

N°Réf :.....

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

- Domaine : Science de la nature et de la vie

- Filière : Ecologie et environnement

- Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème

Structure de la communauté phytoplanctoniques au niveau du barrage de Sidi Khelifa-Mila : Etat des lieux écologiques.

Présenté par:

❖ **BENREDJEM Hadjar**

❖ **BOUDFLA Meriem**

Devant le jury :

- Président: M^{me}. KADECHE Lilia
- Examineur: M^{me} BENSAXHRI Zinette
- Promoteur: M MERZOUG SEYF Eddine
- Co-promoteur: M Bara Mouslim

MCB Centre Universitaire de Mila
MCB Centre Universitaire de Mila
MCA Centre Universitaire de Mila
MCA Université de Guelma

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions notre créateur « Allah » tout puissant qui nous a guidé, donné la force, la santé et la volonté pour réaliser ce travail et arriver à ce stade scientifique.

Nous adressent mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail :

Madame Kedache Lilia, Maitre de conférence en biologie au centre universitaire de Mila d'avoir accepté de présider le jury.

Nos vifs remerciements vont également a madame Bensakhri Zinette Maitre de conférence en biologie au centre universitaire Mila d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Avec beaucoup de gratitude nous remercions exclusivement notre encadrant Monsieur Merzoug Seyf Eddine, Maitre de conférence au centre universitaire Mila et notre Co-promoteur Monsieur Bara Mouslim maitre de conférence à l'université de Guelma pour tous les conseils dont on a pu bénéficier au cours de notre travail.

A tous les enseignants du département de Biologie et Ecologie au Centre Universitaire Abd El Hafid Boussouf Mila.

Nous remercions aussi Monsieur Bouden Nabil Chef de laboratoire à la station ADE Mila.

A toute personne qui a de près ou de loin participé et contribuer à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

Je dédis ce travail

A mes parents pour avoir toujours cru en moi et de m'avoir toujours soutenue malgré l'adversité, pour toutes les souffrances qu'ils ont endurées pour nous assurer une bonne éducation et nous permettre une vie décente.

A mon mari, que n'a pas cessé de m'encourager et d'aider pendant 7 ans et à la réalisation de ce modeste travail.

A mes chers frères qui m'ont soutenu dans toutes mes démarches, en particulier mes études.

A mes chères sœurs, leurs maris et à leurs enfants.

A mon beau frère, Mes belles sœurs ainsi que toute ma grande famille.

*A mes meilleures amies, particulièrement **Hiba** et **Meriem***

A tous les membres de la famille Benredjem et Rezaiki.

*A mes camarades de la promotion de 2ème Année Master
Écologie 2022.*

A tous les gens qui m'ont aidé à accomplir ce travail, même avec un mot.

A mon pays.

Hadjar

DEDICACE

*Tout d'abord, je remercie dieu qui m'a permis d'atteindre ce rang
Puis A celle qui a veillé à mon chevet et à mon bien être et m'a
entouré de tout son amour et son affection, l'être le plus cher au
monde et à mon coeur ma mère "saidouche fahima "*

*A mon père boudefla saleh, que Dieu le protège et le garde pour
m'avoir orienté et appris à être une femme respectable et
responsable*

A mes frères walid, oussama, ayoub, abdraouf, sidali.

*A mes sœurs anfal, roya. A ma chère grande mere paternelle aldjia
que dieu te préserve en santé, et mon grand-père maternelle khaled.*

A mes tantes A mes familles des frères :siham, zohra, nedjla.

*En particulier à ma binome **benredjem hadjar** une sœur qui a
toujours veillé à me soutenir*

A tous la promo que j'aime tant un par un.

A mes amies hiba laouar, lina chehdane.

Ainsi tous les enseignants qui participent à ma formation.

A tous ceux qui ; par un mot, m'ont donné la force de continuer.

Meriem

Cette étude concerne la caractérisation bioécologique du barrage de Sidi Khalifa (Mila). Elle nous a permis d'avoir un aperçu sur la situation bioécologique du milieu aquatique en mesurant plusieurs paramètres physicochimiques de l'eau et étudiant la richesse floristique en phytoplancton et la dynamique de ses populations.

Cette étude menée au cours de la période qui s'étale entre Avril et en Juin 2022, a permis principalement l'identification de 4 genres de phytoplancton. Montrant que la composition taxonomique de cette communauté présente une prédominance de la classe des Chlorophycées.

C'est la période printanière qui favorise une abondante prolifération du phytoplancton.

Cette approche nous a permis de mettre en valeur les ressources biologiques du site, de déterminer son importance et d'aboutir à des mesures de gestion et de conservation.

Mots clé : Barrage, Sidi Khalifa, Analyses physico-chimique de l'eau, phytoplancton. Les Chlorophycées.

.

Abstract

This study concerns the bioecological characterization of the Sidi Khalifa dam (Mila). It allowed us to have an overview of the bioecological situation of the aquatic environment by measuring several physicochemical parameters of the water and studying the richness of phytoplankton flora and the dynamics of its populations.

This study, conducted during the period between April and June 2022, mainly allowed the identification of 4 genera of phytoplankton. showing that the taxonomic composition of this community presents a predominance of the class Chlorophyceae.

It is the spring period that favors an abundant proliferation of phytoplankton.

This approach has enabled us to highlight the biological resources of the site, to determine its importance and to arrive at management and conservation measures.

Keywords: Dam, Sidi Khalifa, Physico-chemical analyzes of water, phytoplankton. The Chlorophyc

تتعلق هذه الدراسة بالتنوع البيولوجي لسد سيدي خليفة (ميلة). لقد سمح لنا بإلقاء نظرة عامة على الوضع البيولوجي البيئي للوسط المائي من خلال قياس العديد من المعلومات الفيزيائية والكيميائية للمياه ودراسة ثراء نباتات العوالق النباتية وديناميكيات سكانها.

هذه الدراسة، التي أجريت خلال الفترة بين أفريل وجوان 2022 ، سمحت بشكل أساسي بتحديد 4 أجناس من العوالق النباتية. تبين أن التركيب التصنيفي لهذا المجتمع يمثل غلبة لفئة العوالق النباتية المجهرية.

ولقد اخترنا الدراسة في فصل الربيع لأنه الفصل المفضل لانتشار للعوالق النباتية.

لقد مكنتنا هذه الدراسة من إبراز الموارد البيولوجية للموقع، وتحديد أهميته والوصول إلى تدابير الحفاظ عليها وحمايتها.

الكلمات المفتاحية: السد، سيدي خليفة، التحليلات الفيزيائية كيميائية للمياه، العوالق النباتية، العوالق النباتية المجهرية..

° : Degré

< : Supérieure

> : Inférieure

‰ : Partie par millier

% : pourcentage.

AO : Acide Okadaïque

ASP : Amnesic shellfish poisoning, acidedomoïc. (Intoxications amnésiantes par les fruits

AZP : Azaspiracides

CE : Communauté Européenne

CE : Conductivité électrique

CFP : Ciguatera Fish poisoning (Intoxications de type ciguatériques)

CO₂ : Dioxyde d'oxygène

C : Carbone

°C : Degré Celsius

Cond : Conductivité électrique de mer)

DSP : Diarrheic Shellfish Poisoning, (Intoxications diarrhéiques par les fruits de mer)

Fig : Figure

Ha : Hectare

HAB : Harmful Algal Bloom

LPS : Lipopolysaccharidique

MES : Matière en suspension

Max : Maximum

Min : Minimum

moy : Moyenne

mg/l : Mol par litre

N° : Numéro

N : Azote

Nm : Nanomètre

NSP : Neurotoxic shellfish poisoning (Intoxications neurologiques par les fruits de mer)

NTU : Nephelometrique turbidité unité

P : Phosphore

pH: Potentiel hydrogène

PSP : Paralyzing shellfish poisoning (Intoxications paralysantes par les fruits de mer)

T : Température

Tab : Tableau

µl : Micro- litre

µm : Micro- mètre

µs : Micro- seconde

USA : United States of American

N°	Titres	Pages
1	La distribution des barrages dans le monde à la fin du 20 ^{ème} siècle.	3
2	Coupe type d'un barrage poids (A), barrage voute (B), photo d'un barrage à contrefort « barrage de Girottes » (C),	6
3	Coupe d'un barrage en terre homogène (A), à masque amont étanche (B), zoné (C).	7
4	Photo de quelques espèces des Cyanobactéries (Druart et balvay, 2007).	9
5	Photo de quelques espèces des Chlorophytes (Druart et Balvay, 2007; l'érable, 2009).	10
6	Photo de quelques espèces des Diatomées (Druart et Balvay, 2007; l'érable, 2009).	11
7	Localisation géographique de la wilaya de Mila (Andi, 2013)	25
8	Représentation des différentes formes du relief de la wilaya de Mila (Andi, 2013)	27
9	Variation de la moyenne de précipitation mensuelle dans la région d'étude Mila (2009-2017).	30
10	Variation de la moyenne de l'humidité mensuelle dans la région d'étude Mila (2009-2017).	30
11	Diagramme Ombro-thermique de Bagnouls et Gaussen de la région d'étude Mila (2009-2017).	31
12	Courbe d'Emberger de la région étude Mila (2009-2017).	32
13	Carte administrative de la wilaya de Mila (Service du cadastre -Mila, 2017).	33
14	Barrage Sidi Khelifa (Cliché personnel, Avril 2022).	34
15	L'eau à analyser (Cliché personnel, Mai 2022).	36
16	Les Points de prélèvement.	36
17	pH mètre (Cliché personnel, Mai 2022).	38

18	Turbidimètre (Cliché personnel, Mai 2022).	39
19	Détermination de matière en suspension (Cliché personnel, Mai 2022).	41
20	Conductimètre (Cliché personnel, Mai 2022).	42
21	Détermination de nitrites (Cliché personnel, Mai 2022).	42
22	Détermination de nitrites (Cliché personnel, Mai 2022).	43
23	Variation de la température de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril – Juin2022).	49
24	Variation de pH de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin2022).	50
25	Variation de la Turbidité de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).	51
26	Variation de l'oxygène dissous de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).	52
27	Variation de la matière en suspension Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).	53
28	Variation de la conductivité électrique de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).	54
29	Variation du nitrite de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).	55
30	Variation du nitrate de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).	56
31	Observation microscopique $\times 10$ de la desmotetra	59
32	Observation microscopique $\times 10$ de volvox	59
33	Observation microscopique $\times 10$ d'ulvophycées.	59
34	Observation microscopique $\times 10$ de chlamydomonas	60

N°	Titres	Pages
1	Principaux lacs barrage en AlgérieAnbt, .	8
2	Apports en eaux « Données de la station de Mila»	27
3	Données de température	29
4	La nature et période de prélèvement.	37
5	Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température	50
6	Grille d'estimation de la qualité de l'eau selon le pH	51
7	Classes des eaux selon la turbidité usuelles (NTU, néphélometRICTURBIDITY unit)	52
8	Qualité de l'eau de barrage Sidi Khelifa, en fonction du pourcentage de saturation en oxygène dissous	53
9	Grille de la classification de l'état des eaux selon MES	54
10	Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée	55
11	les classes proposées pour les nitrites	56
12	Grille de qualité des eaux Selon nitrates	57
13	La liste systématique du phytoplancton.	58
14	Présenter les données climatiques de la willaya de Mila	Annexe I
15	Résultats physico-chimiques de l'eau de barrage sidi khelifa	Annexe II

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé	iv
Abstract	v
ملخص	vi
Liste des abréviations	vii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi
Table de matière	xii
Introduction	1

Chapitre I : Recueil bibliographique sur les réservoirs de barrage et le phytoplancton

Partie I : Généralités sur les barrages et leur importance en Algérie

1. Définition des barrages.....	3
2. Historique des barrages	3
3. Intérêt et conséquences environnementales du barrage	4
4. Les types de barrages	5
4.1. Les barrages poids	5
4.2. Les barrages voûtes	5
4.3. Les barrages à contreforts.....	5
4.4. Les barrages en remblai	5
5. Les lacs barrages en Algérie.....	7
5.1. Principaux lacs barrages	8
5.2. Méthodes de gestion et de suivi des barrages en Algérie	8
5.3. Facteurs de dégradation et de menace des barrages	9

Partie II : Généralités sur le phytoplancton

1. Définition du phytoplancton.....	7
2. Habitat et écologie.....	7
3. Principaux groupes connus du phytoplancton.....	8
4. Importance du phytoplancton.....	11
4.1. Intérêt écologique	11
4.2. Culture des microalgues et importance économique et industrielle	12
5. Sources de nuisance du phytoplancton.....	13
5.1. Phénomène d'eutrophisation	13
5.2. Impacts du phytoplancton sur les écosystèmes aquatiques	14

5.2.1. Effet sur le zooplancton.....	14
5.2.2. Effet sur les mollusques et les crustacés	14
5.2.3. Effet sur les poissons.....	14
5.2.4. Impact sur les vertébrés terrestres	15
5.2.5. Intoxications humaines.....	15
6. Le phytoplancton comme indicateur de pollution.....	17
7. Impacts des facteurs naturels sur la dynamique planctonique	17
7.1. Facteurs d'origine abiotique	17
7.1.1. La température.....	17
7.1.2. Le climat.....	18
7.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	18
7.1.4. La salinité	18
7.1.5. L'oxygène dissous.....	19
7.1.6. Les nutriments	19
7.1.7. L'Azote ammoniacal	19
7.1.8. Les nitrites (NO ₂ ⁻)	20
7.1.9. Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	20
7.1.10. Le phosphore	20
7.1.11. La concentration en chlorophylle a.	21
7.2. Facteurs d'origine biotique.....	21
8. Rôle du phytoplancton dans l'écosystème aquatique	21
8.1. Dans la photosynthèse	21
8.2. Dans la chaîne alimentaire.....	21
8.3. Dans le traitement des eaux usées	22
8.4. Autres rôles du phytoplancton.....	22

Chapitre II : Description de la zone d'étude

1. Présentation de la wilaya de Mila	25
1.1. Situation géographique.....	25
1.2. Topographique :.....	25
1.3. Caractéristiques géologiques :.....	26
1.4. Réseau hydrologie :	27
1.4.1. Les eaux souterraines :	28
1.4.2. Les eaux de surface :	28
1.5. Climatologie	28

1.5.1. La température :.....	28
1.5.2. Les précipitations :	29
1.5.3. L'Humidité :	30
1.6. Synthèse climatique.....	31
1.6.1. Diagramme Ombro-thermique de Bagnlous et Gaussen :.....	31
1.6.2. Quotient pluviométrique d'Emberger :	31
1.7. Végétation.....	32
2. Présentation du site d'étude « Barrage Sidi Khelifa»	33
2.1. Localisation de commun Sidi Khelifa :	33
2.2. Le barrage Sidi Khelifa	34
 Chapitre III Matériel et méthodes	
1. Echantillonnage	35
2. Prélèvement de l'eau à analyser	36
2.1. Choix des points de prélèvement.....	36
2.2. Nature et période de prélèvement :.....	37
3. Transport des échantillons.....	37
4. Analyses physico-chimiques	37
4.1. Température.....	37
4.2. Mesure de pH	37
4.3. Mesure de la turbidité (NTU)	39
4.4. Oxygène dessous	40
4.5. Matières en suspension (MES).....	40
4.6. Conductivité Electrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$):.....	41
4.7. Nitrites (NO_2^-)	42
4.8. Nitrates (NO_3^-).....	43
5. Analyses des paramètres phytoplanctoniques du phytoplancton	43
5.1. Fixation et stockage des échantillons	43
5.1.1. Solutions de fixation des échantillons	44
5.2. La microscopie	44
5.3. Analyse qualitative	44
5.3.1. Identification des espèces.....	44
5.3.2. Diversité globale.....	45
5.4. Analyse quantitative	46
5.4.1. Comptages des espèces	46

Chapitre IV Résultats et discussion

1. Les paramètres physico-chimiques	49
1.1. La température.....	49
1.2. Le pH.....	50
1.3. Turbidité :	51
1.4. Oxygène Dissous	52
1.5. Matière en suspension (MES) :	53
1.6. Conductivité Electrique (CE)	54
1.7. Nitrites (NO_2^-)	55
1.8. Nitrates (NO_3^-).....	56
2. Les paramètres de la communauté phytoplanctoniques	57
2.1. <i>Desmotetra</i>	57
2.2. <i>Volvox</i>	57
2.3. <i>Ulvophyceae</i>	58
2.4. <i>Chlamydomonas</i>	58
2.5. Cycle de reproduction.....	58
2.6. Observation microscopique	59
Conclusion.....	61
Références bibliographiques	63
Annexes	I

Introduction

L'eau est un élément vital et essentielle à la vie humanité et le reste du monde vivant. Elle couvre 70% de la planète. Tout le monde en a besoin, Son importance pour l'économie ne cesse de croître. Sa demande et son approvisionnement deviennent de plus en plus difficiles à acquérir. Elle est nécessaire à la santé, l'agriculture, l'industrie, le tourisme, les loisirs et la navigation **(Anonyme, 2009)**.

Nos rivières, lacs, eaux côtières et marines, ainsi que nos eaux souterraines, sont de précieuses ressources que nous devons protéger **(Communauté Européenne, 2011)**.

Les lacs de barrages constituent un type de zones humides continentales de plus en plus important. Alors que l'on détourne toujours d'avantage d'eau des rivières et des fleuves importance pour les activités humaines : les activités domestiques comme la consommation et les loisirs, des projets d'irrigation ou pour approvisionner les industries et halieutiques. Les réservoirs construits en montagne remplacent dans une certaine mesure les zones humides des plaines en aval. Certains réservoirs jouent un rôle très important pour la faune et la flore et remplacent de manière efficace les lacs naturels qui ont disparu **(Pearce et Crivelli, 1994)**.

En Algérie, Il existe 68barrages avec une capacité de 6767 de Hm³ **(1)**. Malgré leurs importances, l'étude des aspects biologiques et écologiques des barrages reste insuffisante malgré les richesses bioécologiques qu'ils recèlent. Parmi les groupes vivants les plus abordés dans les études concernant la vie aquatique, nous citons le phytoplancton, qui représente une grande importance tant du point de vue écologie qu'économique, médical ainsi que d'autres industrielles (industrie cosmétique et des compléments alimentaires) **(Cadoret et Bernard, 2008)**.

Dans les l'écosystèmes aquatiques, la communauté phytoplanctonique joue un rôle clé dans la biodiversité de l'écosystème et par conséquent, dans la qualité de leurs eaux **(Hamilton et al., 1997)**.

Le plancton végétal est le premier maillon biologique des chaînes alimentaires dans les écosystèmes aquatiques, Ces organismes photosynthétiques utilisent l'énergie lumineuse pénétrant dans l'eau pour effectuer la photosynthèse.

Leur croissance dépend de la disponibilité en nutriments et de la présence de toxiques, de la température et de la lumière. Dans certaines conditions, avec des apports élevés de nutriments, la croissance excessive de ce phytoplancton conduit à une situation d'eutrophisation **(Ariane, 2009)**.

Ce dernier est la conséquence d'un apport excessif en phosphore, généralement lié aux activités urbaines, agricoles et industrielles (**Satha, 2015**).

Ces organismes autotrophes perçoivent les variations de leur environnement qui déclenchent des messagers chimiques (**Véry, 1998**), dont des facteurs de transcription de gènes impliqués dans la réponse au stress. Cette machinerie contrôle l'expression de l'ensemble des gènes codant des protéines intervenant dans l'acclimatation ou l'adaptation au stress salin (**Jaglo-Ottosen et al., 1998; Liu et al., 1998**).

L'objectif de ce travail est de :

- Constituer une étude bibliographique sur le phytoplancton du barrage de Sidi Khelifa.
- Prédire les risques associés à la prolifération des phytoplanctons.
- Les aspects traités incluent l'écologie des phytoplanctons.
- Les facteurs favorisant leur prolifération.
- Connaître les méthodes les plus efficaces pour dénombrement et l'identification des phytoplanctons en barrage de Sidi Khelifa.

Le travail s'articule sur quatre chapitres interdépendants, après une introduction :

- Le premier chapitre qui s'intitule l'étude de Recueil bibliographique sur les réservoirs de barrage et le phytoplancton ; et devise en deux parties :
 - ✓ Partie I : Généralités sur les barrages et leur importance en Algérie ;
 - ✓ Partie II : Généralités sur le phytoplancton ;
- Le deuxième chapitre qui s'intitule description de la zone d'étude (Barrage Sidi Khelifa) ;
- Le troisième chapitre décrit le matériel et les méthodes (méthodologies) utilisées pour la réalisation de cette étude ;
- Le quatrième chapitre renferme les résultats obtenus avec des discussions ;
- Nous terminons par une conclusion élaborée à partir des résultats obtenus.

Chapitre I :
Recueil bibliographique sur
les réservoirs de barrage et
le phytoplancton



Partie I :

Généralités sur les barrages

et leur importance en

Algérie



1. Définition des barrages

Les barrages sont des aménagements (sont des ouvrages d'art construit) de moyenne et petite hydraulique sur les cours d'eau secondaires dans les parties amont de grands bassins versants, et destiné à en réguler le débit et/ou à stocker de l'eau, notamment pour le contrôle des crues, l'irrigation, l'industrie, l'hydroélectricité, la pisciculture, une réserve d'eau potable. (Albergel et al., 2006).

2. Historique des barrages

Les barrages ne sont pas nouveaux : Les barrages existent probablement depuis la préhistoire pour maîtriser les crues et assurer l'approvisionnement en eau pour la consommation, l'irrigation et plus récemment, l'industrie. A partir de 1950, un nombre croissant de barrages a été construits au fur et à mesure de la croissance démographique et du développement économique. Dans le monde au moins 45 000 grands barrages ont été construits pour satisfaire les besoins en eau et en énergie (Anonyme, 2000).

A ce jour, près de la moitié des fleuves dans le monde compte au moins un grand barrage et les centrales hydroélectriques produisent plus de 50 % de l'électricité consommée dans un tiers des pays du monde (Fig1). Les grands barrages produisent à eux seuls 19 % de l'énergie électrique totale. La moitié des barrages qui existent dans le monde ont été construits spécialement ou surtout pour l'irrigation et quelques 30-40 % des 271 millions d'hectares irrigués dans le monde sont alimentés par ces ouvrages (Anonyme, 2000).

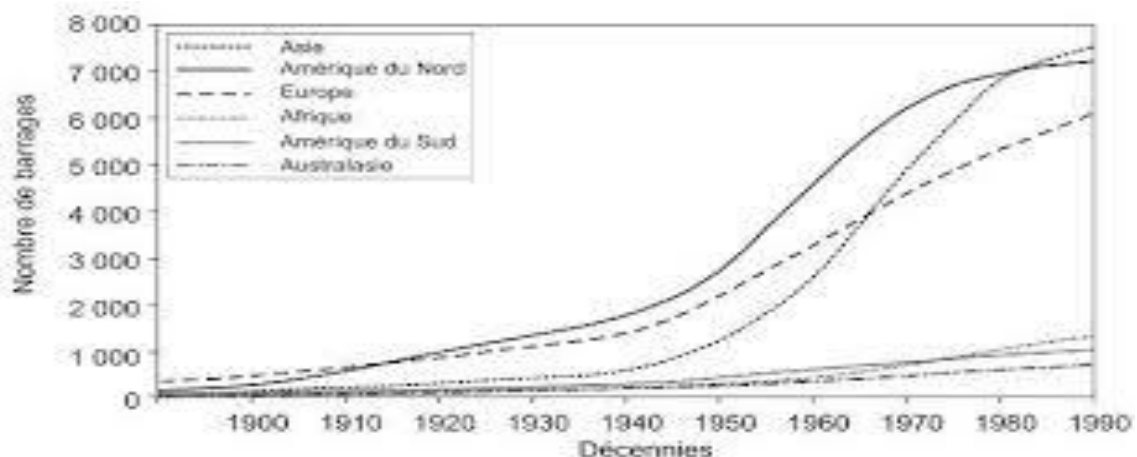


Figure 1: La distribution des barrages dans le monde à la fin du 20ème siècle.

Source : (Anonyme, 2000)

3. Intérêt et conséquences environnementales du barrage

Entre les années 1930 et les années 1970, période où la construction de grands barrages étaient à son apogée, ces ouvrages étaient, pour beaucoup de gens, synonymes de développement et de progrès économiques. L'hydroélectricité, l'irrigation, l'alimentation en eau potable et la maîtrise des crues étaient largement considérées comme des raisons suffisantes pour justifier les importants investissements nécessaires. Les autres avantages cités pour justifier la construction de barrage sont : la prospérité économique résultant des cultures irriguées, stocker une eau, le barrage peut donc écrêter la pointe de la crue et limiter ainsi la sévérité des inondations à l'aval, élever des poissons, la retenue de rejets de mines ou de chantiers, le tourisme, loisirs ou la lutte contre les incendies. L'électrification des zones rurales (les barrages sont une source de production d'énergie renouvelable) et le développement des infrastructures physiques et sociales telles que les routes et les écoles (**Anonyme, 2000**).

Toute fois, plus un projet est ambitieux, plus ses conséquences sont lourdes. Le plus grand impact environnemental est l'inondation de larges zones dans le but d'en faire des réservoirs. Elles engendrent la mort de la végétation alors immergée et donc sa pourriture ce qui altérera la qualité de l'eau. Les barrages peuvent donc avoir des impacts sur l'environnement en modifiant les habitats et en altérant les processus hydrologiques et géomorphologiques. « L'altération des processus chimiques, biologiques et physiques peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur la qualité de l'eau, les espèces aquatiques, la flore, la faune terrestre, ainsi que sur les activités de loisir, l'esthétique des lieux et les pratiques culturelles » (**Arnaudet et al., 2013**).

Le développement de la réflexion globale sur les impacts des barrages au cours des dernières années a aussi mis en évidence la nécessité de prendre en compte le changement climatique et des droits de l'homme dans une perspective transversale, le lac de barrage peut créer un environnement propice à certaines espèces vecteurs de maladies comme les moustiques (**Arnaudet et al., 2013**).

Aussi, la construction d'un barrage peut provoquer à la fois des bouleversements humains en forçant des populations entières à se déplacer et avoir un impact écologique non négligeable en changeant fondamentalement l'écosystème local (**Arnaudet et al., 2013**).

4. Les types de barrages

4.1. Les barrages poids

Façon très schématique, un barrage-poids est un bloc (en maçonnerie ou en béton), De forme massive et triangulaire, résistent à la poussée de l'eau grâce à leur poids (**Delliou, 2008**) (Fig. 2(A)).

4.2. Les barrages voûtes

De forme arquée, profitent de leur forme pour reporter la poussée de l'eau vers le rocher des rives (**Pearce et al., 1994**).(Fig. 2(B)).

4.3. Les barrages à contreforts

Un barrage à contreforts comprend : une série de murs parallèles, généralement de profil triangulaire, orientés dans le sens de la vallée, plus ou moins épais et plus ou moins espacés, et résistant à la poussée de l'eau grâce à un équilibre statique du même type que les tranches d'un barrage-poids (**Delliou, 2008**) (Fig. 2(C)).

4.4. Les barrages en remblai

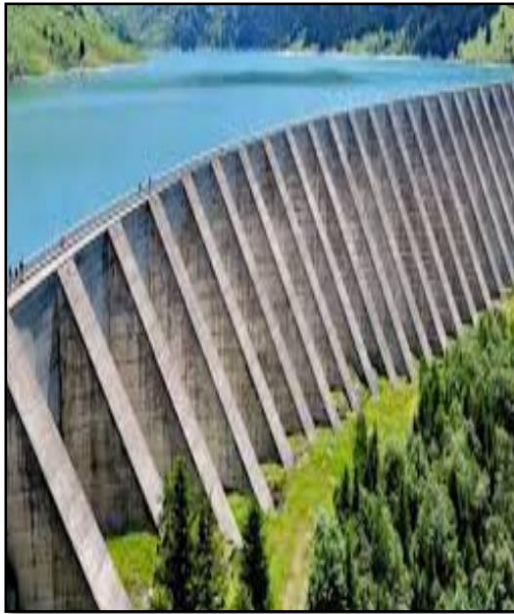
Peuvent être :

- **En terre homogène** : le barrage est réalisé en terre compactée suffisamment imperméable en elle-même, parfois complété par des tapis, des cheminées ou de cordons drainants. De nombreux petits barrages retenant un étang sont construits en terre imperméable (**Pearce et Crivelli, 1994**).(Fig. 3(A)).

- **À masque amont étanche** : le barrage, souvent en enrochement, est étanché à l'amont par un masque étanche réalisé en béton armé ou en béton bitumineux (**Pearce, 1994 et Delliou, 2008**) (Fig. 3(B)).

- **Zonés**, avec un noyau central étanche réalisé en terre argileuse et encadré par des remblais plus perméables en enrochements (**Delliou, 2008**) (Fig. 3(C)).

Les organes d'évacuation des crues qui sont des organes de sécurité essentiels permettent enfin de préciser le type de barrages (**Delliou, 2008**).



(A)

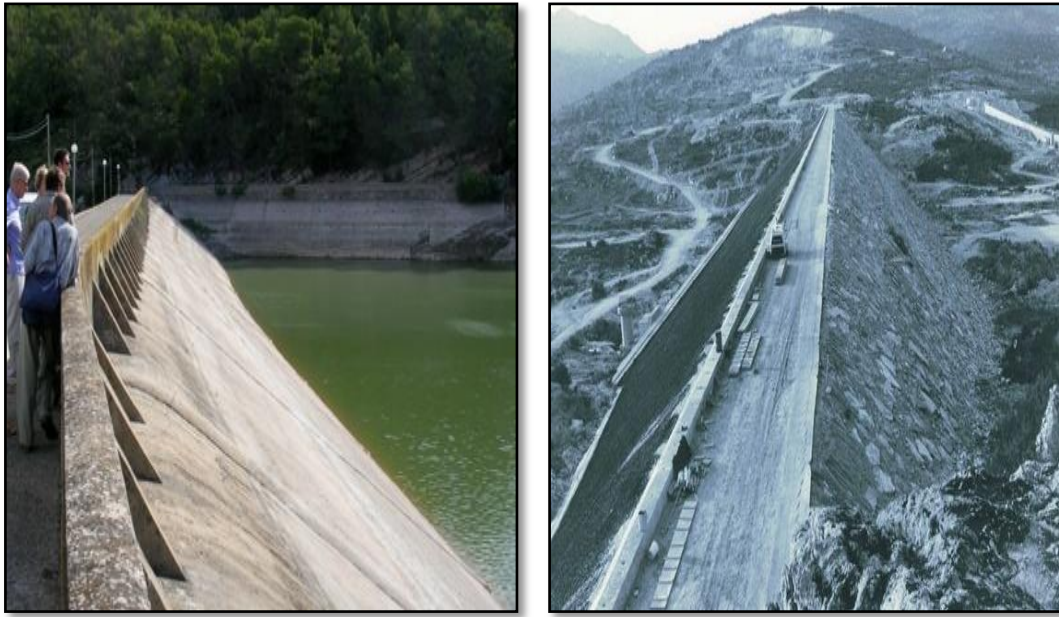


(B)



(C)

Figure 2: Coupe type d'un barrage poids (A), barrage voute (B), photo d'un barrage à contrefort « barrage de Girottes » (C) (Pearce et *al.*, 1994).



(A)

(B)



(C)

Figure 3: Coupe d'un barrage en terre homogène (A), à masque amont étanche (B), zoné (C) (Pearce, 1994 et Delliou, 2008).

5. Les lacs barrages en Algérie

L'Algérie a réalisé une avancée considérable en matière d'accès à l'eau afin d'assurer la couverture des besoins en eau domestique, industrielle et agricole, le nombre de barrages en Algérie a atteint 80 barrages et 5 autres en cours de réalisation barrage en 2021 avec une capacité de 6767 de Hm³ (Anbt, Mai 2022).

5.1. Principaux lacs barrages

Les principaux lacs barrages en Algérie sont rapportés dans le tableau ci-dessous (Tableau 1).

Tableau 1 : Principaux lacs barrage en Algérie (Anbt, 2022).

Nom	Wilaya	Capacité (Hm3)	Hauteur (m)
Sidi Khelifa	Mila	33.6	60
Beni Haroun	Mila	960	121
Koudi et Acerdoune	Bouira	640	121
Gargar	Relizane	358	90
Sidi Yacoub	Chlef	253	87
H. Debagh	Guelma	184	93
Bouroumi	Blida	181	100
Taksebt	Tizi ouzou	181	76
H. Boughrara	Tlemcen	175	85
Tilesdit	Bouira	164	65
Cheffia	El Taraf	159	51

5.2. Méthodes de gestion et de suivi des barrages en Algérie

La nouvelle politique de restructuration et de réorganisation du secteur de l'eau en Algérie a introduit des changements au niveau du ministère des ressources en eau, où les services sont passés d'un statut d'administration publique à un statut d'établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). C'est ainsi, que l'Agence Nationale des Barrages (ANB) est devenue l'Agence Nationale des Barrages et des Transferts (ANBT), l'agence de gestion des infrastructures d'irrigation et de drainage (AGID) est devenue l'office national d'irrigation et de drainage (ONID) et devra regrouper l'ensemble des Offices des Périmètres Irrigués (OPI), quant à l'Algérienne Des Eaux (ADE), elle devra créer de petites sociétés par actions (SPA) qui vont gérer les eaux des grandes villes (Touati, 2010).

5.3. Facteurs de dégradation et de menace des barrages

En plus de la faible quantité d'eau reçue par nos barrages à cause de la sécheresse qui a touché le pays depuis une vingtaine d'années, cette eau se trouve menacée par trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'évaporation intense, l'envasement accéléré et les fuites d'eau surtout à travers les appuis **(Touati et Remini , 2004)**.

Le problème des fuites d'eau dans les retenues de barrages préoccupe les services de l'hydraulique. En effet, en plus des pertes en eau précieuse. Il peut même mettre en péril la sécurité des ouvrages et par conséquent présente des menaces sur les biens et les populations se trouvant en aval **(Touati et Remini, 2004)**.

Le phénomène de l'évaporation des lacs de barrages en Algérie est considérable. Une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement. Les lacs d'eau (sebkhas et chotts) situés dans des zones arides présentent une forte évaporation puisque l'ensemble des facteurs se trouvent réunis ; une température de l'air souvent élevée pendant les saisons sèches, une forte insolation presque continue durant toute l'année et une présence considérable de vents secs (grande vitesse) surtout durant l'automne et le printemps **(Remini, 2005)**.

Le phénomène de l'envasement se pose avec acuité et constitue un problème majeur en Algérie (dégradation des sols agricoles, alluvionnement des retenues). Plusieurs paramètres entrent en jeu dans ce processus. Il s'agit d'une part, des caractéristiques du milieu : le climat, la topographie, la lithologie et le couvert végétal. Après une longue saison sèche (de 4 à 7 mois), caractérisée par de fortes températures, les pluies provoquent la destruction des agrégats du sol. Le ruissellement déclenché par ces pluies assure le transport des particules détachées. De plus, en saison chaude, les sols sont très souvent nus ou mal protégés bien préparés donc, pour l'érosion éolienne et hydrique qui se manifeste dès les premières pluies d'automne **(Touati, 2010)**.

Par ailleurs, à cause de l'intervention de l'homme, par le déboisement, par le surpâturage, par les façons culturales, et par sa politique d'hydraulique minière, le processus d'envasement se trouve accéléré **(Touati, 2010)**.

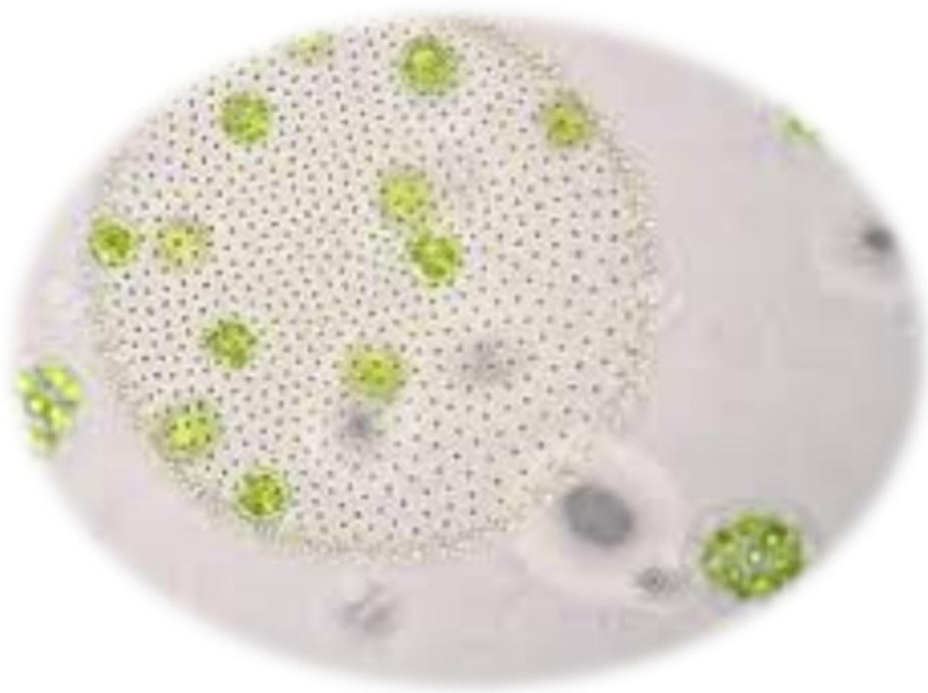
Modification des conditions écologiques à l'amont de la retenue. Dans la retenue, la profondeur de l'eau augmente et la vitesse diminue, les habitats se transforment. Ceci a pour conséquence le remplacement des espèces naturelles par des espèces préférant les courants lents et les fortes profondeurs **(Brnardchocat, 2014)**.

Modification des conditions écologiques à l'aval de la retenue. Dans la retenue, l'eau se réchauffe, parfois de plusieurs degrés, ce qui entraîne une diminution de sa concentration en oxygène. La capacité d'autoépuration du cours d'eau change. Les polluants présents dans les sédiments se relarguent par bouffées. En conséquence, la qualité de l'eau à l'aval se dégrade et les risques d'eutrophisation augmentent. *Ces transformations affectent fortement l'ensemble des espèces présentes dans la rivière et en particulier les peuplements piscicoles à l'aval de la retenue (Brnardchocat, 2014).*

Partie II :

Généralités sur le

phytoplancton



1. Définition du phytoplancton

Le phytoplancton est le plancton végétal, c'est-à-dire l'ensemble des organismes végétaux vivant en suspension dans l'eau. Plus précisément il s'agit de l'ensemble des espèces de plancton autotrophes vis-à-vis du carbone (y compris des bactéries telles que les cyanobactéries, anciennement "algues bleu-vert"). La plupart de ces organismes sont trop petits pour être visibles à l'œil nu, mais s'ils sont en quantité suffisante, ils apparaissent à la surface de l'eau comme des étendues colorées. Ceci est dû à la présence de pigments dans leurs cellules, principalement la chlorophylle, mais aussi les phycobiliprotéines et xanthophylles (**Coasts Naza, 2005**).

2. Habitat et écologie

Le phytoplancton n'est présent en quantités massives que dans les couches superficielles de l'eau, principalement dans la zone euphotique, où il accomplit sa photosynthèse, c'est-à-dire qu'il absorbe des sels minéraux et du carbone (sous forme de CO_2) pour rejeter du dioxygène sous l'effet de la lumière.

Comme tous les êtres vivants, les micro-algues se développent dans les milieux où elles trouvent ce dont elles ont besoin pour vivre (**Mollo et Noury, 2013**). Les organismes qui constituent le phytoplancton ont une extrême plasticité écologique (**Groga, 2012**).

Le phytoplancton peut vivre partout où il y a de l'eau. On le trouve aussi bien dans les eaux douces, marines que saumâtres (mélange d'eau douce et d'eau salée comme les estuaires) (**Mollo et Noury, 2013**).

Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures (**Groga, 2012**). Il se développe mieux dans les eaux plutôt calmes et riches en sels nutritifs : rivières, estuaires, marais... Ainsi, la concentration de phytoplancton est jusqu'à dix fois plus forte dans les eaux continentales qu'en haute mer. (**Mollo et Noury, 2013**).

Le phytoplancton vit là où les éléments de la photosynthèse sont réunis :

- **La lumière:** Dans l'océan, les rayons solaires ne pénètrent que jusqu'à une certaine profondeur.

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**).

- **Les sels minéraux :** sont présents partout où l'eau douce vient 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 trouvent tous les éléments de la photosynthèse. Pour cela, ils dépendent des vents et des courants qui brassent de l'eau leur évitant de tomber ou de rester sur les fonds où ils s'ajoutent aux sédiments.

- **Le gaz carbonique** : Dissous dans l'eau, il entre dans le processus de la photosynthèse. Le CO₂ vient des échanges gazeux (CO₂ – O₂) avec l'atmosphère et il est présent partout (**Mollo et Noury, 2013**).

Le développement du phytoplancton dépend de l'intensité lumineuse, de la température de l'eau et des substances nutritives dissoutes (**Micha, 1988**).

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

3. Principaux groupes connus du phytoplancton

Le premier niveau de classification du phytoplancton est basé sur les pigments photosynthétiques, les produits de réserve et leur localisation cytoplasmique, ainsi que leur niveau de complexité intracellulaire. Plus communément, d'autres critères tels que la reproduction, la nature du squelette, la mobilité permettent de ranger les algues en plusieurs classes telles que :

Les Cyanophycées ou cyanobactéries, les Chlorophycées, les Diatomophycées ou Bacillariophycées les Dinophycées, les Cryptophycées et les Chrysophycées (**Groga, 2012**).

- **Les cyanophycées** sont des procaryotes (cellules dépourvues de noyau et d'organites intracellulaires) photosynthétiques (**Lavoie et al, 2007**). En effet, ces organismes sont désignés par de nombreux noms suivant la spécialité des chercheurs qui les étudient : Algues bleues, Cyanophytes ou Cyanophycées pour les botanistes ; Cyanobactéries pour les microbiologistes (**Fremy et Lassus, 2001**).

Ils se présentent généralement sous forme de cellules isolées, ou de filaments (**Cavalla, 2000**).

Ces phytoplanctons sont les algues primitives, nées il y a 3,5 milliards d'années (**Mollo et Noury, 2013**).

Ces organismes, regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces. La plupart des cyanobactéries sphériques appartiennent à la famille des Chroococcacées et les filamenteuses aux familles des Nostocacées et Oscillatoriacées (**Fig.4**). Les cellules appartenant à cette classe se caractérisent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée (**Groga, 2012**).

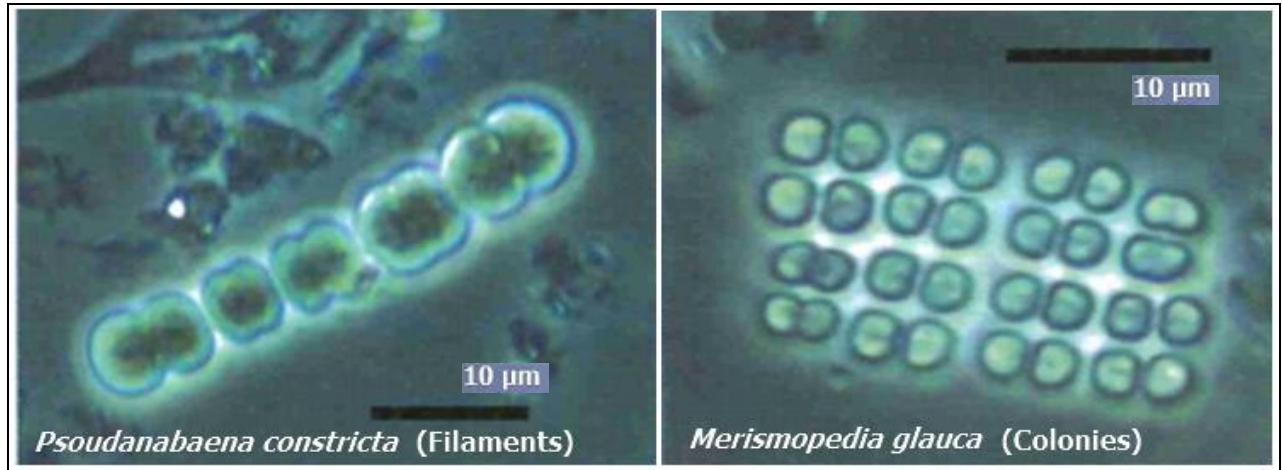


Figure 4: Photo de quelques espèces des Cyanobactéries (Druart et balvay, 2007).

- **Les chlorophycées** sont des micro-algues vertes vivants dans les eaux marines et douces des zones tempérées et chaudes (**Fig.5**), elles mesurent de 1 à 10 microns (**Mollo et Noury, 2013**).

Ces algues vertes présentent une grande diversité de forme, depuis le type unicellulaire jusqu'au type en colonie ou filaments (**Cavalla, 2000**).

Elles forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricophycées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces ; Toutefois, la plupart des algues vertes planctoniques lacustres appartiennent à l'ordre des Volvocales et à celui des Chlorococcales qui font partie de la classe des Euchlorophycées (**Groga, 2012**).

On retrouve également 3 types de reproduction sexuée : isogamie (2 gamètes de même taille), anisogamie (gamète mâle plus petite que le gamète femelle) et oogamie (gamète femelle non flagellée et gamète mâle flagellée) (**Groga, 2012**).

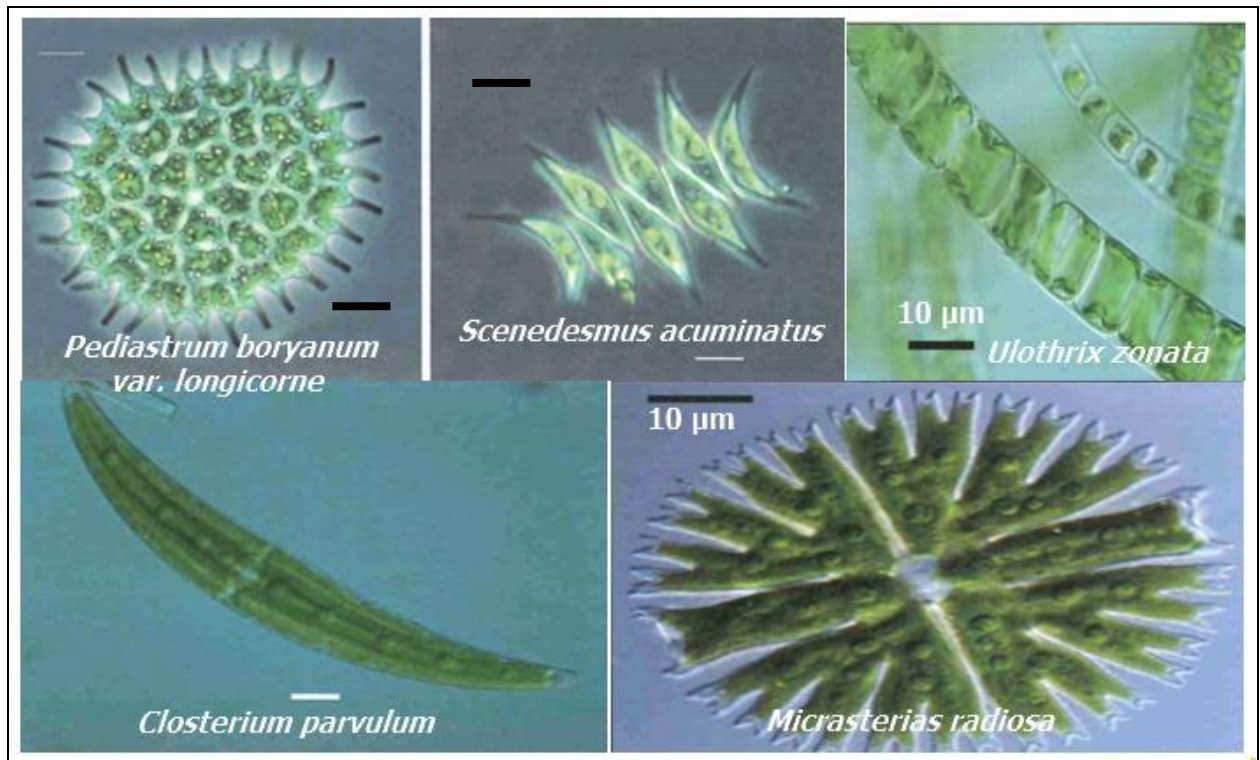


Figure 5: Photo de quelques espèces des Chlorophytes (Druart et Balvay, 2007; l'érable, 2009).

- **Les diatomées** (Bacillariophycées) sont des organismes microscopiques de nature végétale, vivant dans l'eau. Ce sont des algues jaunes et brunes unicellulaires (**Mollo et Noury, 2013**). Leur taille varie de 20 à 200 µm environ, quoique certaines puissent atteindre 2 mm. Elles peuvent se présenter encellules isolées ou regroupées en colonies (**Langlois, 2006**).

Les diatomées englobaient plus de 100 000 espèces et on estime que seulement près de 15000 ont été identifiées à ce jour (**Fig. 6**). C'est un des groupes les plus importants du phytoplancton (**Groga, 2012**).

Elles contribuent largement à la fixation du dioxyde du carbone atmosphérique et donc au cycle du carbone, ainsi qu'au cycle du silicium (**Langlois, 2006**).

Leur caractéristique principale est la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustules. La reproduction végétative par division cellulaire est le mode le plus commun de leur multiplication (**Groga, 2012**).

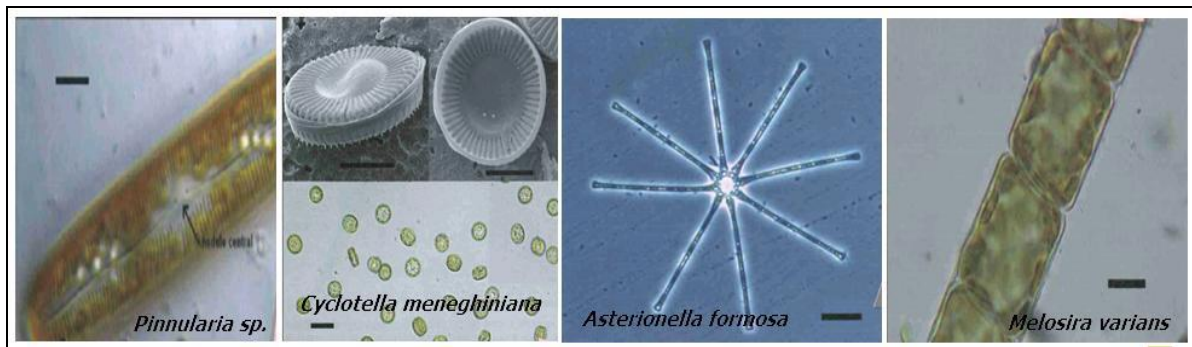


Figure 6: Photo de quelques espèces des Diatomées (Druart et Balvay, 2007; L'érable, 2009).

4. Importance du phytoplancton

4.1. Intérêt écologique

Parmi les êtres vivants sur notre planète, un grand nombre passe totalement inaperçu : c'est le cas des microalgues, encore appelées "phytoplancton". Elles sont intégrées au monde végétal aquatique du fait de leur parenté avec les grandes algues, leur originalité étant due à une constitution unicellulaire.

En effet, chaque individu est formé d'une seule cellule dans laquelle sont réunies toutes les fonctions : respiration et photosynthèse, assimilation, reproduction (Mollo et Noury, 2013).

Environ 6 000 espèces de microalgues sont identifiées dans le milieu marin, et plus de 14 000 en eau douce. Si la taille réduite des microalgues ne permet leur observation qu'au microscope, leur présence en grand nombre est parfois détectable par la couleur de l'eau : verte, brune, rouge... En effet, chaque cellule contient des pigments dont la fonction est d'assurer la photosynthèse, laquelle fournit de 60 à 80 % de l'oxygène atmosphérique. Le phytoplancton est également une source de produits intéressants pour notre santé : protéines, vitamines, minéraux qui s'y trouvent concentrés. À l'instar des végétaux terrestres, les microalgues sont sensibles à leur environnement et évoluent selon un rythme saisonnier, avec un maximum de divisions cellulaires au printemps et en fin d'été. La qualité chimique de l'eau est l'un des facteurs déterminants pour le bon développement des populations phytoplanctoniques (Mollo et Noury, 2013).

Le phytoplancton constitue la base de l'alimentation chez les herbivores aquatiques, et c'est pourquoi la biodiversité des populations phytoplanctoniques est un facteur important. Le rythme de développement des populations microalgales conditionne ainsi le rythme de vie de leurs consommateurs (consommateurs primaires) et ceux-ci régulent à leur tour celui des carnivores qui les consomment (consommateurs secondaires). Le phytoplancton est donc la base de l'édifice

que constitue l'ensemble des organismes aquatiques. 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 : qualité d'environnement (oxygène), alimentation (poissons et fruits de mer), bien-être (santé, beauté), ressource industrielle (**Mollo et Noury, 2013**).

4.2. Culture des microalgues et importance économique et industrielle

La production des microalgues et cyanobactéries est en forte augmentation à travers le monde. Elle est passée de 5.000 tonnes par an à plus de 10.000 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 cosmétique et des compléments alimentaires. La spiruline (*Arthrospiraplatensis*), famille d'Oscillatoriaceae et ordre de Nostocales, les espèces de type *Chlorella*, famille de Chlorellaceae, ordre de Chlorellales, 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**).

On utilise de plus en plus le phytoplancton marin pour l'industriel des crevettes, des mollusques et d'autres fruits de mer. On peut cultiver des algues dans des fermes aquatiques pour la production de produits utilisés dans l'alimentation et l'industrie. Ces deux formes d'utilisation des algues sont des exemples de mariculture, ou culture d'organismes marins dans leur environnement naturel ; elles sont comparables aux systèmes terrestres d'agriculture (**Raven et al., 2003**).

Les algues microscopiques jouent un rôle important dans de nombreux domaines : elles 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 organique. 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 (**Chader et Touzi, 2001**).

- Les alginates

Elles sont utilisées sur une grande échelle comme agent émulsifiant et stabilisateur des colloïdes dans les industries de l'alimentation, du textile, des cosmétiques, des papiers, ainsi que dans la soudure et en pharmacie (**Raven et al., 2003**).

- L'agar

Il est utilisé pour la fabrication des capsules contenant les vitamines et les médicaments, ainsi que de matériaux utilisés pour les empreintes dentaires, ou encore comme base pour les cosmétiques et milieu de culture pour les bactéries et autres microorganismes. L'agarose purifiée est le gel le plus utilisé pour les électrophorèses en recherche biochimiques. L'agar est également utilisé pour éviter la déshydratation des produits de boulangeries dans la préparation de gelées et desserts prêts à l'emploi et pour la conservation temporaire de la viande et du poisson dans la région tropicale (**Raven et al., 2003**).

- La carragheen

C'est un colloïde voisin également dérivé des algues ; on le préfère à l'agar pour la stabilisation des émulsions, comme les peintures, les cosmétiques et les produits laitiers (**Raven et al., 2003**).

5. Sources de nuisance du phytoplancton

5.1. Phénomène d'eutrophisation

Les cyanobactéries sont un indicateur de la mauvaise qualité de l'eau. En effet, leur prolifération trahit la présence en quantité d'insecticides, de pesticides, de métaux lourds... qui rendent l'eau invivable pour les autres espèces. S'y multipliant massivement, elles absorbent les excès de nutriments minéraux et métalliques, jouant, comme à leur origine, leur rôle d'épurateur, mais, simultanément, elles peuvent provoquer un déséquilibre du milieu en s'y développant à outrance (**Noury et al., 2013**).

Une telle prolifération d'une sorte de microalgue porte le nom d'efflorescence ou de bloom et change souvent visuellement l'aspect de l'eau : eaux colorées ou mousses en surface. À l'échelle visible, ce phénomène est comparable à celui des algues vertes qui envahissent les plages. En cas d'efflorescence, une espèce de phytoplancton se multiplie tellement qu'elle finit par occuper tout l'espace. Sa densité rend l'eau opaque et asphyxie le milieu. C'est ce qu'on appelle l'eutrophisation de l'eau : une espèce domine et prive de nourriture et de lumière les autres phytoplanctons qui ne peuvent plus se développer. Cette perte de la diversité est

problématique, en particulier, en ce qui concerne les espèces de plancton végétal « comestibles » comme les diatomées (**Mollo et al., 2013**).

5.2. Impacts du phytoplancton sur les écosystèmes aquatiques

Les liens entre les nutriments, l'eutrophisation, l'hypoxie et les proliférations d'algues nuisibles ainsi que leurs impacts sur les écosystèmes marins sont multiples et difficiles à quantifier. Les "zones mortes" désignent des régions marines où la concentration en oxygène dissout est déficitaire (hypoxie).

La plupart sont dépourvues de toute vie aquatique, elles sont connues dans le monde entier et entraînent un déclin de la diversité biologique. Les algues microscopiques mortes se décomposent au fond des océans sous l'action bactérienne qui consomme une bonne part de l'oxygène dissout des eaux profondes. Les eaux océaniques estivales étant stratifiées, les eaux profondes ainsi isolées demeurent hypoxiques et deviennent inhospitalières. Dans certains cas l'oxygène se raréfie si rapidement que la faune n'a pas le temps de fuir et provoque une mortalité massive de poissons (**Puiz et al., 2008**).

5.2.1. Effet sur le zooplancton

Si le phytoplancton ne concerne pas l'homme directement, son appauvrissement peut conduire, par l'intermédiaire du zooplancton permanent, à la chute de la variété des poissons et des fruits de mer composant son menu. Pour conserver l'abondance alimentaire que lui offre l'océan, l'homme doit protéger le zooplancton permanent et donc veiller à la multiplicité du phytoplancton. Pour ce faire, sa vigilance doit se porter sur la qualité des eaux et la prévention des diverses pollutions qui endommagent les mers et menacent toute la chaîne alimentaire marine (**Mollo et al., 2013**).

5.2.2. Effet sur les mollusques et les crustacés

Chez les crustacés, il a été observé que les toxines cyanobactériennes s'accumulent principalement dans l'hépatopancréas. Ces toxines proviennent de la consommation des cyanobactéries, mais aussi de l'ingestion directe de toxines libres dans l'eau. Comme les écrevisses ne semblent pas sensibles à ces toxines, elles peuvent accumuler ces métabolites et constituer, de même que les mollusques, une source de contamination importante pour les échelons trophiques supérieurs (**Fremy et al., 2001**).

5.2.3. Effet sur les poissons

Outre les effets indirects possibles des cyanobactéries sur le poisson à travers leur impact sur le zooplancton, il convient aussi de ne pas oublier que les périodes de blooms provoquent

également des phénomènes d'anoxie dans le milieu qui peuvent avoir des conséquences mortelles pour les peuplements piscicoles (**Fremy et Lassus, 2001**). Les mortalités de poissons liées aux cyanobactéries sont, en fait, surtout imputables à une désoxygénation résultante de la décomposition d'une fleur d'eau. En plus les cyanobactéries libèrent des substances geosmines donnant ce désagréable goût de vase à la chair du poisson. Ce type de nuisances apparaît aussi en hiver avec le développement d'une espèce *Phormidium*, famille de Phormidiaceae, qui vit à la surface de la vase (**Billard, 1998**).

De nombreux articles ont décrit expérimentalement, les effets des toxines cyanobactériennes et plus particulièrement des microcystines sur la Truite et la Carpe. Ces travaux ont montré que les principaux organes touchés étaient le foie, les reins et les branchies. En revanche, peu de publications traitent de l'impact en milieu naturel des toxines cyanobactériennes sur le poisson. Des travaux ont cependant montré que les microcystines causaient des dommages au même de l'épithélium branchial de populations sauvages de truites, ainsi que de brèmes et de gardons (**Fremy et Lassus, 2001**). Ces espèces également reconnues comme toxiques ont provoqué des hécatombes de poissons notamment de carpes (**Billard, 1998**).

5.2.4. Impact sur les vertébrés terrestres

Hors laboratoire, les petits mammifères sont susceptibles de se trouver en contact avec des cyanobactéries toxiques lorsqu'ils fréquentent des plans d'eaux pour se désaltérer. Un nombre important de cas d'empoisonnement est maintenant rapporté dans la littérature concernant les ovins et surtout les bovins (**Fremy et Lassus, 2001**).

Aux USA, de nombreux exemples bien documentés relatent des empoisonnements du bétail dus aux cyanobactéries. Dans de nombreux cas *Microcystisae ruginosa* famille de Microcystaceae était l'espèce associée à ces incidents. A côté de l'USA, il convient de signaler que d'autres pays tel que l'Afrique du Sud, le Canada et la Suisse ont connu de tels événements. Dans ce dernier cas, la mort de plus de 100 vaches présentant principalement des symptômes de toxicité hépatique et plus rarement de neurotoxicités a été reportée en 20 ans dans différents sites du Sud-ouest des Alpes suisses. De plus des intoxications d'oiseaux ainsi que de singes ont été signalées (**Fremy et Lassus, 2001**).

5.2.5. Intoxications humaines

Les toxines de cyanobactéries sont essentiellement des endotoxines qui s'accumulent à l'intérieur des cellules algales. Elles agissent soit après ingestion de ces microalgues, soit après libération de la lyse algale (**Fremy et Lassus, 2001**). L'ingestion des fruits de mer ayant concentré des toxines d'algues dans leurs tissus peut provoquer des symptômes neurologiques,

digestifs et musculaires pouvant entraîner la mort. En eau douce également, lorsque les conditions sont favorables, des microalgues toxiques prolifèrent, provoquant des morts massives d'animaux et pouvant nuire à la santé des baigneurs, les troubles allant de la simple affection dermatologique à des lésions neurologiques ou hépatiques irréversibles (**Fernandez, 2002**).

Deux espèces principales de dinoflagellés sont redoutées. *Dinophysis*, famille de Dinophysaceae (50 microns) contient des toxines (DSP : DiarrheticShellfish Poison) qui s'accumulent dans la chair des coquillages (moules, palourdes, coquilles Saint-Jacques, huîtres...). Même si ces coquillages ne semblent pas perturbés par la présence de cette microalgue toxique, ils sont néanmoins impropres à la consommation, entraînant chez l'homme des troubles gastro-intestinaux. Les symptômes apparaissent douze heures après ingestion et provoquent diarrhées, douleurs abdominales et parfois vomissements (**Mollo et Noury, 2013**).

Alexandrium, famille des Gonyaulacaceae (de 20 à 25 microns) produit des toxines paralysantes (PSP : ParalyticShellfish Poison) qui provoquent chez le consommateur de coquillages contaminés une intoxication dont les effets apparaissent en moins de trente minutes : fourmillements et picotements, engourdissement des extrémités, vertiges et, dans les cas les plus graves, paralysie des muscles respiratoires pouvant conduire à la mort (rare). Actuellement, il n'existe aucun traitement à ces troubles. Les toxines s'attaquent au système nerveux de la personne qui les consomme, mais n'ont pratiquement aucun effet sur les coquillages (**Mollo et Noury, 2013**).

Une diatomée peut, elle aussi, être toxique : *Pseudo-nitzschia*, famille de Bacillariaceae.

Depuis 1999, deux espèces de diatomées, du genre *Pseudo-nitzschia*, productrices de toxines dites amnésiantes, prolifèrent épisodiquement sur nos côtes, infestant poissons et coquillages (toxiques à partir de 100 000 cellules par litre). Pour le consommateur, entre deux et vingt-quatre heures après ingestion, apparaissent vomissements et diarrhées, puis surviennent maux de tête et troubles de l'équilibre et de la vue (**Mollo et Noury, 2013**).

En 1993, par suite d'un bloom d'*Anabaena sp.* Famille des Nostocaceae et de *Microcystis sp.* famille de Microcystaceae, dans un barrage à Itaparica en Brésil, 2.000 personnes ont été intoxiquées avec des signes de gastro-entérites aiguës. Cette grave intoxication a causé la mort de 88 malades, en majorité des enfants. Une autre intoxication mortelle a eu lieu en 1996 et a coûté la vie à plus de 50 personnes dans un centre de dialyse à Caruaru, au Brésil, en raison d'un développement massif de *Microcystis*, *Anabaena*, *Anabaenopsis* et la présence d'hépatotoxines

«microcystines et nodularines» dans un réservoir d'eau utilisé par le centre (**Fremy et Lassus, 2001**).

6. Le phytoplancton comme indicateur de pollution

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. La qualité de l'eau s'est détériorée (pollution chimique, matière organique...), l'hydromorphologie des milieux a été altérée (artificialisation des berges, drainage, recalibrage, ...) et ainsi les cortèges biologiques ont été bouleversés (**Reynolds et al., 2002**).

La diversité des sources de pressions sur les milieux aquatiques (chimique et physique) associée aux interactions complexes et souvent mal connues du cumul de ces altérations, ont engendré la nécessité de développer des indicateurs intégrateurs des milieux.

Ainsi la connaissance des critères physico-chimiques des eaux n'est pas suffisante et demande à être complétée par la caractérisation de communautés biologiques indicatrices afin de déterminer la qualité des milieux (**Padisak et al., 2006; Salsamo et al., 2006; Anneville et al., 2008**).

7. Impacts des facteurs naturels sur la dynamique planctonique

7.1. Facteurs d'origine abiotique

Elle varie avec les saisons et dépendent de facteurs à la fois physiques et chimiques. Les concentrations de nutriments constituant des indicateurs fondamentaux de prolifération phytoplanctonique (**Findley et Klingh, 1994**). Les études sur le contrôle des processus biologiques par le forçage physique sont fondamentales, pour mieux comprendre la variabilité temporelle et spatiale des communautés phytoplanctoniques. Le mélange, la température et les disponibilités en lumière et nutriments, fluctuent sur des échelles de temps différentes et peuvent influencer la dynamique du phytoplancton. Des modifications des communautés ont été observées sur des échelles de temps allant de quelques jours (**Sommer et al., 1986**) à quelques milliers d'années (**Finkel et al., 2004**).

7.1.1. La température

La température est l'un des plus importants paramètres physiques du milieu marin. En effet, elle influe, non seulement, sur le nombre des êtres vivants présents aux différentes profondeurs,

mais aussi sur le climat des terres voisines et sur la densité de l'eau, dans ce cas, elle est à l'origine de certains courants (**Giacomini et al., 1984**).

Elle joue un rôle essentiel et permet de définir les zones biogéographiques (**Collignon, 1991**). La température des océans est directement liée aux échanges thermiques entre les masses d'eaux océaniques et l'environnement (**Levitus, 2001 ; Levitus et al., 2005**). Ce facteur important du métabolisme, de la physiologie des organismes marins végétaux joue un rôle, non moins, important sur les variations de la viscosité du milieu, donc sur le mouvement des masses d'eau et le comportement du plancton ; il a un comportement saisonnier étroitement lié à celui du milieu environnant (**Touahria, 1999**).

7.1.2. Le climat

Le climat est le principal facteur de répartition et de dynamique des écosystèmes (**Anglier, 2003 ; Ramade, 2005**). La limitation de la croissance des organismes photosynthétiques entraîne progressivement une anoxie de la masse d'eau au fond du lac (**Ricklifs et Miller, 2005**), les hautes intensités lumineuses ont une action inhibitrice sur le mécanisme photosynthétique ainsi que sur l'activité fixatrice des microorganismes photosynthétiques fixateurs d'azote. En milieu aquatique ont observé une dominance des Chlorophycées filamenteuses en surface et des Cyanobactéries en profondeur. De ce fait ce groupe phytoplanctonique évite les surfaces trop exposées (**Anglier, 2000**).

7.1.3. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre important dans l'étude des milieux aquatiques (**Khattabi, 2002**). Il est par définition, une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une solution aqueuse : $pH = -\log [H^+]$ (**Henery et Beaudry, 1992**). L'eau de mer est faiblement alcaline (basique), son pH moyen est de 8.2 avec des variations entre 7 et 8.4, il est principalement fixé par la présence des carbonates ($CO_2-HCO_2-CO_2$) (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

7.1.4. La salinité

La salinité représente la quantité de sels dissous dans l'eau de mer (**Giacomini et al., 1984**). Elle est définie conventionnellement comme la masse en grammes des composées solides secs à poids constant à 480°C, obtenue à partir de 1L d'eau mer (**Rodier, 1996**).

La Méditerranée est une mer 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 ; elle est, aussi, soumise aux variations liées aux conditions atmosphériques et aux apports d'eau douce (**Touahria, 1999**).

7.1.5. L'oxygène dissous

L'oxygène est un gaz qui conditionne de nombreux phénomènes, tant biologiques que chimiques et notamment de corrosion. Ses concentrations dans l'eau de mer présentent de nombreuses variations selon l'endroit, la profondeur et la saison. Ceci, s'explique par les différentes origines de l'oxygène dissous (atmosphère ou phénomènes biologiques) (**Sauriau et al., 1984-1994**). La teneur en oxygène varie dans le milieu marin en fonction de la température et de la salinité. Elle dépend aussi de l'activité biologique telle que la production d'oxygène par les végétaux autotrophes (**Touahria, 1999**).

7.1.6. Les nutriments

Les nutriments essentiels sont considérés comme des éléments chimiques pouvant être décelés dans l'eau de mer, mais évidemment, à des concentrations très différentes (**Kornprobst, 2005**) pour le développement planctonique et en particulier pour le compartiment bactérien et phytoplanctonique et qui sont : le phosphore, l'azote et le silicium. Les événements climatiques et la courantologie interviennent dans l'apport et la distribution des nutriments dans le milieu.

Les communautés phytoplanctoniques sont directement influencées par la quantité de nutriments disponibles dans le milieu (**Thingstad et al., 1998**). Parmi les éléments essentiels au développement du phytoplancton, on retrouve l'azote sous toutes ses formes (NH_4^+ , NO_3 , NO_2) et le phosphore. Un enrichissement modéré en nutriments favorise la production biologique en eaux côtières. En revanche, lorsqu'il devient trop important, il peut entraîner une eutrophisation du milieu. Ce phénomène d'eutrophisation peut engendrer divers effets négatifs sur l'écosystème, comme par exemple, une diminution de l'énergie lumineuse disponible dans la zone euphotique. En outre, la décomposition de la matière organique associée à la forte biomasse phytoplanctonique peut créer un déficit en oxygène dans la colonne d'eau et dans le sédiment (hypoxie – anoxie) (**Gailhard, 2003**).

7.1.7. L'Azote ammoniacal

L'azote minéral se trouve sous les formes ammoniacale, nitreuse et surtout nitrique dans l'eau de mer. Il peut être absorbé sous ces trois formes par le phytoplancton (**Lemée, 1978**). Dans l'eau, l'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes : L'ion ammonium (NH_4^+) et la forme non dissociée communément appelée ammoniaque (NH_3). Ces deux formes traduisent un équilibre acido-basique. L'ammoniaque stimule les poussées planctoniques (**Gaujons, 1995**).

Dans les eaux naturelles la détection d'ammoniac en grandes quantités est un critère de pollution (**Dussart, 1966**).

7.1.8. Les nitrites (NO_2^-)

Dans le cycle de l'azote, les nitrites constituent une forme intermédiaire. Ils résultent : Soit de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal sous l'action des bactéries nitrifiantes du type *Nitrosomonas* ; soit de la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes. Les nitrites disparaissent vite en milieu naturel, ils peuvent également provenir de rejets industriels puisqu'ils sont utilisés pour inhiber la corrosion (**Henry et Beaudry, 1992 ; Gaujons, 1995**).

7.1.9. Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Les eaux de surface ne contiennent pas plus de 10mg/l de nitrates (**Potelon et al., 1998**). Selon **Gaujons (1995)**, les nitrates peuvent avoir plusieurs origines :

- Minéralisation de la matière organique ;
- Engrais azotés ;
- Résidus animaux, fumier, purin ;
- Eaux usées domestiques et stations d'épuration.

L'intérêt des nitrates réside, non seulement, dans leur rôle d'indicateur de pollution, mais aussi, et surtout dans leur rôle de fertilisant des eaux puisque, c'est essentiellement, sous cette forme que les plantes assimilent l'azote associé aux phosphates. Les nitrates favorisent la croissance, parfois exagérée, de la flore aquatique microscopique et macroscopique, ce qui peut ensuite entraîner une baisse de la teneur en oxygène dissous (**Beaudry et Henry, 1992**).

7.1.10. Le phosphore

D'après **Dussart (1966)**, le phosphore est le métalloïde le plus nécessaire à la vie aquatique, le moins abondant en général et celui qui se présente sous la forme la plus simple, celle d'orthophosphate. Le phosphore est essentiel pour la croissance cellulaire, en intervenant dans de nombreuses réactions cellulaires, tels que : le transfert d'énergie, la biosynthèse des acides nucléiques, ...etc. En ce qui concerne la production phytoplanctique, la forme préférée pour les microalgues, c'est l'orthophosphates (PO_4^{2-}). Bien que la biomasse algale contienne moins de 1% de P, c'est souvent l'élément le plus limitant pour la production primaire. Ceci s'explique par son association facile à d'autres ions (Fe , CO_2^- par exemple) et se traduit par sa précipitation, qui le rend inutilisable par les algues. En Méditerranée, le phosphore est l'élément le plus souvent limitant (**Krom et al., 1991 ; Rossi, 2008**).

7.1.11. La concentration en chlorophylle a.

La chlorophylle a est un pigment indispensable à la photosynthèse des algues, Son dosage sert à estimer la biomasse phytoplanctonique du milieu aquatique. Les concentrations en chlorophylle dans les eaux superficielles présentent une variabilité saisonnière, sur le développement phytoplancton qu'est en effet, tributaire de l'énergie lumineuse, de la concentration en sels nutritifs, de la stabilité des masses d'eaux et de l'intensité de la consommation par le zooplancton (**Lorenzen, 1967**).

7.2. Facteurs d'origine biotique

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

- Les facteurs physico-chimiques d'origine biotique conséquences des activités métaboliques et par les sécrétions dans le milieu de substances favorables ou toxiques pour les autres espèces.
- Les facteurs trophiques de nature biologique, à l'exemple des sels nutritifs libérés dans les eaux (ou le sol) sous l'action de la décomposition.
- Les facteurs intraspécifiques, qui regroupent les interactions se déroulant à l'intérieur d'une même espèce (entre individus).
- Les facteurs interspécifiques, qui concernent les interactions entre populations d'espèces différentes (facteurs de prédation et de parasitisme) (**Leveque, 2001**).

8. Rôle du phytoplancton dans l'écosystème aquatique

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

8.1. Dans la photosynthèse

L'importance du phytoplancton dans les milieux aquatiques est due à leur capacité de synthétiser des hydrates de carbone et de l'oxygène, à partir des éléments minéraux dissous dans l'eau et de l'énergie lumineuse, selon l'équation de Redfield (**Stumm et Morgan, 1996**). Lors de la photosynthèse, le phytoplancton est capable de fixer en milieu marin entre 20,109 et 55,109 tonnes de carbone (**Mann et Lazier, 1966**).

8.2. Dans la chaîne alimentaire

L'importance du phytoplancton était déjà perçue chez les pêcheurs au moyen âge chez lesquels existait l'adage «qui dit poisson dit plancto » (**Trégouboff et Rose, 1957**). Le

phytoplancton est situé à la base de la chaîne trophique pélagique, il est responsable d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques (**Reynolds, 1998**). De ce fait il conditionne la production de poissons, de moules, d'huitres, de crevettes et d'autres produits (**Hansen et al., 2001**)

8.3. Dans le traitement des eaux usées

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

- Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries (**Humenik et Hanna, 1971**). Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques (**Abeliovich et Weisman, 1978; Pearson et al., 1987**).
- Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires (**Kalisz, 1973; Pouliot et Delanoüe, 1985; Ergashev et Tajiev, 1986**).
- Elles agissent comme bio absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux (**Beker, 1983**).
- Par leur activité biologique, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et même leur disparition (**Parhad et Rao, 1974; Pearson et al., 1987**).

8.4. Autres rôles du phytoplancton

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

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

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

Chapitre II :
Description de la zone
d'étude



1. Présentation de la wilaya de Mila

1.1. Situation géographique

La wilaya de Mila se situe au Nord-est de l'Algérie à 464 m d'altitude, et à 73 Km de la mer Méditerranée. Elle fait partie de l'Est de l'Atlas tellien, par une chaîne de montagnes qui s'étend d'Ouest en est sur l'ensemble du territoire nord du pays (**Andi, 2013**). Elle occupe une superficie de 0,14% de la superficie totale du pays. Une wilaya de 3481 Km² où vivent 810370 habitants en 2011 (**Atmania, 2010**). C'est en découpage administratif de 1984, que Mila a été décomposé en 32 communes (**Chaalal, 2012**). Mila est l'une de la mosaïque des wilayas de l'Est (**Fig. 7**) :

- ✓ Au Nord-ouest par la wilaya de Jijel ;
- ✓ Au Nord-est par la wilaya de Constantine et Skikda ;
- ✓ À l'Ouest par la wilaya de Sétif ;
- ✓ Au Sud-est par la wilaya D'Oum-El Bouaghi et Batna.

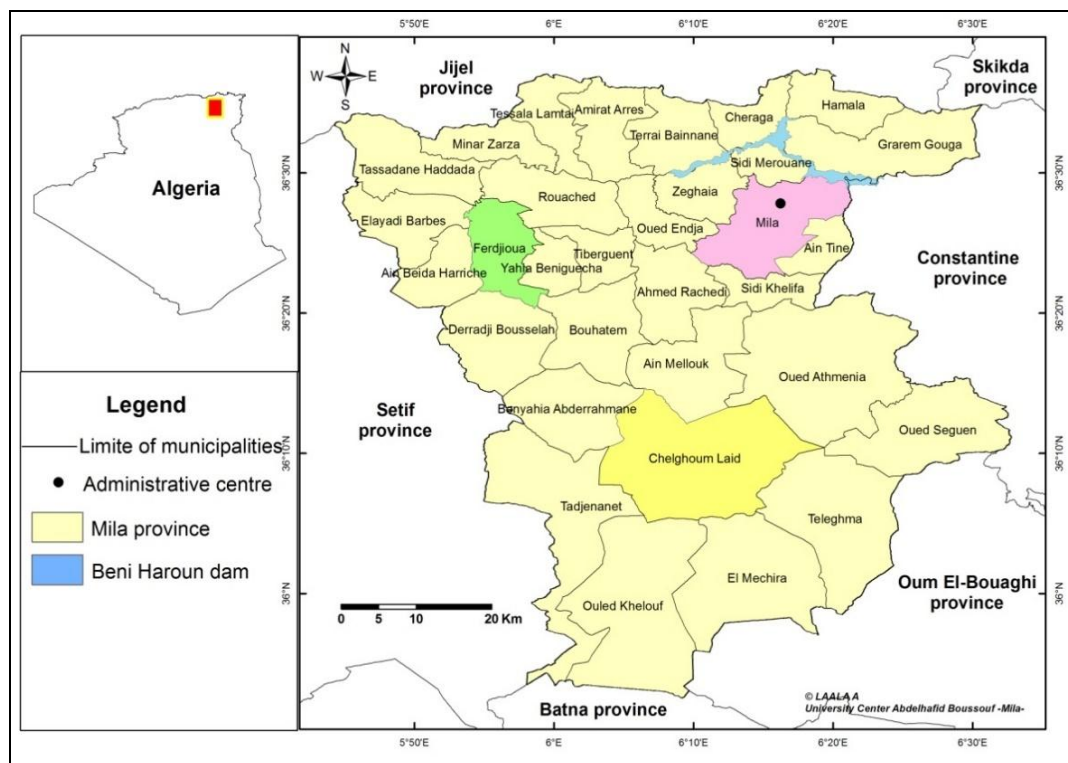


Figure 7 : Localisation géographique de la wilaya de Mila (Andi, 2013)

1.2. Topographique :

La wilaya de Mila comporte 03 zones qui se distinguent vis-à-vis leurs reliefs:

- La zone du Nord : elle est de caractère montagnard, sa surface agricole labourée est de 14%, la pluviométrie annuelle oscille entre 600 mm et 1200 mm annuellement. Cette

zone est connue par la production des arbres fruitiers particulièrement l'olivier mais aussi la pratique de l'apiculture.

- La zone médiane : elle occupe 68% de la surface agricole labourée, des tranches pluviométriques annuelles de 400 mm à 600 mm par an. Ici, on pratique les grandes cultures et l'élevage.
- La zone Sud : elle occupe 18% de la surface agricole labourée. C'est la zone des hauts plateaux. Les précipitations ne dépassent pas 350 mm par an. Cette zone est connue par la culture des céréales fourragères, l'élevage et l'aviculture mais aussi par les cultures maraichères en irrigué (**Belahlou, 2016**).

1.3. Caractéristiques géologiques :

✓ Pédologie :

Du point de vue pédologique on peut dire que :

- Presque la totalité des sols de la wilaya de Mila sont des sols bruns forestiers (Sols brunifiés) ;
- La majorité des sols observés sont acides

Les caractéristiques spécifiques de ces sols sont :

- Forte rétention en eau avec une capacité maximale ;
- Apparition de fentes de retrait en périodes sèches (**Berkal et Elouaere, 2014**).

✓ Géologie :

Le bassin de Mila appartient au domaine externe de la chaîne Alpine d'Algérie Nord orientale qui est rattachée à la branche Sud des maghrébines entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est (**Atmania, 2010**).

La partie Nord Orientale de cette branche est généralement subdivisée en deux grands domaines qui sont : Un domaine interne, regroupant le socle kabyle et les formations des flysch et un domaine externe, correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays (**Atmania, 2010**).

✓ Le relief

Selon l'Agence Nationale de Développement de l'Investissement (2013) le relief de la wilaya de Mila est structuré en trois ensembles morphologiques (**Fig.8**) :

- ✓ Au Nord, un ensemble de hautes montagnes, caractérisé par les altitudes très élevées et des pentes excessivement marquées ;
- ✓ Au centre, un ensemble associant vallées – collines et piémonts, voire même quelques hauts versants ;
- ✓ Au Sud, un ensemble de hautes plaines (plaines et collines).

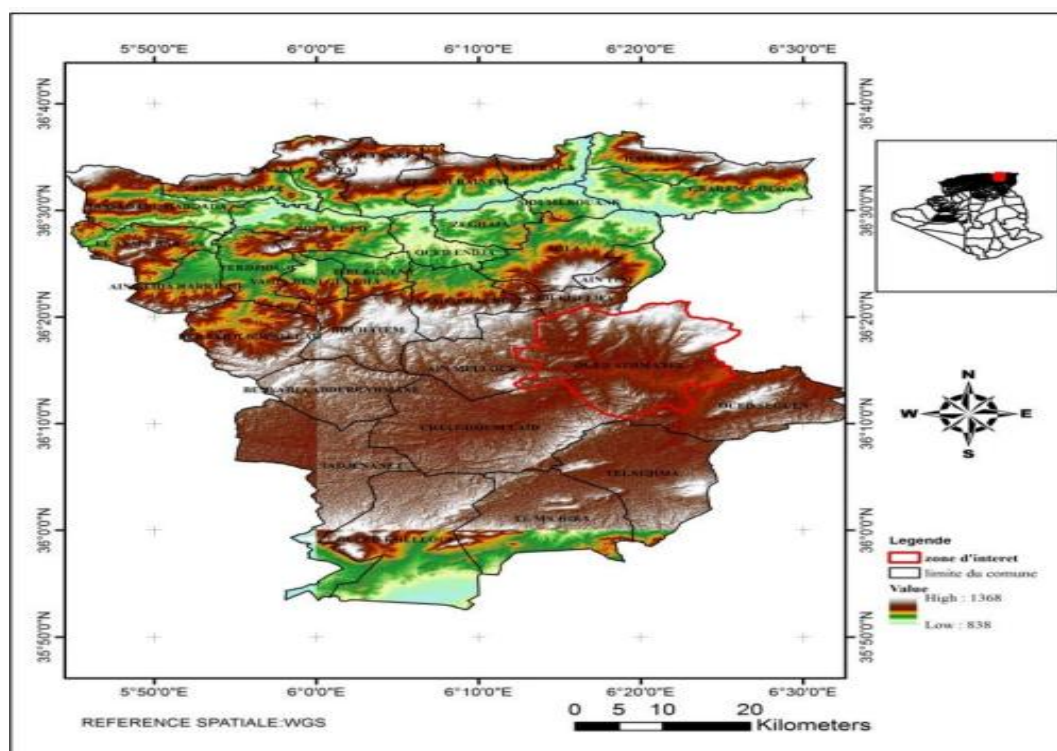


Figure 8 : Représentation des différentes formes du relief de la wilaya de Mila (Andi, 2013)

1.4. Réseau hydrologie :

Les ressources hydrauliques regroupent les eaux de surface et les eaux souterraines. Ces dernières sont, en l'absence d'études hydrogéologique récentes et fiables, encore mal connues. Les quelques données existantes qui les concernent indiquent qu'elles sont a priori plus faibles que les premières (Tab.2) (Andi, 2013).

Tableau 2: Apports en eaux « Données de la station de Mila » (Andi, 2013).

Ressource	Potentiel en eau (hm ³)	Mobilisable (hm ³)	Taux (%)
Superficielle	1005,05	1075,05	100,16
Souterraine	38,64	23,336	60,39%

1.4.1. Les eaux souterraines :

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain **(Myrand, 2008)**.

1.4.2. Les eaux de surface :

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, par les eaux de ruissèlement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots) **(Degremont, 2005)**.

1.5. Climatologie

La climatologie est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée **(Aissaoui, 2013)**. Aussi, la bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude. Ces données sont consolidées à la carte climatique élaborée par l'ANRH. La wilaya de Mila est régie par trois microclimats, calqués sur l'agencement des trois grands ensembles morphologiques.

- Humide, pour les reliefs montagneux du Nord et de la partie médiane, qui s'étend de Bouhatem à Aïn Tine ;
- Semi-aride à subhumide, pour la partie médiane de la wilaya (dépression et ses versants) ;
- Semi-aride, pour les « hautes plaines » **(Andi, 2013)**.

1.5.1. La température :

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère **(Ramade, 1982)**.

Les moyennes mensuelles des températures (C°) enregistrées au cours de la période (octobre 2018 - mai 2019) dans la région de Mila **(Station Météorologique d'AinTinn, 2018 et Google Météo, 2019)**.

Tableau 3: Données de température (Station Météorologique d'Ain Tinn, Mila 2018 et Google Météo, 2019).

Mois	T(C°)
Janvier	8,39
Février	8 ,40
Mars	11,87
Avril	14,41
Mai	17,68
Juin	22,60
Juillet	26,80
Août	26,74
Septembre	22,16
Octobre	18,6
Novembre	12,60
Décembre	9,5

1.5.2. Les précipitations :

Les précipitations constituent évidemment, le paramètre climatique essentiel. Leur intensité, leur continuité et leur périodicité sont l'origine même de l'écoulement, de sa localisation et de sa violence (**Kerdoud, 2006**).

L'interprétation de l'histogramme (**Fig.9**). Fait sortir, que d'une manière générale les précipitations se caractérisent par leur irrégularité interannuelle. La moyenne annuelle des pluies précipitées pour la période 20018/2019, est de 665,79mm. Le mois de février, est le mois le plus abondant en pluie, il a connu un excédent de 90,46 mm, À l'inverse, le mois de juillet, a connu un déficit de 12 ,16 mm c'est le mois le plus sèche (**Tab 01 ; annexe 01**).

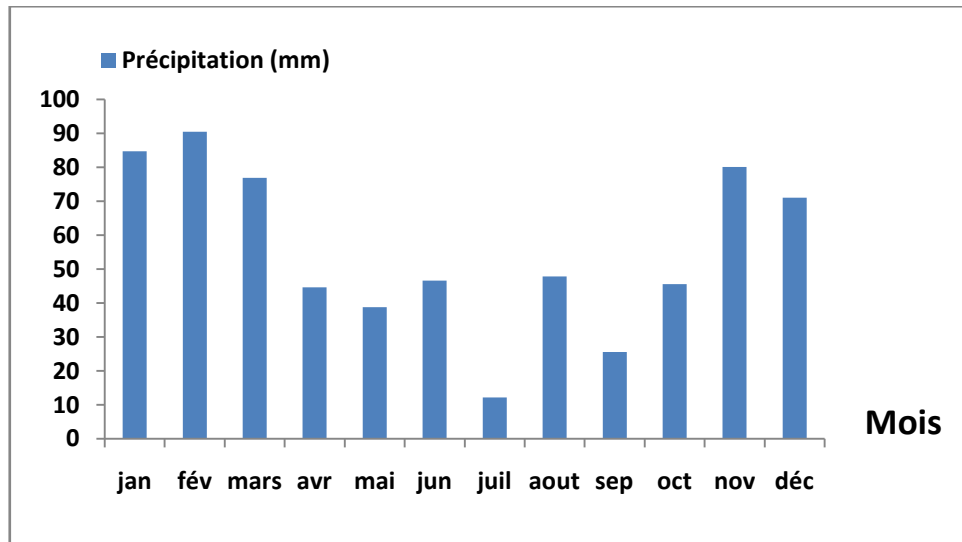


Figure 9: Variation de la moyenne de précipitation mensuelle dans la région d'étude Mila (2018/2019).

1.5.3. L'Humidité :

C'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans un volume d'air donné et la quantité possible dans le même volume à la même température (**Villemeuve, 1974**). Selon (**Faurie et al., 2003**), elle dépend de plusieurs facteurs climatiques comme la pluviométrie, la température et le vent.

Il s'avère selon l'histogramme de (**Fig.10**), que le mois qui représente la plus forte humidité est celui de décembre avec 76,18% et le mois qui représente la plus faible valeur est celui de juillet avec 50.25% (**Tab 01 ; annexe 01**).

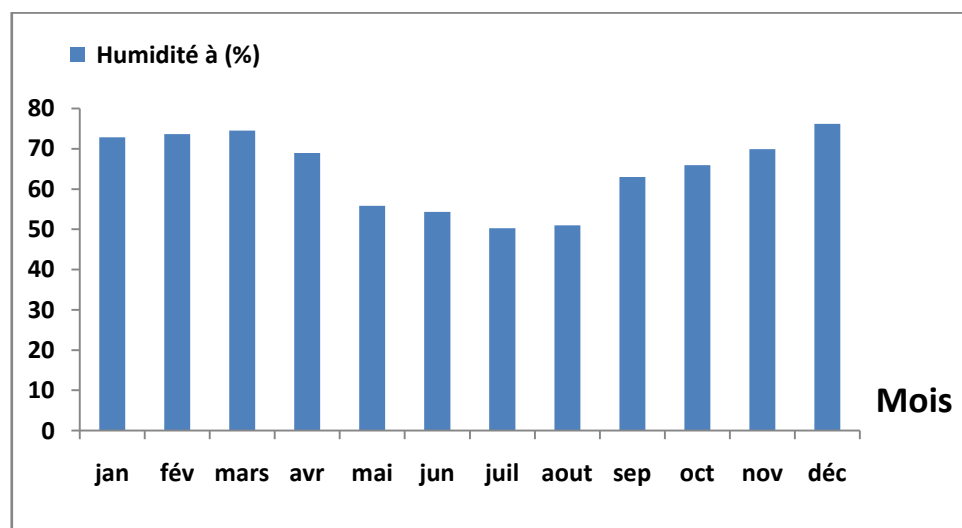


Figure 10: Variation de la moyenne de l'humidité mensuelle dans la région d'étude Mila (2018-2019).

1.6. Synthèse climatique

1.6.1. Diagramme Ombro-thermique de Bagnouls et Gaussen :

Le Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls est la combinaison de deux Paramètres climatique principaux, qui sont la température et la précipitation (**Bagnouls et Gaussen, 1957**).

Ce diagramme permet d'estimer les éléments du climat d'une région du point de vue Précipitations et températures pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides. Pour ces deux auteurs un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température

($P \text{ (mm)} \leq 2T^{\circ}\text{C}$). Cette relation permet d'établir un graphique sur le quel, les précipitations sont portée à l'échelle double des températures (**Bagnouls et Gaussen, 1957**).

La wilaya de Mila, se caractérise par une période sèche de six mois qui s'étale du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre et une autre période humide étend sur six mois du début de janvie jusqu'à le mois avril et la deuxième sur deux mois et du début de novembre jusqu'à la du mois décembre(**Fig.10**).

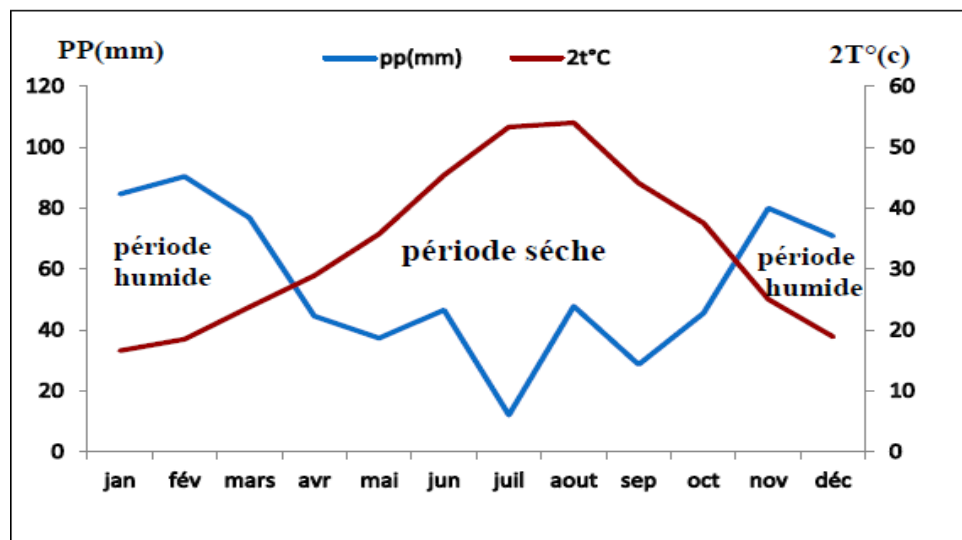


Figure 11: Diagramme Ombro-thermique de Bagnouls et Gaussen de la région d'étude Mila (2009-2017).

1.6.2. Quotient pluviométrique d'Emberger :

Cet indice nous aide à définir les 5 types de climat méditerranéen en du plus aride jusqu'à celui de haute montagne (**Emberger, 1955**). Il se base sur le régime des précipitations et des températures et il s'exprime selon la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}}$$

- ✓ Q_2 = quotient pluviométrique d'Emberger ;
- ✓ P = Précipitation annuelle moyenne (mm) ;
- ✓ M = Températures maximale du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{K}$) ;
- ✓ m = Températures minimale du mois le plus froid ($^{\circ}\text{K}$) ;
- ✓ Les températures sont exprimées en degrés absolus [$T^{\circ}\text{K} = T^{\circ}\text{C} + 273,2$] ;

$Q_2 = 122.4081$.

- ✓ Les données météorologiques de la région de Mila pendant la période 2009/2017.

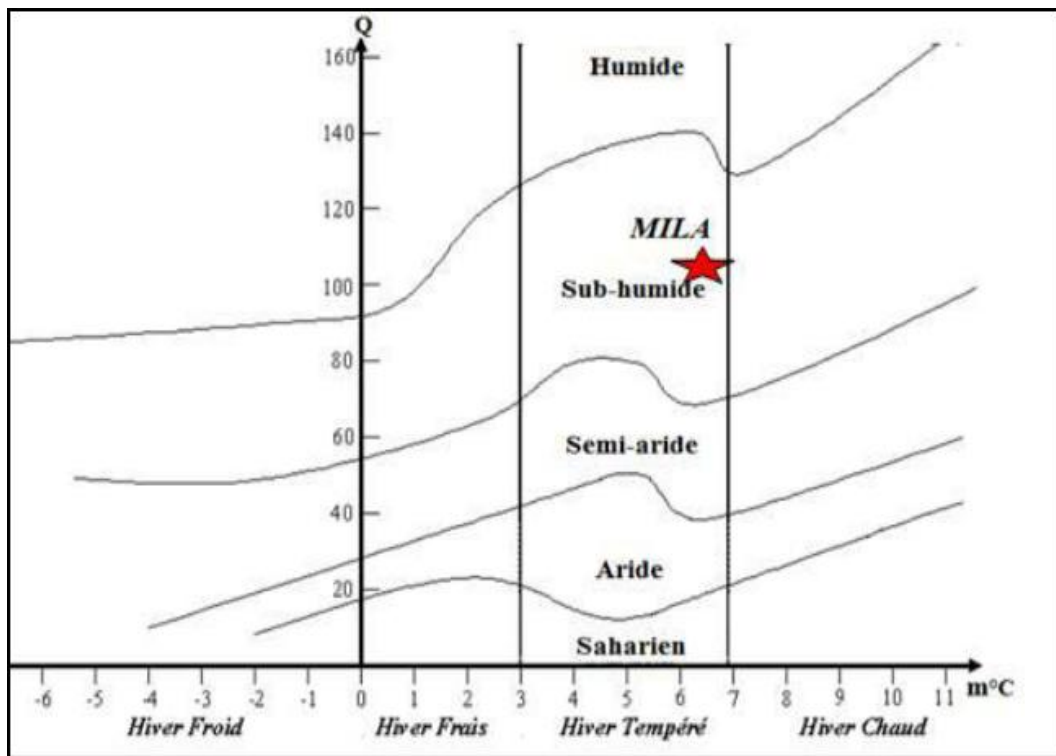


Figure 12: Climagramme d'Emberger de la région étude Mila (2018-2019).

1.7. Végétation

La superficie des forêts dans la wilaya de Mila est estimée à 38695 hectares (12 % de la superficie totale). Elle est composée de :

- ✓ Forêts naturelles représentants dont l'espèce dominante est le Chêne Liège ;
- ✓ Les reboisements sont les principales essences : le pin d'Alep et le Cyprès ;

- ✓ Les Maquis (Maquis de Chêne vert genévrier) ;
- ✓ Prairie naturelle de 23040 hectares (8%) ;
- ✓ Terre improductive de 16453 hectares (5%) **(Belahlou, 2016)**.

2. Présentation du site d'étude « Barrage Sidi Khelifa»

2.1. Localisation de commun Sidi Khelifa :

Les localités concernées par notre projet appartiennent à la commune de Sidi Khelifa wilaya de Mila, située au Sud du chef lieu de wilaya, et La superficie estime 4628 hectares soit 46,28 km² (**Service du cadastre -Mila, 2017**).

Sur le plan administratif, la commune de Sidi Khelifa est rattachée à la daïra de Mila et elle est limitée (**Fig.13**) :

- Au Nord par les communes de Mila et Ain Tine ;
- Au Sud par les communes d'Ain Melouk et Oued Athmania ;
- A l'Est par la commune d'Ibn Ziad (wilaya de Constantine) ;
- A l'Ouest par la commune d'Ahmed Rachedi.



Figure 13: Carte administrative de la wilaya de Mila (Service du cadastre -Mila, 2017).

2.2. Le barrage Sidi Khelifa

C'est un barrage de transfert des eaux, situé au sud de la wilaya de Mila. Il fait partie du grand transfert de barrage de Béni Haroun par le quel transitent annuellement les 504 Mm³, Il servira à alimenter 05 wilayas de l'Est algérien. À environ 25 Km au Sud du chef lieu, près de la ville de Sidi Khelifa. Il possède une capacité de 33 600 000 m³ et une longueur de digue de 600 mètre.

Le bassin de Sidi Khelifa situé sur la partie amont du grand bassin de Kebir- Rhumel, est drainé sur sa partie Nord par Oueled El Kaim qui prend sa naissance sur le flanc Sud du Djebel Lakhal (la source de Ras El MA) à la côte 1030 m (**Fig.14**). Il reçoit sur ses rives quelques ruisseaux d'importance minime avant de se jeter dans le Rhumel, avec un bassin versant de surface 16,5Km² (**Anbt, 2015**).



Figure 14: Barrage Sidi Khelifa (Cliché personnel, Avril 2022).

Chapitre III

Matériel et méthodes



1. Echantillonnage

Les échantillons sont prélevés à l'aide de flacons en verre munis d'un bouchon à visse métallique, d'une contenance de 250 ml, stériles pour faciliter les prélèvements et éviter tout type de contamination (**Derwich et al., 2008 ; Merzoug, 2009**).

Pour éviter les risques de contamination, les flacons d'échantillonnage ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement. Une fois l'échantillon est prélevé, les flacons doivent être fermés hermétiquement jusqu'au moment des analyses physicochimique et phytoplanctonique (**Rejsek, 2002 ; Merzoug, 2009 ; Rodier, 2009**).

Les flacons de prélèvement sont plongés dans l'eau, nous les ouvrons à une Profondeur de 25 à 30 cm, fermé hermétiquement dans l'eau sans laisser des bulles d'air (**Rodier, 2005**).

Les analyses physicochimique on était effectué au niveau du laboratoire de l'Algérienne des eaux (ADE, Mila) le jour même de prélèvement.

L'échantillonnage de phytoplancton dans les eaux libres d'un lac se fait par prélèvement d'échantillons instantanés en surfaces ou en profondeur, ou les deux, mais on peut aussi utiliser un filet. Bien des espèces ou des sujets peuvent passera travers les mailles du filet, même si elles sont petites ; en outre le filet peut perturber les colonies, et le sujet appartenant à des espèces fragiles peuvent éclater sous la pression excessive, l'échantillon de phytoplancton est fixé sur le terrain à l'aide d'une solution de Lugol alcalin.

A chaque fois en utilisant les analyses et l'observation phytoplanctonique dans un délit de 24heurs au maximum (**Ccme, 2011**).



Figure 15: Le prélèvement des échantillons d'eau (Cliché personnel, Avril 2022).

2. Prélèvement de l'eau à analyser

Les principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :

- ✓ Date et heure de prélèvement ;
- ✓ Point de prélèvement d'eau (**Rodier, 1997**).



Figure 16: L'eau à analyser (Cliché personnel, Mai 2022).

2.1. Choix des points de prélèvement

Pour un bon jugement de l'eau, on a choisi deux sites différents au niveau barrage Sidi-Khelifa, l'un est Oueled El Kaim Nord-Est "site 1", l'autre près de la Digue Nord-Sud "site 2" (**Fig.16**), dans des conditions règlementaires d'hygiène et d'asepsie.

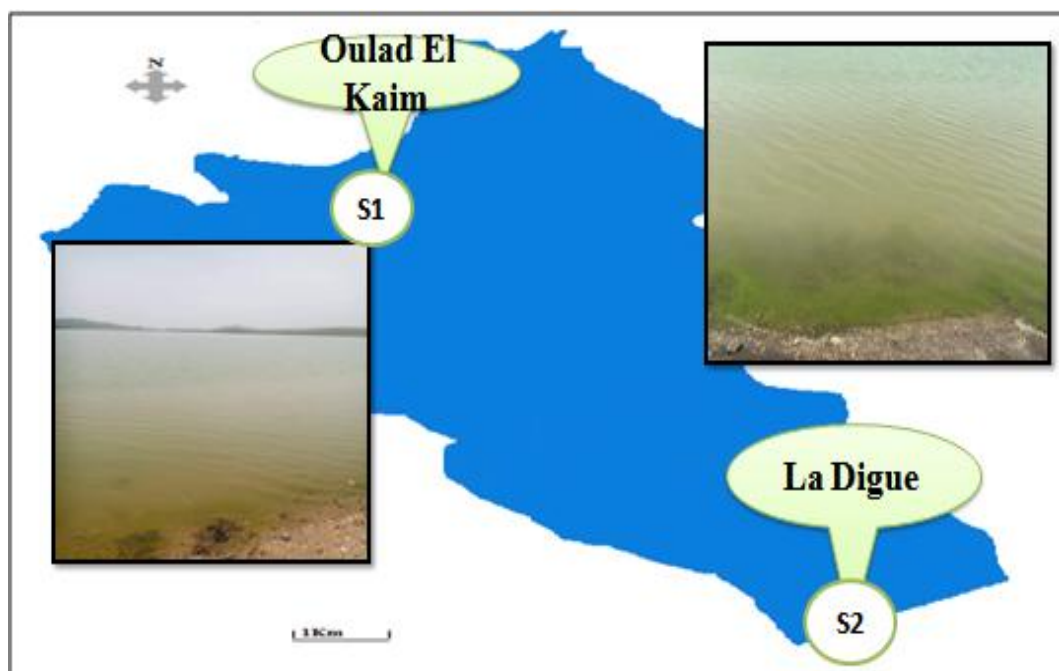


Figure 17: Les points de prélèvement.

Les eaux doivent être prélevées dans des flacons stériles. Ceux-ci sont immergés en position verticale en le tenant par le fond. Deux flacons de 250 ml, un est réservé pour l'analyse phytoplancton alors que l'autre conçu pour l'analyse physico-chimique (**Rodier, 2005**).

2.2. Nature et période de prélèvement :

Tableau 4: La nature et période de prélèvement.

Nature de prélèvement	Période de prélèvement	Type d'analyse effectuée
Eaux des barrages	25 Avril 2022	phytoplanctonique et Physico-chimiques
	11 Mai 2022	
	8 Juin 2022	

3. Transport des échantillons

Le transport en glacière pour maintenir la température dans les environs 4°C, les prélèvements sont placés aux froids dès leurs arrivés au laboratoire avant de commencer Les analyses physico-chimique doivent être ou moins de 2 heures après avoir pris le prélèvement (**Rodier, 1996**).

4. Analyses physico-chimiques

Une série des paramètres physico-chimiques du ont été effectuée sur les eaux de barrage Sidi-Khelifa, ces paramètres qui sont : T, pH, Turbidité, Oxygène Dissous, MES, CE, Nitrites, Nitrates.

4.1. Température

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle direct sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau ; et elle a aussi une grande influence sur l'activité biologique, La température de l'eau a été toujours mesurée la matinée (entre 8h et 10h) in situ à l'aide d'un thermomètre à mercure (**Roux, 1987 ; Rodier, 1996 ; Leclerc, 1996 ; De Villers et al., 2005**).

4.2. Mesure de pH

- **Principe**

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de plusieurs facteurs dont la température et l'origine de l'eau. Le pH est en relation avec la

concentration des ions hydrogène H^+ présent dans l'eau ou la solution (Fig.17). (Coulibaly, 2005).

- **Mode opératoire**

- **Etalonnage de l'appareil**

- Allumer le pH mètre ;
 - Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ;
 - Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=7 ;
 - Régler l'agitation a faible vitesse ;
 - Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH=7 ;
 - Laisser stabiliser un moment jusqu'à l'affichage du standard ;
 - Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée ;

- **Dosage de l'échantillon**

- Prendre environ =100ml d'eau à analyser ;
 - Mettre un agitateur avec une faible agitation ;
 - Tremper l'électrode dans le bécher ;
 - Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation (Coulibaly, 2005).



Figure 18: pH mètre (Cliché personnel, Mai 2022).

4.3. Mesure de la turbidité (NTU)

La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent. Dans d'eau, elle est généralement causée par des matières en suspension et des particules colloïdales qui absorbent, diffusent ou réfléchissent la lumière, en utilisant le turbidimètre, Unité : NTU (**Fig.19**).

- **Principe**

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières en suspension se fait par comparaison entre la lumière diffusée et la lumière transmise par un échantillon d'eau (**Glaude et Robert, 2001**),

- **Mode opératoire**

- Les échantillons d'eau prélevés sont placés dans des cuves stériles ;
- Une agitation manuelle est faite pour homogénéiser l'échantillon et éliminer de tous les bulles d'air ;
- Après avoir placé la cuve dans le turbidimètre et choisir le programme de lecture spécifique à la turbidité, le résultat est directement lu sur un écran d'affichage (**Glaude et Robert, 2001**).



Figure 19: Turbidimètre (Cliché personnel, Mai 2022).

4.4. Oxygène dissous

Le terme oxygène dissous est communément employé pour (dioxygène dissous). lorsque l'on parle de cette mesure on fait exclusivement référence à l'oxygène moléculaire (**Sauriau et al., 1984-1994**).

Le dioxygène dissous est indispensable car il intervient dans la plupart des processus biologiques qui permettent la vie sur terre comme en mer (**Touahria, 1999**).

- **Mode opératoire**

- Prendre environ 100 ml de l'échantillon à mesurer ;
- Tremper l'électrode dans le bécher contenant l'eau à analyser ;
- Laisser stabiliser un moment ;
- Noter la valeur indiquée. ;
- Matériel utilisé : Oxymétrie ;
- Unité : mg/l.

4.5. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont des particules très fines en suspension dans l'eau. On les trouve sous forme naturelle dans les fleuves et rivières et elles troublent l'eau (**Satin et Selmi, 1999**).

- **Principe**

La détermination de la matière en suspension est mesurée par la méthode de filtration sur disque filtrant (**Rodier et al., 2009**).

- **Mode opératoire**

- Nous débutons par le séchage du filtre dans une étuve à 105 °C pendant 15 minutes ;
- Refroidissement du filtre dans un dessiccateur, il est pesé sur une balance.
- Nous filtrons 250 ml d'eau à analyser sur ce filtre placé au préalable sur un rampe de filtration jusqu'à filtration complète ;
- Le filtre est ensuite séché dans une étuve à 105°C pendant une à deux heures ;

- Après refroidissement pendant 15 minutes, le filtre est pesé une seconde fois, ce qui nous permet d'estimer la part des matières en suspension, et ceci en soustrayant le poids initial du filtre de son poids après filtration (**Fig.20**) (**Rodier et al., 2009**).
- La teneur en matière en suspension est exprimée en milligramme par litre (mg/l) et donnée par la formule suivante :

$$\text{MES} = (p2 - p1) \times 1000$$

- **p1** : Le poids du filtre sec ;
- **p2** : Le poids du filtre après séchage.



Figure 20: Matériel pour la détermination de matière en suspension (Cliché personnel, Mai 2022).

4.6. Conductivité Electrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$):

Conductivité électrique l'aptitude d'un matériau ou d'une solution à laisser les charges électriques se déplacer librement et donc permettre le passage d'un courant électrique (**Satin et Selmi, 1999**).

- **Mode opératoire :**

- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité ;
- Faire la mesure dans un récipient contenant de l'eau à examiner en prenant soin que les électrodes soient bien émergées.
- Unité : $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figure 21: Conductimètre (Cliché personnel, Mai 2022).

4.7. Nitrites (NO_2^-)

Sont des anions dans l'environnement, ils peuvent aussi venir de la transformation des nitrates en nitrites au sein de l'organisme, il en existe plusieurs sortes comme les nitrites de potassium ou les nitrites de sodium, Sont mesuré par Spectrophotomètre ; Unité : mg/l. (Henry et Beaudry, 1992 ; Gaujons, 1995).



Figure 22: Détermination de nitrites (Cliché personnel, Mai 2022).

- **Mode opératoire :**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml de réactif mixte ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence de NO_2^- .

4.8. Nitrates (NO_3^-)

Un nitrate est un composé associant dit, c'est un sel (nitrate de sodium, nitrate de potassium, etc.) ou un ester (nitrate d'éthyle, nitrate d'amyle, nitrate de cellulose, etc.) de l'acide nitrique, Sont mesuré par Spectrophotomètre ; Unité : mg/l (**Potelon et al., 1998**).

- **Mode opératoire :**

- Prendre 10 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30% ;
- Ajouter 1 ml de Salicylate de Sodium ;
- Evaporer à sec au bain Marie ou à l'étuve à une température de 75-88 °C et laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique pur ;
- Laisser reposer 10 mn puis ajouter 1 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium ;
- Multiplier par 4,43 pour obtenir la concentration en NO_3^- .



Figure 23: Détermination de nitrites (Cliché personnel, Mai 2022).

5. Analyses des paramètres phytoplanctoniques du phytoplancton

5.1. Fixation et stockage des échantillons

L'échantillon de phytoplancton est fixé sur le terrain à l'aide d'une solution de Lugol alcalin du commerce ou préparée (afin d'obtenir une concentration finale d'environ 0,5 % dans l'échantillon (ou 1ml pour un flacon de 250 ml). Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair, orangée que doit avoir l'échantillon (**Caibi ,2004**).

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. Une décoloration peut se produire avec le temps et/ou la lumière, dans ce cas rajouter quelques gouttes de Lugol pour maintenir la fixation de l'échantillon. Le volume de conservateur ajouté doit être noté car il participe au volume final de l'échantillon. L'échantillon ainsi fixé peut-être conserver au maximum 3 semaines à l'obscurité avant analyse ou 12 mois s'il est maintenu au froid et à l'obscurité entre 1 et 4 °C. Pour une conservation de plus longue (**Christophe et al., 2009**).

5.1.1. Solutions de fixation des échantillons

➤ La solution iodo-iodurée de Lugol alcalin :

Ajouter à l'eau de l'échantillon pour une concentration finale de 0,5%, soit 1ml de lugol pour 250ml afin d'obtenir une couleur brun clair. Si perte de cette couleur dans le temps alors ajouter quelques gouttes de plus. Produit non considéré comme dangereux (**Christophe et al., 2009**).

5.2. La microscopie

L'observation des phytoplanctons se faite par microscopie optique inversée est la technique la plus ancienne et elle permet l'observation d'échantillons sédimentés, l'identification et le comptage des cellules phytoplanctoniques. Ou par la méthode classique entre lame et lamelle avec l'utilisation du microscope optique (**Utermöhl, 1931**).

5.3. Analyse qualitative

5.3.1. Identification des espèces

Les déterminations requièrent parfois des observations préalables au comptage réalisées au microscope droit entre lame et lamelle afin d'établir la liste floristique. Une préparation de lame de diatomées en parallèle est aussi nécessaire lorsque les diatomées sont abondantes (supérieure à environ 20 % en nombre d'individus) dans l'échantillon et non identifiables sans préparation particulière. Toutes les identifications taxinomiques sont réalisées au niveau spécifique ou en cas de difficultés ou d'incertitudes à un niveau moindre (genre, classe,...), à l'aide des ouvrages de détermination disponibles. Il est important de se rappeler qu'il vaut mieux une bonne détermination à un niveau taxinomique moindre qu'une mauvaise à un niveau supérieur. Les ouvrages peuvent être ceux de Bourrelly (1981, 1986, 1990), Compère (de 1986 à 2002), John et al. (2002), Komarek et Anagnostidis (1999, 2005), Komarek et al. (1983), et Leitao et al. (2005) pour les principaux mais aussi d'autres, plus anciens, comme la collection « Die Binnengewasser – Das Phytoplankton des Süsswassers Systematikund Biologie » ou la « L. Rabenhorst's Kryptogamen – Flora » (**Christophe et al., 2009**).

5.3.2. Diversité globale

La diversité d'un échantillon ou d'un site à échantillonner peut-être étudiée par l'emploi de plusieurs méthodes. Celles-ci peuvent être des méthodes univariées (richesse spécifique, indice de diversité), ou des méthodes multivariées (Analyse Factorielle de Correspondances, Analyse en Composantes Principales, ...). (**Magurran, 1988**)

- **Méthodes univariées**

- ✓ **Richesse spécifique**

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

- ✓ **Indices de diversité**

De nombreux indices de diversité sont ainsi proposés et permettent de donner une expression qualitative plus ou moins pertinente de la structure de l'écosystème. Dans cette étude, nous avons utilisé l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité de Piélu. Ces indices considèrent à la fois l'abondance et la richesse spécifique.

- ✓ **L'indice de Shannon (H)** peut se calculer sous deux formes, en utilisant le biovolume et l'effectif spécifique :

$$I_{sh} = - \sum ((n_i/N) \times \log_2 (n_i/N))$$

Avec, n_i = le biovolume ou l'effectif de la i ème espèce et N est le nombre total d'individus dans l'échantillon.

- ✓ L'indice d'Equitabilité de Piélu appelé aussi de régularité, a été utilisé pour rendre compte de l'abondance relative de chaque taxon, de la régularité de la distribution des taxons et de la qualité d'organisation du peuplement. Sa formule est la suivante :

$$E' = H' / \log_2 S$$

Avec, S = le nombre total de taxons dans un échantillon.

H' = indice de Shannon-Weaver (**Ish**)

E' vaut 0 quand un seul taxon domine et 1 quand tous les taxons ont la même abondance (Noël, 2012).

- **Méthodes multi variées**

Ce sont des méthodes d'analyse permettant de regrouper des taxons ou des sites ayant des caractéristiques semblables. Elles indiquent avant tout le degré de ressemblance ou de disparité de la composition en espèces de différentes stations ou de la même station au cours du temps. Une forte corrélation de cause à effet ne peut être obtenue qu'en reliant les groupements de stations aux gradients mesurés de l'environnement (Gray et Pearson 1982). Comme toutes ces méthodes se fondent sur des critères formels, elles semblent plus objectives que d'autres (Noël, 2012).

5.4. Analyse quantitative

5.4.1. Comptages des espèces

Un examen rapide de la chambre, au plus faible grossissement (x4 ou x10), permet de choisir la stratégie de comptage et de vérifier que la répartition des algues est homogène. Si la répartition n'est pas homogène un nouvel échantillon doit être préparé. Le comptage est ensuite réalisé soit sur des transects soit sur plusieurs champs choisis aléatoirement dans l'ensemble de la chambre de comptage (voire l'ensemble de la chambre) habituellement à un grossissement de x400. Dans le premier cas, 1 à 4 transects peuvent être nécessaires. Dans le deuxième cas, un nombre de 30 champs minimum est préconisé. Le déplacement d'un champ à un autre doit se faire sans regarder dans les oculaires afin de ne pas biaiser le relevé. La méthode des champs s'avère être la plus rapide et la plus précise. En plus des règles générales de comptage dans des champs avec ou sans grille de comptage, il est entendu que tout filament par longueur de 100 µm, colonie ou coenobe compte pour un individu Ainsi compte pour un individu :

- ✓ Un coenobe de *Scenedesmus* composé de 4 cellules ;
- ✓ Une colonie d'*Asterionella formosa* souvent composée de 8 à 10 cellules ou,
- ✓ Un *Cryptomonas* composé d'une seule cellule ;
- ✓ Dans le cas de filaments, ils sont comptés par unité de 100 µm de long. Ainsi un filament de *Planktothrix* de 230 µm de long compte pour 3 individus. De la même façon un filament dont la longueur est inférieure à 100 µm compte aussi pour un individu (Christophe et al., 2009).

L'effort de comptage porte sur une surface connue (transects, champs) sur laquelle 400 individus minimum doivent être comptés, tous taxons confondus sur l'échantillon. Dans le cas

d'un comptage sur des champs aléatoires en présence d'une répartition proche de 4 individus par champ, il faudra alors comptés environ 100 champs. Si le nombre de 400 individus n'a pas pu être atteint une justification précise devra être fournie. Le nombre de champs ou de transects nécessaires est noté. Au sein de ces individus le nombre de cellules par individu sera compté directement par l'opérateur sur l'échantillon pendant le comptage lorsque l'observation le permet.

Dans le cas d'organismes pluricellulaires dont les cellules sont difficilement distinguables ou trop nombreuses (*Aphanizomenon* ou *Microcystis*), le nombre de cellules pourra être estimé par individu. Pour les diatomées seules les frustules avec plastes (cellules vivantes) sont comptés. Certaines espèces habituellement coloniales comme *Microcystisaeruginosa* peuvent se rencontrer sous forme de cellules isolées. Dans ce cas l'individu compté est la cellule **(Christophe et al., 2009)**

Les taxons identifiés lors d'une première prospection de l'échantillon, non observés par la suite lors du comptage peuvent être mentionnés dans le relevé mais sans abondance. Ainsi ils participeront à la richesse du peuplement observé. Les résultats seront donnés en abondance exprimée en nombres de cellules par millilitre d'échantillon et en biovolume exprimé en millimètre cube par litre correspondant **(Christophe et al., 2009)**.

En tant que concept écologique, l'abondance est une composante importante de la diversité **(Hurlbert 1971)**. La méthode de comptage d'Utermöhl (1958) a été adoptée pour l'étude quantitative du phytoplancton. Cette technique s'appuie sur la sédimentation des organismes dans une cellule de comptage, d'un échantillon de volume connu. En raison de la richesse des échantillons en particules et en organismes, une dilution des échantillons a été indispensable pour faciliter les comptages tout en gardant une bonne représentativité en termes d'effectif de l'ensemble des organismes présents. Ainsi à partir des échantillons d'eau brute fixés au formol (5%), un sous échantillonnage de 5 ml a été réalisé après agitation et homogénéisation. A ces 5 ml d'échantillon, 20 ml d'eau distillée sont additionnés avant une sédimentation des particules pendant 24 heures. Suivant le type d'organismes, l'unité de comptage a été soit une cellule, une colonie ou un filament. Dans chaque champ, le nombre d'individus (ou unité de comptage) a été déterminé. Le nombre de champs comptés est de 20 pour les espèces les plus fréquemment rencontrées dans l'échantillon (présentes dans tous les 20 champs) et de 40 pour toutes les autres espèces. Pour les colonies, le nombre de cellules par colonie a été déterminé. La répartition de ces champs sur la surface de la cellule de comptage est aléatoire avec un comptage débutant systématiquement au niveau de la partie gauche de la cellule et se terminant au niveau de sa partie droite. Le comptage s'effectue à l'aide d'un microscope inversé, et d'un objectif 40

avec des balayages de plus de 80% de la surface de la cellule de comptage avec alternance de transects. Sont pris en compte dans l'énumération, les individus dont la structure est restée intacte. Entre deux champs, les individus situés vers la partie gauche et qui ne sont pas entièrement situés dans le deuxième ne sont pas comptabilisés pour éviter la répétition de comptage d'un même individu.

Le calcul de la densité s'exprime par la formule suivante :

$$D = Ni \times R \times 1000/V$$

Avec,

D = densité en nombre d'individus par litre.

Ni = moyenne du nombre d'individu d'une espèce.

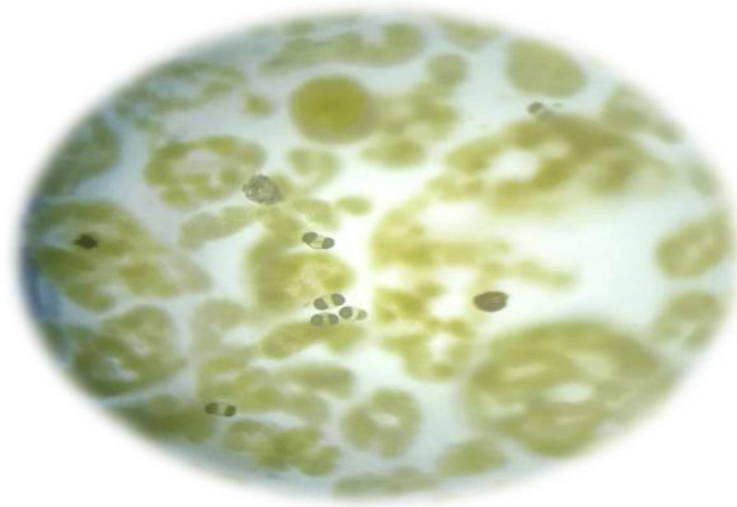
R = rapport entre la surface de la cellule de comptage et la surface du champ oculaire.

1000 = facteur de conversion en litre.

V = volume d'échantillon sédimenté en ml (5 ml généralement).

Chapitre IV

Résultats et discussion



1. Les paramètres physico-chimiques

1.1. La température

La température de l'eau joue un rôle important pour altérer ou accélérer les vitesses des réactions chimiques et phytoplanctoniques, aussi une température élevée favorise la croissance des microorganismes, elle peut aussi accentuer le goût, l'odeur et aggraver les problèmes de corrosion (OMS, 1994).

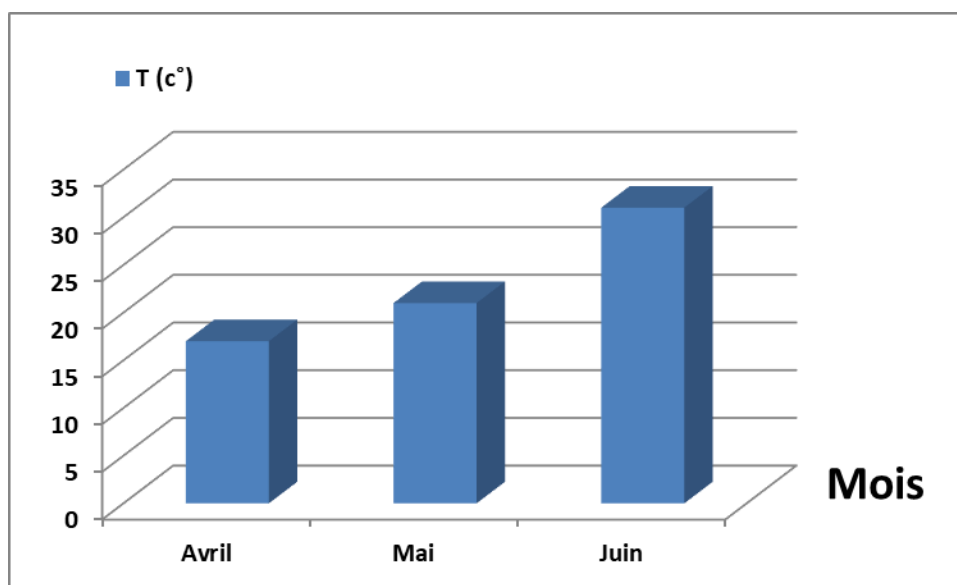


Figure 24: Variation de la température de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril – Juin 2022).

La température des eaux de surfaces varie selon plusieurs facteurs, elle dépend essentiellement de la saison, et l'heure de prélèvement.

Les résultats obtenus ont montré une grande variation de température, la valeur maximale (31°C) a été enregistrée en (juin), pendant le troisième prélèvement. Ainsi que la valeur minimale (17°C) a été marquée durant premier prélèvement (Avril).

Selon le tableau d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Monod, 1989) (Tab.04) ; l'eau de barrage Sidi Khelifa est de qualité qui change entre bonne, médiocre à mauvaise selon les mois de prélèvement (l'influence saisonnière sur la température de l'eau).

Tableau 5: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Monod, 1989 ; Merzoug, 2009).

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

1.2. Le pH

Le pH des écosystèmes aquatiques est utilisé comme paramètre substitut pour représenter les relations complexes entre la chimie de l'eau et les effets biologiques (Jessries *et al.*, 1998 ; Benlatrech et Benslimen, 2002).

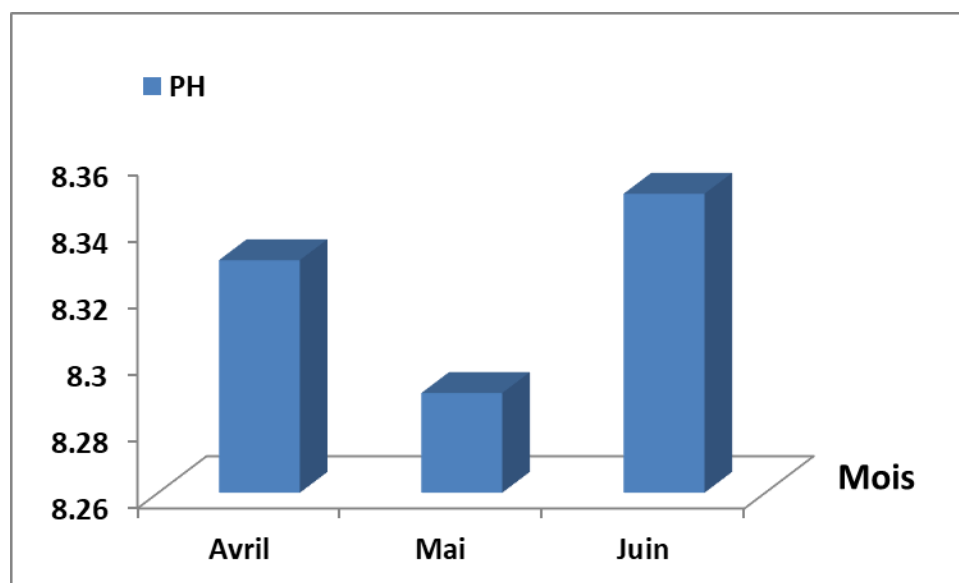


Figure 25: Variation de pH de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

Selon le résultat obtenu les valeurs de pH oscillent entre 8,29 et 8,35, pour l'ensemble des sites, donc la qualité de l'eau est neutre légèrement alcaline, à cause de l'évaporation intense la période d'études (**Tab.05**), alors que ce paramètre est fortement influencé par le changement des composants de l'eau et les activités biologiques.

Tableau 6: Grille d'estimation de la qualité de l'eau selon le pH (Benslimen, 2002).

pH	Qualité de l'eau
pH<5	Acidité forte
pH=7	Neutralité (eau pure)
7<pH<8	Neutralité rapproché (eau de surface)
5.5<pH>8	Majorité des eaux souterraines
pH>8	Alcalinité, évaporation intense

1.3. Turbidité :

La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition) et organismes microscopiques (Rodier et al., 2005).

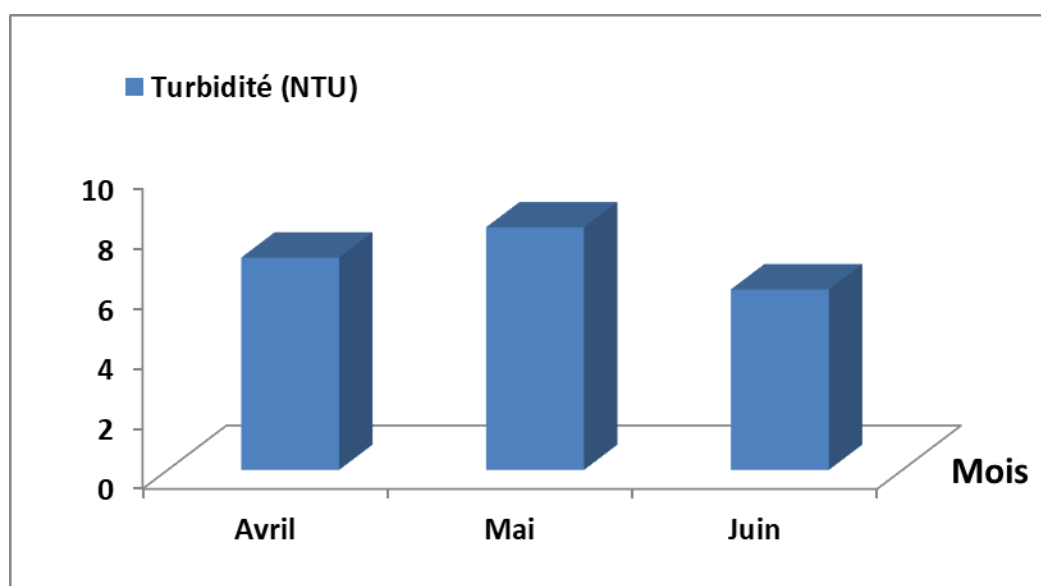


Figure 26 : Variation de la Turbidité de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

D'après les résultats obtenus notre eau est légèrement trouble, dont les valeurs se situent entre 6,02 NTU à 8,09 NTU pour l'ensemble des prélèvements.

Alors que ce paramètre est fortement influencé par la charge en matières en suspension qui résulte de la combinaison de microflore produites comme les phytoplanctons et à la présence de végétation aquatique.

Tableau 7: Classes des eaux selon la turbidité usuelles (NTU, néphélométric turbidity unit) (Rodier et al., 2005)

NTU	La plupart des eaux des surfaces en Afrique atteignent ce niveau de turbidité.
NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

1.4. Oxygène Dissous

L'oxygène dissous est un paramètre intermédiaire indispensable entre les composantes minérales et organiques dans les milieux lacustres (**Dussart, 1992**). Il est également utilisé pour les phénomènes d'oxydation et par des organismes aquatiques pour la respiration (**Aminot, 1983**).

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Une concentration de 3 à 6mg/l constitue la limite inférieure en dessous de laquelle la vie de la flore et de la faune est mise en péril (**Rejsek, 2002**).

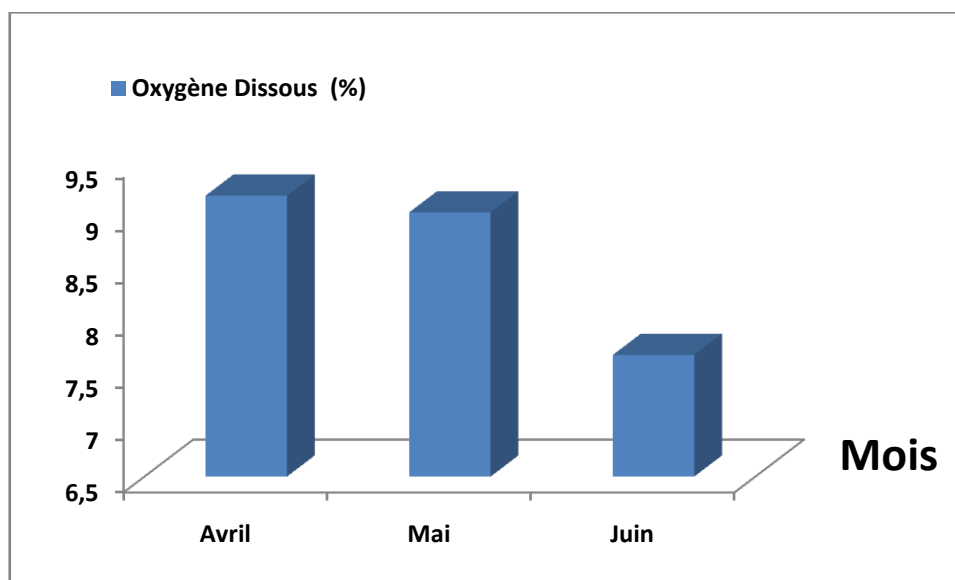


Figure 27 : Variation de l'oxygène dissous de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

La lecture de nos résultats nous permet de dire que les teneurs d'eau en oxygène varient de 7,66 à 9,18% avec une faible fluctuation pour l'ensemble des prélèvements (**Fig.26**). La

valeur la plus basse est enregistrée durant le mois de juin et la valeur la plus élevée est notée en avril.

D'après la grille d'évaluation SEQ-EAU (**Tab.8**), la qualité des eaux de barrage Sidi Khelifa est de très bonne qualité.

Tableau 8 : Qualité de l'eau de barrage Sidi Khelifa, en fonction du pourcentage de saturation en oxygène dissous (Massou, 1988).

Teneur en l'oxygène dissous (%)	Qualité d'eau
>8	Très bonne
6	Bonne
4	Passable
3	Mauvaise
<3	Très mauvaise

1.5. Matière en suspension (MES) :

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux, et qui marque bien le degré de pollution de l'eau (**Satin et Selmi, 1999**).

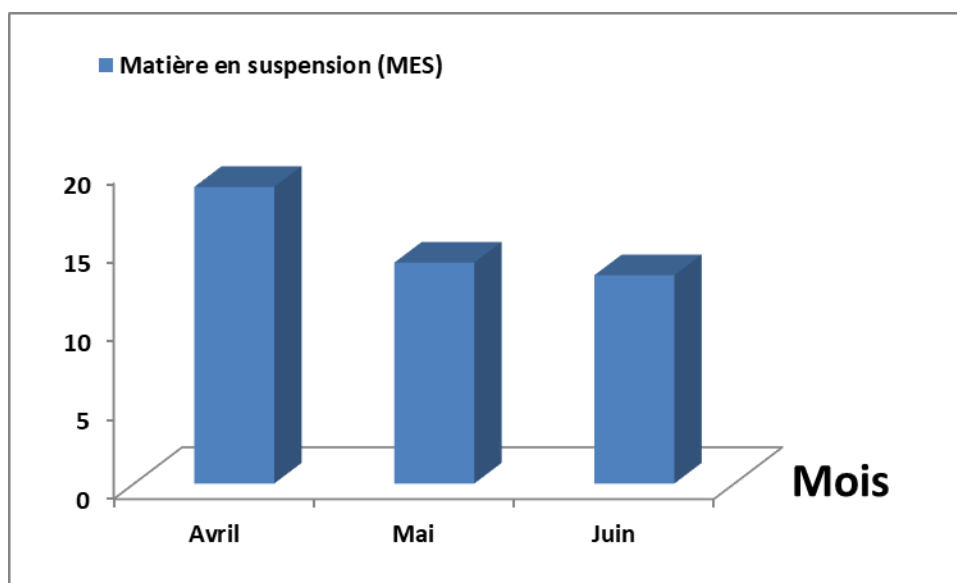


Figure 28: Variation de la matière en suspension Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

Les teneurs de matières en suspension enregistrées oscillent entre 13,2 mg/l (juin) comme valeurs minimale et 18,8 mg/l pendant le mois d'avril et maximale durant les périodes d'études.

Cette augmentation est expliquée par l'existence des terrains agricoles dans ces endroits d'où l'infiltration et l'effet de ruissèlement des eaux surtout la période pluviale ainsi que les activités humaines et la présence des animaux autour des barrages, selon la grille de la classification des eaux selon la matière en suspension (**Tab.8**) la qualité de l'eau est très bonne.

Tableau 9: Grille de la classification de l'état des eaux selon MES (Hammouda, 2013).

MES mg/l	<25	50	100	150	>150
Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	passable	mauvaise	Très mauvaise

1.6. Conductivité Electrique (CE)

La conductivité est une mesure générale de la qualité de l'eau, qui indique la quantité totale des sels dissous. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Rejsek, 2002**), qui peut entraîner selon le cas un goût salé variable selon la nature des sels présents (**Potelon, 1998**).

La mesure de la conductivité permet également d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (**Rejsek, 2002**).

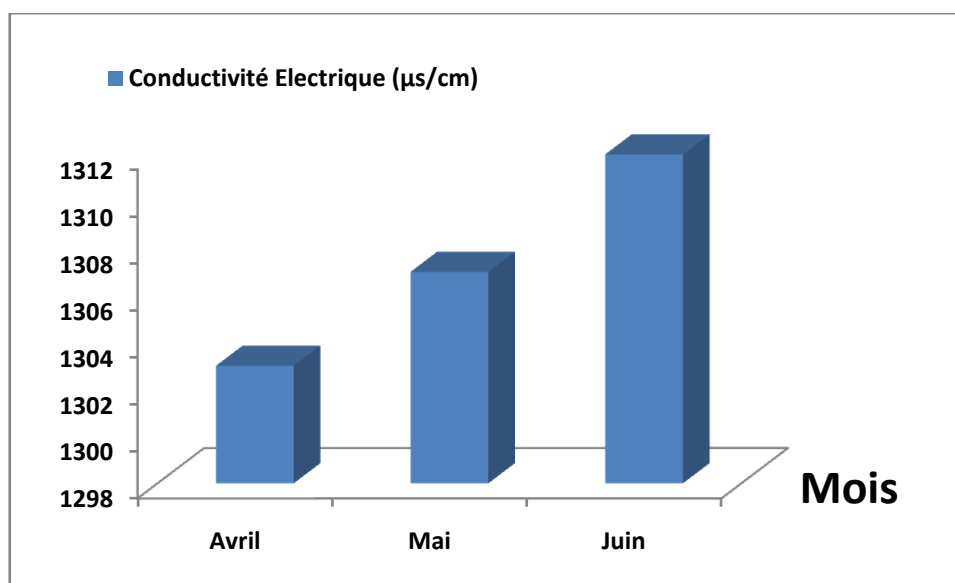


Figure 29: Variation de la conductivité électrique de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

La valeur minimale enregistrée de la conductivité est de 1303 µs/cm (**Fig.28**) pour le mois d'avril et le maximum de 1312 µs/cm est noté en juin. La plus part du temps, la conductivité a une origine naturelle due au lessivage des terrains. Ce lessivage entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux. Elle peut également avoir

pour origine l'activité humaine causée par les effluents agricoles, industriels ou domestiques qui contiennent des sels contribuant eux aussi à l'accroissement de la conductivité.

Après les résultats obtenus des mesures de la conductivité la qualité de l'eau de barrage Sidi Khelifa est élevée.

Tableau 10: Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (Rejsek, 2002).

< 100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

1.7. Nitrites (NO_2^-)

Selon (Dussart, 1992), les nitrites représentent la forme intermédiaire et le résultat de l'oxydation des matières organiques azotées.

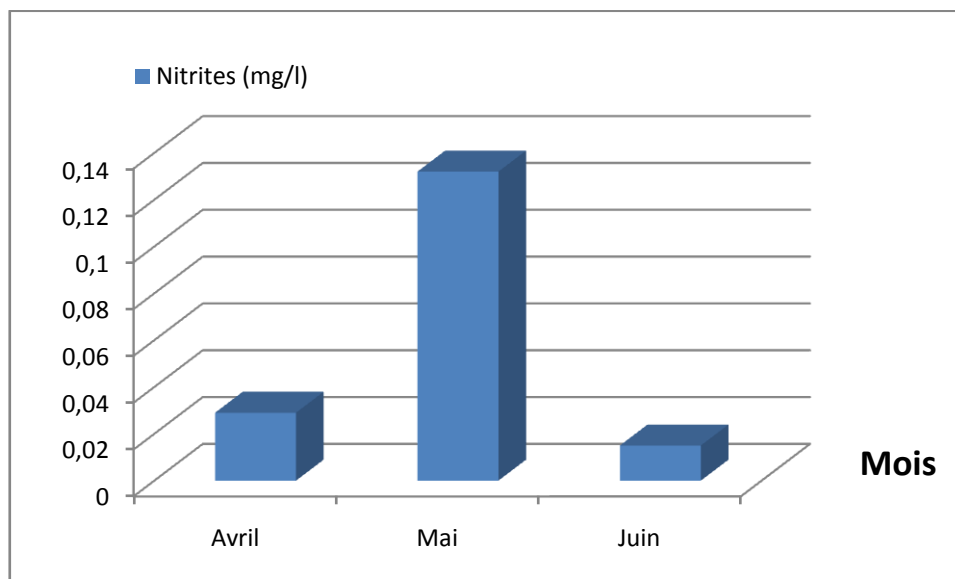


Figure 30: Variation du nitrite de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

Nos données montrent que la teneur en azote nitreux est très faible et varie autour d'une concentration maximale de 0,13 mg/l pendant le mois de mai ; et notée en moi juin minimale

de 0,015 mg/l (**Fig.29**). La présence de nitrites dans une eau peut être due à une oxydation incomplète de composés azotés (azote organique ou ammoniacal).

Donc, de manière générale, nous pouvons dire que la qualité l'eau de barrage Sidi Khelifa est de qualité moyenne (**Tab.10**).

Tableau 11: les classes proposées pour les nitrites (ANRH ,2003).

0 à 0,01mg/l	eau de bonne qualité
0,01 et 0,1 mg/l	Qualité moyenne
0,1 à 3 mg/l et $\text{NO}_2^- > 3 \text{ mg/l}$	mauvaise à très mauvaise qualité

1.8. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates se trouvent naturellement dans les eaux et proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Ils constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux (**Rejsek, 2002**).

Les résultats obtenus à partir de nos prélèvements indiquent la présence de teneurs qui varient entre 0,97mg/l et 6,13mg/l (**Fig.30**).

Les excédents d'azote sont dus à une fertilisation excessive et/ou à des pratiques culturales inadaptées. Dans certaines régions ce sont les rejets azotés d'origine animale excessifs qui sont en cause.

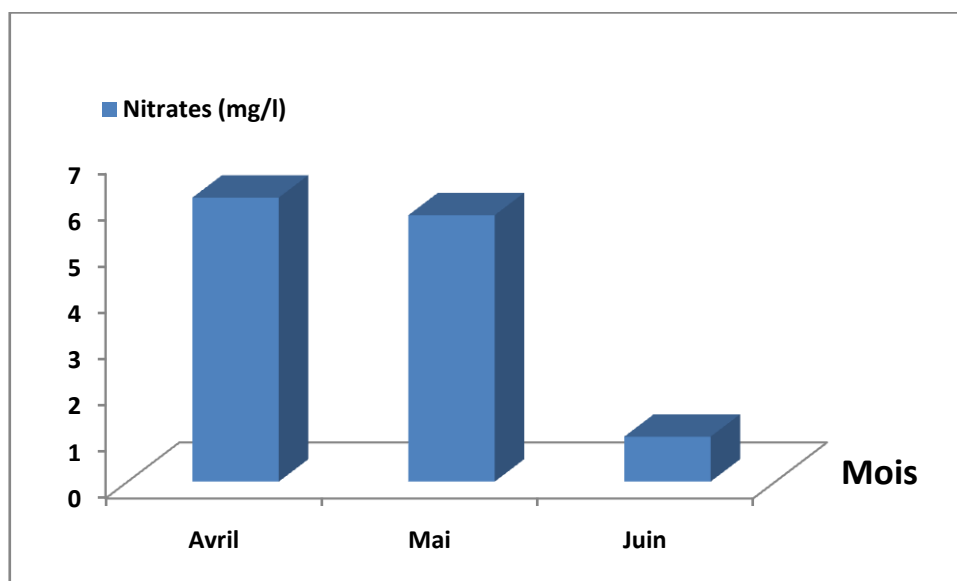


Figure 31: Variation du nitrate de l'eau de barrage Sidi Khelifa (Avril-Juin 2022).

La valeur du nitrate la plus basse est enregistrée durant le mois de juin 0,97 mg/l et la valeur la plus élevée est notée en avril 6,13mg/l au sein de la station. La concentration en nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par des déchets d'origine humaine ou animale.

Selon la grille de la qualité des eaux en nitrates (ANRH, 2001) (Tab11.) les eaux de nos prélèvements sont de bonne qualité.

Tableau 12:Grille de qualité des eaux Selon nitrates (ANRH, 2001).

Teneurs en nitrates (NO_3^-)	Qualités des eaux
<10	Bonne
$10 < \text{NO}_3^- < 20$	Moyenne avec signe de pollution
$20 < \text{NO}_3^- < 40$	Polluée avec une pollution nette
>40	La pollution est importante

2. Les paramètres de la communauté phytoplanctoniques

Après l'examen microscopique des échantillons d'eau prélevés, nous présentons dans le Tableau 13 la liste systématique du phytoplancton suivant la classification établie par **Bourrelly (1970)** et **Sournia (1986)**. L'identification a été réalisée à l'aide d'un guide d'identification des planctons ainsi de l'aide de docteur (**Bara mouslim**) enseignant maître de conférences à l'université 8 mai 1945 de Guelma.

Nos données montrent que la flore microalgale recensée est composée de 4 genres, appartenant à une seule classe, qui sont les : *desmotetra*, *volvox*, *urospira microscopica* (ulvophycées), *chlamydomonas* (volvocale).22

2.1. *Desmotetra*

Sont des algues eucaryotes à plastides verts renfermant de la chlorophylle a et de la chlorophylle b, associées à du β -carotène et à des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures (**Christophe et al., 2009**).

2.2. *Volvox*

C'est un genre d'algues vertes, sont des colonies sphériques constituées d'organismes unicellulaires flagellés entourés de gangues gélatineuses, entourées par des cellules superficielles

biflagellées et unies entre elles par des connexions cytoplasmiques. les *volvox* se maintiennent à la surface de l'eau, pouvant ainsi pratiquer la photosynthèse (Rossi, 2008).

2.3. *Ulvophyceae*

Ulvophyceae ou les *urospira microscopica* (*ulvophycées*) sont une classe d'algues vertes chlorophytes, qui se distinguent principalement par leur morphologie ultra structurale. les *Ulvophyceae* trouvent leur utilité dans une hypothétique production de biocarburants. De plus, ces algues ont un futur dans le domaine de la génétique.

2.4. *Chlamydomonas*

C'est un genre d'algues vertes. Ces algues unicellulaires minuscules (d'une taille de 10 µm environ) sont munies de deux flagelles, et d'un chloroplaste unique en forme de cloche leur permettant d'opérer la photosynthèse (Cavalla, 2000).

2.5. Cycle de reproduction

Strictement asexué: chaque cellule, en se divisant en deux, produit deux individus (Leveque, 2001). Se multiplient ainsi quand les conditions sont favorables, mais dans d'autres circonstances, ils deux à s'unissent deux pour former des zygotes, sans qu'aucun critère simple permette de distinguer des gamètes mâles et femelles (Druart et Rimet, 2008)..

Tableau 13: La liste systématique du phytoplancton.

Genre	Ordre	Famille	Classe
<i>desmotetra</i>	chlamydomonadales	chlorosarcinaceae	Chlorophycées (chlorophyceae)
<i>volvox</i>	chlamydomonadales	volvocaceae	Chlorophyceae
<i>(ulvophycées)</i> <i>urospira microscopica</i>	Chlamydomonadales	Ulvophyceae	Chlorophyceae
<i>chlamydomonas</i>	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	Chlorophyceae

2.6. Observation microscopique

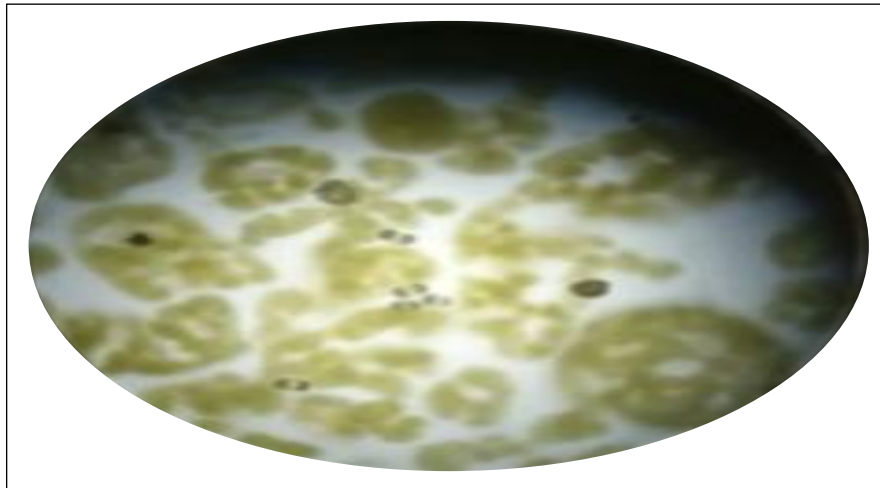


Figure 32: Observation microscopique $\times 10$ de la *desmotetra* (Cliché personnel, juin 2022).

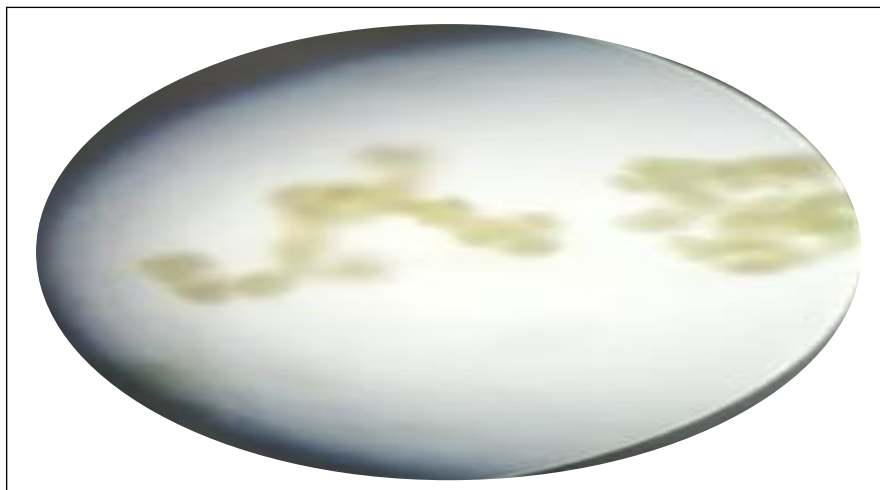


Figure 33: Observation microscopique $\times 10$ de *volvox* (Cliché personnel, juin 2022).

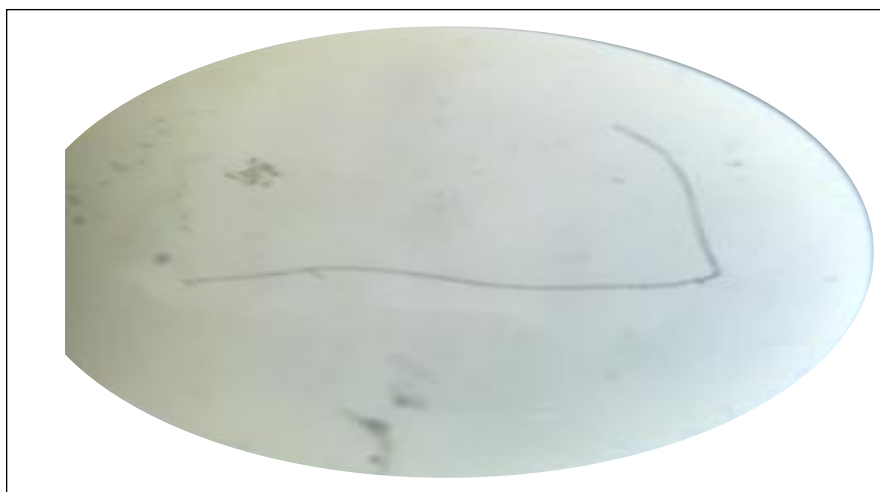


Figure 34: Observation microscopique $\times 10$ d'*ulvophycées* (Cliché personnel, juin 2022).

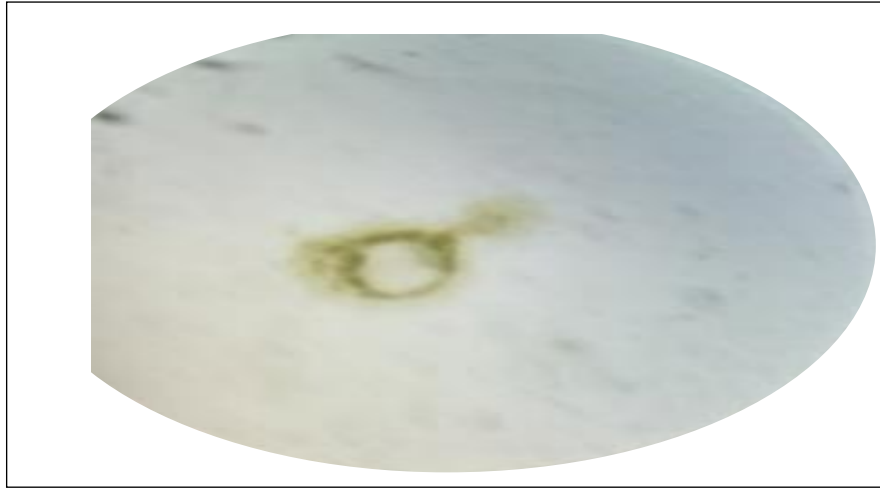


Figure 35: Observation microscopique $\times 10$ de *chlamydomonas* (Cliché personnel, juin 2022).

Cependant, nos résultats donne uniquement une idée sur le genre de quelques espèces du phytoplancton présentent dans le barrage Sidi Khelifa, vue que le nombre d'échantillon et la période d'étude (de avril a juin, 2022) ne sont pas suffisantes pour étude quantitative des espèces présentent.

De ce fait, une étude complémentaire à notre travail avec une période d'étude élargie et un nombre d'échantillon élevé est nécessaire pour l'identification et quantification. des espèces présentent suivi par une étude statistique des résultats obtenus (les indices d'équitabilite et l'indice de shannon).

Conclusion

A l'issue de notre étude, nous avons pu mettre en évidence quelques caractéristiques physicochimiques de l'eau du barrage de Sidi Khelifa -Mila et la composition des communautés phytoplanctoniques ses classifications, identifications, caractéristiques, facteurs de croissance les plus importants, sa position dans le réseau trophique de différents écosystèmes aquatiques, son impact sur son environnement, ses dommages et son importance pour l'homme et l'environnement en général.

Le phytoplancton peut être considéré comme un indicateur de la dégradation de la qualité des eaux la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux. Certaines espèces, sont susceptibles de synthétiser des toxines à l'origine d'intoxications plus ou moins graves, représentant des risques important pour la santé humaine et animale. La croissance du phytoplancton vrai avec les saisons et dépendent de facteurs physicochimiques tels que la température, le pH, l'oxygène dissous et la salinité de l'eau. Ils jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage. La prolifération de phytoplancton à un impact direct sur la dynamique et la structure des populations et des communautés au niveau des écosystèmes aquatiques. Certaines espèces des microalgues comme *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica* et *Porphyra sp.* peuvent être consommées comme des légumes. Des extraits des micro- algues sont utilisés comme anti-inflammatoire et d'autres produits pharmaceutiques.

L'étude du phytoplancton est menée de manières et des méthodes nombreuses et variées et commence par le prélèvement d'échantillons qui sont fixés directement à l'aide de solutions, dont la plus importante est le Lugol. Parallèlement à l'échantillonnage, certains facteurs physico-chimiques de l'eau tels que la température, la salinité, le pourcentage de substances dissoutes, le degré de saturation en oxygène dissous et la conductivité électrique sont mesurés. Tous les facteurs du milieu nous donnent des indications sur les changements intervenus dans la population de phytoplancton après étude des relations entre eux.

La communauté phytoplanctonique recensée des rangs notre période d'étude Avril-Juin 2022 dans le barrage de Sidi Khelifa à Mila est caractérisée par l'identification des 4 genres et un seule classe: *desmotetra*, *volvox*, *urosparamicroscopica* (*ulvophycées*), *chlamydomonas*.

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

Ces recherches devraient être menées sur des périodes plus longues et plus régulières afin d'assurer un suivi rigoureux et de pallier à d'éventuelles perturbation bioé-cologiques des eaux du barrage.

Références bibliographiques

- **Albergel J., Nasri S. et Lamachere J.M., (2006)** - Les lacs et barrages collinaires : infrastructures hydrauliques d'aménagement et de conservation des terres agricoles en zone semi aride méditerranéenne. *Sciences Planétaires /Sécheresse, John LibbeyEurotexted.* , Volume 15, Numéro 1, pp.78-86.
- **Aminot A., (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Caractéristiques physicochimiques. Centre National de l'exploitation des océans. pp. 39-75.
- **Aminot, A. (2004).***Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses.* (R. Kérouel & I. français de recherche pour l'exploitation de la mer éditeur intellectuel, Eds.). Brest: Brest :Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer IFREMER.
- **Anonyme, (2000a)** – Barrages et développement « un nouveau cadre pour la prise de décisions », Rapport de la commission mondiale des barrages, 38p.
- **Anonyme, (2009).** La « Guerre de l'eau » : nouveau moyen de pression économique pour demain? p2.
- **Arnaudet L., Arnoux M., Derrien A. et Schneider-Maunoury L., (2013)** – Conséquences environnementales, sociales et politiques des barrages, étude du cas du Mékong. Atelier « l'eau qualité vs quantité », Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société, France, 15p.
- **Barnabé G. & Barnabé-Quet R, (1997).** Ecologie aménagement des eaux côtières. Lavoisier. P: 131, 135,138
- **Becker E. W. (1983).** Limitations of heavy metal removal from waste water by means of algae. Wat. Res. vol. 17, 4, pp.459-466
- **Billard R., (1998)** – Les carpes, biologie et élevage, Ed Quae, Paris, 388p.
- **Bourrelly P .(1970).** Algues d'eau douce ; Initiation à la systématique. Tome III : Les Algues bleues et rouges, les Eugléniens, Peridinien et Cryptomonadines. [éd] N.Boubée & Cie . p 572 .

- **Bourrelly P, (1970).***Tome III .les algues bleues et rouges, Les Eugléniens, Peridiniens, et cryptomonadines.* Boubée éd .,512.,137 pls.2e.1985,(collection faunes et flores actuelles) 606 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). pp 201-210.
- **Cavalla M., (2000)** - Les algues - Les microalgues pp 200.
- **Chader S et Touzi A., (2001)** – Biomasse algale : Source énergétique et alimentaire. *Rev. Energ. Ren* : production et valorisation – biomasse : pp 47-50.
- **CHADER S et TOUZI A., (2001)** – Biomasse algale : Source énergétique et alimentaire.*Rev. Energ. Ren* : production et valorisation – biomasse : pp 47-50.
- **Chaibi R., (2004)** – Caractéristique physico-chimique et évaluation du niveau trophique d'un écosystème lagunaire (la lagune El-Mellah), Mémoire de Magister en Ecologie Animale.Univ Badji Mokhtar. Annaba. 99p.
- **Christophe L-T., Jacques B.et Alain D., (2009).** Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en oeuvre de la DCE, Cemagref, Version 3.3.1, pp.44.
- **Delliou P., (2008)** - Grands barrages, petits barrages, *Risques Infos* N°20, 6p.
- **Druart, J.C. et Balvay, G. (2007).** Le Léman et sa vie microscopique. Editions Quae, 192 p.
- **Druart J.C. et Rimet F., (2008)** - Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA:Prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA-Thonon, Rapport SHL 283, 96 p.
- **Dussart B., (1992)** – Limnologie : l'étude des eaux continentales. Collection « Faune et flore actuelles », Edition N.Boubée et Cie, Paris, 680p.
- **Dussart B., (1966).** Limnologie : l'étude des continentales. Ed Gauthier Villars, Paris, 667p.
- **Fernandez F., (2002)** – Le monde des algues, *La Garance Voyageuse* N°57.
- **Findley D.L et Klingh H.J ; (1994)** : protocole de la mesure de la biodiversité : le phytoplancton d'eau douce. Ministère des pêches et océans institut des Eaux douces .université Crescent Winnipeg(Manitoba) R3T2N6.

- **Finkel Z.V., Irwin A.J., Schofield O., (2004).** Ressourcelimintation alter the $\frac{3}{4}$ size scaling of metabolic rates of phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **273**: 269-279
- **Fremy J.M. et Lassus P., (2001)** – Toxine d’algues dans l’alimentation. Ed. Quae, France, 553p
- **Gailhard I. (2003).** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le « Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines »(REPHY). Thèse de Doctorat. Spécialité : Sciences de l'Environnement Marin .Université de la Méditerranée (Aix– Marseille II) .p 284.
- **Gaujous D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. [éd] Lavoisier : Tec et Doc. Paris .p . 220.
- **Groga N., (2012)** - Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse Université de Toulouse, 180p.
- **Hamilton D.p.ET Schladow S.G, (1997)** .Prediction of water quality in lakes and reservoirs.Part I- Model description. *Ecological Modeling*, 96, (1-3), 91-110.
- **Iltis, A ,1982** Peuplement algaux des rivières de Cote D’ivoire. *Revue hydrobiol.*
- **Kerdoud, S., (2006).** Basant versant Beni Haroun eau et pollution. Mémoire de Magistère en Aménagement du territoire. Université Mentouri, Constantine .7- 22-55-57p.
- **Khattabi H., (2002).** Intérêts de l’étude des parametres hydrogéologiques et Hydro - biologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d’ordures menageres d’Etueffont (Belfort, *France*).Thèse de doctorat 3ème cycle. P: 66-67.
- **Lahlou, A. (2001):** Les problèmes hydrauliques et leurs impacts socio-économiques et environnementaux dans les montagnes du Maroc. *Mosella*, T. XXV – N° 3-4, *Revue du Centre d’Etudes Géographiques de l’Université de Metz (France)*, pp: 399-409, Metz.
- **Langlois C., (2006)** – Diatomées, 4p.
http://step.ipgp.fr/images/a/a0/Langlois_biogeopal_TD5_FicheDiatomees. PDF.

- **Lavoie I., Laurion I., et Vincent W., (2007)** - Les fleurs d'eau de cyanobactéries. Document d'information vulgarisée, INRS rapport N° 917, France, 25p
- **Leveque C., (2001).** *De l'écologie à la biosphère*. Dunod. Paris, 502 p
- **Merzoug S.E., (2009).** Etude de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher (Benazzouz, Wilaya de Skikda), mémoire de magister, université de Guelma .pp : 51,68.
- **Micha J.C.L., (1988)** – L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse. Ed. Presse Universitaire de Namur, Belgique, 140p.
- **Mollo P. et Noury A, (2013)** – Le manuel du plancton, Éditions Charles Léopold Mayer, Essai N° 195, France, 198p.
- **Mollo P. et Noury A, (2013)** – Le manuel du plancton, Éditions Charles Léopold Mayer, Essai N° 195, France, 198p.
- **Pearce F. et Crivelli A.J., (1994)** - Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes. Bouklet Med Wet / Tour de Valat, N°1. France, 88p.
- **Pearce F. et Crivelli a.J., (1994)** - Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes. Bouklet Med Wet / Tour de Valat, N°1. France, 88p.
- **Puiz A., Kluser S. et Peduzzi P., (2008)** – Les activités humaines causant la
- **Ramade P, (2005).**Eléments d'écologie : Ecologie appliquée. Edit Dunod.6e edition.Paris.863p
- **Ravin PH., Evert R F., Echlom S.E. et Bouharmont J., (2003)** – Biologie végétale. Ed. De Boeck, Belgique, 968 p.
- **Rejsek F., (2002)** – Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série : Siences et techniques de l'environnement. Paris, 360p.
- **Rejsek F., (2002).** L'analyse des eaux technique et aspects réglementaires, ScérènCRDP Aquitaine, Bordeaux.358 p.
- **Remini B., (2005)** - L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides: exemples Algériens. *Larhyss Journal*, N°05, pp81-89.

- **Reynolds C.S., (1984).** The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. pp: 384.
- **Ricklifs & Miller, (2005).** Ecologie. Edit. The boeck 821 p.
- **Rodier G. (2005)** – L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème Ed. Dunod, Paris, 1383p.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L., (1996).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Dunod. Paris. 1383 p.
- **Rossi N., (2008).** Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (Toulon, France). Thèse de doctorat. Université du sud Toulon-Var 201p.
- **Satha W et Makroudi.S : (2015).** contribution à l'étude de la qualité bactériologique et phytoplantonique de l'eau du lac oubeira (PNEK - EL-TARF) Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 de Guelma P.1.
- **Satin, M., Selmi, B. (1999).** Guide technique de l'assainissement. 2ème édition. Édition du Moniteur, Paris (France).
- **Sauriau P.G., Guillaud J.F., (1984-1994).** Qualité des eaux. Rapport de synthèse de l'APEEL tome II, 104 p.
- **Sournia A., (1986).** Atlas du phytoplancton marin. Vol. I : Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées. [éd] C.N.R.S, Paris. p .220.
- **Stumm W. & Morgan J.J., (1996).** Aquatic Chemistry: Chemical equilibrium and rates in natural Waters. Wiley. Inter. Science. Publication. Third edition. pp: 1024.
- **TLanglois C ., (2006).** diatomées Langlois_biogeopal_TD5_FicheDiatomees .rop.15(3) : pp 241,251
- **Touahria T., (1999).** Etude de la biomasse, de la composition et de la structure des peuplements phytoplantonique de l'amer d'Alboran Est. *Thèse de Magister*, FSB-USTHB, 200p.

- **Touati B., (2010)** - Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse Doctorat en Aménagement du Territoire, Université Mentouri- Constantine, 385p.
- **Toumi A. et Remini B., (2004)** – Barrage de Foum El Gherza face au problème de fuites d'eau. *Larhyss Journal*, N°03, pp25-38.
- **Trégouboff G & Rose M ,1957.**Manuel de planctonologie méditerranéenne, Tme II illustration, .Centre national de la recherche scientifique, paris

Webographie

- (1) Site Web, /step.ipgp.fr/Algues -PDF (1) (15.3.2022)
- (2) http://mcavalla.free.fr/rsr/Algues_operon.pdf (4.4.2022)
- (3) http://step.ipgp.fr/images/a/a0/Langlois_biogeopal_TD5_FicheDiatomees.pdf (12.5.2022)
- (4) www.anbt.dz(15.5.2022)
- (5) http://mcavalla.free.fr/rsr/Algues_operon.pdf (1.6.2022)

Annexes

**Tableau 01 : Présenter les données climatiques de la willaya de Mila (Station
Météorologique Ain Tine 2009/2017).**

Mois	Précipitation (mm)	Humidité à (%)	T°C
jan	84,68	72,85	8,39
fév	90,46	73,63	8,40
mars	76,91	74,5	11,87
avr	44,6	68,96	14,41
mai	38,78	55,825	17,68
jun	46,6	54,2875	22,60
juil	12,16	50,25	26,80
aout	47,8	50,98	26,74
sep	25,61	63	22,16
oct	45,54	65,91	18,6
nov	80,08	69,87	12,60
déc	71,06	76,18	9,5

Tableau 02 : Résultats physico-chimiques de l'eau de barrage Sidi Khelifa

	Avril	Mai	Juin
T(c°)	17	28	31
pH	8 ,33	8,29	8,35
Turbidité (NTU)	7,08	8,09	6,02
Conductivité Electrique (µs/cm)	1303	1307	1312
Nitrites (mg/l)	0,029	0,132	0, 15
Nitrates (mg/l)	6,13	5,75	0 ,97
Oxygène Dissous (mg/l)	9,18	9,02	7,66
Matière en suspension (MES)	18,8	14	13,2