

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :.....

**Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila**

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et de l'Environnement

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème :

**Evaluation de l'état actuel des eaux du  
barrage Béni Haroun**

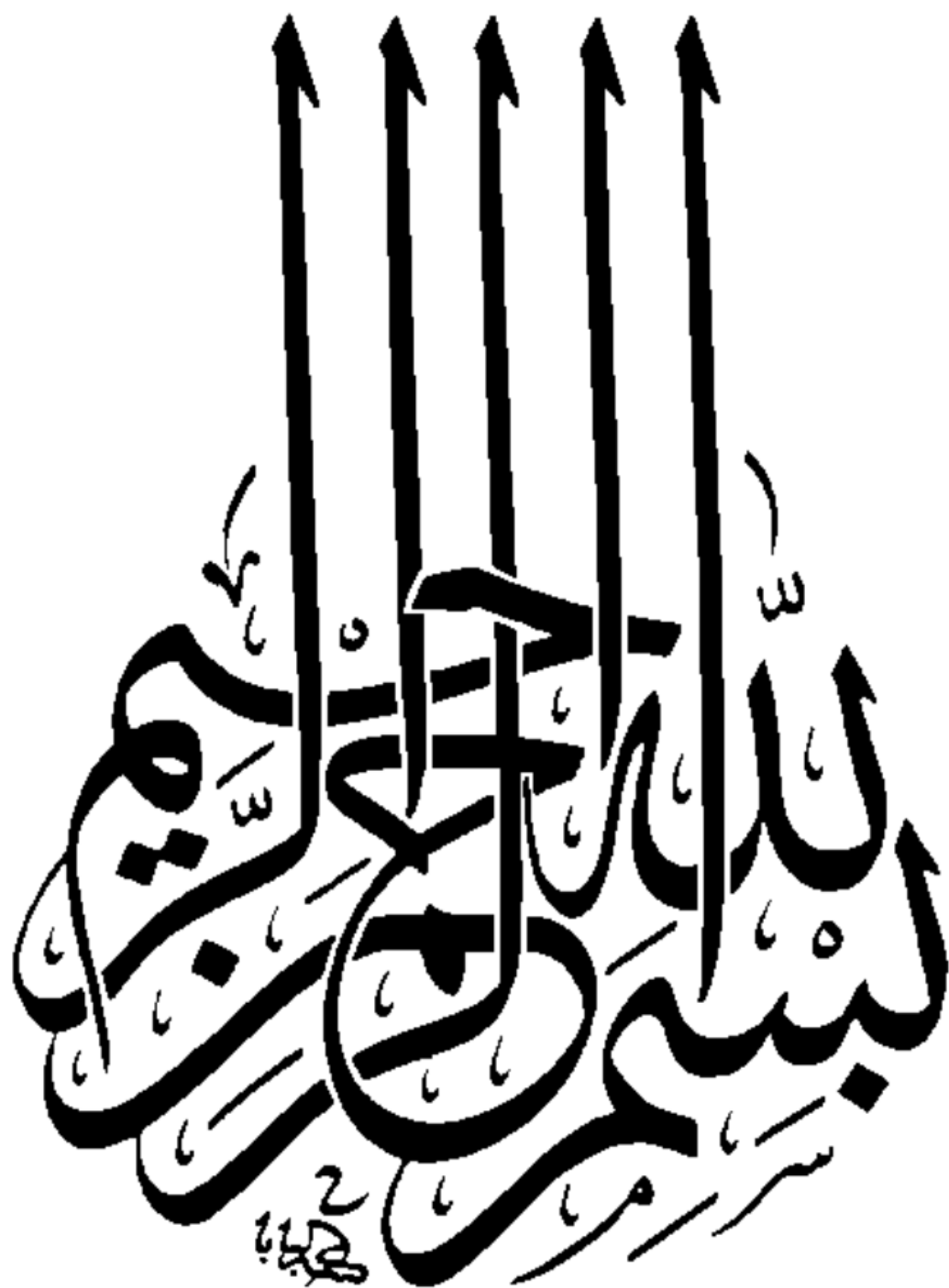
Présenté par :

- BOUKESBA Chaïma
- KECHID Kenza

Devant le jury :

|                                             |     |       |
|---------------------------------------------|-----|-------|
| Président : Mme DJEDDI Hamssa               | MCB | C U M |
| Promoteur : Melle KHERIEF NACEREDINE Saliha | MCA | C U M |
| Examinatrice : MmeBOUARROUDJ Sara           | MCB | C U M |

**Année Universitaire : 2023/2024**





## **REMERCIEMENTS**

*Tout d'abord, je remercié Allah le tout puissant qui nous a guidé sur le bon chemin le long de notre vie estudiantine, qui nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qui nous a donné la volonté de continuer nos études.*

*Nous sommes très reconnaissantes à Melle. Kherief Nacereedine Saliha, notre encadreur, pour sa disponibilité et surtout pour ses critiques pertinentes qui nous ont été très utiles pour la réalisation de la version finale de ce mémoire.*

*Je tiens également à remercier Mme.DJEDDI Hamssa pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury de soutenance. Toutes nos sincères gratitude et nos profonds respects sont adressés également à Mme.BOUARROUDJ Sara pour avoir accepté d'examiner notre travail*

*Finalement, je remercié toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail*



# Dédicace

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.*

*A toute ma famille*

*Et à tous mes amies,*

*A tous les gens qui me connaissent et que je connais.*

*Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.*

## Chaima





# Dédicace

*C'est à l'aide de Allah le clément, le tout puissant, que j'ai  
arrivé à recueillir le fruit de mes 19 bougies d'étude, que je  
dédie à :*

*A mon très cher père et ma très chère mère  
Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...  
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour Le  
respect, la reconnaissance...*

*Aussi, c'est tout simplement que je souhaite que Dieu vous  
préserve une longue vie.*

*A toute ma famille,*

*A mes frères et sœurs Milissa, ma force*

*A Khadidja et ces enfants Yacin et Wassim*

*Et enfin à Mayar c'est ma petite sœur et le secret de mon  
bonheur, que Dieu la protège*

*A Mes grands-parents ;*

*A Mes oncles et ses enfants Abir, Chaima*

*A ma tante el ces enfants Safa Nada*

*A tous mes amies, surtout Omnyati, Khawla et Amira*

*A tous mes collègues en résidence universitaire*

*Enfin à mes meilleurs professeurs, pour leur enseignement et  
leur inspiration*

**Kenza**



### ملخص

الماء، العنصر الحيوي، يشكل موضوع اهتمام دقيق حول العالم. أهميته للحفاظ على الصحة العامة أدت إلى وضع برامج مراقبة واسعة النطاق. أهداف مراقبة جودة المياه المخصصة للاستهلاك عديدة وتختلف باختلاف الوسائل والإمكانات التقنية.

في هذا السياق، الهدف الرئيسي الذي تسعى إليه هذه الدراسة هو تكوين قاعدة مرجعية لأي دراسة مستقبلية لتجمعات العوالق النباتية في أكبر سد في الجزائر، المخصص لتوفير المياه والري لست ولايات في الشرق. لقد سعينا إلى وصف هذه التجمعات، من حيث الهيكل، الوفرة والديناميكية. كما اهتمامنا أيضًا بوصف المياه السطحية من خلال عدة معايير، وإنشاء تصنيفات فيزيائية كيميائية وعوالق نباتية خاصة بموقع دراستنا والبحث عن الروابط الممكنة بين الجزئين اللاأحيائي والأحيائي.

تعتمد نتائجنا على بيانات جمعت خلال ثلاثة أشهر تمتد من يناير إلى أبريل 2024، في أربعة نقاط أخذ عينات سطحية موزعة حول محيط سد بني هارون مرتبطة بالأودية التي تغذيه. تُظهر النتائج محتويات من العناصر الغذائية التي لم تصل بعد إلى مستويات مقلقة ولكن الوضع قد يتفاقم مع الزيادة المستمرة في مصادر التلوث. بناءً على 12 عينة، تم تحديد 27 جنسًا ونوعًا تنتمي إلى 21 عائلة من العوالق النباتية في جميع المواقع التي تم أخذ العينات منها. العائلات الأكثر تواجداً هي Naviculaceae، Fragilariceae، و Gomphonemataceae. **الكلمات المفتاحية:** سد بني هارون، حالة المياه، المعايير الفيزيائية والكيميائية، العوالق النباتية.

## Résumé

---

L'eau, élément vital, fait l'objet d'une préoccupation attentive à travers le monde. Son importance pour la préservation de la santé publique a induit de vastes programmes de surveillance. Les objectifs du contrôle de la qualité de l'eau destinée à la consommation sont nombreux et varient en fonction des moyens et des possibilités techniques.

Dans ce contexte, l'objectif principal visé par la présente étude est la constitution d'une base de références pour toute étude ultérieure des peuplements phytoplanctoniques du plus grand barrage d'Algérie destinée à l'alimentation et l'irrigation de six wilayas de l'Est.

Nous avons cherché à décrire ces peuplements, essentiellement des points de vue structure, abondance et dynamique. Notre intérêt a également porté sur la caractérisation des eaux superficielles via plusieurs paramètres, l'établissement de typologies physico-chimiques et phytoplanctoniques propres à notre site d'étude et la recherche des liens possibles entre les deux compartiments abiotique et biotique.

Nos résultats s'appuient sur des données collectées durant trois mois s'étalant de janvier à avril 2024, au niveau de quatre points de prélèvement en surface répartis sur le pourtour du barrage de Béni Haroun en lien avec les oueds qui l'alimentent.

Les résultats montrent des teneurs en éléments nutritifs qui ne sont pas encore alarmantes mais la situation risque de s'aggraver avec les différents apports de pollution qui ne cesse d'augmenter. Sur la base de 12 échantillons, 27 genre et espèces ont été identifiés appartenant à 21 familles phytoplanctoniques sur l'ensemble des sites échantillonnés. Les familles les plus rencontrées sont les *Naviculaceae*, les *Fragilariceae* et les *Gomphonemataceae*.

**Mots clés :** Barrage de Béni Haroun, état des eaux, paramètres physico-chimiques, phytoplancton

## Abstract:

## *Résumé*

---

Water, a vital element, is the subject of careful attention throughout the world. His importance for the preservation of public health has led to extensive programs of monitoring. The objectives of the control of the quality of water intended for consumption are many and vary according to the means and the technical possibilities. In this context, the main objective of this study is the constitute baseline for further study of phytoplankton.

Biggest dam of Algeria for the feeding and irrigation of six wilayas in the East. We have sought to describe these stands, essentially from the point of view of structure, abundance and dynamics

Determination of the taxonomic composition of these primary producers improves, in fact, knowledge of the biodiversity of the entire region. Our interest has also focused on the characterization of surface water quality via twenty parameters, the establishment of physico-chemical and phytoplankton typologies specific to our study site and looking for possible links between the two compartments abiotic and biotic.

Our results are based on data collected over three months spanning from January to April 2024, at four surface sampling points distributed around the perimeter of the Béni Haroun dam in connection with the wadis that supply it.

The results show nutrient levels which are not yet alarming but the situation risks getting worse with the various pollution inputs which continue to increase. Based on 12 samples, 27 genera and species were identified belonging to 21 phytoplankton families across all sampled sites. The most common families are Naviculaceae, Fragilariceae and Gomphonemataceae.

**Keywords:** Beni Haroun Dam, water condition, physico-chemical parameters, phytoplankton.

**Sommaire**

**Liste des figures**

**Liste de tableaux**

**Liste d'abréviation**

**Introduction ..... 1**

**Chapitre I :Généralités sur l'eau**

**I.1 Généralités sur l'eau..... 3**

**I. 2 Cycle de l'eau..... 3**

**I.3 Répartition de l'eau sur la planète ..... 5**

**I. 4Les ressources de l'eau ..... 6**

**I.4.1 Les eaux de pluie..... 6**

**I.4.2 Les eaux souterraines ..... 6**

**I.4.3 Les eaux de surface..... 7**

**I.4.4 Les plans d'eau artificiels.....7**

**I.5 La pollution de l'eau ..... 8**

**I.5.1 Type de pollution de l'eau ..... 8**

**I.5.1.1Pollution physique ..... 8**

**I.5.1.2 Pollution chimique..... 8**

**I.5.1.3Pollution biologique..... 9**

**I.5.2Origine de pollution de l'eau ..... 9**

**I.5.2.1La pollution domestique ..... 9**

**I.5.2.2 La pollution industrielle..... 9**

**I.5.2.3 Pollution agricole..... 9**

**I.6L'eutrophisation de l'eau ..... 10**

**I.6.1 Les types d'eutrophisation..... 11**

**I.6.2 Les niveaux d'eutrophisation ..... 11**

**I.6.3 Les processus d'eutrophisation ..... 12**

**I.6.4 Les causes d'eutrophisation..... 14**

**I.6.4.1 Les causes directes du phénomène .....14**

## *Sommaire*

---

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| I.6.4.2 Les causes indirectes de l'eutrophisation.....         | 14 |
| I.6.5 Les conséquences d'eutrophisation .....                  | 15 |
| <i>Chapitre II :Evaluation de la qualité des eaux</i>          |    |
| II Evaluation de la qualité de l'eau.....                      | 16 |
| II.1 Evaluation physiques.....                                 | 16 |
| II.2 Evaluation chimiques .....                                | 19 |
| II.3 Evaluation biologiques .....                              | 22 |
| II.3.1 Définition de bio-indicateur .....                      | 22 |
| II.3.2 Type des bio-indicateurs de la qualité des eaux.....    | 23 |
| II.3.3 Phytoplancton comme indicateur de qualité de l'eau..... | 23 |
| II.3.3.2 Diversité et classification du phytoplancton.....     | 26 |
| II.3.3.3 Habitat et écologie du phytoplancton.....             | 31 |
| <i>Chapitre III :Matériel et méthodes</i>                      |    |
| III.1 Présentation de la zone d'étude .....                    | 33 |
| III.1.1 Présentation générale de la wilaya de Mila .....       | 33 |
| III.1.2. Présentation du barrage Béni Haroun .....             | 34 |
| III.2 Matériel et méthodes .....                               | 35 |
| III.2.1 Méthodologie de travail.....                           | 35 |
| III.2.2 Choix et localisation des stations .....               | 36 |
| III.2.3 Analyse physico-chimique de l'eau .....                | 38 |
| III.2.3.1 Echantillonnage .....                                | 38 |
| III.2.3.2 Mesure In situ .....                                 | 39 |
| III.2.3.3 Analyse au laboratoire .....                         | 39 |
| III.2.4 Analyse biologique .....                               | 42 |
| III.2.4.1 Echantillonnage .....                                | 42 |
| III.2.4.2 Observation au microscope .....                      | 44 |
| III.2.4.3 L'identification .....                               | 45 |
| III.3 Analyse statistique .....                                | 45 |
| <i>Chapitre IV: Résultat et discussions</i>                    |    |
| IV.1 Analyse physico-chimique.....                             | 47 |
| IV.1.1 La température .....                                    | 48 |

## Sommaire

---

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.1.2Le pH .....                                                        | 49 |
| IV.I.3 La conductivité électrique .....                                  | 50 |
| IV.I.4 Le total de solides dissous (TDS) .....                           | 51 |
| IV.I.5La salinité (mS) .....                                             | 52 |
| IV.I.6La matière organique (MO).....                                     | 52 |
| IV.1.7Les résidus secs (Rsc) .....                                       | 53 |
| IV.I.8La turbidité (UTN) .....                                           | 54 |
| IV.I.9 La durté de l'eau (TH).....                                       | 55 |
| IV.I.10Titre alcalimétrique complet (TAC) et la durté de l'eau (TH)..... | 56 |
| IV.1.11Le fer ( $\text{Fe}^{+3}$ ).....                                  | 56 |
| IV.1.12Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ).....                              | 57 |
| IV.1.13Les sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) .....                         | 58 |
| IV.1.14Le phosphore (P).....                                             | 59 |
| IV.1.15Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) .....                             | 60 |
| IV.1.16 Le Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) .....                          | 61 |
| IV.1.17L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).....                               | 62 |
| IV.1.18Le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) .....                              | 63 |
| IV.1.19 Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) .....                                | 64 |
| IV.1.1. Traitement statistique .....                                     | 65 |
| IV.2 Analyse biologique .....                                            | 67 |
| IV.2.1 Analyse qualitative du phytoplancton.....                         | 67 |
| IV.2.1.1 Inventaire et composition phytoplanctonique globale.....        | 67 |
| IV.2.1.2 Variation spatiale de la composition phytoplanctonique .....    | 70 |
| RéférencesBibliographiques.....                                          | 77 |

**Liste des figures**

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Structure de la molécule de l'eau .....                                             | 3  |
| Figure 2: Cycle de l'eau dans la nature .....                                                 | 5  |
| Figure 3: Répartition de l'eau sur terre .....                                                | 6  |
| Figure 4: Formes des eaux de surface .....                                                    | 7  |
| Figure 5: Le phénomène d'eutrophisation .....                                                 | 11 |
| Figure 6: Évolution selon trois stades distincts, qualifiés de niveaux trophique .....        | 12 |
| Figure 7: Les processus d'eutrophisation .....                                                | 13 |
| Figure 8: Les bioindicateurs de la qualité des eaux. ....                                     | 23 |
| Figure 9: Formes unicellulaires.....                                                          | 24 |
| Figure 10: Formes coloniales.....                                                             | 24 |
| Figure 11: Formes filamenteuses. ....                                                         | 25 |
| Figure 12: Formes pseudo –filamenteuses, .....                                                | 25 |
| Figure 13: Photographie du phytoplancton procaryote, Cyanophycées. ....                       | 27 |
| Figure 14: Les types des diatomées.....                                                       | 27 |
| Figure 15: Différentes espèces des dinoflagellés.....                                         | 28 |
| Figure 16: Les Cryptophycées .....                                                            | 28 |
| Figure 17: Diversité taxonomique des Chlorophycées .....                                      | 29 |
| Figure 18: Photomicrographies d'euglena gracilis. ....                                        | 29 |
| Figure 19: Les Xanthophycées.....                                                             | 30 |
| Figure 20: Cellules d'algues .....                                                            | 30 |
| Figure 21: Les Haptophytes. ....                                                              | 31 |
| Figure 22: Prélèvement de l'eau pour l'analyse biologique.....                                | 43 |
| Figure 23: Fixation de l'échantillon par le lugol. ....                                       | 43 |
| Figure 24: Variations spatio-temporelles de la turbidité de l'eau du barrage Béni-Haroun..... | 54 |
| Figure 25: Variations spatio-temporelles du nitrate de l'eau du barrage Béni-Haroun .....     | 63 |

**Liste de tableaux**

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1: Les principales sources de pollution et leur effets .....                         | 10 |
| Tableau 2: Différents Embranchements des microalgues, d'après Jeffrey et al.....             | 26 |
| Tableau 3: localisation des stations de prélèvement.....                                     | 36 |
| tableau 4: Calendrier de prélèvement des échantillons.....                                   | 37 |
| Tableau 5: Le pH et la vie aquatique. ....                                                   | 50 |
| Tableau 6: Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique. ....                  | 49 |
| Tableau 7: Classification des eaux selon la salinité.....                                    | 52 |
| Tableau 8: grille de la qualité des eaux superficielles pour les résidus secs .....          | 54 |
| Tableau 9: Classes de turbidité .....                                                        | 55 |
| Tableau 10: Grille de la qualité des eaux superficielles pour les teneurs en chlorures ..... | 58 |
| Tableau 11: Grille de la qualité des eaux de surface en sulfates .....                       | 55 |
| Tableau 12: Grille de la qualité des eaux superficielles .....                               | 59 |
| Tableau 13: Qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium. ....                   | 61 |
| Tableau 14: Grille de la qualité des eaux superficielle de l' $\text{NH}_4$ .....            | 62 |
| Tableau 15 : Qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium .....                  | 63 |
| Tableau 16 : Grille de la qualité des eaux superficielle de l' $\text{NH}_4^+$ .....         | 64 |
| Tableau 17 : Grille de la qualité des eaux en nitrate .....                                  | 65 |
| Tableau 18: Grille de la qualité des eaux en nitrite .....                                   | 66 |
| Tableau 19 :Corrélation de Pearson entre les différents variables physicochimiques.....      | 68 |
| Tableau 20: Nombre d'unités systématiques du phytoplancton pour chaque station.....          | 70 |

## ***Liste d'abréviation***

---

### **Liste d'abréviation**

**ABH:** Agence des Bassins Hydrologique.

**ADE :** Algérienne de l'eau

**ANRH:** Agence Nationale des Ressources Hydriques.

**°C:** Degré Celsius.

**CE:** Conductivité Électrique.

**MO:** Matière organique.

**N:** Nord.

**E:** Est.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup> :** Ammoniaque.

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup> :** Nitrite.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> :** Nitrate.

**P:** Phosphore.

**PH :** Potentiel Hydrogéné.

**OMS:** Organisation mondiale de la santé

**TA:** Titre alcalimétrique.

**TAC:** Titre alcalimétrique complète.

**TDS:** Taux des sels dissous.

**TH:** Dureté total.

**STI:** Station 1: El maleh

**ST2:** Station 2: Ferdoua

**ST3:** Station 3 : La digue

**ST4:** Stations 4 : Sagdel

**mg/l :** Milligramme par litre

**µm :** Micro Mètre

**°F :** Degré français. Fe <sup>+2</sup> : Fer ferreux.

**g/l :** Gramme par litre.

**µS:** micro Siemens.

**Tab :** Tableau.

**Fig :** figure

**Ca<sup>+2</sup> :** Calcium

**CE :** Conductivité électrique.

**Cl<sup>-</sup> :** Chlorures

### ***Liste d'abréviation***

---

**Fe<sup>+2</sup>** : Fer

**Mg<sup>+2</sup>** : Magnésium

**MO** : Matière organique.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Azote ammoniacal.

**T** : Température.

**Mm** : Millimètre.

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique

**H<sub>2</sub>O** : Eau

**NaCl** : Chlorure de sodium

**RS** : Résidu sec

**E** : Est.

**N** : Nord

**nm** : Nanomètre

**cm** : Centimètre

**Km<sup>2</sup>** : Kilomètre carré

**Mm** : millimètre

**Na<sup>+</sup>** : Sodium

**m<sup>3</sup>** : Le mètre cube

**K<sup>+</sup>** : Potassium,

**V** : volume

**ACP** : analyse en composante principale

## ***Introduction***

### **Introduction**

En Algérie, l'eau est une denrée de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable. C'est une ressource qui génère et maintient la croissance économique et la prospérité. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée (Djeddi, 2019).

Pour faire face au déficit de l'eau en Algérie, la construction des barrages semble être la solution la plus adaptée pour répondre aux différents besoins. Le barrage Béni Haroun est la plus grande infrastructure hydraulique réalisée en Algérie, le troisième en Afrique après celui récemment construit à l'Éthiopie et celui de Sadd El Ali en Égypte (Kherief Nacereddine, 2019).

La retenue du barrage Béni Haroun est constamment menacée par une série d'influences naturelles et anthropiques, entraînant une pollution des eaux, collectées par les deux grands oueds de la région (Rhumel et oued Endja) (Kherief Nacereddine, 2023).

La connaissance des caractéristiques des eaux de surface constitue un moyen d'investigation parmi d'autres pour l'évaluation des risques de pollution et l'état de contamination de ces eaux.

Dans ce contexte, et lors de ce travail, nous avons comme objectif d'examiner la dynamique spatio-temporelle d'un ensemble de paramètres biotiques et abiotiques afin de contribuer au contrôle et à l'amélioration de la qualité d'eau de barrage, puis d'apporter de nouvelles données scientifiques sur le peuplement phytoplanctonique du barrage Béni Haroun.

Notre travail est consigné dans un document articulé en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à généralité sur l'eau, sa pollution et l'évaluation de sa qualité et l'eutrophisation de l'eau ;
  - Le deuxième chapitre l'évaluation de sa qualité ;
  - Le troisième chapitre, consacré à la présentation de la zone d'étude, matériel utilisé et les méthodes d'analyses établies.
  - le quatrième chapitre, résume les résultats obtenus, analyses statistiques et leur discussion.
- Enfin la conclusion à tirer et les recommandations à proposer seront en fonction des résultats obtenus.

***Chapitre I :***  
***Généralité sur l'eau***



## I.1 Généralité sur l'eau

L'eau en latin aqua est une substance liquide transparente, sans saveur ni odeur, ni couleur (Degremont, 1978). La molécule d'eau est l'association d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène sous le symbole  $H_2O$ , il se congèle à Zéro °C, il peut devenir vapeur à 100°C qui est sa température d'ébullition (Gerard, 2003).

L'eau que l'on peut aussi appeler oxyde de dihydrogène, hydroxyde d'hydrogène est un solvant idéal parfois qualifié de « solvant universel » elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organique, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro-chargés (Dore, 1989).

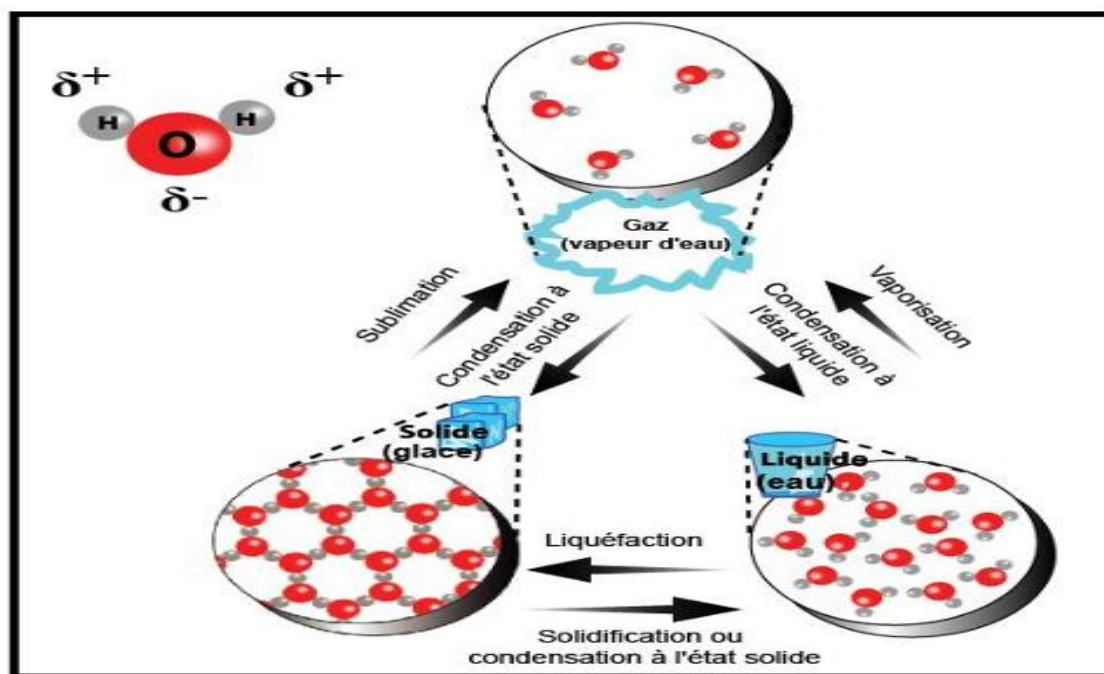


Figure 1: Structure de la molécule de l'eau (Nebel et Wright ; 2002)

## I. 2 Cycle de l'eau

Selon Vilagines (2003), l'eau est partout présente autour de nous et constitue un des éléments fondamentaux de notre planète. Toute cette eau se transforme et circule en permanence dans l'atmosphère, la surface et dans le sous-sol de notre terre est appelé, c'est le cycle de l'eau. Le cycle de l'eau se déroule selon les étapes suivantes :

**➤ L'évaporation**

Est causée par le réchauffement de la couche de surface des océans par le rayonnement solaire, ce qui entraîne ainsi de la vapeur d'eau vers l'atmosphère. Les plantes extraient l'eau des sols puis la libèrent sous forme de vapeur d'eau par transpiration vers l'atmosphère, les apports d'eau vers l'atmosphère incluent l'évaporation à partir de la surface du sol, des lacs, des rivières et autres plans d'eau, ainsi que la sublimation de la neige et des glaces (Anctil et *al.*, 2012).

**➤ Condensation**

Condensation Lorsque la vapeur d'eau provenant de l'évaporation et de l'évapotranspiration (plantes) s'élève dans les airs, elle refroidit et se transforme en nuage. (Husson, 2010).

**➤ Précipitations**

Le nuage d'eau se déplace et grossit jusqu'au moment où les gouttes qu'il contient deviennent trop lourdes. Alors, celles-ci retombent : on appelle cela des précipitations. Elles se présentent soit à l'état liquide-pluie soit à l'état solide-neige, grêle (Husson, 2010). L'interception est la partie des précipitations captée par le couvert végétal ou retenue dans des dépressions en surface, qui retournera éventuellement dans l'atmosphère par évaporation (Anctil et *al.*, 2012).

**➤ Infiltration et ruissellement**

Enfin, les pluies touchant le sol s'infiltrant en pénétrant par les interstices en surface et s'écoulent ensuite par gravité dans le sol non saturé (percolation) pour rejoindre les nappes d'eau profondes. Au pied des pentes, les nappes peuvent resurgir en surface et former une source approvisionnée par les écoulements souterrains. Ces écoulements convergent ultimement vers les lacs et les rivières, et le cheminement de l'eau jusqu'aux océans se poursuit en surface.

Si le sol est saturé ou si les précipitations dépassent la capacité d'infiltration, il se forme alors un ruissellement en surface qui approvisionne directement et rapidement lacs et rivières. (Anctil et *al.*, 2012).

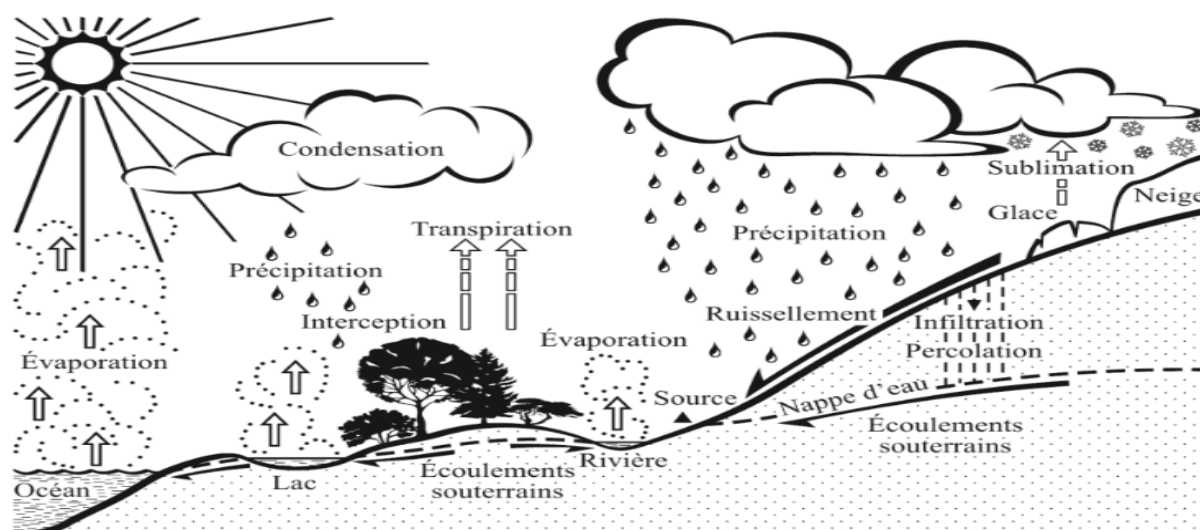


Figure 2: Cycle de l'eau dans la nature (Anctil et *al.*,2012).

### I.3 Répartition de l'eau sur la planète

#### ➤ L'eau dans l'océan

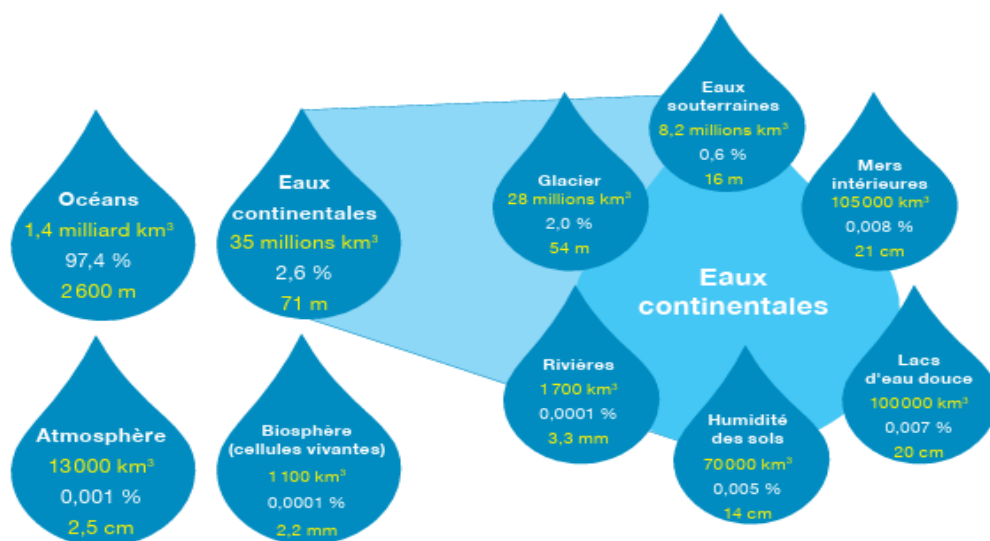
71 % de la surface de la Terre est recouverte par les mers et les océans, ce qui lui vaut son surnom de « planète bleue ». Cette eau salée représente 97,4 % de l'eau présente sur notre planète (figure2) est en perpétuel mouvement. Les océans sont en effet constitués de masses d'eau dont la température et la salinité, donc la densité, varient en fonction du temps et de l'espace (Herrman et *al.*, 2015).

#### ➤ L'eau sur les continents

Sur les 2,6 % d'eau douce restante dans l'hydrosphère, 2,0 % sont gelés de façon quasi-permanente dans les calottes polaires et glaciers (la cryosphère). Finalement, seule 0,6 % de l'eau présente sur terre est de l'eau douce disponible, qui contient donc moins de deux grammes par litre de sels minéraux dissous (Herrman et *al.*,2015).

Près de 60 % des ressources naturelles renouvelables d'eau douce du monde sont partagés par 9 pays : le Brésil, la Fédération Russe, l'Indonésie, la Chine, le Canada, les Etats-Unis, la Colombie, le Pérou et l'Inde. A l'autre extrémité, un certain nombre de pays disposent de ressources extrêmement faibles, voire quasi nulles : le Koweït, le Bahreïn, les Emirats Arabes Unis, laMalte, laLibye, leSingapour, laJordanie, laPalestineet Chypre (Cie, 2022).

En l'an 2000, les cinq pays méditerranéens du nord de l'Afrique (l'Algérie, l'Égypte, la Libye, le Maroc et la Tunisie) avaient des problèmes d'eau, ainsi que les pays sub-sahariens comme la Mauritanie, le Kenya, le Burundi, le Rwanda, le Botswana, le Malawi, le Soudan et la Somalie (Kettab, 2008).



**Figure 3:** Répartition de l'eau sur terre (Herrman et *al.*, 2015).

## I. 4 Les ressources de l'eau

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constitués d'eaux souterraines (nappe souterraines) des eaux terrestres (barrage, lacs, rivière), des eaux de surface, et en eaux de mer (Raven, 2009).

### I.4.1 Les eaux de pluie

Les eaux de pluie peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums. A l'origine, ces eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à la santé comme le Sodium, Magnésium, Fer et l'iode (Coulibaly, 2005).

### I.4.2 Les Eaux souterraines

Les eaux souterraines résultent de l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Il existe plusieurs types. La nappe libre est directement alimentée par les eaux de ruissellement. Elle est très sensible à la pollution.

Les eaux souterraines alimentent un grand nombre de petites municipalités. Elles ont des caractères très diversifiés. Elles sont généralement limpides, incolores, peu minéralisées et ne contiennent pas de microorganismes dangereux (Ben Abdarrezzak, 2010).

#### I.4.3 Eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit les ruissellements (Brault et Monod, 1989)

Elles sont constituées par les eaux des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages, réservoirs, glaciers. Bien qu'il semble s'agir de masses d'eau bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement, on ne doit pas oublier qu'elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté (Vilaginés, 2003). Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement.

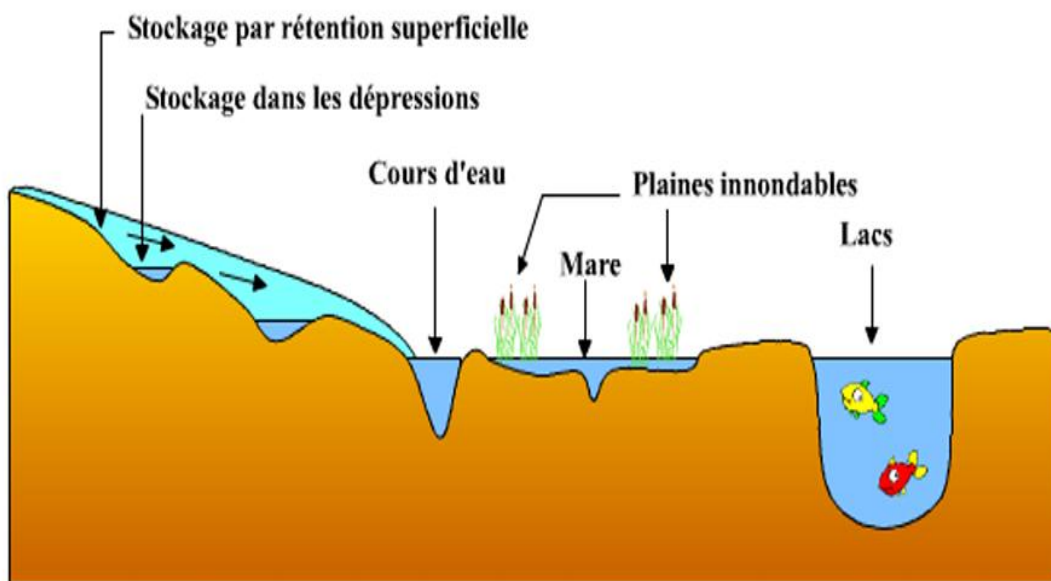


Figure 4: Formes des eaux de surface (Musy, 2001)

#### I.4.4 Les plans d'eau artificiels

Les plans d'eau artificiels sont dus à l'homme. Leur profondeur est beaucoup plus faible que pour un lac et peut s'élever au maximum à plusieurs dizaines de mètres (Monod, 1989). Ces plans d'eau artificiels comprennent deux milieux :

➤ **Les étangs** : Créés par endigage, sont créés en barrant l'émissaire d'une rivière ou d'un marécage palustre préexistant, ce qui accroît la superficie de la zone humide considérée dont la profondeur est, sous nos latitudes, inférieure à 10 m (Ramade, 1998).

Les étangs sont des étendues plus petites que les lacs. Ils sont souvent créés dans le but de faire de l'élevage de poisson (pisciculture).

➤ **Les retenues d'eau** : Consistent à collecter de l'eau en montagne ou dans les vallées. Ces retenues ont plusieurs vocations par exemple le barrage (Faurie et *al.*, 1998).

## **I.5 Lapollution de l'eau**

Toute pollution de l'eau est une altération dans un sens défavorable, d'une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette eau provoquée par le rejet de produits liquides, solides ou gazeux (Chartier, 1974).

D'après la loi n°3 du 19 juillet 2003, « la pollution des eaux est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques, et/ou biologiques de l'eau ».

### **I.5.1 Type de pollution de l'eau**

#### **I.5.1.1Pollution physique**

L'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement dans des centrales thermiques réchauffe les rivières dans lesquelles le rejet s'effectue. Cette élévation de température diminue la teneur en oxygène de l'eau et donc la capacité de vie des différentes espèces. La pollution thermique agit sur la température de l'eau, la pollution mécanique altère sa transparence par les matières en suspension. D'autres pollutions physiques agissent sur l'acidité, la salinité, la radioactivité, etc. Ces pollutions physiques perturbent les écosystèmes et diminuent la biodiversité (Bordet, 2007).

#### **I.5.1.2 Pollution chimique**

La pollution minérale des eaux résulte de la libération dans ces dernières de divers métaux toxiques et des substances inorganiques telles les nitrates, les phosphates et autres sels minéraux nutritifs utilisés en agricultures comme fertilisants, enfin de divers résidus rejetés par la métallurgie et d'autres activités (Ramade, 2005).

**I.5.1.3 Pollution biologique**

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes. L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, viral ou parasitaire (Thomaset et *al.*, 1995).

**I.5.2 Origine de pollution de l'eau****I.5.2.1 La pollution domestique**

D'après Genin et al. (2003), elle provient des habitations. Elle est en général véhiculée par un réseau d'assainissement, qui collecte les rejets de chaque foyer ou centre d'activité vers une station de traitement des eaux usées. Elle se caractérise par :

- Des fortes teneurs en matières organiques ;
- Des sels minéraux dont l'azote et le phosphore ;
- Des détergents ;
- Des germes fécaux.

**I.5.2.2 La pollution industrielle**

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité renferment des produits divers sous forme insoluble d'origine minérale et/ou organique, parfois toxiques même à très faible concentrations (Brénaud, 2006).

**I.5.2.3 Pollution agricole**

Selon Gaujous (1995), provenant des fermes ou des cultures, elles se caractérisent par de fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant :

- Des engrais ;
- Des purins et lisiers (élevage) ;
- La présence des produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...).

**Tableau 1:** Les principales sources de pollution et leur effets (Degremont ,1989)

| SUBSTANCES                                           | ORIGINES                                                                                                                                                                    | EFFETS                                                                                               |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>HYDROCARBURES<br/>ESSENCES,<br/>HUILES, FIOUL</b> | Transports routiers, Industries,<br>accidents pétroliers, fuites lors<br>des déchargements des pétroliers,<br>lessivage par la pluie des zones<br>urbaines (parking, route) | Altération des<br>mécanismes<br>Physiologiques de tous<br>les organismes vivants                     |
| <b>METAUX LOURDS</b>                                 | Transports routiers, industries<br>métallurgiques et pétrochimiques,<br>peinture et carénage des bateaux                                                                    | Affectent surtout les<br>animaux                                                                     |
| <b>PESTICIDES ET<br/>INSECTICIDES</b>                | Utilisation domestique, agriculture                                                                                                                                         | Trouble du métabolisme<br>et du système<br>neurologique<br>Altération des processus<br>enzymatiques  |
| <b>COMPOSES<br/>AZOTES ET<br/>PHOSPHATES</b>         | Agriculture, aquaculture, industries<br>agroalimentaires, eaux usées<br>domestiques                                                                                         | Phénomène d'anoxie et<br>d'eutrophisation                                                            |
| <b>DETERGENTS</b>                                    | Eaux usées domestiques, industries                                                                                                                                          | Affectent les plantes et<br>les algues<br>Effet amplifié si<br>combinaison<br>avec des hydrocarbures |
| <b>LES MATIERES EN<br/>SUSPENSIONS</b>               | Eaux usées domestiques, lessivages<br>des sols, industries.                                                                                                                 | Diminution apport<br>de lumière                                                                      |

### I.6L'eutrophisation de l'eau

L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment en composés de l'azote et/ou du phosphore, provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures qui entraîne une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau (Aissani et al., 2017).



Figure 5: Le phénomène d'eutrophisation (Pinay et al.,2017).

### I.6.1 Les types d'eutrophisation

D'après Pinay et al. (2017), il existe deux types d'eutrophisation :

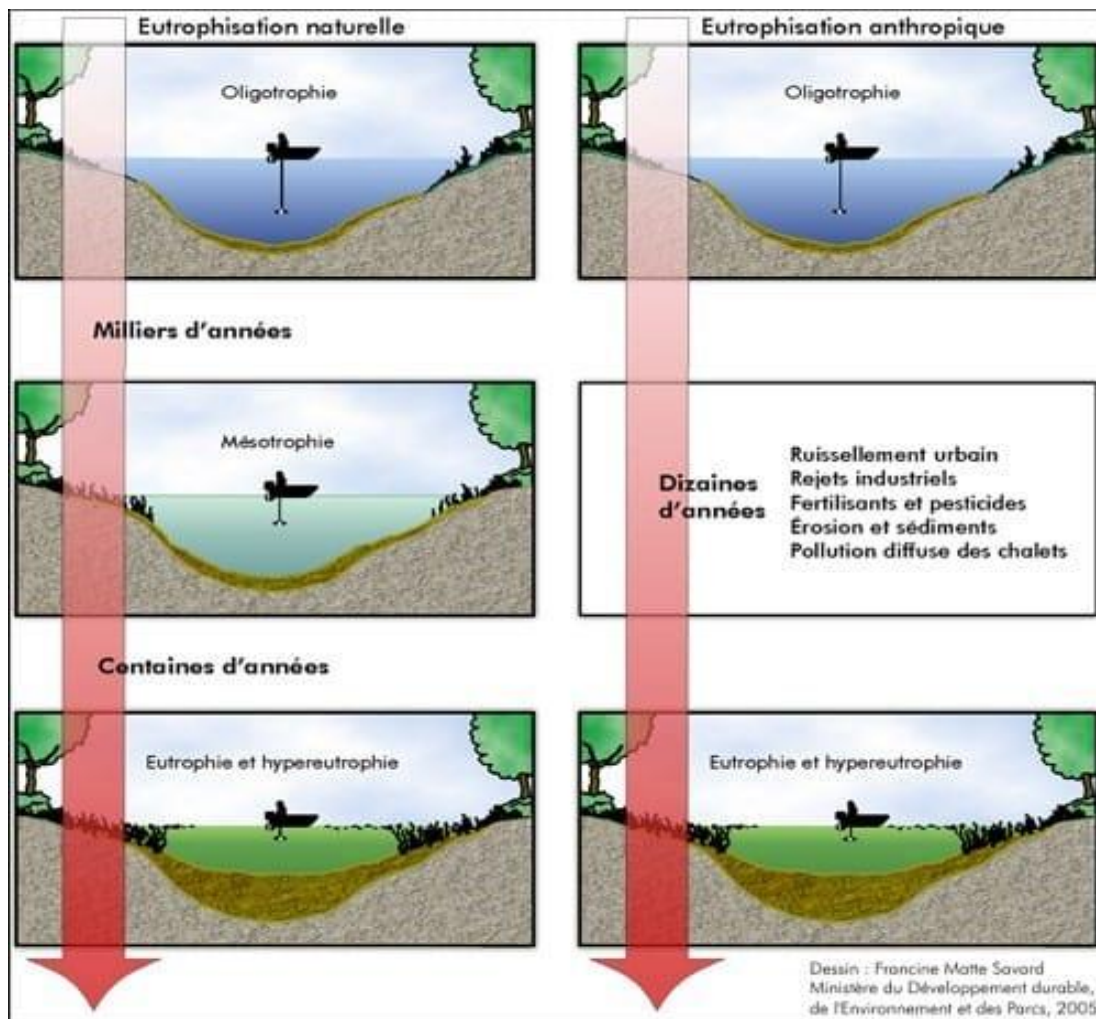
- **Eutrophisation « naturelle » ou géologique** : augmentation de la production de matières organiques qui accompagne l'évolution d'un écosystème aquatique sur des temps géologiques jusqu'à son éventuel comblement ;
- **Eutrophisation anthropique** : d'un écosystème aquatique associé à la surproduction de matières organiques induit par des apports anthropiques en phosphore et en azote.

### I.6.2 Les niveaux d'eutrophisation

En faisant référence à Devidal (2007), les plans d'eau peuvent être classés en fonction de l'état trophique qu'ils présentent. On différencie ainsi plusieurs stades d'avancement dans le processus d'eutrophisation, appelés aussi niveaux (ou états) trophique ou degrés d'eutrophisation. On retrouve dans cette classification des plans d'eau :

- **Oligotrophe** : Ces lacs ont des eaux claires, pauvres en éléments nutritifs et ont une faible productivité biologique. Ils sont généralement profonds et leur bassin versant est relativement petit ;
- **Mésotrophe** : Ces lacs reçoivent une quantité plus grande d'éléments nutritifs et ont une productivité biologique modérée. Des changements dans les espèces présentes apparaissent ;

- **Eutrophe** : Ces lacs sont très enrichis en éléments nutritifs. Ils sont caractérisés par une productivité biologique élevée et il peut en résulter une perte de la diversité des espèces ;
- **Hyper-eutrophe** : Sont des plans d'eau extrêmement affectés par l'eutrophisation, et dont le fonctionnement est très fortement perturbé (Hade, 2002).



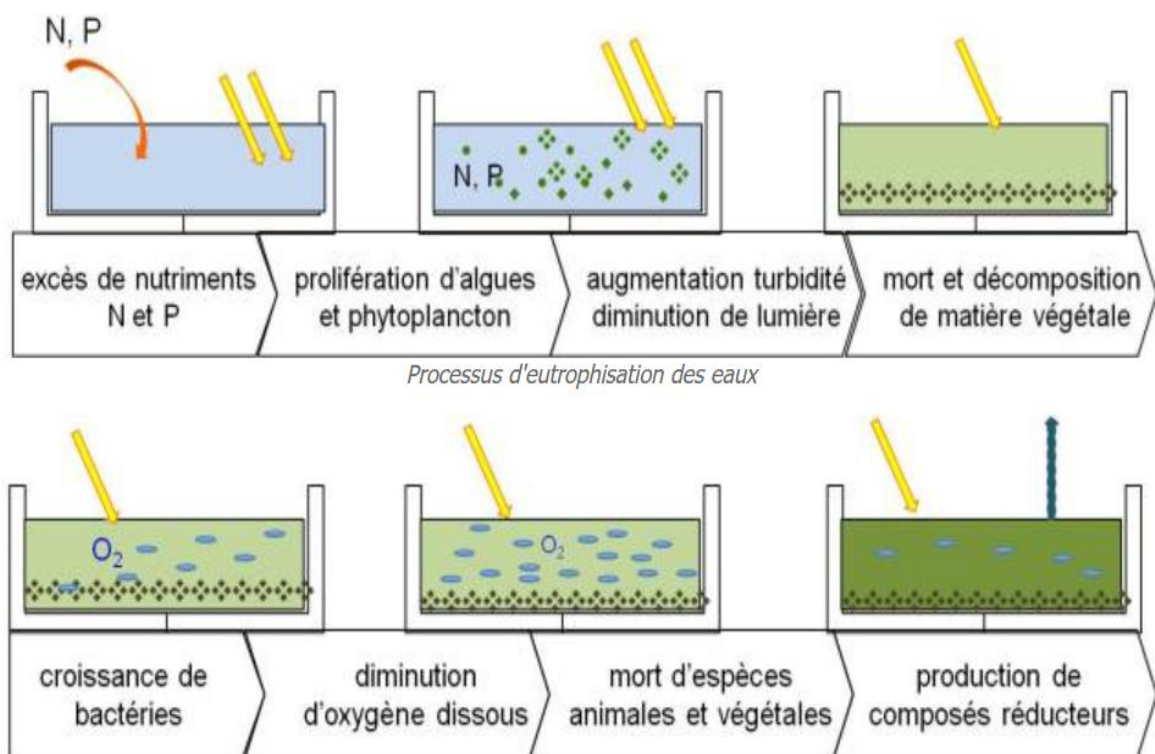
**Figure 6:** Évolution selon trois stades distincts, qualifiés de niveaux trophique (Site web1)

### I.6.3 Les processus d'eutrophisation

En se basant sur Hade (2002), voici en résumé les grandes étapes de ce phénomène complexe :

- Le lac reçoit des apports en d'éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps) ;

- L'accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau provoque, à plus ou moins long terme, une prolifération de plantes aquatiques et d'algues dans la couche supérieure du lac et dans le littoral. Ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau (l'eau devient plus turbide) ;
- L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau. La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du lac ;
- Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion (voir fiche sur la stratification thermique) se dépose au fond du lac, suite à sa sénescence (mortalité) ;
- Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale, ce qui provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur ;
- La raréfaction de l'oxygène dissous de la couche inférieure du lac occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes au lac.



**Figure 7:** Les processus d'eutrophisation (Site web 2)

**I.6.4 Les cause d'eutrophisation****I.6.4.1 Les causes directes du phénomène**

D'après Maystre (1994), la forme particulière de pollution est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables principalement issues de l'activité humaine. Ils proviennent principalement des phosphates contenus dans les détergents, les engrais, et des nitrates contenus dans les engrais azotés, mais aussi de l'ammoniac issu de la décomposition des effluents organiques par des bactéries. Elle se manifeste de la manière suivante :

- Les matières organiques biodégradables sont dégradées par les bactéries présentes dans le milieu ;
- L'excès de nutriments, de son côté, entraîne une multiplication en surface de certaines plantes aquatiques qui en mourant augmentent encore les quantités de matières organiques biodégradables présentes dans le milieu.

**I.6.4.2 Les causes indirectes de l'eutrophisation**

Et d'après le même auteur Maystre (1994), les six principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, les ménages, la circulation, l'urbanisation, les forces armées. Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eau et plus généralement tout le milieu naturel. Ces rejets comprennent :

- Les eaux ménagères, c'est-à-dire des eaux de cuisine, de toilette et de lessive contenant des graisses, savons, détergents et déchets divers ;
- Les eaux-vannes provenant des lieux d'aisances, contenant les matières fécales et les urines ;
- Les eaux d'origines diverses telles les eaux de pluie et de drainage ;
- Les eaux usées agricoles provenant de l'élevage dont les fumiers et lisiers sont riches en matières organiques azotées mais dont certains composés, les nitrates par exemple peuvent être entraînés, en raison de leur grande solubilité, par les eaux de lessivage ;
- Les eaux atmosphériques ou de ruissellement provenant du lavage de l'atmosphère (pluies acides) et du lessivage des sols de voirie et de toute surface imperméable (routes, chemins de fer, parkings, surfaces bâties).

**I.6.5 Les conséquences d'eutrophisation**

Maréchal (1979) mentionne que, l'eutrophisation a des conséquences souvent catastrophiques :

- Augmentation de la teneur en matière organiques (M.O.) ;
- Augmentation de la biomasse planctonique ;
- Augmentation des teneurs ammoniacale, fer et manganèse dissous ;
- Augmentation de la couleur de l'eau donc la dégradation de qualité de l'eau.

***Chapitre II :***  
***Evaluation de la qualité de l'eau***



## **II Evaluation de la qualité de l'eau**

Au Canada, on considère en général que le terme « qualité de l'eau » désigne les caractéristiques et les conditions physiques, chimiques et biologiques de l'eau et des écosystèmes aquatiques qui influent sur la capacité de l'eau à servir aux utilisations auxquelles elle est destinée (Kent, 2006).

### **II.1 Evaluation physiques**

#### **II.1.1 Température**

En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH d'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et leur origine (Rodier, 1996). Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 °C. L'activité métabolique des organismes aquatiques est également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes (Villers, 2005). La source principale de nuisance thermique pour les eaux de surface est constituée par les centrales thermiques (70 à 80 %), le reste étant lié à la métallurgie, aux industries chimiques et alimentaires...etc. (Pesson, 1976 ; Ramade, 1982).

#### **II.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le potentiel hydrogène plus connu sous le nom du pH est la valeur qui détermine si une substance est acide, neutre ou de base. Le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14, un pH de 7 signifie que la solution est neutre, un pH inférieur à 7 indique que la solution est acide, un pH supérieur à 7 indique que la solution est basique, une solution est neutre lorsqu'il y'a autant de  $H_3O^+$  que d' $OH^-$  (Rodier, 1996).

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène ( $H^+$ ) (Rodier, 2005).

$$PH = -\log [H^+].$$

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'anhydride carbonique, l'alcalinité et la température (Rodier, 1984).

Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (Villers et *al.*, 2005).

#### **I.6.4.3 Conductivité électrique (CE)**

Est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 1984).

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente et varie en fonction des terrains lessivés et également de certaines activités industrielles et agricoles (Detay, 1993). Elle s'exprime en micro siemens par centimètre  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Savary, 2010). La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Villers, 2005).

#### **II.1.4 Dureté de l'eau**

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés (BERNARD, 1966). Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et  $\text{H}^+$ . Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée ou dureté permanente qui provient des sulfates et chlorures. Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés détergentes des lessives et savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau (Villers, 2005)

#### **II.1.5 Turbidité**

La turbidité montre si l'eau est claire, transparente ou limpide. Elle indique la présence de particules colloïdales en suspension dans l'eau (argile, limons, particules fibreuses ou organiques, micro-organismes...). Elle est exprimée en unités de turbidité céphalométriques (UTN) ou en anglais NTU (Nephelometric turbidity units) (Vilaginés, 2003).

#### **II.1.6 Matière en suspension (MES)**

Ce sont des particules solides très fines et généralement visible à l'œil nu, théoriquement elles ne sont pas ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau (Hakmi, 1994).

Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par la suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...etc) (Lounnas, 2008).

La mesure de la MES permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire (Rejsek, 2002).

### **II.1.7 Oxygène dissous**

L'oxygène dissous dans les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs ; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (Tardat et Henry;1992).

### **II.1.8 Salinité**

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin certains sont essentiellement déterminés par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique). Le chlorure de sodium (NaCl) n'est qu'un des très nombreux sels composant l'eau, pour la mesure de la salinité on utilise un multi paramètre (Rejsek, 2002).

### **II.1.9 Résidu sec (RS)**

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles dans l'eau. Il permet d'apprécier la minéralisation de l'eau. La quantité de résidu à sec correspond à la quantité de minéraux qu'il reste après évaporation. Très souvent, elle s'exprime en milligrammes par litre. Plus concrètement, cela signifie qu'on prend un litre d'eau, on le porte à 180 °C, on attend que toute l'eau se soit évaporée et on pèse ce qu'il reste pour obtenir la masse de résidu à sec. Ce n'est pas si compliqué que ça à comprendre en fin de compte (Rodier, 1984).

### II.1.10 Total des solides dissouts (TDS)

La quantité des sels minéraux dissous influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau qui est appelée le TDS. Une eau, dont la minéralisation est inférieure à 600 mg/l, est généralement considérée comme bonne. La mesure de la TDS se fait dans le laboratoire à l'aide d'un multi-paramètre ou un TDS-mètre en mettant une quantité de l'eau à analyser dans une cuve stérile et introduire cette eau dans l'une des appareils (Rodier, 1996).

## II.2 Evaluation chimiques

### II.2.1 Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) L'azote ammoniacal est fréquent dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne (Brmenond et al., 1973).

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, qui est un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg  $\text{NH}_3^+/\text{l}$  (De Villers et al., 2005).

### II.2.2 Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates,  $\text{NO}_3^-$ , sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement assimilables par les plantes. Ils sont ajoutés au sol soit directement par les agriculteurs soit indirectement par le fumier ou le purin. A cause de leur bonne solubilité dans l'eau, les nitrates sont facilement éliminés du sol en direction de la nappe phréatique, en particulier quand le sol est en jachère, par exemple en hiver. Ils sont généralement l'indice d'une pollution. Le nitrate constitue le stade final de l'oxydation de l'azote (Rodier, 2005).

### II.2.3 Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniacque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniacque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique.

La présence de nitrates dans l'eau est un indice d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle. Le Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) Les nitrites et les nitrates constituent la forme la plus abondante d'azote dans l'eau, bien que naturellement présents en faible quantité dans les eaux de surface, des concentrations trop élevées de nitrites-nitrates peuvent être toxique pour la faune aquatique et provoque une maladie infantile (méthémoglobinémie) (Rejesk, 2002).

#### **II.2.4 Phosphore (P)**

Peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...) (Brmenond et al.1973).

#### **II.2. 5 Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )**

Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 mg/l à 100 mg/l. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées (Nalco, 1983). Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) doivent être particulièrement suivis Les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés (Rodier, 1984).

#### **II.2.6 Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. C'est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ). Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), qui sont facilement solubles.

Il est le composant majeur de la dureté de l'eau et l'élément dominant des eaux naturelles (George et Harrap, 1963).

La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. Lorsque sa teneur dans l'eau dépasse la norme, il provoque l'entartrage dans les canalisations.

Les eaux minérales contiennent plusieurs dizaines de milligrammes par litre. L'organisation mondiale de la santé « OMS » recommande pour l'eau destinée à la consommation humaine une valeur limite de 500 mg/l. (Beaudry et Henry ; 1984).

### II.2.7 Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants dans la nature. Il constitue 2,5% de la croûte terrestre et forme généralement des roches comme la giobertite (“magnésite”), la dolomie, l’olivine, la serpentine, le talc et l’amiante (Ministère de l’Environnement de l’Ontario, 1976). Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

Dans les régions riches en roches magnésiques, l’eau peut contenir des concentrations de 10 à 50 mg/l de cet élément. Les sulfates et les chlorures de magnésium sont très solubles et l’eau en contact avec leurs gisements peut contenir plusieurs centaines de milligrammes de magnésium par litre (George et Harrap, 1963).

C’est aussi un élément de la dureté de l’eau dont la teneur dépend des terrains traversés. Indispensable pour la croissance, il intervient comme élément plastique dans l’os et comme élément dynamique dans les synthèses enzymatiques et hormonales. Les concentrations de magnésium ne sont pas tellement dépendantes des activités humaines, donc le magnésium n’est pas utilisé comme indicateur de stress lié à la pollution. Son apport journalier nécessaire à l’adulte est de 200 à 300mg. Toutefois, à partir de certaines teneurs, il donne à l’eau une amertume désagréable (Rodier, 1975).

### II.2.8 Sulfate ( $SO_4^{2-}$ )

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l’oxydation des minéraux sulfureux (Bremond et *al.*, 1973 ; Rodier, 1984 ).

Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates (Rodier., 1984).

### II.2.9 Fer ( $Fe^{2+}$ )

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d’oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcasite (Sulfure) ; La présence de fer dans l’eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui se fixent sur les parois des canalisations et entraînent les phénomènes de corrosion avec formation de concrétions volumineuses et dures

Les besoins journaliers de l'organisme en fer s'élèvent à l'ordre de 1 à 2 mg. Les limites de potabilité sont basées sur des effets esthétiques, le seuil gustatif, les effets ménagers et les inconvénients qu'entraîne le fer, à trop fortes concentrations, dans les réseaux de distribution. A des concentrations de l'ordre de 300 mg/l, le fer tache le linge et les installations sanitaires en lui conférant de mauvais goût l'eau. Sa concentration maximale admissible est de 200 mg/l (Rodier, 2009).

Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 µg P/l) (Villers et al., 2005).

#### II.2.10 Titre Alcalimétrique (TA) et Titre alcalimétrique complet TAC

La TA permet de connaître la teneur hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ), moitié de la teneur en carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  et un tiers environ des phosphates présentes (Rodier, 1984).

La TAC correspond à la teneur en  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  pour des pH inférieurs à 8.3, la teneur en ions  $\text{OH}^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  est négligeable ( $\text{TA}=0$ ). Dans ce cas, la mesure du TAC correspond au dosage des bicarbonates seuls. Les bicarbonates sont dosés par un acide fort en présence d'un indicateur coloré (Rodier, 1984).

### II.3 Evaluation biologiques

#### II.3.1 Définition de bio-indicateur

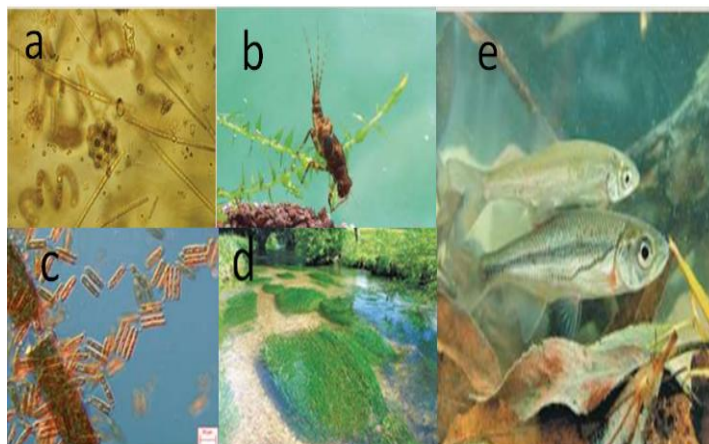
La notion de bio-indicateur désigne une espèce ou une population qui, du fait des particularités écologiques des espèces composant l'assemblage, et qui révèle précocement des modifications biotiques ou abiotiques de l'environnement. Pratiquement tous les organismes révèlent des informations sur leur environnement, mais certains sont plus utiles pour la surveillance de la qualité des eaux que d'autres.

Le bio-indicateur indique non seulement des changements environnementaux, mais fournit également des informations au sujet de l'intensité d'exposition à certaines substances par des réponses "mesurables", physiologiques, biochimiques ou comportementales. Les informations peuvent ainsi être déduites de leur contenu en composés ou éléments particuliers, de leur structure cellulaire ou morphologique, de modifications métaboliques ou biochimiques, d'études comportementales ou de la structure des populations (Charles et Smol. 1994).

### II.3.2 Type des bio-indicateurs de la qualité des eaux

En faisant référence à Chauvin et al.(2021), les éléments biologiques sur lesquels s'appuie l'évaluation de qualité biologique au sens de la directive cadre européenne sur l'eau :

le phytoplancton (a), les macroinvertébrés benthiques (une éphémère, b), le phytobenthos (diatomées, c), les macrophytes (d), l'ichtyofaune (e).



**Figure 8:** Les bioindicateurs de la qualité des eaux (Chauvin et al., 2021).

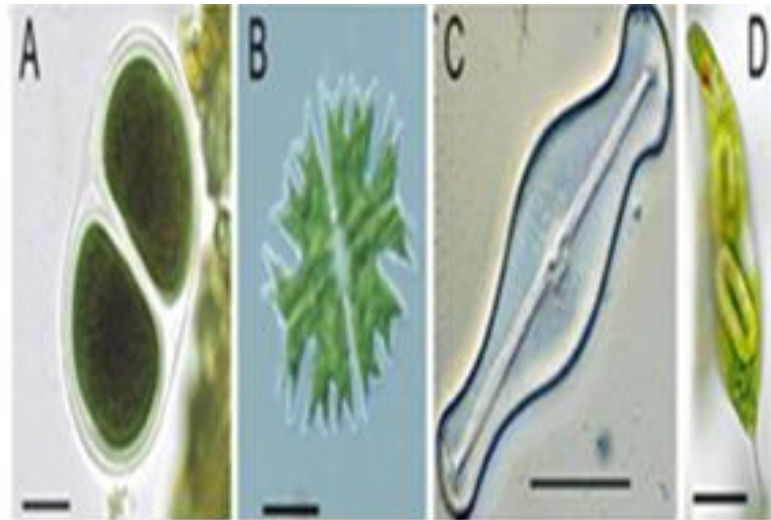
### II.3.3 Phytoplancton comme indicateur de qualité de l'eau

Le phytoplancton, comme les macrophytes, les invertébrés et les poissons, est un bio-indicateur, c'est-à-dire qu'il indique la qualité de son habitat à travers la diversité, l'assemblage des taxons et la présence ou l'absence de groupes sensibles à la pollution.

Phytoplancton ou Le plancton végétal est l'ensemble des algues microscopiques formées d'une seule cellule (microalgues). Bien qu'elles soient unicellulaires, les microalgues présentent une grande diversité de tailles, de couleurs et de formes qui peuvent être très élaborées (MolloNoury, 2013). Des critères de taille permettent classiquement de séparer les groupes de phytoplancton. On parle de picoplancton (inférieur à 2  $\mu\text{m}$ ), de nanoplancton (entre 2  $\mu\text{m}$  et 20  $\mu\text{m}$ ) et de microplancton au-delà et jusqu'à quelques millimètres (Alvain, 2005).

#### II.3.3.1 Différentes formes du phytoplancton

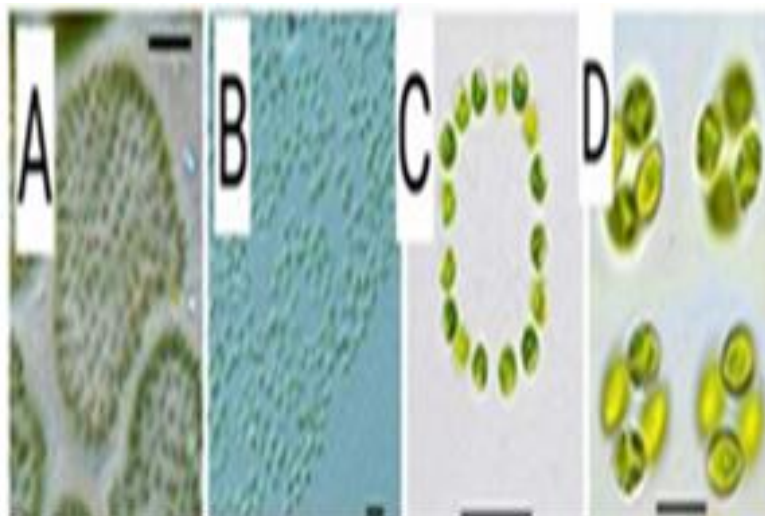
Formes unicellulaires Espèces qui se présentent sous forme de cellules solitaires qui peuvent être non mobiles ou mobiles, Ces dernières se déplaçant en utilisant un ou plus de flagelles ou glissant le long des surfaces via le mucilage ou d'autres moyens. Une grande variété de formes existe parmi les mono cellules, y compris ceux contenus dans une gaine gélatineuse, cellules avec des formes complexes, des murs et des marques, des cellules ayant des formes de cellules flexibles.



**Figure 9:** Formes unicellulaires (A : *Chroococcus giganteus*, B : *Micrasterias amiricana* , C : *Didymosphenia geminata* (diatomée pennale), D : *Euglena* sp ( euglénoïde photosynthétique) (Sheath et Wehr, 2015).

### ➤ Formes coloniales

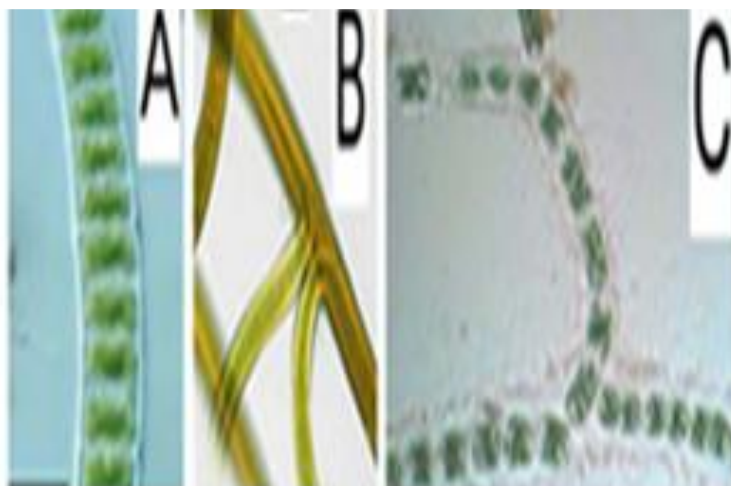
Une agrégation de cellules qui sont maintenues ensemble soit dans un modèle lâche ou bien organisé. Selon le taxon d'algue les colonies peuvent contenir un nombre variable de cellules ou elles peuvent être constantes tout au long de leur développement (coenobium). Les colonies peuvent être composées de cellules flagellées ou non flagellées et la base de la connexion cellulaire varie selon les colonies, y compris une matrice gélatineuse environnante, tiges gélatineuses ou une paroi parentale commune.



**Figure 10:** Formes coloniales (A: *Woronichinia negeliana* (cyanobactérie), B: *Tetraspora lubrifa* , C : *Dictyosphaerium granulatum*, D : *Oocystis lacustris* (Sheath et Wehr, 2015).

➤ **Formes filamenteuses**

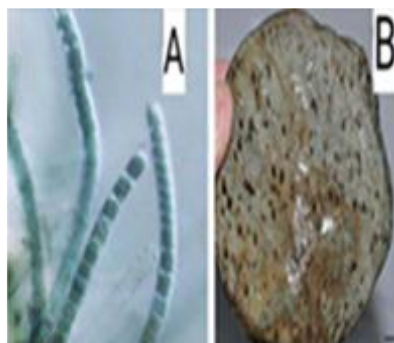
Une chaîne ou une série de cellules dans laquelle les cellules sont disposées bout à bout avec des cellules adjacentes partageant une paroi transversale. Traditionnellement les colonies linéaires se distinguent des vrais filaments par le fait que les cellules coloniales contiguës possèdent chacune leurs propres parois entières, par exemple, alors que les vrais filaments ne le font pas.



**Figure 11:** Formes filamenteuses ( A : *Zygnema sp* Algue verte conjugué), B : *Scytonema sp* (Cyanobactérie filamenteuse), C : *Chlorodactylon sp* (algue rouge) (Sheath et Wehr ,2015).

➤ **Formes pseudo –filamenteuses**

Une agrégation de cellules de bout en bout. Les cellules ne sont pas directement connectées les unes aux autres, ils sont plutôt espacés et peuvent être contenus dans une matrice ou une gaine gélatineuse commune quelques cyanobactéries pseudo filamenteuses forment des croûtes macroscopiquement reconnaissables sur les roches.



**Figure 12:** Formes pseudo –filamenteuses (A : *Stichosiphon willei*, B: *Chamaesiphon sp* (Sheath et Wehr, 2015).

### II.3.3.2 Diversité et classification du phytoplancton

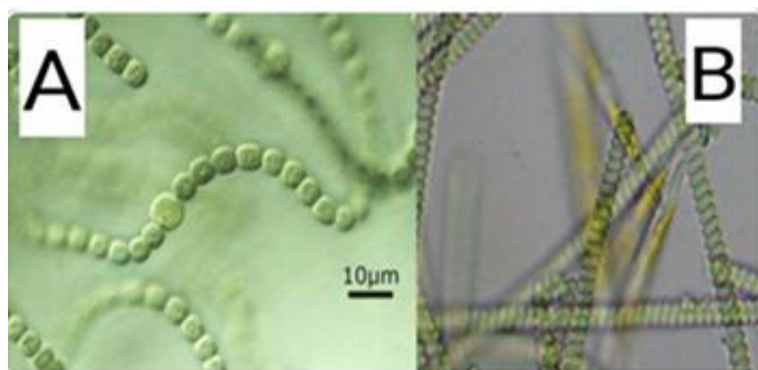
Peuplant les eaux douces comme marines, les micro-algues présentent une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres. Il existerait sur le globe au moins 200 000 espèces différentes. Certains auteurs avancent même des chiffres supérieurs à un million d'espèces. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryotes (les algues bleues ou Cyanobactéries) et eucaryotes (où l'on retrouve les algues vertes, rouges et brunes) (Person, 2010).

**Tableau 2:** Différents embranchements des microalgues, d'après Jeffrey et al. (1997)

| <b>Taxons</b>           | <b>Nombre d'espèces</b> | <b>Nom commun</b>                    | <b>Genres représentatifs</b>                           |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Cyanophytes</b>      | 10 000                  | Algues bleu-vert 3<br>Cyanobactéries | <i>Anabaena, Nostoc, Microcystis</i>                   |
| <b>Bacillariophytes</b> | 5 600                   | Diatomées                            | <i>Tabellaria, Nitzschia, Skeletonema</i>              |
| <b>Dinophytes</b>       | 3 000                   | Dinoflagellés 3<br>Péridiniens       | <i>Gymnodinium, Ceratium, Alexandrium</i>              |
| <b>Chlorophytes</b>     | 7 500                   | Algues vertes                        | <i>Chlamydomonas, Chlorella, Spirogyra,</i>            |
| <b>Chrysophytes</b>     | 200                     | Algues brunes                        | <i>Dinobryon, Phaeococcus</i>                          |
| <b>Rhodophytes</b>      | 200                     | Algues rouges                        | <i>Hildenbrandia, Batrachospermum, Cyanidioschyzon</i> |
| <b>Euglenophytes</b>    | 800                     | Les Euglènes                         | <i>Euglena, Phacus, Trachelmonas</i>                   |
| <b>Haptophytes</b>      | 300                     | Prymnesiophytes                      | <i>Phaeocystis, Dicronema, Coccolithus</i>             |
| <b>Glaucophytes</b>     | 13                      | Algues bleus flagellées              | <i>Cyanophora, Glaucocystis</i>                        |
| <b>Xanthophytes</b>     | 600                     | Algues vert-jaune                    | <i>Tribonema, Goniochloris, Nephrodiella</i>           |
| <b>Cryptophytes</b>     | 200                     | Cryptomonades                        | <i>Cryptomonas, Chilomonas, Plagioselmis</i>           |

#### II.2.3.2.1 Les cyanobactéries

Organismes primitifs autotrophes apparentés aux bactéries, sans noyau individualisé, renfermant en plus de la chlorophylle des pigments surnuméraires (caroténoïdes, phycobilines, phycocyanine) permettant d'utiliser une plus grande partie du spectre lumineux (planches 2 et 3).

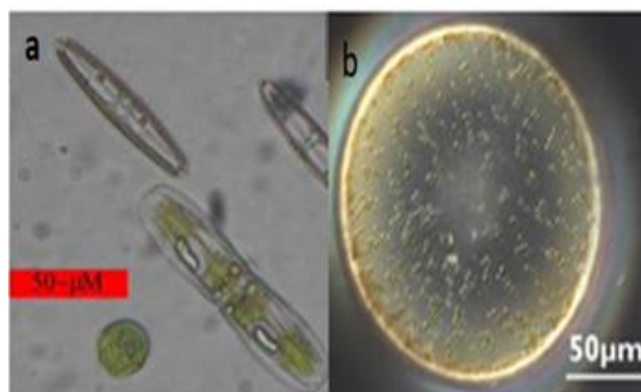


**Figure 13:** Photographie du phytoplancton procaryote, Cyanophycées ( A : Nostoc sphaerium, B : Spirulina )(Djamai, 2019).

#### II.2.3.2.2 Les diatomées (Bacillariophycées)

Les diatomées sont des algues unicellulaires appartenant à l'embranchement des Chrysophycées. Cet embranchement se divise en trois classes principales : les algues brun jaune, les algues vert-jaune et les diatomées (aussi appelées bacillariophycées).

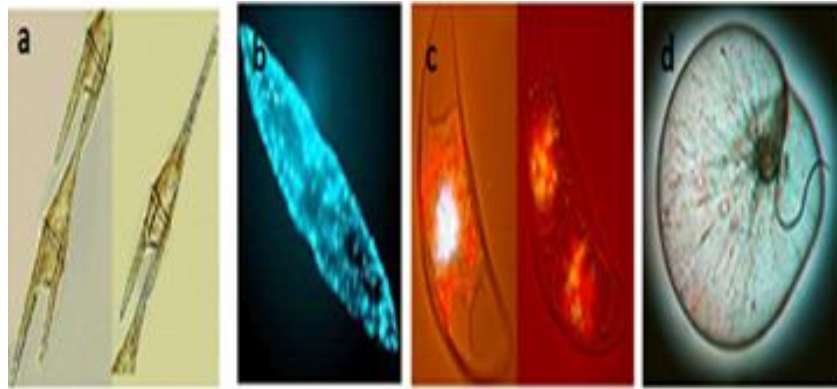
Selon la forme de leur frustule, les diatomées se divisent en deux types : les pennées (ordre des Bacillariales) de forme plus allongée et généralement de symétrie bilatérale et les centriques (ordre des Biddulphiales) caractérisées par un frustule de symétrie radiale le plus souvent en forme de disque ou de boîte de Pétri (Burckle, 1998).



**Figure 14:** Les types des diatomées (a : Ordre des Bacillariales, b : ordre des Biddulphiales (Ben mustapha, 2013).

#### II.2.3.2.3 Les Dinophycées

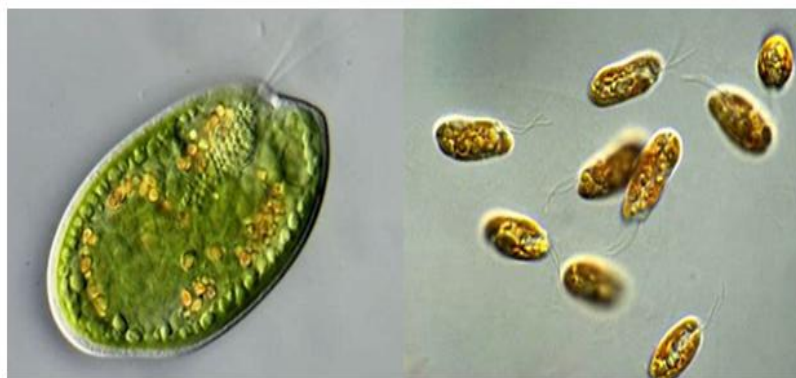
Ou Dinoflagellés, les cellules de taille (10- 200 µm) peuvent être solitaires ou regroupées en colonies (Herzi, 2013). Les Dinoflagellés sont caractérisés par la présence de deux flagelles dissemblables : un flagelle transversal et un autre longitudinal qui sont logés dans deux sillons orthogonaux : le sulcus et le cingulum dont la jonction définit la face ventrale de ces organismes (Sournia,1986).



**Figure 15:** Différentes espèces des dinoflagellés (a : *Noctiluca scintillans*, b : *Dissodinium pseudolunula*, c : *Pyrocystis fusiformis*, d : *Ceratium furca* (Poupin et al., 1999).

#### II.2.3.2.4 Les Cryptophycées

Les algues cryptophytes sont une évolution lignée eucaryote unicellulaire distincte et écologiquement importante habitant les environnements marins, saumâtres et d'eau douce. Les cryptophytes sont principalement photosynthétiques avec des plastes qui contiennent de la chlorophylle a et c ; ainsi que des phycobilines comme pigments accessoires. Ils sont composés de brun, rouge ou groupes photosynthétiques de couleur Bleu-vert (Kim et al., 2017).

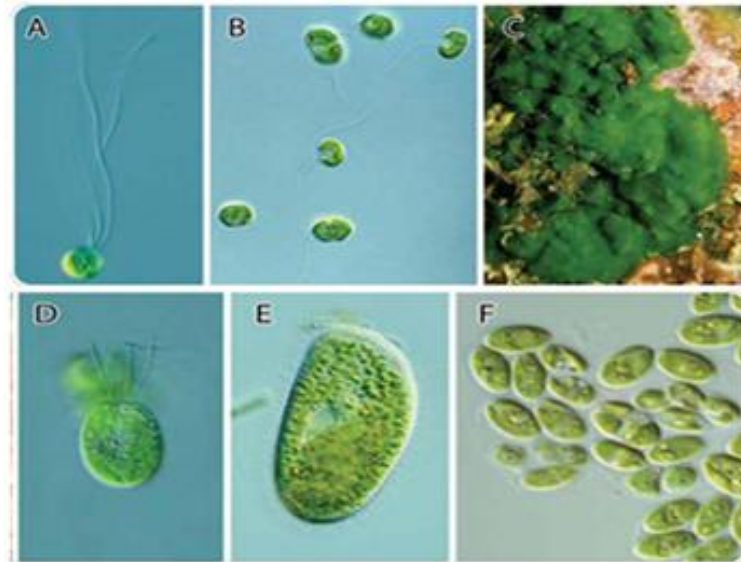


**Figure 16:** Les Cryptophycées (*Rhodomonas*) (Site web 3)

#### II.2.3.2.5 Les Chlorophycées

Il existe environ 6 000 à 8 000 espèces dans ce groupe, dont 10 pour cent sont Marin. Certains flottent librement, mais la plupart vivent sur les roches côtières ou en grandes agrégations sur eau stagnante, comme dans les étangs. La présence de chlorophylle est évidente dans la coloration des algues vertes.

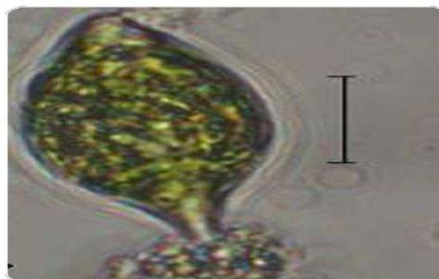
Cependant, la présence d'autres pigments peut affecter la coloration de certaines espèces, de sorte qu'en fait, les individus espèces d'algues vertes de couleurs variées du vert jaunâtre au très foncé, presque vert noirâtre. Certaines espèces d'algues vertes se reproduisent asexuellement, généralement par simple fission ou fragmentation, cependant, certaines espèces libèrent des spores (Hollar,2011).



**Figure 17:** Diversité taxonomique des Chlorophycées (A : *Pterosperma*, B : *Nephroselmis*, C : *Palmophyllum*, D : *Tetraselmis*, E : *Chlorella*, F : *Oocystis* (Leliaert et al., 2012).

#### II.2.3.2.6 Les Euglénophytes

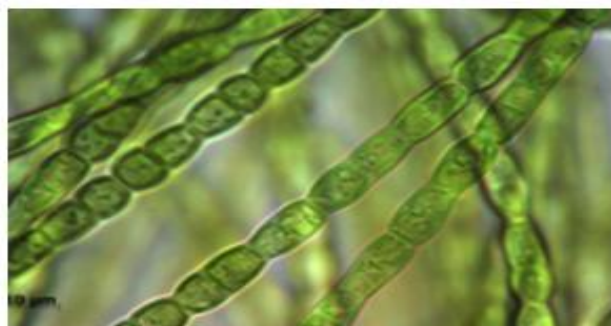
Ils sont de petites algues flagellées, incolore ou possédant des chloroplastes, vivant en eau douce essentiellement. Ils sont presque tous unicellulaires, sans paroi cellulaire, possèdent un, deux ou trois flagelles qui émanent d'une invagination de la membrane cellulaire, une vacuole contractile et un stigma orange à rouge composé de globules de caroténoïdes. Bien que certaines euglènes soient non pigmentées, phagotrophes (capable d'ingérer des particules solides) et par conséquent considérés comme des protistes animaux (ex protozoaires), la plupart sont photosynthétiques et parfois hétérotrophes (Gorga , 2012).



**Figure 18:** Photomicrographies d'euglena gracilis (Roy et Pal, 2016).

### II.2.3.2.7 Les Xanthophycées

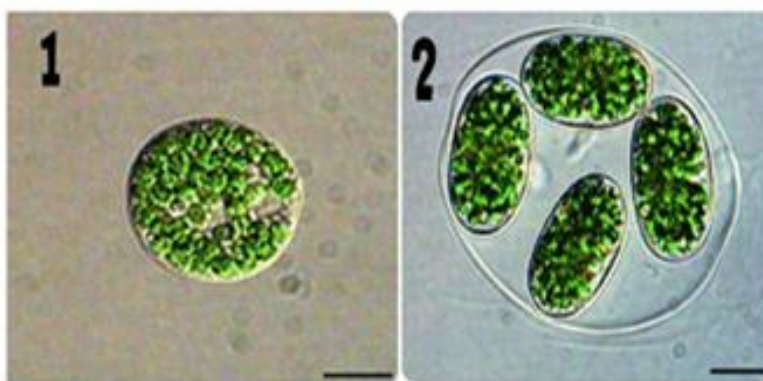
Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes ( $\beta$ -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte. Les cellules mobiles possèdent deux flagelles de taille différente. La paroi cellulaire est souvent absente et quand elle est présente elle contient une grande quantité de pectine et peut être siliceuse chez plusieurs espèces. Les xanthophycées se divisent essentiellement par fission binaire mais peuvent également former des zoospores. La reproduction sexuée, quand elle a lieu, est le plus souvent isogame (Rolland, 2009).



**Figure 19:** Les Xanthophycées (Tribonematales) (Site web 4).

### II.2.3.2.8 Les Glaucophytes (Glaucocystophytes)

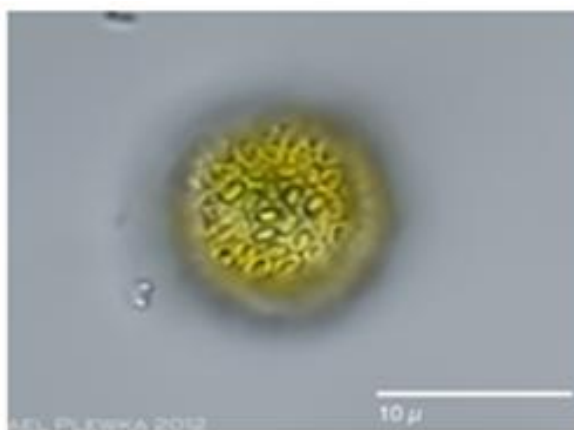
Constitueraient le plus ancien groupe d'organismes photosynthétiques eucaryotes. C'est un petit groupe d'algues unicellulaires retrouvées en eaux douces et en environnements terrestres. Le plaste des glaucophytes est original car il possède des caractéristiques structurales très proches de celles des cyanobactéries : paroi de peptidoglycane de type procaryote autour du plaste, chlorophylle a et phycobilines comme unique pigment. Les chloroplastes des Glaucophytes sont bleu-vert et présentent l'aspect apparent des chloroplastes des cyanobactéries (Andersen, 2013).



**Figure 20:** Cellules d'algues (Price et al., 2017).

### II.2.3.2.9 Les Haptophytes (Les coccolithophores)

Les coccolithophores appartiennent à l'embranchement des Haptophyta qui constitue, avec ceux des Dinophyta et des Ochrophyta un des trois grands groupes de producteurs primaires du milieu marin. Ses représentants sont surtout rencontrés dans les milieux océaniques oligotrophes mais sont susceptibles de coloniser tous les types de milieux aquatiques dans des proportions plus ou moins importantes (y compris des espèces d'eau douce comme la coccolithophore *Hymenomonas roseola*). Les Haptophytes sont unicellulaires et appartiennent majoritairement au nanoplancton et plus rarement au picoplancton, avec une seule exception, les colonies de *Phaeocystis* qui peuvent atteindre des tailles de l'ordre du millimètre (Price et *al.*, 2017).



**Figure 21:** Les Haptophytes (*Hymenomonas roseola*) (Site web 5).

### II.2.3.3 Habitat et écologie du phytoplancton

Le phytoplancton peut vivre partout où il y a de l'eau. On le trouve aussi bien dans les eaux douces, marines que saumâtres (mélange d'eau douce et d'eau salée comme les estuaires) (Mollo et Noury, 2013). Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures (Grogan, 2012). 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 peut vivre partout où il y a de l'eau. On le trouve aussi bien dans les eaux douces, marines que saumâtres (comme les estuaires). Les diatomées sont un des constituants majeurs du phytoplancton, et les Cyanophycées planctoniques sont assimilées à des algues phytoplanctoniques de très petite taille. Elles sont surtout caractéristiques des mers chaudes et des milieux oligotrophes (Alvain, 2005).

Les rhodophycées d'eau douce sont peu nombreuses et se rencontrent dans les eaux courantes et peu minéralisées. Ce groupe d'algues est généralement fixées sur les rochers, ces algues peuvent être épiphytes endophytes ou parasites d'autres espèces d'algues, mais il existe aussi quelques formes flottantes, elles peuvent vivre jusqu'à 250 m de profondeur (Raven, 2003).

En générale, les dinoflagellés sont plus adaptés à des eaux chaudes à faible turbulence. En effet, il a été montré que les turbulences diminuent la capacité de nage suite à la rétractation des flagelles permettant une sédimentation (Chambouvet, 2009).

# *Chapitre III*

## *Matériel et méthodes*



### III.1 Présentation de la zone d'étude

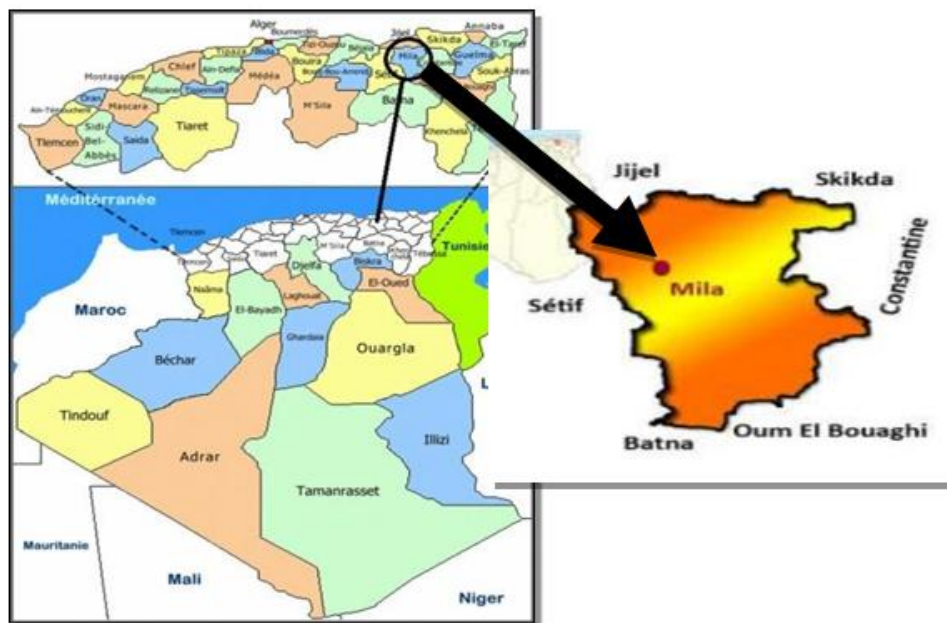
#### III.1.1 Présentation générale de la wilaya de Mila

La Wilaya de Mila est située dans le nord-est Algérien, Elle occupe une superficie totale de 3480,54 km<sup>2</sup> soit 0,14% de la superficie total du pays pour une population qui s'élevait en Décembre 2011 à 810370 habitants, C'est en découpage administratif de 1984, que Mila a été décomposé en 32 communes. Limitée par 6 wilayas :

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

Elle a un climat variable ; caractérisé par des étés secs et chauds et de hivers froids et humides, la température est variée généralement de 4° à 35°. La pluviométrie varie entre 600 et 900 mm au nord de la wilaya (920 mm sur le mont de Msid Aïcha), entre 400 et 600 au centre de la wilaya et moins de 400 mm au sud (Site web 6).

Parmi les ressources d'eau potable dans la wilaya le grand barrage de Béni Haroun



**Figure22** : Situation géographique de la wilaya Mila (Boukezzoula, 2020).

### III.1.2. Présentation du barrage Béni Haroun

Le bassin versant de Béni-Haroun occupe une superficie d'environ 6 478 km<sup>2</sup>. (Zouaidia, 2006). Le système de Béni Haroun, érigé dans la wilaya de Mila, constitue, avec ses quatre barrages (Oued Athmania, Hammam Grouz, Ourkis, Koudiet Medouar), ses quatre stations de traitement d'eau et ses neuf couloirs d'adduction, le fleuron du dispositif hydraulique national. Il est destiné à subvenir aux besoins de près de six millions d'habitants répartis sur le territoire de six wilayas de l'Est algérien (Jijel, Mila, Constantine, Oum El Bouaghi, Batna, Khenchela). Ce réservoir géant permettra également l'irrigation de plus de 400 000 hectares allant ainsi jusqu'aux plaines de Tégheh, Remila, Ouled Fadel, Chemora, Batna, Ain Touta. En plus du site principal de Béni Haroun, trois barrages réservoirs : Oued El Athmania, Koudiat Medouar, et Ourkis, d'une capacité respective 62, 35 et 65 millions de m<sup>3</sup> viennent compléter le dispositif (fig. 2) (ANRH, 2019).

La mise en eau du barrage a commencé en août 2003. Il contrôle les eaux du bassin de Kébir Rhumel avec une réserve de 1 milliard de m<sup>3</sup> d'eau, atteinte en février 2012 et octobre 2018 (soit 40 millions de m<sup>3</sup> au-delà de sa capacité objective). Haut de 120 m et avec une capacité de 960 millions de m<sup>3</sup>. Le barrage Béni Haroun est la plus grande retenue artificielle algérienne et la troisième en Afrique après le barrage hydroélectricité d'Afrique en Ethiopie et celui d'Al Sad El Alli en Egypte.

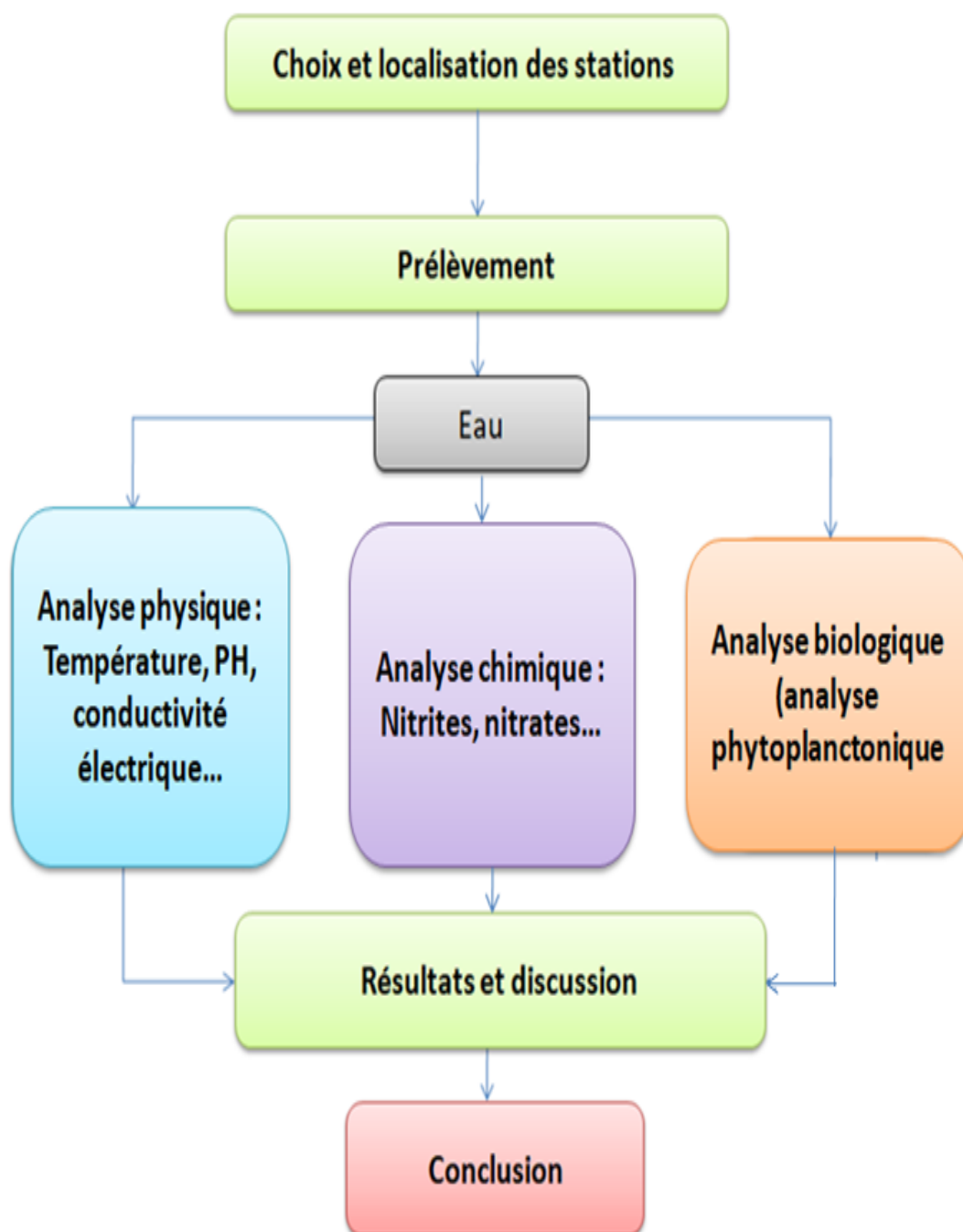


**Figure 23 :** Carte modifiée par le SIG, localisation du barrage Béni Haroun par rapport au bassin versant Kébir-Rhumel (ANRH. ; 2001)

### III.2 Matériel et méthodes

#### III.2.1 Méthodologie de travail

Pour atteindre notre objectif nous avons opté la méthodologie présentée sur la figure dans laquelle nous avons commencé par choix des sites de prélèvement d'eau. Les échantillons d'eau ont été l'objet des différentes analyses physiques et chimiques et biologique. Les résultats des analyses sont traités ensuite pour tirer des conclusions.



**Figure24 :** Illustration de la méthodologie de travail.

### III.2.2 Choix et localisation des stations

Les stations d'étude ont été choisies en fonction de différents critères à savoir :

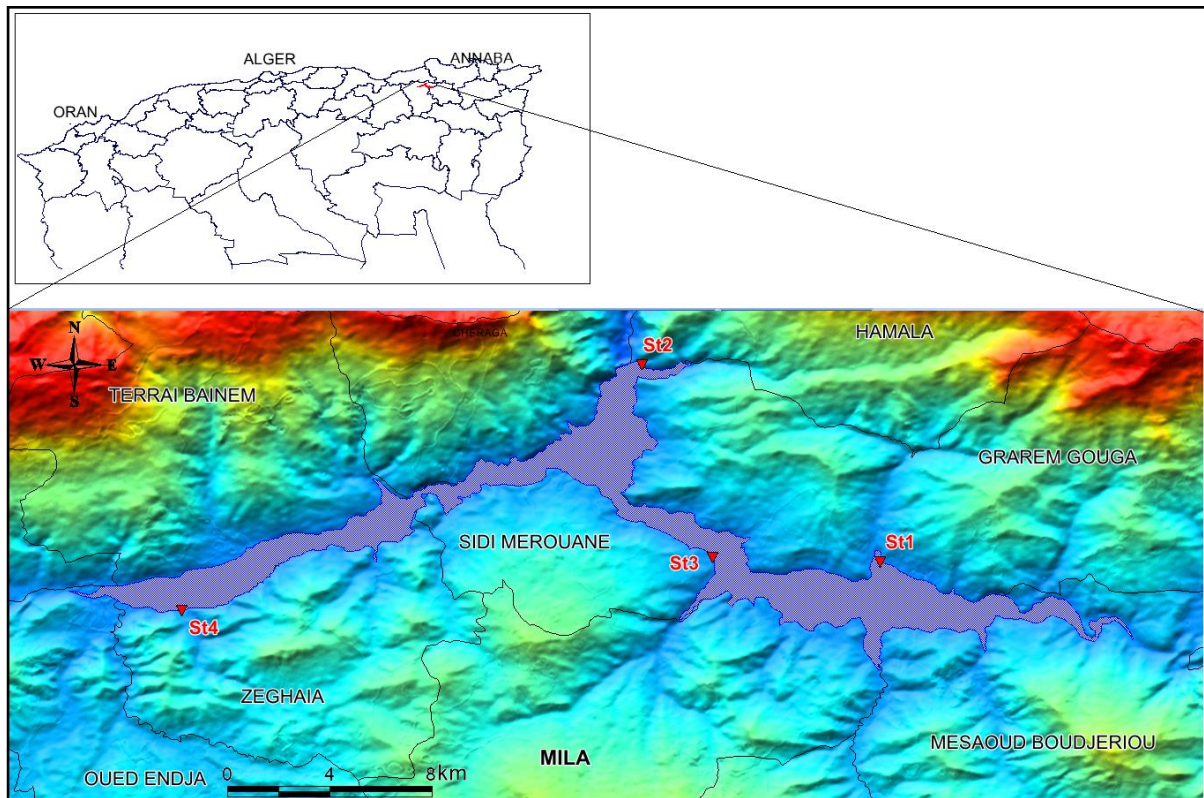
- ✓ avoir un échantillonnage aussi complet que possible ;
- ✓ les stations doivent être toutes suffisamment accessibles pour être mesurées simultanément ;
- ✓ les stations doivent être situées à des endroits variables.

Le choix de stations de prélèvement a été effectué en tenant compte de l'objectif de notre étude. Donc, à partir de travaux antérieurs sur le barrage, les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau des stations mentionnées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 03** : localisation des stations de prélèvement

| <i>Station</i>   | <i>Code de la station</i> | <i>Nom de la station</i> | <i>Localisation</i>                  |
|------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| <b>Station1</b>  | St1                       | El Maleh                 | N : 36°29'27.48"<br>E : 6°8'16.07"   |
| <b>Station 2</b> | St 2                      | Ferdoua                  | N : 36°30'54.35"<br>E : 6°18'10.43"  |
| <b>Station 3</b> | St3                       | Digue                    | N : 36° 33' 9.42"<br>E : 6°16'48.05" |
| <b>Station 4</b> | St 4                      | Segdel                   | N : 36°30'22.72"<br>E : 6°21'11.56"  |

Les stations sont localisées géographiquement selon leurs coordonnées GPS et altitude, comme indiqué dans le tableau 00 et la figure ci-dessous.



**Figure 25:** Carte de situation des stations de prélèvement

- **Station 1 (St1) :** lieu-dit El Meleh située près de l'embouchure d'oued El Meleh au sud du barrage à environ deux kilomètres de la commune de Zeghaia. Cette station traduit les apports polluants de cet oued.
- **Station 2 (St2) :** Située en aval de lieu-dit Ferdoua dans la commune de Sidi Merouan, sa spécificité c'est qu'elle est située sur un périmètre de loisir et où de nombreux promeneurs lavent leurs véhicules et déversent leurs huiles directement dans le Barrage.
- **Station 3 (St3) :** Située sous le pont reliant Sidi Merouan à Grarem. Par sa position en aval du versant des deux communes cette station cumule toutes les altérations résultant des activités agricoles, lessivées par les eaux des pluies.
- **Station 4 (St4) :** Située sur la rive droite près de la digue en aval de djebel Lekhel, cette station rend compte du mélange des eaux de différentes origines qui alimentent le barrage c'est un point cumulant reflétant la qualité des eaux du barrage dans sa partie aval



El maleh



Ferdoua



La digue



Segdel

**Figure 26 :** Photographies des sites d'échantillonnages

### III.2.3 Analyse physico-chimique de l'eau

#### III.2.3.1 Echantillonnage

Les quatre stations retenues ont été prospectées et échantillonnées à un rythme mensuel allant de janvier au mois d'avril 2024. Les échantillons destinés aux différents dosages et mesures, ont été prélevés dans des petites bouteilles en plastique et des flacons en verre bien propres et préalablement rincés à l'eau à analyser. Afin d'éviter toute modification d'origine biologique, les échantillons ont été conservés à l'abri de la lumière dans des glacières au froid (4°C) depuis les stations de leurs prélèvements, jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Les mesures physiques sont effectuées in situ et les analyses chimiques sont effectuées au laboratoire de l'ADE.

Les échantillons d'eau ont été prélevés aux stations durant les périodes suivantes :

**Tableau 04 :**Calendrier de prélèvement des échantillons

| Sortie     | Code de prélèvement | Date de prélèvement |
|------------|---------------------|---------------------|
| Campagne 1 | C1                  | Le 27/01/2024       |
| Campagne 2 | C2                  | Le 09/03/ 2024      |
| Campagne 3 | C3                  | Le 27/04/2024       |

**Figure 27 :**Prélèvement de l'eau pour l'analyse physique et chimique

### III.2.3.2 Mesure In situ

Les paramètres physiques : Potentiel hydrogène, conductivité, température et salinité, sont mesurés in situ moyennant respectivement un pH-mètre, un conductimètre et un thermomètre d'un multi-paramètre de mesure WTW (Multi 3420 SET G).

### III.2.3.3 Analyse au laboratoire

Les teneurs des différents paramètres étudiés sont déterminés selon les méthodes décrites dans l'analyse de l'eau (Rodier, 2009). Les méthodes utilisées sont volumétriques, colorimétriques et spectrophotométriques moléculaires, nous les résumons comme suit :

➤ **La matière organique (MO)**

Cette opération consiste à mesurer la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques d'origine animale ou végétale contenues dans l'eau en milieu acide et en milieu alcalin. La concentration en matière organique en mg/l est donnée par la formule suivante :  $MO (mg/l) = VKMnO_4 (ml)$ .

VKMnO<sub>4</sub> (ml): le volume de permanganate de potassium nécessaire pour 54/98 matière organique.

On indique les résultats comme oxydabilité (consommation de permanganate de potassium) en mg de KmnO<sub>4</sub>/l. Aussi en mg d'O<sub>2</sub>/l.

MO = V<sub>ech</sub> - V<sub>blan</sub>

➤ **Les résidus secs (Rsc)**

Une quantité d'eau bien mélangée s'évapore dans la capsule tarée. Le résidu est séché puis pesé, en effet à 105-110°C, le bicarbonate est transformé en carbonate, entraînant une perte de dioxyde de carbone. Le résultat est donné en (mg/l) par la formule suivante :

$RS (mg/l) = [(m_2 - m_1) * 5] * 10^3$  (m<sub>1</sub> : le poids initial du bécher à vide ; m<sub>2</sub> : le poids résiduel).

➤ **La turbidité (UTN)**

La turbidité d'une eau est causée par des matières non dissoutes (limon, argile, algue, grain de silice, micro-flocs...). La lecture s'effectue directement dans un turbidimètre. Les résultats sont exprimés en Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

➤ **La dureté de l'eau (TH)**

En pratique la dureté totale est définie par la somme des cations calcium et magnésium. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'acide Diamintetracétique (EDTA). Elle se fait par titration. Le résultat est donné par la formule suivante :  $TH (°F) = V (ml) * 2$ , V : Volume d'EDTA nécessaires pour le TH.

➤ **Détermination de l'alcalinité (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. Leurs déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

➤ **Le fer ( $\text{Fe}^{+2}$ )**

Addition d'une solution de phénantroline 1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm. Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ . Le résultat est donné en mg/l.

➤ **Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ )**

Par titration, la réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation. La concentration en Chlorure exprimée en milligrammes par litre et donnée par la formule :  $(V_E - V_0) \times 0.02 \times 35\,453$ ,  $[\text{Cl}] = 100$ .

➤ **Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Les ions Sulfates sont précipités et passés à l'état de Sulfate de Baryum.

En présence de  $\text{BaCl}_2$  mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ , la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de la dilution.

➤ **Le phosphore (P)**

C'est une réaction des ions ortho-phosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate. Réaction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm l'autre plus importante à 800 nm).

➤ **Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ )**

Le Calcium et le magnésium sont dosés avec une solution aqueuse d'EDTA à un pH de 10, ce dosage se fait en présence d'un indicateur coloré.

La détermination en mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 * F * 8.016$$

La détermination en mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) * F * 4.86$$

➤ **L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )**

L'ammonium a été dosé par la méthode au bleu d'indophénol en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur. Les ions ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (Spectrophotomètre UV Visible à une longueur d'onde 655 nm). Les résultats de la teneur en ion  $\text{NH}_4^+$  sont exprimés en mg/l (Rodier et al. 2009)

➤ **Le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique à une longueur d'onde de 415 nm par spectrophotomètre UV-visible. Le résultat est donné directement en mg/l.

➤ **Le nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )**

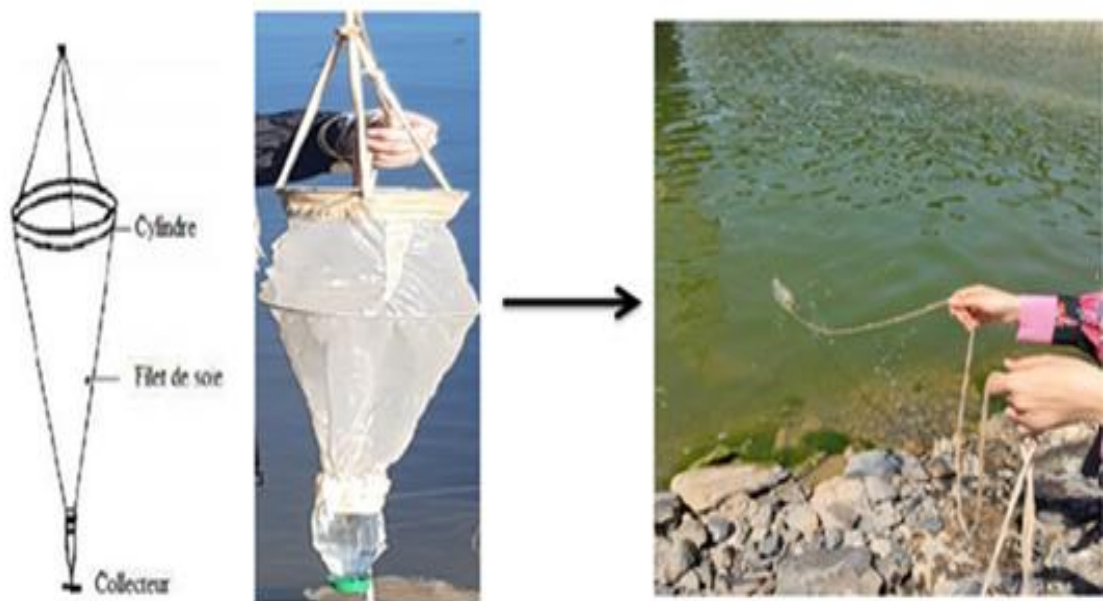
Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyl éthylène diamine dihydrochloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm par spectrophotomètre UV-visible. . Le résultat est exprimé en mg/l.

### III.2.4 Analyse biologique

#### III.2.4.1 Echantillonnage

La collecte de nos données a été étalée sur la même période que les paramètres physico-chimiques. Le prélèvement est effectué par le lancement du filet à phytoplancton dont les principales caractéristiques sont la forme conique, de longueur 108 cm, de maille 45  $\mu\text{m}$  muni d'un collecteur à la surface c'est-à-dire dans les premiers centimètres du barrage.

Le filet est lancé au plus loin possible, puis le ramener lentement à la surface, si nous remonte le filet trop vite, cela crée une vague d'étrave et nuit à l'efficacité du coup de filet. Nous répétons cette opération plusieurs fois et cela pour assurer la suspension de divers et nombreuses espèces phytoplanctoniques. Ensuite nous retirons le filet avec précaution et nous récupérons l'eau dans des flacons en verre de 250 ml (pour chaque station 2 échantillons) qui sont déjà étiquetés sur laquelle est noté la date et le nom de la station.



**Figure 22:** Prélèvement de l'eau pour l'analyse biologique

Il est nécessaire d'ajouter le lugol au flacon contenant l'échantillon d'eau à traiter, au minimum 8 gouttes (pour 100 ml d'eau) sont ajoutées. L'idéal étant d'obtenir une couleur orangée (mais pas brun foncé). En fonction du type de milieu (acidité de l'eau). Les échantillons de phytoplancton qui sont fixés au lugol doivent être conservés dans des récipients à l'obscurité et au frais (entre 4 et 10 °C) (Druart et Rimet, 2008).



**Figure 23:** Fixation de l'échantillon par le lugol.

### III.2.4.2 Observation au microscope

Pour l'observation et l'identification du phytoplancton, nous avons établis deux méthodes de travail :

#### ➤ La première méthode

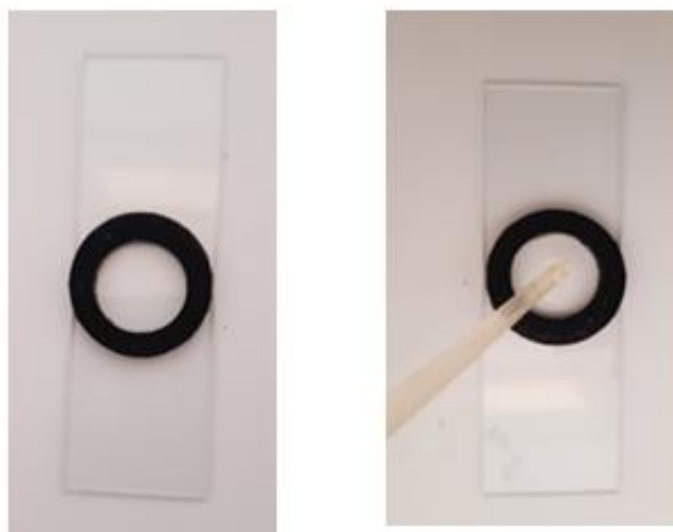
Une goutte d'échantillon d'eau est déposée sur la lame à l'aide d'une pipette Pasteur puis placée la lamelle sur la lame d'échantillon. Cette méthode est utilisée pour déterminer le contenu d'une seule goutte d'échantillon



**Figure30** : Préparation simple des lames à observation

#### ➤ La deuxième méthode

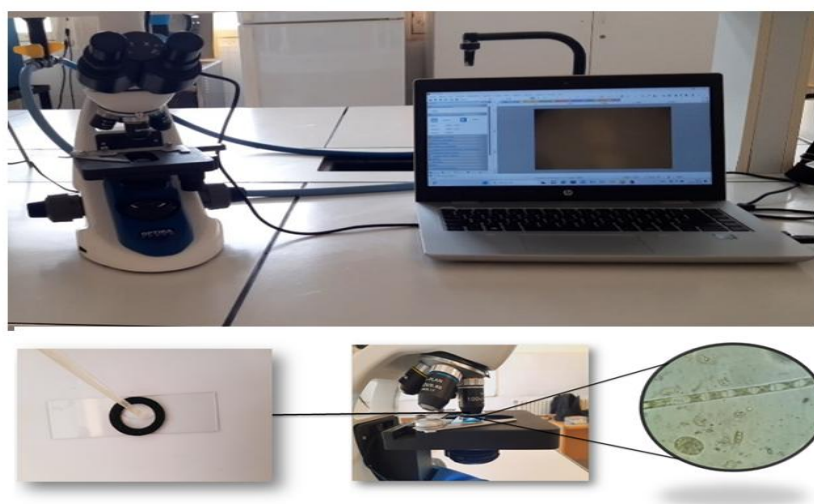
En créant une chambre à l'aide du joint plat, le joint plat fixé à la lame à l'aide de la vaseline pour éviter les fuites d'eau. Ensuite, une quantité suffisante d'eau est placée à l'intérieur de joint plat jusqu'à ce qu'il soit plein puis recouvert d'une lamelle.



**Figure 31:** Préparation de chambre à plancton

### III.2.4.3L'identification

L'identification des microalgues récoltées a été faite le plus précisément possible pour aller jusqu'au rang du genre ou même à l'espèce si possible à l'aide des clefs de détermination spécialisées dont celles de Bourrelly (1966, 1968, 1970), Drebes (1976) et des guides dont ceux Compère (1975), Perry et al, (2003), Leitao et Couté (2005) et le guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada..etc. Et à la fin prise de photos de chaque espèce observée sous objectifs grâce à une caméra numérique de type optica.



**Figure 32 :**Observation microscopique

### III.3 Analyse statistique

Nous avons commencé les traitements des données par les statistiques descriptives (moyennes, valeurs minimales, valeurs maximales, variances, etc.) relatifs à chaque paramètre physico-chimique mesuré grâce au logiciel (SPSS 19). Pour déterminer l'intensité et le sens de la corrélation linéaire entre l'ensemble des données des paramètres physico-chimiques, nous avons établis, la corrélation de Pearson.

Et en fin, une analyse en composantes principales (ACP) est réalisée pour tester la corrélation entre les éléments abiotique d'une part et avec ceux biotiques d'autre part toujours par le biais du même logiciel (SPSS19).

## *Chapitre IV*

### *Résultat et discussions*



### IV.1 Analyse physico-chimique

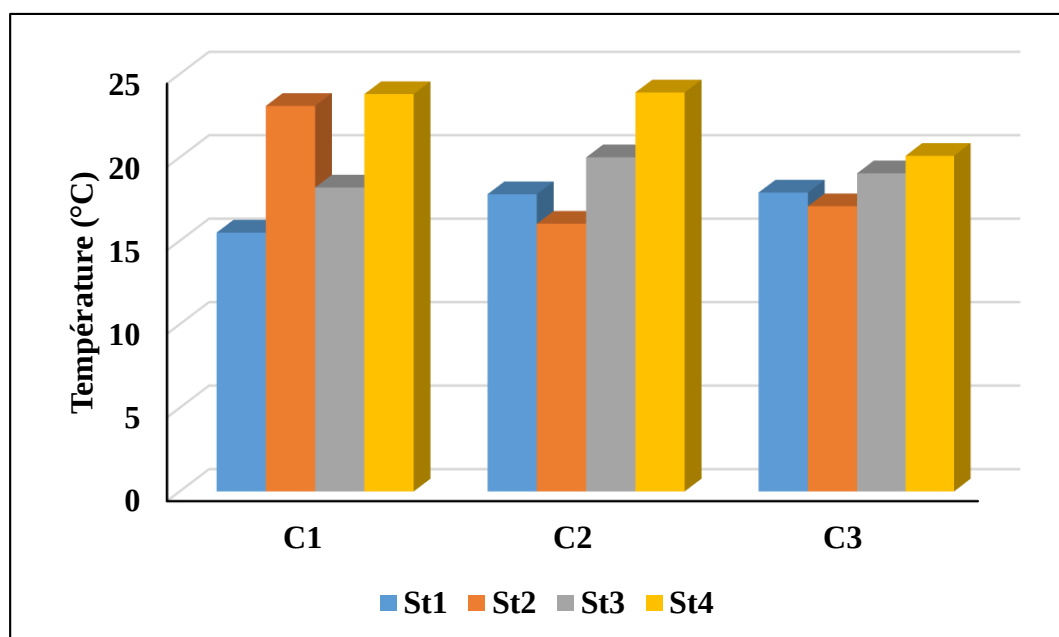
La connaissance des paramètres physico-chimiques et organiques fait partie de l'ensemble des informations dont doivent disposer tous ceux qui sont amenés à évaluer la qualité de l'eau afin de prendre des décisions d'actions dans de nombreux domaines. On peut citer à titre d'exemple les domaines de la santé pour la surveillance de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et de l'environnement pour la prévention vis-à-vis des polluants. Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats ainsi que leurs discussions concernant la qualité physico-chimique et biologique des eaux de quatre stations situées sur le pourtour du barrage Béni-Haroun à savoir trois prélèvements pour chaque station. Le tableau ci-dessous englobe les résultats descriptifs obtenus.

**Tableau 05:** résultat des statistiques descriptives relatifs aux différents paramètres étudiés (Moyenne, Ecart type, Minimum, Maximum) (SPSS, 2019).

|                                               | <b>Moyenne ± Ecart type</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| <b>Température</b>                            | 19.4±2.99                   | 15.50          | 23.90          |
| <b>pH</b>                                     | 7.65±0.12                   | 7.41           | 7.80           |
| <b>Conductivité (CE)</b>                      | 1154.6±45.09                | 1060.00        | 1185.00        |
| <b>Salinité (mS)</b>                          | 0.56±0.05                   | 0.50           | .60            |
| <b>Total de solides dissous (TDS)</b>         | 571.16±25.3                 | 530.00         | 592.00         |
| <b>Matière organique (MO)</b>                 | 2.37±0.58                   | 1.72           | 3.60           |
| <b>Résidus secs (RSec)</b>                    | 1020.9±213.8                | 664.00         | 1259.00        |
| <b>Turbidité (UTN)</b>                        | 3.6±1.4                     | 2.08           | 6.32           |
| <b>TA</b>                                     | 00.00                       | 00.00          | 00.00          |
| <b>TAC</b>                                    | 155.3±7.8                   | 140.03         | 164.70         |
| <b>TH</b>                                     | 389±33.4                    | 302.00         | 428.00         |
| <b>Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>   | 0.027±0.028                 | 0.00           | 0.08           |
| <b>Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>   | 8.7±0.9                     | 7.26           | 10.36          |
| <b>Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b>  | 0.0004±0.0006               | 0.00           | 0.00           |
| <b>Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b> | 166.5±7.8                   | 160.24         | 188.52         |
| <b>Phosphore (P)</b>                          | 0.028±0.038                 | 0.00           | 0.10           |
| <b>Fer (Fe<sup>+3</sup>)</b>                  | 0.097±0.23                  | 0.00           | 0.82           |
| <b>Chlore (Cl<sup>-</sup>)</b>                | 166.9±16.6                  | 127.63         | 190.02         |
| <b>Calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b>              | 92.82±7.76                  | 81.06          | 111.42         |
| <b>Magnésium (Mg<sup>+2</sup>)</b>            | 38.48±5.68                  | 30.91          | 50.05          |
|                                               |                             |                |                |

### IV.1.1 La température

Selon Rodier et *al.*, 2009, un milieu aquatique la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air, et ceci d'autant plus que la profondeur est faible. Elle dépend de l'altitude, de la saison, de l'heure et du débit. Dans un écosystème aquatique, la fluctuation thermique a un impact sur le développement, la dominance et la répartition des populations algales, et ce, par sa grande influence sur le taux de la photosynthèse (El Hachimi, 2012 et Smruti, 2016 *In* Kherief Nacereddine, 2019).



**Figure 33 :** Variations spatio-temporelles de la température de l'eau du barrage Béni-Haroun

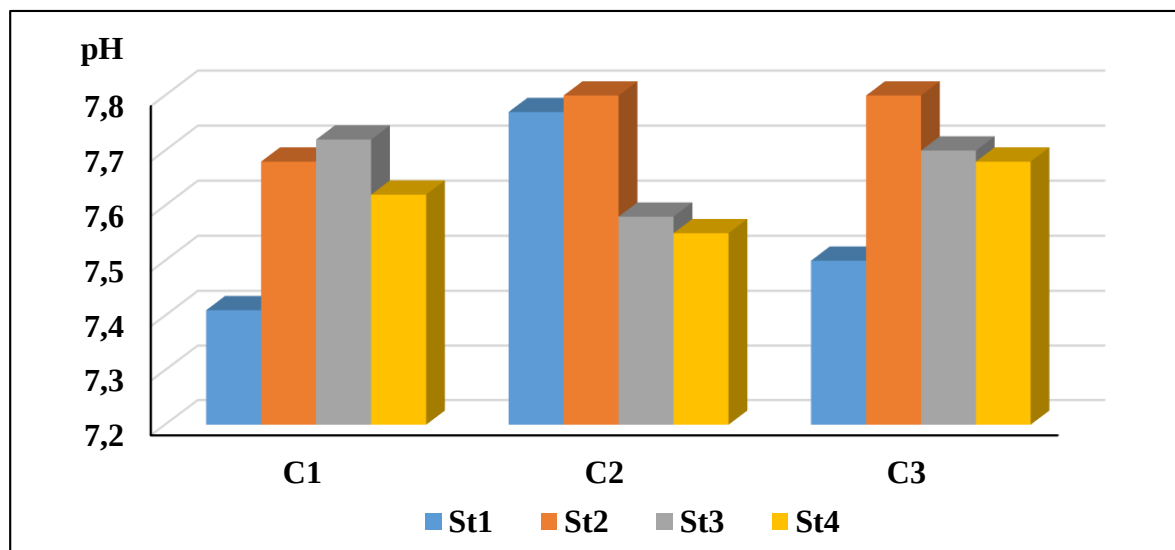
L'examen de la figure 33 permet de constater que la température de l'eau suit un rythme saisonnier influencé beaucoup plus par la température journalière. Elles oscillent entre 15,5 °C pour la station1 (mois de janvier) et 23,9 °C au maximum dans la station 4 (mois d'avril), avec une moyenne de 19,4 °C pour l'ensemble des stations pendant les quatre campagnes de prélèvements. Selon la grille de Masson (1998), les eaux du barrage Béni Haroun appartiennent à la classe 1A avec une qualité normale des eaux (Tableau 6).

**Tableau 06:** Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température  
(Masson, 1998)

| <i>Température</i>                                        | <i>Qualité</i> | <i>Classe</i> |
|-----------------------------------------------------------|----------------|---------------|
| $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$                         | Normale        | 1A            |
| $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Bonne          | 1B            |
| $22\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Moyenne        | 2             |
| $25\text{ }^{\circ}\text{C} - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Médiocre       | 3             |
| $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$                         | Mauvaise       | 4             |

#### IV.1.2 Le pH

Le pH donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité des eaux. Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 6,5 à 7,5. Le pH est donc l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement (Rodier, 1996).



**Figure 34:** Variations spatio-temporelles du pH de l'eau du barrage Béni-Haroun.

Les valeurs du pH de l'eau du barrage Béni Haroun enregistrées au cours de la période d'étude, varient entre 7,4 enregistrée dans la station1 (pendant le mois de janvier) et 7,8 enregistrée dans la station 2 (pendant le mois de mars) traduisant un pH alcalin, cette faible variation est attribuable à l'effet tampon des ions bicarbonates, indiquant bien la potabilité de l'eau.

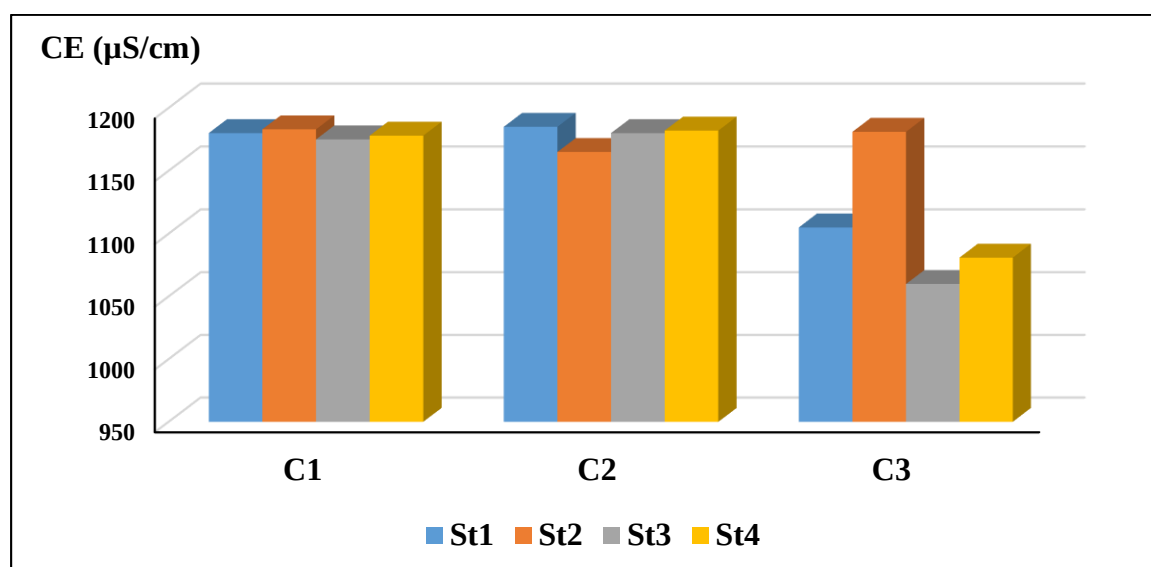
**Tableau 07:** Le pH et la vie aquatique (Arrignon, 1989 in Frank, 2002).

| <i><b>PH</b></i>                   | <i><b>Capacité de tolérance</b></i>                                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <i><b>pH &lt; 5</b></i>            | <i><b>l'unité inférieure à la survie des espèces</b></i>            |
| <i><b>5 &lt; pH &lt; 6</b></i>     | <i>tolérance pour la plupart des espèces</i>                        |
| <i><b>6 &lt; pH &lt; 7,5</b></i>   | <i>zone optimale pour la reproduction de la plupart des espèces</i> |
| <i><b>7,5 &lt; pH &lt; 8,5</b></i> | <i>zone optimale pour le plancton</i>                               |
| <i><b>pH &gt; 8,5</b></i>          | <i>destruction de certaines algues et prolifération des autres</i>  |
| <i><b>pH &gt; 9</b></i>            | <i>l'état de nombreuses espèces</i>                                 |

Selon la grille d'appréciation de la vie aquatique en fonction du pH (Tableau 7), les eaux sont optimales pour la vie aquatique. Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique (Sahli, 2012).

#### IV.1.3 La conductivité électrique

La conductivité donne une mesure indirecte de la concentration en sels minéraux dissous dans l'eau, détectée par la teneur en ion libres. Les valeurs de la conductivité électrique des eaux des différentes stations de prélèvement montrent des valeurs importantes dépassant 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fig 37). La conductivité des eaux naturelles varie habituellement de 10 à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mais peut largement dépasser 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans les eaux polluées (Biederman et Yo, 2005 In Kherief Nacereddine, 2019).

**Figure 35:** Variations spatio-temporelles de la CE de l'eau du barrage Béni-Haroun.

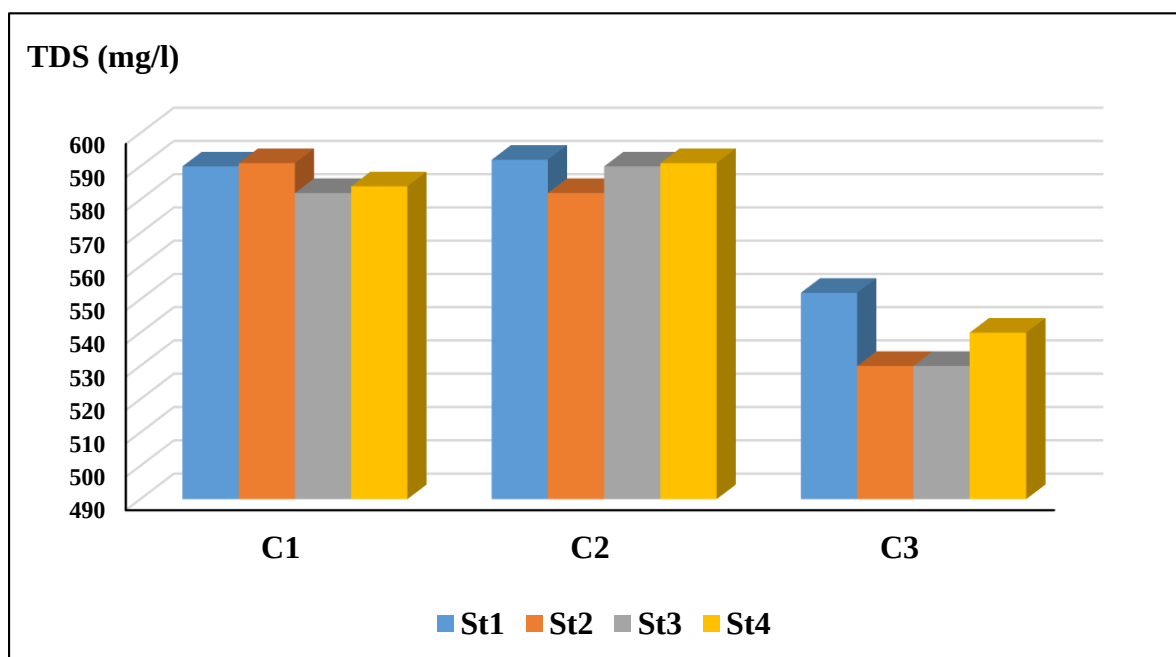
D'après le tableau ci-dessous (tab 10), indiquant la qualité des eaux selon les valeurs de la conductivité électrique, Nous pouvons dire que nous sommes devant des eaux à minéralisation élevée déjà confirmée par les travaux de Melghit,(2010), Djeddi, (2019) et Kherief Nacereddine (2019) ; donc les eaux des quatre stations sont de qualité passable (Tableau8).

**Tableau 08:** Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Masson, 1988).

| <i>Conductivité électrique (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</i> | <i>Qualité des eaux</i> | <i>Classe</i> |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|
| <i><math>CE &lt; 400</math></i>                              | <i>Bonne</i>            | <i>1A</i>     |
| <i><math>400 &lt; CE &lt; 750</math></i>                     | <i>Bonne</i>            | <i>1B</i>     |
| <i><math>750 &lt; CE &lt; 1500</math></i>                    | <i>Passable</i>         | <i>2</i>      |
| <i><math>1500 &lt; CE &lt; 3000</math></i>                   | <i>Médiocre</i>         | <i>3</i>      |

#### IV.1.4 Le total de solides dissous (TDS)

La TDS (Total Dissolved Solids) est la quantité totale d'ions chargés mobiles, y compris les minéraux, les sels et les métaux dissous dans un volume donné d'eau, exprimé en mg/l ou en particules par million (ppm). La TDS est directement liée à la pureté de l'eau et à la qualité des systèmes de purification d'eau (7).



**Figure 36:** Variations spatio-temporelles du TDS de l'eau du barrage Béni-Haroun.

Le TDS pourrait provenir de la dissolution des roches carbonatées d'origine naturelle, ou des eaux usées et industrielle d'origine anthropique. Il évolue dans le même sens que la conductivité électrique. L'évolution des teneurs de TDS (fig.38) varient de 627 à 685 Mg/L pour l'eau brute et entre 530 à 592 mg/l pour l'eau traitée. Par rapport aux dates de prélèvement, la variation est faible. Les valeurs du TDS sont conformes à la norme admise qui est de 600 mg/l (Rodier, 1996).

#### IV.1.5 La salinité (mS)

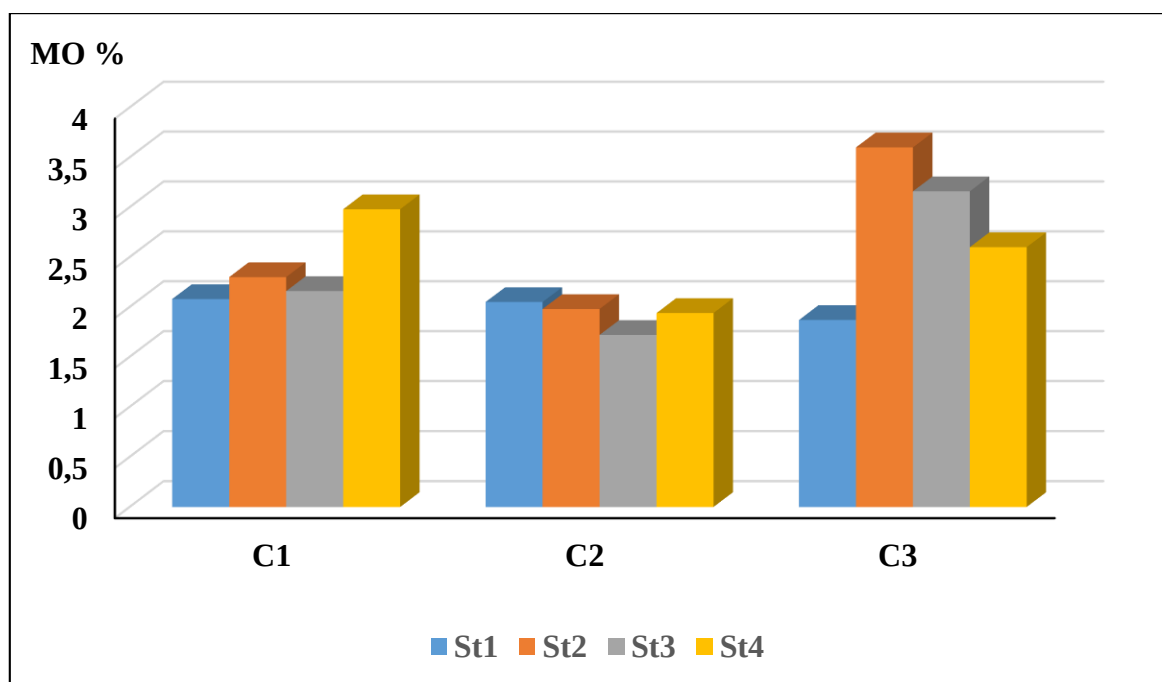
Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Les résultats de ce paramètre montrent une très légère variation de ce paramètre. La salinité mesurée directement de cette eau donne seulement deux valeurs soit 0.5 ou 0.6 mS pour l'eau, indiquant la douceur des eaux du barrage légèrement saumâtres (Tableau 9).

**Tableau 9:** Classification des eaux selon la salinité (Chevallier, 2007)

| <i>Classes</i> | <i>Salinité en g/l</i> | <i>Qualité</i>                                  |
|----------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>CI</b>      | <i>Moins de 0,5</i>    | <i>Eaux douces</i>                              |
| <b>CII</b>     | <i>0,5 à 5</i>         | <i>Eaux oligohalines (légèrement saumâtres)</i> |
| <b>CIII</b>    | <i>5 à 18</i>          | <i>Eaux mésohalines (saumâtre)</i>              |
| <b>CIV</b>     | <i>18 à 30</i>         | <i>Eaux polyhalines (très saumâtre)</i>         |
| <b>CV</b>      | <i>30 à 45</i>         | <i>Eaux salées</i>                              |
| <b>CVI</b>     | <i>Plus de 45</i>      | <i>Eaux hyperhalines</i>                        |

#### IV.1.6 La matière organique (MO)

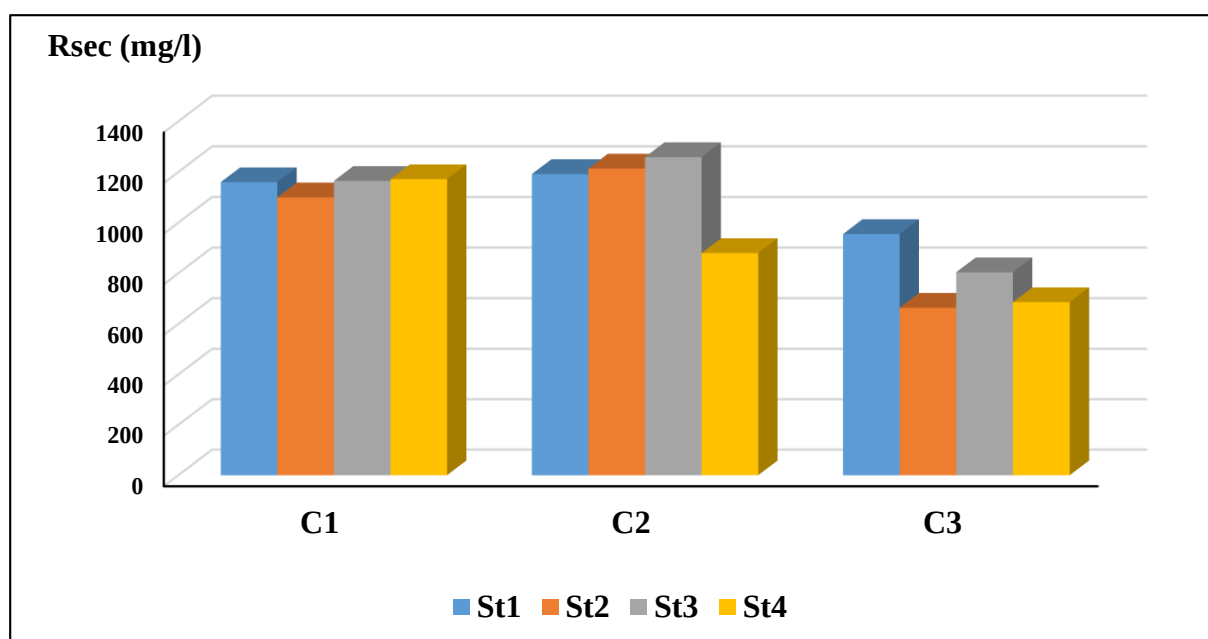
La figure 37 donne la distribution des teneurs en matière organique (MO) dans les eaux superficielles prélevées du barrage Béni-Haroun. Les teneurs enregistrées durant cette période sont relativement faibles et ne dépassent pas la valeur de 6.7 %. Cependant, les teneurs en MO restent généralement faibles, ceci peut être expliqué par le fait que les prélèvements ont été réalisés en surface des eaux, la MO subit par conséquent, une oxydation importante, causant sa dégradation.



**Figure 37:** Variations spatio-temporelles de la MO de l'eau du barrage Béni-Haroun

#### IV.1.7 Les résidus secs (Rsc)

Selon Rodier et al. (2005), le résidu sec est la quantité de la matière solide dans l'eau, autrement dit : la somme des matières en solution et en suspension. Ces dernières profèrent à l'eau sa couleur brunâtre et parfois sombre, ce qui conditionne la pénétration de la lumière dans le milieu et qui influence ainsi la faune et la flore aquatique.



**Figure 38 :** Variations spatio-temporelles de la Rsec de l'eau du barrage Béni-Haroun

Les valeurs des résidus secs représentées par la figure 40, montrent que le taux des résidus secs le plus élevé est 1952 mg/l, enregistré au mois de Mars à la station St3 et le taux le plus faible 664 mg/l noté au mois d'avril à la station St4, avec une valeur moyenne de 1021 mg/l.

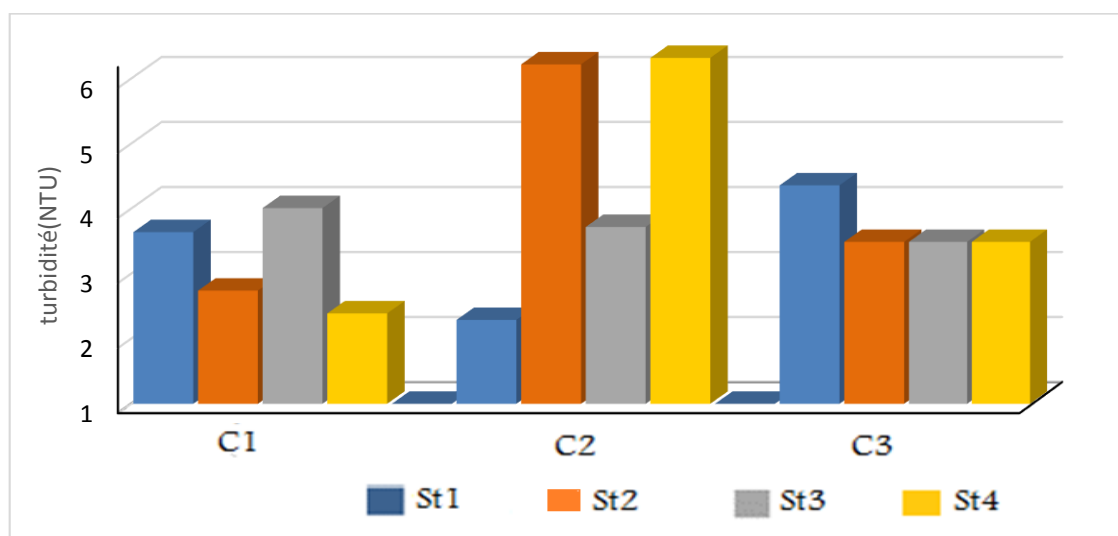
Selon la grille de l'ANRH (1999) (Tableau 10), les eaux superficielles du barrage, peuvent être classées en classe II «eau de bonne qualité» selon ce paramètre.

**Tableau 10 :** grille de la qualité des eaux superficielles pour les résidus secs (ANRH, 1999)

| <i>Classes</i> | <i>Valeur en mg/l</i> | <i>Qualité</i>       |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| <i>CI</i>      | <i>300-1000</i>       | <i>Très Bonne</i>    |
| <i>CII</i>     | <i>1000-1200</i>      | <i>Bonne</i>         |
| <i>CIII</i>    | <i>1200-1600</i>      | <i>Passable</i>      |
| <i>CIV</i>     | <i>&gt;1600</i>       | <i>Très mauvaise</i> |

#### IV.1.8 La turbidité (UTN)

Le turbidimètre utilisé pour ce paramètre, mesure l'intensité de la lumière déviée à un angle de 90° par rapport à la lumière incidente qui traverse en ligne droite l'échantillon à analyse. Une turbidité de 0,5 UTN équivaut à environ 1000 particules/ml alors que 5 UTN correspondent à environ 20 000 particules/ml. Une turbidité supérieure à 5 UNT est généralement visible à l'œil (Site web 8).



**Figure 24:** Variations spatio-temporelles de la turbidité de l'eau du barrage Béni-Haroun

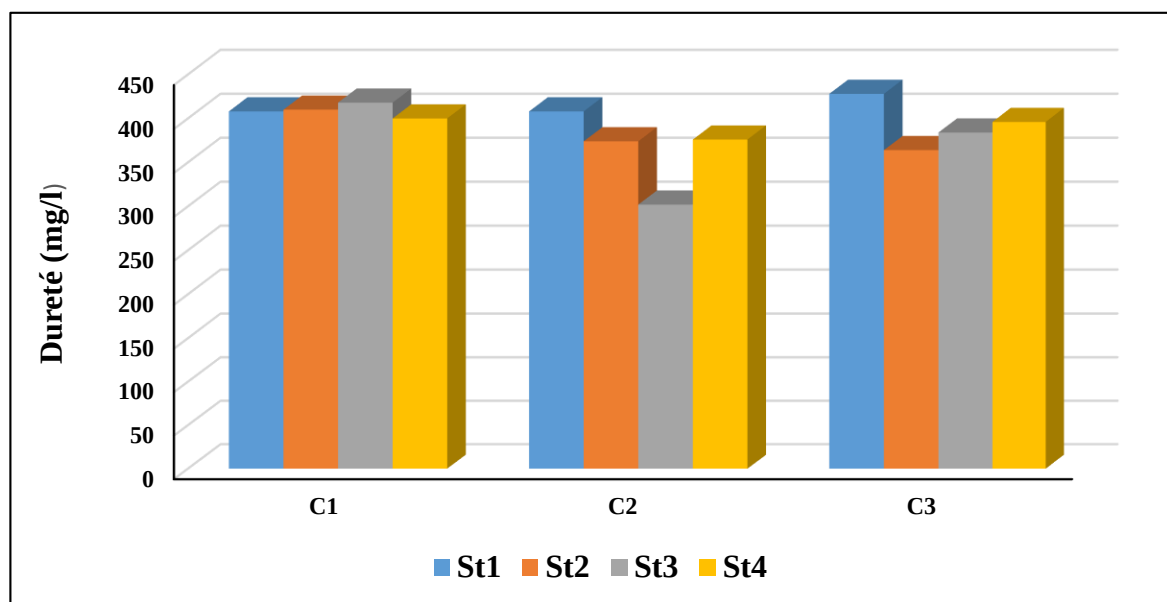
Selon la figure ci-dessus, l'ensemble des valeurs sont inférieurs à 5 à l'exception de deux valeurs qui dépassent légèrement. La valeur moyenne de 3,6 NTU, confère à nos échantillons une qualité d'eau claire (Tableau 11).

**Tableau 11 :** Classes de turbidité (ANRH, 1999)

| <i>Classes</i> | <i>Valeur en NTU</i>   | <i>Qualité</i>                |
|----------------|------------------------|-------------------------------|
| <i>CI</i>      | <i>NTU&lt;5</i>        | <i>Eau claire</i>             |
| <i>CII</i>     | <i>5&lt; NTU&lt;30</i> | <i>Eau légèrement trouble</i> |
| <i>CIII</i>    | <i>NTU&gt;50</i>       | <i>Eau trouble</i>            |

#### IV.1.9 La dureté de l'eau (TH)

La dureté de l'eau mesure la concentration en ions magnésium et en ions calcium dans l'eau. La dureté de l'eau est également appelée titre hydrotimétrique (TH) exprimée en mg/l de CaCO<sub>3</sub>. La TH est différente des autres titres tels que le TAC, ou le TA, parce qu'ils ne mesurent pas les mêmes ions chimiques et donc ont une utilité différente (Site web 9).

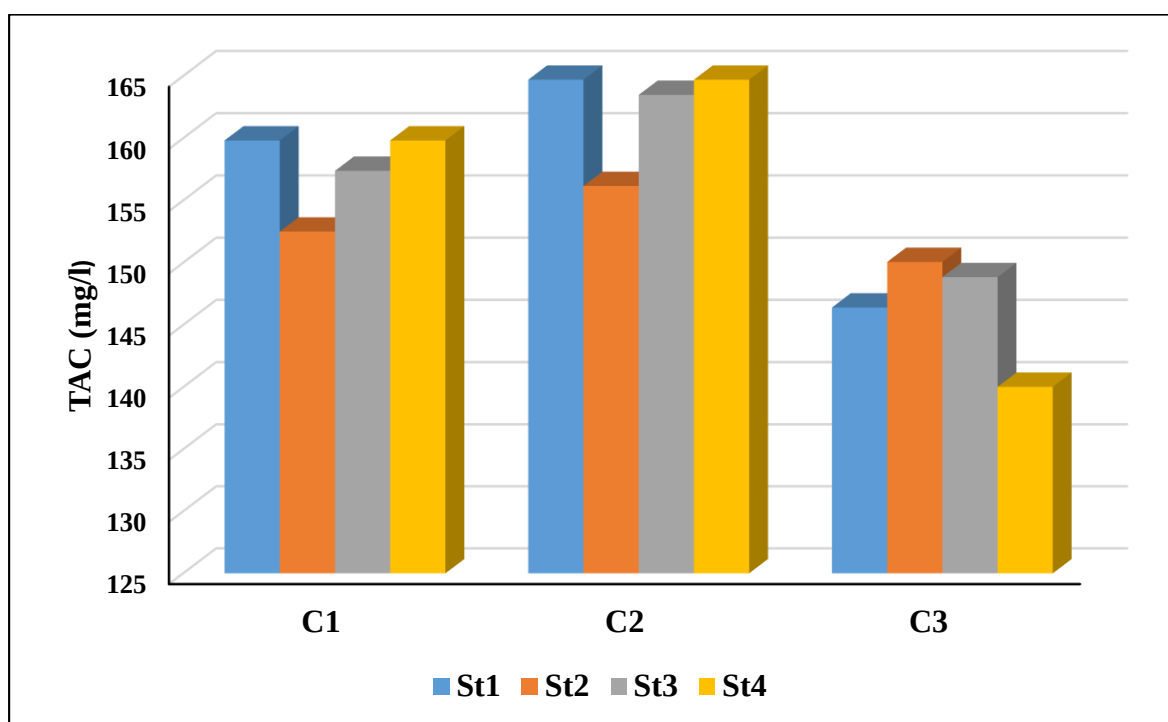


**Figure 40:** Variations spatio-temporelles de la dureté de l'eau du barrage Béni-Haroun

Les valeurs de la dureté varient entre 300 et 428 mg/l, indiquant une dureté très élevée des eaux du barrage mais cette dureté reste inférieure à 500mg/l, norme algérienne de la potabilité des eaux.

#### IV.1.10 Titre alcalimétrique complet (TAC) et Titre alcalimétrique (TA)

Le TAC représente la concentration en ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes présents dans l'eau. Les résultats varient entre 140 et 165 mg/l. En comparant ces résultats avec les normes internationales de l'OMS, nous constatons que l'eau du barrage est riche en bicarbonate. Ces teneurs confirment son origine bicarbonatée, les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée.



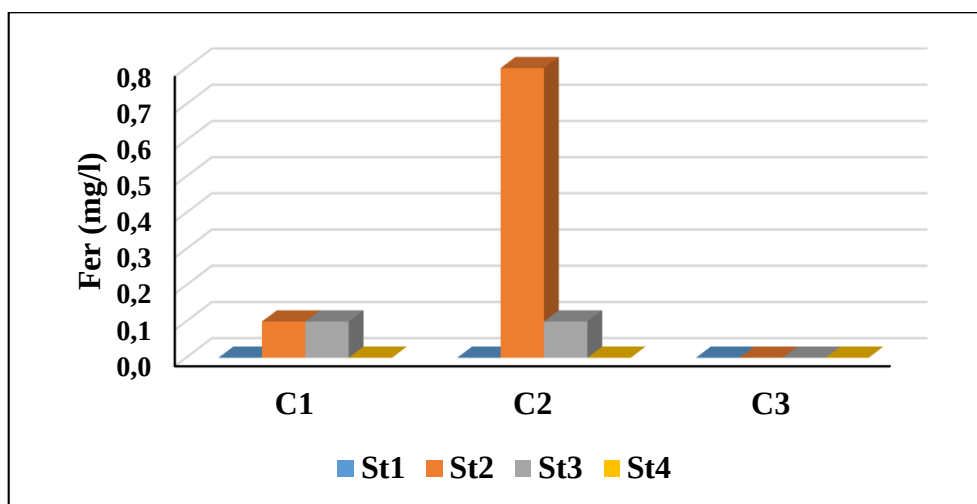
**Figure 41 :** Variations spatio-temporelles de la TAC de l'eau du barrage Béni-Haroun

Le titre alcalimétrique permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale (Kouider-Belala, 2006). Les résultats montrent l'absence totale des carbonates dans les échantillons d'eau du barrage Béni Haroun.

#### IV.1.11 Le fer ( $\text{Fe}^{+3}$ )

Selon Vigneau-Hermellin (2000), à l'état de traces, certains métaux comme le fer, le chrome ou le cobalt sont essentiels à la vie des organismes, mais ils deviennent toxiques en grande quantité.

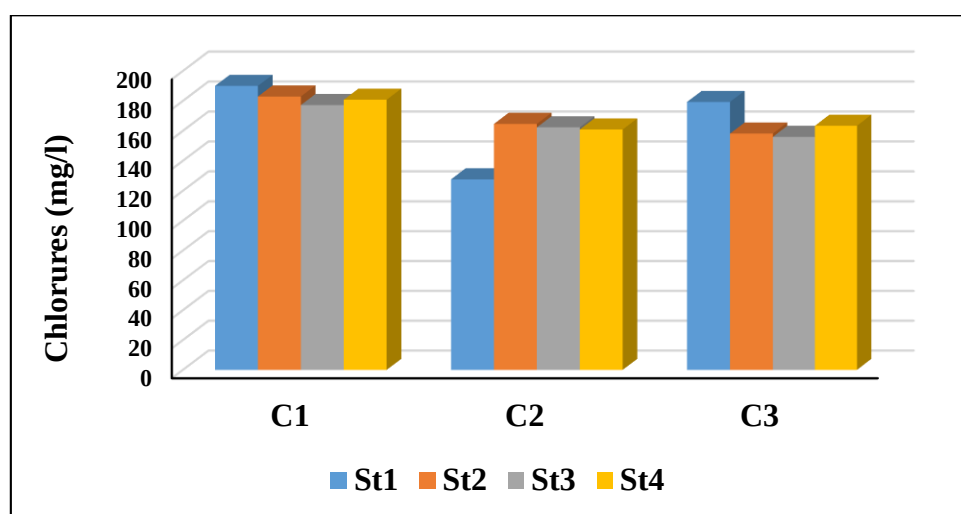
En observant la figure ci-dessous, nous remarquons qu'à l'exception d'une valeur pic de 0,8 mg/l, enregistrée le mois de mars dans la station St2 et qui dépasse la valeur guide 0,3mg/l, nos résultats montrent l'absence totale du fer dans 66, 67% des échantillons et sa présence avec la valeur de 0,1mg/l a été estimée par 25% des prélèvements d'eau du barrage.



**Figure 42:** Variations spatio-temporelles du fer de l'eau du barrage Béni-Haroun

#### IV.1.12 Les chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Lakhili et al, 2015). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Mekhoukh, 2011 In Kherief Nacereddine, 2019).



**Figure 43:** Variations spatio-temporelles des chlorures de l'eau du barrage Béni-Haroun

Les teneurs des chlorures révèlent une variation spatio-temporelle de 127,6 à 190 mg/l, ces valeurs restent inférieures à 500 mg/l, norme algérienne. Selon BREMOND et al, 1973, Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés.

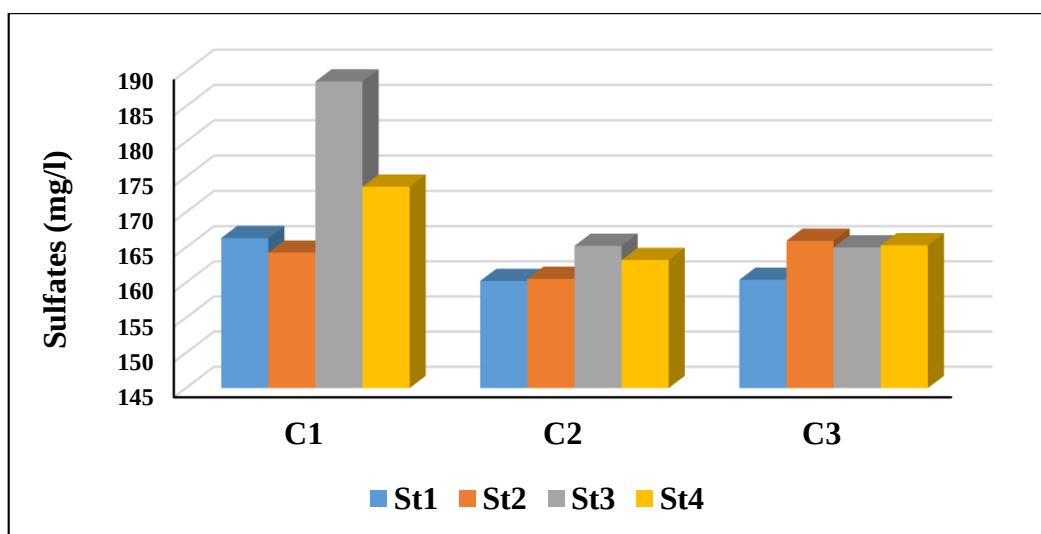
**Tableau 12 :** Grille de la qualité des eaux superficielles pour les teneurs en chlorures (ABH, 1999)

| <i>Classes</i> | <i>Valeur en Chlorures mg/l</i> | <i>Qualité</i>       |
|----------------|---------------------------------|----------------------|
| <i>CI</i>      | <i>10-150</i>                   | <i>Très bonne</i>    |
| <i>CII</i>     | <i>150-300</i>                  | <i>Bonne</i>         |
| <i>CIII</i>    | <i>300-500</i>                  | <i>Passable</i>      |
| <i>CIV</i>     | <i>&gt; 500</i>                 | <i>Très mauvaise</i> |

En se basant sur la valeur moyenne  $166.9 \pm 16.6$  mg/l des chlorures et la grille de l'ABH (1999), les eaux du barrage Béni Haroun appartiennent à la classe 2 avec une qualité bonne des eaux

#### IV.1.13 Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Selon Bremond et al, 1973, les sulfates sont des composés naturels des eaux, liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium. Les teneurs en sulfates présentent une faible variation qui s'échelonne entre 160 et 188,5 mg/l et une valeur moyenne égale à  $166.5 \pm 7.8$  mg/l.



**Figure 43 :** Variations spatio-temporelles des sulfates de l'eau du barrage Béni-Haroun

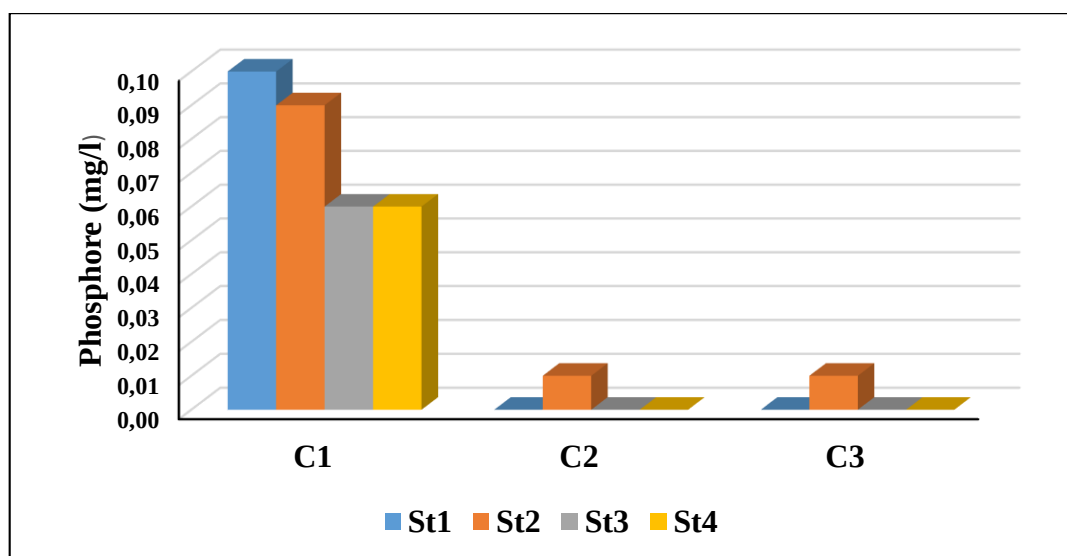
En comparant nos résultats avec ceux de la grille de la qualité des eaux de surface en fonction de ce paramètre (Tableau 13), les teneurs en sulfates des différentes stations restent inférieures à la concentration maximale décrétée par les normes Algériennes 400 mg/l. Donc, le barrage se présente dans la première classe avec une bonne qualité des eaux.

**Tableau 13 :**Grille de la qualité des eaux de surface en sulfates (ABH-CSM, 2004).

| <i>Classes</i> | <i>Valeur en Sulfates mg/l</i> | <i>Qualité</i>       |
|----------------|--------------------------------|----------------------|
| <i>CI</i>      | <i>50-200</i>                  | <i>Très bonne</i>    |
| <i>CII</i>     | <i>200-300</i>                 | <i>Bonne</i>         |
| <i>CIII</i>    | <i>300-400</i>                 | <i>Passable</i>      |
| <i>CIV</i>     | <i>&gt; 400</i>                | <i>Très mauvaise</i> |

#### IV.1.14 Le phosphore (P)

Les phosphates font partie des anions facilement fixée par le sol, leur présence naturelle dans l'eau est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (PIERRE et al, 2004). L'eutrophisation peut déjà se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 µg P/l). Le phosphore est déterminant pour la productivité des écosystèmes aquatiques. Cet élément joue un rôle très important dans le développement des algues, il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs où il contribue à l'eutrophisation (De Villers et *al.*, 2005).



**Figure 44:** Variations spatio-temporelles du phosphore de l'eau du barrage Béni-Haroun

Les teneurs du phosphore dans les quatre stations d'étude sont trop faibles dans 50% de prélèvement et absence totale pour les autres 50%. Les valeurs les plus élevées ne dépassent pas le 0,1mg/l et sont enregistrés au mois de janvier.

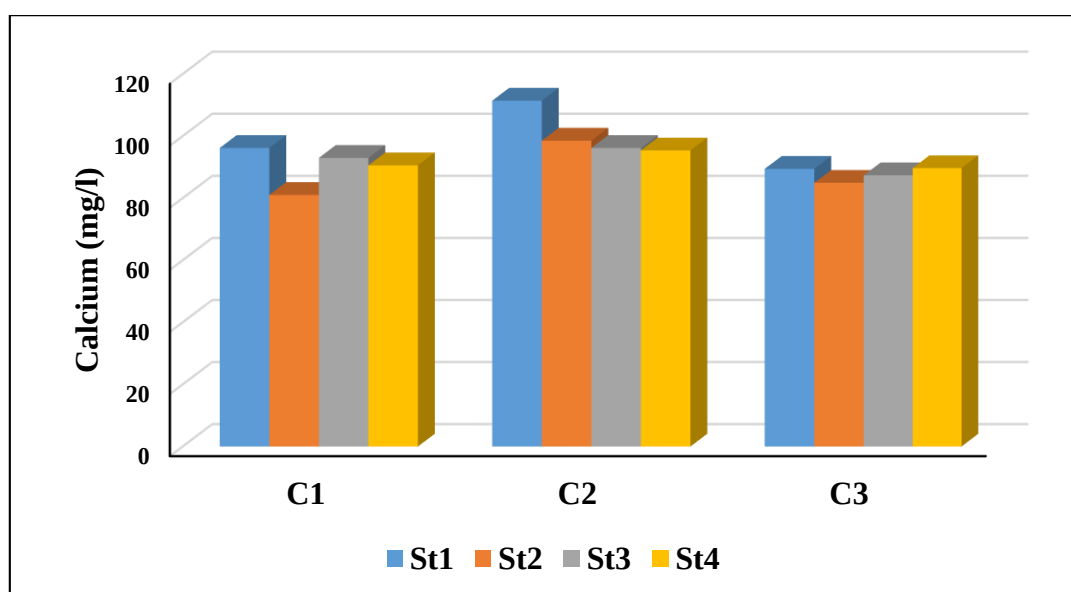
Selon Rodier et al. (2009), sa teneur dans l'eau peut descendre en dessous de la limite de détection des méthodes d'analyse courantes.

**Tableau 14 : Grille** de la qualité des eaux superficielles (ABH, 2009)

| Classes<br>Paramètres<br>PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | unité<br>mg/l | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|--------------------------------------------------------|---------------|------------|-------|----------|----------|---------------|
|                                                        |               | 0,1        | 0,5   | 1        | 2        | >2            |

#### IV.1.15 Le calcium (Ca<sup>2+</sup>)

Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (Gaujour, 1995).



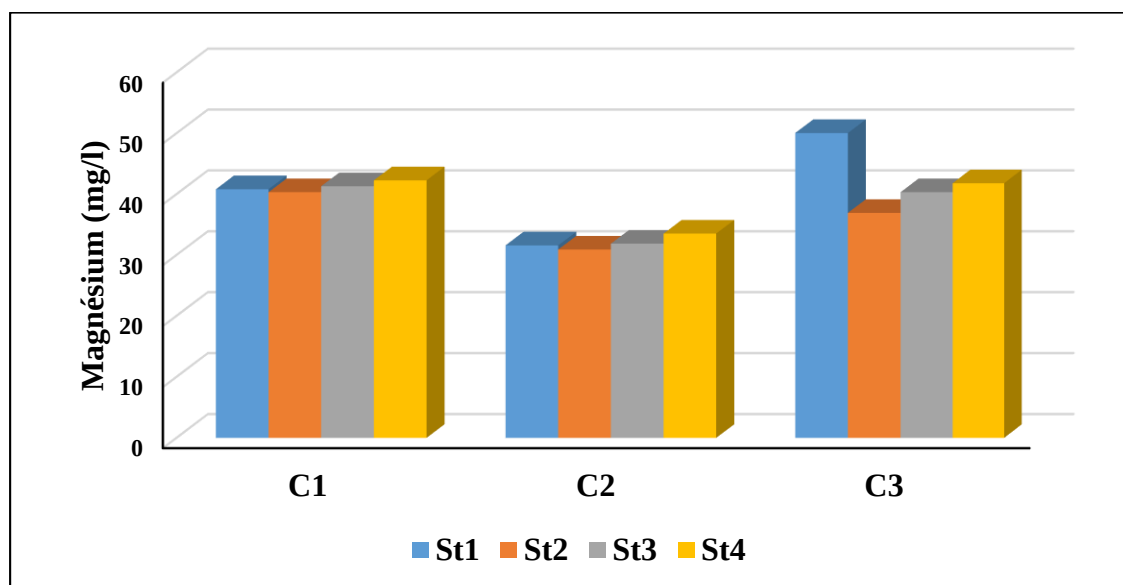
**Figure 45:** Variations spatio-temporelles du calcium de l'eau du barrage Béni-Haroun

Les concentrations en ions Ca<sup>2+</sup> vont de 81 à 111 mg/l pendant ces trois mois de travail et dans les quatre stations avec une légère variation, la valeur moyenne 92.82±7.76 mg/l est inférieure à la norme algérienne 200 mg/l. Donc cet élément ne cause aucun problème pendant cette période pour les eaux du barrage Béni-Haroun.

#### IV.1.16 Le Magnésium ( $Mg^{+2}$ )

Le magnésium constitue l'élément significatif de la dureté de l'eau avec l'ion calcium, c'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. Cet élément se place au huitième rang parmi les éléments le plus répandu dans la nature. Il constitue 2,5 % de la croûte terrestre (Rodier et *al.*, 2009).

Les valeurs du calcium se manifestent avec une faible variation durant cette période de travail avec des concentrations supérieures à 30 mg/l et une moyenne  $38.48 \pm 5.68$  mg/l, emportent bien sur celles de magnésium, ce qui donne au calcium la plus grande contribution à la dureté de l'eau. Cette contribution, influe sur la productivité et son effet sera similaire à celui du calcium. Une très forte concentration en magnésium peut être néfaste à la vie piscicole. Sa toxicité est surtout liée aux anions avec lequel il est combiné.



**Figure 46 :** Variations spatio-temporelles du magnésium de l'eau du barrage Béni-Haroun

En se basant sur la comparaison de nos résultats avec celles préconisées (tab.15), les eaux du barrage Béni Haroun sont de qualité passable.

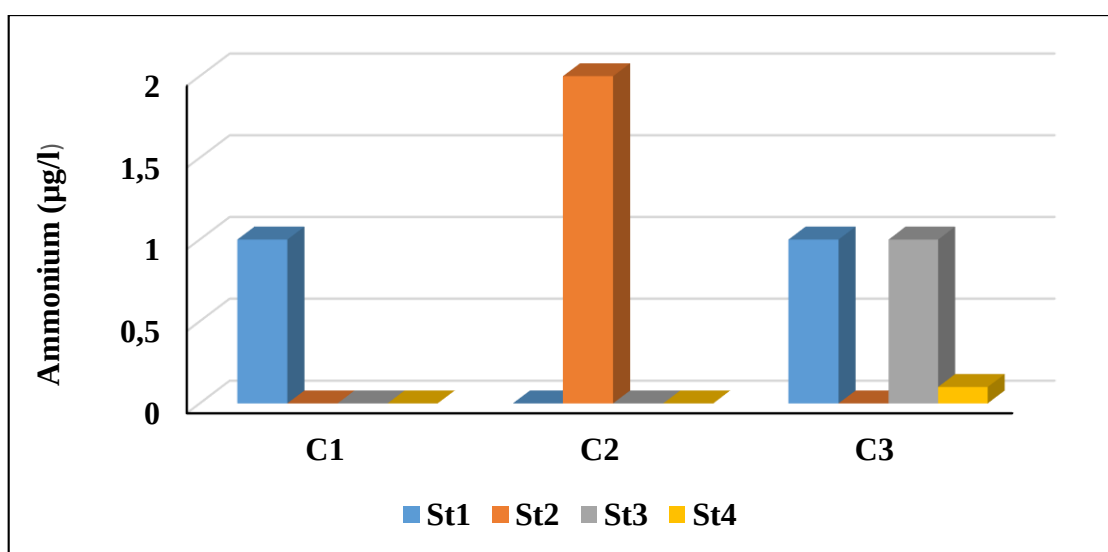
**Tableau15 :** Qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium. (ANRH, 1999)

| <i>Classes</i> | <i>Magnésium en mg/l</i> | <i>Qualité</i>               |
|----------------|--------------------------|------------------------------|
| <i>CI</i>      | <30                      | <i>Bonne</i>                 |
| <i>CII</i>     | 50                       | <i>Acceptable</i>            |
| <i>CIII</i>    | 400                      | <i>Médiocre</i>              |
| <i>CIV</i>     | > 400                    | <i>Excessivement polluée</i> |

IV.1.17 L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et al, 1996).

Les teneurs en azote ammoniacal sont inférieures à la norme, c'est un gaz soluble dans l'eau, donc, il existe en faible proportion, inférieure à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. La teneur moyenne déterminée est de  $0,4 \pm 0.06 \mu\text{g/l}$ , dont aucune détection de cette forme d'azote n'est enregistrée dans plus de 58% des échantillons.



**Figure 47:** Variations spatio-temporelles de l'ammonium de l'eau du barrage Béni-Haroun

Selon le tableau de la grille de la qualité des eaux superficielles, les concentrations en azote ammoniacal au niveau du barrage révèlent une eau de très bonne qualité selon les classes d'aptitude des eaux superficielles de (ANRH, 2001)

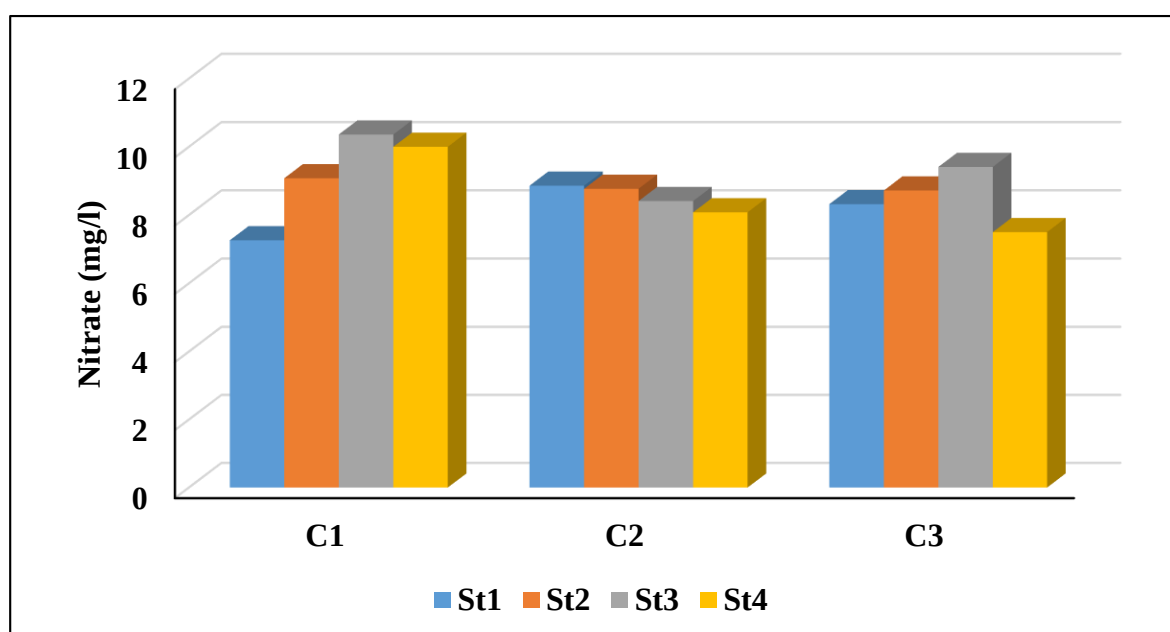
**Tableau 16 :** Grille de la qualité des eaux superficielle de l' $\text{NH}_4^+$  (ANRH, 2001)

| Classes | Teneur en azote mg/l          | Qualité                        |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|
| IA      | $<0.07$                       | Normale                        |
| IB      | $0.07 < \text{NH}_4^+ < 0.38$ | Bonne avec signes de pollution |
| 2       | $0.38 < \text{NH}_4^+ < 1.54$ | Passable                       |
| 3       | $1.54 < \text{NH}_4^+ < 6.2$  | Médiocre                       |
| 4       | $> 6.2 \text{ NH}_4^+$        | Mauvaise                       |

#### IV.1.18 Le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

Nitrates peuvent avoir plusieurs origines : l'entraînement par le lessivage des produits azotés tel que les engrais minéraux ou organiques non utilisés par les plantes, les rejets d'eau usée domestique ou industrielle, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration a déjà joué. Elles constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. En général, les eaux de surface ne sont pas chargées en nitrates à plus de 10 mg/l (OMS, 1980).

L'examen de la figure ci-dessous montre, que les teneurs en nitrate varient entre 7 mg/l et 10 mg/l. A l'exception d'un faible dépassement estimé par 0,36mg/l le mois de janvier dans la station St3 ; la moyenne  $8.7 \pm 0.9$  mg/l, reste inférieure à 10 mg/l, indique la normalité des eaux.



**Figure 25:** Variations spatio-temporelles du nitrate de l'eau du barrage Béni-Haroun

Selon la grille de la qualité des eaux en nitrate, les eaux du barrage Béni Haroun appartiennent à la classe 1A avec une bonne qualité des eaux (Tableau 17).

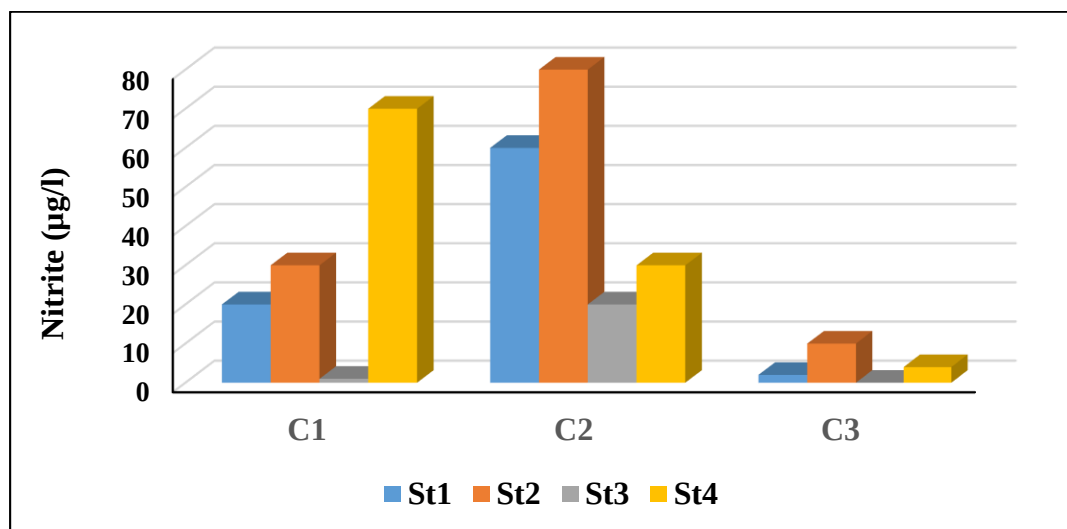
**Tableau 17 :** Grille de la qualité des eaux en nitrate (ANRH, 2001)

| Classes | Teneur en $\text{NO}_3^-$ (mg/l) | Qualité                          |
|---------|----------------------------------|----------------------------------|
| IA      | <10                              | Bonne                            |
| IB      | $10 < \text{NO}_3^- < 20$        | Moyenne avec signes de pollution |
| 1       | $20 < \text{NO}_3^- < 40$        | Polluée avec une nette pollution |
| 2       | > 40                             | Pollution importante             |

#### IV.1.19 Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )

Selon, Rodier (2009), les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique. Une eau renferme une quantité élevée de nitrites (supérieur à 1 mg/l d'eau), la pollution devienne très significative.

En observant les teneurs des nitrites enregistrés durant cette période d'études, nous remarquons que, l'ensemble des valeurs sont inférieurs à 1 mg/l=1000 $\mu\text{g/l}$ , ce qui est loin qu'il peut causer un problème pour l'ensemble des stations échantillonnées.



**Figure 49 :** Variations spatio-temporelles du nitrite de l'eau du barrage Béni-Haroun

Selon la grille de la qualité des eaux en nitrite, les eaux du barrage Béni Haroun appartiennent à la classe 1A avec une qualité excellente des eaux (Tableau18).

**Tableau 18:** Grille de la qualité des eaux en nitrite (ANRH, 2001).

| <i>Classes</i> | <i>Teneur en nitrite mg/l</i> | <i>Qualité</i>    |
|----------------|-------------------------------|-------------------|
| <b>IA</b>      | $<0.1$                        | <i>Excellente</i> |
| <b>IB</b>      | $0.1 < \text{NO}_2^- < 0.3$   | <i>Bonne</i>      |
| <b>2</b>       | $0.3 < \text{NO}_2^- < 1$     | <i>Passable</i>   |
| <b>3</b>       | $1 < \text{NO}_2^- < 2$       | <i>Médiocre</i>   |
| <b>4</b>       | $> 2 \text{ NO}_2^-$          | <i>Excessive</i>  |

**IV.1.1. Traitement statistique****IV.2.1. Test de corrélation de Pearson entre des paramètres physico-chimique**

La matrice de corrélation de Pearson a mis en évidence des corrélations positives significative entre la salinité, CE, TDS, RSec, et TAC respectivement pour ( $p=0,01$  ;  $r = 0.783^{**}$ ,  $0.967^{**}$ ,  $0.967^{**}$ ,  $0.841^{**}$  et  $0.845^{**}$ ) d'une part et entre le P et  $\text{Cl}^-$  pour ( $p=0,01$  ;  $r = 0.729^{**}$  d'autre part.

Autres corrélation pour  $p=0,05$  : mS et  $\text{NO}_2^-$  ( $r=0.610^*$ ), TAC et RSec ( $r=0.690^*$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$  ( $r=0.621^*$ ),  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{NH}_4^+$  et UTN, respectivement pour ( $r=0,685^*$  et  $r=0,596^*$ ),  $\text{Ca}^{+2}$  et TAC pour ( $r=0,632^*$ ),  $\text{Mg}^{+2}$ , TH et  $\text{Cl}^-$  respectivement pour ( $r=0,638^*$  et  $r=0,613^*$ ).

Et des corrélations négatives respectivement entre la température mS et TDS ( $p < 0,05$  ;  $r = -0.677^*$  et  $r = -0.610$ ) d'une part et entre la MO, TDS et RSec ( $p < 0,05$  ;  $r = -0.694^*$  et  $r=-0.623^*$ ) et  $\text{Mg}^{+2}$  et TAC ( $p=0,05$  ;  $r= -0.613^*$ ) d'autre part.

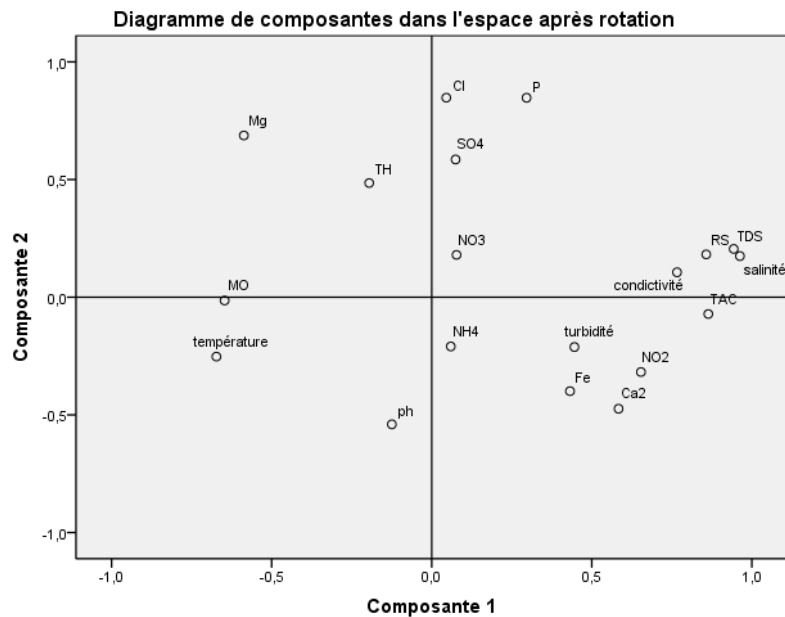
**Tableau 19 :**Corrélation de Pearson entre les différents variables physicochimiques.

\*\* : La corrélation est significative au niveau 0.01 \* : La corrélation est significative au niveau 0.05 (SPSS19).

|                               | T°C           | pH    | CE            | mS            | UTN          | MO            | TDS           | RSec         | TAC           | TH           | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | P             | Fe <sup>+3</sup> | Cl <sup>-</sup> | Ca <sup>+2</sup> | Mg <sup>+2</sup> |
|-------------------------------|---------------|-------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| T°C                           | 1             |       |               |               |              |               |               |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| pH                            | ,297          | 1     |               |               |              |               |               |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| CE                            | -,326         | ,010  | 1             |               |              |               |               |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| mS                            | <b>-,677*</b> | -,116 | <b>,783**</b> | 1             |              |               |               |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| UTN                           | -,435         | -,133 | ,299          | ,286          | 1            |               |               |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| MO                            | ,455          | ,420  | -,260         | -,549         | -,497        | 1             |               |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| TDS                           | <b>-,610*</b> | -,265 | <b>,747**</b> | <b>,967**</b> | ,299         | <b>-,694*</b> | 1             |              |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| RSec                          | -,507         | -,150 | ,572          | <b>,841**</b> | ,137         | <b>-,623*</b> | <b>,845**</b> | 1            |               |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| TAC                           | -,438         | -,156 | <b>,765**</b> | <b>,845**</b> | ,293         | -,435         | <b>,815**</b> | <b>,690*</b> | 1             |              |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| TH                            | ,250          | -,099 | -,172         | -,088         | -,184        | ,014          | -,018         | -,042        | -,284         | 1            |                              |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | -,216         | ,262  | ,493          | <b>,610*</b>  | ,200         | -,162         | ,560          | ,560         | ,520          | -,051        | 1                            |                              |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | ,097          | ,491  | ,133          | ,196          | -,205        | ,289          | ,063          | ,274         | ,153          | ,151         | ,178                         | 1                            |                              |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | -,253         | -,046 | -,320         | -,111         | ,401         | -,176         | -,124         | ,134         | -,188         | ,097         | ,211                         | -,186                        | 1                            |                               |               |                  |                 |                  |                  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | -,190         | ,075  | ,179          | ,226          | -,122        | ,147          | ,109          | ,180         | ,094          | ,197         | -,235                        | <b>,621*</b>                 | -,353                        | 1                             |               |                  |                 |                  |                  |
| P                             | -,445         | -,347 | ,401          | ,459          | -,201        | -,018         | ,435          | ,397         | ,152          | ,411         | ,034                         | ,140                         | -,095                        | ,440                          | 1             |                  |                 |                  |                  |
| Fe <sup>+3</sup>              | -,433         | ,392  | ,135          | ,288          | <b>,596*</b> | -,274         | ,207          | ,346         | ,073          | -,186        | ,558                         | ,067                         | <b>,685*</b>                 | -,168                         | -,146         | 1                |                 |                  |                  |
| Cl <sup>-</sup>               | -,424         | -,567 | ,064          | ,121          | ,131         | -,082         | ,146          | ,166         | -,181         | ,280         | -,189                        | -,011                        | ,160                         | ,365                          | <b>,729**</b> | -,003            | 1               |                  |                  |
| Ca <sup>+2</sup>              | -,075         | ,045  | ,309          | ,471          | ,175         | -,518         | ,498          | ,504         | <b>,632*</b>  | -,067        | ,490                         | -,130                        | ,101                         | -,170                         | -,278         | ,199             | -,573           | 1                |                  |
| Mg <sup>+2</sup>              | ,339          | -,419 | -,485         | -,494         | -,310        | ,191          | -,395         | -,283        | <b>-,613*</b> | <b>,638*</b> | -,516                        | ,056                         | ,023                         | ,249                          | ,326          | -,446            | <b>,613*</b>    | -,568            | 1                |

### IV.2.2 L'analyse du composant principal (ACP)

Les résultats de l'ACP (Figure.50) montrent que, les deux premier axe expliquent 86 % de variation totale disponible dans la matrice des données soumises à l'analyse (33,755% axe1 et 52,551% axe 2), dont l'analyse du composant principal a montré des groupes de corrélations positives et négatives entre les paramètres étudiés.



**Figure 50 :** Analyse de composante principale expliquant la relation entre les différents paramètres

## IV.2 Analyse biologique

### IV.2.1 Analyse qualitative du phytoplancton

L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment en composés de l'azote et/ou du phosphore, provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures qui entraîne une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau (Aissani et al, 2017). Le phytoplancton est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisqu'il répond aux changements trophiques des masses d'eau.

#### IV.2.1.1 Inventaire et composition phytoplanctonique globale

La diversité spécifique, qui est une expression du degré de complexité d'une communauté, est déterminée par le nombre d'espèces et le nombre total d'individus composant cette communauté.

Pendant la période d'étude qui couvre trois mois de cette année en cours, 27 genres ont été inventoriés dans les quatre stations d'étude (Tableau 20).

Ils appartiennent aux 21 familles : *Fragilariceae*, *Catenulaceae*, *Gomphonemataceae*, *Stephanodiscaceae*, *Melosiraceae*, *Thalassiosiraceae*, *Lauderiaceae*, *Diadesmidaceae*, *Naviculaceae*, *Volvocaceae*, *Chaetophoraceae*, *Hydrodictyaceae*, *Chroococcaceae*, *Microcystaceae*, *Oscillatoriaceae*, *Chaetophoraceae*, *Nostocaceae*, *Ceratiaceae*, *Closteriaceae*, *Pléosporaceae* et les *Cyclopidae*.

La station St1, a enregistré 10 genres et 09 familles au total, suivie par la station St4, avec 11 genres et 11 familles, puis vient à la deuxième position la station St2 avec 15 genres et 14 familles et à la première position la station St3 avec 17 genres et 16 familles, considérée comme la plus diversifiée.

Les *Naviculaceae* avec la fréquence la plus élevée, 09 individus répartis sur trois genres, suivies par la famille des *Fragilariceae* avec 06 individus répartis sur le même nombre de genres, *Gomphonemataceae* avec 05 individus appartiennent à deux genres, *Hydrodictyaceae* avec deux genres. Les *Melosiraceae*, *Thalassiosiraceae*, *Microcystaceae* et *Nostocaceae*, sont enregistrées avec un seul genre mais avec une fréquence remarquable estimée à 04 individus pour chacune. Alors que le reste des familles, leur participation est occasionnelle avec un seul individu.

**Tableau 20:** Nombre d'unités systématiques du phytoplancton pour chaque station.

| Famille                  | Genre et espèce                      | St1 | St2 | St3 | St4 |
|--------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Fragilariceae</b>     | <i>Fragilaria capucina</i>           | +   | +   | +   | +   |
|                          | <i>Synedra ulna</i>                  |     |     | +   |     |
|                          | <i>Pseudostaurosira brevistriata</i> |     |     | +   |     |
| <b>catenulaceae</b>      | <i>Amphora ehrenberg</i>             |     |     | +   |     |
| <b>Gomphonemataceae</b>  | <i>Gomphonema sp</i>                 | +   | +   | +   | +   |
|                          | <i>Gomphonema sp</i>                 |     |     |     | +   |
| <b>Stephanodiscaceae</b> | <i>Cyclotella meneghiniana</i>       | +   |     |     |     |
| <b>Melosiraceae</b>      | <i>Aulacoseira subactica</i>         | +   | +   | +   | +   |
| <b>Thalassiosiraceae</b> | <i>Thalassiosira sp</i>              | +   | +   | +   | +   |
| <b>Lauderiaceae</b>      | <i>Lauderia annulata</i>             |     |     |     | +   |
| <b>Diadesmidaceae</b>    | <i>Ulnaria ulna</i>                  |     |     | +   |     |
| <b>Naviculaceae</b>      | <i>Striatella unipunctata</i>        | +   | +   | +   | +   |
|                          | <i>Geissleria decussis</i>           | +   | +   | +   | +   |
|                          | <i>Navicula trivialis</i>            |     |     |     | +   |
| <b>Volvocaceae</b>       | <i>Eudorina illinoisensis</i>        |     |     | +   |     |
| <b>Chaetophoraceae</b>   | <i>Draparnaldia sp</i>               |     | +   |     |     |
| <b>Hydrodictyaceae</b>   | <i>Pediastrum duplex</i>             |     | +   |     |     |
|                          | <i>Pediastrum boryanum</i>           |     | +   |     |     |
| <b>Chroococcaceae</b>    | <i>Chroococcus sp</i>                |     | +   |     |     |
| <b>Microcystaceae</b>    | <i>Microcystis aeruginosa</i>        | +   | +   | +   | +   |
| <b>Oscillatoriaceae</b>  | <i>Oscillatoria limosa</i>           |     | +   |     |     |
| <b>Chaetophoraceae</b>   | <i>Draparnaldia sp</i>               |     |     | +   |     |
| <b>Nostocaceae</b>       | <i>Dolichospermum flos-aquae</i>     | +   | +   | +   | +   |
| <b>Ceratiaceae</b>       | <i>Ceratium hirundinella</i>         |     | +   | +   |     |
| <b>Closteriaceae</b>     | <i>Closterium parvulum</i>           |     | +   |     |     |
| <b>Pléosporaceae</b>     | <i>Alternaria brassicicola</i>       | +   |     | +   |     |
| <b>Cyclopidae</b>        | <i>Tropocyclops prasinu</i>          |     |     | +   |     |
| <b>Total</b>             |                                      | 10  | 15  | 17  | 11  |

#### IV.2.1.2 Variation spatiale de la composition phytoplanctonique

La diversité et la densité du phytoplancton sont utilisées comme indicateurs de la qualité de l'eau dans les lacs et les réservoirs (Badsil et al., 2012 In Kherief Nacereddine, 2019). A savoir que le pourcentage accordé à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la richesse spécifique totale stationnelle, la composition en pourcentage des différents groupes du phytoplancton identifié au cours de cette étude et illustrée par la figure ci-dessous, montre que :

- la station St1 est caractérisée par l'abondance des *Naviculaceae* avec un pourcentage de 20%, alors que, les 80% qui reste, se répartissent à l'identique (10%) pour chaque famille.
- la station St2 est caractérisée par l'abondance des *Naviculaceae* et les *Hydrodictyaceae* avec le même pourcentage (14%) et le reste du pourcentage est réparti sur les autres familles à l'identique.
- la troisième station St3, est caractérisée par l'abondance des *Fragilariaceae* (18%), suivie par les *Naviculaceae* (12%), Alors que les autres familles sont enregistrées avec le pourcentage de 6% pour chacune des familles.
- la quatrième station St4, se distingue avec 28% de attribué aux *Naviculaceae* et 18 % aux *Gomphonemataceae*, alors que, les autres familles se manifestent avec une abondance de 6% pour chacune des familles.

Finalement, nous terminons ce chapitre par la présentation d'un groupe de photographies de l'aspect microscopique de quelques taxons phytoplanctoniques répertoriées dans les eaux du barrage Béni Haroun.

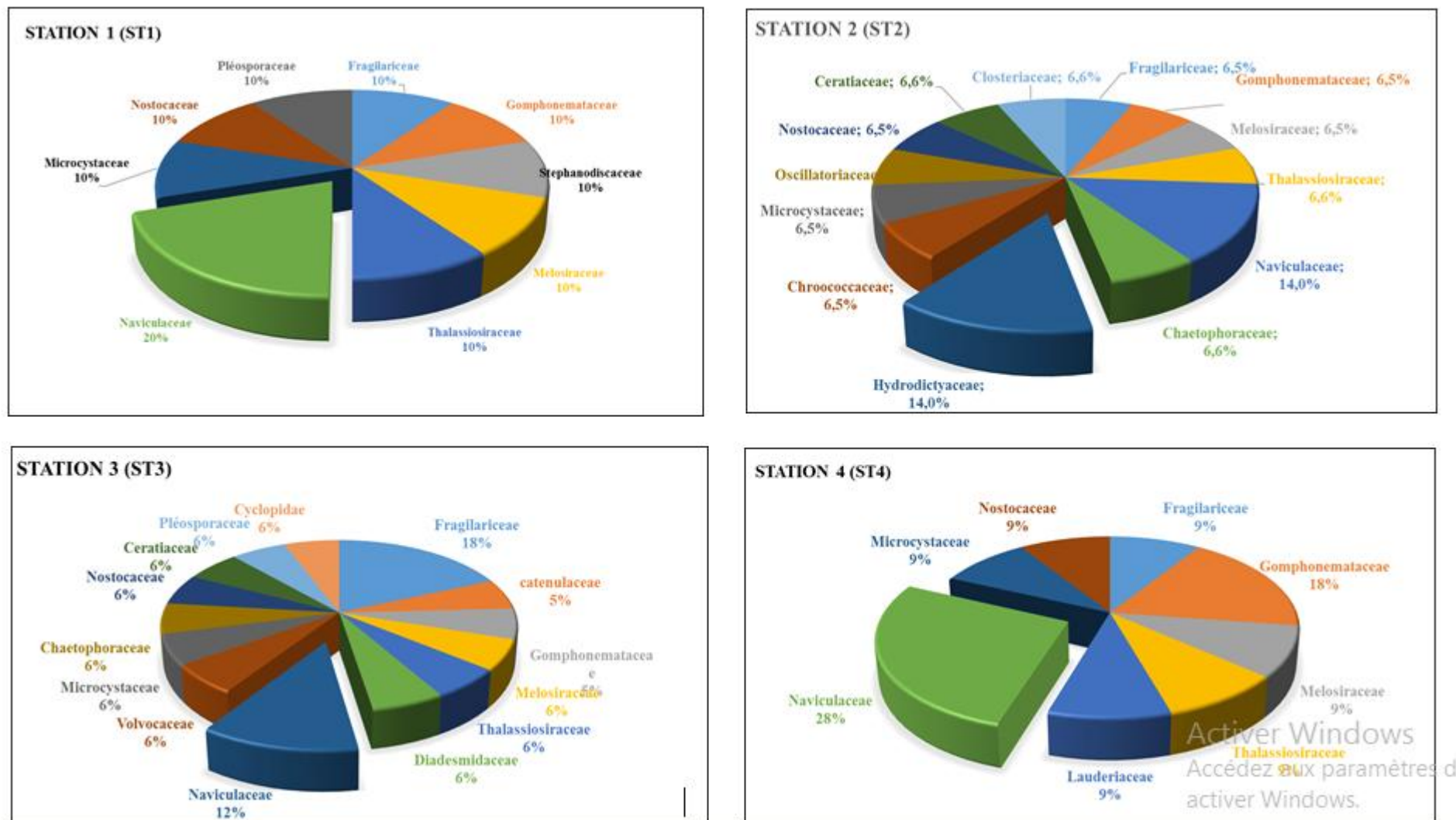
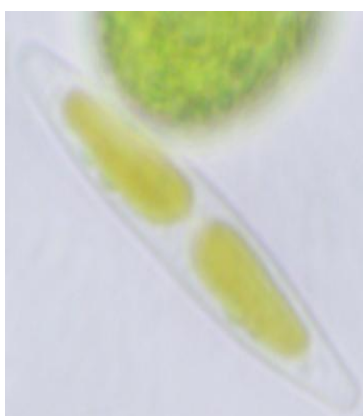
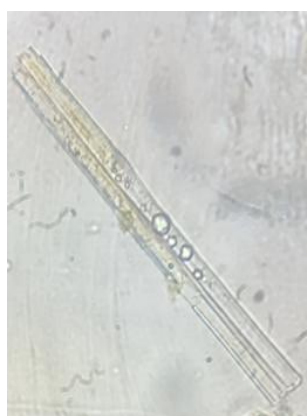


Figure 51 : Variation spatiale de la diversité phytoplanctonique dans les eaux du Béni Haroun.



*Synedra ulna*



*Pseudostaurosira abbreviata*



*Pseudostaurosira abbreviata*



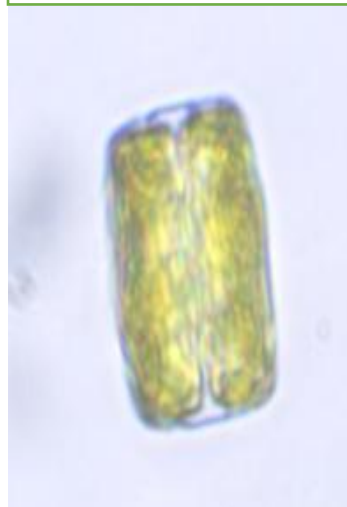
*Cyclotella meneghiniana*



*Gomphonema*



*Amphora*



*Thalassiosira*



*Geissleria decussis*



*Ulnaria ulna*



*Geissleriadecussis*



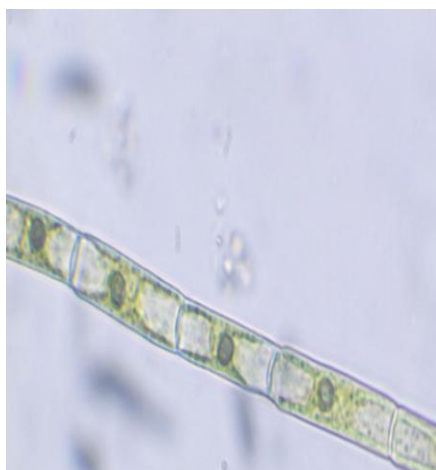
*Striatellaunipunctata*



*Gomphonemasp*



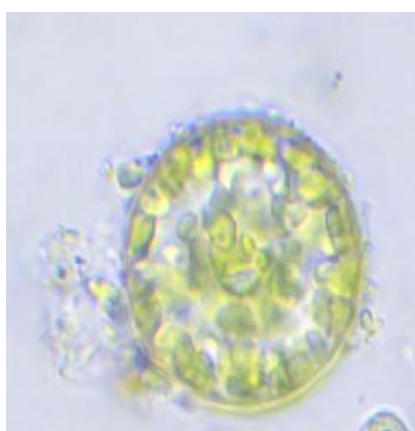
*Euglenasp*



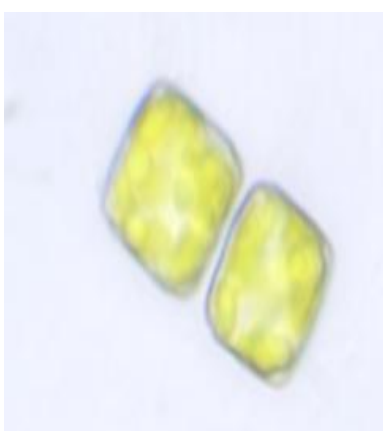
*Spirogyrasp*



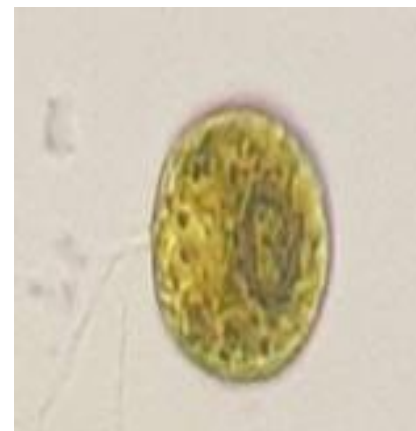
*Navicula trivialis*



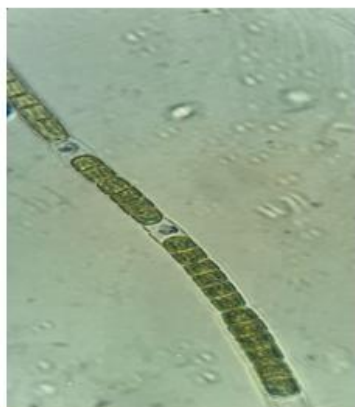
*Lauderiaannulata*



*Lauderiaannulata*



*Chalmydomonasp*



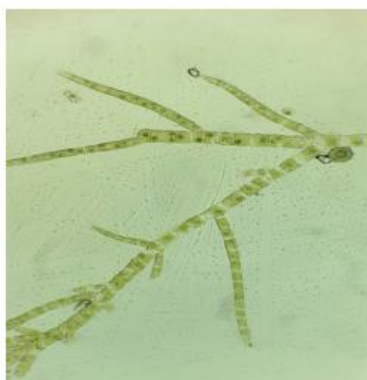
*Microspora amœna*



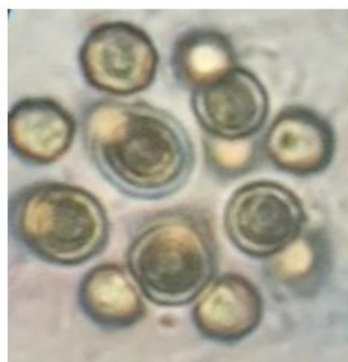
*Lauderia annulata*



*Ceratium hirundinella*



*Draparnaldia sp*



*Eudorina illinoisensis*



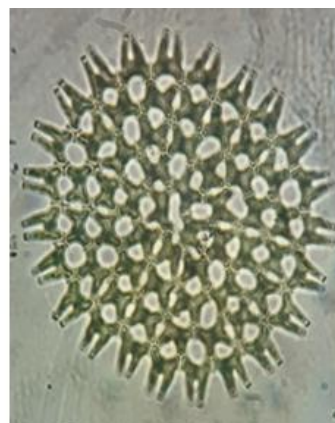
*Dolichospermum flosaquae*



*Pediatrum borvanum*



*Oscillatoria limosa*



*Pediatrum duplex*



*Microcystis aeruginosa*



*Navicula sp*



*Closterium parvulum*



*Aulacoseira subactica*

# Conclusion

### Conclusion

Le Barrage Béni Haroun est l'une des ressources en eau les plus importantes dans la wilaya de Mila. Il constitue un grand réceptacle de tout type de rejets de diverses natures. Ce réservoir d'eau est soumis à des pressions démographiques et industrielles très importantes. La mise en service du barrage Béni Haroun a permis de constituer une source artificielle d'eau qu'il faut absolument préserver pour l'avenir.

Notre étude vise l'évaluation de l'état actuel des eaux du barrage Béni Haroun, en se basant sur l'analyse de 20 paramètres physico-chimiques et nutritifs à savoir la température, le pH, la conductivité électrique, Salinité (mS), Total de solides dissous (TDS), Matière organique (MO), Résidus secs (RSec), Turbidité (UTN), TA, TAC, TH, Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Phosphore (P), Fer ( $\text{Fe}^{+3}$ ) et Chlore ( $\text{Cl}^-$ ). Comme nous avons complété notre travail par un inventaire phytoplanctonique afin d'expliquer mieux l'état écologique des eaux du barrage.

Les résultats ont montré, du point de vue physico-chimique, une faible différence existe les différentes stations d'étude dans les teneurs mesurées de chaque paramètre. Néanmoins, dans certains cas, la CE supérieure à  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , indiquant une forte minéralisation, la variation de dureté totale entre 300 et  $428 \text{ mg}/\text{l}$ , indiquant une dureté très élevée des eaux du barrage mais cette dureté reste inférieure à  $500 \text{ mg}/\text{l}$ , norme algérienne des eaux. Un pic de Fer de  $0,8 \text{ mg}/\text{l}$ , enregistrée le mois de mars dans la station St2, dépassant la valeur guide  $0,3 \text{ mg}/\text{l}$ . Les teneurs en nitrates bien qu'elles restent inférieures à la norme mais les concentrations sont remarquables entre  $7 \text{ mg}/\text{l}$  et  $10 \text{ mg}/\text{l}$ .

Alors que l'inventaire a révélé au total 27 genres inventoriés dans les quatre stations d'étude. Ils appartiennent aux 21 familles : *Fragilariceae*, *Catenulaceae*, *Gomphonemataceae*, *Stephanodiscaceae*, *Melosiraceae*, *Thalassiosiraceae*, *Lauderiaceae*, *Diadesmidaceae*, *Naviculaceae*, *Volvocaceae*, *Chaetophoraceae*, *Hydrodictyaceae*, *Chroococcaceae*, *Microcystaceae*, *Oscillatoriaceae*, *Chaetophoraceae*, *Nostocaceae*, *Ceratiaceae*, *Closteriaceae*, *Pléosporaceae* et les *Cyclopidae*.

La station St1, a enregistré 10 genres et 09 familles au total, suivie par la station St4, avec 11 genres et 11 familles, puis vient à la deuxième position la station St2 avec 15 genres et 14 familles et à la première position la station St3 avec 17 genres et 16 familles, considérée comme la plus diversifiée.

En générale, les résultats montrent une qualité normale des eaux du barrage.

***Références***

***Bibliographiques***

## Référence bibliographie

- A.N.R.H. (1999).** Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°02. Constantinois- Seybousse- Mellegue.
- A.N.R.H. (2019).** Dépliant, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Les transferts en eau potable à partir du barrage de Béni Haroun.
- ABH (2009),** Les grands domaines hydrogéologiques 35p.
- (ABH-CSM).(2004).Agence de Bassin Hydrographique Constantinois- Seybousse-Mellegue .** Rapport annuel 2004. Annaba, Algérie: ABH-CSM.
- Aissani, L., Anschutz, P., Barthelemy, C., Béline, F., Bornette, G., Boutin, C., ... & Le Alvain S. (2005).** Étude de la distribution des principaux groupes de phytoplancton par télédétection satellitaire : Développement de la méthode PHYSAT à partir des données GeP et CO et application à l'archive SEAWIFS entre 1998 et 2004.thèse de doctorat. Spécialité : Climatologie. Université Paris-Diderot.p. 217.
- Anctil, F., Rousselle, J., & Lauzon, N. (2012).** Hydrologie : cheminements de l'eau. Presses inter Polytechnique.
- Andersen R.A. (2013).** The Microalgal Cell, in: Richmond A et Hu Q, Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology 2nd Edition, Wiley-Blackwell, pp. 1–20.
- A. N. R. H. (2001).** Banque de données pluviométriques et hydrologiques d'Algérie.
- Arrignon, J. (1998).** Aménagement piscicole des eaux douces-5 e édition. Tech et Doc Lavoisier (Ed), Paris.598p.
- Beaudry, T., Henry, T., M., (1984).** Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère, édition, INC Canada.537 pp.
- Becerra C.G., (2009).** Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photobioreacteur continu. Thèse de doctorat. Ecole central d'électricité. Gif-sur-Yvette paris. P6-42-47.
- Ben Abdarrezzak. A, (2010).** Caractéristiques physico-chimiques des eaux du lacs Témachine, Méggarine et Ayata et inventaire des espèces piscicoles de ces lacs. Mémoire d'ingénieur d'Etat. Université d'Ouargla.

- Ben mustapha Z. (2013).** Télédétection des groupes phytoplanctoniques via l'utilisation conjointe de mesures satellites, in situ et d'une méthode de classification automatique. Spécialité : Océanographie. Université du Littoral Côte d'Opale. p 161.
- Benoit-chabot Véronique., (2014).** Les facteurs de sélection des Bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision. Essai présenté en vue de l'obtention du grade de maitre en environnement. Université de Sherbrooke. 24p
- Bordet J. (2007).** L'eau dans son environnement rural. Edition : Johanet. Paris. 317p.
- Boukezzoula, R., & Coquin, D. (2020).** A decision-making computational methodology for a class of type-2 fuzzy intervals: An interval-based approach. Information sciences, 510, 256-282.
- Bourrelly, P. (1966).** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome I : Les algues vertes. Eds. Boubée et Cie, Paris, 510 pp.
- Bourrelly, P. (1968).** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome II : Les algues jaunes et brunes, Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Eds. Boubée et Cie, Paris, 438 pp.
- Bourrelly, P. (1970).** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III : Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Eds. Boubée et Cie, Paris, 512 pp.
- Braut J. L & Monod J. (1989).** Memento technique de l'eau. Tome 2, vol 1. 9eme ED Lavoisier. Degrémont . France. Paris. 1459 p.
- Bremond R., Vuichard R. (1973).** Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris.
- Brénaud C., (2006).** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rural, P216-229.
- Burckle L. H. (1998).** In Introduction to marine micropaleontology. [Éd] B. U. Haq et A. Boersma.p.376.
- Chambouvet A. (2009).** Les amoebophryidae (Syndiniales) parasitoïdes de dinoflagellés : cycle de vie, dynamique et spécificité in situ. Thèse de doctorat. Spécialité : Océanologie biologique et environnement marin. Université Pierre et Marie Curie. p 172.

- Chapman D., Kimstach V. (1996).** Sélection des variables de qualité de l'eau. Évaluations de la qualité de l'eau : un guide pour l'utilisation du biote, des sédiments et de l'eau dans la surveillance de l'environnement, édition Chapman, 2e éd. E et FN Spon, Londres, pp. 59-126.
- Charles, D.F. et Smol, J.P. (1994).** Long-term chemical changes in lakes - Quantitative inferences from biotic remains in the sediment record. - In: Environmental Chemistry of La and Reservoirs. Amer Chemical Soc, 3-31.
- Chartier, M. (1974).** Les types de pollutions de l'eau. Nortis, 22(1), 183-192.
- Chauvin, C., Lepage, M., & Hette-Tronquart, N. (2021).** Indicateurs biologiques et méthodes d'évaluation pour la directive cadre européenne sur l'eau: un contexte cadré, des approches novatrices, des enjeux essentiels. Sciences Eaux & Territoires, (37), 22-29.
- Chevallier, H. (2007).** L'eau un enjeu pour demain. Sang de la Terre, de l'Université de Nantes, Paris, 348 p
- CIE, 2022.** Centre d'information sur l'eau (En ligne) disponible sur <https://www.cieau.com/le-cieau/> Consulté le 10 Juin 2022.
- Coulibaly K. (2005).** Etude De La Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau Des Puits De Certains Quartiers Du District De Bamako. Thèse de Doctorat, Université de Bamako. 69p
- De Villers J, Squilbin M, yourassowsky C, (2005).** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.16p
- Degremont, (1978).** Mémento technique de l'eau. Ed : LAVOISIER- Technique et documentation, Paris.
- Dégremont, J. F. (1989).** Ethnométhodologie et innovation technologique : le cas du traitement automatique des langues naturelles (Doctoral dissertation, Paris 7).
- Desjardins R., (1997).** Le traitement des eaux. 2e édition, Canada, 304 pages.
- Detay M. (1993).** Le Forage D'eau ; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. Masson. 379p.
- Devidal S., (2007).** Solutions curatives pour la restauration de lacs eutrophes présentant des signes d'eutrophisation. Mémoire Préparé En vue de l'Obtention du Diplôme de Master environnement, l'université de Rouen (France).7p.

- Djamai W. (2019).** Valorisation des microalgues par extraction et séparation des molécules bioactives. Thèse de doctorat. Spécialité : Chimie Physique et Analytique. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. p 94.
- Dore M., (1989).** Chimie des oxydants et traitement des eaux, Edition Lavoisier ;
- Faurie C., Ferra C., Médort P., Déveaux J. (1998).** Ecologie approche scientifique et pratique. 4ème édition. Lavoisier, Paris, pp 282-288.
- Fleurence, J. (2022).** Les algues en agrobiologie. ISTE Group.
- Gaujous D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques aide-mémoire. Edition : Technique est documentation. Paris. 220p.
- Genin, B., Chauvin, C., & Ménard, F. (2003).** Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes, IBGN. Educagri éditions.
- George, C. Harrap & Co., (1963).** Day, E.H. The chemical elements in nature. London, U.K.
- GERARD. G, (2003).** Milieu naturel et maîtrise, Édition INRA : Volume 1, 1999, 204p.
- Groga N. (2012).** Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Ecologie Fonctionnelle. Université de Toulouse. p224.
- Hade, A., (2002).** Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.
- Herrmann, M., Biancamaria, S., & Roca, R. (2015).**4. La répartition spatiale actuelle de l'eau sur Terre. AGATHE EUZEN, CATHERINE J EANDEL, 100.
- Herzi F. (2013).** Caractérisation chimique des exsudats du dinoflagellé marin toxique *Alexandrium catenella* et de la diatomée marine *Skeletonema costatum* et étude de la réponse protéomique d'*Alexandrium catenella* en conditions de stress métalliques. Thèse de doctorat. Spécialité : Sciences agricoles. Université de Toulon. p 308.
- Hollar S. (2011).** A Closer Look at Bacteria, Algae, and Protozoa (Introduction to Biology).[éd] Britannica Educational Publishing et Rosen Education Service. p. 88.
- Hubert, P et Marin, M. (2001).** Quelle eau boirons-nous demain ? Edition Fabienne Travers, p64-124.
- Husson, R. (2010).** Bon voyage d'eau. Aquawale dossier pédagogique rue Félix Wodon, 21 B-5000 Namur - info@aquawal.be - www.aquawal.be. Pp 107.

- Jeffrey S.W, Mantoura R.F.C et Wright S.W. (1997).** Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods. Monographs on Oceanographic Methodology. p. 661.
- Kent., (2006).** Un cadre pancanadien pour la surveillance de la qualité de l'eau. Environnement Canada. 27p.
- Kettab A, Mitiche R, Bennaçar N. (2008).** De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies Water for a sustainable development : challenges and strategies .
- Kherief Necerredine S., (2019).** Etude de l'évolution de la qualité écologique des eaux et inventaire de la microflore aquatique du barrage de Béni Haroun. Thèse de Doctorat en science. Université des Frères Mentouri Constantine1. 164p.
- Kherief-Nacereddine, S., Djeddi, H., Yasmine, B. N., BOUKERIA, S., BENMAKHLOUF, Z., & Mehennaou-Afri, F. Z. (2023).** The variability influence of physicochemical parameters on macroinvertebrate assemblages in the Rhumel and Endja rivers, Algeria. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 24(1).
- Kim J.I, Moore C.E, Archibald J.M, Bhattacharya D, Yi G, Yoon, H.S et Shin W. (2017).** Evolutionary Dynamics of Cryptophyte Plastid Genomes. Genome Biol. Vol. 9, 7, pp. 1859 1872.
- Kouider-Belala. Z, (2006).** Etude et traitement de l'eau du barrage Djorf El Torba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables, Mémoire de Magister en Eau et Environnement, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie.
- Lakhili, F., Benabdelhadi, M., Bouderkha, N., Lahrach, H. et Lahrach, A. (2015).** Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant Beht (Maroc). Revue scientifique européenne , 11 , 132-147.
- Le Maréchal, A. (1979).** Rapport II. 7. Lutte contre les effets de l'eutrophisation des réserves destinées à la production d'eau potable. Journées de l'hydraulique, 15(1), 1-7.
- Leliaert F, Smith D.R, Moreau H, Herron M.D, Verbruggen H, Delwiche C.F et Clerck O.D. (2012).** Phylogeny and Molecular Evolution of the Green Algae. Taylor & Francis. Vol 31, pp.1-46.

- Lounnas, A. (2008).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi–Kroma de Skikda, Algérie. Mémoire de magister, Université du 20 Aout 1955 Skikda, p120.
- Masson J.P., (1988).** Suivi de la qualité des eaux superficielles : l'expérience française. In : la qualita delle acque superficiali, criteria per una metodologia omogenea di valutazione, atti del convegno interazione. Palazzo dei Congressi. 99-100.
- Maystre, L. Y., Pictet, J., & Simos, J. (1994).** Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale (Vol. 8). PPUR presses polytechniques.
- Mébarki A., (2005).** Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'état. Université Mentouri-Constantine, 306p
- Melghit M. (2010).** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des Barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Mémoire Magistère Université Mentouri de Constantine.
- Melghit, 2012** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des eaux n°7 p13.
- Moal, M. (2017).** Eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité (Doctoral dissertation, irstea).
- Moisan J et Pelletier L., (2008).** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2008. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. ISBN : 978-2-550-53590-4 (version PDF). 86p.
- Mollo P et Nourry A. (2013).** Le manuel du plancton. [éd] Charles Léopold Mayer. p.197.
- Monod, I. (1989).** Technique de l'eau, Tome I, 9ème Edition du Cinquantenaire, p 1200.
- Musy, A. (2001).** Ecole Polytechnique Fédérale. Lausanne, Suisse, e-drologie.
- Nalco. (1983).** Manuel de l'eau, TEC- DOC – Lavoisier, Paris.
- Nebel, B. J., & Wright, R. T. (2002).** Environmental Science: Toward A Sustainable Future (8th Edition). ISBN-13 : 978-0130325389.
- OMS (1980).** L'utilisation sans risque des eaux usées loi.11 27p.

- Person J. (2010).** LIVRE TURQUOISE Algues, filières du futur. s.l.: Adebiotech, Romainville, 2010. p. 182.
- Pesson P. (1976).** La pollution des eaux continentales, Bordas, Paris.
- Pierre et al, (2004).**l'eau et le risque 38p.
- Pinay, G., Gascuel, C., Menesguen, A., Souchon, Y., Le Moal, M., Levain, A., Souchu, P. (2017).** L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS-Ifremer-INRA-Irstea.
- Poupin J, Cussatlegras A.S et Geistdoerfer P. (1999).**Plancton Marin Bioluminescent : inventaire documenté des espèces et bilan des formes les plus communes de la mer d'Iroise. [éd] Laboratoire d'Océanographie de l'École Navale LOEN .France .p.64.
- Price D.C, Steiner J.M, Yoon H. S et Bhattacharya D. (2017).**Glaucophyta . In: Archibald J.M, Simpson A.G.B et Slamovits C.H, Handbook of the Protists , Springer , pp. 1-65.
- Ramade F. (1982).** Eléments d'écologie (écologie appliquée), DULOD, Paris.
- Ramade F. (2005).** Élément d'écologie écologie appliquée. Edition : Dunod. 06. Paris. 864p.
- Ramade F., (1998).** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Paris. Ediscience .786p.
- Raven P., H., Berg L., R., Hassanzahl D., M, (2009).** Américaine par marie pascale la ceannehancock Guy lemperiere, 6édition, 97-98P.
- Raven P.H., Evert R.F et Eichhorn S.E. (2003).** Biologie végétale. [éd] De Boeck Supérieur, 1reédition. p. 968.
- Rejsek, F. (2002).** Analyse des eaux –Aspects règlementaires et techniques biologie technique CRDP d'aquitaine, p358.
- Remini B., (2005).** La problématique de l'eau en Algérie. Collection hydraulique et transport, Blida. 182 p.
- Rimet , F., Druart, J. C., & Moreau, L. (2008).** Phytoplancton du Léman. Rapports de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, Campagne, 2007, 85-89.
- Rodier J. (2005).** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 9ème édition. Dunod. 1381 p.

- Rodier J. (1984).** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, 7<sup>ème</sup> édition, DULOD, Paris.
- Rodier J., (2009).** Analyse de l'eau ; Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Ed. Dunod Paris, pour la 9<sup>re</sup> édition. 1526p.
- Rodier, J. (1975).** Ammoniacal nitrogen analysis. Water analysis, 116-120.
- Rodier, J. (1999).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Paris, 7<sup>ème</sup> édition, Dunod.
- Rodier.J.(1996).** L'analyse De L'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8<sup>ème</sup> Édition. Editions Dunod.Paris,
- Rolland A. (2009).** Dynamique et diversité du phytoplancton dans le réservoir marine (bassin versant de la seine). Thèse de doctorat. Spécialité : biologie des populations et des écosystèmes. Université de Savoie. P 241.
- Roy A S et Pal R. (2016).** Fresh Water Euglenophytes from East Kolkata Wetlands - A Ramsar Site. phytomorphology.vol.66, pp. 113-121.
- Sahli L., (2012).** Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine. P30-36.
- Salomez M., (2009).** opportunités de développement de la filière microalgues à l'île de la réunion. P32.
- Savary P. (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed territoriale. Voiron. 264p
- SEQ-Eau., (1999).** Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Les études des Agences de l'Eau n°72.
- Sheath R.G et Wehr J.D. (2015).** Introduction to the Freshwater Algae. In: Wehr J.D, Sheath R.G et Kociolek J.P, Freshwater Algae of North America, Academic Press, San Diego, pp. 1 11. ISBN : 978-0-12-385876-4.
- Sournia A., (1986).** Atlas du phytoplancton marin. Vol. I : Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées. [éd] C.N.R.S, Paris. p .220.
- Tardat., Henry M., (1992).** Chimie des eaux, 2<sup>ème</sup> Edition, Les éditions du Griffon d'Argile, p 213- 215.

**Thomas O., (1995).** Métrologie des eaux résiduaires. Edition CEBEDOC sprl, pp5356.

**Vigneau-Hermellin , (2000).** Fleuves et rivières : l'état des lieux. Lyonnaise des eaux, Paris, pp 32-46.

**Villagines R., (2003).** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. 2ème Edition : Tec et Doc. Lavoisier. 3p, 189 p.

**Villers J., (2005).** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, Edition Squilbin M., Yourassowsky C, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

**Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C. (2005).**Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

### **Les sites Web**

**Site web1:**Consulté le 23/03/2024

<https://lacdesiles.info/wp-content/uploads/2016/06/111-tout-savoir-eutrophisation.jpg>

**Site web 2 :**Consulté le 25/04/2024

[Impact " Eutrophisation des Eaux " - Processus de l'eutrophisation aquatique \(univ-lorraine.fr\)](http://Impact%20Eutrophisation%20des%20Eaux%20-%20Processus%20de%20l'eutrophisation%20aquatique%20(univ-lorraine.fr))

**Site web 3:**Consulté le 25/04/2024

[https://cfb.unh.edu/phycokkey/Choices/Cryptophyceae/Photosynthetic%20Cryptomonads/RHODOMONAS/Rhodomonas\\_Image\\_page.htm](https://cfb.unh.edu/phycokkey/Choices/Cryptophyceae/Photosynthetic%20Cryptomonads/RHODOMONAS/Rhodomonas_Image_page.htm)

**Site web 4:**Consulté le 23/02/2024

(Xanthophyceae) Класс, Class Xanthophyceae 7 отрядов (fishbiosystem.ru)

**Site web 5:** Consulté le

23/03/2024<https://www.plingfactory.de/Science/Atlas/Kennkarten%20Algen/AndereAlgen/Image/Hymenomonas-roseola66-8.jpg>

**Site web 6:** Consulté le 23/06/2024

<https://www.dcwmla.dz/fr/index.php/wil43>.

**Site web 7 :**consulté le 14/06/2024

<https://www.zerowater.fr/actualites/quest-ce-quune-mesure-tds/>

**Site web 8:**Consulté le 20/06/2024

<https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/turbidite>.

**Site web 9 :** Consulté le 20/06/2024

<https://uae.fr/glossaire/durete-de-leau-degre-francais/>.