces groupes indiquent que l'eau de la retenue « Oued El Nakhla » est une eau mésotrophe à hétérotrophe, peu profonde à couche trouble et mélangée.

L'analyse microscopique permet de détecter la présence de deux genres phytoplanctoniques producteurs de toxines : *Pseudo-nitzschia* et *Anabaena*, ce qui rend l'utilisation de ces eaux dangereuse pour les consommateurs.

Dans ce cadre, des programmes de surveillance doivent être établis pour lutter contre cette pollution biologique.

Il serait intéressant de compléter ces résultats dans l'avenir par des études spécifiques concernant le phytoplancton, et l'effet de la présence des espèces toxiques sur la qualité des produits agricoles irrigués par les eaux du site de prélèvement.

Enfin nous recommandons aux étudiants de future, de bien étudier la classe des Synurophycées et les facteurs qui influencent l'apparition de cette nouvelle classe.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

Abadli, M., Harkati, G. (2015). *Contribution à l'inventaire des quelques microalgues vertes d'intérêt nutritionnel dans quelques zones humides de la wilaya d'El Oued (lac Ayata, Chott Merouane, Sife Lemnad, STEP Kouinine).* Mémoire de master, Université de Hamma Lakhdar d'El Oued, Algérie. 4 p.

Abdennadher, M. (2014). *Etude taxonomique et écophysologique des dinoflagellées toxiques du Golfe de Gabès : Alexandrium minutum, Prorocentrum lima, Coolina ssp et Ostreopsis ovata.* Thèse de doctorat, Université de Sfax. Tunisie. 53p.

AELB (Agence de l'eau Loire-Bretagne). (2006). *Le prélèvement d'échantillons en rivière : techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimique.* Guide technique. 58p.

Agence de l'eau. (2003). *Utilisation des indices biologiques pour évaluer l'état écologique des cours d'eau au sens de la Directive Cadre sur l'Eau.* GREBE eau-sol-environnement. 33 p.

Alvain, S. (2005). *Etude de la distribution des principaux groupes de phytoplancton par télédétection satellitaire : développement de la méthode PHYSAT à partir des données GeP & CO et application à l'archive SEAWIFS entre 1998 et 2004.* Thèse de doctorat, Université Paris7 Denis Diderot. France. 23 p.

Aminot, A. et Chaussepied, M. (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* CNEXO, Brest, 395p.

Amri, S. (2008). *Dynamique mensuelle du phytoplancton dans le lac Oubeira et le Lac Noir « Parc National El-Kala ».* Mémoire de Magister, Université Badji-Mokhtar. Annaba. Algérie.

Aouissi, A. (2010). *Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie).* Mémoire de magister, université 08 mai 1945. Guelma. Algérie.

Arzul, G. et Quiniou, F. (2014). *Plancton marin et pesticides : quels liens ?* Ed Quæ. France : Nelly Courtay. 11-12 p.

-8-

- BA, N. (2006).** *La communauté phytoplanctoniques du lac de Guiers (Sénégal) : types d'association fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs.* Thèse de doctorat de 3eme cycle, Université Cheikh anta Diop de Dakar, Sénégal. 16 p.
- Bafu, B.F.U. (2007).** Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselgen Stufe F (Flächendeckend).
- Baillet, S. (2013).** Utilisation des groupes morpho-fonctionnels du phytoplancton pour le diagnostic écologique des plans d'eau du bassin Loire Bretagne. Mémoire pour l'obtention du Diplôme de l'école pratique des hautes écoles. 39 p.
- Baya, D.G.S.T. (2012).** *Etude de l'autofloculation dans un Chenal Algal à Haute Rendement.* Thèse de doctorat, Université de liège. Belgique.19p.
- Berrabah, A. et Tebrou, H. (2016).** *Structure de phytoplancton marin issu d'un échantillon de la coté de Béni-Saf et Ghazaouet.* Mémoire de master, Université de khemis Miliana, Algérie.7 p.
- Blandin, P. (1986).** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. In : *Bulletin d'écologie*, 4, 215-306.
- Blandin, P. et Luce, J.M. (1994).** La surveillance des systèmes écologiques et de la biodiversité, problèmes conceptuels et méthodologiques. In : *Bulletin de la société entomologique de France*, 99(1), 39-54.
- Benlaoukli, B. et Touaibia. B. (2022).** L'expérience algérienne dans le domaine des études de retenues collinaires. *Journal of water science*, 17 (2), 153-162.
- Bonato, S. (2015).** *Etude de la variabilité spatiale et temporelle des communautés phytoplanctoniques en Manche Orientale-utilisation de la cytométrie en flux de scanning.* Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale. LOG. France. 4 p.
- Bonnin, J.B. (2015).** *Les indicateurs biologiques des milieux aquatiques.* Les cahiers de l'eau. 4 p.
- Bordji, N. et El Saadi, N. (2018).** Etude de l'agrégation du phytoplancton par la méthode des moments spatiaux. *Economie et Statistique Appliquée*, 15(2), 74-89.

Boulefa, W. (2020). *Dynamiques et structure du phytoplancton des milieux lentiques et lotiques.* Mémoire de master, Université Mohamed Seddik-Benyahia de Jijel, Algérie. 1 p.

Bourelly, P. (1985). Les algues bleues ou Cyanophycées, 5ème partie. Edition Boubée Paris. P: 297, 303, 457-458, 606.

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

Bourelly, P. (1970). Algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III: Les Algues bleues et rouges, les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Edition N. Boubée & Cie, P: 572.

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 douces, Algues Vertes. Édition Boubée et Cie. Paris. P: 511.

Bourelly, P. (1957). Algues d'eau douce du Soudan François, région du Macina (AOF). *Taureau. IFAN, sér. A, 19(4), 1047-1102.*

Briand, E. (2008). Contribution à la compréhension du déterminisme de la mise en place des Proliférations de cyanobactéries et de leur production de toxines. Thèse de doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle. 25p.

Brigitte, C., Florence, H., Alain, H., Alain, Hu., Lionel, R. et Serge, C. (2008). *Guide du préparateur en pharmacie.* 3^{ème} édition. Masson. 34 p.

Broutin, M., Caffier, G., Madi, F & Artigas, L.F. (2010). Synthèse bibliographique sur les techniques de suivi de l'abondance, biomasse et diversité du phytoplancton en eaux marines. Convention CNRS-IFREMER. *LOG : Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences.* 2p.

- e -

Cadier, M. (2016). *Diversité des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux en mer d'Iroise : approche par la modélisation 3D.* Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale-Brest. France. 14 p.

- Cadore, J. P. et Bernard O. (2008).** La production de biocarburants lipidiques avec des microalgues : promesses et défis. *Journal de la société de biologie*. 202(3). 201-211.
- Chapelle, A. et Le Bec, C. (2014).** Etude sur la prolifération de la micro-algue *Alexandrium minutum* en rade de Brest. Projet Daoulex Rapport final. Région Bretagne. 10 p.
- CEAE (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec). (2012).** *Méthodes de prélèvement, de conservation et d'analyse des échantillons relatifs à l'évaluation de la qualité de l'eau des piscines et autres bassins artificiels*. 11p.
- Chader, S. (2009).** *Bio-Hydrogène : Valorisation énergétique des microalgues sahariennes*. In : workshop National sur l'Hydrogène, Université Kasdi Merbah. Ouargla. Algérie.
- Chader, S. et Touzi, A. (2001).** Biomasse algale : Source énergétique et alimentaire. *Rev. Energ. Ren : production et valorisation – biomasse*. 47-50.
- Catherine, B. et Dominique, S. (2018).** Trente années d'observation des microalgues et des toxines d'algues sur le littoral. Edition Qaue. 06 p.
- Chauvaud, L., Jean, F., Ragueneau, O. & Thouzeau, G. (2000).** Long-term variation of the bay of Brest ecosystem: benthic-pelagic coupling revisited. *Marine ecology progress series* 200. 35-48.
- Chettibi, F. (2014).** *Ecologie de l'Erismature à tête blanche oxyura leucocephala dans les zones humides de la Numidie algérienne (du Littoral Est de l'Algérie)*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar. Annaba. Algérie. 21p.
- Chevallier, H. (2007).** *L'eau un enjeu pour demain*. Sang terre, 352p.
- Christophe, L.T., Barbe, J. et Dutartre, A. (2009).** *Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en œuvre de la DCE*. Cemagref. Version 3.3.1. 10p.
- Christophe, L. T., Chauvin, C., Menay, M. & Dutartre, A. (2010).** *Protocole standardisé d'échantillonnage et de conservation du phytoplancton en grands cours d'eau applicable aux réseaux de mesure DCE*. Document du groupe DCE-ESC. Cemagref. Version 2. 6p.

Collet, P. (2012). *Analyse de cycle de vie de la valorisation énergétique de la biomasse algale : prise en compte des aspects dynamiques dans l'étape d'inventaire.* Thèse de doctorat, Ecole doctorale : science des procédés et sciences des aliments. France. 23p.

(CCME) Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement. (2011). *Manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada.* 211p.

-D-

Dahel, Z.A. (2009). *Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord- Est Algérien à travers un bioindicateurs la moule *Permaperna*.* Université Badji Mokhtar. Annaba. Thèse de Magister. 17 p

Dauta, A. (1975). Etude du phytoplancton du Lot. *Annlis Limnol*, 11(3), 219-238.

Deniz, B. (2000). *Guide des analyses en pédologie.* Revue et Augmentée, 2^{ème} édition. 207 p.

Dhib, A. (2015). *Contribution à l'étude de successions écologique du phytoplancton dans la lagune de « Ghar El Melh ».* Thèse de doctorat. Université El Manar. Faculté des sciences du Tunis. France.

Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A.A. & Teixeira, T.A. (2010). *Third generation biofuels from microalgae.* Current research, Technology and Education topic in applied microbiology and microbial biotechnology. Ed A. Méndez-Vilas. Portugal. 1335-1366.

Druart, J.C. et Balvay, G. (2009). *Le lac d'Annecy et son plancton.* Ed Quae. France. 40 p.

Druart, T.C. et Balvay, G. (2007). *Le Léman et sa vie microscopique.* Ed Quae. France. 22 p.

-F-

Frémy, J. M. et Lassus, P. (2001). *Toxines des algues dans l'alimentation.* Ifremer, 191 p.

-G-

Gadelle, F. (1995). *Le monde manquera-t-il bientôt d'eau ? Science et changements Planétaires.* Sécheresse.

Genin, B., Chauvin, C. et Ménard, F. (2003). Cours d'eau et indices biologique : pollution, méthodes. IBGN. 67 P.

Gilorma, B. (2018). *Bio- Peau- Cosméto*. Société écrivains.151 p.

Goffart, A. (2010). Les Indices De Composition Phytoplanctonique En Eaux Côtieres Synthèse Bibliographique, Université de Liège Belgique et STARESO Calvi Corse.

Groga, N. (2012). *Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INP-Ensai, France. 36 p.

-7-

Hamaidi Chergui, F. (2012). *Contribution à la connaissance des peuplements planctoniques de six plans d'eau du nord de l'Algérie*. Thèse de doctorat, Université de Saad Dahleb de Blida, Algérie. 63-64 p.

Hansen G., Turquet, J., Quod, J. P., TenHage, 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.P: 5-79.

Harrault, L. (2013). *Influence de la structure des réseaux trophiques lacustres et des apports de matière organique sur la composition biochimique des compartiments biotiques et sur la biodégradabilité de la matière organique sédimenté*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie. France. 8 p.

-7-

John D.M, Whitton B.A. et Brook A.J. (2001). The Freshwater Algal Flora of the British - Isles, An identification Guide to freshwater and terrestrial algae, Cambridge University Press, 710p.

-7-

Kafi, S. (2017). *Etude de la diversité et de la structure du peuplement de phytoplancton au niveau du barrage de Tiledit (Wilaya de Bouira)*. Mémoire de master, Université Akli Mohand oulhadj de Bouira, Algérie. 4 p.

Kermarrec, L. (2012). *Apport des outils de la biologie moléculaire pour l'utilisation des diatomées comme bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques lotiques et pour l'étude de leur taxonomie.* Thèse de doctorat, Ecole doctorale SISEO. France. 26 p.

Kroeck, D. (2019). *La biodiversité du phytoplancton du Paléozoïque.* Thèse de doctorat, Ecole doctorale Science de la matière, du rayonnement et de l'environnement, Lille. France.

- L -

Laguerre, H. (2014). Suivi des compositions planctoniques dans le cadre des travaux hydrauliques sur le marais de Moustierlin. Compte-Rendu d'Etude (1). AGROCAMPUS OUEST.

Le Bras, Q., Ritter, L., Lesueur, M., Lucas, S. & Gouin, S. (2014). *Etude de la consommation des algues alimentaires en France.* Programme IDEALG Phase1. Etude nationale. In : Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST. n° 32. 72p.

Ledreux, A. (2010). *Contribution à l'évaluation du risque pour l'homme lors de l'apparition de neurotoxine émergentes analyse de réponses cellulaires et sélection de modèles expérimentasse de criblage.* Thèse de doctorat, ecotoxicologie. AgroParisTech. 43-47p.

Le Grand, G., Bernier, J.C., Brasseur, G., Bréchet, Y., Candel, S., Courtillot, V., Fontecave, M., Garnier, E., Goebel, P., Le Grand, M., Le Trent, H. & Mauberger, P. (2016). *Chimie et changement climatique.* Les Ulis. EPD Science. France. 231p.

Lindsey, R. et Scott, M. (2010). What is phytoplankton's In NASA Earth Observatory. *Ed Earth observatory.*

Litchman, E. et Klausmeier, A.C. (2008). Trait-Based Community Ecology of phytoplankton. *Annual review of Ecology, Evolution and systematics, 39, 615-639.*

Little, D.C et Edwards, P. (2005). *Systèmes agricoles intégrés bétail-poisson.* Ed FAO, Rome. Italie. 197 p.

- M -

Mahamat, S.A.M., Maoudombaye, T., Abdelsalam, T, Ndoumtamia, G. et Loukhman, B. (2015). Evaluation de la qualité physicochimique des eaux d'adduction publique de la société Tchadienne des eaux à N'Djamena au Tchad. *Journal of Applied Biosciences* 95 : 8973- 8980. ISSN 1997- 5902.

Mama, D. (2010). Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoue (Benin). Thèse de doctorat, Université de Limoges. France. 7p.

Mangenot, C. (1883). *Des algues utiles*. Thèse présentée au concours pour l'agrégation. Paris. France.

Mayot, N. (2016). *La saisonnalité du plancton en mer Méditerranée*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Ecole doctorale « science de l'Environnement d'Ile-de-France ». France. 16-23 p.

Merzoug, S.E. (2009). Etude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher (Bennazzouz, Wilaya de Skikda). Mémoire de magister, Université 08 mai 1945 de Guelma ; Algérie.

Minaudo, C. (2015). Analyse et modélisation de l'eutrophisation de la Loire. Thèse de Doctorat, Université François-Rabelais de Tours. France. 42p.

Miossec, L. (2013). Guide méthodologique des méthodes DCE en hydrobiologie littorale. Rapport d'étape AQUAREF.

Mollo, P. et Noury, A. (2013). *Le manuel du plancton*. Ed Charles Léopold Mayer. France. 27-91 p.

- 7 -

Nezan, E., Piclet, G. et Grossel, H. (1997). Guide pratique du Réseau National de Surveillance du phytoplancton.

Ngansoumana, B. A. (2006). *La communauté phytoplanctonique du lac de Guiers (Sénégal): types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs de régulation*. Thèse de Doctorat de 3e Cycle. Université Cheikh Anta-Diop de Dakar (Sénégal), 135p. novembre 2005, INOC. 29-30.

Nithavong, C. (2015). *Biominéralisation intracellulaire par des cyanobactéries : du modèle aux cellules*. Thèse de doctorat de physique et chimie des Matériaux. Université Pierre et Marie curie. 11 p.

-P-

Pearson, H.W., Mara, D.D. & Mills, S.W. (1987). Factors determining algal population in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance. In: *Water Science & Technologie*, 12(19), 131-140.

Person, J., Lando, D. & Mathieu, D. (2010). Algues filières du future. Livre turquoise. Ed Adebitech. 42p.

Pesson, P. (1976). *La pollution des eaux continentales, Incidence sur les biocénoses aquatique*. Gauthier-Villars. Paris. 277 p.

Pestalozzi G.H., Komarek Trebon, J. et Foot B. (1983). Des Phytoplankton des Sub wassers, Systematikund Biologie, E. Schwei zerbart'scheVerlags burchhandlung, Stuttgart.

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.

Prescott, L.M., Willey. J. M., Sherwood. M. L. & Christopher. J.W. (2018). *Microbiologie de Prescott*. 5^{ème} édition. Boeck. 144 p.

-R-

Ramirez, L. (2013). *Production de bio-carburants de 3^{ème} génération à partir des microalgues*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon1. France. 9p.

Rastoin, J.L. et Robin, K. (2016). Le secteur des microalgues en méditerranée : perspectives et contribution au développement durable. Etude et Analyse IPEMED. 23p.

Reviere, B. (2002). *Biologie et phylogénie des algues*. Tome1. Belin. Paris. 49p.

Rmiki, N.E. (2013). *Réponses photoadaptatives de la Chlorophycée Haematococcus pluvalis Flotow et production d'astaxanthine*. Thèse de doctorat, Université des sciences et technologie Lille1. France. 13-14p.

Rodier, J., Legube, B. & Merlet, N. (2016). L'analyse de l'eau : contrôle et interprétation. 1^{er} édition. Dunod. France. 37p.

-5-

Sadi, M. (2012). Les microalgues : un défi promoteur pour des biocarburants propres. In : le 2^{ème} séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables. Algérie. 4p.

Saheb, M. (2014). *Contribution à l'étude de l'identification de quelques espèces algales des cours d'eaux dans la région d'Oued Athemnia.* Mémoire de master, Université Constantine 1, Algérie. 5 p.

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

Sirois, L. (2013). *Changement physiologique chez les microalgues vertes menant à la biosynthèse de caroténoïdes.* Mémoire de la maîtrise en science de l'environnement, Université du Québec, Montréal, Canada. 8 p.

Straub, F. (1984). Note algologique I : Observation de quelques Diatomées (*Bacillariophyceae*). *Extrait du Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences naturelles* 1. 107: 5-9.

Straub, F., Pokorni, B., Miserez J.J. & Montandon P.E. (2004). Note algologique III: Nuisances algales dans le Jura Suisse en 2003,2004. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des sciences naturelles.* 127 : 57-67.

-7-

Therriault, L.B., Poulin, M. & Bossée, L. (1999). *Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du Golfe du Saint-Laurent incluant également certain protozoaires.* CARC-ARC. 141p.

Touahria, T. (1999). *Etude de biomasse, de la composition et de la structure des peuplements phytoplanctoniques de la mer d'Alboran Est.* Thèse de doctorat, Université de FSB.USTHB. Algérie 200p.

Trégouboff, G. et Rose, M. (1957). *Manuel de planctonologie méditerranéenne*. Tome 1. CNRS. 17 p.

Trégouboff, G. et Rose, M. (1978). *Manuel de Planctonologie Méditerranéenne*. Tome I.

Trombetta, T. (2019). *Initiation des efflorescences phytoplanctoniques en zone côtière : le rôle de la température et des interactions biologiques*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, France. 1-2 p.

-1-

Villeneuve, V., Légaré, S., Painchaud, J. & Vincent, W. (2005). Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Sciences de l'eau*, 19(4), 259-274.

Villers, J., Squilbin, M. & Yourassowsky, C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. Cadre générale Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement/ observatoire des données de l'environnement.

-2-

Wiegand, C. et Pflugmacher, S. (2005). Ecotoxicological effects of selected cyanobacterial secondary metabolites : a short review toxicol applie pharmacol 203, 201-218.

Willame, R., Hoffman, L. (2005). Les cyanobactéries (algues bleues) responsable d'efflorescences dans les eaux stagnantes aspects systématique- écologique toxicologiques. *Centre de Recherche public*. Gabriel Lippmann, 07.

Webographie

Synonyme 1 : https://www.sciences.be/wp-content/uploads/expo_eau_pds2013.pdf.

Synonyme 2 : https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/culturealgues/algoculture/Alguesµalgues_Michel%20Cavalla.pdf.

Synonyme 3 : www-ium.univ-brest.fr.

Synonyme 4 : [https://www.eure.gouv.fr/content/download/31554/207704/file/Partie e%20Va_Annexes-VF2.pdf](https://www.eure.gouv.fr/content/download/31554/207704/file/Partie%20Va_Annexes-VF2.pdf).

Synonyme 5 : www.allloprof.qc.ca.

Résumés

Résumé

La retenue collinaire « Oued EL Nakhla » est l'un des réservoirs d'eau de surface qui sont utilisés à l'irrigation des terres agricoles avoisinantes. Les eaux de ce réservoir sont riches à une grande diversité biologique, cette étude a été effectuée en février, mars et avril 2022, s'intéresse aux analyses des paramètres physicochimiques et phytoplanctoniques de l'eau. Les résultats de notre étude montrent que ce réservoir est caractérisé par une température saisonnière qui change avec le changement de climats dans la région, et un pH alcalin supérieur à 8, une salinité faible, qui est l'état de la plupart des eaux douces de surface en général. Les résultats de la conductivité électrique ne dépassent pas les normes des eaux douces, un oxygène dissous de 0.81 mg/l à 3.05 mg/l. D'après les résultats de l'analyse phytoplanctonique, elle est caractérisée par une richesse importante avec 53 espèces, rassemblant plusieurs genres (16) et réparties sur 09 classes différentes, ont été identifiées. Bacillariophycées (34%) et Chlorophycées (26%) et les Cyanophycées (13%), les Cryptophycées (9%), les Zygnematophycées (6%), les Euglenophycées et les Trebouxiophycées (4%), les Synurophycées et Raphidophycées (2%). Cette étude permet de déduire que les eaux de la retenue « Oued El Nakhla » sont des eaux de bonne qualité selon les valeurs des paramètres physicochimiques. Parmi les genres des phytoplanctons toxiques, notre analyse microscopique nous a permis de trouver seulement deux genres : Pseudonitzschia et Anabaena.

Mot clés : Phytoplancton, paramètres physicochimiques, indices de variation, retenue collinaire Oued EL Nakhla, Guelma.

Abstract

The "Oued EL Nakhla" hill reservoir is one of the surface water reservoirs which are used for irrigation of neighboring agricultural lands, as this water is characterized by a great biological diversity. During the months of February, March and April 2022, the physical and chemical factors as well as the phytoplankton of fresh water were studied. The results of the study of the physical factors indicated that the water of this tank (reservoir) is characterized by a seasonal temperature that changes with the change of climatic factors in the region, and a pH of more than 8, as well as low salinity, which is the state of most surface fresh water in general. As for the results of electrical conductivity, it does not exceed the standards of fresh water, and for the amount of dissolved oxygen in the water it ranges between 0.8mg/l and 3.05mg/l. with regard to phytoplankton, microscopic analyzes showed that the tanks is characterized by a great richness, as 53 species were identified belonging to 09 different families distributed as follows: Bacillariophycées which represents 34% of the community, followed by Chlorophycées, which represents 26%, and Cyanophycées which represents 13% of the population. The same community as the remaining families are in the minority (Cryptophycées 9%, Zygnematophycées 6%, Euglenophycées, Trebouxiophycées 4%, Synurophycées, Raphidophycées 2%). This study enabled the conclusion that the water of the wadi al-Nakhla. Tank is of good quality according to the values of physical and chemical factors. Microscopic analysis allowed us to find two genera among the genera of poisonous phytoplankton: Pseudonitzschia and Anabaena.

Key words: Phytoplankton, physicochemical parameters, variation indices, Oued EL Nakhla hill reservoir, Guelma.

المخلص

يعتبر الخزان التلي وادي النخلة أحد خزانات المياه السطحية التي تستخدم لري الأراضي الزراعية المجاورة، حيث تتميز هذه المياه بتنوع بيولوجي كبير. خلال الأشهر الثلاثة فيفري، مارس و أبريل 2022، تمت دراسة العوامل الفيزيائية والكيميائية وكذا العوالق النباتية للمياه العذبة. أعربت نتائج دراسة العوامل الفيزيائية أن مياه هذا الخزان تتميز بدرجة حرارة موسمية تتغير مع تغير العوامل المناخية في المنطقة، ودرجة حموضة قلوية أعلى من 8، وكذلك ملوحة منخفضة، وهي حالة معظم المياه العذبة السطحية بشكل عام. أما نتائج الناقلية الكهربائية فهي لا تتجاوز معايير المياه العذبة، وبالنسبة لكمية الأكسجين المذاب في الماء فهي تتراوح ما بين 0.8 مغ / لتر و 3.05 مغ / لتر. فيما يخص العوالق النباتية، فإن التحاليل المجهرية أوضحت أن الخزان يتميز بثراء كبير حيث تم تحديد 53 نوعاً، تنتمي إلى 09 عائلات مختلفة موزعة كالتالي Bacillariophycées : و التي تمثل 34% من المجتمع، تليها Chlorophycées و تمثل 26% ، أما Cyanophycées فتتمثل 13% من نفس المجتمع بالنسبة للعائلات المتبقية فهي تمثل الأقلية (Cryptophycées 9%, Zygmatophycées 6%, Euglenophycées Trebouxiophycées 4%, Synurophycées Raphidophycées 2%). الإستهنتاج بأن مياه خزان "واد النخلة" هي مياه ذات نوعية جيدة وفقاً لقيم العوامل الفيزيائية والكيميائية. سمح لنا التحليل المجهرى بالعثور على جنسين من بين أجناس العوالق النباتية السامة : Pseudonitzchia و Anabaena.

الكلمات المفتاحية: العوالق النباتية ، العوامل الفيزيائية والكيميائية ، مؤشرات التنوع ، الخزان التلي وادي النخلة ، قالمة.