

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des Frères Mentouri Constantine1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie et Ecologie Végétale

N° d'ordre : 05/DS/2019

N° de série : 01/EV/2019

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Science

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie Végétale

Thème :

---

## Etude de l'évolution de la qualité écologique des eaux et inventaire de la micro flore aquatique du barrage de Béni-Haroun

---

Présenté et soutenu par : Saliha Kherief Nacereddine

Soutenu le : 06 / 01 / 2019

Devant le jury :

**Président :**

Hamidechi Mohamed AH Pr Université des Frères Mentouri Constantine1

**Rapporteur :**

Afri-Mehennaoui F-Z Pr Université des Frères Mentouri Constantine1

**Examineurs :**

Seheb Menouar Pr Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El Bouaghi

Bensouilah Mourad Pr Université Badji Mokhtar, Annaba

Yahia Abdelouaheb Pr Centre Universitaire Abdhafid Boussouf, Mila

Sahli Leïla MCA Université des Frères Mentouri Constantine1

*Année universitaire*

*2018 – 2019*

EN BUVANT L'EAU, NOUS BUVONS NOS MICROBES".

Louis Pasteur.

« C'EST UNE TRISTE CHOSE DE SONGER QUE LA NATURE PARLE ET QUE LE  
GENRE HUMAIN N'ECOUTE PAS. »

V. Hugo.

## *Remerciements*

En recherche, comme ailleurs, je suis convaincue que l'on a toujours besoin des autres pour mieux avancer. A l'issue de la rédaction de ce travail de thèse, lorsque je me retourne sur ces longues années de doctorat, je réalise alors à quel point celles-ci auraient été différentes sans la présence d'un grand nombre de personnes. Ces personnes m'ont permis de progresser dans cette période d'apprentissage, tant sur le plan scientifique que personnel. Leur enthousiasme ont été une vraie force pour moi et m'ont permis, à plusieurs reprises, de retrouver la motivation et le courage d'avancer suite aux nombreux moments de doutes qui ont jalonné mon parcours de thésarde.

En premier lieu, je tiens à remercier ma directrice de thèse Madame Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1 pour la confiance qu'elle m'a accordée en me permettant de travailler sur ce sujet de thèse. J'en suis très reconnaissante pour m'avoir accueilli dans son Laboratoire de Biologie et Environnement Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie depuis plus de six années. J'ai apprécié sa manière de travailler que ce soit par ces remarques constructives dans le cadre de discussions scientifiques étayées ou par le biais de son efficacité lors de la relecture des documents écrits. Merci surtout pour l'espace que vous m'avez accordé dont je me suis épanoui dans la recherche et la passion d'en savoir plus dans ce domaine qu'est loin de ma formation de base. Merci pour votre accompagnement tout au long de ma thèse.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury de thèse qui ont consacré une part importante de leur temps à la lecture et à l'évaluation de ce travail. Je suis très honorée que le professeur Hamidechi Med Abdelhafid ait accepté de présider le jury, que le professeur Bensouileh Mourad, Saheb Menouar, Yahia Abdelouheb et Mademoiselle Sahli Leïla aient accepté d'examiner ce travail.

Le travail du terrain m'a permis de prendre conscience de la difficulté de collecte des données. Il s'agit nécessairement d'un travail d'équipe qui n'aurait pas été faisable sans la collaboration d'autres personnes.

Je tiens à remercier en priorité : Ma collègue de travail et de laboratoire Djeddi Hamsa, ainsi que son père pour son accompagnement dans plusieurs sorties, mon amie intime Ben Terrouche Ilhem et également sa mère qui ont été toujours présentes en cas de besoins et enfin toute ma famille sans eux ce travail n'aurait jamais été achevé. Merci pour toutes les heures passées sur les routes et au bord du barrage. Je vous serais toujours reconnaissante.

Je souhaite encore remercier plusieurs collègues de travail qui m'ont apporté leur aide scientifique et technique au cours de ce travail. Merci d'abord à Sara Himour, Ben Makhoulf Nathira et Bel Atar Hakima pour leurs conseils précieux en terme de rédaction et leur accompagnement dans les derniers jours de réalisation de cette thèse.

Je dis également merci à Smara Lounis, pour son aide en matière de traitement statistiques des données et ces orientation à plusieurs reprises, à Laala Ahmed, pour son large esprit, sa compréhension, son soutiens et d'être si bien remplacé dans plusieurs de mes tâches administratives au Centre Universitaire de Mila.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à tout le personnel du barrage de Béni Haroun pour leurs aides lors des périodes de prélèvement, qu'ils soient chaleureusement remerciés.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, ont pris part à ce travail aussi bien au niveau scientifique qu'au plan humain, ils ont contribué pour une grande part à l'aboutissement de ce mémoire.

## ***Dédicace***

*A la mémoire de mes très chers parents*

*Jamais je ne saurais m'exprimer quant aux sacrifices et dévouement qu'ils ont  
consacrés à mon éducation et mes études. Que Dieu leur exauce le paradis*

*A la mémoire de ma sœur Sousou à qui le souvenir est impérissable en moi et  
que le paradis soit sa dernière demeure*

*A la mémoire de ma grande sœur Yamina, son mari Mohamed et leur fils*

*Djamel qui avec beaucoup de chagrin je vis leur départ*

*A mes plus chères au monde, mes Sœurs :*

*Lamya et sa fille Sihem qui m'ont beaucoup trop aidé au cours de la réalisation  
de ce travail*

*A ma sœur Farida qui m'a trop aidé pour la publication de mon article*

*Sabrina, Salima, et Nassira pour leur présence et soutien*

*A mes gracieux Frères :*

*Fouaz et sa femme Ahlem pour leur soutien et compréhension tout au long de  
mes années d'étude*

*Coucou, Allawa et Abd Ellah*

*A mes aimables nièces et neveux avec une grande particularité pour Serine et*

*Djana*

*A tous ceux qui me sont chers*

*Je dédie ce modeste travail et je leur dis merci*

# Résumés

## الملخص

الماء هو العنصر الأساسي الذي يتم مراقبته بعناية في جميع أنحاء العالم. أهميته للحفاظ على الصحة العامة تحدد برامج مراقبة واسعة النطاق. إن أهداف التحكم في جودة المياه الموجهة للاستهلاك عديدة وتختلف وفقاً للوسائل والإمكانات الفنية.

وفي هذا السياق، يتمثل الهدف الرئيسي لعملنا في وضع قاعدة معلوماتية من أجل المزيد من الدراسة المستقبلية حول تجمعات العوالق النباتية لهذا النظام البيئي المائي. لقد سعينا لوصف هذه المجموعات أساساً من وجهة نظر البنية، الوفرة والحيوية.

إن تحديد التركيب التصنيفي لهؤلاء المنتجين الأوليين يحسن في الواقع المعرفة بالتنوع البيولوجي للمنطقة بأكملها، كما ركزنا أيضاً على التوصيف الفيزيائي الكيمائي للمياه السطحية، وإنشاء التصنيف الفيزيائي الكيمائي والعوالق النباتية الخاصة بموقع دراستنا والبحث عن روابط محتملة بين القسمين الفيزيائي الكيمائي والعوالق النباتية. أظهرت ثراء الأنواع الإجمالية وجود سيطرة كبيرة للطحالب الزرقاء المخضرة والطحالب العسوية. يُظهر تطور الكثافة الإجمالية للخلايا تباينات موسمية كبيرة في عام 2016 أكثر من عام 2015. موسم الأمطار منخفض الإنتاجية الطحلبية بينما تتميز مواسم الصيف والخريف بأكثر كثافة في الخلايا. بلغت مؤشرات شانون ومؤشرات الإنصاف أدنى القيم في موسم الأمطار، والتنوع يرتفع بسرعة بسبب تطوير عدة أنواع من الطحالب الزرقاء المخضرة، الدياتوم، الطحالب الخضراء، الطحالب المترابطة والأزدرختية. في مواسم الصيف والخريف، تكون المجتمعات في أقصى تنوعها. وأظهرت العناصر اللاحيوية صلات إيجابية و / أو سلبية مع كمية الكتلة الحيوية للعوالق النباتية، مما يعكس تلوئاً عضوياً طفيفاً في بعض المحطات.

**الكلمات المفتاحية:** سد بني هارون، المغذيات، العوالق النباتية، البنية، الديناميات، التفاعل.

## *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.

La détermination de la composition taxonomique de ces producteurs primaires améliore, en fait, la connaissance de la biodiversité de toute la région. Notre intérêt a également porté sur la caractérisation des eaux superficielles via quatorze 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 vingt-quatre mois s'étalant de janvier 2015 à décembre 2016, au niveau de onze 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 88 échantillons, 72 taxons ont été identifiés appartenant à 9 classes phytoplanctoniques. La richesse spécifique totale a mis en évidence une large prédominance des Cyanophyceae et des Bacillariophyceae. L'évolution des densités cellulaires totales montre des variations saisonnières importantes en 2016 plus qu'en 2015. La période pluvieuse est de faible productivité algale tandis que les saisons estivales et automnales sont marquées par les plus fortes densités cellulaires. Les indices de Shannon et d'équitabilité atteignent les valeurs les plus basses en saison de pluie, la diversité s'élève en printanière rapidement en raison du développement de plusieurs espèces de Cyanophycées, Diatomées, Chlorophycées, Conjugatophyceae et Mediophycées. En saison estivale et automnale, les communautés sont au maximum de leur diversité. Les éléments abiotiques ont montré des affinités positives et/ou négatives avec la quantité de biomasse phytoplanctonique.

**Mots clés :** Barrage Béni-Haroun, Eléments nutritifs, Phytoplancton, Structure, Dynamique, Interaction

## Summary

Water, a vital element, is the subject of careful attention throughout the world. Its 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 fourteen 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 for twenty-four months from January 2015 to December 2016; at the level of eleven sampling points in surface area around the Beni Haroun dam in connection with wadis feed. The results show nutrient levels that are not yet alarming, but the situation is likely to worsen with the different levels of pollution continues to grow. On the basis of 88 samples, 72 taxons were identified belonging to 9 phytoplankton classes. The total species richness has highlighted a broad predominance of Cyanophyceae and Bacillariophyceae. The evolution of densities.

Total cell counts show significant seasonal variations in 2016 more than in 2015. The rainy season is of low algal productivity while the highest cell densities mark the summer seasons and fall. The indices of Shannon and of equitability reach the lowest values in the rainy season, diversity early spring due to the development of several species of Cyanophyceae, Diatoms, Chlorophyceae, Conjugatophyceae and Mediophyceae. In summer and autumn season, communities are at their most diverse. Abiotic elements have shown positive and / or negative affinities with the amount of phytoplankton biomass.

**Keywords :** Beni-Haroun Dam, Nutrients, Phytoplankton, Structure, Dynamics, Interaction

## *Liste des abréviations*

|                         |                                                              |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>ABH</b>              | Agence des Bassins Hydrauliques                              |
| <b>ACP</b>              | Analyse en Composantes Principales                           |
| <b>ADE</b>              | Agence de Distribution de l'Eau                              |
| <b>AFNOR</b>            | Association Française de Normalisation                       |
| <b>ANBT</b>             | Agence Nationale des Barrages et transferts                  |
| <b>ANOVA</b>            | Analyse de la variance                                       |
| <b>ANRH</b>             | Agence National des Ressources Hydriques                     |
| <b>APRHM</b>            | Agence de la Pêche et des Ressources Halieutiques Mila       |
| <b>Baci</b>             | Bacillariophyceae                                            |
| <b>Bacl<sub>2</sub></b> | Chlorures de baryum                                          |
| <b>Ca<sup>+2</sup></b>  | Calcium                                                      |
| <b>CE</b>               | Conductivité électrique                                      |
| <b>Chlo</b>             | Chlorophyceae                                                |
| <b>Cl<sup>-</sup></b>   | Chlorure                                                     |
| <b>CO<sub>2</sub></b>   | Dioxyde de Carbone                                           |
| <b>Conj</b>             | Conjugatophyceae                                             |
| <b>Cosci</b>            | Coscinodiscophyceae                                          |
| <b>Cryp</b>             | Cryptophyceae                                                |
| <b>CSEB</b>             | Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne          |
| <b>Cyan</b>             | Cyanophyceae                                                 |
| <b>D</b>                | Dominance                                                    |
| <b>DEA</b>              | Diplôme d'Etudes Approfondies                                |
| <b>DGR</b>              | Direction générale des forêts                                |
| <b>Dino</b>             | Dinophyceae                                                  |
| <b>DPM</b>              | Direction de pêche Mila                                      |
| <b>Dr</b>               | Dominance relative                                           |
| <b>DTM</b>              | Direction des travaux maritimes                              |
| <b>E</b>                | Equitabilité                                                 |
| <b>EDTA</b>             | Acide éthylène diamine tétra acétique                        |
| <b>Eugl</b>             | Euglenophyceae                                               |
| <b>GPS</b>              | Global Positioning System (Système de Positionnement Global) |
| <b>ha</b>               | Hectare                                                      |

## *Liste des abréviations*

|                                   |                                                                        |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>HCO<sub>3</sub></b>            | Bicarbonates                                                           |
| <b>IBGE</b>                       | Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement                 |
| <b>ILEC</b>                       | International Lake Environment Committee                               |
| <b>ind</b>                        | Individu                                                               |
| <b>INRE</b>                       | Institut national de recherche sur les eaux                            |
| <b>IFREMER</b>                    | Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) |
| <b>Ish</b>                        | Indice de Shannon                                                      |
| <b>ISO</b>                        | Organisation internationale de normalisation                           |
| <b>JORA</b>                       | Journal Officiel République algérienne                                 |
| <b>K<sup>+</sup></b>              | Ion Potassium                                                          |
| <b>km</b>                         | Kilomètre                                                              |
| <b>km<sup>2</sup></b>             | Kilomètre carré                                                        |
| <b>m</b>                          | Mètre                                                                  |
| <b>m/km</b>                       | Mètre par kilomètre                                                    |
| <b>m/s</b>                        | Mètre par seconde                                                      |
| <b>m<sup>3</sup>/s</b>            | Mètre cube par seconde                                                 |
| <b>Medi</b>                       | Mediophycées                                                           |
| <b>MES</b>                        | Matière en suspension                                                  |
| <b>mg/l</b>                       | Milligramme par litre                                                  |
| <b>Mg<sup>+2</sup></b>            | Magnésium                                                              |
| <b>ml</b>                         | millilitre                                                             |
| <b>n</b>                          | Nombre d'individus d'un groupe considéré                               |
| <b>N</b>                          | Nombre total d'individus dans l'échantillon                            |
| <b>Na<sup>+</sup></b>             | Ion Sodium                                                             |
| <b>NaOH</b>                       | Oxyde de sodium                                                        |
| <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> | Ammonium                                                               |
| <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> | Nitrite                                                                |
| <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> | Nitrate                                                                |
| <b>NREL</b>                       | National Renewable Energy Laboratory - États-Unis                      |
| <b>O<sub>2</sub></b>              | Oxygène dissous                                                        |
| <b>OMS</b>                        | Organisation mondiale de santé                                         |
| <b>ONA</b>                        | Office National d'Assainissement                                       |
| <b>ONU</b>                        | Organisation des Nations Unies                                         |

## *Liste des abréviations*

|                                    |                                             |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>ONMAT</b>                       | Office National Météorologique Ain Tin      |
| <b>pH</b>                          | Potentiel d'hydrogène                       |
| <b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup></b> | Ions Phosphates                             |
| <b>S</b>                           | Richesse spécifique                         |
| <b>SEQ</b>                         | Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau |
| <b>SC</b>                          | Santé Canada                                |
| <b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b> | Sulfates                                    |
| <b>T (°C)</b>                      | Température en degrés Celsius               |
| <b>t</b>                           | Tonne                                       |
| <b>t / sec</b>                     | Tour par Seconde                            |
| <b>Ulvo</b>                        | Ulvophyceae                                 |
| <b>UNICEF</b>                      | Fonds des Nations unies pour l'enfance      |
| <b>%</b>                           | Pourcentage                                 |
| <b>µS/cm</b>                       | Micro siemens par centimètre                |

## *Liste des tableaux*

|                       |                                                                                                                                     |    |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau I.1</b>    | Groupes d'algues se développant généralement dans les systèmes d'eau douce (Scott, 2002) .....                                      | 12 |
| <b>Tableau I.2</b>    | Les cyanotoxines et leur présence dans les eaux douces (Scott, 2002) .....                                                          | 26 |
| <b>Tableau II.1</b>   | Liste de quelques espèces d'oiseaux observées dans le Béni Haroun (DGF, 2016) .....                                                 | 51 |
| <b>Tableau III .1</b> | Localisation des stations de prélèvement .....                                                                                      | 52 |
| <b>Tableau IV.1</b>   | Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Masson, 1988) .....                                     | 74 |
| <b>Tableau IV. 2</b>  | Grille d'aptitude à la biologie en fonction du pH (SEQ-Eau, 1999).....                                                              | 77 |
| <b>Tableau IV. 3</b>  | Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction de l'oxygène dissous (ABH, 1999) .....                       | 80 |
| <b>Tableau IV.4</b>   | Résultats du Test Bonferroni des valeurs moyennes de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des différentes stations de prélèvement..... | 84 |
| <b>Tableau IV.5</b>   | Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Masson, 1988).....                                         | 84 |
| <b>Tableau IV. 6</b>  | Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en MES (mg/l) des différentes stations de prélèvement.....                        | 88 |
| <b>Tableau IV.7</b>   | Grille de la qualité globale de l'eau en fonction de leurs teneurs en MES (Masson, 1988).....                                       | 88 |
| <b>Tableau IV. 8</b>  | Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en nitrate (mg/l) des stations du barrage Béni-Haroun.....                        | 91 |
| <b>Tableau IV. 9</b>  | Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrates (ABH, 1999).....                                | 92 |
| <b>Tableau IV. 10</b> | Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en nitrite (mg/l) des stations du barrage de Béni Haroun.....                     | 94 |
| <b>Tableau IV. 11</b> | Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrites (ABH, 1999).....                                | 95 |
| <b>Tableau IV. 12</b> | Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction des phosphates (ABH, 1999) .....                             | 98 |

## *Liste des tableaux*

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Tableau IV. 13</b> | Résultats du test Bonferroni des teneurs moyennes en calcium (mg/l) des stations du barrage Béni Haroun.....                                                                                                                                                                                                                               | 101     |
| <b>Tableau IV. 14</b> | Résultats du test Bonferroni des teneurs moyennes en magnésium (mg/l) des différentes stations de prélèvement.....                                                                                                                                                                                                                         | 104     |
| <b>Tableau IV.15</b>  | Résultats du test Bonferroni des teneurs moyennes en chlorures (mg/l) des différentes stations de prélèvement.....                                                                                                                                                                                                                         | 114     |
| <b>Tableau IV.16</b>  | Liste des taxons du phytoplancton des onze stations du barrage Béni-Haroun inventoriées durant la période janvier 2015-décembre 2016.....                                                                                                                                                                                                  | 123-124 |
| <b>Tableau IV. 17</b> | Indices de Shannon et d'équitabilité des stations du barrage Béni Haroun pour une période de deux ans (2015- 2016).....                                                                                                                                                                                                                    | 136     |
| <b>Tableau IV.18</b>  | Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes de la densité phytoplanctonique (Cel/l) des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                                                                                                                                                                                   | 145     |
| <b>Tableau IV.19</b>  | Variations temporelles moyennes des paramètres biotiques et abiotiques des eaux du Barrage Béni-Haroun (ANOVA1, SPSS19). Les astérisques indiquent la probabilité du test ANOVA : *** : Très hautement significative, ** : Hautement significative, ns : Non significative, Moyenne ± Ecart type, Minimal – Maximal, et St : Station ..... | 151-152 |

## *Liste des figures*

|                    |                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure I.1</b>  | Modèle de succession phytoplanctonique dans un plan d'eau mésotrophe à eutrophe en milieu tempéré et variations des conditions environnementales induisant cette succession (modifié d'après Reynolds, 2006).....                             | 8  |
| <b>Figure I.2</b>  | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Cyanophycées ou Cyanobactéries (Saez et <i>al.</i> , 2008) .....                                                                                       | 13 |
| <b>Figure I.3</b>  | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Bacillariophycées ou Diatomées (Saez et <i>al.</i> , 2008) .....                                                                                       | 15 |
| <b>Figure I.4</b>  | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Chrysophycées ou algues dorées (Saez et <i>al.</i> , 2008) .....                                                                                       | 16 |
| <b>Figure I.5</b>  | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Dinophycées ou dinoflagellés.....                                                                                                                      | 17 |
| <b>Figure I.6</b>  | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Cryptophycées (Saez et <i>al.</i> , 2008).....                                                                                                         | 18 |
| <b>Figure I.7</b>  | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Chlorophycées ou algues vertes (Saez et <i>al.</i> , 2008) .....                                                                                       | 20 |
| <b>Figure I.8.</b> | Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des Euglenophycées (Bourrelly, 1966 et Gayral, 1995) .....                                                                                                 | 21 |
| <b>Figure I.9</b>  | Morphologie des cyanobactéries potentiellement toxiques les plus fréquemment rencontrées (Lawton et <i>al.</i> , 1999).....                                                                                                                   | 27 |
| <b>Figure II.1</b> | Variations des températures moyennes mensuelles sur une période de douze ans (2005-2016) dans la région de Mila (ONMAT, 2017).....                                                                                                            | 37 |
| <b>Figure II.2</b> | Variations des précipitations moyennes mensuelles dans la région de Mila pour la période allant de 2005 à 2016 pour (ONMAT, 2017).....                                                                                                        | 39 |
| <b>Figure II.3</b> | Variation de l'ensoleillement moyenne mensuelle dans la région de Mila allant du 2005 à 2015 (ONMAT, 2017).....                                                                                                                               | 40 |
| <b>Figure II.4</b> | Variation du vent moyen mensuel dans la région d'étude allant de 2005 à 2016 (ONMAT, 2017).....                                                                                                                                               | 41 |
| <b>Figure II.5</b> | Situation et localisation géographique du barrage de Béni Haroun dans le bassin du Kébir- Rhumel (Mebarki, 2005) et vue du coté amont de la digue du barrage ( <a href="http://www.soudoud-dzair.com">http://www.soudoud-dzair.com</a> )..... | 43 |

## *Liste des figures*

|                     |                                                                                                                                    |    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure II.6</b>  | Longueur des principaux oueds par sous bassin (longueur > 10 km) (ABH, 2004).....                                                  | 45 |
| <b>Figure II.7</b>  | Liste des espèces des poissonsensemencées en 2001, 2003 et 2006 au niveau de Béni Haroun (APRHM, 2016) .....                       | 49 |
| <b>Figure 111.1</b> | Situation géographique et localisation des stations d'étude .....                                                                  | 53 |
| <b>Figure IV.1</b>  | Variations mensuelles des températures de l'air enregistrées durant la période 2015-2016 (ONMAT, 2017).....                        | 70 |
| <b>Figure IV. 2</b> | Variations mensuelles des précipitations enregistrées durant la période 2015-2016 (ONMAT, 2017).....                               | 71 |
| <b>Figure IV.3</b>  | Diagramme ombrothermique de la région d'étude (P=2T : précipitation et T : température aérienne) des années 2015 et 2016.....      | 72 |
| <b>Figure IV.4</b>  | Variations spatio-temporelles de la température des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                     | 73 |
| <b>Figure IV.5.</b> | Amplitude des variabilités temporelles de la température de l'eau dans les onze stations d'étude.....                              | 74 |
| <b>Figure IV. 6</b> | Variations spatio-temporelles du pH des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016 .....                                | 76 |
| <b>Figure IV.7</b>  | Amplitude des variabilités temporelles du pH des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                                 | 76 |
| <b>Figure IV.8</b>  | Variations spatio-temporelles des teneurs en oxygène dissous des eaux des stations du Barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....        | 79 |
| <b>Figure IV.9</b>  | Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en oxygène dissous des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....        | 80 |
| <b>Figure IV.10</b> | Variations spatiotemporelles du taux de saturation des eaux des stations d'étude du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....          | 81 |
| <b>Figure IV.11</b> | Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux des stations d'étude du barrage Béni-Haroun en 2015-2016..... | 82 |
| <b>Figure IV.12</b> | Amplitude de la variabilité de la conductivité électrique des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                    | 83 |
| <b>Figure IV.13</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en MES des eaux des onze stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....               | 86 |
| <b>Figure IV.14</b> | Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en matières en suspension des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016..... | 87 |
| <b>Figure IV.15</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrate des stations d'étude du barrage de Béni Haroun.....                           | 90 |

## *Liste des figures*

|                     |                                                                                                                                        |     |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure IV.16</b> | Amplitude des variabilités spatio-temporelles des teneurs en nitrates des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.....            | 90  |
| <b>Figure IV.17</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrites des eaux des stations d'étude du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....           | 93  |
| <b>Figure IV.18</b> | Amplitude des variabilités spatio-temporelles des teneurs en nitrites des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.....            | 93  |
| <b>Figure IV.19</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en phosphates des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.....                          | 96  |
| <b>Figure IV.20</b> | Amplitude des variabilités spatio-temporelles des teneurs en phosphates des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016..... | 97  |
| <b>Figure IV.21</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en calcium des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                    | 99  |
| <b>Figure IV.22</b> | Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en calcium des eaux des stations du barrage Béni-Haroun.....                        | 99  |
| <b>Figure IV.23</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en magnésium des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                  | 102 |
| <b>Figure IV.24</b> | Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en magnésium des eaux des stations du barrage Béni Haroun..... ;.....               | 102 |
| <b>Figure IV.25</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en sodium des eaux des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.....                  | 105 |
| <b>Figure IV.26</b> | Amplitude des variabilités temporelles du sodium des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.....                              | 106 |
| <b>Figure IV.27</b> | Variations spatio-temporelles du potassium des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.....                                    | 108 |
| <b>Figure IV.28</b> | Amplitude des variabilités temporelles du potassium des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.....                           | 108 |
| <b>Figure IV.29</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en sulfates des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.....                            | 110 |
| <b>Figure IV.30</b> | Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en sulfates des stations du barrage de Béni-Haroun en 2015-2016.....                | 111 |
| <b>Figure IV.31</b> | Variations spatio-temporelles des teneurs en chlorures des stations du barrage de Béni-Haroun en 2015-2016.....                        | 112 |

## *Liste des figures*

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Figure IV.32</b> | Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en chlorures des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 113     |
| <b>Figure IV.33</b> | Contribution des classes d'algues à la richesse spécifique totale stationnelle (RSTS) du peuplement phytoplanctonique durant l'année 2015. Le pourcentage accordé à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la RSTS de chaque station (en %).....                                                                                                                                   | 117     |
| <b>Figure IV.34</b> | Contribution des classes d'algues à la richesse spécifique totale (RST) du peuplement phytoplanctonique dans chaque station de l'année 2016. Le pourcentage accordé à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la RST de chaque station (en %).....                                                                                                                                  | 119     |
| <b>Figure IV.35</b> | Contribution des différentes classes d'algues à la richesse spécifique totale (RST) du peuplement phytoplanctonique du barrage de Béni-Haroun. Le pourcentage attribué à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la RST (en %).....                                                                                                                                                 | 126     |
| <b>Figure IV.36</b> | Distribution de la densité phytoplanctonique dans les différentes stations du barrage entre (2015-2016). C1 et C5 : campagnes réalisées à la fin de la saison hivernale, C2 et C6 : réalisées en plein saison printanière, C3 et C7 : réalisées en plein été, et C4 et C8 : réalisées à la fin de la saison estivale. (C1, C2, C3 et C4 : réalisées l'année 2015). (C5, C6, C7 et C8 : réalisées l'année 2016)..... | 130-131 |
| <b>Figure IV.37</b> | Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) aux stations d'étude.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 135-136 |
| <b>Figure IV.38</b> | Nombre de taxons phytoplanctoniques rencontrés dans les stations du barrage Béni-Haroun en 2015 et 2016.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 138     |
| <b>Figure IV.39</b> | Evolution de la densité moyenne annuelle dans les différentes stations du barrage Béni-Haroun en 2015 et 2016.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 140     |
| <b>Figure IV.40</b> | Evolution spatio-temporelle de la densité microalgale du barrage Béni Haroun durant la période de 24 mois.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 141     |
| <b>Figure IV.41</b> | Amplitude des variabilités temporelles de la densité dans les stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 143     |
| <b>Figure IV.42</b> | Amplitude saisonnière moyenne de la densité phytoplanctonique des stations du barrage Béni-Haroun durant l'été et l'automne 2015.....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 146     |
| <b>Figure V.43</b>  | Amplitude saisonnière moyenne de la densité phytoplanctonique des stations du barrage Béni-Haroun durant l'été et l'automne 2016.....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 146     |
| <b>Figure IV.44</b> | Amplitude saisonnière moyenne de la densité phytoplanctonique durant la période allant de janvier 2015 à novembre 2016.....                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 147     |

## *Liste des figures*

- Figure IV.45** Amplitude des variabilités saisonnières de la quantité de densité durant une période de 23 mois (janvier2015-novembre2016).....149
- Figure IV.46** Evolution spatiale des nombres des espèces (en % par rapport à la richesse spécifique totale) espèces constantes (Ec), espèces accessoires (Ea), espèces rares (Er) recensées pendant la période 2015-2016.....150
- Figure IV.47** Analyse en composantes principales expliquant la relation entre les variables environnementales et la densité.....154
- Figure IV.48** Analyse en composantes principales expliquant la relation entre Variables environnementales et abondance des groupes phytoplanctonique. Abréviations: Cryp - Cryptophyceae; Cyan - Cyanophyceae; Baci - Bacillariophyceae; Chlo - Chlorophyceae; Eugl - Euglenophyceae; Cosci - Coscinodiscophyceae; Dino -Dinophyceae; Medi - Mediophyceae; Ulvo - Ulvophyceae; Conj – Conjugatophyceae.....157

## *Table de matières*

### **Remerciements**

ملخص

### **Résumé**

### **Abstract**

### **Liste des abréviations**

### **Liste des tableaux**

### **Liste des figures**

### **Introduction ..... 1**

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

### **I.1 Notions générales du phytoplancton ..... 5**

### **I.2 Ecologie du phytoplancton ..... 6**

### **I.3 Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique..... 9**

### **I.4 Rôle du phytoplancton dans l'écosystème..... 10**

### **I.5 Systématique et organisation du phytoplancton ..... 11**

#### **1.5.1 Cyanophycées (Cyanobactéries)..... 13**

#### **I.5.2 Bacillariophycées ou diatomées ..... 14**

#### **I.5.3 Chrysophycées ..... 16**

#### **I.5.4 Dinophycées ..... 17**

#### **I.5.5 Cryptophycées ..... 18**

#### **I.5.6 Chlorophycées (Desmidiacées) ..... 19**

#### **I.5.7 Euglénophycées ..... 20**

### **I.6 Microalgues nuisibles et toxiques ..... 21**

#### **I.6.1 Microalgues nuisibles..... 22**

##### **I.6.1.1 Effets directs des microphytes ..... 23**

##### **I.6.1.2 Effets indirects ..... 24**

#### **I.6.2 Microalgues toxiques ..... 25**

##### **I.6.2.1 Exposition humaine ..... 28**

##### **I.6.2.2 Exposition des organismes..... 29**

### **I.7 Facteurs physico-chimiques influençant le phytoplancton ..... 30**

#### **I.7.1 Lumière..... 30**

#### **I.7.2 Température ..... 30**

#### **I.7.3 Potentiel d'hydrogène ..... 31**

## *Table de matière*

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| I.7.4 Oxygène dissous .....                      | 31 |
| I.7.5 Nutriments .....                           | 32 |
| I.8 Conséquences de la pollution nutritive ..... | 34 |

### **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| II.1 Le bassin versant du barrage Béni Haroun (Kébir-Rhumel) ..... | 36 |
| II.1.1 Topographie .....                                           | 36 |
| II.1.2 Climatologie.....                                           | 36 |
| II.1.2.1 Températures .....                                        | 37 |
| II.1.2.2 Précipitations .....                                      | 38 |
| II.1.2.3 Ensoleillement .....                                      | 39 |
| II.1.2.4 Le vent.....                                              | 40 |
| II.1.3 Géologie .....                                              | 41 |
| II.1.4 Hydrologie .....                                            | 42 |
| II.2 Présentation du barrage Béni Haroun .....                     | 42 |
| II.2.1 Situation géographique .....                                | 42 |
| II.2.2 Les apports hydrologiques au barrage .....                  | 44 |
| II.2.3 Alimentation en eau potable .....                           | 46 |
| II.2.4 Assainissement et traitement des eaux rejetées .....        | 46 |
| II.2.5 Pressions anthropiques sur le barrage .....                 | 47 |
| II.2.5.1 L'agriculture .....                                       | 47 |
| II.2.5.2 L'industrie .....                                         | 48 |
| II.2.6 Biodiversité faunistique du barrage Béni Haroun.....        | 48 |
| II.2.6.1 Les poissons .....                                        | 48 |
| II.2.6.2 Avifaune .....                                            | 50 |

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| III.1 Caractéristiques abiotiques.....                               | 52 |
| III.1.1 Choix, description et localisation des stations d'étude..... | 52 |
| III.1.2 Echantillonnage .....                                        | 55 |
| III.1.3 Mesures <i>in situ</i> .....                                 | 55 |
| III.1.3.1 Température .....                                          | 56 |
| III.1.3.2 pH.....                                                    | 56 |
| III.1.3.3 Oxygène dissous .....                                      | 56 |

## *Table de matière*

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1.3.4 Conductivité électrique .....                                  | 57 |
| III.1.4 Dosages et mesures au laboratoire .....                          | 57 |
| III.1.4.1 Nitrate .....                                                  | 58 |
| III.1.4.2 Nitrite .....                                                  | 58 |
| III.1.4.3 Phosphates.....                                                | 59 |
| III.1.4.4 Calcium .....                                                  | 59 |
| III.1.4.5 Magnésium.....                                                 | 60 |
| III.1.4.6 Sodium .....                                                   | 60 |
| III.1.4.7 Potassium .....                                                | 60 |
| III.1.4.8 Sulfates.....                                                  | 61 |
| III.1.4.9 Chlorures.....                                                 | 61 |
| III.1.4.10 Matières en suspension .....                                  | 62 |
| III.2 Caractéristiques biotiques .....                                   | 63 |
| III.2.1 Echantillonnage, identification et comptage des microalgues..... | 63 |
| III.2.2 Etude qualitative .....                                          | 64 |
| III.2.3 Etude quantitative .....                                         | 65 |
| III.2.4 Eléments descriptifs et synthétiques.....                        | 65 |
| III.2.4.1 Richesse spécifique .....                                      | 65 |
| III.2.4.2 Dominance relative .....                                       | 66 |
| III.2.4.3 Indice d'occurrence.....                                       | 66 |
| III.2.4.4 Indice de diversité .....                                      | 67 |
| III.2.4.5 Indice d'équitabilité .....                                    | 68 |
| III.3 Analyses statistiques .....                                        | 68 |

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| IV.1 Présentation des résultats abiotiques..... | 70 |
| IV 1.1 Eléments de climatologie .....           | 70 |
| IV.1.1.1 Température de l'air .....             | 70 |
| IV.1.1.2 Pluviométrie.....                      | 71 |
| IV.1.1.3 Diagramme ombrothermique.....          | 71 |
| IV.2 Paramètres physico-chimiques.....          | 72 |
| IV.2.1 Température de l'eau.....                | 72 |
| IV.2.2 pH.....                                  | 75 |
| IV.2.3 Oxygène dissous.....                     | 78 |

## *Table de matière*

|                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| IV.2.4 Conductivité électrique (CE).....                                                 | 82         |
| IV.2.5 Matières en suspension (MES).....                                                 | 85         |
| IV.3 Eléments nutritifs .....                                                            | 89         |
| IV.3.1 Eléments azotés .....                                                             | 89         |
| IV.3.1.1 Nitrate .....                                                                   | 89         |
| IV.3.1.2 Nitrite .....                                                                   | 92         |
| IV.3.2 Phosphates .....                                                                  | 95         |
| IV.3.3 Calcium .....                                                                     | 98         |
| IV.3.4 Magnésium .....                                                                   | 101        |
| IV.3.5 Sodium.....                                                                       | 104        |
| IV.3.6 Potassium.....                                                                    | 107        |
| IV.3.7 Sulfates .....                                                                    | 109        |
| IV.3.8 Chlorure.....                                                                     | 111        |
| IV.4 Présentation des résultats biotiques.....                                           | 115        |
| IV.4.1 Analyse qualitative .....                                                         | 115        |
| IV.4.1.1 Variation spatiale de la composition phytoplanctonique .....                    | 115        |
| IV.4.1.2 Inventaire et composition phytoplanctonique globale .....                       | 121        |
| IV.4.1.3 Diversité phytoplanctonique totale du barrage .....                             | 125        |
| IV.4.1.4 Estimation de densité stationnelle des différentes classes du phytoplancton ... | 127        |
| IV.4.1.5 Diversité et équitabilité .....                                                 | 132        |
| IV.4.2 Analyse quantitative .....                                                        | 137        |
| IV.4.2.1 Diversité relative de la composition algale.....                                | 137        |
| IV.4.2.2 Densité spatiale de la composition algale .....                                 | 139        |
| IV.4.2.3 Dynamique mensuelle de la densité algale .....                                  | 140        |
| IV.4.2.4 Amplitude saisonnière de la densité algale.....                                 | 146        |
| IV.4.2.5 Fréquence temporelle.....                                                       | 149        |
| IV.5 Analyses statistiques .....                                                         | 151        |
| IV.5.1 Analyses descriptives .....                                                       | 151        |
| IV.5.2 Analyse en composantes principales .....                                          | 153        |
| <b>Conclusion et perspectives.....</b>                                                   | <b>160</b> |
| <b>Références bibliographiques .....</b>                                                 | <b>165</b> |

### **Annexes**

### **Publications**

# Introduction

## *Introduction générale*

L'eau, incontestable source de vie, est également une des questions les plus stratégiques de notre temps. Selon un rapport commun OMS/UNICEF (2013), le tiers de la population mondiale, n'auront toujours pas accès à des services d'assainissement amélioré et 80% des maladies sont d'origine hydrique (OMS, 2004). La demande déjà insatisfaite ne fait qu'augmenter alors que l'offre diminue sous la pression démographique, la pression industrielle ou agricole, l'exode rural ou l'urbanisation. L'eau source de vie peut également être une source destructrice de vies humaines : elle est à l'origine de maladies et de décès et est également souvent instrumentalisée en cas de conflits armés (Aubriot, 2007). Elle fait l'objet de nombreuses convoitises qui soulèvent des interrogations sur l'évolution de sa valeur au regard de sa disponibilité et de ses modes de consommation, sur les questions d'appropriations individuelles, collectives, privées, publiques..., ou encore sur sa pérennité (Belaidi et Mecheri, 2009).

Au cours de cette année, le secrétaire général des Nations Unies a déclaré (2018-2028) décennie d'action sur l'eau. Selon les Nations Unies, 40% de la population mondiale est aujourd'hui touchée par une pénurie d'eau. 80% des eaux usées sont rejetées sans traitement dans l'environnement et plus de 90% des catastrophes sont liées à l'eau. Plus de 2 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et plus de 4,5 milliards de personnes ne disposent pas de services d'assainissement adéquats (<https://news.un.org/fr/story/2018>). L'ONU espérait ainsi améliorer les conditions de vie d'environ 2 milliards de personnes. Dans plusieurs cas, cette amélioration devait se traduire par une réduction importante du nombre de malades. En effet l'OMS, estime que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau (Raymond, 1990).

La pollution des écosystèmes aquatiques est actuellement l'un des problèmes environnementaux les plus préoccupants du siècle, que de nombreux pays dans le monde s'attachent à résoudre comme un véritable challenge (Adandédjan, 2012). En effet, l'eau est la ressource naturelle, à la fois la plus indispensable à toute forme de vie et d'autre fois par son caractère de substance unique parce qu'elle se renouvelle et s'autoépure naturellement par dilution, infiltration (par le processus de sédimentation) ou dégradation des polluants. Cependant, ce processus naturel peut être à la fois lent et difficile si la charge polluante est importante, ce qui est souvent le cas tel que l'utilisation d'engrais qui est 15 fois plus importante qu'en 1945. La liste des polluants qui affectent les écosystèmes aquatiques, les mers et les océans est longue et les signes de la pollution de l'eau sont évidents.

## *Introduction générale*

L'accès à une eau de boisson saine influe également de manière importante sur la santé et le développement aux niveaux national, régional et local. Pour certaines régions, il a été démontré qu'investir dans l'approvisionnement en eau et l'assainissement pouvait déboucher sur un bénéfice économique net, dans les cas où la réduction des effets sanitaires préjudiciables et des coûts des soins de santé fait plus que compenser ces dépenses. Cette constatation s'applique aux infrastructures d'approvisionnement en eau de grande ampleur. L'expérience a également montré que les interventions visant à améliorer l'accès à une eau saine, qu'elles aient pour cadre des zones rurales ou urbaines, bénéficient particulièrement aux plus démunis et peuvent constituer une composante efficace des stratégies de réduction de la pauvreté (OMS, 2004).

L'Algérie est l'un des pays où la disponibilité de l'eau est limitée du fait de la croissance constante de la demande en eau sous la poussée de la croissance démographique, de l'industrialisation, de l'exode rural, de l'urbanisation et la sécheresse. Pour faire face à cette pénurie, la construction des barrages semble être la solution la plus adaptée pour répondre aux différents besoins (Bouزيد-Lagha et Djelita, 2012 ; Fouad, 2014). Sous l'effet de différentes contraintes naturelles et anthropiques ainsi que la gestion et l'économie, ces milieux aquatiques sont en perpétuelle dégradation. Ce sont là des questions qui se posent lorsque le but est de l'améliorer ou simplement la conserver sans la dégrader (Aboudi et *al.*, 2014).

Le barrage Béni Haroun est la plus grande infrastructure hydraulique réalisée en Algérie. Le deuxième en Afrique après celui de l'Égypte. Plus de six (6) millions d'habitants à travers plusieurs wilayas de l'Est bénéficieront des eaux de ce dernier, en plus de l'irrigation de 40000 hectares de terres agricoles dont le périmètre irrigué d'Ouled Hamla (Oum El Bouaghi)" totalisant 2272 ha. Les pollutions les plus graves à ce jour qui touchent le bassin de Béni-Haroun, sont celles dues aux activités humaines, à savoir les pratiques agricoles, industrielles, rejets domestiques diffus et, dans une moindre mesure, aux retombées atmosphériques. Ces polluants sont entraînés par les eaux de ruissellement vers le réservoir via les oueds. La région dispose de quatre stations d'épurations créées dont le but de protéger le barrage mais leurs rendements sont discutables.

## *Introduction générale*

En effet, la qualité d'une eau est la résultante de nombreux paramètres dont les fluctuations sont déterminantes pour la répartition des organismes vivants. Dans les milieux aquatiques, l'accumulation des éléments particuliers et dissous d'origine terrestre, et les échanges de matières favorisent le développement du plancton (Vollenweider, 1968 ; Reynolds, 1987).

L'une des conséquences de cette situation est l'enrichissement de l'eau par les nutriments (P et N) indicateur d'un état avancé de l'eutrophisation. Ce phénomène provoque un déséquilibre de l'écosystème avec un développement anarchique d'algues et une consommation intense de l'oxygène (El Ghachtoul et *al.*, 2005 ). Il a été classé, en 1997 par l'International Lake Environment Committee (ILEC), au quatrième rang des six risques majeurs susceptibles d'affecter les lacs et les réservoirs de la planète (Bouزيد-Lagha et Djelita, 2012).

Le terme « eutrophisation » s'est alors généralisé pour exprimer le phénomène de développement anarchique des espèces algales au niveau des couches superficielles des retenues (Lancelot, 2014). Le phytoplancton représente un compartiment remarquable par le rôle qu'il joue, non seulement dans le milieu aquatique mais aussi dans tous les domaines de notre vie : qualité d'environnement (oxygène), alimentation (poissons et fruits de mer), bien-être (santé, beauté) et ressource industrielle. Ce développement excessif entraîne une dégradation de la qualité des eaux, en causant des préjudices environnementaux, sociaux et économiques (Abdallaoui, 1998). La prolifération phytoplanctonique est contrôlée essentiellement par des variables physico-chimiques (El Hachimi, 2012). Dépendant des conditions du milieu, ces organismes microscopiques vivent dans la zone euphotique, soit à la strate supérieure des océans, mers, lacs, réservoirs ou étangs d'eau douce (Findlay et *al.*, 1990).

Le fonctionnement des réservoirs dépend essentiellement des conditions hydro-climatiques, tandis que les changements à long terme sont associés au stade de développement du réservoir, accompagnant les transformations au niveau de leurs bassins versants (Gorniak et Jekaterynczuk-Rudczyk, 1995). Les processus biogéochimiques et physiques qui modifient la composition des eaux laissent une empreinte chimique que nous pouvons lire en étudiant la distribution spatiale et temporelle de certains traceurs (Gaillard, 1993).

## *Introduction générale*

La relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes est une question écologique fondamentale : pour comprendre la structure et le fonctionnement d'un écosystème, il est indispensable de connaître les différents éléments qui le composent, et la distribution des organismes dans le temps et dans l'espace (Bengtsson, 1998). La qualité sanitaire de l'eau devient alors un objectif majeur (Cambon, 2008).

Le phytoplancton est un bon indicateur de l'état trophique des eaux, cependant très peu d'études lui sont concernées dans les travaux sur les écosystèmes aquatiques algériens. Cette étude représente la première contribution réalisée sur ce premier maillon de la chaîne trophique qui, à notre connaissance, n'a jamais fait objet d'une étude antérieure au niveau du barrage Béni-Haroun malgré la multitude de travaux déjà réalisés sur ce réservoir. 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 des eaux des barrages utilisées pour la production de l'eau potable et d'irrigation, puis d'apporter de nouvelles données scientifiques sur le peuplement phytoplanctonique du barrage Béni Haroun.

Pour répondre à ces principaux objectifs, cette étude sera structurée en quatre chapitres. Le premier sera consacré à une synthèse bibliographique relative à l'importance du phytoplancton et des caractéristiques physico-chimiques des eaux, le deuxième chapitre sera réservé à la présentation générale du barrage de Béni-Haroun. Une grande partie de ce chapitre sera réservée particulièrement à la situation géographique, géologique, hydroclimatique et phytopédologique du bassin versant. Nous présenterons aussi les qualités bioécologiques et l'usage des eaux du barrage ainsi que les menaces anthropiques. Le troisième chapitre réunira le matériel et les méthodes utilisées pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques des eaux et l'étude du compartiment phytoplanctonique. Dans le dernier chapitre, nous présenterons l'ensemble des résultats et discussions structurés en deux parties essentielles, la première sera consacrée à l'évaluation de la qualité physico-chimiques et l'état actuel de santé des eaux du barrage, alors que la deuxième abordera l'étude du peuplement phytoplanctonique particulièrement du point de vue identification, quantification et dynamique et à la fin du chapitre vient l'étude statistique qui englobe la relation entre les deux composantes (biotique et abiotique). Une synthèse de l'essentiel des résultats et les perspectives feront l'objet de la conclusion de cette étude.

**Chapitre I**  
**Synthèse**  
**Bibliographique**

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### I.1 Notions générales du phytoplancton

Le phytoplancton (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal. C'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 (Mollo et Noury, 2013). Aussi, il désigne l'ensemble des micro-algues unicellulaires, filamenteuses ou cénobiales, mobiles ou non, dont les dimensions sont comprises entre quelques millièmes de millimètres et quelques dixièmes de millimètres (Gayral, 1975). Par ailleurs, leur forme est extrêmement variée, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité telle que la flottaison ou les mouvements verticaux (Zeitzschel, 1978).

Le phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire en milieu aquatique, supporte directement ou indirectement toutes les populations animales, et fait partie des bioindicateurs de la qualité écologique des masses d'eau. En effet, le phytoplancton a une grande réactivité face aux changements environnementaux ; il a une capacité à se développer très rapidement, provoquant des blooms (ou efflorescences algales) lorsque les conditions environnementales sont favorables. Quand le milieu reçoit trop d'éléments nutritifs (nutriments), la production phytoplanctonique peut devenir excessive et engendrer un phénomène d'eutrophisation (Kilham et Kilham, 1984 ; Azam et Malfatti, 2007 ; Ifremer, 2014). Le phytoplancton joue un rôle clef au sein des communautés aquatiques. Cet assemblage de microorganismes photoautotrophes utilise la matière inorganique (principalement le CO<sub>2</sub>) comme source de carbone et la transforme en matière organique grâce à la photosynthèse. Il se divise en deux sous-groupes : les cyanobactéries et les microalgues eucaryotes (Mollo et Noury, 2013 ; Sialve et Steyer, 2013 ; Demory, 2017). Biomasse la plus considérable sur la planète, c'est en quelque sorte le principal « fourrage » des milieux aquatiques et de sa santé va dépendre celle de l'ensemble de l'écosystème. Base de toutes les chaînes alimentaires marines, le phytoplancton nourrit un monde animal qui n'existerait pas sans lui, et en premier lieu le zooplancton (Mollo et Noury, 2013). Si les organismes phytoplanctoniques représentent seulement 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques sur terre, on estime aujourd'hui que la contribution des microalgues à la photosynthèse mondiale représenterait 40 à 45 % (Bœuf et *al.*, 2010 ; Behrenfeld et *al.*, 2001 ; Chisholm, 1995). Les microalgues, comportent actuellement, selon les estimations, entre 20 000 et 40 000 espèces différentes (Thurman, 1997).

### I.2 Ecologie du phytoplancton

Le développement du phytoplancton dépend des conditions climatiques générales et, microclimatiques locales. D'autres, facteurs d'ordre physico-chimique ou hydrographique, eux-mêmes soumis directement mais dans une plus ou moins large mesure aux variations climatiques, interviennent également sur le développement du phytoplancton (Lassus et *al.*, 1982). Les facteurs environnementaux régulent non seulement la concentration mais également les propriétés optiques des cellules phytoplanctoniques (Mas, 2008).

Les êtres planctoniques ont colonisé tous les milieux d'eaux douces, marines que saumâtres : la mer, les fleuves et ruisseaux, les lacs et étangs, les marais, les eaux souterraines, les gouttières, les fossés, les tourbières... Le plancton est également présent dans des endroits plus surprenants tels que les embruns, les mares, les lavoirs et les fontaines, on en trouve même dans les suintements de roches (<http://www.plancton-du-monde.org>). Il a la capacité de se développer rapidement dans des milieux à conditions extrêmes (espèces halophiles dans les milieux très salés, espèces thermophiles dans les milieux très chauds) et espèces qui tolèrent les basses températures des lacs arctiques et antarctiques. Pratiquement, les microalgues sont présentes dans quasiment tous les écosystèmes terrestres (Skulberg, 1996 ; Fogg *et al.*, 1973 ; Becerra Celis, 2009 ; Mata *et al.*, 2010 ; Perez- Garcia *et al.*, 2011). Il se développe mieux dans les eaux plutôt calmes et riches en sels nutritifs : rivières, estuaires, marais... Ainsi, la concentration de phytoplancton est jusqu'à dix fois plus forte dans les eaux continentales qu'en haute mer. La classe des diatomées est la plus représentée, en quantité, suivie par celle des dinoflagellés. Les cyanobactéries sont aussi regroupées avec les phytoplanctons en raison de leur capacité de photosynthèse parmi lesquelles seules quelques-unes sont productrices de toxines (environ 6%) (Marcaillout-Le Baut, 2006).

Les microalgues sont caractérisées comme étant un groupe extrêmement hétérogène rassemblé autour d'une cohérence physiologique occupant la plupart des niches écologiques. Certaines espèces cohabitent des animaux tels que les protozoaires, les éponges ou les ascidies (endozoïques), ou des végétaux exemples les fougères aquatiques ou les angiospermes (endophytiques) (Couté et Bernard, 2001). En outre, elles fournissent aux champignons la nourriture carbonée dont ils ont besoin. Les champignons forment un enchevêtrement de filaments qui protège les microalgues de la sécheresse et fabriquent des substances capables de dissoudre les pierres les plus dures (<http://www.plancton-du-monde.org/>).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

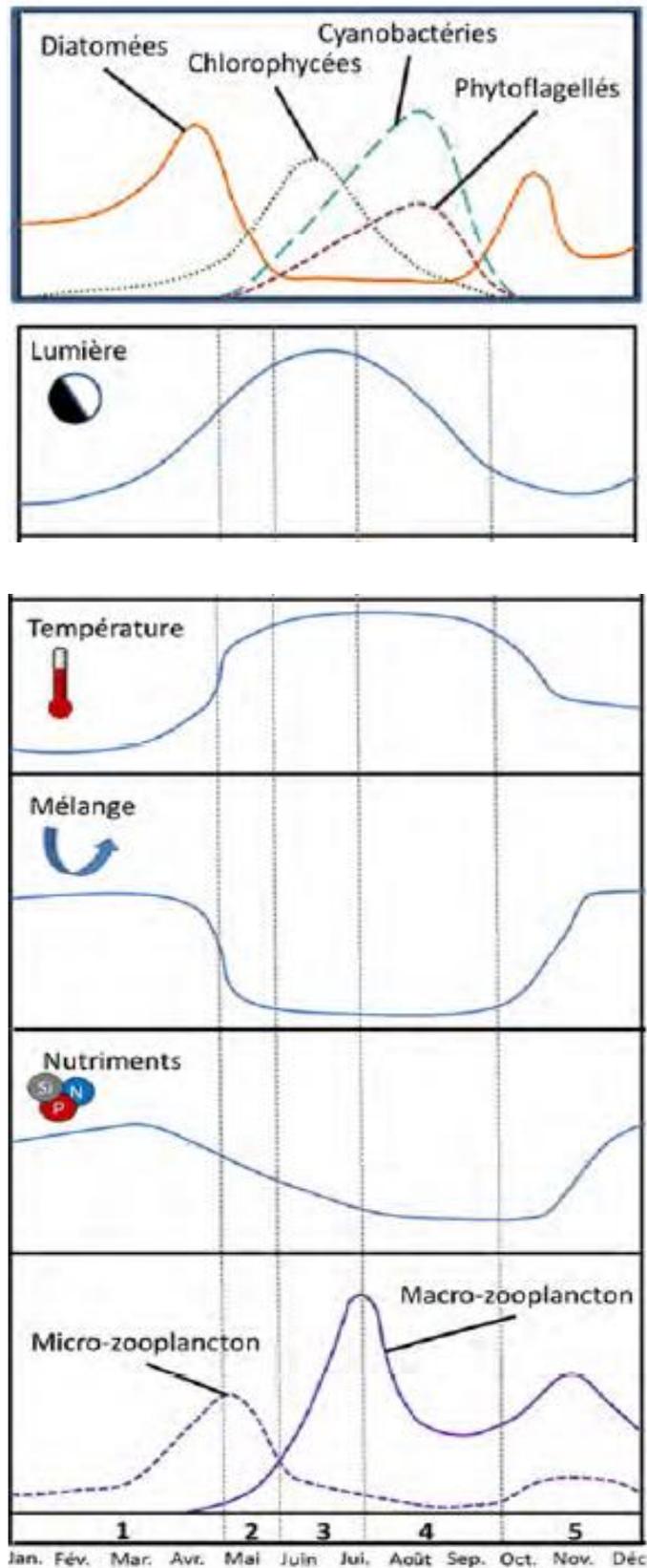
En milieu aquatique, elles peuvent être planctoniques (en suspension dans l'eau et incapables de mouvements propres suffisants pour résister à ceux des masses d'eau) ou benthiques (fixées ou en relation étroite avec le fond). Un même groupe d'algues peut être significativement représenté à la fois dans le plancton et le benthos (les algues vertes, les diatomées) ou être très majoritairement planctonique (les haptophytes) ou presque exclusivement benthique (les algues rouges et brunes) (De Reviers, 2019).

Certaines diatomées sont attachées aux plumes d'oiseaux aquatiques (Croll et Holmes, 1982), à la cuticule des crustacés, et aux écailles de tortues (Bennett, 1920). Le phytoplancton évolue de façon saisonnière (Amblard, 1987), ce qui a pour conséquence de structurer le réseau trophique, les niveaux trophiques supérieurs dépendant directement ou indirectement des saisons et à leur tour, les microalgues, reflètent les conditions du milieu (Tolomio et *al.*, 2006).

D'après Rolland et *al.* (2015), le modèle classique de succession phytoplanctonique dans les plans d'eau mésotrophes à eutrophes est le suivant :

- (1) hiver et début printemps : les diatomées sont dominantes du fait de leur vitesse de croissance plus importante que les autres groupes phytoplanctoniques, d'un optimum de température plus bas, et de la présence de nutriments – dont la silice nécessaire à l'élaboration de leur frustule en quantité suffisante.
- (2) printemps : la biomasse de diatomées dans la colonne d'eau diminue suite à une baisse de l'intensité du mélange, un appauvrissement de la concentration en nutriments en surface, mais aussi du fait du broutage par le zooplancton.
- (3) début été : Les chlorophycées profitent des nutriments encore présents dans la colonne d'eau. Celles-ci subissent moins l'effet de la sédimentation et du broutage par le zooplancton du fait de leur forme et de leur taille.
- (4) été : La colonne d'eau étant stratifiée, les cyanobactéries et phytoflagellés sont avantagés par leur capacité de migration active. De plus, la chaleur augmente le potentiel de croissance de ces deux groupes, qui sont également peu consommés par le zooplancton.
- (5) automne : le retour aux conditions mélangées et la diminution de la température induisent une baisse drastique des cyanobactéries et phytoflagellés et un retour des diatomées.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique



**Figure I.1.** Modèle de succession phytoplanctonique dans un plan d'eau mésotrophe à eutrophe en milieu tempéré et variations des conditions environnementales induisant cette succession (modifié d'après Reynolds, 2006).

### **I.3 Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique**

Les indicateurs biologiques ont la capacité d'intégrer et retranscrire plusieurs variables du milieu ; ainsi ils constituent un complément essentiel de la détermination de la qualité physique et chimique des milieux aquatiques pour évaluer leur état écologique (Reyjol et *al.*, 2012 ; Feret et Laplace-Treytore, 2012). Le terme bio-indication désigne l'ensemble des méthodes fondées sur des paramètres biologiques pouvant servir à établir des diagnostics écologiques. Un indicateur biologique (ou bioindicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes, qui, par ses propriétés biochimiques ou ses caractéristiques physiologiques, éthologiques (de comportement) ou écologiques, permet de caractériser de façon pratique l'état d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible les modifications naturelles ou provoquées. Il permet de quantifier l'amplitude d'une perturbation (Blandin, 1986 ; Argillier et *al.*, 2008).

Le phytoplancton figure parmi les éléments de qualité biologiques retenus pour la classification de l'état écologique des masses d'eaux. Il doit être évalué à partir de trois composantes : biomasse, abondance et composition taxonomique. Actuellement, seules les deux premières composantes sont prises en compte pour calculer l'indicateur phytoplancton : la biomasse et l'abondance (Belin et Daniel, 2013). Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux (Padisak et *al.*, 2006 ; Salsamo et *al.*, 2006 ; Anneville et *al.*, 2008), est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (Solheim, 2005). Ainsi, le phytoplancton, proposé puis imposé comme élément de qualité biologique pour les lacs et les réservoirs, est identifié aujourd'hui comme un bioindicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau. A cet égard, Reynolds et *al.* (2002), ont publié une description détaillée de pas moins de trente (30) espèces phytoplanctoniques vues comme des groupes fonctionnels, ou groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les diatomées par exemple se révèlent être de bons indicateurs de la qualité des eaux car elles sont étroitement liées aux caractéristiques chimiques de l'eau (Coste, 1978 ; Lange-Bertalot, 1979 ; Afri et Pauwels, 1983). Elles sont sensibles aux pollutions organiques et minérales permettant ainsi une estimation fiable du degré de contamination (Descy et Coste, 1990).

### I.4 Rôle du phytoplancton dans l'écosystème

Le phytoplancton constitue la partie végétale du plancton en opposition avec le zooplancton qui correspond à la partie animale. Comme tout végétal, il est autotrophe. Le phytoplancton a joué un rôle important dans la création de l'atmosphère en transformant le dioxyde de carbone dissous dans l'eau en oxygène, dans les premiers instants de l'apparition de la vie sur terre. Aujourd'hui encore, il constitue un poumon insoupçonné de la planète, à l'instar des forêts vierges d'Amazonie. Sa production de biomasse (20 tonnes de carbone organique par année, presque autant que la production terrestre) est à la base de la chaîne alimentaire (Morales, 2014). Le phytoplancton, en tant que producteur primaire des milieux aquatiques, est par ailleurs tout « naturellement » exploité comme ressource nutritive pour l'aquaculture (Spolaore et *al.*, 2006). Dans cette filière majeure de la production mondiale, les microalgues sont utilisées directement pour subvenir aux besoins des stades larvaires des mollusques bivalves et des crustacés (Muller-Feuga et *al.*, 2003) ou indirectement comme complément alimentaire et comme substrat pour le zooplancton, base alimentaire de nombreuses espèces aquacoles. A l'exception de la *Spiruline*, la faible digestibilité de ces cellules, due à une paroi pseudo-cellulotique, rend toutefois difficile la consommation de cette ressource protéique par les animaux terrestres (Becker, 1994).

Il constitue également la principale source alimentaire des huîtres et des mollusques en général. Pour s'en nourrir, les huîtres filtrent une masse d'eau correspondant jusqu'à "1500 fois le poids de nourriture retenu" (Robigo, 2005). Cette capacité à filtrer l'eau de leur environnement en fait des capteurs naturels, ou bio-accumulateurs, retenant métaux lourds et autres polluants dans leurs glandes digestives jusqu'à de très fortes concentrations sans provoquer leur mort (Auby et Maurer, 2004). Les microalgues sont considérées depuis longtemps comme une ressource intéressante au sein des matières premières renouvelables. Elles contiennent des quantités importantes de protéines, d'huiles, de substances bioactives et se retrouvent, de ce fait, au croisement des branches industrielles de l'agroalimentaire, de la cosmétique, de la chimie, de la pharmacie et de la bioénergie. Cependant, il subsiste toujours quelques incertitudes quant à la rentabilité de leur production, et on constate de plus en plus que les algues produisent des ingrédients encore inconnus (Becerra Celis, 2009 ; Sialve et Steyer, 2013 ; Rastoin, 2014).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les microalgues peuvent aussi être utilisées pour la protection de l'environnement en utilisant leur capacité à fixer le dioxyde de carbone et certains métaux lourds lors de leur croissance (traitement des eaux usées, réduction des gaz à effet de serre) et à produire de l'énergie sans dégagement de gaz à effet de serre (production de biofuel) (Becerra Celis, 2009 ; Doré-Deschênes, 2009). Les plus étudiées aujourd'hui, notamment pour la production de biocarburants, sont les microalgues vertes (*Chlorella*, *Chlamydomonas*,...) (Villay, 2013). En plus du domaine énergétique, les microalgues sont utilisées en industrie dans les domaines pharmaceutique, nutraceutique, cosmétique et alimentaire (Sirois, 2013). Sans ce premier maillon de la chaîne trophique, la diversité des espèces aquatiques ne serait pas ce qu'elle est, et nous non plus, puisqu'il produit la moitié de l'oxygène que nous respirons. Et pourtant le plancton végétal, composé d'organismes microscopiques, est en train de disparaître dans les océans. D'après une étude menée par une équipe de chercheurs internationaux, depuis 1899 la masse de phytoplancton a en moyenne baissée au rythme de 1% par an (Peltier, 2010).

### I.5 Systématique et organisation du phytoplancton

D'après, Grogga (2012), les conséquences écophysiologiques associées à la richesse spécifique des populations phytoplanctoniques sont nombreuses. Les différentes espèces ne réagissent pas de la même manière aux facteurs du milieu. Leurs taux de croissance, ainsi que leur dépendance vis-à-vis des nutriments, sont également variables. En outre, afin de faire face aux variations environnementales, les espèces phytoplanctoniques ont développé des stratégies adaptatives, telles que :

- différents mécanismes favorisant leur mobilité, et leur migration vers des zones riches en nutriments et en lumière (phototaxisme, migration verticale, nage, agrégation) ;
- le mode de nutrition mixotrophe ;
- la compétition interspécifique par production de substances allélochimiques ;
- des mécanismes de défense contre la prédation (allélopathie).

Le cycle biologique de chaque espèce phytoplanctonique participe ainsi à un réseau complexe de relations interspécifiques à l'intérieur d'un assemblage d'espèces. Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytologique essentiellement par la présence (eucaryotes) ou non (procaryotes) d'un noyau cellulaire (ADN confiné dans une enveloppe nucléaire) (Prescott et *al.*, 2003 ; Sialve et Steyer, 2013).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Actuellement, la phylogénie est en pleine évolution, grâce notamment aux avancées technologiques en biologie moléculaire (Iglesias-Rodriguez et *al.*, 2006 ; Not et *al.*, 2007 ; Saez et *al.*, 2008). Peuplant les eaux douces comme marines, les microalgues 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 (Mann, 1999 ; Person, 2010 ; Sialve et Steyer, 2013).

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). Le classement en divisions est basé sur diverses propriétés telles que la pigmentation, la nature chimique des produits de stockage issus de la photosynthèse, l'organisation des membranes photosynthétiques, modes de multiplication ou reproduction et d'autres caractéristiques morphologiques (Becerra Celis, 2009 ; Person, 2010).

Il existe de nombreux types d'algues, mais seuls certains groupes ont une importance en termes d'impact possible sur les réserves d'eau douce. Nous en donnons une description sommaire ci-après.

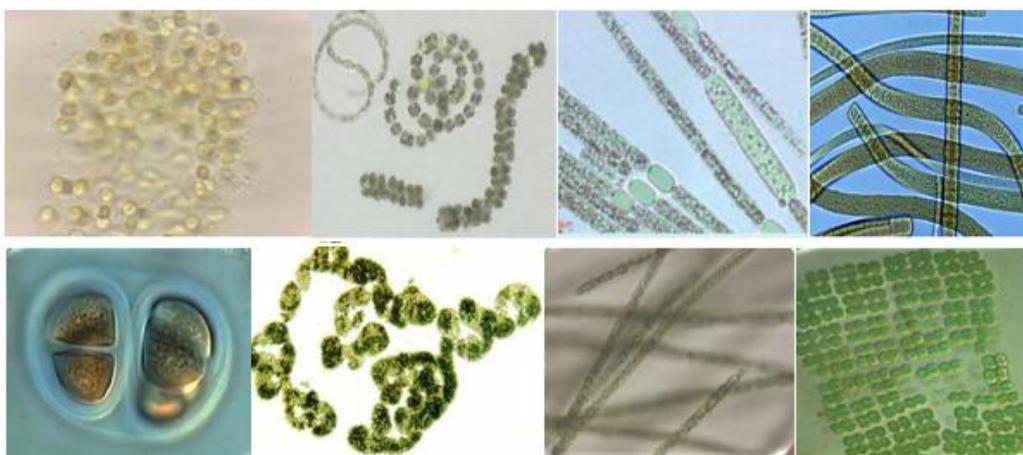
**Tableau I.1.** Groupes d'algues se développant généralement dans les systèmes d'eau douce (Scott, 2002).

| Nom scientifique | Nom commun        |
|------------------|-------------------|
| Chlorophytes     | Algues vertes     |
| Cryptophytes     | Cryptomonades     |
| Dinophytes       | Dinoflagellés     |
| Euglénophytes    | Euglènes          |
| Bacillariophytes | Diatomées         |
| Chrysophytes     | Algues vert-jaune |

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### 1.5.1 Cyanophycées (Cyanobactéries)

Les Cyanophytes ou cyanobactéries sont des micro-organismes photosynthétiques contenant souvent des pigments assimilateurs formés de chlorophylle, de phycocyanine, de phycoérythrine et de carotène donnant, suivant leur mélange, des colorations : vert bleu, vert olive, jaunâtre, rose, violacée, etc..., mais jamais vert pur, ni brun pur, et doué de l'adaptation chromatique ( prennent la couleur complémentaire de celle des rayons qui les éclairent) (Pesez et Pesez, 1977 ; Ganf *et al.*, 1991; Schagerl et Donabaum, 2003; Colyer *et al.*, 2005). Grâce à la chlorophylle a et aux photosystèmes très semblables à ceux des végétaux (champignons exclus), ils synthétisent des sucres et de l'oxygène à partir de l'eau et du dioxyde de carbone. De ce fait, ils se rapprochent des algues (Leitão, 2005). Elles sont des procaryotes qui présentent une grande diversité de formes et de tailles regroupées en trois grands types : i) unicellulaire, ii) coloniale et, iii) filamenteuse pluricellulaire (Bernard, 2014).



**Figure I.2.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des **Cyanophycées ou cyanobactéries**

**Pigments** : chlorophylle a ; phycobilines (phycocyanine, allophycocyanine, phycoérythrine). **Substances de réserve** : glycogène, cynophycine. **Paroi cellulaire** : peptidoglycane. **Morphologie** : unicellulaire, coloniale, filamenteuse. **Reproduction** : asexuée (fission binaire, fragmentation) (Saez *et al.*, 2008). **Images** : (Laplace-Treytore, 2016), <http://www.eau-et-rivieres.asso.fr> et <http://www.diatomloir.eu>.

Elles sont présentes dans tous les pays du monde et en tous lieux, aussi bien dans les milieux aquatiques (des eaux douces aux eaux hypersalées) que dans les milieux désertiques. Ce sont, avec les bactéries, les seuls organismes photosynthétiques susceptibles de vivre dans des eaux thermales dépassant la température de 56°C. On les rencontre à tous les pH à l'exception des pH < 4 car la chlorophylle est sensible à l'acidité de l'eau (aux ions H<sup>+</sup>) (Silvano, 2005).

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

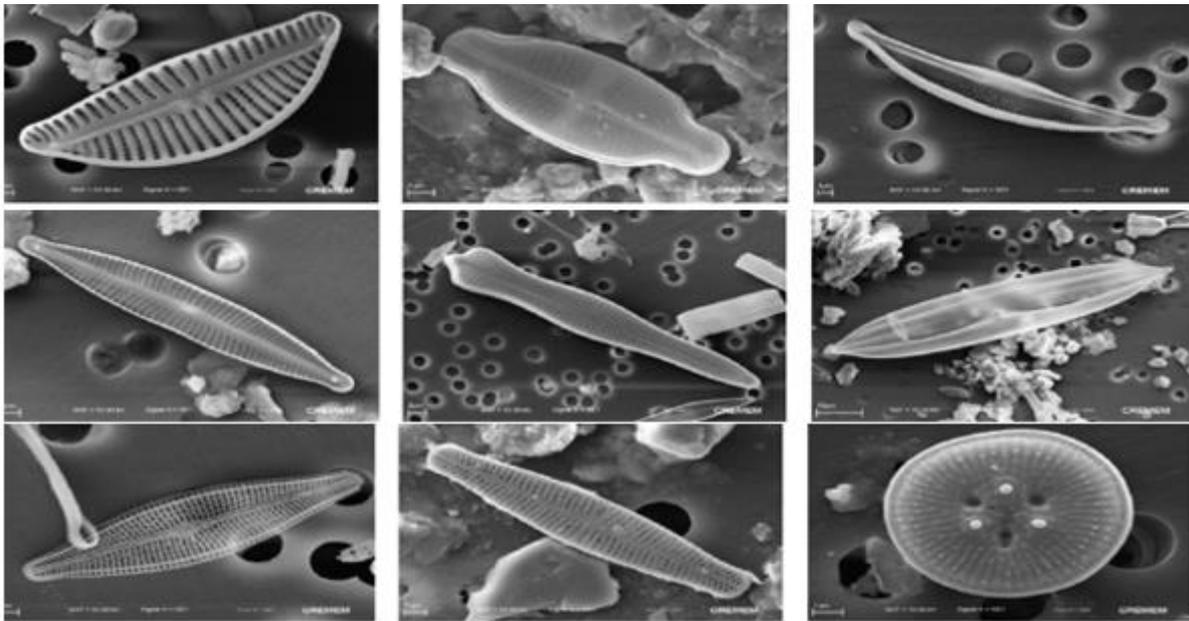
Ces phytoplanctons sont des algues primitives, nées il y a 3,5 milliards d'années pendant la période de volcanisme à outrance affectant l'ensemble de la planète. Capable de vivre dans les milieux extrêmes. Elle sut résister aux extinctions, vivre au ralenti pendant des millions d'années, s'adapter et évoluer, assurant ainsi la permanence de la vie sur terre depuis son origine (Mollo et Noury, 2013). Leurs épisodes de croissance excessive proviennent de la détérioration des milieux aquatiques, principalement liée aux activités humaines comme l'agriculture et le mauvais aménagement des milieux riverains (Codd, 2000). Leur présence est ubiquitaire depuis très longtemps et leur abondance peut devenir une nuisance pour l'humain (Paerl, 1988 ; Dokulil et *al.*, 2000 ). Depuis quelques années, les cyanobactéries engendrent un intérêt grandissant à cause de leur prolifération, dénommée « fleur d'eau » (Deblois et *al.*, 2008). Les algues bleues (Cyanobactéries) souvent abondantes dans les eaux, sont susceptibles de synthétiser des toxines à l'origine d'intoxications plus ou moins graves, représentant des risques importants pour la santé humaine et animale (Chorus et Bartram, 1999 ; Blais, 2002) dont, les usages de l'eau peuvent ainsi être limités par ces contaminations.

### **I.5.2 Bacillariophycées ou diatomées**

Les Bacillariophycées, nom évoquant leur forme (du latin : bacillus = bâtonnets), sont microscopiques, unicellulaires et leur taille varie de quelques micromètres à plus de 500 micromètres (Leclercq et *al.*, 2000). Ce sont des organismes photosynthétiques possédant un exosquelette siliceux nommé frustule (Lassus et *al.*, 1982 ; Kemp et *al.*, 2006). En se basant sur la symétrie des cellules, ces microalgues ont été classées en deux ordres : les Centriques (ou Mediophycées) à symétrie généralement radiale, connues depuis le Jurassique (-90 millions d'années), et les Pennées (ou Bacillariophycées) à symétrie bilatérale, dont les premiers fossiles retrouvés datent du début du tertiaire (Round et *al.*, 1990 ; Kooistra et Medlin, 1996). Les diatomées constituent un important groupe de microalgues brunes producteurs primaires des milieux aquatiques (Goldman, 1992 ; Bottin, 2012). De plus, elles participent activement à la fixation de 50% du carbone total sur terre, de la silice et à la production d'oxygène (Leclercq et *al.*, 2000 ; Kemp et *al.*, 2006 ; Duc Hung Nguyen, 2014), alors que Smetaček (1999) rapportait un taux de fixation du carbone de 20%, par voie photosynthétique à l'échelle de toute la biosphère. Si leur diversité spécifique exacte est inconnue, elle est estimée à potentiellement environ 250 genres et entre 10000 et 12000 espèces. Certains auteurs pensent même qu'il y aurait jusqu'à 100000 espèces (Leclercq et *al.*, 2000) et d'après, Mann (1999), elles arrivent jusqu'à 200000 espèces.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Parmi celles-ci, 24 000 avaient un nom validé (Fourtanier et Kociolek, 2009) et de très nombreuses espèces nouvelles sont décrites tous les ans.



**Figure I.3.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des **Bacillariophycées ou Diatomées**.

**Pigments :** chlorophylle a, c1, c2 et c3 ; xanthophylles : fucoxanthine, diatoxanthine, diodinoxanthine). **Substances de réserve :** chrysolaminarine, lipides. **Paroi cellulaire :** siliceuse ornementée (frustule). **Morphologie :** pennée (symétrie bilatérale) ou centrique (symétrie radiale). **Reproduction :** asexuée (division cellulaire) et sexuée (oogamie chez les centriques et isogamie chez les pennées) (Saez et *al.*, 2008). **Images :** (Chaïb et *al.*, 2011)

Les diatomées sont des organismes ubiquistes, qui peuvent peupler un grand nombre de milieux différents, et établir de nombreux types de relations avec d'autres organismes. Elles peuvent se trouver en eau douce comme en eau salée, dans des eaux tropicales comme dans les polaires, dans les glaces et dans des lacs de haute altitude (Patrick ,1977 ; Smol et Stoermer, 2010). Une fois les diatomées mortes, leurs squelettes peu solubles se sont déposés, parfois en couches épaisses, au fond des mers et des lacs pendant des millions d'années pour former une roche blanchâtre très légère, la diatomite (Leclercq et *al.*, 2000).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### I.5.3 Chrysophycées

Les Chrysophycées sont des organismes ordinairement aquatiques, unicellulaires ou coloniaux, plus rarement filamenteux ou à thalle de structure simple à cellules uni nucléées à un ou plusieurs plastes jaune ou bruns parfois plus ou moins verdâtres. Ces plastes renferment de la chlorophylle a et c. Les phénomènes sexuels, rarement observés, sont isogamiques. La multiplication se fait par division végétative ou par zoosporulation, mais on n'observe jamais de sporocystes spécialisés comparables à ceux des Phéophycées (Bourrelly, 1968).

Algues souvent très fugaces apparaissant et disparaissant parfois rapidement, on les trouve surtout au printemps. Certaines formes dépourvues de flagelles sont munies de prolongement rhizopodiques et forment la famille des Rhizochrysidacées soit isolées (*Rhizochrysis*) ou réunies en réseau (*Chrysothylakion*). D'autres comme le *Myxochrysis paradoxa* ont un cycle évolutif comportant des stades de flagellés libres, des stades d'amibes libres ou des stades plasmodiaux comme chez les Myxomycètes avec de nombreux chromatophores et de nombreux noyaux (Pesez et Pesez, 1977).



**Figure I.4.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des **Chrysophycées ou algues dorées**

**Pigments :** chlorophylle a, c1, c2 ; xanthophylles : fucoxanthine. **Substances de réserve :** chrysolaminarine, lipides. **Paroi cellulaire :** écaille de silice et cellulose. **Morphologie :** unicellulaire ou coloniale (rarement filamenteuse), cellules nues ou enveloppées par une structure productrice, 1 ou 2 flagelles. **Reproduction :** asexuée (fission binaire, zoosporulation) et sexuée (isogamie) (Saez et al., 2008). **Images:** *Onlinelibrary.wiley.com*; *moritz.botany.ut.ee* et *brtinnica.com*.

Les chrysophycées se rencontrent surtout en eaux douces et on en compte environ 1000 espèces. Elles ressemblent aux diatomées mais elles peuvent arborer plus de couleurs que ces dernières : du jaune au brun en passant par l'orange. Chez plusieurs espèces d'algues dorées l'enveloppe est principalement composée de silice et en plus faibles proportions de cellulose (NREL, 1998 in Doré-Deschenes, 2009).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Elles sont capables de réaliser la mixotrophie, c'est-à-dire qu'elles possèdent des capacités hétérotrophes et elles utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme et sont même capables d'ingérer des bactéries (Domaizon *et al.*, 2003 ; Zubkov et Tarran, 2008).

### I.5.4 Dinophycées

Les formes d'eau douce de ce groupe sont des cellules isolées généralement mobiles à l'aide de 2 flagelles, nues ou munies d'une membrane souvent formée de plaques et de nature cellulosique. Les cellules sont munies de 2 sillons : l'un transversal et faisant le tour de la cellule, la divisant en une partie apicale dirigée en avant pendant le mouvement et une partie antapicale. L'autre sillon, longitudinal, est plus large (Pesez et Pesez, 1977).

Les Dinophycées, encore désignées sous le nom de dinoflagellés ou péridiniens, sont des organismes végétaux aquatiques unicellulaires. Certains d'entre eux, toutefois, présentent des caractères qui pourraient les faire considérer comme appartenant au règne animal. Ils sont essentiellement caractérisés par la présence de deux flagelles orthogonaux, à insertion ventrale ; l'un, longitudinal, cylindrique, fonctionnant comme une godille, l'autre transversal, rubané, animé de fines et rapides ondulations provoquant des tourbillons autour du corps cellulaire (Cachon et Cachon, 2019). Les Dinophycées sont cosmopolites : elles se rencontrent tant en eau douce qu'en milieu marin, et certaines sont même très largement euryhalines, présentes dans les lagunes et les marais salants. (Gastineau, 2012).



**Figure I.5.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des **Dinophycées ou dinoflagellés**

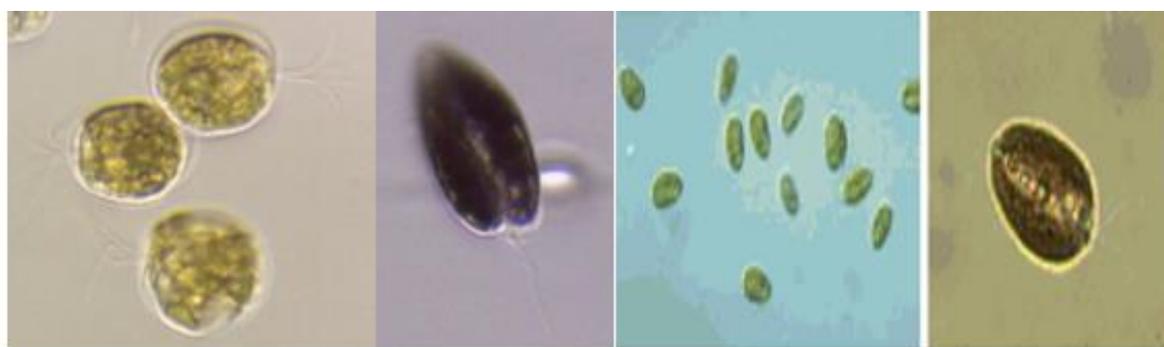
**Pigments :** chlorophylle a, et c2 ; xanthophylles : diadinoxanthine. **Substances de réserve :** amidon, lipides. **Paroi cellulaire :** si présente, constituée de cellulose. **Morphologie :** principalement unicellulaire, cellule nues renforcées par des plaques polygonales, avec 2 flagelles perpendiculaire. **Reproduction :** asexuée (fission binaire, formation d'aplanospores) et sexuée (isogamie, anisogamie). **Images :** [www.plancton-du-monde.org](http://www.plancton-du-monde.org)

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Environ 3000 espèces sont actuellement connues et de nouvelles sont régulièrement découvertes ; elles occupent une place importante (après les diatomées) dans la contribution à la production primaire, alimentation de base de la chaîne alimentaire marine qui va jusqu'aux gros poissons et aux grands mammifères marins. Trois espèces principales de dinoflagellés sont redoutées comme *Dinophysis* (50 microns) ; elles élaborent des toxines (DSP : Diarrhetic Shellfish Poison) qui s'accumulent dans la chair des coquillages (moules, palourdes, coquilles Saint-Jacques, huîtres...) (Mollo et Noury, 2013).

### I.5.5 Cryptophycées

Les Cryptophytes (Cryptomonas, Cryptophycées), rapportés pour la première fois par Ehrenberg (1831), sont de petits biflagellés unicellulaires trouvés dans des habitats marins ou d'eau douce (Kim et *al.*, 2007). Plus ou moins aplaties dorso-ventralement, généralement mobiles (rarement immobiles = *Phaecoccus*, *Tetragonidium*) à l'aide de 2 flagelles un peu inégaux, situés en avant ou latéralement. Toutes unicellulaires, elles possèdent des cellules nageuses comprimées en forme de haricot, avec deux fouets légèrement inégaux sortant d'une fossette latérale (Bourrelly, 1966).



**Figure I.6.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des **Cryptophycées**

**Pigments :** chlorophylle a et c2 ; phycobilines : phycocyanine, phycocytine, diodinoxanthine. **Substances de réserve :** amidon extraplastidial. **Paroi cellulaire :** généralement absente. **Morphologie :** cellules nues, ovales et aplaties, avec 2 flagelles inégaux. **Reproduction :** principalement asexuée (fission binaire) (Saez et *al.*, 2008).

Les Cryptophytes se rencontrent dans tous les types de milieux aquatiques : des milieux océaniques aux eaux douces en passant par les eaux interstitielles des milieux terrestres humides. Certaines espèces sont devenues parasites intestinaux de métazoaires.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Quelques-unes sont des endosymbiotes de Dinophytes. D'autres vivent de manière symbiotique dans l'ectoplasme des radiolaires. Ce petit taxon (200 espèces) est relativement homogène et de nombreux caractères lui sont propres ([wikipedia.org/wiki/Cryptophyta](http://wikipedia.org/wiki/Cryptophyta)).

### I.5.6 Chlorophycées (Desmidiacées)

Algues de couleur vert pur rarement colorées en rouge par de l'hématochrome, elles sont soit unicellulaires mobiles à l'aide de flagelles, ou immobiles et dans ce cas elles sont isolées ou réunies, avec ou sans intermédiaire de gelée, en colonies de forme indéterminée ou déterminée, formant souvent des cénobes. Soit elles sont pluricellulaires et chez les formes d'eau douce, généralement filamenteuses simples ou ramifiées avec ou sans axe principal, plus rarement en lames formées de 1 ou 2 assises de cellules uninucléées ou plurinucléées. Les cellules nageuses possèdent habituellement 2 fouets de même taille, rarement 4 ou plus (Bourrelly, 1966). La chlorophylle constituant l'essentiel de leurs pigments photosynthétiques, ces algues vertes sont pratiquement absentes en dessous de 5 m de profondeur (Moussoukhoye, 2003). Majoritairement aquatiques bien que certaines comme *Pleurococcus* aient colonisé le milieu terrestre (Delaux, 2011), elles sont observées dans les eaux stagnantes présentant une température, une lumière et une concentration en nutriments relativement élevées.

La majorité des formes filamenteuses sont attachées aux substrats durs dans les eaux stagnantes ou courantes. Avec plus de 7600 espèces (Bourrelly, 1966), les chlorophycées constituent la classe la plus répandue dans les eaux douces. L'ordre des volvocales contient les chlorophycées nageuses présentant deux à plusieurs flagelles, le plus souvent égaux : *Eudorina*, *Pteromonas aculeata*, *Chlamydomonas*). Le principal représentant de cet ordre est le genre *Chlamydomonas* qui se décline en plus de 400 espèces (Wehr et Sheath, 2003).



**Figure I.7.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques des **Chlorophycées ou algues vertes**

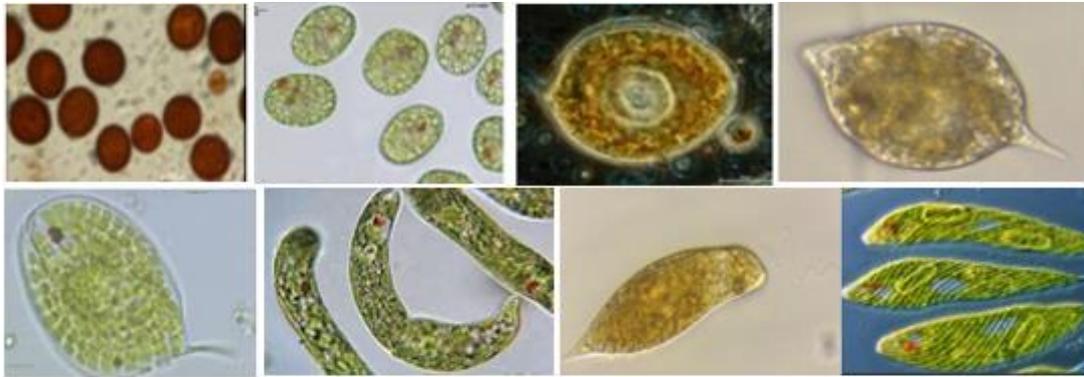
**Pigments :** chlorophylle a et b ; xanthophylles : lutéine, violaxanthine. **Substances de réserve :** amidon intraplastidiale. **Paroi cellulaire :** principalement cellulose. **Morphologie :** unicellulaire, coloniale, filamenteuse, cénobiale, forme avec ou sans flagelles. **Reproduction :** asexuée (fission binaire) et asexuée (isogamie, anisogamie et oogamie) (Saez et al., 2008). **Images :** (Thakar et al., 2018), [fracademic.com](http://fracademic.com), [wikiwand.com](http://wikiwand.com), [artsper.com](http://artsper.com), [Alamyimages.fr](http://Alamyimages.fr), [forum.microscopia.com](http://forum.microscopia.com) et [junglekey.fr](http://junglekey.fr).

### **I.5.7 Euglenophycées**

Les Euglenophycées, représentées par près de 930 espèces, sont des algues unicellulaires et flagellées, le plus souvent mobiles, avec des plastes verts contenant de la chlorophylle a et b associée à du carotène et des xanthophylles. Certaines espèces emmagasinent de l'hématochrome (astaxanthine) et prennent une teinte rouge qui masque la teinte verte des plastes. Les réserves sont constituées de grains de paramylon, substance non colorable par la solution iodo-iodurée de lugol, mais présentant en lumière polarisée le phénomène de la croix noire tout comme l'amidon véritable. Ce paramylon est extraplastidial. Le ou les fouets sortent d'une fossette apicale ou subapicale, structure impliquée dans la perception de la lumière et dirige la locomotion (Durand et Lévêque, 1980). Les Euglenophycées sont particulièrement abondantes dans les eaux stagnantes (milieux lenticues) très riches en nutriments et en matières organiques. Elles sont souvent associées à la présence de sédiments, de macrophytes ou de détritux de feuilles. Quelques espèces sont dominantes en milieu acide (Dussart, 1966).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Leur déplacement est très caractéristique. En effet, leurs flagelles leur permettent une ondulation hélicoïdale et la forme de la cellule de certaines espèces (*Phacus pyrum*, *Euglena oxyuris*) entraîne une rotation de l'individu sur lui-même (Baillot, 2013).



**Figure I.8.** Caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques  
Et cytologiques des **Euglenophycées**

**Pigments :** chlorophylle a, b et *B* carotène et xanthophylles. **Substances de réserve :** paramylon extraplastidial. **Paroi cellulaire :** cuticule déformable, stries hélicoïdales. **Morphologie :** unicellulaire avec fouets ou flagelles. **Reproduction :** asexuée (bipartition : division du noyau) rarement sexuée (Bourrelly, 1970 ; Gayral, 1975). **Images :** (Baillot, 2013), [mysocialmate.com](http://mysocialmate.com), [utex.org](http://utex.org), [jacquet.stephan.free.fr](http://jacquet.stephan.free.fr) et [aquaportail.com](http://aquaportail.com).

Les divers phylogènes basées sur les séquences de l'ARNr 18s, suggèrent toutes que les Euglènes phagotrophes dépourvus de plastes (*Petalomonas* et *Pseudoperanema*) ont donné naissance au Euglènes phototrophes (*Euglena*, *Phacus*) (De Reviere, 2003).

### I.6 Microalgues nuisibles et toxiques

D'après, Shumway (1990) et Landsberg (2002), les effets des efflorescences de microalgues peuvent être classés en deux grandes catégories : les effets liés aux microalgues nuisibles et ceux liés aux microalgues toxiques. Une forte prolifération d'algues et de cyanobactéries, en plus d'être peu esthétique, risque d'obstruer les prises d'eau et les conduites des filtres. Lorsque les fleurs d'eau provenant des algues ou des cyanobactéries dépérissent et se décomposent, leurs cellules mortes sont souvent responsables de mauvaises odeurs dues à la raréfaction de l'oxygène dans l'eau. Le dépérissement de fleurs d'eau dans un étang ou un lac peu profond entraîne parfois une raréfaction de l'oxygène suffisamment forte pour causer la mort des poissons (Scott, 2002).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Parmi les espèces d'algues unicellulaires qui constituent le premier maillon de la chaîne alimentaire, quelques dizaines, soit environ 6 % de la flore phytoplanctonique, sont capables de produire des toxines, libérées dans le milieu (exotoxines) ou piégées dans la cellule (endotoxines) (Marcaillout-Le Bau, 2006). Certains microphytes toxiques sont à l'origine des diverses intoxications comme diarrhéiques liées à la présence dans le plancton des espèces du genre *Dinophysis* : *D. acuta*, *D. caudata*, *D. fortii*, *D. acuminata*, *D. sacculus*, *DSP : Dinophysis spp*, *Prorocentrum lima* et *Anabaena sp* (Belin et al., 1995 ; Poletti et al., 1998 ; Vila et al., 2001 ; Turki, 2004 ; Warren et al., 2010).

### I.6.1 Microalgues nuisibles

Pour des raisons encore mal comprises, des proliférations importantes de phytoplancton ont lieu dans les milieux aquatiques, essentiellement au niveau des zones riches aux apports nutritifs. Au cours de ces efflorescences, les concentrations cellulaires observées peuvent dépasser plusieurs millions de cellules par litre d'eau. Ces phénomènes naturels, de plus en plus fréquents, semblent être accentués par certains facteurs en lien avec les activités humaines (Anderson et al., 2002 ; Maso et Garcés, 2006).

D'après, Warren et al., (2010). Les fleurs d'eau de cyanobactéries nocives laissent généralement des formes dormantes dans les sédiments et peuvent réapparaître rapidement lorsque les conditions favorables se présentent de nouveau. Une prolifération excessive de phytoplancton est appelée efflorescence algale ("bloom" en Anglais), connue de l'homme depuis l'antiquité. Il y a trois types d'efflorescences algales à différencier :

- la première provoque un changement de couleur de l'eau sans grande conséquence bien que le manque d'oxygène puisse nuire à certains animaux aquatiques de petite taille ;
- la deuxième, qui concerne plus particulièrement l'homme, est à base de phytoplanctons ou bactéries contenant des toxines dangereuses pour l'homme s'il consomme les fruits de mers contaminés. La première efflorescence algale de ce type, reconnue en 1978, fut déjà rapportée en 1793 par le Capitaine George Vancouver dans l'actuel Canada ;
- enfin, le troisième type correspond à des microalgues s'attaquant spécifiquement aux poissons et petits invertébrés (Hallegraeff et al., 1995). Par exemple, des maladies et la mort chez certains animaux peuvent être entraînées par une présence en masse de cyanobactéries (Codd et al., 2005).

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

La prolifération de microalgues apparaît sous certaines conditions de salinité d'eau, de température, de lumière et de concentration en nutriments. En plus de ces paramètres environnementaux, les efflorescences algales sont aussi dépendantes de facteurs biochimiques tels que la synthèse de métabolites et autres inhibiteurs / activateurs du cycle cellulaire du phytoplancton. L'aspect le plus important concerne les nutriments ; plus il y en a, plus le nombre de cellules par litre sera élevé. Cependant, la production de toxines augmente typiquement lorsqu'il y a pénurie de nutriment (phosphate et silice), ce qui correspondrait à une réponse au stress (Cembella et John, 2006).

Les efflorescences de microalgues peuvent avoir des effets négatifs indirects sur les organismes aquatiques. Des proliférations importantes de certaines microalgues se produisent régulièrement, notamment au printemps. Le plus souvent, ces phénomènes naturels, parfois amplifiés par un enrichissement important du milieu en éléments nutritifs sont sans conséquence néfaste, mais peuvent, après sédimentation et décomposition par les bactéries, engendrer une forte diminution de l'oxygène dissous (Anderson et *al.*, 2002). Cependant, dans certaines situations ces proliférations peuvent avoir des effets négatifs occasionnant des pertes économiques considérables à l'aquaculture, à la pêche et au tourisme par leur impact sur les espèces marines et dulçaquicoles, l'environnement et/ou sur la santé humaine (Thébaud et *al.*, 2005). Généralement, la formation de ces zones pauvres en oxygène a lieu au niveau de l'interface eau-sédiment où se concentrent les cellules qui sédimentent (Haberkorn, 2009). Certains ciliés, lorsqu'ils se développent en concentrations importantes, entraînent des colorations rouges des huîtres, qui même si elles ne présentent aucun danger pour le consommateur, arborent un aspect inesthétique rendant leur commercialisation difficile (Gailhard, 2003). Certains groupes de phytoplancton causent des problèmes lors de leur développement, dus à la quantité très élevée de biomasse produite en peu de temps (Hadjadj, 2014). Il faut donc tenir pour acquis la présence de toxines et éviter d'utiliser l'eau.

### **I.6.1.1 Effets directs des microphytes**

Les exotoxines exercent des effets délétères directs sur la flore ou la faune : certaines d'entre elles endommagent la membrane cellulaire, d'autres ont des effets inhibiteurs sur des populations phytoplanctoniques susceptibles de rentrer en compétition. En termes de nuisance, les exotoxines sont surtout une menace importante pour l'aquaculture, bien que certaines soient aussi gênantes pour l'homme.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les endotoxines s'accumulent dans la chaîne alimentaire et parviennent jusqu'à l'homme via les produits de pêche consommés. Elles constituent un risque potentiel pour la santé humaine et conduire à des pertes économiques importantes (Landsberg, 2002 ; Marcaillout-Le Bau, 2006 ; Anderson, 2008). La majorité des études sur ce sujet s'est intéressée aux toxines pouvant affectées la santé humaine. Les cyanobactéries peuvent être toxiques pour les mammifères, et pour l'homme en particulier. A la suite de leur prolifération dans des eaux d'alimentation humaine, leur ingestion a été à l'origine d'intoxications graves. Les efflorescences peuvent aussi être formées par des espèces nuisibles pour les autres organismes aquatiques, via leurs propriétés physiques, sans pour autant que cet effet ne soit dû à la production de toxines ou de molécules toxiques (Mollo et Noury, 2013). En effet, le frustule de certaines diatomées peut présenter des ornements qui peuvent abîmer les tissus fragiles de certains organismes aquatiques, tels que les branchies (Haberkorn, 2009). Speare et al. (1989), ont montré que la diatomée *Chaetoceros convolutus* a provoqué de fortes mortalités dans des élevages de saumons (*Oncorhynchus kisutch*) en Colombie Britannique. Ainsi, plusieurs espèces du genre *Pseudo-nitzschia* sont capables de produire de l'acide domoïque et, de par leur forme d'aiguille, elles peuvent aussi causer des altérations physiques des organes tels que les branchies ou encore le tube digestif (Delegrange, 2015).

### I.6.1.2 Effets indirects

Les toxines peuvent être transférées d'une espèce à une autre le long des chaînes trophiques grâce aux bio-accumulateurs qui peuvent en accumuler des quantités dans leurs corps et dont les effets n'apparaîtront qu'à long terme. Elles peuvent alors être bioaccumulées (la concentration augmente lors du passage à un niveau trophique supérieur), biotransformées (des réactions peuvent se produire et transformer la molécule originale) ou biomagnifiées (la toxine est rendue plus néfaste). Les organismes qui survivent à l'ingestion de telles toxines peuvent être consommés par un maillon trophique supérieur. Celui-ci pourra être affecté par la toxine qui provoquera des désordres biologiques, voire la mort (Gailhard, 2003). Les bivalves, comme l'huître creuse du Pacifique, *Crassostrea gigas*, accumulent les toxines dans les tissus principalement dans leur tube digestif (Lassus et al., 2004). Certaines microalgues toxiques sont susceptibles d'avoir des répercussions sur le métabolisme des animaux aquatiques et donc des coquillages, c'est notamment le cas de *Karenia mikimotoi* responsable d'inhibitions de croissance et de mortalités de ces derniers (Rastoin, 2015).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les efflorescences de microalgues peuvent avoir des effets négatifs indirects même lorsqu'il s'agit d'espèces à priori inoffensives, voire bénéfiques aux écosystèmes (base de la chaîne alimentaire), la sédimentation des cellules en fin d'efflorescence, et leur décomposition par des bactéries, peut entraîner une forte diminution de la concentration en oxygène dissous dans l'eau (Anderson *et al.*, 2002). La formation d'une zone d'hypoxie ou d'anoxie, peut alors être fatale aux organismes vivant dans la colonne d'eau (organismes pélagiques) ou sur le fond (organismes benthiques). Généralement, la formation de ces zones pauvres en oxygène a lieu au niveau de l'interface eau-sédiment où se concentrent les cellules qui sédimentent (Haber Korn, 2009).

Les cyanobactéries constituent l'une des premières formes de vie sur terre. Présentes depuis plusieurs milliards d'années, elles ont su s'adapter et développer des spécificités leur permettant de se développer et de dominer avec des conditions optimales différentes selon les espèces (faible à forte intensité lumineuse, faible à forte température, ...). Un certain nombre d'espèces de cyanobactéries sont capables de produire des composés odorants (*Anabaena*, *Phormidium*, *Microcoleus*, ...), d'autres des toxines, et d'autres encore produisent les deux (Vallod, 2011). L'accumulation des toxines chez les bivalves par exemple sont particulièrement importantes au regard de ces éventuelles conséquences en termes de risque sanitaire pour les consommateurs : par exemple, lors d'efflorescences de *Pseudo-nitzschia* sp, productrices d'acide domoïque, le transfert de la toxine via les poissons planctonivores (Delegrange, 2015).

### I.6.2 Microalgues toxiques

Généralement, les effets néfastes des toxines algales succèdent à une augmentation du nombre des cellules des espèces incriminées. Cette augmentation peut être modeste, avec quelques milliers de cellules par litre, ou spectaculaire quand elle atteint plusieurs millions de cellules par litre ; on parle alors d'eau colorée ou de « bloom » (Marcaillout-Le Bau, 2006). Les efflorescences toxiques sont associées à une eutrophisation croissante de plus en plus fréquente engendrant une dégradation de la qualité des eaux et pouvant se traduire par des pertes économiques et des risques pour la santé humaine. Les risques d'intoxication deviennent importants lorsque les blooms sont concentrés à la surface de l'eau au niveau des berges où ils s'accumulent (Souissi *et al.*, 2004).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Certaines phycotoxines, restent à l'intérieur des cellules algales, et peuvent s'accumuler dans les animaux marins se nourrissant de phytoplancton, tels que les coquillages qui ne sont pas affectés mais ils deviennent toxiques pour leurs consommateurs (Thébeaud et al., 2005). Les phénomènes d'efflorescences de microalgues toxiques, en rendant les coquillages impropres à la consommation et donc en entraînant des arrêts de leur commercialisation, peuvent avoir des conséquences économiques importantes. Des toxines algales présentes dans l'eau utilisée pour l'abreuvement pourraient nuire à la santé du bétail et même causer la mort d'animaux. La majorité des espèces phytoplanctoniques contenant des toxines appartiennent à la classe des Dinophyceae (Sournia, 1995). Certaines microalgues toxiques sont susceptibles d'avoir des répercussions sur le métabolisme des animaux aquatiques et donc des coquillages, c'est notamment le cas de *Karenia mikimotoi* et responsable d'inhibitions de croissance et de mortalités de ces derniers (Rastoin, 2015).

Les efflorescences de microalgues peuvent avoir des effets négatifs indirects même lorsqu'il s'agit d'espèces à priori inoffensives, voire bénéfiques aux écosystèmes (base de la chaîne alimentaire), la sédimentation des cellules en fin d'efflorescence, et leur décomposition par des bactéries, peut entraîner une forte diminution de la concentration en oxygène dissous dans l'eau (Anderson et al., 2002). La formation d'une zone d'hypoxie ou d'anoxie, peut alors être fatale aux organismes vivant dans la colonne d'eau (organismes pélagiques) ou sur le fond (organismes benthiques). Généralement, la formation de ces zones pauvres en oxygène a lieu au niveau de l'interface eau-sédiment où se concentrent les cellules qui sédimentent (Haberkorn, 2009). D'après, Scott (2002), actuellement, on connaît plus de 70 espèces de cyanotoxines, regroupées selon leur mode de toxicité (tab I.2). La simple observation d'une efflorescence de cyanobactéries ne permet pas de déduire qu'elle produit des toxines et par mesure de précautions il faut éviter l'utilisation d'une telle eau. Les cyanobactéries sont plus connues pour causer des problèmes en eau douce (Hess et Hégaret, 2015).

**Tableau I.2.** Les cyanotoxines et leur présence dans les eaux douces (Scott, 2002)

| Nom Scientifique              | Type de toxine | Présence dans les eaux douces |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Saxitoxine / Néosaxitoxine    | Neurotoxine    | Non courante                  |
| Anatoxine-a / Anatoxine-a (s) | Neurotoxine    | Non courante                  |
| Microcystine                  | Hépatoxine     | Courante                      |
| Nodularine                    | Hépatoxine     | Non courante                  |

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

D'une manière générale, les efflorescences de microalgues productrices de toxines peuvent avoir des impacts socio-économiques et écologiques importants (Hoagland et *al.*, 2002 ; Hoagland et Scatasta, 2006), soit en rendant des espèces cultivées et/ou pêchées impropres à la consommation, soit en perturbant l'équilibre des populations naturelles ou cultivées, en provoquant par exemple des mortalités ou des déficits de recrutement.



**Figure I.9.** Morphologie des cyanobactéries potentiellement toxiques les plus fréquemment rencontrées (Lawton et *al.*, 1999).

### I.6.2.1 Exposition humaine

Valo (2017) rapporte que le Chili a connu une succession de catastrophes en 2016 dues à des microalgues toxiques, dont des morts en masse de saumons, de sardines, de coquillages et marées rouges à répétition. Ces microalgues sont responsables de pathologies, parfois létales, chez les humains. A priori invisibles à l'œil nu, les microalgues sont composées d'organismes marins unicellulaires de 20 à 50 microns à peine. Mais leur concentration est parfois si dense que leur biomasse teinte l'eau en rouge franc, dessine des traces bleues ou brunes observables sur les images satellitaires. Ces phénomènes d'efflorescences (*blooms* en anglais) ont des effets redoutables. Certaines espèces phytoplanctoniques produisent des phycotoxines, qui sont accumulées par les organismes phytoplanctonophages « les mollusques bivalves, gastéropodes, crustacés, ainsi que certains poissons ». Ces organismes jouent le rôle de vecteurs sains. Ils ne sont pas affectés par ces toxines, mais sont toxiques pour les consommateurs secondaires dont l'homme (Gailhard, 2003).

Et d'après le même auteur et Legeas et *al.* (2007), les différents types d'intoxications associées à des efflorescences algales toxinogènes sont les suivants :

- intoxications amnésiantes par les fruits de mer (IAFM) (ou ASP), causées par la prolifération des diatomées pennales du genre *Pseudo-nitzschia* ;
- intoxications paralysantes par les fruits de mer (IPFM) (ou PSP), causées par des Dinoflagellés du genre *Alexandrium* ;
- intoxications neurologiques par les fruits de mer (INFM) (ou NSP), celles-ci sont associées à l'espèce de Dinoflagellés *Karenia brevis* ;
- intoxications diarrhéiques par les fruits de mer (IDFM) (ou DSP), associées aux toxines produites par des Dinoflagellés appartenant, principalement, aux genres *Dinophysis* et *Procentrum* ;
- intoxication par les azaspiracides (ou AZP), caractérisée depuis 2002. Ces molécules sont également responsables d'un syndrome de nature diarrhéique, mais elles ont été volontairement singularisées car leur mode d'action diffère de celui des autres toxines diarrhéiques.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Trois types d'évènements toxiques ont été observés en France et ne doivent pas être confondus car ils sont liés à trois genres différents de microalgues (*Dinophysis*, *Alexandrium*, et *Pseudo-nitzschia*) produisant trois types de toxines différentes (DSP, PSP et ASP) ne présentant pas les mêmes risques pour le consommateur de coquillages. Dans tous les cas, les toxines (diarrhéiques, paralysantes ou amnésiantes) sont stables à la chaleur et la cuisson des coquillages ne diminue donc pas leur toxicité (Thébeaud et *al.*, 2005).

### 1.6.2.2 Exposition des organismes

Certains phytoplanctons peuvent avoir des impacts directs sur les organismes aquatiques car certaines espèces peuvent produire des toxines extracellulaires « directement libérées dans le milieu », pouvant provoquer de nombreuses mortalités chez les poissons exemple : *Karenia brevis* « Dinoflagellé » (Mortensen, 1985 ; Thébeaud et *al.*, 2005), ou encore chez les invertébrés marins, exemple : *Heterocapsa circularisquama* « Dinoflagellé » causant des mortalités massives d'huitres perlières et autres bivalves (Matsuyama et *al.*, 1996). Sous l'effet des toxines, des lésions mécaniques peuvent également être engendrées comme le colmatage des branchies par la production de mucus ou l'altération des branchies par les excroissances de certaines espèces phytoplanctoniques, exemple : *Chaetoceros sp* « Diatomées » (Gailhard, 2003). Les effets néfastes s'observent sur le système neurologique des oiseaux de mer ou le caractère imperméable de leurs plumes, l'intoxication des homards, des tortues de mer, des dauphins, des phoques, et même entraîner l'échouage de baleines. D'après Bruslé (1995), une soixantaine d'espèces dans le monde, appartenant à six classes différentes, ont déjà été impliquées dans des proliférations mortelles avec des différents modes d'actions. Les animaux marins accumulent les phycotoxines soit directement par filtration des cellules planctoniques soit indirectement par ingestion d'organismes contaminés pour les espèces carnivores ou nécrophages (Thébeaud et *al.*, 2005).

Les substances actives d'origine algale, appelées encore phycotoxines, sont considérées comme des métabolites secondaires car elles ne semblent pas nécessaires à la vie des organismes. Le rôle écologique des phycotoxines de dinoflagellés est mal compris. Leurs propriétés anti-bactérienne et antifongique sont supposées leur permettre d'inhiber la croissance de ces micro-organismes (Marcaillout-Le Baut, 2006).

### I.7 Facteurs physico-chimiques influençant le phytoplancton

#### I.7.1 Lumière

La lumière est un facteur de très grande importance pour le phytoplancton, du fait qu'elle intervient dans la photosynthèse (Doré-Deschenes, 2009). Sa quantité est influencée par la saison, la latitude, la couverture nuageuse et les propriétés optiques de l'eau, incluant l'ombre que le phytoplancton se fait à lui-même (Winder et Sommer, 2012). Le phytoplancton subit dans la journée des migrations verticales au cours desquelles, la lumière s'enfonce pendant les heures de fort éclaircissement et remonte plus près de la surface au fur et à mesure de la décroissance du jour (Gayral, 1975). En revanche, les Cyanobactéries sont capables de croître à de très faibles intensités lumineuses en raison des faibles exigences énergétiques des cellules (Richardson et Schoeman, 2004). En outre, le phytoplancton peut développer des stratégies photo-adaptatives pour faire face aux variations de l'éclaircissement. De même, Gailhard (2003) mentionne que, le phytoplancton exposé à des périodes de faible intensité lumineuse augmente la concentration en chlorophylle. La plupart des *Dinophycées* peuvent réagir aux variations de l'éclaircissement grâce à l'augmentation, ou à la réduction de la taille et/ou du nombre de leur unité photosynthétique, ou par la quantité de péricidine « pigment caractéristique des Dinoflagellé » qui peut être régulée plus rapidement que celle de la chlorophylle (Smayda, 1997).

#### I.7.2 Température

La température est un facteur environnemental important pour la vie aquatique contrôlant ainsi l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques (reproduction, croissance, ...) liés à un environnement donné (Aminot, 1983 ; Eaton et *al.*, 1995). La distribution verticale de la température entraîne une stratification des teneurs en oxygène dissous : dans les couches superficielles (0 à 10 m), la teneur en oxygène dissous augmente pour atteindre une sursaturation en été, conséquence d'une activité photosynthétique soutenue. Cette sursaturation, d'abord observée en surface s'enfonce progressivement avec l'épaississement de l'épilimnion et l'évolution des dynamiques des populations algales entre le printemps et l'été (Morales, 2014 ; Jacquet, 2017 et Pinay et *al.*, 2017).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

Bien sûr cette augmentation de température stimule le métabolisme du phytoplancton et augmente sa production primaire dans le cas seulement où elle n'est pas limitée par le manque de lumière ou de nutriments (Howarth et al., 1992 ; De Villers et al., 2005 ; Morales, 2014 et Demory, 2017). La température naturelle des eaux joue aussi un rôle primordial dans la distribution des espèces aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières (Millet, 1986).

### I.7.3 Potentiel d'hydrogène

Le pH de l'eau résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Himmi et al., 2003). C'est un facteur déterminant dans le contrôle du processus de relargage et de fixation du phosphore par les sédiments. Il dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère, du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques (Hutchinson, 1957) ainsi que de l'origine des eaux, la nature géologique du milieu traversé, les rejets des eaux usées, etc. (Dussart, 1966). Il est indissociable des valeurs de la température, de la salinité et du taux de CO<sub>2</sub> (Nisbet et Verneaux, 1970). Ainsi, il a été démontré que la minéralisation de la matière organique provoque une chute du pH (Staudinger et al., 1990 ; Goterman, 1995). Des pH compris 5 et 9 permettent un développement à peu près normal de la faune et de la flore. Les eaux alcalines sont plus riches et plus diversifiées que les eaux acides qui, faiblement minéralisées, ne permettent qu'un développement limité de la flore aquatique. Selon Rodier (2005), le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,6 à 7,8 alors que d'après De Villers et al. (2005), il peut varier entre 4 à 10 en fonction de la nature des terrains traversés.

### I.7.4 Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre intermédiaire indispensable entre les composantes minérales et organiques dans les milieux lacustres (Dussart, 1992). Sa concentration est la résultante des échanges à l'interface air-eau, de la diffusion au sein de la masse d'eau et de la production *in situ* par la photosynthèse. Il est également utilisé pour les phénomènes d'oxydation et par des organismes aquatiques pour la respiration (Aminot, 1983). Sa teneur dans le milieu est étroitement dépendante de la température et de la pression atmosphérique.

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

En son absence, l'anaérobiose se développe, pouvant avoir des effets défavorables tels que la mise en solution de métaux réduits (manganèse, fer, métaux lourds), la production d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) et de méthane (CH<sub>4</sub>) (Labroue *et al.*, 1995).

L'augmentation de l'oxygénation des eaux est surtout observée en période de fortes turbulences sous l'effet combiné des vents, des apports pluvieux et de la baisse de la température (Lajaunie-Salla, 2017). En effet, selon, Dussart (1992), en période de stratification thermique, la turbulence des eaux est partielle, n'agissant que sur les couches superficielles, isolant ainsi une zone trophogène où la production d'oxygène est élevée à la suite d'un important phénomène de photosynthèse, alors qu'au niveau des couches profondes, seuls les processus de respiration et de décomposition persistent dans le milieu.

### **I.7.5 Nutriments**

L'introduction massive de matières organiques et d'éléments nutritifs (azote, phosphore) dans les eaux de surface perturbe les équilibres naturels des écosystèmes aquatiques. Ces apports externes, issus principalement de rejets directs d'effluents (domestiques, industriels et agricoles), de l'écoulement d'eaux de ruissellement contaminées après leur passage sur des surfaces agricoles et non agricoles, et des retombées atmosphériques, conduisent aux phénomènes de pollution des eaux continentales, ainsi que des eaux marines côtières (Pinay *et al.*, 2017). La détermination du principal facteur qui influence la composition et la structure de la communauté phytoplanctonique est un sujet inépuisable de l'écologie du plancton (Reynolds, 1984). Toutefois, les substances chimiques incriminées sont surtout l'azote, le phosphore et secondairement la silice dissoute dans le cas des diatomées (Ryding et Rast 1994 ; Bejaoui *et al.*, 2010 ; Mollo et Noury, 2013).

Dans les milieux aquatiques, le phosphore est identifié comme l'élément le plus souvent limitant (Vollenweider, 1968 ; Krom *et al.*, 1991). En effet, l'excès nutritif entraîne une production massive du carbone organique dissous par le phytoplancton. Ce surplus de carbone favorise la croissance bactérienne. Les bactéries ayant un rapport surface/volume plus important que les organismes phytoplanctoniques, elles ont une affinité plus importante pour le phosphore et entrent donc directement en compétition avec le phytoplancton pour cette ressource (Thingstad *et al.*, 1998). C'est la pression de prédation venant des niveaux trophiques supérieurs qui va permettre de favoriser l'une ou l'autre des communautés.

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

Il en résulte un accroissement des quantités de phosphore et d'azote dans l'eau, en plus de l'ajout de pesticides ; ces activités peuvent donc perturber l'équilibre des communautés phytoplanctoniques et favoriser des espèces opportunistes comme les cyanobactéries (Deblois *et al.*, 2008).

Sommer *et al.* (2004), ont montré que les Copépodes contribuent indirectement à la diminution de la quantité d'azote biodisponible par leur prédation sur les ciliés favorisant la communauté de nanophytoplancton responsable de l'épuisement de l'azote. Plus les nutriments seront en faibles quantités, plus les petites espèces seront favorisées. Entre 1960 et 2000, les apports de phosphates et de nitrates ont été multipliés par 3 en Méditerranée ce qui a eu pour introduction générale 18 conséquences de multiplier par 2,7 la production biologique avec des efflorescences phytoplanctoniques de plus en plus fréquents (Béthoux *et al.*, 2002). De même, en zone océanique, dont les surfaces sont considérables, la richesse en plancton végétal est conditionnée par la remontée d'eaux profondes riches en nutriments (Rastoin, 2014). D'autres auteurs (Wille, 1990 ; Sarthou et Jeandel, 2001 ; Marty *et al.*, 2002 ; Gailhard, 2003), ont montré que, la disponibilité en nutriments dans le milieu agit sur les taux d'assimilation des espèces phytoplanctoniques et donc sur leur potentiel de croissance.

Des études menées sur les sites de développement des algues vertes ont permis de confirmer, d'une façon indépendante, que l'azote était bien le facteur de contrôle de la production printanière de biomasse, et qu'il devenait limitant en fin de printemps et en été, lorsque les apports par les cours d'eau et par l'eau du large ne pouvaient plus subvenir aux énormes besoins d'une biomasse déjà largement constituée (CSEB, 2009). En définitive, les apports anthropiques induisent une surproduction biologique en apportant plus de phosphore et d'azote. Un accroissement excessif en substances nutritives, essentiellement ces derniers, se manifeste par un développement considérable d'algues microscopique causant la détérioration de la qualité des eaux des retenues de barrages, utilisées pour alimenter les stations de traitement de potabilisation (Bouloud *et al.*, 2001).

### I.8 Conséquences de la pollution nutritive

Cette pollution provient de la surabondance, dans les écosystèmes aquatiques, d'éléments nutritifs, tels que le phosphore et l'azote. De fortes concentrations de nitrates dans les cours d'eau entraînent des phénomènes d'eutrophisation, se traduisant par un important développement de microorganismes et d'algues, perturbant les équilibres écologiques naturels (Mérigout, 2006). Les eaux usées ainsi que les fertilisants agricoles et domestiques en sont les principales sources. Cette forme de pollution entraîne l'accélération de l'eutrophisation des milieux aquatiques (<http://www.conservation-nature.fr>).

D'après Ramade (2002), la pollution des écosystèmes aquatiques provoque une multitude de conséquences tant au niveau des diverses biocénoses qu'au niveau de leurs habitats. Or, l'enrichissement des eaux superficielles en nitrates et phosphates entraîne une multiplication excessive de végétaux aquatiques, conduisant au développement de cyanobactéries émettrices de toxines et déclenchant un phénomène d'eutrophisation de cours d'eau, de lacs ou d'étangs (Rainey et al., 2003 ; Corrivea et al., 2019). Ces polluants nutritifs vont permettre une augmentation de la productivité primaire dans un premier temps. Puis, quand l'apport atteindra un niveau important, on observera une forte activité de dégradation de la matière organique et une chute de l'oxygène dissous. Cette régression du taux d'oxygène conduit à une asphyxie chez les espèces animales aquatiques, ainsi qu'à la disparition complète de la faune des eaux dans les cas extrêmes (Nollet, 1996). Cette pression chimique sur les milieux aquatiques s'ajoute souvent *in situ* à d'autres perturbations, telles que le réchauffement des masses d'eau et la baisse d'oxygène qui en découle, la modification des habitats par l'action humaine (barrages...) ou les perturbations induites par les espèces invasives (Perrodin, 2013).

Vidal et Duarte (2000), en considérant le niveau du réseau trophique méditerranéen, ont montré que, l'enrichissement des eaux en nutriments aurait pour conséquence, un changement de taille de la communauté dominante, initialement picoplanctonique, vers une communauté microplanctonique, influençant ainsi directement la composition de la communauté des prédateurs zooplanctoniques. Tréguer et al., (1995), évoquent le bilan siliceux dont les apports en mer ont une tendance à la diminution du fait de l'eutrophisation des cours d'eau dans lesquels l'acide orthosilicique est mobilisé.

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

Une des conséquences est notamment la diminution de l'épaisseur des frustules des Diatomées (Pondaven *et al.*, 1999), ce qui induit des changements dans la structure des communautés en favorisant ainsi les floraisons des organismes non-siliceux (Humborg *et al.*, 1997). Enfin, la pollution des milieux aquatiques entraîne des effets nuisibles pour les organismes, et peut induire le développement de nouvelles espèces tolérantes à cette pollution qui seraient alors des bioindicateurs, car leur présence révélerait une pollution de l'eau (Rodolph, 1990). L'amélioration de la connaissance des effets « multi-stress » qui en découlent correspond à un défi pour les scientifiques dans les années futures, en vue de la formulation de recommandations judicieuses pour la préservation et la restauration des milieux aquatiques (Perrodin, 2013).

# Chapitre II

## Présentation de la Zone d'étude

## *Chapitre II : Présentation de la zone d'étude*

### **II.1 Le bassin versant du barrage Béni Haroun (Kébir-Rhumel)**

#### **II.1.1 Topographie**

Le site du barrage de Béni Haroun est situé à une zone à relief accidenté, montrant des contrastes topographiques remarquables, avec des massifs culminants à des hauteurs élevées (Djebel Msid Aicha : 1462 m) et des ravins et talwegs sur creusés. Selon la synthèse de Tractebel (1999), établie à partir de plusieurs sources dont (Harza, 1986) *in* Mebarki et al. (2008), les unités rocheuses présentes sur le site, sont de l'amont vers l'aval : des marnes éocènes, fortement déformées et altérées, une barre de calcaire éocène (Yprésien), représentant l'appui du barrage et enfin, des marnes noires du paléocène, situées à l'aval immédiat de la digue.

#### **II.1.2 Climatologie**

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre. Aussi, la bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, et de ses caractéristiques est importante pour la compréhension de l'évolution des éléments climatiques et du comportement hydrologique. La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes (Aissaoui, 2013). Notre zone d'étude est soumise à des influences méditerranéennes.

Le climat Algérienne est caractérisé par d'importantes fluctuations pluviométriques qui peuvent se traduire par de fortes irrégularités saisonnières des écoulements. Ces anomalies sont soutenues par de longues périodes de sécheresse, de crues rapides et parfois violentes associées à une érosion intensive (Kadi, 1997).

Celui, de la région d'étude est de type méditerranéen semi-aride à sub-humide, globalement, caractérisé par une forte variabilité inter-mensuelle et inter-annuelle de la pluie. Deux saisons sont nettement distinctes ; l'une humide et pluvieuse s'étendant de novembre à avril et l'autre chaude et sèche allant de mai à octobre. Le régime pluviométrique est caractérisé par une irrégularité intra et interannuelle, et souvent aussi par la torrencialité des averses. Les pluies sont concentrées sur une courte période de l'année et de manière générale, les précipitations décroissent du nord au sud de la région.

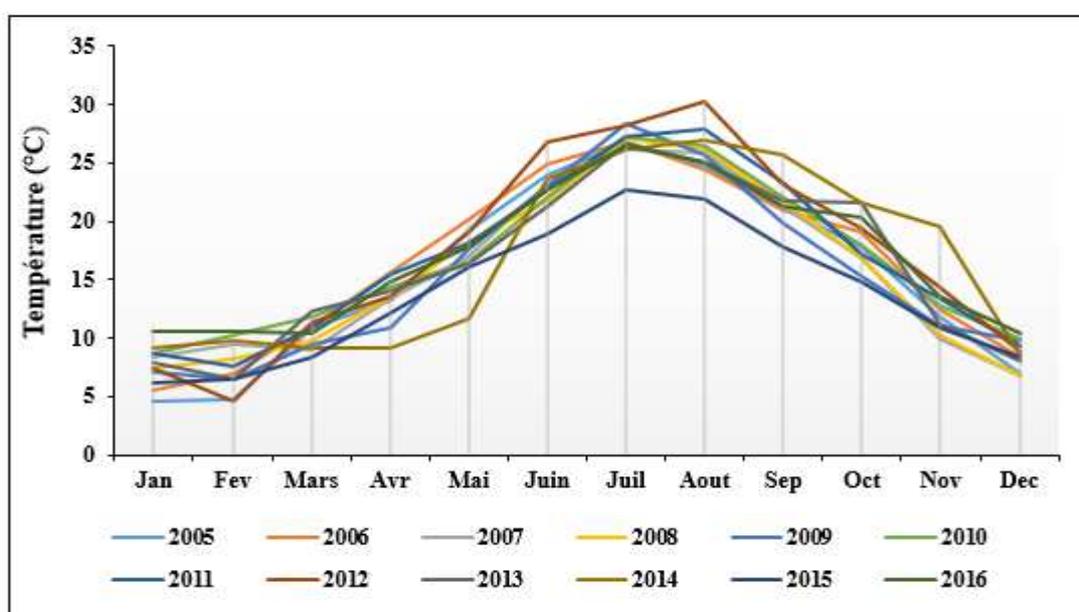
## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- l'espace nord appartient à l'étage bioclimatique sub-humide. C'est la partie bien arrosée et caractérisée par un niveau de précipitations variant de 600 à 700mm/an.
- l'espace de piedmonts et de collines est caractérisé par un climat favorable avec des précipitations qui varient entre 400 et 600 mm/an. Mais compte tenu des altitudes élevées, les gelées sont généralement importantes en hiver. Cet espace appartient à l'étage bioclimatique sub-humide.

### II.1.2.1 Températures

La température de l'air est l'un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car elle joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration (Semadi, 2010), en fonction de l'altitude, de la distance de la mer, des saisons, et de la topographie (Toubal, 1986).

On se basant sur les données recueillies auprès de l'ONM sur une période de douze ans (fig II.1), nous constatons que la température moyenne mensuelle pendant cette période, tend vers une augmentation (voir annexe 1). Les températures les plus élevées sont enregistrées pendant la saison estivale allant de juin à août, le mois le plus chaud est août avec des températures moyennes fluctuant entre 21,9 et 30,3 °C. Les plus faibles températures sont relevées en hiver ; le mois le plus froid est février où les températures moyennes mensuelles fluctuent entre 5 et 10,4°C.



**Figure II.1.** Variations des températures moyennes mensuelles sur une période de douze ans (2005-2016) dans la région de Mila (ONMAT, 2017).

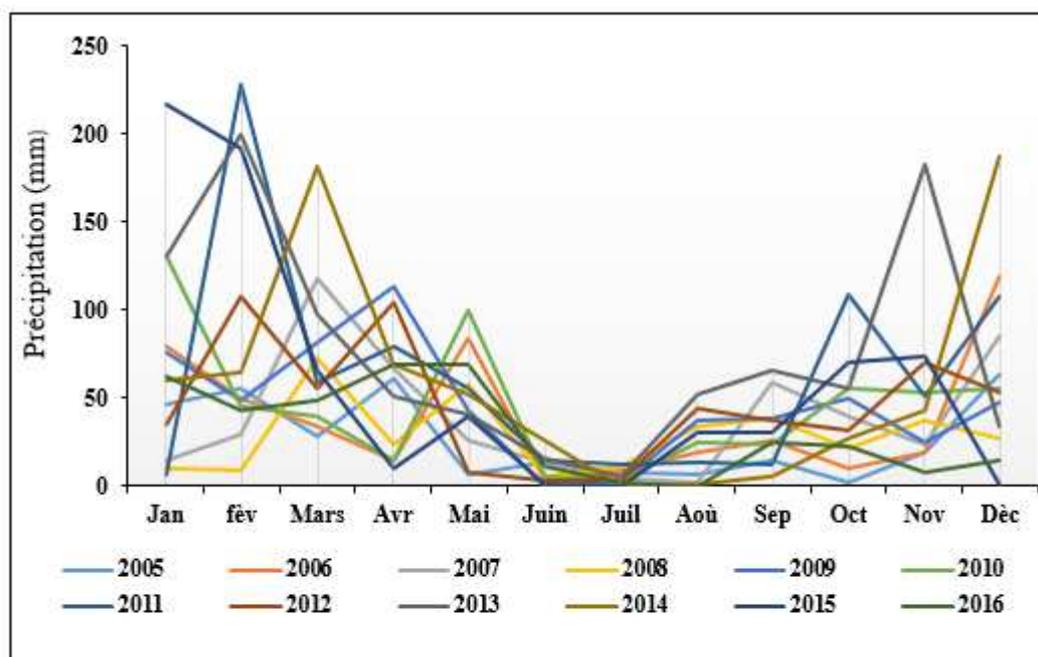
## *Chapitre II : Présentation de la zone d'étude*

### **II.1.2.2 Précipitations**

Les précipitations constituent évidemment, le paramètre climatique essentiel. Leur intensité, leur continuité et leur périodicité sont l'origine même de l'écoulement, de sa localisation et de sa violence. Elles constituent un paramètre climatique déterminant pour l'évaluation des apports hydriques d'une réserve d'eau donnée. Ces apports contribuent à leur tour à l'enrichissement du milieu en matières particulaires et dissoutes (Groga, 2012). Les précipitations atmosphériques dans la région où se localise le barrage Béni-Haroun sont essentiellement formées par les pluies et l'humidité.

L'analyse de la série pluriannuelle de données pluviométriques caractéristiques de la région de Mila, allant de 2005 à 2016 (fig II.2), montre que les précipitations moyennes mensuelles sont irrégulières dans le temps avec deux phases déterminées en fonction de l'importance des précipitations enregistrées. Ce sont respectivement : la saison humide, de janvier à mai et d'octobre à décembre et la sèche saison, de juin à septembre. Les précipitations dans la région de Mila varient entre 325-929 mm. Elles s'accroissent du nord au sud, se caractérisent par des variations inter et intra-annuelles, mensuelles et saisonnières et se concentrent sur une part assez longue de l'année. Sur une série de données allant du 2005 à 2016, le mois de février enregistre les précipitations moyennes maximales 89,2 mm suivie par 66 mm comptabilisé pour le mois de décembre (voir annexe 3).

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

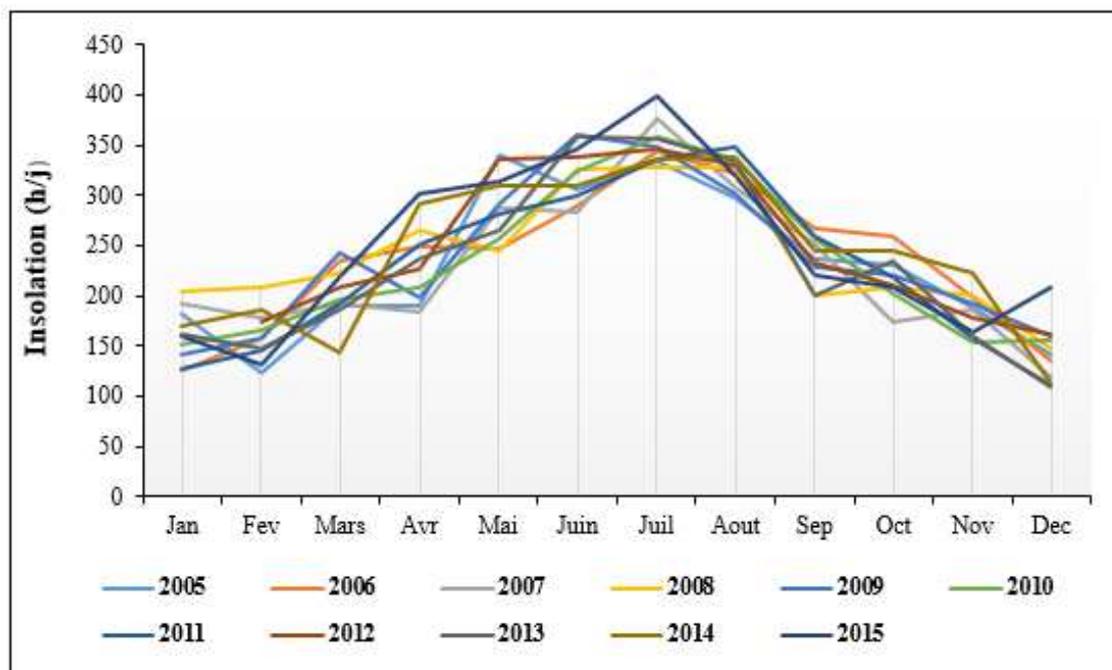


### II.1.2.3 Ensoleillement

L'étude de l'insolation, qui se traduit par la durée d'exposition aux rayonnements solaires, est très importante pour l'estimation de l'énergie qui régit les mécanismes de la photosynthèse algale, de la production primaire et des migrations nyctémérales du phytoplancton. En outre, l'insolation influence d'une manière directe la nébulosité et la température des eaux puisque cette dernière est essentiellement fonction de l'énergie reçue pendant la journée (Groga, 2012).

La région d'étude est bien ensoleillée durant la durée d'insolation (fig II.3). Elle enregistre son maximum de juin en août avec 184,8 à 397,7 h/j et elle diminue ensuite en saison hivernale avec une moyenne allant de 118 à 126 h/j). Le mois de juillet enregistre la plus longue durée d'ensoleillement 322,4 h/j (voir annexe 2).

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude



**Figure II.3.** Variation de l'insolation moyenne mensuelle dans la région de Mila allant du 2005 à 2015 (ONMAT, 2017)

### II.1.2.4 Le vent

Le vent est un élément éminemment variable en fonction de la topographie, il n'agit jamais indépendamment des autres facteurs : il a un effet tout différent selon sa direction selon qu'il souffle par temps humide ou par temps sec et bien autres conditions encore (Lecarpentier, 1975). Il joue un rôle important dans la distribution spatiale du phytoplancton, il ramène l'eau de surface à diverger ou à converger et influence le taux d'ascension des nutriments à la surface (Morales, 2014). En plus de son importance capitale dans le brassage des eaux superficielles, le vent constitue un facteur régissant les régimes pluvieux et l'évaporation.

Sur la région, les vents soufflent du nord-est algérien et apportent les pluies ainsi que le siroco considéré comme un vent secondaire toujours régulier soufflant du sud-ouest pendant la saison estivale. La vitesse moyenne du vent affectant la région d'étude varie de 2,2 à 3,2 m/s. Les vents dominants ont généralement une direction sud-nord. Les vitesses du vent sont plus élevées aux mois de janvier, février et mars avec des valeurs moyennes supérieures à 2,5 m/s et de septembre à décembre avec des valeurs oscillant entre 1 et 4 m/s. En revanche, pour les mois restant la vitesse du vent est faible avec des valeurs inférieures à 2,3 m/s.

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

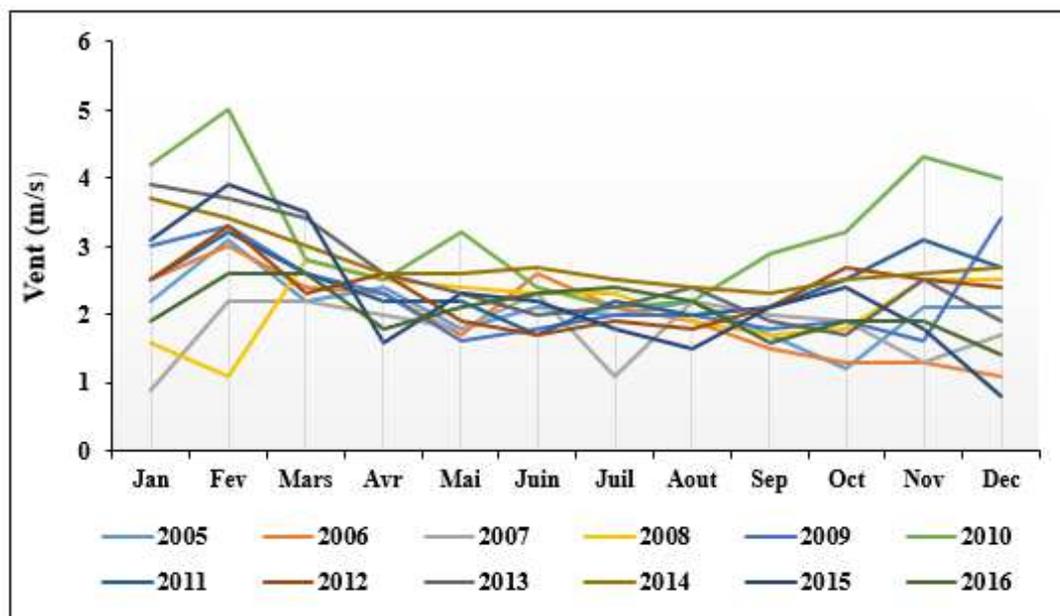


Figure II.4. Variation du vent moyen mensuel dans la région d'étude allant de 2005 à 2016 (ONMAT, 2017).

Globalement, le régime des vents dans la région est caractérisé par deux phases (fig II.4) : une période de vents forts, s'étalant de janvier à avril (2,7 - 3,2 m/s) avec un pic en février de 3,2 m/s, et une période de vents allant de juin à septembre (2,1 - 2,3 m/s).

### II.1.3 Géologie

Le bassin versant du Kébir-Rhumel, vaste de 8815 km<sup>2</sup>, est composé de domaines géologiques très différents : le domaine des plaines plio-quadernaires et des horsts calcaires (Hautes Plaines), le bassin néogène à dominance argileuse de Constantine-Mila, le domaine des nappes «tectoniques» de Djemila (marnes et calcaires-marneux), la dorsale kabyle (calcaires jurassiques) et les massifs gréseux numidiens et enfin le domaine du socle granitique et cristallophylien de la petite Kabylie d'El Milia (Mebarki, 1982 et 1984).

Le bassin versant occupe une superficie d'environ 6478 km<sup>2</sup>. Les reliefs les plus importants sont présents au nord et à l'ouest du bassin versant. La topographie s'adoucit vers le sud pour laisser place aux hautes plaines sétifiennes. Les roches sédimentaires occupant environ 87% du bassin sont représentées principalement par les calcaires et les marnes, les roches métamorphiques, environ 1%, sont représentées majoritairement par des schistes et la surface restante du bassin versant, 12%, est couverte de dépôts alluvionnaires localisés le long des oueds (Zouaidia, 2006).

## *Chapitre II : Présentation de la zone d'étude*

### **II.1.4 Hydrologie**

Le barrage de Béni-Haroun est alimenté principalement par les deux grands oueds :

- l'oued Rhumel prend sa source vers 1160 m dans les marges méridionales du Tell, au nord-ouest de Belaa. Il draine, suivant une orientation sud-ouest–nord-est, les sous-bassins semi-arides des Hautes Plaines (Tadjenanet, Chelghoum Laid) puis franchit le rocher de Constantine en s'encaissant profondément dans des gorges calcaires. Depuis, il s'écoule en direction nord-ouest et plus au nord, aux environs de Sidi Merouane, il conflue avec l'oued Endja qui draine la partie occidentale du bassin Béni-Haroun (Mebarki, 2010).
- l'oued Kébir, résultant de la jonction des deux cours d'eau, Rhumel et Endja, franchit vigoureusement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux en provenance de la Méditerranée. Puis, il traverse les massifs très arrosés de la petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer.

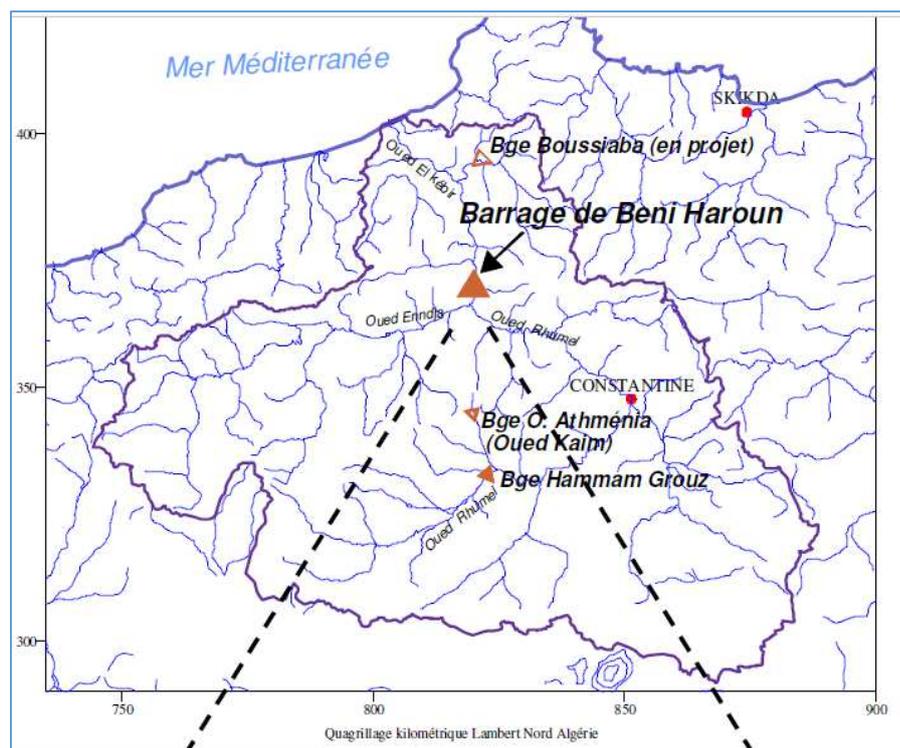
## **II.2 Présentation du barrage Béni Haroun**

### **II.2.1 Situation géographique**

Le barrage de Béni Haroun est réparti sur 3900 hectares. Il est situé à 350 kilomètres à l'est d'Alger dans le nord-est de l'Algérie, à une quarantaine de km au nord de Constantine et distant de moins de 15 km de la wilaya de Mila, est implanté dans la commune de Hamala, daïra de Grarem Gouga (fig II.5) (DTM, 2008). Il contrôle les eaux du bassin de l'oued 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 d'objectif). Le barrage de 120 m de hauteur, est la plus grande retenue artificielle algérienne et la seconde du continent africain (après le barrage de Al Sad El Alli en Egypte) avec une capacité de 960 millions de mètres cubes (ANBT, 2018).

Le barrage proprement dit est constitué d'une digue renforcée de 1,5 million de m<sup>3</sup> de béton roulé compact. Avec sa grande station de pompage d'eau brute, dont la puissance est de 180 MW, érigé dans la région bien arrosée du Tell oriental, au Sud de laquelle se situent de grands centres urbains (Constantine, Batna, Khenchela, Oum el-Bouaghi, Jijel et Mila) et de vastes terres irrigables (hautes plaines semi-arides) qui ne peuvent être satisfaits par les ressources locales (Mebarki, 2005 ; Mebarki et *al.*, 2008). Sa mise en eau a commencé en août 2003 et se poursuit lentement par étape (ANBT, 2007).

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude



**Figure II.5.** Situation et localisation géographique du barrage de Béni Haroun dans le bassin du Kébir- Rhumel (Mebarki, 2005) et vue du coté amont de la digue du barrage <http://www.soudoud-dzair.com>.  
N: 36°30'59.28" ; E : 6°17'36.14"

### **II.2.2 Les apports hydrologiques au barrage**

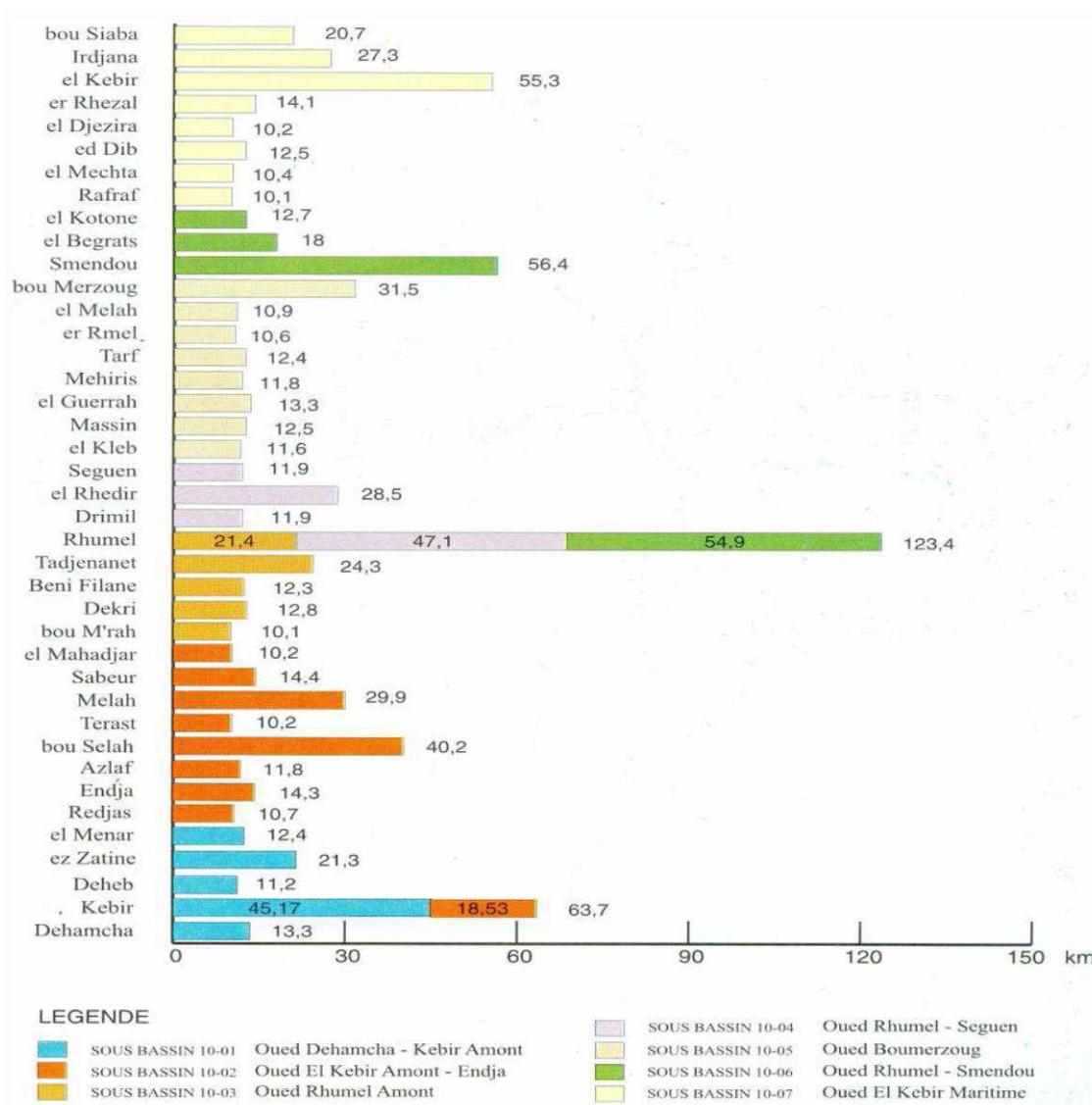
Ce gigantesque ouvrage comporte une station de pompage d'une puissance totale de 180 mégawatts, située à 50 km au nord-ouest de Constantine et à 100 km de Jijel. Cette station permet de refouler, selon une estimation de l'ANBT, un débit global de 22,5 m<sup>3</sup>/s jusqu'à un bassin d'expansion situé à une hauteur de 880 m transférant l'eau jusqu'au barrage d'oued Athmenia. A partir du barrage (réservoir) d'oued Athmenia, dont le volume avoisine 20 millions m<sup>3</sup>, seront directement alimentées, après traitement, les villes de Constantine, Khroub, Aïn Smara, Chelghoum Laïd, oued Athmenia, oued Seguin et Téléghma (Bouchareb, 2013). La digue du barrage Béni-Haroun permettra d'assurer un volume annuel de 435 millions de m<sup>3</sup> (Merabet, 2010).

Il se trouve que les apports enregistrés au cours de la courte période d'exploitation du barrage, sont plus conséquents : 857 hm<sup>3</sup> /an en moyenne (2003-2010) et bien sûr avec de très fortes fluctuations d'une année à l'autre (Boulahbel et Mebarki, 2013). Ainsi, selon (Aidat, 2008), la densité et les plans des réseaux varient selon la quantité et la régularité des précipitations et selon les données de la structure géologique. Le bassin de Béni Haroun est alimenté par deux cours d'eau très importants : l'oued Rhumel et l'oued Endja dont la confluence donne à l'aval de l'oued Kébir.

- L'oued Rhumel est caractérisé par un réseau hydrographique très dense vu l'importante superficie qu'il draine d'un linéaire de plus de 123 km (Mebarki, 1984). Il draine deux zones physico-chimique distinctes : les hautes plaines semi arides avec moins de 400 mm de pluies par an, où l'on enregistre un apport de 48,6 hm<sup>3</sup>/ an à la station d'Ain Smara, et le piémont sud-tellien au climat subhumide soit 600 mm de pluies par an. L'apport enregistré à Grarem, à l'issue d'un bassin de 5320 km<sup>2</sup>, est de 174 hm<sup>3</sup>/an (Boulahbel et Mebarki, 2013). Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence avec l'oued Endja et prend ensuite le nom d'oued Kébir.
- L'oued Endja, d'un linéaire de 15 km, naît à la confluence de l'oued Kébir (en amont) et de l'oued Redjas. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique. Il draine la partie septentrionale-Ouest du bassin versant, caractérisée par une pluviométrie relativement élevée (700 mm/an) et un relief accidenté. Selon Boulahbal et Mebarki (2013), l'apport annuel mesuré sur la haute vallée, à la station de Douar Tassadane (960 km<sup>2</sup>) est de 108 hm<sup>3</sup>/an.

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- L'oued Kébir en aval de la digue, résulte de la jonction des deux grands cours d'eau précédents (Rhumel et Endja). Il prend d'abord une direction sud-nord et franchit vigoureusement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux en provenance de la Méditerranée. Puis en prenant une orientation Sud Est-Nord-Ouest, il traverse les massifs très arrosés de la petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer (Sahli, 2012). L'apport du Kébir-Rhumel atteint  $827,5 \text{ hm}^3/\text{an}$  à El Ancer, station la plus proche de l'exutoire (mer Méditerranée). Le bassin Kébir Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. Quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km (ABH, 2004).



**Figure II.6.** Longueur des principaux oueds par sous bassin (longueur > 10 km) (ABH, 2004).

## *Chapitre II : Présentation de la zone d'étude*

### **II.2.3 Alimentation en eau potable**

Le barrage est une source vitale destinée à près de cinq millions d'habitants. Il constitue la clé du projet de transfert des ressources en eau mobilisées par le barrage de Béni Haroun vers six wilayas : Batna, Kenchela, Mila, Oum El Bouaghi, Constantine et Jijel. En sus, il permettra l'irrigation de plus de 400000 hectares allant ainsi jusqu'aux plaines de Téléghma, Remila, Ouled Fadel, Chemora, Batna et Aïn Touta. Sur le plan technique, ce barrage atteint les 120 m de hauteur à partir des fondations, une longueur de 710 m en crête avec une capacité de retenue normale de 960 millions m<sup>3</sup>. Il emmagasine un volume de 420 millions de m<sup>3</sup>. Cette année en cours (2018), le barrage a atteint sa capacité de stockage qui est un (1) milliard de m<sup>3</sup> avec un volume d'eau de 1/5 des ressources hydriques superficielles en Algérie (Bouabdellah, 2018).

Sur l'ensemble du bassin Kébir-Rhumel, on compte quelque (100) agglomérations. Elles abritent un total de 1,43 millions d'habitants selon (Mebarki, 2000). Les plus fortes concentrations urbaines se limitent à Constantine (462187 habitants), El Khroub (65344 habitants), Mila (54 557 habitants), Ain M'lila (50744 habitants), Chelghoum Laid (41417 habitants) et Ain Fakroun (40701 habitants) et El Milia (39620 habitants) (Kerdoud, 2006).

### **II.2.4 Assainissement et traitement des eaux rejetées**

Les centres raccordés au réseau d'alimentation en eau potable le sont également au réseau d'assainissement. Les taux de raccordement variant de 80 à 95% notamment pour les petites agglomérations. Le linéaire total est évalué à près de 1400 km. Le volume rejeté à ce titre, estimé sur la base de 80 % des eaux consommées par ces centres, est de 75093,44 m<sup>3</sup>/j soit 27,41hm<sup>3</sup>/an correspondant à un rejet de 60 l/j/habitant (Kerdoud, 2006).

Le traitement des eaux rejetées dans le bassin se fait dans des stations de traitement. La première, située à Chelghoum Laid et implantée à oued Athmania, est destinée à traiter les eaux rejetées par cette agglomération avec une capacité de 450000 équivalent-habitats (9000 m<sup>3</sup>/j) qui transfèrent vers le barrage de Hammam Grouz. La deuxième, située à Ibn Ziad, est destinée à épurer les eaux rejetées par la ville de Constantine. Le débit traité par les stations en question est évalué alors à 23918 m<sup>3</sup>/j soit un taux de dépollution de 32% (Kerdoud, 2006). Une troisième à Sidi Merouane avec une capacité de 137711 équivalent habitants (20657 m<sup>3</sup>/j) est destinée à épurer des effluents urbains des villes de Mila, Grarem Gouga et Sidi Merouan.

## ***Chapitre II : Présentation de la zone d'étude***

Une nouvelle STEP très récente sise à Ferdjioua-Ain Beida Harriche avec une capacité de 80000 équivalent-habitats est destinée au traitement des eaux usées provenant de la commune d'Ain Beida Harriche et de celle de Ferdjioua, soit 9600 m<sup>3</sup>/ jour. Tandis que la STEP prévue d'oued Endja est destinée à traiter les eaux usées de la commune de Zeghaia, avec une capacité de traitement de 4500 m<sup>3</sup>/ jour. Ces trois dernières stations font partie des installations de protection du grand barrage Béni-Haroun.

### **II.2.5 Pressions anthropiques sur le barrage**

La hausse de la demande en eau, conséquence du développement de l'irrigation, de la forte croissance démographique et de l'amélioration des conditions de vie, fait peser des contraintes très fortes sur des systèmes naturels d'Afrique du nord, fragiles et aux ressources limitées. Les barrages constituent une des réponses à cette confrontation entre ressources et usages (Remmini et *al.*, 2009).

Ces milieux aquatiques d'eau douce sont soumis à plusieurs actions anthropiques. A ces paramètres, s'ajoute le climat, la nature géologique du terrain, et l'intervention humaine, facteurs dont l'influence sur les caractéristiques pose de sérieux problèmes à l'échelle écologique et des actions d'exploitation des ressources en eau des barrages.

#### **II.2.5.1 L'agriculture**

Le bassin du Kébir Rhumel se caractérise par une agriculture mixte, traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), en fonction du type de culture.

La superficie agricole exploitée est importante ; elle a certes peu évolué au cours des dix dernières années, mais elle est restée assez appréciable, de l'ordre de 2370557 ha (Metaai et Beldi, 2011), avec un couvert végétal qui se résume aux cultures céréalières et maraichères (Remmache, 2006), ce qui montre qu'on est dans une région à vocation agricole de premier ordre. Le projet d'irrigation de 40000 hectares de terres agricoles à savoir les périmètres de Télégma (Mila), de Chemora, Ain Touta (Batna) et Touffana (Khenchela), devrait être concrétisé d'ici la fin de l'année 2018. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture. Les engrais les plus utilisés sont les ammonitrates (NH<sub>4</sub>-NO<sup>3</sup>) à raison de 33% et les superphosphates pour 45% (Bouchareb, 2013).

## **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

Afin d'atteindre les rendements envisagés, il était important de développer des techniques et des stratégies de culture et d'autoriser l'usage de certains produits chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides pour améliorer les rendements et lutter contre les parasites et les maladies (Melghit, 2009).

### **II.2.5.2 L'industrie**

Le bassin versant Kébir Rhumel abrite un tissu industriel concentré surtout autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid, Hamma Bouziane, Mila,...). A Constantine ville et sa périphérie, le tissu industriel est aussi dense que varié. Les effluents les plus importants et les plus nocifs se localisent dans un rayon de 20 km de la ville de Constantine. Il s'agit des rejets (en partie traités) des industries de construction mécanique de oued Hamimime et d'Ain Smara ainsi que ceux générés par les unités de textiles et les unités de produits laitiers de Constantine, par le complexe tabagique de la commune d'Ibn Badis, par le dépôt d'hydrocarbures d'El Khroub, par la cimenterie de Hamma Bouziane, par les unités de matériaux de construction et autres usines industrielles de Didouche Mourad. Ils ont pour milieux récepteurs, l'oued Rhumel et son principal affluent, oued Boumerzoug. Les industries localisées autour des agglomérations d'Ain El Kébira (cimenterie, unité boulonnerie), de Mila (briqueterie, vaissellerie) de Ferjioua (matériel électroménager, minoterie) et de Chelghoum Laid (détergents) génèrent également des rejets non négligeables (Sahli, 2012).

### **II.2.6 Biodiversité faunistique du barrage Béni Haroun**

#### **II.2.6.1 Les poissons**

Le barrage de Béni Haroun constitue un support de plusieurs activités présentes tout au long de ses berges telles que la pêche lacustre et le loisir. Plusieurs espèces vivent dans le barrage de Béni-Haroun et qui font partie de la même famille des *Cyprinidae* telles que :

- *Cyprinus carpio* ;
- *Cyprinus sp* ;
- *Hypophthalmichthys molitrix*. ;
- *Aristichthys nobilis* ;
- *Barbatus barbatus* ;
- *Carassiu scarassius* ;
- *Abramis bramas...etc.*

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Ces espèces ont une importance considérable du fait de leur pêche et de leur élevage en pisciculture pour l'alimentation humaine et en aquariophilie. Par ailleurs, l'introduction d'espèces piscicoles (carpes pour l'essentiel) a permis l'installation d'une pêche artisanale reconnue par les pouvoirs publics algériens ; cette activité constitue aujourd'hui les seules pratiques nautiques valorisant au plan économique l'existence du barrage. Signalons que les entreprises de pêche activant à Béni Haroun, au nombre de huit, produisent plus de 600 t de poissons par an exportée vers les wilayas limitrophes (Bendjadou, 2015).



*Abramis bramas*



*Carassius carassius*



*Barbus barbatus*



*Hypophthalmichthys molitrix*



*Cyprinus carpio*



*Cyprinus sp*



*Aristichthys nobilis*

**Figure II.7.** Liste des espèces de poissonsensemencées au niveau du barrage Béni Haroun (APRHM, 2016)

## *Chapitre II : Présentation de la zone d'étude*

Une morte massive des poissons a été observée ces dernières années dans plusieurs plans d'eau y compris le barrage de Béni-Haroun. La mortalité n'a été observée que pendant des jours très chauds, a précisé Ahmed Bendjedou de l'antenne de la direction des pêches de Jijel au barrage de Béni Haroun. Il s'agit de carassins, des cyprinidés comme la carpe qui se reproduisent en abondance. Ils sont de petite taille, des juvéniles, donc plus vulnérables. Ce phénomène est expliqué par la raréfaction de l'oxygène dissous dans l'eau causée par l'augmentation de la température. Le phénomène n'est pas particulier seulement à l'Algérie, en Allemagne et en Suisse aussi, des poissons sont retrouvés morts ([www.vitamedz.com](http://www.vitamedz.com)).

### **II.2.6.2 Avifaune**

L'installation de cet réservoir artificielle dans la région de Mila a permis d'offrir des conditions écologiques favorables à l'installation et la prolifération d'une importante avifaune aquatique. D'après Belfethi et Moulaï (2018), l'avifaune aquatique qui fréquente ce barrage est composée de 13 familles, 9 genres et 29 espèces. Parmi ces dernières, 37.93 % sont des oiseaux passages, 35% sont des hivernants, 17% sont des estivants et 10.34% sont considérés comme sédentaires. Alors très récemment et d'après la conservation des forêts de la même wilaya, le nombre d'espèces reçues par ce plan d'eau a également baissé à 23 espèces avifaunes, contre 34 en 2018, selon le même recensement hivernal. Ce recul est jugé inquiétant sur cette zone qui s'étend sur 5328 hectares, répartis sur six communes de la wilaya de Mila, offrant par son étendue et sa végétation des quartiers d'hiver pour les oiseaux migrateurs protégés ou menacés d'extinction (Haniche, 2019) (tab II.1).

## *Chapitre II : Présentation de la zone d'étude*

**Tableau II.1.** Liste de quelques espèces d'oiseaux observées dans le Béni Haroun (DGF, 2016).

|                                             |                                  |
|---------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Famille des <i>Anatidae</i></b>          |                                  |
| Canard colvert                              | <i>Anas platyrhynchos</i>        |
| Sarcelle d'hiver                            | <i>Anas crecca</i>               |
| Tadorne de belon                            | <i>Tadorna tadorna</i>           |
| <b>Famille des <i>Podicipedidae</i></b>     |                                  |
| Grèbe castagneux                            | <i>Tachybaptus ruficollis</i>    |
| Grèbe huppé                                 | <i>Podiceps cristatus</i>        |
| Grèbe a cou noir                            | <i>Podiceps nigricollis</i>      |
| <b>Famille des <i>Ardeidae</i></b>          |                                  |
| Héron cendré                                | <i>Ardea cinerea</i>             |
| Héron garde-bœufs                           | <i>Bubulcus ibis</i>             |
| Aigrette garzette                           | <i>Egretta garzetta</i>          |
| Grande aigrette                             | <i>Egretta alba</i>              |
| <b>Famille des <i>Ciconiidae</i></b>        |                                  |
| Cigogne blanche                             | <i>Ciconia ciconia</i>           |
| <b>Famille des <i>Rallidae</i></b>          |                                  |
| Foulque macroule                            | <i>Fulica atra</i>               |
| Poule d'eau                                 | <i>Gallinula chloropus</i>       |
| <b>Famille des <i>Laridae</i></b>           |                                  |
| Goéland leucophée                           | <i>Larus michahellis</i>         |
| Goéland brun                                | <i>Larus fuscus</i>              |
| Mouette rieuse                              | <i>Larus ridibundus</i>          |
| <b>Famille des <i>Phalacrocoracidae</i></b> |                                  |
| Cormoran huppé                              | <i>Phalacrocorax aristotelis</i> |
| Grand cormoran                              | <i>Phalacrocorax carbo</i>       |
| <b>Famille des <i>Alcedinidae</i></b>       |                                  |
| Martin pêcheur                              | <i>Alcedo atthis</i>             |
| <b>Famille des <i>Accipitridae</i></b>      |                                  |
| Buzard des roseaux                          | <i>Circus aeruginosus</i>        |

# Chapitre III

## Matériel et Méthodes

## Chapitre III : Matériel et méthodes

### III.1 Caractéristiques abiotiques

#### III.1.1 Choix, description et localisation des stations d'étude

Les stations d'échantillonnage ont été choisies de manière à nous permettre de répondre à l'objectif de notre étude. Ainsi en nous référant à de précédents travaux, tels ceux de Mebarki (2005), Harat (2006), Kerdoud (2006), Mebarki et *al.* (2008), Habila (2009), Melghit (2009), Merabat (2010), Mebarki et Labard (2012), Bouchareb (2013), Djeddi et *al.* (2018), Chabbah et Kabour (2018), nous avons pris en considération un certain nombre d'éléments notamment la représentativité des différents sites du barrage. Pour bien le cerner spatialement, nous avons surtout tenu compte des sources potentielles de pollutions, et de l'accessibilité des points de prélèvement qui fut une sérieuse contrainte. Après une opération de reconnaissance sur le terrain, onze stations situées sur plusieurs communes de la wilaya de Mila ont été choisies. Elles sont localisées géographiquement selon leurs coordonnées GPS et altitude, comme indiqué dans le tableau III.1 et la figure III. 1.

**Tableau III.1.** Localisation des stations de prélèvement

| Stations   | Code | Lieu-dit                           | Coordonnées GPS                          | Altitude |
|------------|------|------------------------------------|------------------------------------------|----------|
| Station 1  | St1  | Kripssa                            | N : 36° 29'33,73"<br>E : 06° 07' 12,08"  | 194 m    |
| Station 2  | St2  | Mellel                             | N : 36° 29' 55,06"<br>E : 06° 07' 14,74" | 199 m    |
| Station 3  | St3  | Djellama                           | N : 36° 30' 23,05"<br>E : 06° 11' 51,79" | 203 m    |
| Station 4  | St4  | Haloufa                            | N : 36° 31' 49,06"<br>E : 06° 15' 47,65" | 197 m    |
| Station 5  | St5  | Ferdoua                            | N : 36° 30'11,22"<br>E : 06° 20' 5,62"   | 190 m    |
| Station 6  | St6  | Medious                            | N : 36° 29' 26,8"<br>E : 06° 17' 39,16"  | 195 m    |
| Station 7  | St7  | Sous le pont reliant Mila à Grarem | N : 36° 30'52,57"<br>E : 06° 18' 13,17"  | 192 m    |
| Station 8  | St8  | Tourba                             | N : 36° 29'59,33"<br>E : 06° 21' 07,53"  | 197 m    |
| Station 9  | St9  | Metlili                            | N: 36° 29' 26,8"<br>E: 06° 17' 39,16"    | 195 m    |
| Station 10 | St10 | Anouche Ali                        | N: 36° 32' 49,51"<br>E:06° 16' 51,61"    | 197 m    |
| Station 11 | St11 | Près de la digue du barrage        | N : 36° 33'59,49"<br>E : 06° 16' 7,16"   | 196 m    |

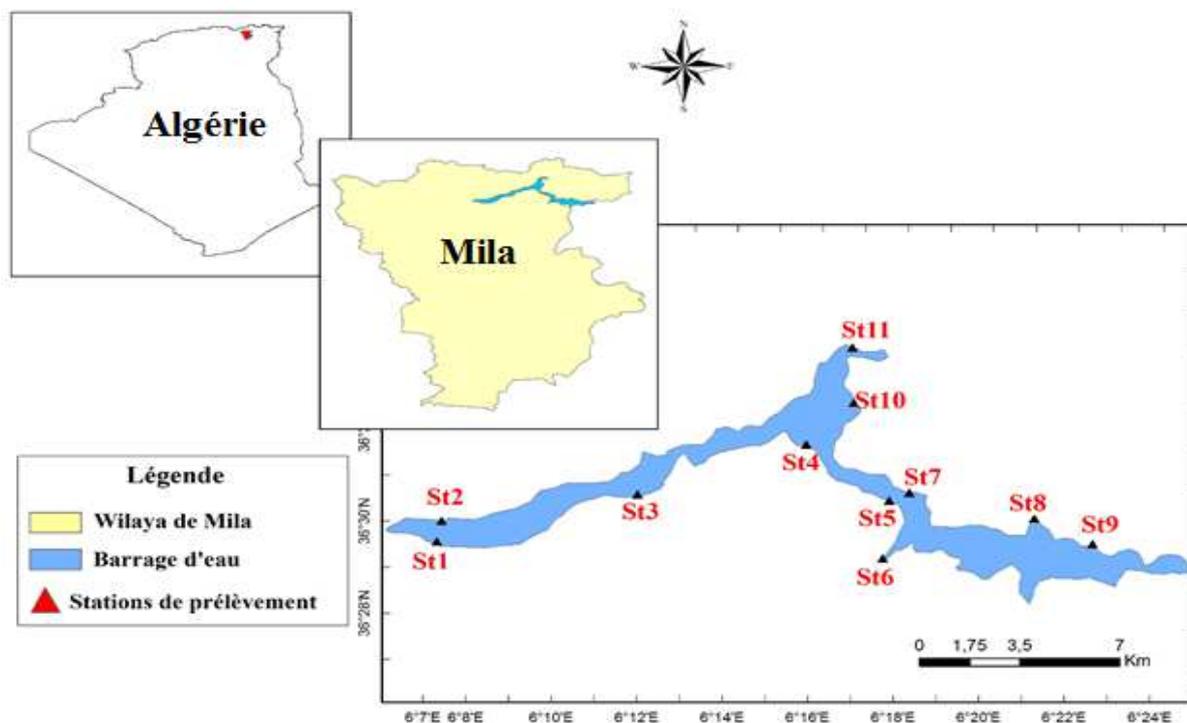


Figure III.1. Situation géographique et localisation des stations d'étude

- **Station 1 (St1)**

Au lieu-dit Kribssa Kariat El Behma Commune Oued Endja, Daïra oued Endja. Caractérisée par une forte activité agricole et maraichère avec la présence des stations de pompage illicite dégageant des huiles et des graisses directement dans le barrage.

- **Station 2 (St2)**

Située à Mechtet Mellel, commune Arass, Daïra Baïnen, du côté aval d'oued Endja, pas loin d'une huilerie avec le risque de contamination par les margines, facteur de dégradation le plus inquiétant et le plus agressif. En outre, considérée comme un point d'altération de la qualité de l'eau due à une surcharge en matières organiques, provenant des différentes activités agricoles, d'élevage et des effluents domestiques rejetés directement dans le barrage.

- **Station 3 (St3)**

Située au lieu-dit Khelek Siless Ouled Djellama, en aval du versant de la commune de Zghaïa, elle est exposée aux rejets d'eaux usées et de matières organiques résultant des activités agricoles et d'élevages pratiqués par les habitants de la région.

### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

- **Station 4 (St4)**

Au lieu-dit Haloufa, faisant partie de la commune de Sidi Merouan, elle est proche d'une zone récréative fréquentée par les habitants de la commune et des régions voisines. Cette station est marquée par la présence d'une décharge sauvage où s'amoncellent tout type ordures (plastique, gravas, ménagères, agricoles...etc). C'est une zone de baignade.

- **Station 5 (St5)**

Située en aval de lieu-dit Ferdoua dans la commune de Sidi Merouan proche de celle de Haloufa mais 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 6 (St6)**

C'est une station dite Medious située près de l'embouchure d'oued Mila au sud du barrage à environ cinq kilomètre au nord de la ville de Mila. Cette station traduit les apports polluants de cet Oued ainsi que la présence des décharges illicites le long du versant situé en amont de la station.

- **Station 7 (St7)**

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 8 (St8)**

Située en aval de Mechtet Tourba commune Grarem sur pente moyenne semble régulière et modérée, elle est marquée par la présence des stations de pompage d'eau pour l'irrigation des terres voisines à vocation maraichère et céréalière c'est une station à vocation agricole.

- **Station 9 (St9)**

Localisée en aval d'un versant doux et régulier près d'Oued Metlili à proximité d'une concentration urbaine et de vastes terres agricoles périphériques. C'est une zone de baignade et de loisir avec succès. Cette station traduisant les polluants lessivés par les eaux des pluies et ceux véhiculant l'Oued ainsi que les rejets domestiques parviennent de toute la région.

## *Chapitre III : Matériel et méthodes*

- **Station 10 (St10)**

Cette station est située en aval de la commune d'Anouche Ali sur une pente relativement douce et régulière. Elle est considérée comme un point de transition entre El Grarem et Sibaris1 juste avant l'ANBT. Cette dernière est caractérisée par la présence de quelques écuries et poulaillers perpétués sur les berges du barrage et la présence d'une décharge juste au bord du barrage. Proposée comme un site propice à l'installation d'une base nautique notamment dédiée à l'aviron (ANBT, 2012).

- **Station 11 (St11)**

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 avale.

### **III.1.2 Echantillonnage**

Les 11 stations retenues ont été prospectées et échantillonnées à un rythme mensuel durant vingt-quatre mois allant de janvier 2015 au décembre 2016, soit sur deux cycles annuels.

Un protocole de terrain regroupant toutes les informations relatives aux stations et aux prélèvements est rempli avec rigueur tout en prenant soin de noter toutes les observations en prévision de l'interprétation par la suite. 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 Biologie et Environnement le plus rapidement possible.

### **III.1.3 Mesures *in situ***

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

### **III.1.3.1 Température**

C'est une caractéristique physique importante des milieux aqueux, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. La pollution thermique peut perturber fortement la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques, biochimiques et l'activité métabolique des organismes aquatiques est accélérée lorsque la température de l'eau s'élève (Derwich *et al.*, 2010). Elle fixe aussi la valeur de saturation des gaz dissous et notamment de l'oxygène dissous (Clauzier, 2012 ; Dibong et Ndjouondo, 2014). Des changements brusques de température de plus de 3°C s'avèrent souvent néfastes (Blieffert et Perraud, 2008). La température est exprimée en degrés Celsius.

### **III.1.3.2 pH**

Le pH est un facteur complexe dépendant de divers facteurs chimiques (présence des carbonates, CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, etc.), physiques et biologiques (équilibre entre l'activité des producteurs primaires et l'activité saprophytique du milieu). Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates : en général, une augmentation du pH entraîne la précipitation des cations métalliques sous forme d'hydroxydes ou d'oxydes métalliques insolubles. Le pH joue aussi un rôle essentiel dans l'adsorption des métaux sur la matière organique. Le pH est un facteur important dans le système biologique, chimique et de l'environnement aquatique (Nambatingar, 2011). Le pH est un facteur important pour la croissance et la survie de tout microorganisme puisque la dénitrification autotrophe est arbitrée par des microorganismes dont, le pH affecte également l'activité de la plupart des enzymes (Ben Khaled, 2016).

### **III.1.3.3 Oxygène dissous**

Dans les milieux aquatiques, l'oxygène est le moteur essentiel à la vie des organismes, il assure l'oxydation de la matière organique en faisant intervenir les différents groupements bactériens et en contribuant donc à l'autoépuration du milieu. L'oxygène est généré souvent par les algues et les végétaux aquatiques dont l'activité photosynthétique assure l'approvisionnement des organismes aquatiques en oxygène nécessaire à leur respiration (CRElaurentides, 2009).

### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

Parmi les facteurs biologiques et physico-chimiques, les activités autotrophe et hétérotrophe sont les facteurs dominants responsables des variations de l'oxygène dissous (Villeneuve et *al.*, 2006). La concentration en oxygène est aussi influencée par la température de l'eau qui a un effet sur le taux de réaération et sur l'activité des microorganismes aquatiques (Livingstone, 1991 ; Benabdallouahed, 2006). Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation (Ayad et Kahoul, 2016). Le résultat est exprimé en mg/l et en pourcentage de saturation (%).

#### **III.1.3.4 Conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> et distantes l'une de l'autre de 1 cm (Rodier et *al.*, 2009). Elle détermine la teneur globale des minéraux présent dans une solution (Bremaude et *al.*, 2006) . Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>), le bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), le sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et le chlorure (Cl<sup>-</sup>), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (Hade , 2002). Le résultat est exprimé en  $\mu\text{S/cm}$ .

#### **III.1.4 Dosages et mesures au laboratoire**

Dans cette étude, nous nous sommes focalisés surtout sur la quantification des éléments nutritifs en vue de leur relation avec l'évolution de la communauté algale. De ce fait, plusieurs paramètres physico-chimiques ont été mesurés : nitrate, nitrite, phosphates et la matière en suspension (MES), ainsi que le magnésium, le calcium, potassium, sodium, les sulfates et les chlorures. Dans l'ensemble, nous avons mesuré et dosé 12 paramètres physico-chimiques selon les méthodes décrites dans l'Analyse de l'eau, eau naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer (Rodier et *al.*, 2009).

Les dosages sont réalisés dans les laboratoires suivants : Biologie et Environnement Université Frères Mentouri Constantine 1, l'ANRH, le centre universitaire Mila et l'ADE. Les méthodes utilisées sont volumétriques, colorimétriques ou spectrophotométriques moléculaires avec un Perkin Elmer UV/VIS Lambda 25, un UV-1800 et un UV- Visible alors que pour le dosage du sodium et du potassium nous avons utilisé un spectrophotomètre à flamme de type Jenway.

### III.1.4.1 Nitrate

Les nitrates existent dans les eaux à l'état naturel en absence de pollution. Leur concentration, alors, n'excède en général pas 3 mg/l à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines. Leur concentration, n'excède pas en général 3 à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines. L'augmentation des teneurs des composés azotés traduit une pollution de la ressource liée aux activités humaines (Ratel et Debrieu, 2003). Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine (Filion, 2017). Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification (El Ouedghiri et *al.*, 2014).

Le nitrate est dosé selon la méthode au salicylate de sodium, en présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique à 415 nm. Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), nous avons multiplié le résultat par 4,43 (Rodier *et al.*, 2009).

### III.1.4.2 Nitrite

Les nitrites sont des composés intermédiaires du processus de nitrification. Ils proviennent de l'oxydation incomplète de l'azote organique sous l'action des bactéries nitrifiantes (Bougis, 1974 ; Hébert et Légaré, 2000 ; Burgin et Hamilton, 2008). Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, leur présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau (Derradji, 2015).

Les nitrites sont souvent utilisés comme inhibiteurs de la corrosion dans les eaux de refroidissement de procédés industriels ; l'industrie alimentaire utilise les nitrites comme conservateurs. Entre autres, ils servent à inhiber la croissance du *Clostridium botulium*, une bactérie qui produit une substance toxique et qui provoque le botulisme chez les personnes infectées ([www.extenso.org](http://www.extenso.org)).

Les nitrites ont été dosés selon la méthode à la sulfanilamide fondée sur la diazotation de l'amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique à 543 nm (Rodier *et al.*, 2009). Le résultat est exprimé en mg/l de  $\text{NO}_2^-$ .

### III.1.4.3 Phosphates

Les phosphates jouent un rôle très important dans le développement des algues ; avec les nitrates, ils sont susceptibles de favoriser leur multiplication dans les écosystèmes aquatiques, où ils contribuent à l'eutrophisation. Les phosphates de calcium sont à l'origine du phosphore naturel extrait des sols (gisements miniers) (Deronzier et Choubert., 2004). Les phosphates peuvent avoir pour origine le lessivage des terres cultivées enrichies en engrais phosphatés ou traitées par certains pesticides et surtout la présence de lessives dans les eaux usées domestiques et urbaines (Rodier *et al.*, 2009). Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques (De villers *et al.*, 2005).

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium. Ils sont dosés par spectrométrie d'absorption moléculaire à 800 nm (Rodier *et al.*, 2009). Le résultat est exprimé en mg/l de  $\text{PO}_4^{-3}$ .

### III.1.4.4 Calcium

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement (Day, 1963). Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, et dans les phénomènes de perméabilité cellulaire (Moinecourt, 2002). Il est concentré par les organismes à partir de l'eau ou des sédiments. Dans un milieu donné les apports en carbonates de calcium permettent de neutraliser l'acidité du biotope et d'éviter la présence de composés dissous toxiques, la dissolution du calcaire dépend de  $\text{CO}_2$  et du pH (équilibre calco-carbonique) (Benmassaoud, 2007). Le calcium a été déterminé également par méthode titrimétrique à l'EDTA après ajustement du pH par NaOH et addition du murexide (coloration rose). Le résultat est exprimé en mg/l de  $\text{Ca}^{+2}$  (Rodier *et al.*, 2009).

### III.1.4.5 Magnésium

Le magnésium est un élément chimique d'origine naturelle (magnésites, basaltes, argiles) ou industrielle (industrie de potasse, de la cellulose, traitement de surface, brasserie). En eau douce les concentrations en  $Mg^{+2}$  sont inférieures à celle du  $Ca^{+2}$ . Il est indispensable à la vie. Il entre dans la composition des squelettes de certains organismes et joue un rôle dans la respiration et la photosynthèse (Gaujous, 1995). Le magnésium quant à lui, est évalué par complexométrie à l'EDTA après ajout d'une solution (chlorure d'ammonium, ammoniacque et tartrate double de potassium et de sodium) et d'un indicateur coloré qui est le noir d'ériochrome T. Le résultat est exprimé en mg/l de  $Mg^{+2}$ .

### III.1.4.6 Sodium

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé. IL est utilisé surtout sous forme de chlorure de sodium (sel de cuisine ou sel gemme), de sulfate de sodium brut et de phosphates de sodium ([www.canada.ca](http://www.canada.ca)).

Dans les organismes le sodium joue le rôle vital en participant à un nombre de phénomènes biologiques. Il peut prendre la place des ions de potassium lors de l'entrée dans l'organisme et peut être essentiel dans le fonctionnement des enzymes (Ramade, 1984).

La quantification du sodium a été effectuée par spectrométrie de flamme. La spectrométrie mesure l'intensité des radiations, de longueur d'onde déterminée, émises par les atomes du cation à doser une fois excités par la flamme. La concentration de ce cation est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée. Le résultat est exprimé en mg/l de  $Na^{+}$ .

### III.1.4.7 Potassium

Le potassium est l'un des principaux ions alcalins des eaux. Il se présente sous forme de chlorures, de sulfates et de carbonates en quantités variables. Il intervient dans le déroulement d'un grand nombre de phénomène biologique. Tout être vivant a besoin de potassium. S'il est privé ou au contraire pourvu de potassium en excès, il meurt.

### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

La concentration du potassium est élevée dans les cellules et dans la terre ; elle est, au contraire, basse dans les liquides extracellulaire et dans les océans (Gaujous, 1995). La quantification du potassium a été faite par spectrométrie de flamme. Le principe est identique à celui du sodium rapporté ci-dessus. Le résultat est exprimé en mg/l de K<sup>+</sup>.

#### **III.1.4.8 Sulfates**

Les sulfates sont naturellement présents dans divers minéraux. Le sulfate de calcium est la forme la plus souvent retrouvée dans les ressources en eau ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)). Les concentrations les plus élevées dans les eaux souterraines sont généralement d'origine naturelle (Adechina, 2016). Mais ils peuvent également avoir une origine anthropique, et être présents dans l'eau via les effluents industriels et les dépôts d'origine atmosphérique (Coddeville et al., 2016) . Ils sont présents dans presque toutes les eaux naturelles. Des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

Les bactéries réduisent les sulfates et utilisent leur oxygène pour décomposer les polluants présents dans les eaux. Il se forme alors des hydrogénosulfures ou des sulfures (Nambatingar, 2011).

Le principe du dosage consiste en la précipitation des ions sulfates qui passent à l'état de sulfate de baryum en présence de chlorures de baryum (BaCl<sub>2</sub>). Le précipité ainsi obtenu est stabilisé par une solution de glycérol ; la suspension homogène est par la suite mesurée par spectrophotométrie à 420nm (Rodier et al., 2009). Le résultat est exprimé en mg/l de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

#### **III.1.4.9 Chlorures**

Presque tous les types d'eaux naturelles, de même que les eaux de pluie et la plupart des eaux résiduaires contiennent des ions chlorures. Les concentrations vont de quelques milligrammes par litre dans des eaux naturelles pour atteindre des concentrations élevées dans des eaux résiduaires, des eaux marines et des eaux souterraines salines (ISO 9297, 1989). 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).

### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

Les chlorures peuvent avoir des effets toxiques aigus et une toxicité chronique à de plus faibles concentrations sur les organismes aquatiques et peuvent avoir un effet sur la structure des populations et des communautés d'algues notamment (Santé Canada, 2001).

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Pour une prise d'essai de 100 ml :  $V \times 10 \times 3,55$  donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de  $\text{Cl}^-$  par litre d'eau (Rodier et *al.*, 2009).

#### **III.1.4.10 Matières en suspension**

Les matières en suspension peuvent être minérales ou organiques. La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables, selon la nature des eaux (sable, boues, particules organiques, vases, limons, etc.).

Toute particule en suspension peut être théoriquement sédimentée (ou décantée) sous l'action de la pesanteur (gravité), mais à une vitesse qui dépend principalement de la taille et de la densité de la particule, ainsi que de la température de l'eau (Rodier et *al.*, 2009). D'une manière générale, les MES interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'absorption aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les micro-organismes. Les teneurs élevées de MES diminuent la transparence de l'eau, empêchent la pénétration de la lumière, et peuvent limiter la teneur en oxygène dissous (Koller, 2009). La concentration en MES influence d'une façon négative sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau telles que : la turbidité et son impact sur la photosynthèse donc sur la production primaire de façon indirecte (Villeneuve et *al.*, 2006).

Les matières en suspension sont déterminées à l'aide de la méthode par filtration selon la norme « NF EN 872, 1996 » (AFNOR, 1996). Après filtration d'une prise d'essai sur des filtres de verres GF/C préalablement séchés et pesés, ces filtres sont par la suite placés à l'étuve à 105°C pendant 2 heures et sont repesés. La matière en suspension est la différence de poids des filtres après et avant filtration, rapportée au volume filtré. Le résultat est exprimé en mg/l.

### III.2 Caractéristiques biotiques

Si la taille réduite des microalgues ne permet leur observation qu'au microscope, leur présence en grand nombre est parfois détectable par la couleur de l'eau : verte, brune, rouge. En effet, chaque cellule contient des pigments dont la fonction est d'assurer la photosynthèse, laquelle fournit de 60 à 80 % de l'oxygène atmosphérique. Le phytoplancton est également une source de produits intéressants pour notre santé : protéines, vitamines, minéraux qui s'y trouvent concentrés. A l'instar des végétaux terrestres, les microalgues sont sensibles à leur environnement, et évoluent selon un rythme saisonnier, avec un maximum de divisions cellulaires au printemps et en fin d'été. La qualité chimique de l'eau est l'un des facteurs déterminants pour le bon développement des populations phytoplanctoniques (Arzul, 2009).

La collecte de nos données a été étalée sur la même période que les paramètres abiotique. 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.

#### III.2.1 Echantillonnage, identification et comptage des microalgues

La collecte du phytoplancton a été effectuée au niveau des mêmes stations que pour l'étude hydrologique du barrage (fig. III.I) à la surface d'eau (profondeur < à 50 cm). Les échantillons du phytoplancton ont été recueillis durant la même période (mars 2015-novembre 2016).

Pour que nos résultats de numération cellulaire soient les plus corrects possibles, nous avons tenu à bien respecter les bonnes procédures notamment de prélèvements, de conservation des échantillons et d'homogénéisation avant le passage au comptage. Nous avons également veillé à minimiser l'erreur de dénombrement (E) :  $E = \pm 2 \times 100 / \sqrt{n}$ .

où **n** est le nombre de cellules comptées par comptage du plus grand nombre possible de cellules par taxon ; l'erreur sur le comptage étant inversement proportionnelle au nombre de cellules comptées (Lund et *al.*, 1958).

### III.2.2 Etude qualitative

Huit campagnes de prélèvement ont été réalisées durant 24 mois de travail à savoir quatre campagnes par an dont trois durant la période estivale réalisée entre mai et octobre de la manière suivante :

- la première entre mi-février et fin mars, fin de l'hiver, correspondant à la période de brassage et à la toute première phase de croissance du phytoplancton (c'est parfois la seule dans les milieux très oligotrophes) ;
- la deuxième entre mi-mai et fin juin durant la mise en place de la thermocline (si une thermocline est présente sur le plan d'eau considéré) correspondant à la phase printanière de croissance du phytoplancton ;
- la troisième en juillet ou en août, en plein été, quand la thermocline est bien installée correspondant à la deuxième phase de croissance du phytoplancton ;
- et la quatrième entre septembre et mi-octobre, en fin de stratification estivale, avant que la température ne baisse et que la stratification ne disparaisse. A cette période, l'épilimnion a une épaisseur maximale.

L'aspect qualitatif du phytoplancton a été déterminé à partir d'échantillons prélevés par un filet à plancton de 20 µm de maillage. Après leur récolte, les échantillons sont immédiatement fixés par addition de 3 ml de lugol.

L'analyse des populations phytoplanctoniques a été effectuée selon la méthode de (Andresen-Leitao et *al.*, 1983), chaque échantillon est soigneusement homogénéisé. Une goutte est prélevée puis mise entre lame et lamelle. L'observation au microscope est faite lors du parcours horizontal sur toute la longueur de la lamelle ; cette opération est répétée 4 à 5 fois en se décalant nettement sur la hauteur de la lamelle, lors de ces parcours tous les organismes phytoplanctoniques présents sont pris en compte. Des sous-échantillons ont subi un traitement de nettoyage des frustules par combinaison de la calcination à l'attaque chimique de la matière organique avant d'être montés entre lame et lamelle pour l'identification des diatomées. Pour l'établissement de l'inventaire des divers taxons récoltés, nous nous sommes servi de nombreux documents et clés de détermination spécialisés dont ceux de Pascher (1925), Bourrelly (1966, 1968, 1970), Drebes (1976), Germain (1981), Ricard (1987), Balech (1988), Krammer et Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Larsen et Moestrup (1989, 1992), Nezan (1996) et Lavoie et *al.* (2008).

## *Chapitre III : Matériel et méthodes*

Les microorganismes phytoplanctoniques ont été déterminés au niveau taxonomique genre et espèce selon la possibilité.

### **III.2.3 Etude quantitative**

Pour l'étude quantitative, le prélèvement des échantillons a été effectué mensuellement à l'aide d'une bouteille de 1 à 1,5 litre de capacité à la même profondeur que précédemment (< 50 cm). Après leur fixation, les échantillons ont été aussitôt concentrés selon le processus de sédimentation de longues durées, en bouteilles et siphonnage du surnageant (Bourrelly, 1966 et Sournia, 1978). Des sous-échantillons de 5 à 25 ml (selon la densité de l'échantillon initial) ont été dénombrés suivant la méthode Andresen- Leitaó et *al.* (1983).

La dynamique des populations microalgale a été étudiée grâce aux dénombrements des cellules et des colonies en microscopie. Pour réaliser les dénombrements cellulaires, des dilutions ont été faites des fois et dans d'autres soumis aux ultrasons (2000 t/30 sec) afin de dissocier les colonies et obtenir une suspension cellulaire.

Les cellules ont été comptées en triplicats en cellule de Thoma, au microscope optique (x 400) de type Leica microsystèmes. La biomasse phytoplanctonique, exprimée en nombre de cellules par unité de volume selon la formule (voir annexe III.1) :

$$\text{Concentration cellulaire (ml)} = \frac{\text{Cellules totales comptées}}{\text{Nombre de carrés}} \times 10.000$$

### **III.2.4 Eléments descriptifs et synthétiques**

#### **III.2.4.1 Richesse spécifique**

La richesse spécifique (S), est le nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage. Elle mesure la diversité la plus élémentaire, fondée directement sur le nombre total d'espèces dans un site. Un grand nombre d'espèces fait augmenter la diversité spécifique. Toutefois, cette méthode dépend de la taille des échantillons et ne considère pas l'abondance relative des différentes espèces. Sa valeur écologique est donc limitée (Travers, 1964). C'est un élément qui indique la variété spécifique du peuplement autrement dit sa richesse en espèces. La richesse spécifique peut bien être un critère distinctif des écosystèmes ou des stations étudiées au sein d'un écosystème donné.

### **III.2.4.2 Dominance relative**

Le degré d'organisation de tout peuplement est l'une de ses caractéristiques primordiales. Il reflète principalement la distribution des dominances relatives ( $D_r$ ) de chaque espèce et le spectre des fréquences relatives de l'espèce la plus abondante à la plus rare (Daget, 1979).

La dominance relative d'une espèce est le rapport entre sa densité cellulaire ( $D_a$ ), en nombre de cellules par unité de volume, et la densité phytoplanctonique totale de l'échantillon ( $D_t$ ) exprimée par la même unité :

La dominance ( $D$ ) est déterminée comme suit :

$$D (\%) = n/N * 100$$

Où  $n$ : nombre d'individus d'un groupe considéré;

$N$ : nombre total d'individus dans l'échantillon.

Plusieurs auteurs tel que Daget (1979) rapportent que les espèces qui contribuent pour moins de 1% à la composition quantitative globale sont à négliger ; seules celles dont la dominance relative dépasse ce seuil sont considérées dominantes.

### **III.2.4.3 Indice d'occurrence**

La fréquence ( $f$ ), dite également indice d'occurrence ou de constance (Dajoz, 1975 ; Hyslop, 1980 ; Dajoz, 2000), n'est autre que le rapport du nombre de prélèvements dans lesquels l'espèce est recensée, au cours du suivi, dans une station donnée et le nombre total des prélèvements effectués au niveau de la même station. Exprimée en pourcentage, la fréquence de l'espèce  $a$  dans la station  $b$  ( $F_{ab}$ ) est donnée par :

$$F_{ab} = (R_{ab} / R_{tb}) * 100$$

Avec :  $R_{ab}$  : nombre de relevés où l'espèce est présente dans la station  $b$  ;

$R_{tb}$ : nombre total des relevés réalisés au niveau de la station  $b$ .

En fonction de la valeur de  $F_{ab}$ , trois groupes d'espèces sont distingués :

- espèces constantes ( $F_{ab} > 50 \%$ ) ;
- espèces accessoires ( $25 \% < F_{ab} < 50 \%$ ) ;
- espèces rares ( $F_{ab} < 25 \%$ ).

### III.2.4.4 Indice de diversité

Plusieurs indices de diversité sont utilisés et permettent de donner une expression quantitative de la structure des communautés étudiées. L'introduction, par les écologistes, de la notion de la diversité spécifique avait pour but de rendre compte de l'inégale répartition des individus entre les espèces. Parmi les indices établis pour l'estimation de cette diversité, l'indice de Shannon (Ish) demeure le plus utilisé, il est doté d'une supériorité incontestable sur les autres tel celui de Margalef (Daget, 1979).

L'indice de Shannon représente une quantité d'informations sur la structure du peuplement d'un échantillon donné et sur la manière de répartition des individus entre différentes espèces. Un indice de diversité faible indique que la communauté est jeune à haut pouvoir de multiplication avec dominance d'une ou d'un petit nombre d'espèces, tandis qu'un indice élevé caractérise des populations mûres présentant une composition spécifique complexe (Iltis, 1974) avec une stabilité du peuplement relativement grande.

L'indice de Shannon-Wiener est le plus couramment utilisé et est recommandé par différents auteurs (Gray et al., 1992). L'indice de diversité de Shannon (Ish) relatif à un échantillon correspond à la valeur en bits calculée à partir de la formule suivante :

$$Ish = -\sum_{i=1}^S (Pa * \log_2 (Pa))$$

Où **S** : représente la richesse spécifique d'un échantillon donné (c. paragraphe III. 2.4.1) ;

**Pa** : désigne le rapport entre l'effectif de l'espèce **a** dans l'échantillon et l'effectif total de cet échantillon.

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura une valeur de coefficient moindre par rapport à une communauté dont toutes les espèces ont des abondances comparables.

La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce qui domine très largement toutes les autres) à  $\log S$  ( $S$  = nombre total d'espèces) lorsque toutes les espèces ont une même abondance.

#### **III.2.4.5 Indice d'équitabilité**

Cet indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces) (Blondel, 1979). Appelée aussi régularité, l'équitabilité (E) est définie par le rapport de la diversité réelle à la diversité maximale.

$$E = I_{sh} / \log_2(S)$$

Où  $I_{sh}$  est l'indice de diversité de Shannon, S est la richesse spécifique et  $\log_2(S)$  est la valeur maximale que prend  $I_{sh}$  lorsque toutes les espèces se présentent avec la même abondance.

Dans ce cas dernier, l'équitabilité est forte en tendant vers 1, elle est minimale par contre, quand une ou quelques espèces seulement sont nettement dominantes. Une valeur d'équitabilité de 0.8 traduit un peuplement équilibré (Daget, 1979).

#### **III.3 Analyses statistiques**

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). Puis, pour visualiser les variations spatiales de chacun de ces paramètres physico-chimiques, nous avons établi des graphiques représentant la variabilité spatio-temporelle de chaque paramètre. Ces graphiques sont obtenus par station et par saison.

L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA1) a été utilisée pour tester l'effet de l'espace et du temps, représenté par les onze stations, pour chacun des paramètres et pour chacune des stations y compris la biomasse algale.

Le test Bonferroni a été utilisé pour la comparaison entre stations et afin de faire ressortir les groupes de stations offrant des similitudes.

L'indice de diversité (Indice de Shannon) et l'équitabilité. Pour réaliser ces tests statistiques, nous avons eu recours au même logiciel (SPSS19).

### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

Les distributions temporelles des valeurs des différents paramètres physico-chimiques et biotique analysés ont été présentées pour les onze stations, sous forme de représentations graphiques dites « Boîtes à moustaches » (box plot), par le biais du même logiciel. Sur ces boîtes à moustaches, les traits horizontaux supérieurs et inférieurs correspondent respectivement aux maxima et minima. La boîte indique 25 à 75% des valeurs et le trait du centre représente la médiane.

Des corrélations entre les paramètres de pollution ont été effectuées afin de donner un élément de réponse sur les causes principales de la qualité du milieu, en reflétant, la relation entre les paramètres abiotiques et la quantité de biomasse phytoplanctonique.

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

## Résultats et Discussion

## Chapitre IV : Résultats et discussion

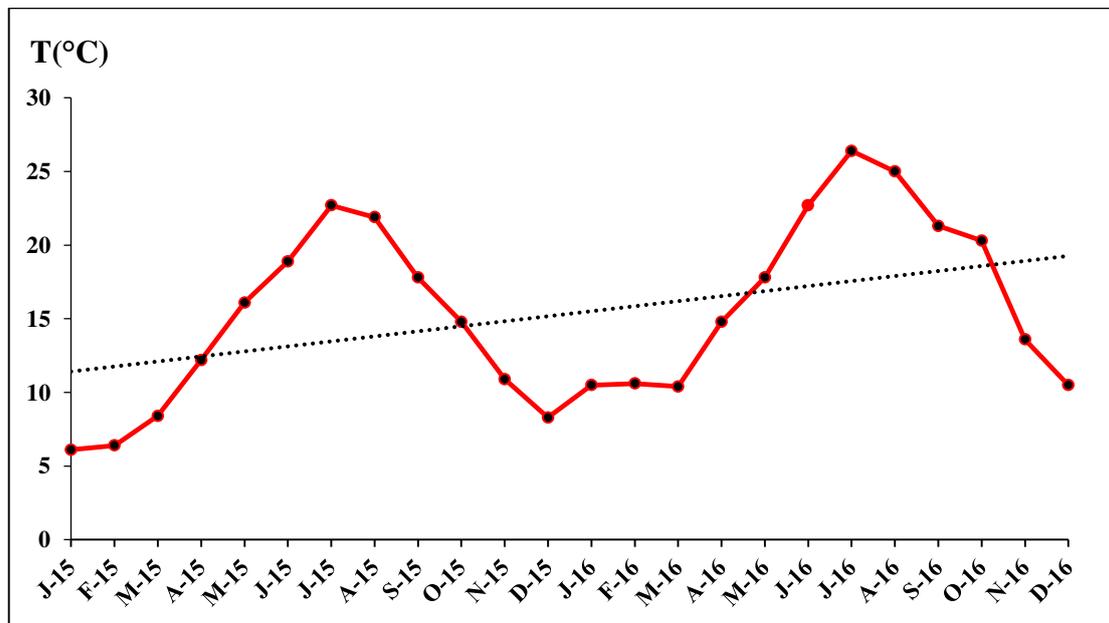
### IV.1 Présentation des résultats abiotiques

#### IV 1.1 Eléments de climatologie

Le climat de la région est de type méditerranéen humide au nord, subhumide à semi-aride au centre et semi-aride au sud. Il est caractérisé par une forte variabilité inter-mensuelle et inter-annuelle de pluviométrie varie entre 600 et 900 mm au nord de la wilaya (920 mm sur le mont de Msid Aicha) , entre 400 et 600 au centre de la wilaya et moins de 400 mm au sud. Il est caractérisé par un hiver doux et pluvieux et une période estivale longue chaude et sèche qui se prolonge du mois de mai au mois d'octobre avec une variation saisonnière (Soukehal, 2011).

##### IV.1.1.1 Température de l'air

Selon la figure IV.1, les températures moyennes mensuelles tendent vers une augmentation en 2016 par rapport à 2015. Les moyennes les plus faibles sont enregistrées durant la saison hivernale et automnale pour chacune des deux années (6,1 à 10,5°C) et les plus élevées sont enregistrées pendant la saison estivale (22,7 à 26,4°C). Les écarts thermiques aussi bien journaliers que mensuels sont assez importants et les températures moyennes restent relativement élevées durant les années 2015-2016. Ces conditions thermiques se reflètent sur l'ensemble des composantes écologiques, biologiques et hydrologiques de la région.

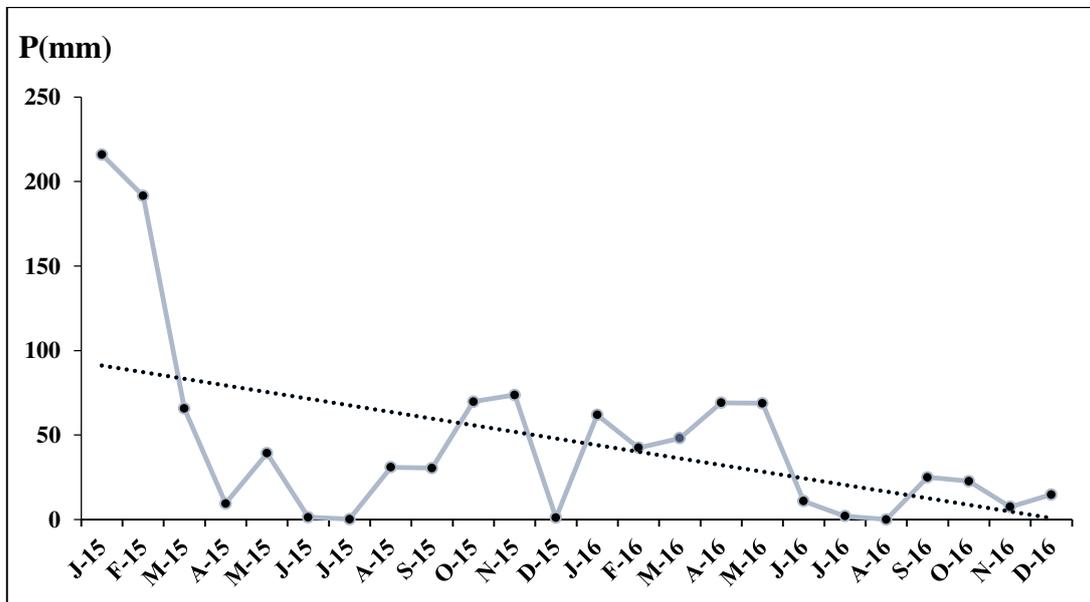


**Figure IV.1.** Variations mensuelles des températures de l'air enregistrées durant la période 2015-2016 (ONMAT, 2017)

## Chapitre IV : Résultats et discussion

### IV.1.1.2 Pluviométrie

Les précipitations constituent un paramètre climatique déterminant pour l'évaluation des apports hydriques d'une réserve d'eau donnée. Ces apports contribuent à leur tour à l'enrichissement du milieu en matières particulaires et dissoutes. L'analyse de la série de données pluviométriques caractéristiques de la région d'étude, allant de janvier 2015 à décembre 2016, montre une courbe qui tend vers une diminution régulière allant de janv-2015 à avril de la même année traduisant la saison pluvieuse avec un pic de 216 mm, suivie par une diminution irrégulière de la quantité des précipitations enregistrée jusqu'à décembre de l'année 2016 (fig IV. 2). Selon les données, l'année 2015 est plus pluvieuse que l'année 2016 avec des quantités annuelles respectivement 729 et 373 mm.



**Figure IV. 2.** Variations mensuelles des précipitations enregistrées durant la période 2015-2016 (ONMAT, 2017)

### IV.1.1.3 Diagramme ombrothermique

La représentation simultanée des cumuls des précipitations et des températures mensuelles moyennes nous a permis d'établir le diagramme ombrothermique de Gausson pour la région de Mila qui comprend bien évidemment le barrage de Béni Haroun (fig IV. 3). Il en ressort que les années de travail sont caractérisées par une longue période sèche qui s'étale entre le mois d'avril et octobre pour l'année 2015 y compris le mois de décembre et de juin à décembre de l'année 2016 ; c'est une période de 6 mois pour l'année 2015 et 7 mois pour l'année 2016 qui est comme même assez longues pour chacune des deux années.

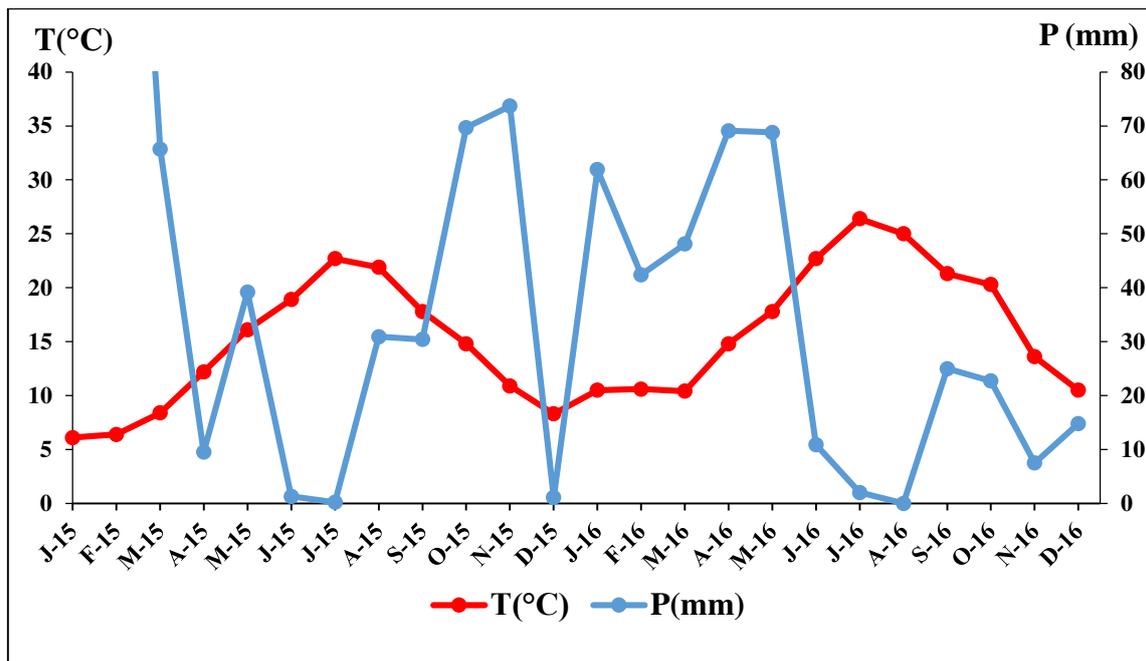
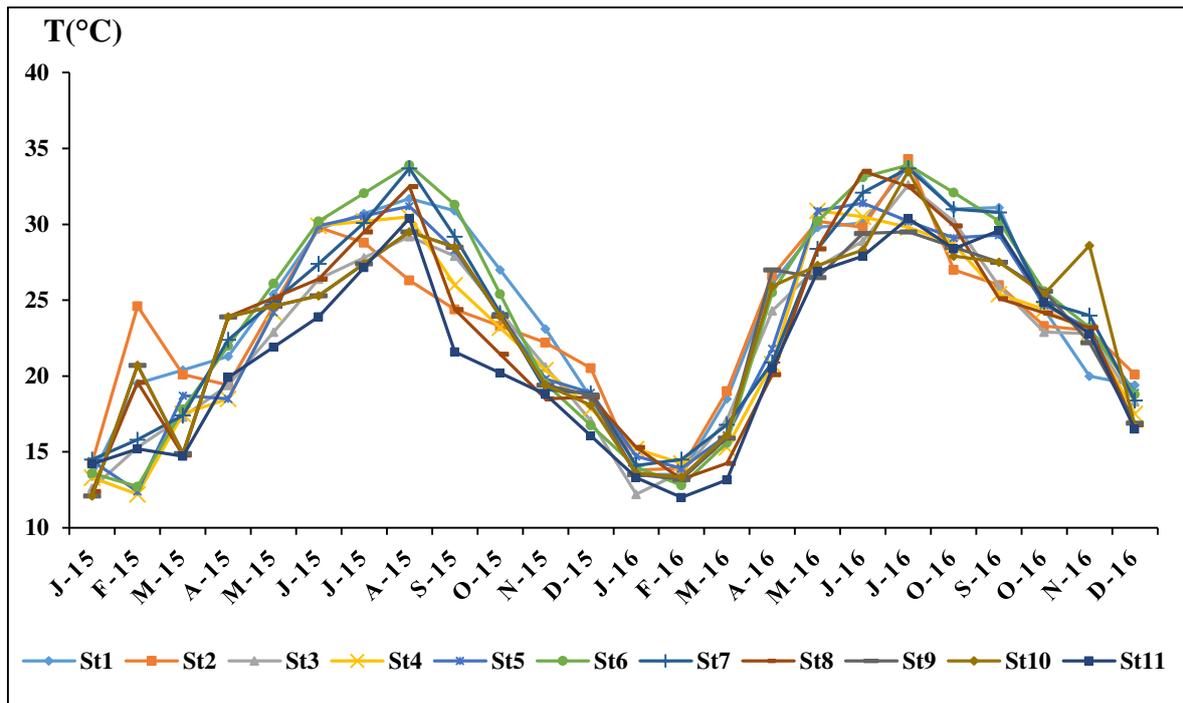


Figure IV.3. Diagramme ombrothermique de la région d'étude (P=2T : précipitation et T : température aérienne) des années 2015 et 2016.

## IV.2 Paramètres physico-chimiques

### IV.2.1 Température de l'eau

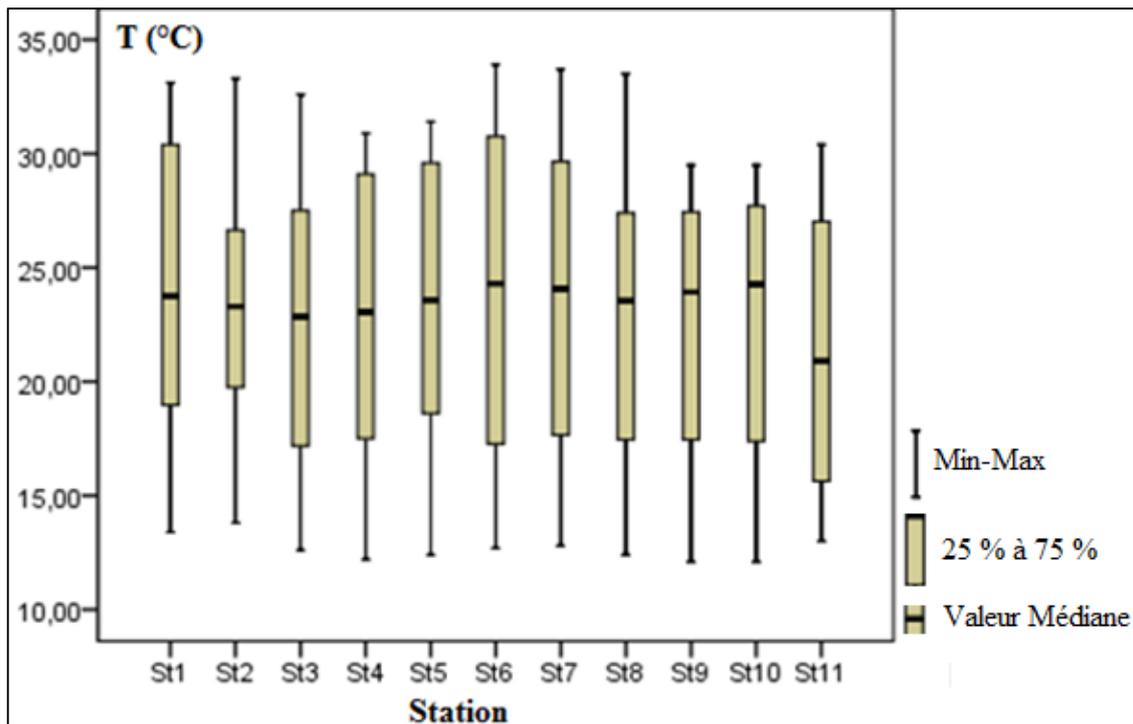
Les valeurs de la température de l'eau fluctuent légèrement dans l'espace et significativement dans le temps durant la période d'étude (fig IV.4). Elle varie selon un rythme saisonnier (Heral et *al.*, 1983 ; Frontier et Richo-Viale, 1993 ; Rodier et *al.*, 2009). Elle atteint ainsi des valeurs minimales en hiver (12 °C le matin) et maximales en été (34,3 °C à midi pouvant être plus élevées l'après-midi). La température est un facteur limitant de la croissance algale. Elle contrôle de nombreuses propriétés fonctionnelles fondamentales du phytoplancton et est un facteur de régulation de la production primaire dans la plupart des milieux aquatiques (Harris, 1986). Une faible température réduit l'activité enzymatique, l'absorption des nutriments et le développement des algues (Raven et Geider, 1988). Les résultats montrent un écart de 22 °C entre la valeur du minima et celle du maxima. Ceci est fortement lié aux conditions météorologiques des deux années du travail notamment les températures de l'air.



**Figure IV.4.** Variations spatio-temporelles de la température des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

Sur la figure IV.4, on observe un gradient thermique très bien prononcé entre saisons plus qu'entre stations ; le test ANOVA confirme un effet temps très hautement significatif ( $F=123,875$   $p = 0.000$ ). Il faut également préciser que, 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), l'activité métabolique des organismes aquatiques (IBGE, 2005 ; Souchon et Nicolas, 2011 ; Sigg *et al.*, 2013), la circulation des masses d'eau, et aussi, le processus d'assimilation et de recyclage des nutriments (Rhee et Gothman, 1981). La température, joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C, par contre elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête à des températures inférieures à 5°C (Rodier *et al.*, 2009). Par ailleurs, la température élevée diminue la solubilité de l'oxygène dissous, accélère les activités vitales et les phénomènes d'eutrophisation, favorise le développement des Chlorophycées et Cyanophycées qui posent alors des problèmes lors des opérations de traitements des eaux (Foutlane *et al.*, 1997). Globalement, l'évolution spatio-temporelle de la température des eaux superficielles évolue parallèlement à celle de l'air, mais, elle lui reste supérieure quelle que soit la saison (Benabdellouahed, 2006).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.5.** Amplitude des variabilités temporelles de la température de l'eau dans les onze stations d'étude.

La figure IV.5, nous permet d'observer généralement une large variabilité temporelle (24 mois) asymétrique tendant vers les valeurs minimales aux stations St1 et St11. Par contre, les autres stations montrent, une tendance vers la valeur maximale de chaque station. Au niveau de la station St2, la température varie peu en comparaison avec les stations St1, St6 et St7. Les fluctuations saisonnières des moyennes des températures enregistrées au niveau des différentes stations sont très hautement significatives ( $F= 182,847$  ;  $p = 0.000$ ). A l'opposé aucune variation spatiale n'a été observée ( $F= 0,333$  ;  $p = 0,972$ ). Ce résultat a bien été confirmé par le test de Bonferroni qui a montré que l'ensemble des stations appartiennent à un seul groupe homogène (A).

**Tableau IV.1.** Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Masson, 1988)

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

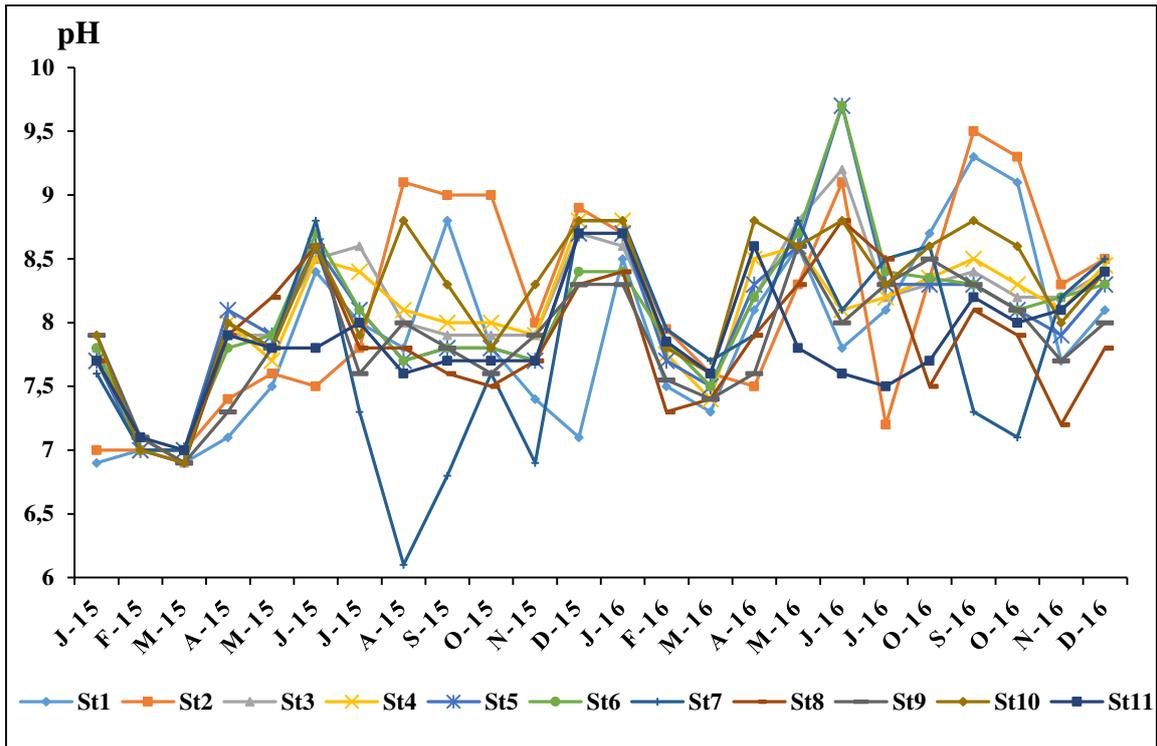
## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Les températures moyennes des eaux obtenues au cours de cette étude varient entre 21 et 23°C ; selon la grille de Masson (1988), les eaux du barrage Béni Haroun appartiennent à la classe 1B et 2 avec une qualité des eaux s'échelonne entre bonne à moyenne (tab.IV.1).

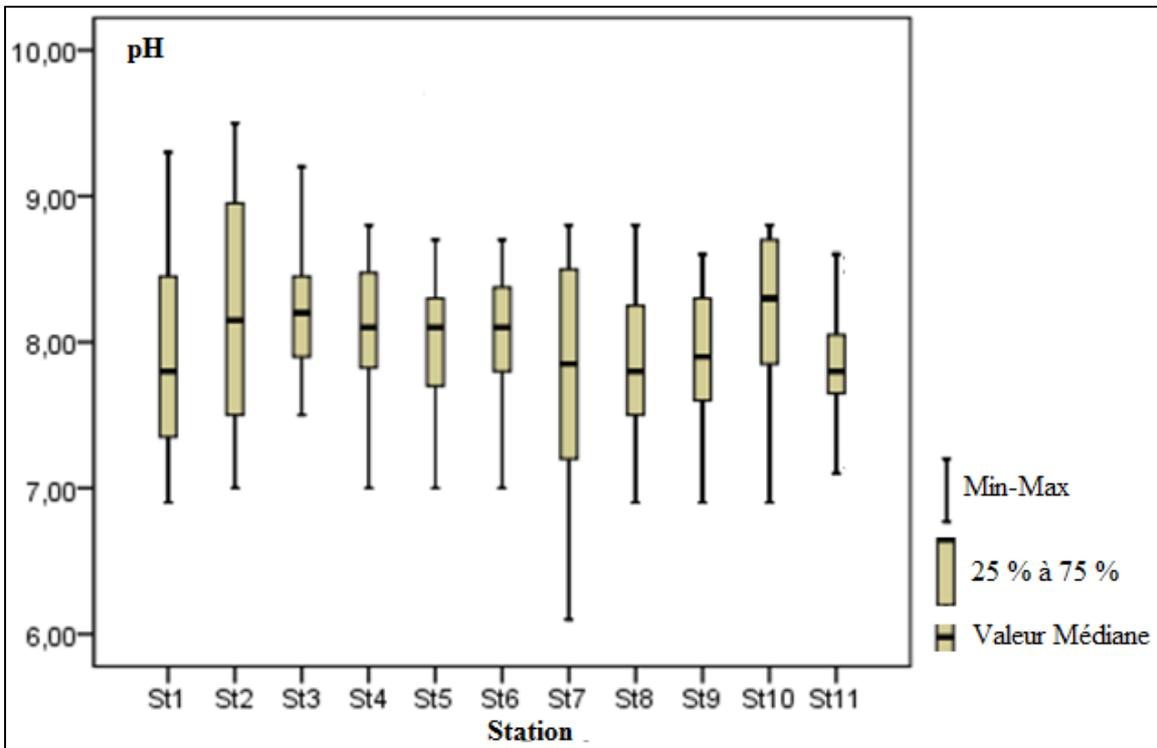
### **IV.2.2 pH**

Selon la figure IV.6, les valeurs du pH obtenues en 24 mois présentent des fluctuations saisonnières bien prononcées. Les valeurs les moins alcalines sont enregistrées en saisons froides avec des teneurs variant entre 6,9 et 9,7 pour la première année de travail et entre 7,1 et 8,9 pour l'année qui suit. Ces teneurs en pH ont tendance à augmenter pendant la saison chaude. Ainsi, en période estivale, connue par une forte activité photosynthétique, le pH atteint des valeurs maximales supérieures à 9 enregistrées pendant le mois juin, juillet et août de l'année 2015 et le mois juin, septembre et octobre de l'année suivante. En hiver par contre, lorsque les micro-algues sont peu abondantes, le pH des eaux reste proche de la neutralité dans les différentes stations. Pendant les périodes printanière et automnale, caractérisées par un développement moyen du phytoplancton, on observe des valeurs de pH intermédiaires, tendent vers la valeur de 8. Donc, le pH de l'eau demeure plutôt alcalin et s'échelonne globalement entre 6,9 et 9,7 à l'exception de valeur (6) enregistrée le mois d'août à la station St7 qui peut être expliquée par une pollution ponctuelle. Les valeurs les plus alcalines sont attribuées à la saison estivale. Cette alcalinité est due à l'activité photosynthétique, et favorise la productivité du phytoplancton (Muckensturm, 1973 ; Arrignon, 1976 ; Afri et *al.*, 1983 ; Bouzid-Lagha et Djelita, 2012).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV. 6.** Variations spatio-temporelles du pH des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016



**Figure IV.7.** Amplitude des variabilités temporelles du pH des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Selon la figure IV.7, présentant l'amplitude de la variabilité temporelle du pH, nous pouvons voir clairement que les stations St1, St2, St4, St8 et St11, forment le groupe tendant vers les valeurs minimales de chaque station, ceci, est due principalement à leurs positions aux points les plus contaminés du barrage à l'exception de la station St11 à la digue du barrage, qu'on peut expliquer comme un point cumulant des eaux du barrage. Par contre, les stations St3, St5, St6, St7, St9 et St10, présentent une variabilité asymétrique tendant vers les valeurs maximales se sont les stations les plus alcalines.

En général, une augmentation du pH entraîne la précipitation des cations métalliques sous formes d'hydroxydes ou d'oxydes métalliques insolubles (Nambatingar, 2011). L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter la mobilité en solution d'où la biodisponible et par conséquent la toxicité. En outre, ce paramètre joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9 (Metahri, 2012). En eau douce, les milieux naturels sont généralement tamponnés à un pH de 7 à 8, le pH influe sur la forme chimique du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) qui présente dans l'eau différentes formes en équilibre. A pH neutre, la forme dominante est l'ion bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) ne se rencontre qu'à pH acide, cependant la forme carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) est pratiquement absente des eaux naturelles (Gaujous, 1995).

Le test statistique ANOVA a mis en évidence des variations temporelles très hautement significatifs ( $F=13,040$  ;  $p = 0,000$ ) par contre aucune variation n'a été soulevée dans l'espace ( $F= 1,475$ ,  $p = 0,149$ ). Ce résultat a bien été confirmé avec le test de Bonferroni. Ce dernier a mis en évidence la présence d'un seul groupe homogène regroupant l'ensemble des valeurs moyennes du pH. Les valeurs moyennes du pH obtenues oscillent entre 7,8 et 8,2. Selon la grille d'aptitude en fonction du pH (SEQ-Eau, 1999), la qualité des eaux du barrage en fonction du pH est qualifiée de très bonne à bonne (tab IV.2).

**Tableau IV.2.** Grille d'aptitude à la biologie en fonction du pH (SEQ-Eau, 1999)

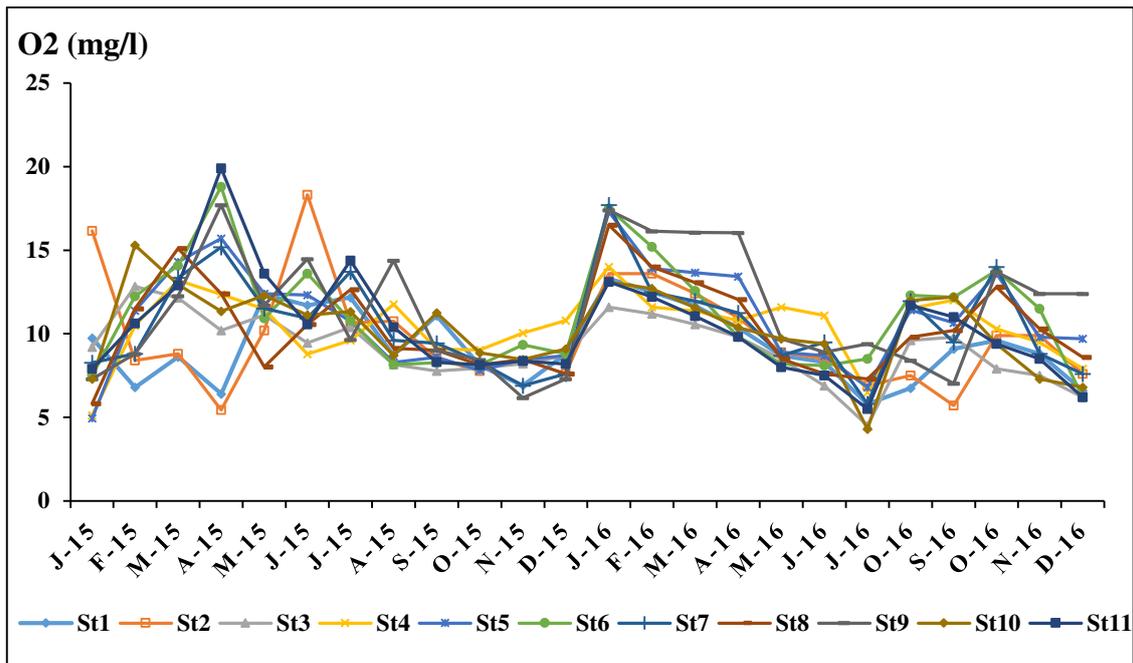
| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|---------|------------|-------|----------|----------|---------------|
| pH      | 8          | 8,5   | 9        | 9,5      | > 9,5         |

### IV.2.3 Oxygène dissous

L'oxygène est un paramètre important de l'écologie des milieux aquatiques, il est essentiel pour la respiration des organismes hétérotrophes. C'est la concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans une eau. L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (max 9 mg/l à 20°C) qui décroît avec la température et la présence de polluants dans l'eau. Une faible teneur en oxygène dissous est synonyme d'une forte charge polluante ou d'une température élevée de l'eau. C'est un paramètre utile dans le diagnostic de la qualité écologique et/ou biologique de l'eau.

L'oxygène dissous fluctue entre les extrêmes 4,9 et 19,9 mg/l. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées lors des saisons hivernale et printanière. Le suivi des teneurs en oxygène dissous a mis en évidence des sursaturations dans quelques stations marquées par trois pics 179 % et 220 % respectivement pour les mois de janvier et avril 2015 et 193 % pour janvier 2016. Cela, peut être expliqué par le débit important enregistré durant la période de pluie induisant le brassage de l'eau. Ce dernier favorise le contact air-eau et augmente la concentration en oxygène dissous (Makhoukh et *al.*, 2011).

En revanche, pour d'autres stations (St1, St2, St5 et St8) nous avons observé le phénomène inverse où les événements pluvieux conduisent à des teneurs en oxygène dissous relativement faibles. Ces stations sont situées aux embouchures des oueds et charrient, en saison de pluies, beaucoup de débris organiques dont la décomposition aérobie consomme une part importante de l'oxygène dissous. Les valeurs mesurées (5 à 19,9 mg/l) correspondent à des degrés de saturation en oxygène variant de 60 à 220 %.

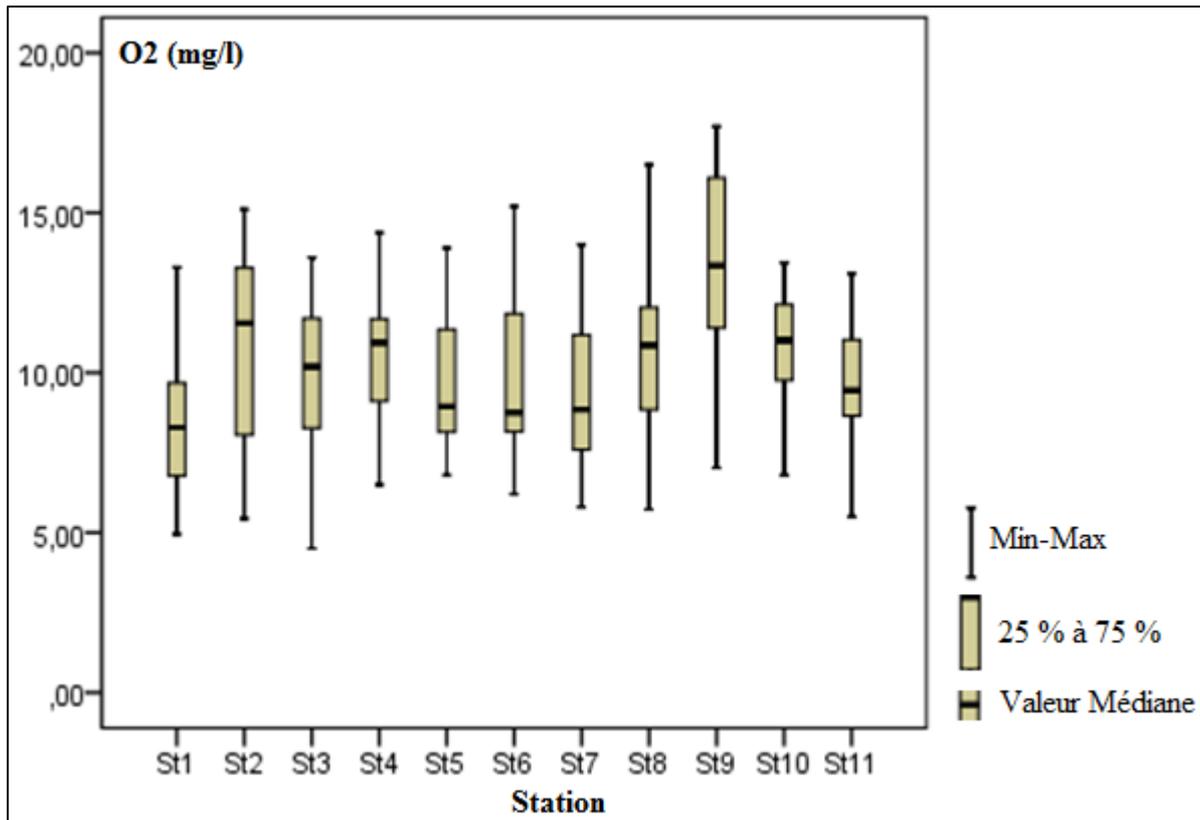


**Figure IV.8.** Variations spatio-temporelles des teneurs en oxygène dissous des eaux des stations du Barrage Béni-Haroun en 2015-2016

Les concentrations les moins élevées et qui restent néanmoins importantes sont paradoxalement enregistrées pendant les saisons printanière et estivale des deux années. En effet deux phénomènes antagonistes ont lieu : d'une part l'importante activité photosynthétique qui débute en avril tend à favoriser le teneur en O<sub>2</sub> et d'autre part l'augmentation saisonnière de la température qui tend à la limiter. Les concentrations en oxygène des eaux relevées présentent des variations spatio-temporelles très significatives ( $F = 6,729$ ,  $p = 0,000$ ) confirmées avec le test d'ANOVA.

Les médianes des teneurs en oxygènes dissous (fig IV.9) présentent une variation temporelle asymétrique dans la plupart des stations avec une tendance vers les maximas dans les stations St2, St3, St4, St8 et St10, due certainement à une augmentation de l'activité photosynthétique liée à la présence micro-algale remarquable lors de nos échantillonnages. Les stations St5, St6, St7, et St11 présentent une variabilité temporelle, tendant vers les valeurs minimales à l'exception de la station St1 qui s'isole avec une variabilité symétrique et la plus faible valeur de médiane. La station St9, en aval de l'embouchure de l'oued Rhumel, se montre la mieux oxygénée.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.9.** Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en oxygène dissous des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.

Malgré, cette variabilité spatiotemporelle très hautement significative, le test de Bonferroni a montré que les teneurs moyennes en O<sub>2</sub> se regroupent ensemble dans un seul groupe homogène (A) avec des valeurs fluctuant entre 8,67 et 10,77 mg/l.

Les valeurs moyennes de l'oxygène dissous obtenues des eaux des différentes stations étudiées varient en entre 8,5 et 13 mg/l. Selon la grille de la qualité des eaux de l'ABH (1999), la qualité des eaux de nos stations varie entre bonne à excellente (tab IV.3).

**Tableau IV.3.** Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction de l'oxygène dissous (ABH, 1999)

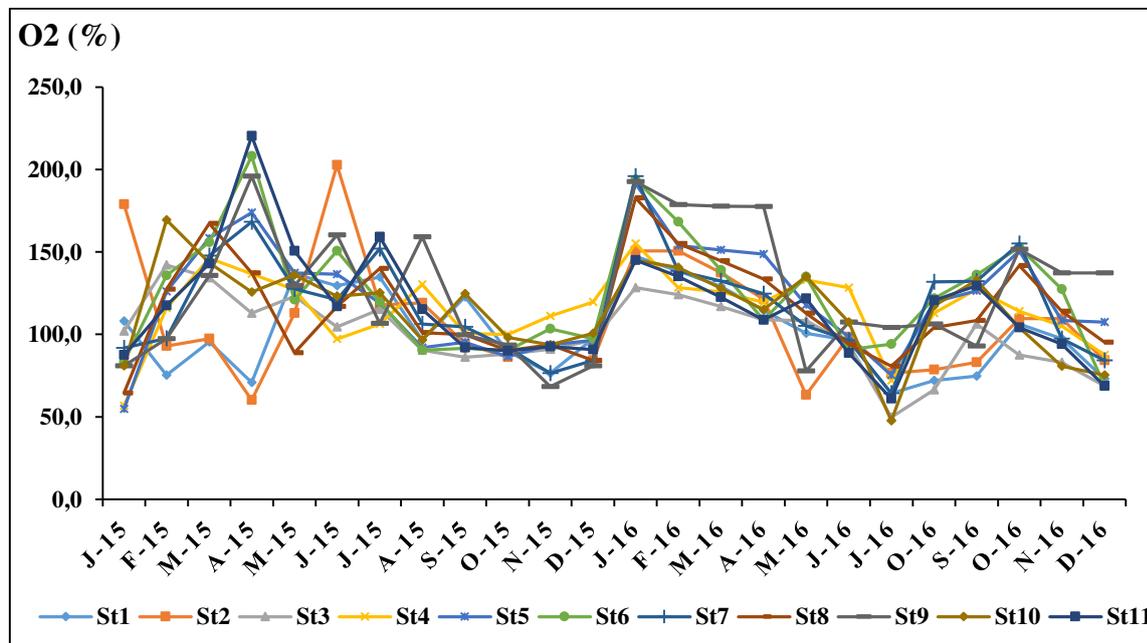
| Classe de qualité             | Excellente | Bonne   | Passable | Médiocre | Pollution excessive |
|-------------------------------|------------|---------|----------|----------|---------------------|
| O <sub>2</sub> dissous (mg/l) | > 7        | 5 à 7   | 3 à 5    | < 3      | 0                   |
| % de saturation               | >90        | 70 à 90 | 50 à 70  | <50      | 0                   |

## Chapitre IV : Résultats et discussion

L'oxygène dissous peut être exprimé en pourcentage de saturation plus expressif que la teneur en oxygène dissous exprimée en mg/l. Les eaux du barrage sont caractérisées par un taux de saturation qui peut s'avérer très élevé tels que 220 % en avril 2015 à la station St11 et 193 % en janvier 2016 à la station St9. Cette sursaturation en oxygène est caractéristique d'une forte activité photosynthétique, observée lors de notre investigation.

En général, les saturations d'oxygène sont supérieures à 60 %. À l'exception des valeurs 47,6 % et 54,8 % enregistrées respectivement le mois de juin à la station St10 et le mois de janvier à la station St5 ; cette diminution d'oxygénation est probablement due à leur localisation proche des points de contamination, et de ce fait elles reçoivent des eaux riches en matières organiques et minérales susceptibles de diminuer le pourcentage de saturation (fig.IV.10).

Selon Rodier *et al.* (2009), la quantité de l'oxygène dissous dans les eaux est liée particulièrement à la température, la pression atmosphérique et la salinité. La figure IV.10 présente le même profil que la figure IV.8, car les deux expressions de l'oxygène, teneur et pourcentage de saturation, sont dépendantes surtout de la température. En 2015, la station S11 est la plus oxygénée avec un pic à 220 %, alors qu'en 2016, la station St7 a révélé la valeur la plus élevée.

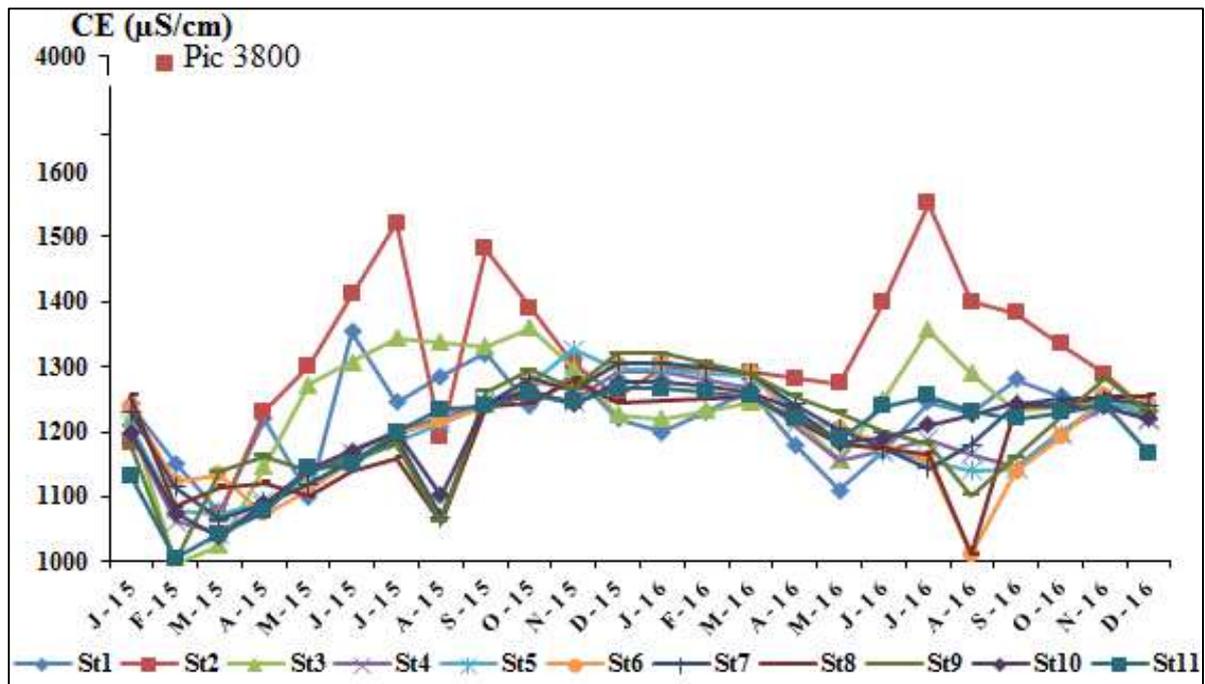


**Figure IV.10.** Variations spatiotemporelles du taux de saturation des eaux des stations d'étude du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

#### IV.2.4 Conductivité électrique (CE)

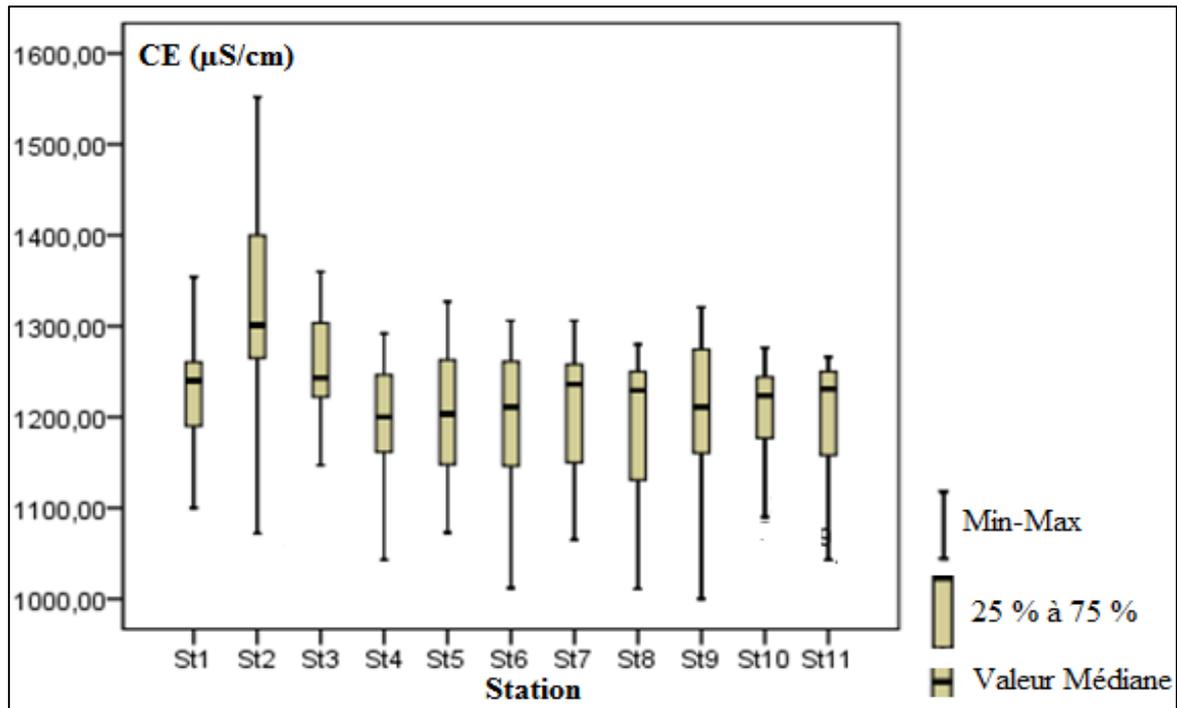
Les valeurs de la conductivité (fig IV.11) indiquent une minéralisation très élevée dépassant 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Un pic de 3800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est enregistré en février à la station St1 révélant, selon Rodier et *al.* (2009), une minéralisation excessive. La conductivité donne une mesure indirecte de la concentration en sels minéraux dissous dans l'eau, détectée par la teneur en ion libres. 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 Yon, 2005).

La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Il existe une corrélation entre la teneur en sels dissous d'une eau et la résistance qu'elle oppose au passage du courant électrique. Cette résistance est également fonction de la température : elle est plus importante lorsque la température augmente (El Bakouri, 2006). C'est un facteur vital à suivre lorsqu'on est intéressé par une réutilisation des eaux usées en agriculture (Shilton et *al.*, 2005).



**Figure IV.11.** Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux des stations d'étude du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.12.** Amplitude de la variabilité de la conductivité électrique des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

D'après le diagramme (fig.IV.12), l'amplitude de la variabilité des teneurs en CE est asymétrique dans la plupart des stations excepté la station St5. Les stations St1, St4, St6, St7, St8, St9, St10 et St11, présentent des teneurs qui tendent vers les valeurs maximales de chaque station. Le reste des stations St2 et St3 s'inclinent vers les valeurs minimales de chaque station avec la médiane la plus élevée enregistrée à la station St2, cette dernière reflète l'altération des eaux par les apports de la matière organique, provenant des différentes activités agricoles, d'élevage et des effluents domestiques rejetés directement dans le barrage. En plus du contexte géologique de la région, cette minéralisation qui dépasse 758,5 mg/l est liée à la nature et à la concentration de substances dissoutes du milieu (Zinsou et *al.*, 2016), a tendance à s'accroître suite aux rejets polluants d'origine domestique et agricole, généralement observés aux alentours des stations de prélèvement à l'exception de la station St11 proche de la digue du barrage sujette au brassage des eaux de différentes origines.

L'analyse de la variance ANOVA a montré que l'effet spatial sur la variabilité des teneurs en CE est très hautement significative ( $F = 3,663$  ;  $p = 0,000$ ). En revanche, aucune signification n'a été enregistrée dans le temps ( $F = 1,066$  ;  $p = 0,384$ ).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Ce résultat a été confirmé par le test de Bonferroni dont seulement deux groupes homogènes ont été mentionnés (tab IV.4) : groupe (A), rassemble l'ensemble des stations avec des moyennes oscillant entre 1190 et 1242  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et le groupe (B) formé par la seule station Mellel (St2) avec la moyenne la plus élevée.

**Tableau IV.4.** Résultats du Test Bonferroni des valeurs moyennes de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des différentes stations de prélèvement.

| Stations | CE      | A   | B   |
|----------|---------|-----|-----|
| Djellama | 1241,58 | *** |     |
| Kripssa  | 1224,67 | *** |     |
| Pont     | 1206,46 | *** |     |
| Metlili  | 1205,92 | *** |     |
| Anouche  | 1201,67 | *** |     |
| Ferdoua  | 1201,50 | *** |     |
| Medious  | 1201,42 | *** |     |
| Digue    | 1198,83 | *** |     |
| Haloufa  | 1195,38 | *** |     |
| Tourba   | 1189,54 | *** |     |
| Mellel   | 1424,08 |     | *** |

Les teneurs moyennes en CE varient entre 1000 et 1266  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Selon la grille de l'appréciation de la qualité des eaux de Masson (1988) (tab IV.5), les eaux de nos stations en fonction de ce paramètre sont de qualité médiocre.

**Tableau IV.5.** Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Masson, 1988)

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

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

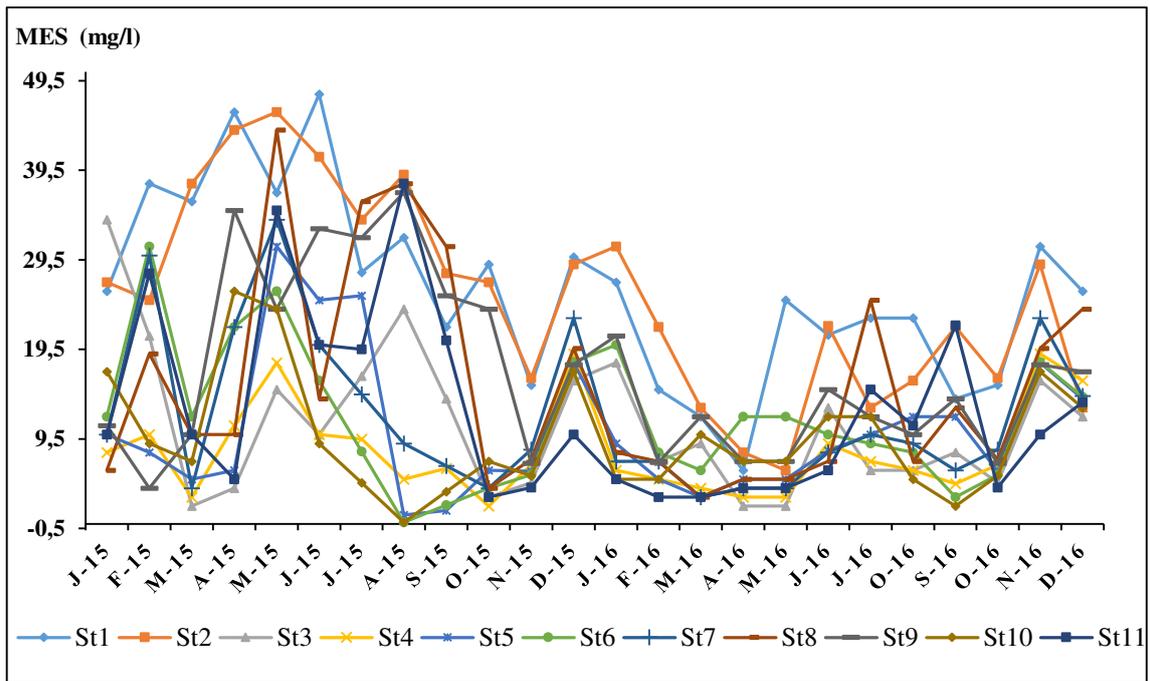
### **IV.2.5 Matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau.

La Figure IV.13 met en évidence l'évolution spatio-temporelle des teneurs en MES. L'analyse des résultats montre que les eaux étudiées dans les 11 stations sont caractérisées par des concentrations comprises entre 0,2 et 48 mg/l ( $14,7 \pm 11,90$  mg/l). Ce paramètre présente une évolution saisonnière très irrégulière d'une année à une autre. L'année 2015 a enregistré les teneurs en MES les plus élevés ; cette variabilité est liée fortement à la quantité de pluie qui a pu marquer cette année 729 mm.

Les teneurs en MES dans les eaux du barrage sont très variables tant dans le temps que dans l'espace ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets et autres. En comparant les deux années, les écarts de variations les plus élevés sont enregistrés au cours de l'année 2015 pratiquement toute l'année. Les teneurs obtenues varient entre (0,2 à 48 mg/l) respectivement pour la station St10 pendant le mois d'avril et la station St1 durant le mois de janvier. L'année 2016 suit la même allure que celle de l'année précédente mais avec des teneurs moindres dont les plus élevées varient entre 24 et 31 mg/l et les plus faibles de 2 à 9 mg/l. Les teneurs moyennes, au cours de cette période, fluctuent entre 8,2 mg/l à Ferdoua (St5) et 26 mg/l à Kripssa (St1).

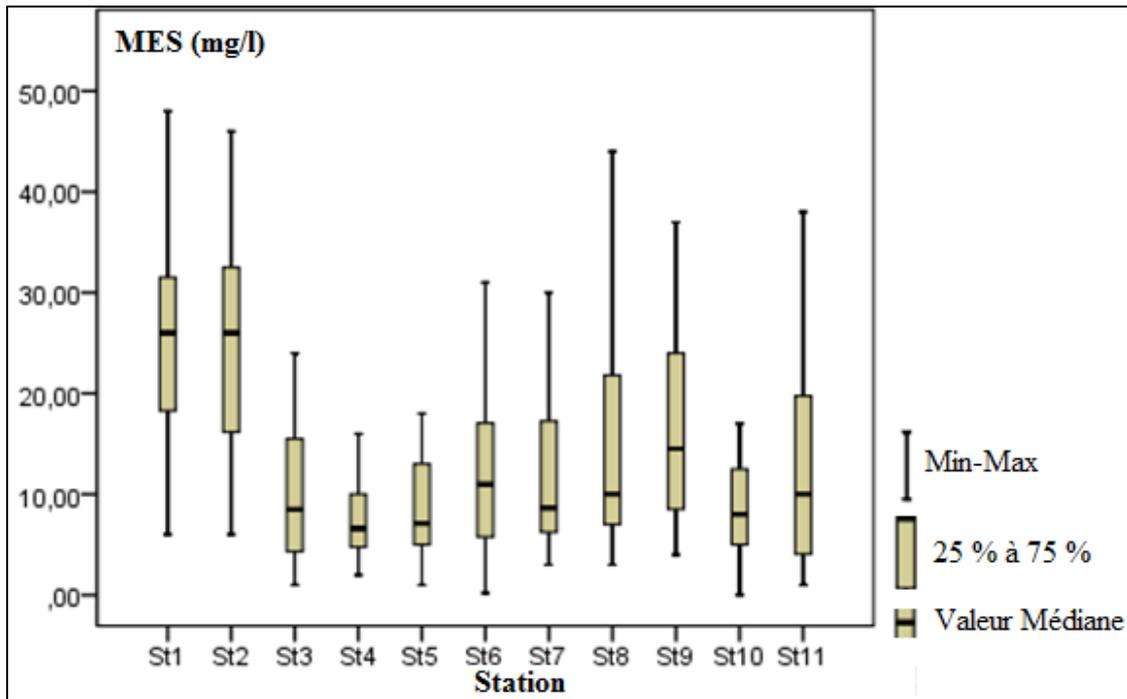
## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.13.** Variations spatio-temporelles des teneurs en MES des eaux des onze stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par 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...). D'une manière générale, la MES intervient dans la composition de l'eau par son effet d'échanges d'ions ou d'absorption aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les microorganismes (Belghyti et *al.*, 2009).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.14.** Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en matières en suspension des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

Selon le diagramme (fig IV.14), l'amplitude de la variabilité des teneurs en matières en suspension tend vers les valeurs minimales à l'exception des stations St1 et St2 où les valeurs tendent vers les maximales.

Le test ANOVA a révélé des variations spatio- temporelles très hautement significatives ( $p = 0,000$ ). Ce résultat a bien été confirmé par le test de Bonferroni (tab. IV.6) ; deux groupes homogènes se distinguent :

- le groupe (A), regroupe les stations de Kripssa (St1) et Mellel (St2) avec les moyennes les plus élevées supérieures à 26 mg/l. Ces deux stations sont les plus exposées aux apports hydriques de oued Endja ;
- alors que le groupe (B), rassemble le reste des stations avec des moyennes fluctuent entre 8,22 mg/l à Haloufa (St4) et 17 mg/l à Metlili (St9).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV. 6.** Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en MES (mg/l) des différentes stations de prélèvement.

| Stations | MES   | A   | B   |
|----------|-------|-----|-----|
| Kripssa  | 26,08 | *** |     |
| Mellel   | 25,23 | *** |     |
| Metlili  | 16,94 |     | *** |
| Tourba   | 15,40 |     | *** |
| Ferdoua  | 14,50 |     | *** |
| Pont     | 12,03 |     | *** |
| Digue    | 12,29 |     | *** |
| Medious  | 11,78 |     | *** |
| Djellama | 9,78  |     | *** |
| Anouche  | 9,50  |     | *** |
| Haloufa  | 8,22  |     | *** |

Les teneurs moyennes de la matière en suspension varient entre 9,5 et 26 mg/l. Selon Rodier *et al.* (2009), en dehors des périodes de crues, la teneur en MES est inférieure à 25 mg/l et on ne peut considérer la situation comme particulière ou anormale qu'à partir de 75 mg/l. Ainsi et d'après la grille de classification globale des eaux en fonction de la MES de Masson (1988), la situation de nos stations traduisant l'état des eaux de Béni Haroun sont normale et ne présente aucune anomalie à l'exception de 9,5 % de relevés qui ont été supérieurs à 30 mg/l (tab IV.7).

**Tableau IV.7.** Grille de la qualité globale de l'eau en fonction de leurs teneurs en MES (Masson, 1988)

| Classe     | Normale | Médiocre<br>Pollution importante | Mauvaise<br>Pollution excessive |
|------------|---------|----------------------------------|---------------------------------|
| MES (mg/l) | <30     | 31 à 70                          | >70                             |

## Chapitre IV : Résultats et discussion

### IV.3 Eléments nutritifs

#### IV.3.1 Eléments azotés

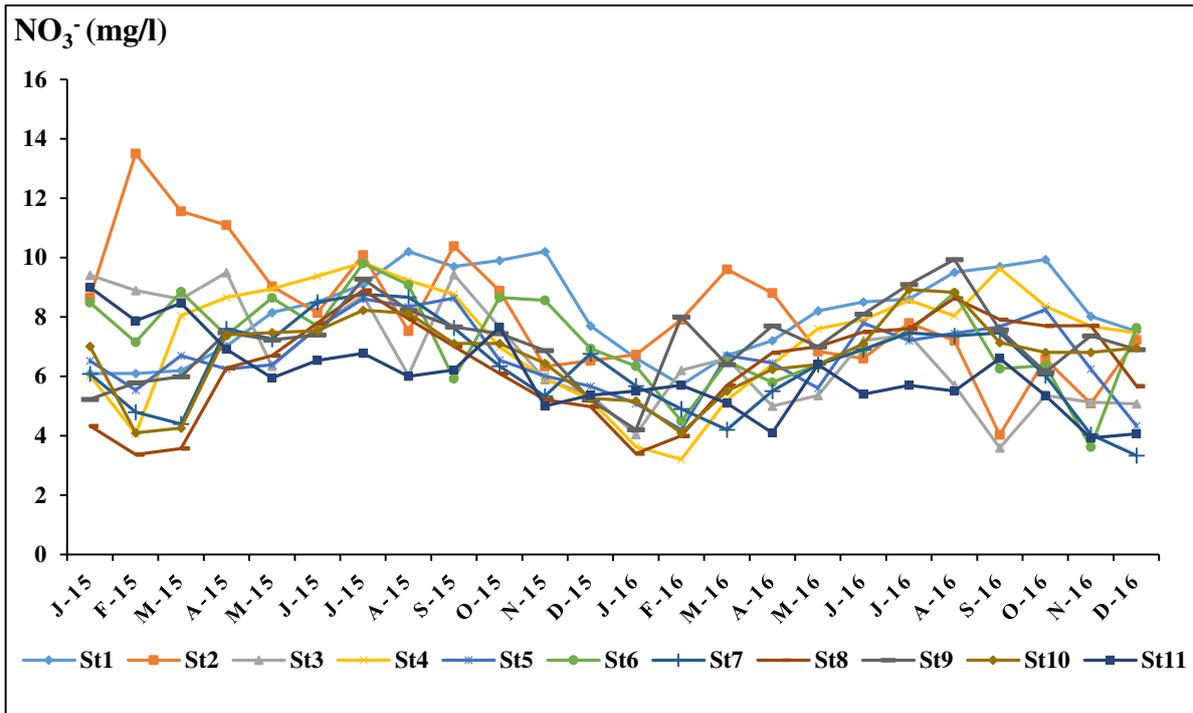
##### IV.3.1.1 Nitrate

L'évolution des teneurs en nitrate (fig IV.15) au niveau des 11 stations montre des variations spatio-temporelles oscillent entre 3,2 et 13,5mg/l. Les valeurs les plus élevées sont attribuées aux saisons printano-estivales des deux années aux stations (St1, St2, St6, St9 et St10) à l'exception d'un pic (13,5 mg/l) enregistré le mois de février à la station (St2). Le relatif enrichissement des eaux en nitrates pendant les périodes pluvieuses suggère que ces ions proviennent du lessivage des sols par ruissellement, des apports de déchets d'origine végétale et animale riches en composés organiques azotés et des apports d'origine urbaine surtout par sa position proche d'embouchure de l'oued Endja. Les valeurs moyennes des nitrates varient entre 5,7 mg/l et 9,08 mg/l. La plus faible est attribuée à la station St11 près de la digue du barrage.

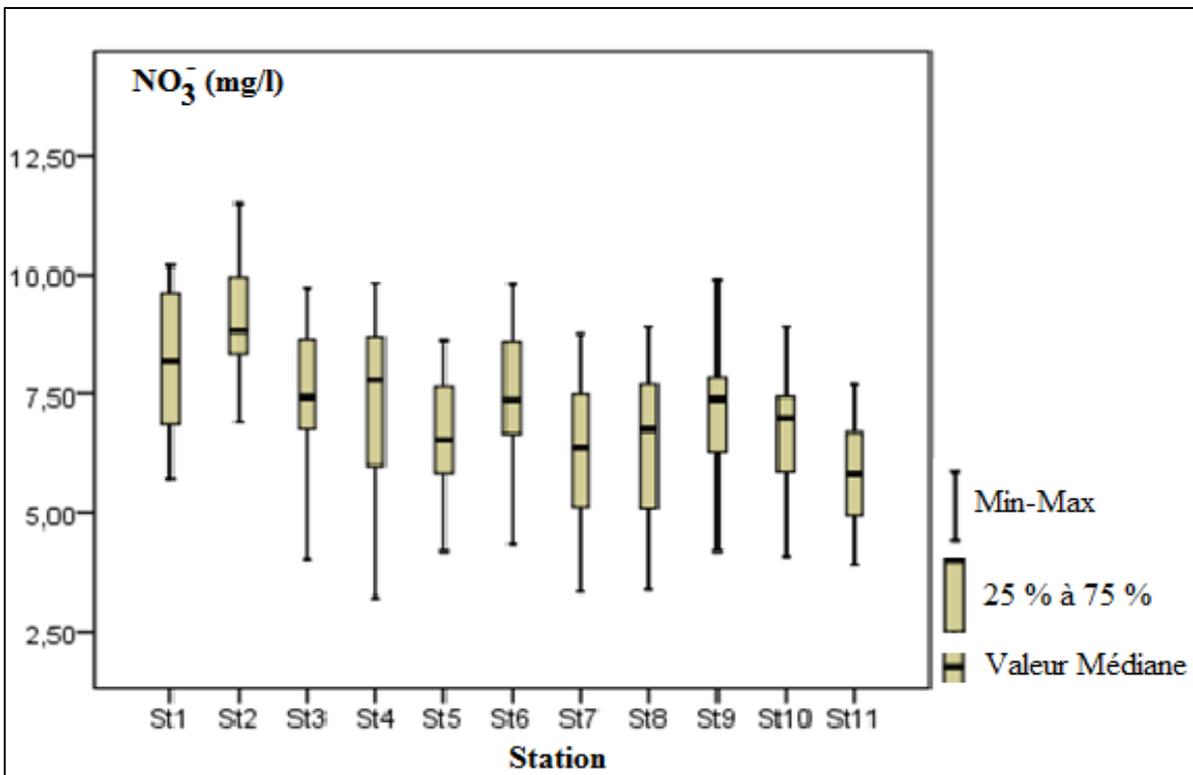
Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), l'une des formes d'azote que l'on retrouve dans les eaux superficielles et souterraines, résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux (Chapman et Kimstach, 1996). Elles sont généralement la principale forme d'azote présente dans les eaux à teneur normale en oxygène dissous et peuvent provenir directement de la libération dans les eaux par des sources industrielles, résidentielles et agricoles (Cellamare, 2009).

La variabilité des nitrates dans le temps et dans l'espace a été testée par l'ANOVA. Le résultat a révélé une variation spatio-temporelle très hautement significative ( $p = 0,000$ ). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les stations les plus exposées aux apports de lessivage et d'activités anthropiques, en partie dues à l'utilisation intensive d'engrais azotés. Ils se trouvent essentiellement dans les engrais et constituent la source majeure de matières azotées des plantes. D'après, Derradji et al. (2007), les deux tiers de la pollution par les nitrates sont causés par les cultures et l'élevage intensif auxquels s'ajoutent ceux de la minéralisation ultime des autres formes azotées ( $\text{N}$  organique,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) rejetées aux amonts (oued Rhumel et Endja dans notre cas).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.15.** Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrate des stations d'étude du barrage de Béni Haroun.



**Figure IV.16.** Amplitude des variabilités spatio-temporelles des teneurs en nitrates des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

L'amplitude de la variabilité des teneurs en nitrates enregistrée (fig IV.16) présente des allures asymétriques dans toutes les stations. La teneur de la médiane la plus élevée est enregistrée à la station St2, alors que la station St11 se démarque par la plus faible médiane. Cette variabilité concorde bien avec les résultats du test d'ANOVA.

Le test de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) fait ressortir six groupes homogènes (tab. IV.8). La station de Mellel (St2) se distingue ainsi dans un groupe à part (A) avec la charge la plus élevée en nitrate suivie par les stations les plus proches d'elle Kripssa St1 et Djellama St3 dans un deuxième groupe (AB). Ces résultats s'observent à proximité des rejets urbains et les apports d'oued Endja. Ainsi les autres stations se regroupent comme suit :

- groupe (BCD), réunie Haloufa (St4) et Medious (St6) avec la même teneur en nitrate 7,3 mg/l avec lesquelles viens s'ajoute celle de Metlili (St9) avec une teneur très proche 7,2 mg/l ;
- groupe (BCDE), rassemble les stations de Ferdoua St5 et Anouche (St10) avec la même teneur moyenne de nitrate 6,7 mg/l, suivies par les stations de Tourba St8 et celle du Pont St7 avec une teneur 6,3 mg/l ;
- au dernier groupe, la station digue St11 s'abstrait de l'ensemble des autres stations par la moyenne la plus basse dans le groupe (CDEF).

**Tableau IV. 8.** Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en nitrate (mg/l) des stations du barrage Béni-Haroun.

| Stations | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | A   | B   | C   | D   | E   | F   |
|----------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Mellel   | 9,1                          | *** |     |     |     |     |     |
| Kripssa  | 8,1                          | *** | *** |     |     |     |     |
| Djelama  | 7,6                          | *** | *** |     |     |     |     |
| Haloufa  | 7,3                          |     | *** | *** | *** |     |     |
| Medious  | 7,3                          |     | *** | *** | *** |     |     |
| Metlili  | 7,2                          |     | *** | *** | *** |     |     |
| Ferdoua  | 6,7                          |     | *** | *** | *** | *** |     |
| Anouche  | 6,7                          |     | *** | *** | *** | *** |     |
| Pont     | 6,3                          |     | *** | *** | *** | *** |     |
| Tourba   | 6,3                          |     | *** | *** | *** | *** |     |
| Digue    | 5,8                          |     |     | *** | *** | *** | *** |

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Cependant, les teneurs des  $\text{NO}_3^-$  relevées en deux années (2015-2016) pour les onze stations du barrage Béni-Haroun avec des teneurs moyennes oscillent entre 5,8 et 9 mg restent inférieures à la valeur guide 25 mg/l (Rodier et *al.*, 2009), et confèrent aux eaux de la retenue une bonne qualité répondant à la qualité exigée pour les eaux douces superficielles destinées à la production d'eau potable (ABH, 1999).

**Tableau IV. 9.** Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrates (ABH, 1999)

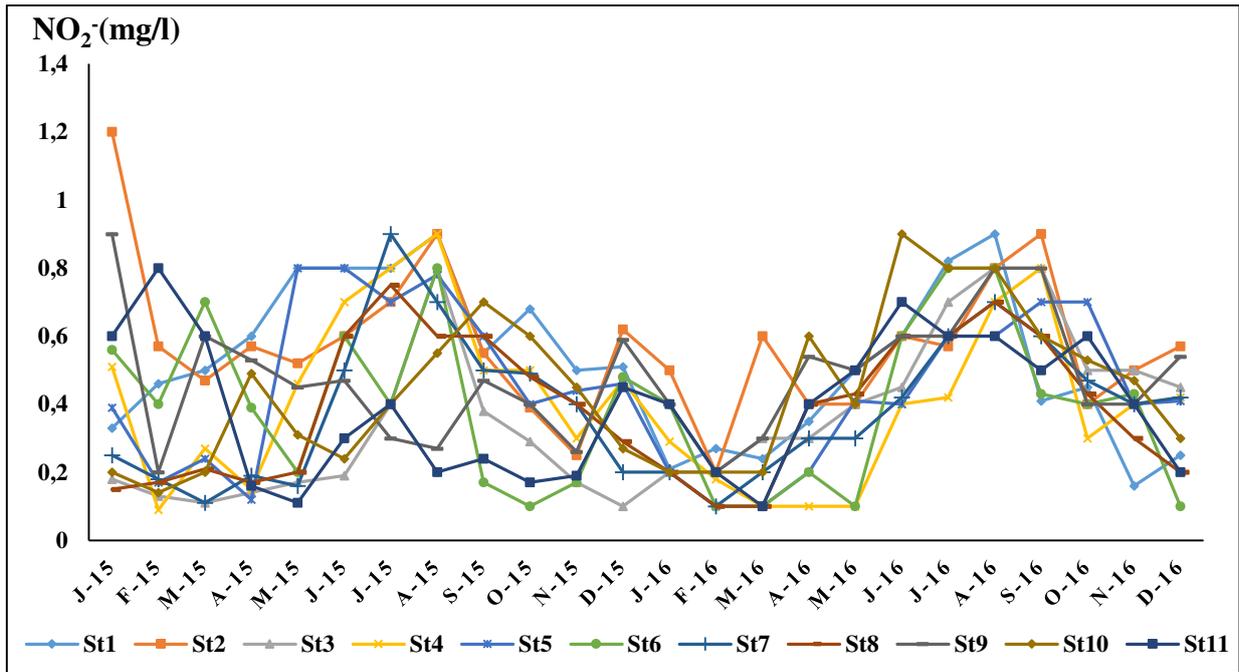
| Classe de qualité      | Excellente | Bonne  | Passable | Médiocre | Pollution excessive |
|------------------------|------------|--------|----------|----------|---------------------|
| $\text{NO}_3^-$ (mg/l) | < 5        | 5 à 25 | 25 à 50  | 50 à 80  | >80                 |

### IV.3.1.2 Nitrite

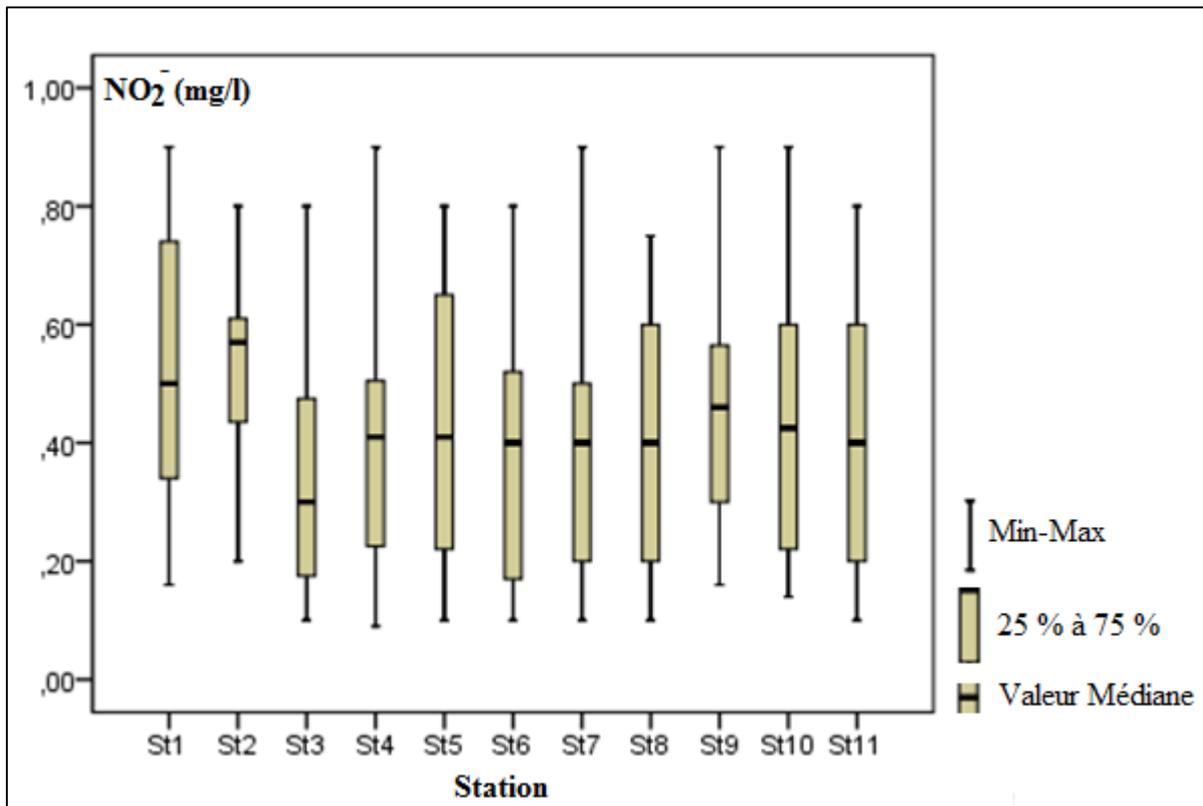
Les  $\text{NO}_2^-$  constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est donc normalement rare ou en faible quantité (Thomas, 1966 ; Rejsek, 2002).

Les relevés mensuels des concentrations en nitrites (fig IV.17) montrent des variations similaires à celles des nitrates suivant un rythme vraisemblablement saisonnier. Les valeurs sont globalement faibles, entre 0,01 et 0,9 mg/l, à l'exception du mois de janvier et février de l'année 2015 où les valeurs varient entre 0,09 et 1,2 mg/l. Les valeurs enlevées des nitrites sont dues probablement à l'effet de la température qui était de l'ordre de 24,6°C. En fait, la température joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique (oxydation de la forme ammonium). La nitrification est optimale pour des températures variantes de 25 à 37°C et peut même avoir lieu à 42 °C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C (Rodier et *al.*, 2009).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.17.** Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrites des eaux des stations d'étude du barrage Béni-Haroun en 2015-2016



**Figure IV.18.** Amplitude des variabilités spatio-temporelles des teneurs en nitrites des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Le diagramme ci-dessus (fig. IV.18), montre une large amplitude de la variabilité des teneurs en nitrites dans l'ensemble des stations. La distribution symétrique est observée aux stations (St8 et St11), alors que celle asymétrique, aux stations (St2, St4, St6, St7, St9 et St10) avec une tendance vers la valeur maximale de chaque station. Les stations (St1 et St3), forment le groupe tendant vers le minima. Le teste d'ANOVA a montré des variations temporelles très hautement significatives ( $F = 8,755$  ;  $p = 0,000$ ) alors que la faible variabilité spatiale des teneurs en nitrites signalée par l'analyse de l'ANOVA ( $F = 2,038$  ;  $p = 0,030$ ) a été bien confirmée par le test de Bonferroni (tab IV.10).

**Tableau IV.10.** Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en nitrite (mg/l) des stations du barrage de Béni Haroun.

| Stations | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | A   | B   | C   |
|----------|------------------------------|-----|-----|-----|
| Mellel   | 0,56                         | *** |     |     |
| Kripssa  | 0,52                         | *** |     |     |
| Anouche  | 0,48                         | *** | *** |     |
| Metlili  | 0,46                         | *** | *** |     |
| Ferdoua  | 0,45                         | *** | *** |     |
| Haloufa  | 0,41                         | *** | *** |     |
| Pont     | 0,39                         |     | *** | *** |
| Tourba   | 0,39                         |     | *** | *** |
| Digue    | 0,39                         |     | *** | *** |
| Medious  | 0,37                         |     | *** | *** |
| Djelama  | 0,36                         |     | *** | *** |

D'après le tableau ci-dessus, les teneurs moyennes en nitrites font apparaitre trois groupes de stations homogènes :

- le groupe (A) se matérialise avec les stations véhiculant les eaux d'oued Endja, celle de Mellel (St2) avec la teneur la plus élevée 0,6 mg/l suivie par la station la plus proche Kripssa (St1) avec une teneur de 0,52 mg/l.
- le groupe (AB) renferme les stations de Haloufa (St4), Ferdoua (St5), Metlili (St9) et Anouche (St10) avec des moyennes comprises entre 0,45 et 0,48 mg/l ;

## Chapitre IV : Résultats et discussion

➤ le groupe (BC) englobe les stations Djellama (St3), Medious (St6), Pont (St7), Tourba (St8) et la digue (St11) avec des moyennes aussi proches variant entre 0,36 et 0,39 mg/l.

Les teneurs moyennes en nitrites varient entre 0,09 mg/l enregistrée dans les eaux de la station Haloufa (St4) et 0,9 mg/l à celle de Mellel (St2). Ces valeurs obtenues des nitrites dépassent celle indicative par le décret exécutif n°11-219 (JORA, 2011) qui est 0,2 mg/l. Ainsi les teneurs moyennes des nitrites variant entre 0,4 et 0,6 mg/l traduisent une qualité passable des eaux du barrage selon la grille de classification des eaux de l'ABH (1999) (tab IV.11).

**Tableau IV. 11.** Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrites (ABH, 1999)

| Classe de qualité                   | Excellente | Bonne     | Passable | Médiocre | Pollution excessive |
|-------------------------------------|------------|-----------|----------|----------|---------------------|
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | < 0,1      | 0,1 à 0,3 | 0,3 à 1  | 1 à 2    | >2                  |

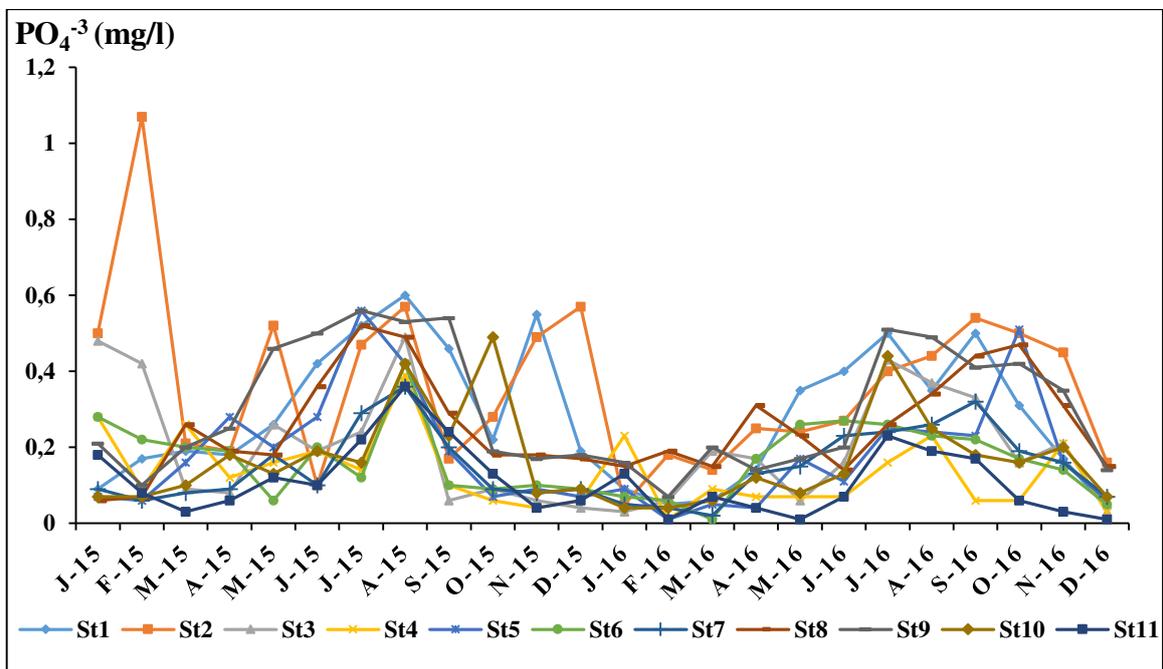
Les nitrites caractérisent également les milieux à eutrophisation active. Ainsi, les valeurs relativement élevées notées aux printemps et en été sont dues peut-être à une activité photosynthétique accélérée pendant cette période où la dégradation de la matière organique, particulièrement d'origine végétale, entraîne momentanément des déficits en oxygène dissous. Cependant, les faibles concentrations rencontrées pourraient être expliquées par le fait que l'ion nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium.

### IV.3.2 Phosphates

Les phosphates s'échappent en majeure partie (80 %) au traitement des stations d'épurations biologiques classiques et de ce fait, se retrouvent dans les rejets. Le phosphore, indicateur de la pollution et l'un des nutriments importants, il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation (Iounes et *al.*, 2016).

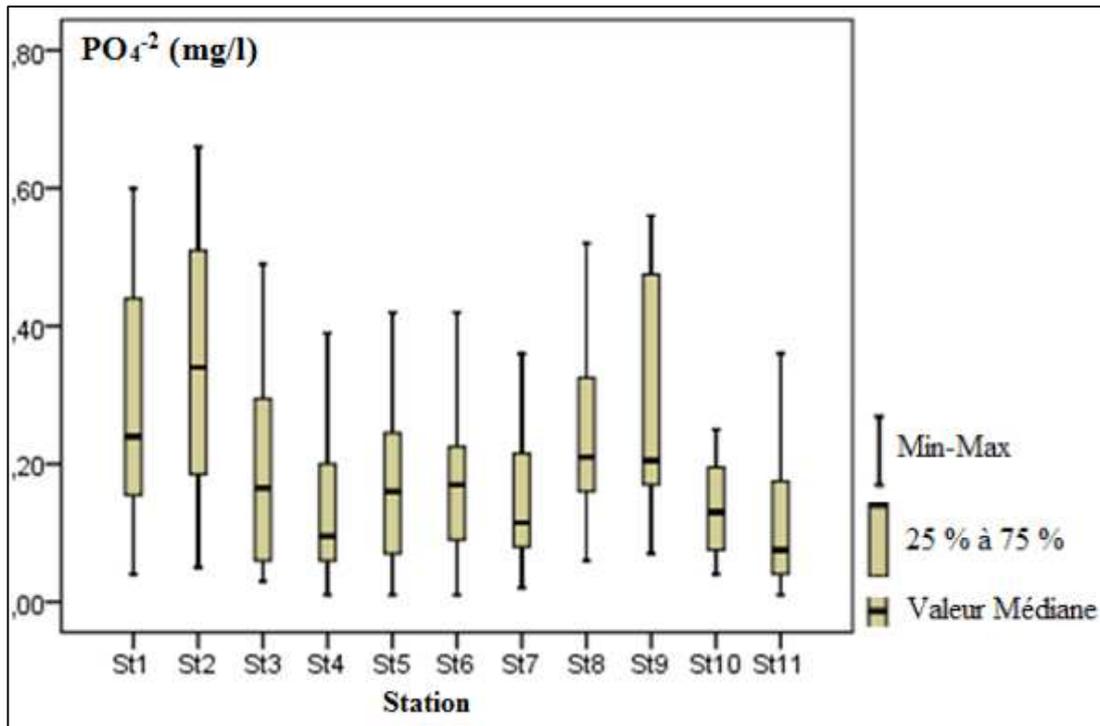
## Chapitre IV : Résultats et discussion

Selon la figure IV.19, présentant la dynamique des phosphates dans le temps et dans l'espace, nous remarquons que les valeurs les plus élevées des deux années sont attribuées aux saisons printanières et estivales à l'exception d'un pic (1,07 mg/l) observé le mois de février de l'année 2015. Ce dernier pourrait être expliqué par l'augmentation des composés organiques dans l'eau lors des crues, ce qui favorise une minéralisation très poussée de la matière organique (Ouhmidou et *al.*, 2015). En outre, selon Martin (1980), les agents atmosphériques, vent et pluie, représentent aussi des sources de phosphates. Les valeurs les plus élevées varient entre (0,36 - 0,6 mg/l) et entre (0,19- 0,54 mg/l) respectivement pour les années 2015 et 2016.



**Figure IV.19.** Variations spatio-temporelles des teneurs en phosphates des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.

La figure IV.20, permet de voir que les teneurs en phosphates présentent des distributions assez larges dans certaines stations St1, St2, St3 et St9 par rapport au reste des stations. En général les phosphates avec leurs grandes variabilités temporelles tendant vers la valeur maximale dans les stations St5 et St6 et vers les minimales pour les stations St1, St3, St4, St7, St8, St9, St10 et St11. Les plus basses médianes correspondent aux stations St4 et St11.



**Figure IV. 20.** Amplitude des variabilités spatio-temporelles des teneurs en phosphates des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016

Le test ANOVA a montré des variations spatio-temporelles très hautement significatives respectivement pour ( $F = 7,830$  ;  $p = ,000$  et  $F = 5,448$  ;  $p = 0,000$ ). Ce résultat est confirmé par le test de Bonferroni qui a révélé une large hétérogénéité de stations.

Le cycle du phosphate, extrêmement complexe, est en effet régi par un ensemble de processus de dilution, adsorption et précipitation, essentiellement conditionnés par le pH et la composition chimique des sols (Biederman et Yon, 2005) ou des sédiments dans le cas de la retenue. Les phosphates peuvent être d'origine organique ou minérale, le plus souvent, leur teneur dans les eaux naturelles résulte de leur utilisation en agriculture, de leur emploi comme additifs dans les détergents et comme agents de traitement des eaux de chaudières. Leur présence dans les eaux de certains puits en zone rurale, indique la proximité de fumiers, de fosses septiques ou la possibilité d'infiltration d'eaux de ruissellement agricoles, riches en engrais. Les phosphates sont considérés comme responsables du phénomène d'eutrophisation en rivière. Au moment du développement du plancton végétal printanier, Le phosphore est un paramètre important puisqu'il est l'un des éléments nutritifs nécessaire au développement du phytoplancton (Rossi, 2009). Sa teneur dans l'eau peut alors descendre en dessous de la limite de détection des méthodes d'analyse courantes (Rodier et *al.*, 2009).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Les concentrations rencontrées dans le barrage indiquent un enrichissement d'origine domestique et agricole provenant du bassin versant, ainsi que l'existence d'apports directs venant des activités agricoles et d'élevage bien observées lors de notre investigation. Selon les valeurs guides retenues par l'ABH (1999), les valeurs sont non négligeables ce qui nécessite un suivi et peut être même un traitement poussé lorsque l'eau est destinée à la consommation humaine. D'autres teneurs en phosphate des eaux du barrage sont faibles mais ce résultat peut indiquer une rétention du phosphate bio-assimilable par les phosphates d'aluminium, de fer ou de chaux.

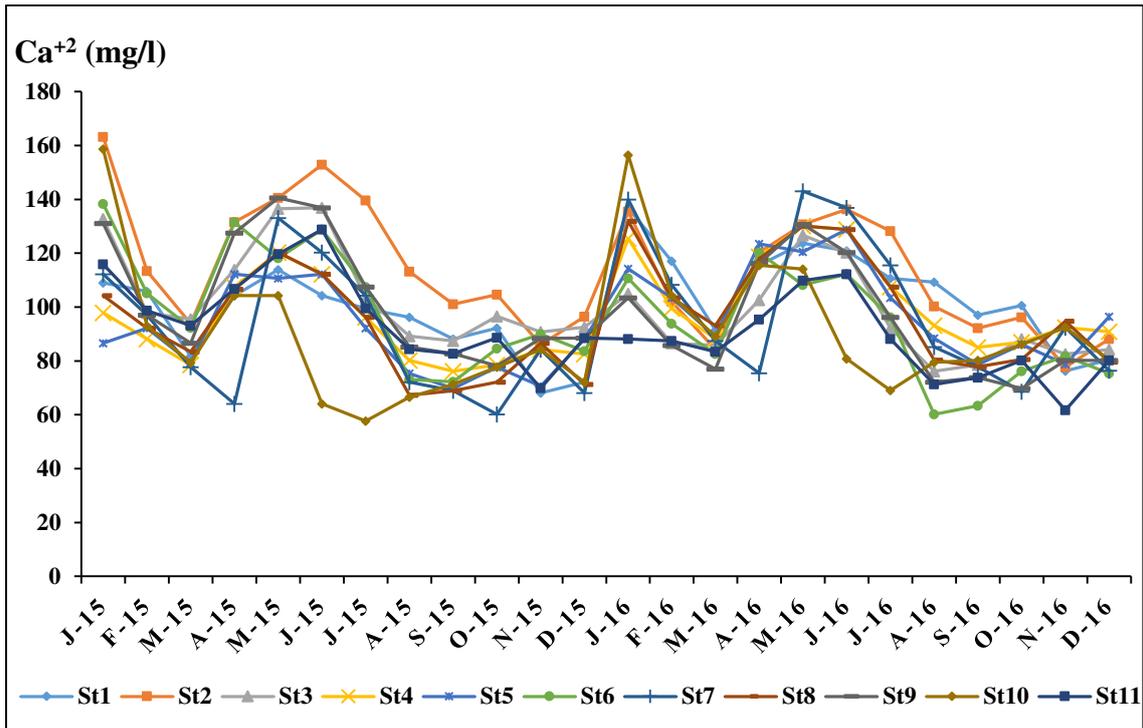
**Tableau IV.12.** Grille de classification de la qualité des eaux de surface en fonction des phosphates (ABH, 1999).

| Classe de qualité                    | Excellente | Bonne     | Passable | Médiocre | Pollution excessive |
|--------------------------------------|------------|-----------|----------|----------|---------------------|
| PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l) | < 0,2      | 0,2 à 0,5 | 0,5 à 1  | 1 à 2    | > 2                 |

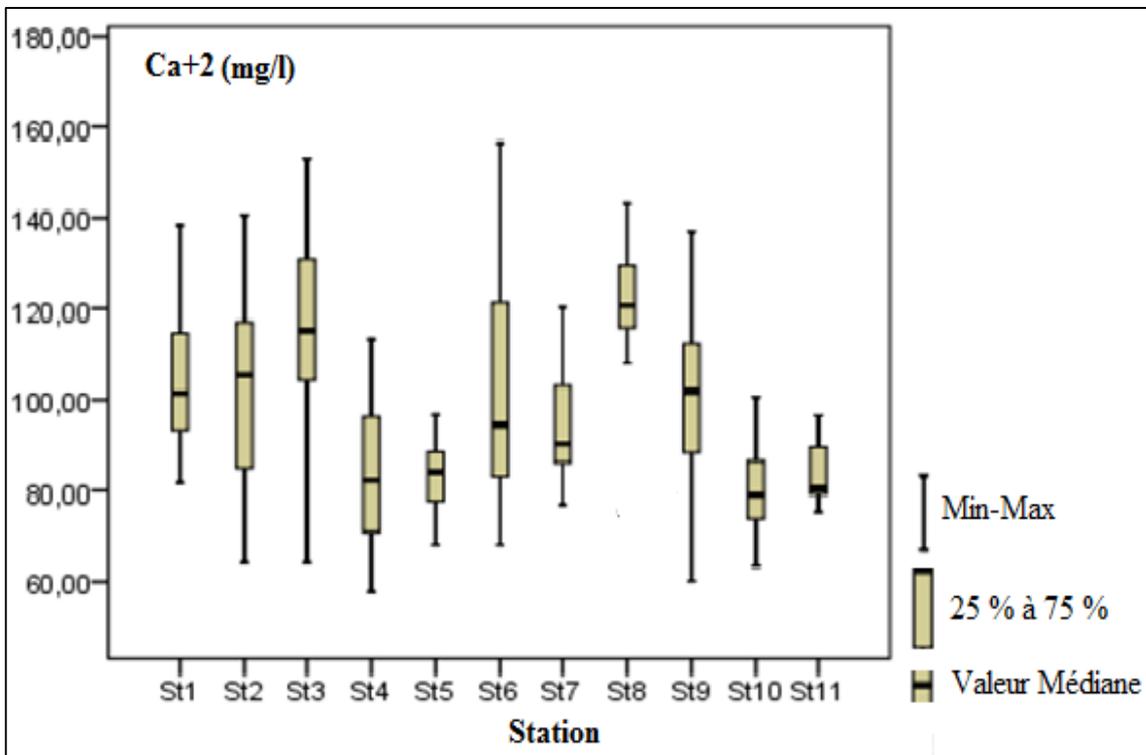
### IV.3.3 Calcium

Le calcium est un métal alcalinoterreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates (Brémond et Vuichard, 1973). Les concentrations en ions Ca<sup>+2</sup> vont de 93 à 163 mg/l pendant la saison pluvieuse et 53 à 152 durant la saison sèche de l'année 2015. L'année 2016 présente une variation identique que celle de l'année précédente avec des teneurs en calcium de 88 à 156 mg/l en saison humide et 60 à 137 mg/l en saison sèche. La hausse relative des teneurs en ces ions dans les stations proches des points d'altération situés aux embouchures des différents oueds (St1, St2, St6, St9 et St10), est favorisée par les apports hydriques qui solubilisent les carbonates de calcium des roches du bassin versant. Elle traduit donc la nature calcaire des terrains traversés. Toutes les valeurs déterminées restent inférieures à 200 mg/l aux normes préconisées par le décret exécutif n°11-219 (JORA, 2011).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV. 21.** Variations spatio-temporelles des teneurs en calcium des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016



**Figure IV. 22.** Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en calcium des eaux des stations du barrage Béni-Haroun.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Cette représentation graphique (fig IV.22), montre l'amplitude de la variabilité temporelle mise en évidence par trois formes de distribution : la première amplitude de variabilité tend vers la maximale et comporte les stations St2, St5 et St9, la deuxième englobe les stations St1, St3, St4, St6, St7, St8, St10 et St11. Les plus faibles médianes sont enregistrées aux stations St10 et St11. D'après une analyse d'ANOVA, aucun effet temporel n'a été enregistré sur la répartition du calcium au niveau des différentes stations ( $F= 0,300$  ;  $p = 0,999$ ). Alors que l'effet spatial a montré une variation très hautement significative ( $F= 17,058$  ;  $p = 0,000$ ). Le test de Bonferroni (tab. IV.5) a révélé la présence de quatre groupes de stations homogènes :

- le premier groupe (A) formé par la station Tourba (St8) avec la moyenne la plus élevée, s'isole des autres stations ;
- un deuxième (AB) rassemble les stations Djellama (St3), Kripssa (St1), Mellel (St2) et Medious (St6) ;
- le groupe (BC), s'écarte des autres stations avec les stations Pont (St7) et Metlili (St9) ;
- le dernier groupe (C), englobe les stations Ferdoua (St5), Anouche (St10) et la digue (St11).

Les teneurs élevées seraient dues probablement soit à la dissolution des carbonates ou à la nature géologique des terrains traversés (Brémond et Vuichard, 1973 ; Farah, 1991). Selon le travail de Boudoukha (2017), les teneurs élevées du calcium dans les eaux du barrage Béni-Haroun proviennent de la dissolution de la calcite. Dépendant de la température, du pH et de l'alcalinité de l'eau, la concentration en calcium constitue un facteur favorisant selon le cas soit l'entartrage (forte teneur), soit la corrosion (faible teneur) des canalisations.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV. 13.** Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en calcium (mg/l) des stations du barrage Béni Haroun.

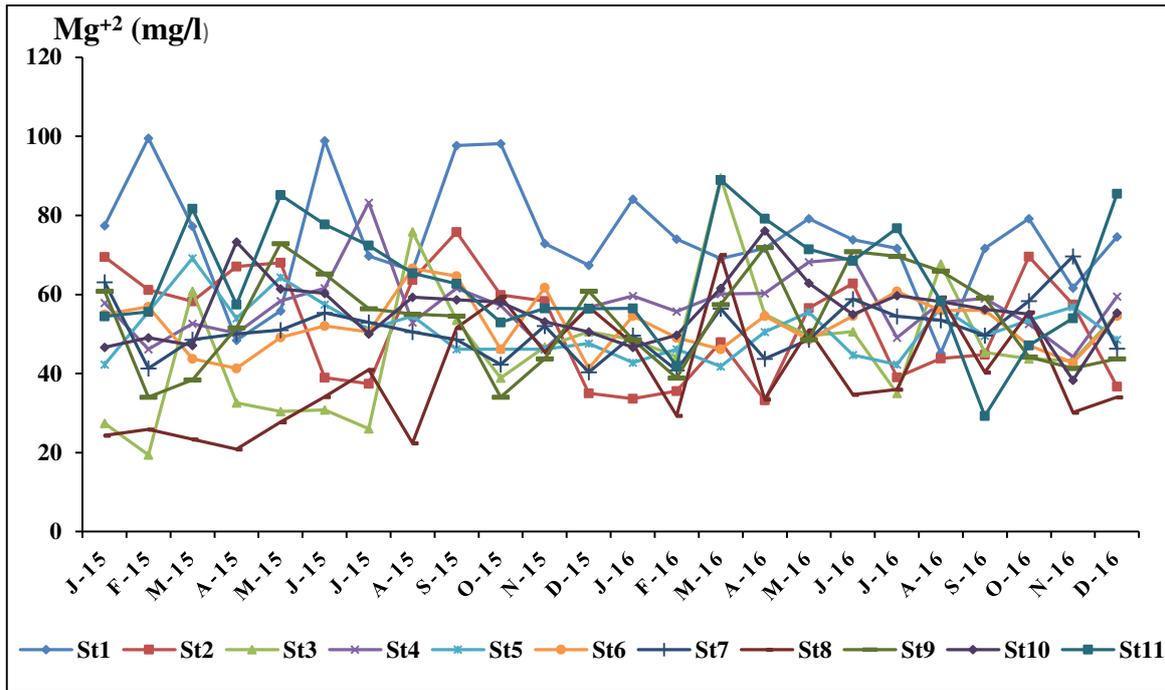
| Stations | Ca <sup>+2</sup> | A   | B   | C   |
|----------|------------------|-----|-----|-----|
| Tourba   | 120,23           | *** |     |     |
| Djellama | 116,43           | *** | *** |     |
| Kripssa  | 108,57           | *** | *** |     |
| Mellel   | 103,63           | *** | *** |     |
| Medious  | 101,60           | *** | *** |     |
| Metlili  | 100,75           |     | *** | *** |
| Pont     | 94,34            |     | *** | *** |
| Haloufa  | 83,35            |     |     | *** |
| Ferdoua  | 82,52            |     |     | *** |
| Digue    | 82,90            |     |     | *** |
| Anouche  | 80,61            |     |     | *** |

### IV.3.4 Magnésium

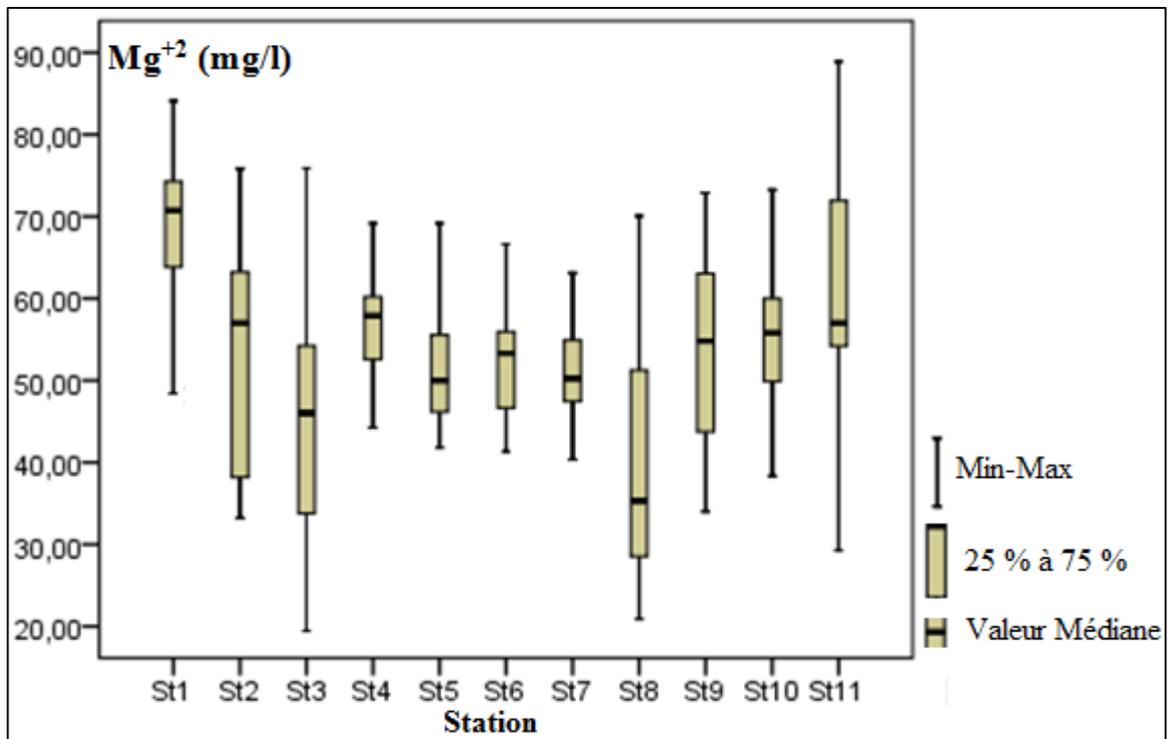
Le magnésium est indispensable à l'activité photosynthétique car il entre à la fois dans la composition de la chlorophylle et intervient comme cofacteur de la rubisco (Becker, 1994 ; Pelmont, 2008). Pour les ions Mg<sup>+2</sup>, les teneurs varient entre 19,44 et 99,55 mg/l en 2015 et de 22,36 à 97,69 mg/l en 2016. Les teneurs en magnésium les plus élevées sont enregistrées à la station St1 au cours de l'année 2015. Ceci est probablement lié à la quantité de pluie tombée ; en fait l'année 2015 a été plus pluvieuse que celle du 2016.

Selon Brémond et Vuichard (1973), le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans en être l'élément essentiel. En effet, le rapport Mg/Ca est en général très inférieur à 1. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau et influe sur sa productivité. Son effet sera similaire à celui du calcium. Une très forte concentration en magnésium peut être néfaste à la vie piscicole en particulier pour l'élevage des Salmonidés. Sa toxicité est surtout liée aux anions avec lequel il est combiné. Les valeurs du calcium emportent bien sur celles de magnésium, ce qui donne sûrement au calcium la plus grande contribution à la dureté de l'eau.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV. 23.** Variations spatio-temporelles des teneurs en magnésium des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.



**Figure IV. 24.** Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en magnésium des eaux des stations du barrage Béni Haroun.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Concernant le magnésium, l'amplitude de sa variabilité temporelle est similaire à celle du calcium mais avec des valeurs tendant vers les valeurs maximales dans les stations St1, St2, St3, St4, St6, St9 et St10 avec les médianes les plus élevées. Alors que les stations St5, St7, St8 et St11, présentent une variabilité asymétrique inclinée vers les valeurs minimales. La plus faible teneur médiane est enregistrée à la station St8. L'analyse de la variabilité spatiotemporelle des teneurs en magnésium par le test d'ANOVA a montré une variation de ce paramètre très hautement significative d'une station à une autre ( $F = 7,83$  ;  $p = 0,000$ ), alors qu'aucune variation temporelle n'a été soulevé ( $F = 1,042$  ;  $p = 0,414$ ). Ce résultat a bien été confirmé par le test de Bonferroni qui a révélé le résultat porté dans le tableau IV.14. Il en ressort cinq groupes de stations homogènes répartis comme suit :

- un groupe (A) : se dégage avec la station Kripssa (St1), caractérisée par la teneur la plus élevée, liée probablement aux activités maraîchères pratiquées dans cette région et celle près de la digue (St11), représentant le brassage des différentes eaux alimentant le barrage ;
- un groupe (B) : réunit les stations de Haloufa (St4), Metllili (St9) et Anouche (St10) ;
- un groupe (BC) : rassemble les stations Mellel (St2) et Medious (St6), situées aux embouchures respectivement d'oued Endja et oued Mila ;
- un groupe (BD) : englobe les stations de Ferdoua (St5), Pont (St7) et Djellama (St3), avec des teneurs proches de celles du groupe (BC). Ces trois stations font partie de la région de Sidi Marouen dont elles subissent les mêmes effets d'activité anthropique ;
- un groupe (C) : se distingue par la teneur moyenne la plus faible correspondant à la station de Tourba (St8). Cette dernière est une zone à vocation agricole par succès.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV. 14.** Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes en magnésium (mg/l) des différentes stations de prélèvement.

| Stations | Mg <sup>+2</sup> | A   | B   | C   | D   |
|----------|------------------|-----|-----|-----|-----|
| Kripssa  | 68,54            | *** |     |     |     |
| Digue    | 61,49            | *** |     |     |     |
| Haloufa  | 57,50            |     | *** |     |     |
| Anouche  | 55,92            |     | *** |     |     |
| Metlili  | 53,66            |     | *** |     |     |
| Mellel   | 52,25            |     | *** | *** |     |
| Medious  | 52,24            |     | *** | *** |     |
| Pont     | 51,07            |     | *** | *** | *** |
| Ferdoua  | 50,98            |     | *** | *** | *** |
| Djellama | 46,69            |     | *** | *** | *** |
| Tourba   | 39,75            |     |     | *** |     |

Les teneurs déterminées s'échelonnent entre 39,7 et 74,4 mg/l sont inférieures à 150 mg/l, norme préconisée par le décret exécutif n°11-219 (JORA, 2011). Donc le magnésium n'a présenté aucune anomalie pour les eaux du barrage Béni-Haroun du moins pendant le cycle 2015-2016.

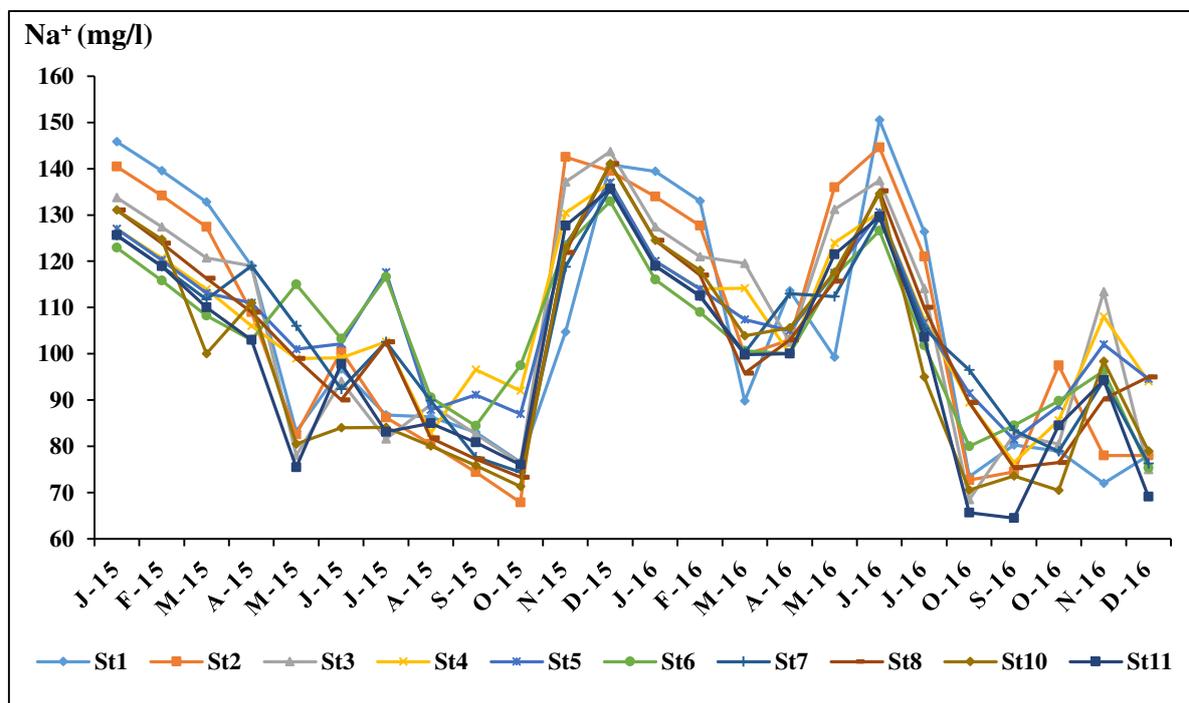
Selon nos résultats respectivement des teneurs en calcium et en magnésium, la dureté de l'eau est probablement influencée beaucoup plus par le calcium que par le magnésium.

### IV.3.5 Sodium

Le sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2,83 %). Il existe dans la totalité des eaux car sa solubilité est très élevée (Brémond et Vuichard, 1973). C'est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium (Rodier et al., 2009).

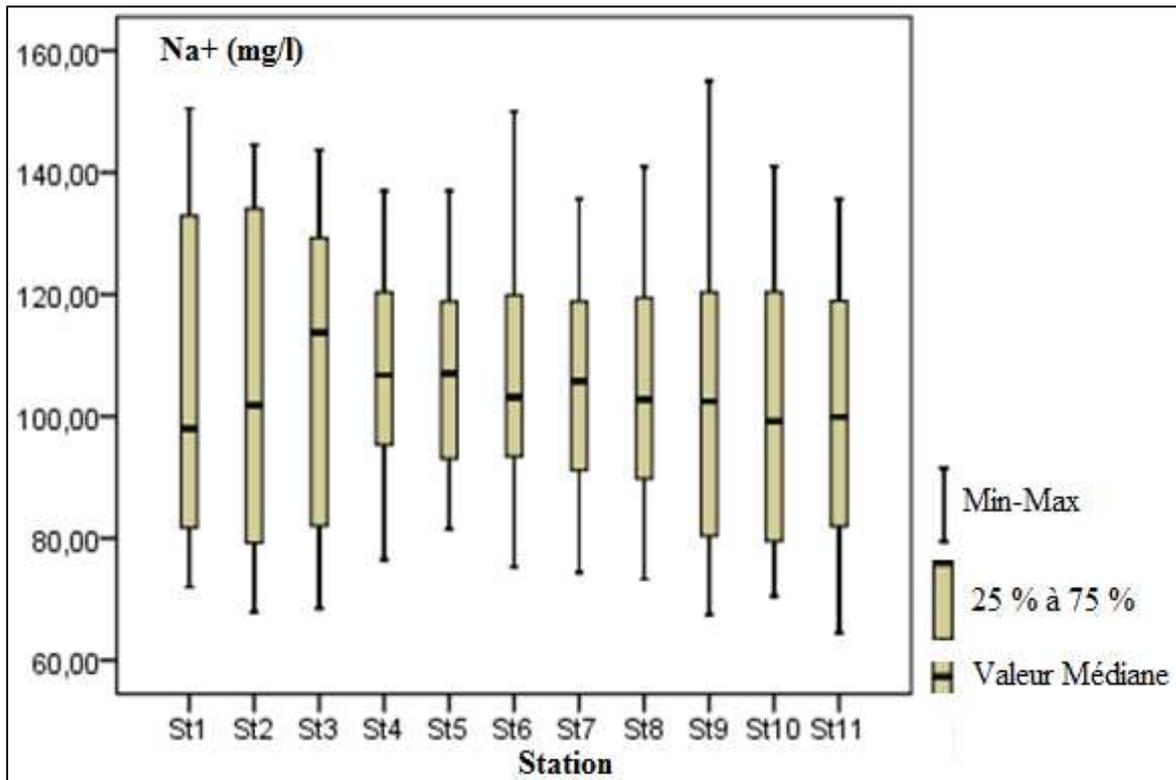
## Chapitre IV : Résultats et discussion

La figure IV.25, illustre les concentrations en sodium déterminées mensuellement durant deux années dans les 11 stations de prélèvement. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées pendant les mois de pluie des deux années avec une exception enregistrée le mois de juin de l'année 2016, où on a enregistré des teneurs en sodium importantes (130 à 151 mg/l), coïncidant avec des événements pluvieux en avril, mai et juin de la même année. Les teneurs les plus élevées sont observées dans les stations St1, St2 et St3 dont les moyennes fluctuent entre 99 et 107 mg/l. Elles permettent d'en déduire que les eaux de ruissellement contribuent à l'enrichissement en  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ . Cet effet est beaucoup plus sensible pour les eaux des stations au voisinage des embouchures des oueds.



**Figure IV. 25.** Variations spatio-temporelles des teneurs en sodium des eaux des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.26.** Amplitude des variabilités temporelles du sodium des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.

La représentation (fig IV.26), montre une large variabilité temporelle expliquée par l'apparence de trois groupes de station, le premier dont l'amplitude de variabilité tend vers la minimale, comporte les stations St1, St2, St4, St5, St6, St8, St9 et St10 ; le deuxième tendant vers la maximale englobe les stations St3, St7 et le dernier se retire avec la station St11 avec une égalité d'amplitude entre les valeurs minimales et maximales.

La variabilité des teneurs en sodium a été testé par l'analyse ANOVA qui a montré une variabilité temporelle très hautement significative ( $F= 41,767$  ;  $p=0,000$ ). En revanche aucune signification n'a été observée pour le paramètre station ( $F = 0,451$  ;  $p = 0,920$ ). Ceci a été bien confirmé par le test de Bonferroni qui a montré la présence d'un seul groupe homogène (A) rassemblant toutes les stations étudiées. Le sodium se montre dans les eaux du barrage avec une valeur totale moyenne de 104,5 mg/l. Les teneurs déterminées sont toutes inférieures à 200 mg/l, norme préconisée par le décret exécutif n°11-219 (JORA, 2011). Donc le sodium n'a posé aucun problème pour les eaux du barrage Béni-Haroun du moins pendant le cycle 2015-2016.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Il est à noter que les concentrations du sodium dépassent largement celles du potassium dans l'ensemble des stations, ce qui est bien évident vu sa grande disponibilité puisqu'il est l'élément qui se combine avec les chlorures pour former l'élément majeur, le NaCl des eaux.

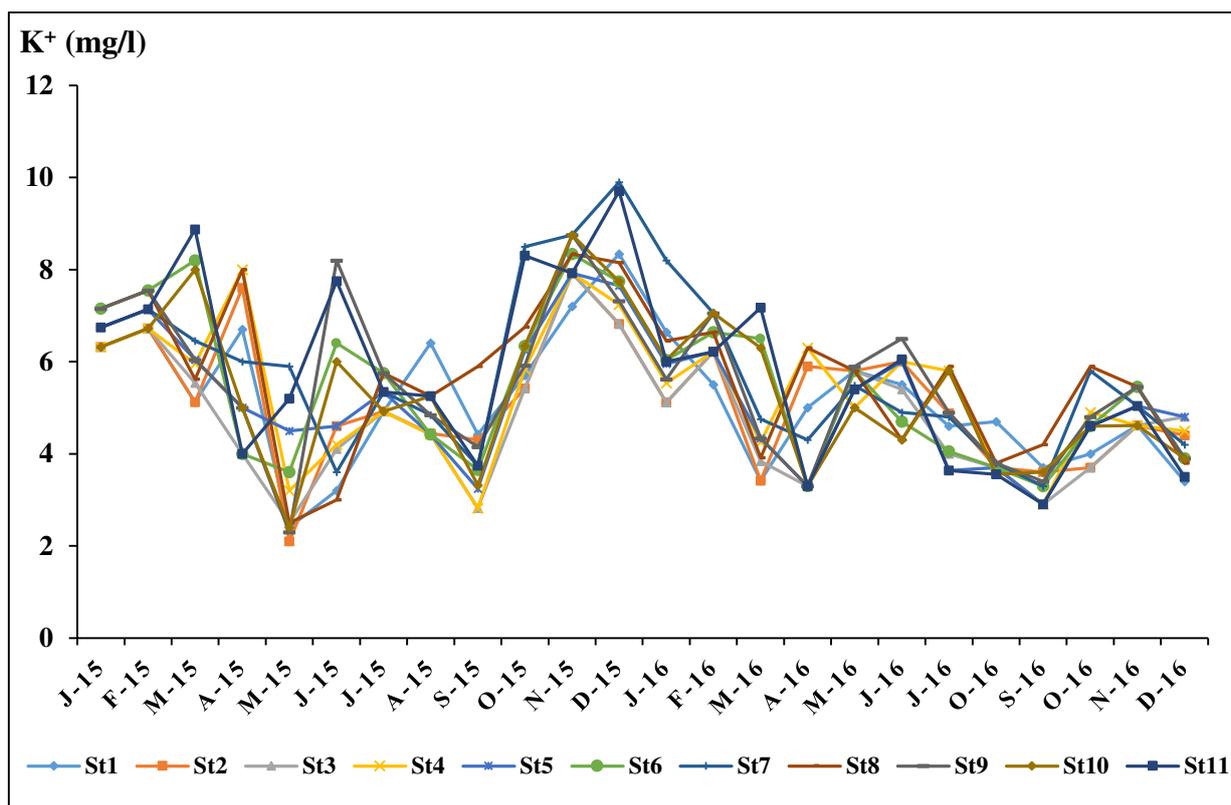
### **IV.3.6 Potassium**

Le potassium est l'un des principaux ions alcalins des eaux. Il se présente sous forme de chlorures, de sulfates et de carbonates en quantités variables (Gaujous, 1995). D'autres composés inorganiques sont déterminants dans l'activité métabolique du phytoplancton. Parmi ceux-ci, le potassium, qui est le cation le plus abondant dans le cytoplasme, intervient comme cofacteur enzymatique ainsi que dans les équilibres de charge des membranes (Sialve et Steyer, 2013). Dans les eaux du barrage Béni-Haroun les teneurs en potassium fluctuent entre 2,4 et 9,7 mg/l.

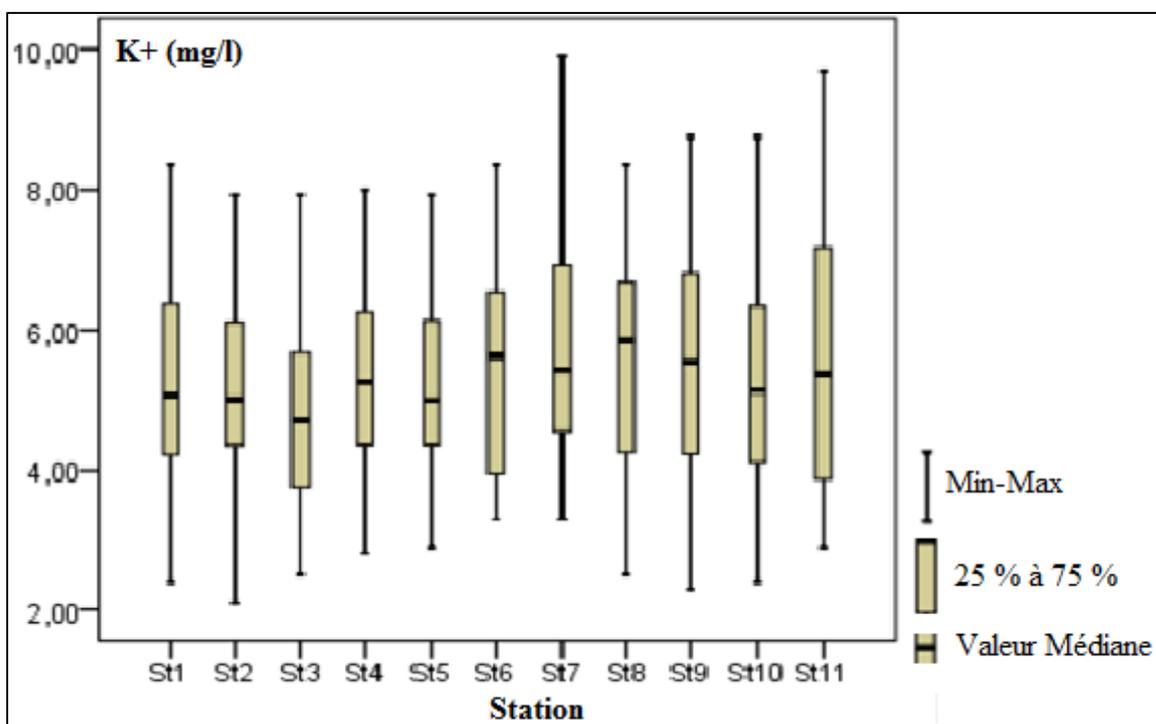
De la figure (IV. 27), les teneurs en potassium, les plus élevées sont enregistrées pendant les mois de pluie des deux années avec une amplitude plus marquée en 2015 ; elles varient entre 8,9 et 9,7 mg/l aux stations St2, St7, St9, St10 et St11, alors que les plus basses moyennes fluctuent entre 2,4 et 5,7 mg/l aux stations St10 et St11.

L'évolution temporelle pendant les deux ans de travail est marquée par un léger abaissement des teneurs en potassium pendant la saison sèche par rapport à la saison froide expliqué par l'enrichissement des eaux des stations par les apports de pluies pendant les mois pluvieux. Les teneurs moyennes en potassium oscillent entre. Les moyennes les plus élevées sont enregistrées aux stations proches aux apports hydriques provenant de différentes embouchures des oueds.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.27.** Variations spatio-temporelles du potassium des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.



**Figure IV. 28.** Amplitude des variabilités temporelles du potassium des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Pour ce qui est de l'amplitude de la variabilité temporelle, la station St11, digue du barrage, montre, comme on s'y attend, la variabilité la plus large (fig IV.28). De même, des amplitudes de fluctuation temporelles du  $K^+$  relativement plus importantes sont observées pour les stations St6, St7, St8, St9 et St10 par analogie aux stations St1, St2, St3, St4 et St5 où l'écart de variabilité est sensiblement moins prononcé. Les premières semblent être plus influencées par l'oued Rhumel et les secondes par l'oued Endja excepté les stations St4 et St5 qui sont des endroits de loisir les plus fréquentés.

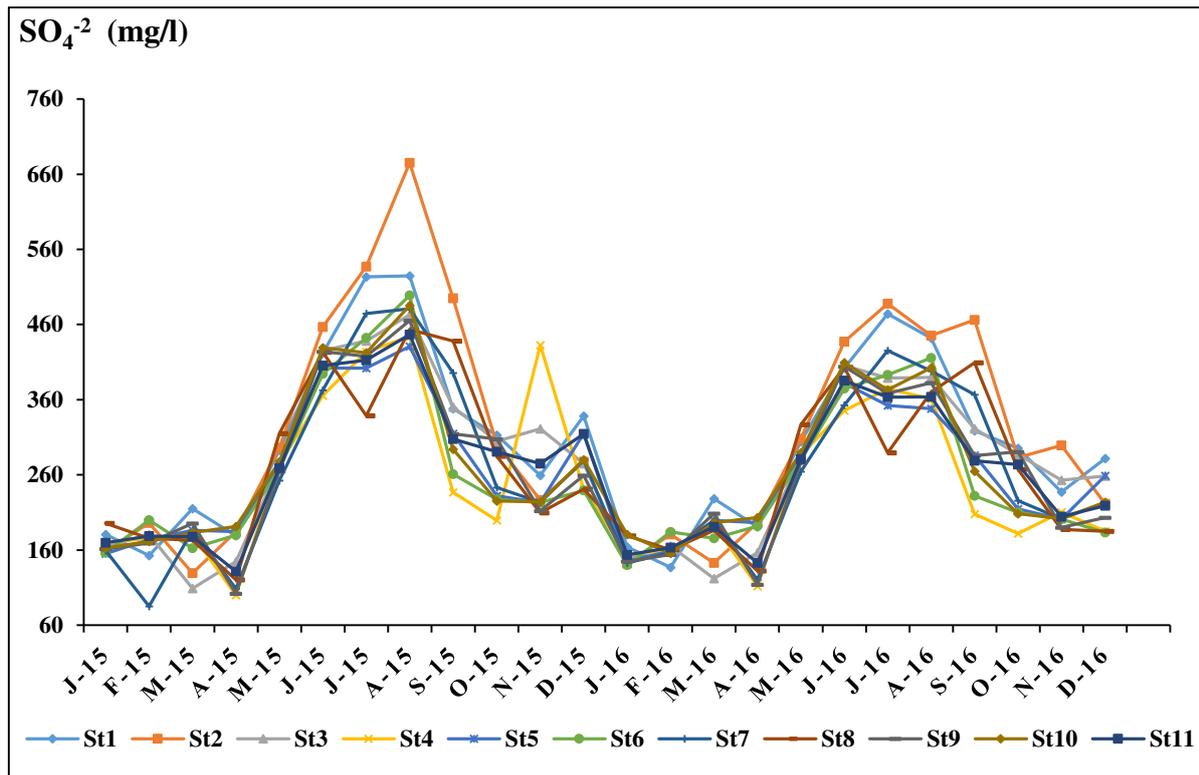
La variabilité du potassium a été testée par l'analyse d'ANOVA qui a montré une variabilité temporelle très hautement significative ( $F = 23,246$  ;  $p = 0,000$ ). Mais aucune signification n'a été observée pour le paramètre station ( $F = 0,850$  ;  $p = 0,581$ ). Le test de Bonferroni a donné le même résultat que celui du sodium soit une homogénéité des stations formant un seul groupe. Avec des teneurs moyennes en potassium variant entre 4,8 et 5,8 mg/l, l'ensemble des valeurs obtenues du potassium sont inférieures à 12 mg/l, conformes à la valeur guide algérienne préconisée par le décret exécutif n°11-219 (JORA, 2011). En moyenne, le potassium réagit dans les eaux du barrage avec une teneur de 5,4 mg/l. Cette valeur ne présente aucune anomalie au moins durant la période de travail.

### IV.3.7 Sulfates

Les sulfates sont présents dans les eaux de surface sous forme de  $SO_4^{2-}$ . Les principales sources de  $SO_4^{2-}$  dans les eaux de surface sont les apports des précipitations, la dissolution des roches sulfatées (la plus courante étant le gypse), également de la pyrite ( $FeS$ ) et plus rarement de roches volcaniques magmatiques (galène, blende, pyrite) (Biedermann et Yon, 2005 ; Abboudi et *al.*, 2014). Un autre problème lié au sulfate est que, en milieu anoxique acide, le  $SO_4^{2-}$  peut être utilisé comme source d'oxygène par certaines bactéries qui le convertissent en hydrogène sulfuré.

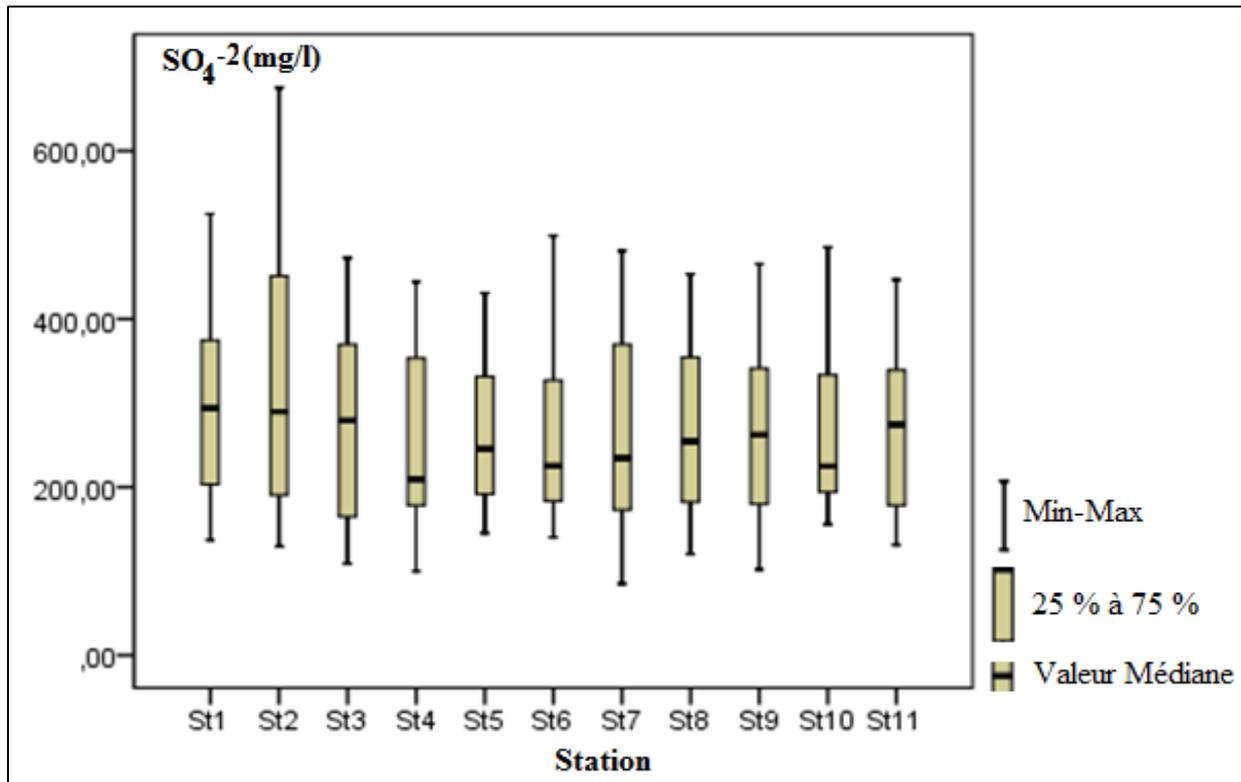
Selon la figure IV.29, les concentrations en sulfates des eaux du barrage Béni-Haroun s'inscrivent dans l'intervalle 85 mg/l et 675 mg/l. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la saison estivale des deux années avec une amplitude plus élevée en 2015 marquée par l'existence d'un pic distinct en août à la station St2. Les valeurs moyennes varient entre 251 mg/l et 314 mg/l.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.29.** Variations spatio-temporelles des teneurs en sulfates des stations du barrage Béni Haroun en 2015-2016.

La présence de sulfates est avant tout liée à la nature géologique de la roche mère et des terrains de la région. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées pendant la saison estivale ce qui peut être la conséquence du phénomène d'évaporation qui aura tendance à concentrer les sels. Une contamination directe de l'eau du barrage par des rejets domestiques surtout riches en détergents ou par le lessivage des pesticides utilisés en agriculture (Harrat *et al.*, 2010) n'est pas non plus à exclure. Les teneurs des sulfates dans 18 % de prélèvements dépassent celles de la teneur guide des sulfates, 400 mg/l, pour les eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau des populations selon le décret exécutif n°11-219 (JORA, 2011). Ainsi les sulfates se manifestent dans les eaux du barrage avec une valeur totale moyenne de 273 mg/l dépassant la valeur guide 250 mg/l destinée pour les eaux superficielles selon Rodier *et al.* (2009).



**Figure IV.30.** Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en sulfates des stations du barrage de Béni-Haroun en 2015-2016.

Le diagramme (fig IV.30), montre une variabilité temporelle asymétrique dans toutes les stations expliqué par la distribution des teneurs en sulfates par rapport à la position de la médiane. Dans les stations St1, St3, St9 et St11, la variabilité tend vers la valeur maximale. Pour le reste des stations St2, St4, St5, St6, St7, St8 et St10 la distribution des concentrations tend vers le minima.

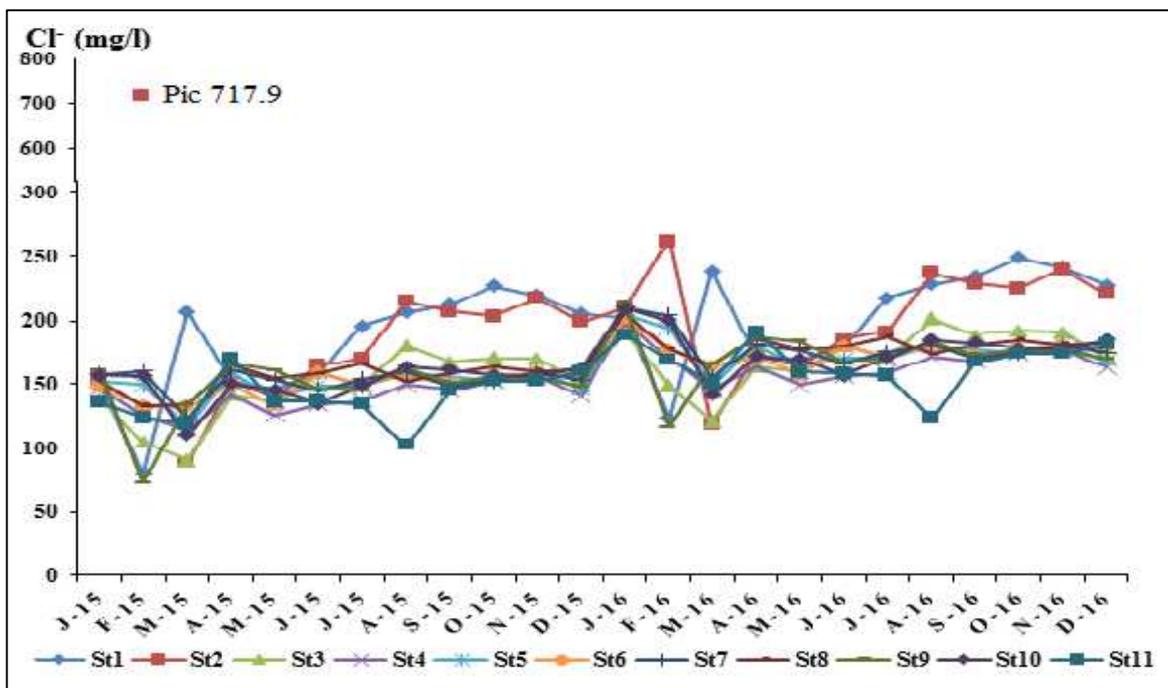
La variabilité de cet élément dans le temps et l'espace a été testée par l'analyse statistique ANOVA, le résultat a révélé un effet temporel très hautement significatif ( $F= 65,62$  ;  $p = 0,000$ ), alors qu'aucun effet du paramètre station n'a été soulevé ( $F = 0,706$  ;  $p = 0,719$ ). Le test de Bonferroni a bien confirmé celui de l'ANOVA ; un seul groupe homogène (A) a réuni l'ensemble des stations.

#### IV.3.8 Chlorure

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (Na Cl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

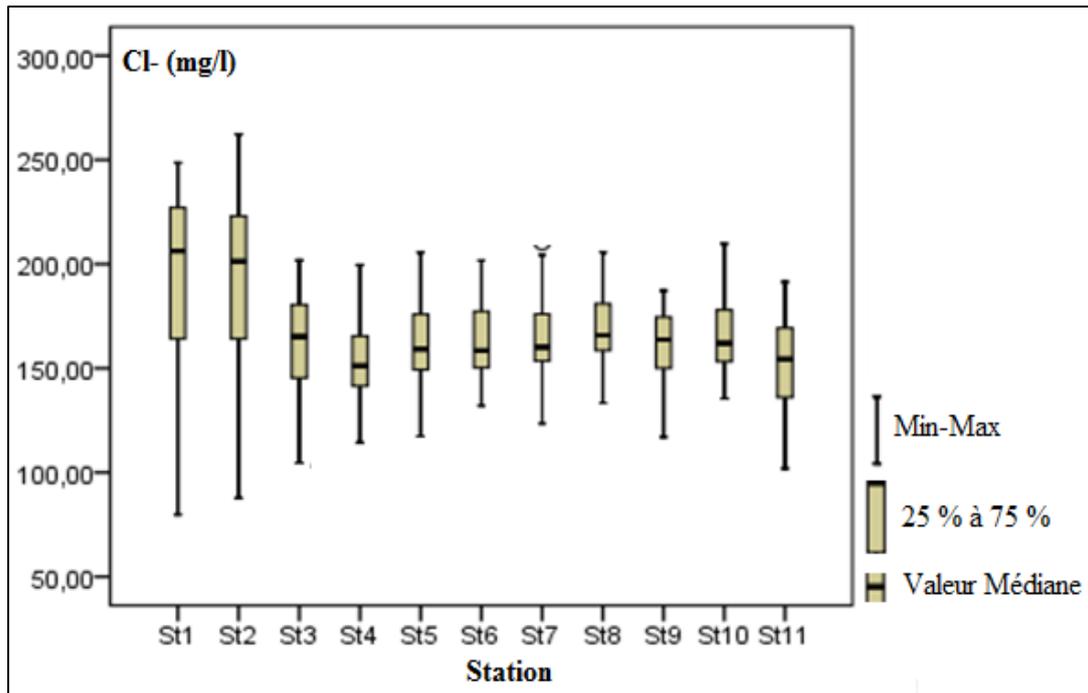
Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh et *al.*, 2011). La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium (Abboudi et *al.*, 2014). Les teneurs des chlorures révèlent une fluctuation spatio-temporelle de 73 à 262 mg/l avec un pic enregistré en février (718 mg/l) comme rapporté pour la conductivité, dû éventuellement à une contamination directe de la station (St2) par les rejets véhiculés par l'oued Endja qui reçoit des effluents urbains non épurés ainsi qu'à la nature des terrains traversés ((Bermond et Vuichard, 1973). Leur impact dans le milieu est décelable sur plusieurs paramètres à savoir, la CE,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$  ). Les teneurs moyennes des chlorures dans les eaux étudiés varient entre 152 et 212 mg/l.



**Figure IV.31.** Variations spatio-temporelles des teneurs en chlorures des stations du barrage de Béni-Haroun en 2015-2016.

Selon la figure IV.32, présentant l'amplitude de la variabilité temporelle des chlorures dans les différentes stations d'étude, nous remarquons que les deux premières stations présentent une large étendue par rapport aux autres. Les pics enregistrés en janvier et février pour la conductivité traduisent une forte minéralisation originaire des apports hydriques des affluents du barrage. La distribution des teneurs en chlorures fait ressortir deux groupes. Le premier englobe les stations St1, St2, St3, St9 et St11 avec une tendance vers la valeur maximale ; l'autre groupe formé par les stations St4, St5, St6, St7, St8 et St10, présente une variabilité orientée vers la minimale.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.32.** Amplitude des variabilités temporelles des teneurs en chlorures des stations du barrage de Béni Haroun en 2015-2016.

L'analyse de la variance (ANOVA), a montré un effet station très hautement significatif ( $F= 4,500$  ;  $p = 0,000$ ) et le paramètre temps a mis en évidence des effets hautement significatifs sur la variabilité des teneurs en chlorures ( $F= 1,864$  ;  $p = 0,011$ ). Le test de Bonferroni a révélé la présence de cinq groupes homogènes répartis comme l'indique le tableau IV.15.

- le groupe (A), formé par la station Mellel (St2), proche de l'embouchure d'oued Endja, enregistre la teneur moyenne en chlorure la plus élevée ;
- le groupe (AB), se distingue avec la station Kripssa (St1), en enregistrant une teneur inférieure à celle de Mellel (St2) ;
- le groupe (BC), réunit les stations Pont (St7) et Tourba (St8) ;
- le groupe (BCD), englobe les stations d'Anouche (St10), Ferdoua (St5), Medious (St6), Djelama (St3) et Metlili (St9) avec des moyennes variant entre 160 et 164 mg/l ;
- le dernier groupe (CDE), rassemble les stations de Haloufa (St4) et la Digue (St11) avec les plus faibles teneurs en chlorures.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV.15.** Résultats du test Bonferroni des teneurs moyennes en chlorures (mg/l) des différentes stations de prélèvement.

| Stations | Cl <sup>-</sup> | A   | B   | C   | D   | E   |
|----------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Mellel   | 212,02          | *** |     |     |     |     |
| Kripssa  | 193,67          | *** | *** |     |     |     |
| Tourba   | 168,32          |     | *** | *** |     |     |
| Pont     | 165,66          |     | *** | *** |     |     |
| Anouche  | 163,89          |     | *** | *** | *** |     |
| Ferdoua  | 162,61          |     | *** | *** | *** |     |
| Médiouss | 162,22          |     | *** | *** | *** |     |
| Djellama | 160,05          |     | *** | *** | *** |     |
| Metlili  | 160,19          |     | *** | *** | *** |     |
| Halloufa | 152,80          |     |     | *** | *** | *** |
| Digue    | 152,64          |     |     | *** | *** | *** |

La valeur moyenne du chlorure caractéristique des eaux du barrage est de 168,5 mg/l. A l'exception du pic de 717,9 mg/l enregistré le mois de février à la station Mellel St2, les teneurs en chlorures restent inférieures à la valeur maximale de 600 mg/l suggérée par le décret exécutif n°11-219 pour les eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau des populations (JORA, 2011) mais avec presque 12 % des prélèvements excèdent 200 mg/l, limite rapportée par Rodier et *al.* (2009).

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

### **IV.4 Présentation des résultats biotiques**

#### **IV.4.1 Analyse qualitative**

##### **IV.4.1.1 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). 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 identifiés au cours de l'année 2015 et illustrée par la figure IV.33, montre que :

- la station St1 est caractérisée par l'abondance des Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae et les Euglenophyceae avec le même pourcentage (20%) alors que les 20% restant se répartissent à l'identique entre les Mediophyceae et les Cryptophyceae.

- la station St2 est caractérisée par la présence des Cyanophyceae et Chlorophyceae représentant à deux 58% du peuplement phytoplanctonique.

On note la présence non négligeable des Euglenophyceae (15%) et les Bacillariophyceae (13%) puis les Dinophyceae avec une contribution de 8% et à la dernière position les Mediophyceae (6%).

- la troisième station St3, est caractérisée par l'abondance des Cyanophyceae (31%), suivie par les Bacillariophyceae (15%), Euglenophyceae (15%), Cryptophyceae (12%) et Conjugatophyceae (12%), et 6% pour les Chlorophyceae et Dinophyceae et enfin, la plus faible fréquence (3%) pour les Mediophyceae.

- la station Haloufa St4, se distingue avec 39% de Cyanophyceae, 28% de Conjugatophyceae, 11% pour les Bacillariophyceae et les Chlorophyceae et à la dernière position viennent les Mediophyceae et les Dinophyceae avec un pourcentage de 5,5%.

- la station Ferdoua St5, est marquée par une contribution de 65% de Cyanophyceae et Bacillariophyceae seulement, suivi par 11% de Conjugatophyceae et Mediophyceae, alors que les Chlorophyceae, Cryptophyceae et les Dinophyceae ne représentent que 5,5%.

- la sixième station dite Medious St6, caractérisée par une diversité de six classes ; les Cyanophyceae et Bacillariophyceae représentent 62% du peuplement, les Dinophyceae : 15%, Mediophyceae : 11%, Conjugatophyceae : 8% et les Ulvophyceae 4%.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

- la station du pont St7, où les Bacillariophyceae avec 41% sont dominantes, suivies par les Cyanophyceae avec 27% de la composition globale ; les Cryptophyceae et les Conjugatophyceae avec une contribution de 9 %, les Chlorophyceae avec 5% et à la dernière position viennent les Mediophyceae et les Dinophyceae avec le plus faible pourcentage de 4,5%.

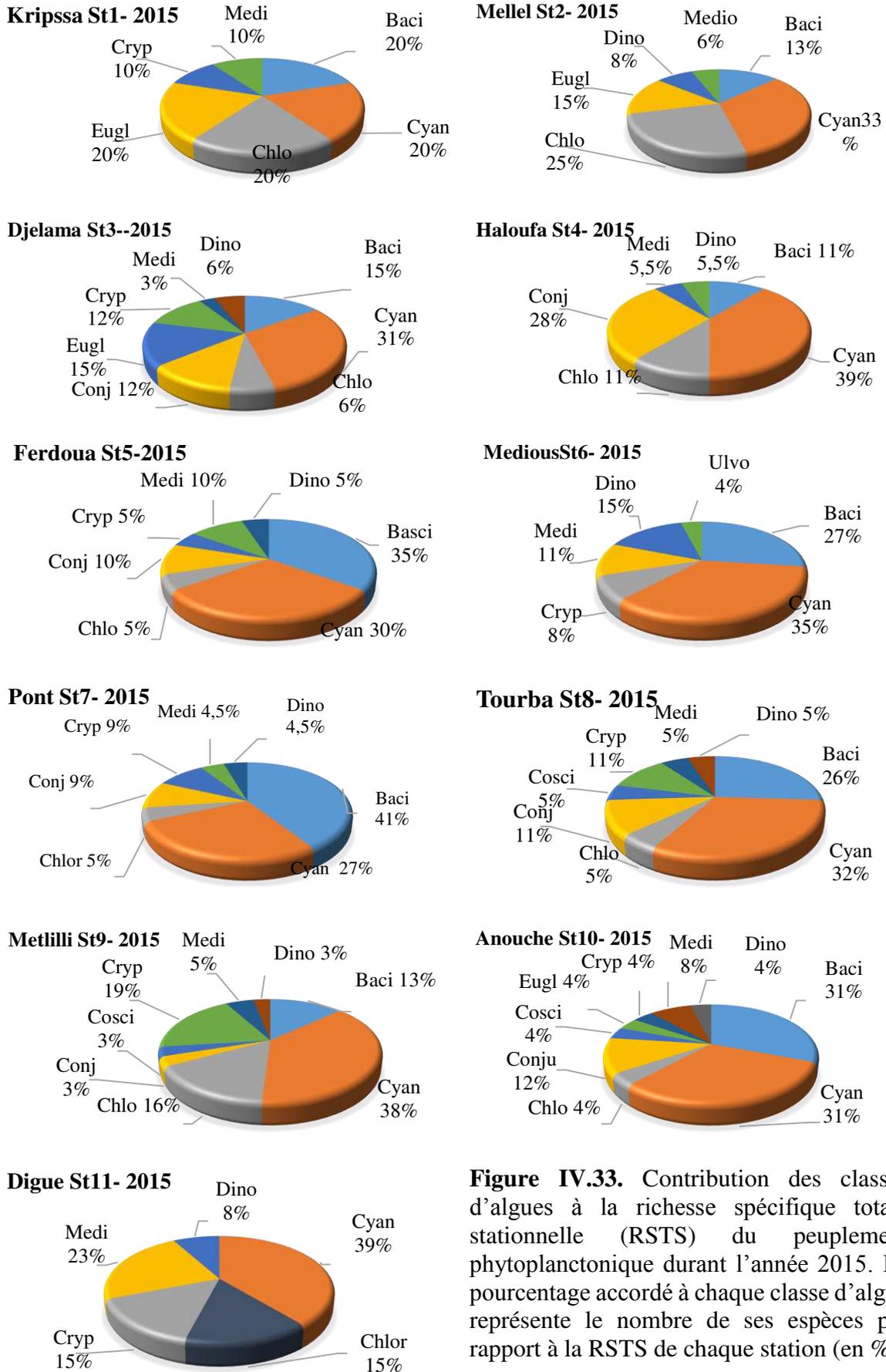
- la station Tourba St8 où les Cyanophyceae et les Bacillariophyceae, comptent à elles seules 58% de la diversité totale ; les Cryptophyceae et les Conjugatophyceae se montrent chacune avec 11%, alors que les Chlorophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae et Dinophyceae arrivent la dernière position avec une abondance de 20% répartie équitablement entre elles.

- la station de Metlili St9, Les Cyanophyceae (38%) sont les plus fréquentes puis viennent les Cryptophyceae (19%), les Chlorophyceae (16%), les Bacillariophyceae (13%) et les Mediophyceae (5%), alors que les Coscinodiscophyceae, Dinophyceae et Conjugatophyceae viennent à la dernière position avec le même pourcentage (3%).

- la station Anouche St10, caractérisée par la présence de neuf classes est la plus diversifiée ; les Cyanophyceae et Bacillariophyceae représentent 66% du peuplement, les Bacillariophyceae, 24%, les Mediophyceae, 8 % et les Cryptophyceae, Coscinodiscophyceae, Dinophyceae, et Euglenophyceae avec le même pourcentage contribution (4%).

- la dernière station St11 au niveau de la digue du barrage est la moins diversifiée. Sa biodiversité est représentée par 39% de Cyanophyceae, 23% de Mediophyceae, les Cryptophyceae (15%) sont aussi abondants que les Chlorophyceae (15%) et les moins présents sont les Dinophyceae avec 8%.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.33.** Contribution des classes d'algues à la richesse spécifique totale stationnelle (RSTS) du peuplement phytoplanctonique durant l'année 2015. Le pourcentage accordé à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la RSTS de chaque station (en %).

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

La contribution des classes algales à la richesse spécifique totale du peuplement phytoplanctonique dans chaque station au cours de l'année 2016 a révélé le résultat porté sur la figure IV.35.

- pour la station Kripssa St1, nous avons observé trois classes seulement mais avec des fortes densités expliquées par la quantité de biomasse et le pourcentage de contribution de chaque classe avec une abondance partagée entre les Cyanophyceae et les Chlorophyceae avec un pourcentage de 40 % pour chacune et 20 % de contribution des Dinophyceae.

- la station Mellel St2, apparait avec cinq classes, les plus abondants sont les Chlorophyceae, 37% et les Cyanophyceae, 25,5%, alors que les trois autres classes des Bacillariophyceae, Chlorophyceae et les Dinophyceae participent avec 12,5% pour chacune.

- la troisième station Djellama St3 plus riche que la précédente, compte huit classes, les plus abondantes sont les Cyanophyceae avec une contribution de 28,7% suivies par les Bacillariophyceae, les Cryptophyceae et les Conjugatophyceae avec 14,3% chacune et enfin à la dernière position viennent les Chlorophyceae, les Euglenophyceae, les Mediophyceae et les Dinophyceae avec le plus faible pourcentage : 7,1%.

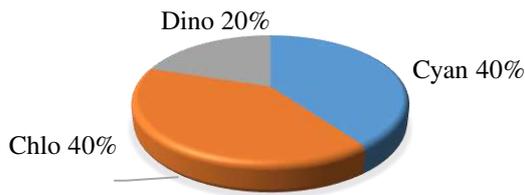
- la station Haloufa St4 affiche la même richesse que celle de Djellama avec une certaine spécificité dans les classes et leur abondance. La dominance dans celles-ci est attribuée aux Bacillariophyceae et Cyanophyceae avec 27,8%, suivi par les Cryptophyceae et les Conjugatophyceae : 11% alors que les quatre dernières classes celles des Chlorophycée, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae et les Dinophyceae participent avec le même pourcentage : 5,6%.

- la cinquième station Ferdoua St5, regroupe six classes avec une dominance des Cyanophyceae, 46% suivies par les Bacillariophyceae et les Mediophyceae avec le même pourcentage : 15%, et le reste des classes celles des Chlorophyceae et Dinophyceae, se manifeste avec la plus faible contribution : 8%.

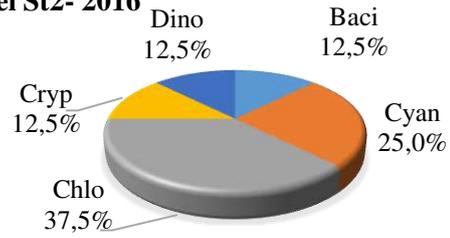
- la station Medious St6, offre une diversité importante traduite par un recensement de huit classes dominées par les Cyanophycées qui comptent à elles seules 37,5 % de la richesse phytoplanctonique, suivies par la contribution de 15% de Bacillariophyceae et le pourcentage de 8% est attribué au reste des classes de Chlorophyceae, Conjugatophyceae, Coscinodiscophyceae, Cryptophyceae, Mediophyceae et les Dinophyceae.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

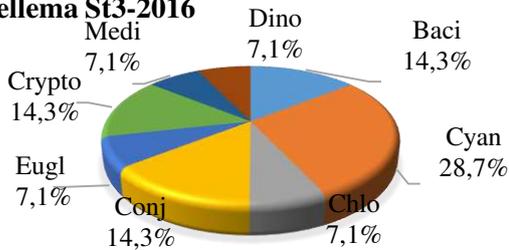
**Kripssa St1-2016**



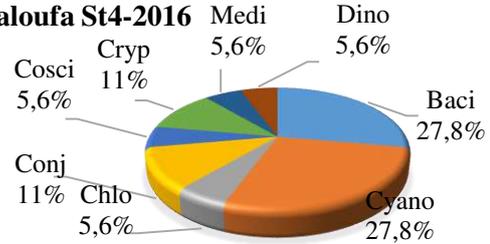
**Mellel St2- 2016**



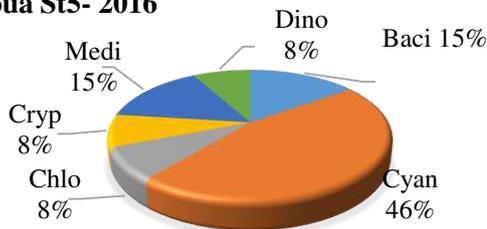
**Djellema St3-2016**



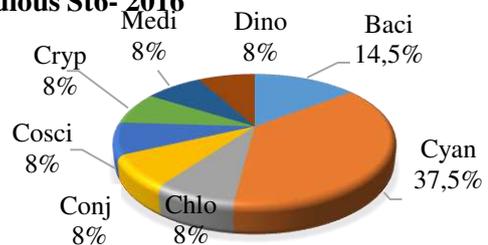
**Haloufa St4-2016**



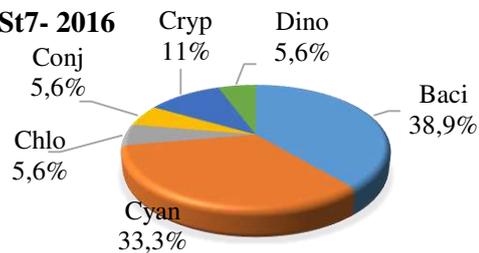
**Ferdoua St5- 2016**



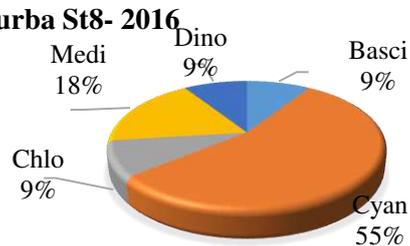
**Medious St6- 2016**



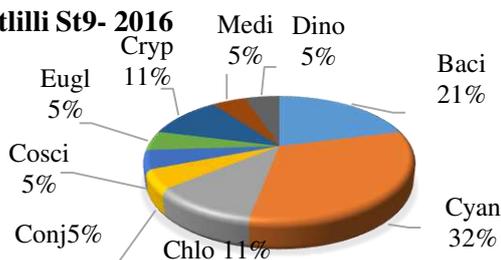
**Pont St7- 2016**



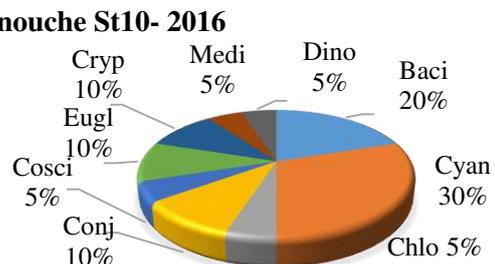
**Tourba St8- 2016**



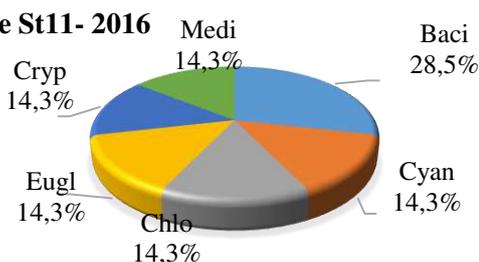
**Metlili St9- 2016**



**Anouche St10- 2016**



**Digue St11- 2016**



**Figure IV.34.** Contribution des classes d'algues à la richesse spécifique totale (RST) du peuplement phytoplanctonique dans chaque station de l'année 2016. Le pourcentage accordé à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la RST de chaque station (en %).

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

- la station située en dessous du pont St7, compte au total six classes dominées par les Bacillariophyceae : 38,9 % et les Cyanophyceae : 33,3 % suivies par la classe des Cryptophyceae : 11%, alors que les autres classes celles des Chlorophyceae, Conjugatophyceae et les Dinophyceae comptent la plus faible participation : 8 % pour chacune d'entre elles.

- la station Tourba St8, compte parmi les stations les moins diversifiées de l'année 2016. Elle comptabilise cinq classes au total avec une large dominance des Cyanophyceae : 55%, suivies par la présence non négligeable des Mediophyceae : 18 %, alors que les Bacillariophyceae, les Chlorophyceae et les Dinophyceae viennent à la dernière position avec une contribution de 9 % pour chacune d'entre elles.

- la station Metlili St9 compte parmi les stations les plus riches en phytoplancton, se présente avec neuf classes dominées par les Cyanophyceae : 32%, suivies par les Bacillariophyceae : 21%, ensuite viennent les Chlorophyceae et les Cryptophyceae avec le pourcentage : 11%, alors que la plus basse contribution : 5% est attribuée aux classes des Conjugatophyceae, Coscinodiscophyceae, Euglenophyceae, Mediophyceae et les Dinophyceae.

- la station d'Anouche Ali St10 compte aussi parmi les plus diversifiées ; semblable que la station 9, elle englobe neuf classes dominées par 30% de Cyanophyceae, suivies par les Bacillariophyceae : 20%, les Cryptophyceae et les Coscinodiscophyceae avec le même pourcentage : 10% alors que celles des Chlorophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae et les Dinophyceae se comptabilisent avec la plus faible fréquence : 5%.

La dernière station St11 près de la digue du barrage renferme au total six classes dominées par les Bacillariophyceae : 28,5% suivies avec celles des Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae et les Mediophyceae avec la même participation : 14,3%.

Ainsi l'année 2015 est caractérisée par une importante diversité phytoplanctonique traduite par la présence de 9 classes. Les Cyanophyceae sont le groupe le plus dominant dans la majorité des stations, à l'exception de deux stations ; celle de Kripssa St1, présentant une dominance partagée entre quatre classes (Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae et Euglenophyceae) alors que la station Pont St7, se distingue des autres stations avec une large dominance des Bacillariophyceae 41%.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Pour l'année 2016 deux stations présentent des dominances partagées entre les Cyanophyceae et d'autres classes : la station Kripssa St1 présente une dominance partagée avec les Chlorophyceae alors que la station Mellel St2 a présenté une dominance des Bacillariophyceae suivi par les Cyanophyceae. Les Cyanophyceae sont le composant phytotrophique dominant dans beaucoup d'environnements d'eau douce où elles peuvent engendrer de sérieuses nuisances (Chorus et Bartram, 1999 ; Sarazin et *al.*, 2002) à la fois écologiques et sanitaires, vu que les eaux du barrage sont destinées, après traitement, à l'alimentation en eau potable des populations. Les Cyanobactéries sont capables de faire des réserves internes de phosphores sous forme de granules de poly-phosphates (Kromkamp, 1987), cela permet de l'accumuler et de l'utiliser, lorsque il est en faible quantité (Ishikawa et *al.*, 2002). Pendant la saison estivale, il est fréquent de constater d'importantes mortalités de poissons dans le barrage dues à un déficit surtout nocturne en oxygène et à l'impact d'efflorescences algales. Les Bacillariophyceae ou Diatomées sont d'importants producteurs primaires des milieux aquatiques (Goldman, 1993), elles sont à la base de nombreux réseaux trophiques, et elles font partie des principaux constituants du phytoplancton.

Le développement des groupements phytoplanctoniques sont également à l'origine de variations de certaines caractéristiques chimiques de l'eau, telles que la teneur en oxygène dissous ou les valeurs de pH (El Hachimi, 2012). Une étude approfondie du volet phytoplanctonique se révèle donc d'un intérêt majeur dans l'évaluation de la qualité des eaux.

### **IV.4.1.2 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. Margalef (1956,1958), utilise cette notion de diversité pour déterminer les différentes phases du cycle d'évolution du phytoplancton qui se succèdent pendant une période donnée.

Pendant la période d'étude qui couvre deux cycles annuels de janvier 2015 à décembre 2016, 72 genres ont été inventoriés dans les onze stations d'étude (tab IV.16). Ils appartiennent aux groupements phytoplanctoniques : Cyanophycées, Bacillariophycées (Diatomées), Chlorophycées, Conjugatophycées, Euglenophycées, Cryptophycées, Coscinodiscophycées, et les Ulvophycées.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Les Cyanophyceae comptent 24 taxons, et sont les plus dominants dans ces eaux indiquant une pollution organique (Mukherjee et *al.*, 2010), suivies par 22 taxons de Bacillariophycées, 8 genres de Chlorophycées, 6 taxons de Conjugatophycées, 3 taxons pour chacune des Cryptophycées, Coscinodiscophycées et les Euglenophycées, 2 taxons pour les Mediophycées et la participation occasionnelle des Ulvophycées.

Dans les 88 échantillons, le phytoplancton était dominé par les mêmes genres de Cyanobactéries : *Peridinium*, *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*, et *Pseudoanabaena*, capables de produire des toxines. Il est maintenant reconnu que certaines cyanobactéries, comme celles des genres *Microcystis* et *Anabaena*, peuvent produire des substances toxiques appelées cyanotoxines (Deblois et *al.*, 2008).

La contamination des milieux aquatiques par les cyanobactéries toxiques pose de sérieux risques pour les animaux domestiques, sauvages et pour la santé humaine (Brient et *al.*, 2001). Les Chlorophycées sont souvent représentées par *Chlamydomonas* et *Volvox* avec l'apparition occasionnelle du *Gonium* surtout aux stations Mellel St2 et Metlili St9. Les genres, *Navicula* et *Nitzschia* ont été les plus représentatifs du groupe de Bacillariophycées. Les Euglenophyceae représentées par *Euglena* et *Phacus*, sont bien abondants dans les stations Mellel St2 et Djellama St3. Palmer (1969) a fait la première tentative majeure pour identifier et élaborer une liste de genres et d'espèces d'algues tolérantes à la pollution organique. Les genres comme *Oscillatoria*, *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Navicula* et *Nitzschia*, sont décrites comme les plus tolérants aux eaux polluées. *Cyclotella* est le genre le plus fréquent des Mediophyceae.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV.16.** Liste des taxons du phytoplancton des onze stations du barrage Béni-Haroun inventoriées durant la période janvier 2015- décembre 2016.

| Stations                              | St1 | St2 | St3 | St4 | St5 | St6 | St7 | St8 | St9 | St10 | St11 |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| <b>Taxon</b>                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <b>Cyanophyceae</b>                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <b>(Cyanobatéries)</b>                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <i>Chroococcus turgidus</i>           |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |      |      |
| <i>Chroococcus</i> sp                 |     |     | +   |     | +   |     | +   |     |     |      |      |
| <i>Microcystis</i> sp                 |     |     | +   | +   | +   | +   |     | +   | +   | +    |      |
| <i>Microcoleus lacustus</i>           |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      |      |
| <i>Merismopedia convoluta</i>         | +   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <i>Merismopedia elegans</i>           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +    |      |
| <i>Arthrospira platensis</i>          |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <i>Oscillatoria</i> sp1               | +   | +   | +   | +   |     | +   |     |     | +   | +    | +    |
| <i>Oscillatoria</i> sp2               |     |     |     |     | +   |     | +   | +   |     |      |      |
| <i>Planktothrix</i> sp1               |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |      |      |
| <i>Planktothrix</i> sp2               |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |      |      |
| <i>Cylindrospermopsis</i> sp          |     |     |     |     | +   |     |     |     |     | +    | +    |
| <i>Anabena spiroide</i>               |     |     |     | +   | +   | +   |     | +   | +   | +    |      |
| <i>Anabaena</i> sp1                   | +   | +   | +   | +   |     | +   |     | +   | +   | +    |      |
| <i>Anabaena</i> sp2                   |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      | +    |
| <i>Anabaena</i> sp3                   |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |      |      |
| <i>Raphidiopsis</i> sp                |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |      | +    |
| <i>Snowella</i> sp                    |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |      |      |
| <i>Pseudoanabana galiata</i>          |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +    |      |
| <i>Pseudoanabaena</i> sp1             |     | +   | +   |     |     | +   | +   | +   | +   | +    | +    |
| <i>Pseudoanabaena</i> sp2             |     |     |     | +   | +   |     |     | +   | +   | +    | +    |
| <i>Pseudoanabaena</i> sp3             |     |     |     |     |     |     |     | +   | +   | +    |      |
| <i>Peridinium</i> sp                  | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +    | +    |
| <i>Synechococcus cedrorum</i>         |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      |      |
| <b>Bacillariophyceae</b>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <b>(diatomées)</b>                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
| <i>Bacillaria paradoxa</i>            |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      |      |
| <i>Tetracyclus lacustris</i>          |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +    |      |
| <i>Tabularia</i> sp                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +    |      |
| <i>Cymbella</i> sp                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +    | +    |
| <i>Cymbella tumida</i>                |     |     |     | +   |     |     |     |     |     |      |      |
| <i>Cymatopleura elliptica</i>         |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      |      |
| <i>Gomphonema constrictum</i>         |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |      |      |
| <i>Gomphonema laticulum</i>           |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      |      |
| <i>Gomphonitzschia</i> sp             |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      | +    |
| <i>Nitzschia</i> sp1                  | +   | +   | +   |     |     | +   |     | +   | +   |      |      |
| <i>Nitzschia</i> sp2                  |     |     |     | +   |     | +   | +   |     |     | +    | +    |
| <i>Surirella</i> sp                   |     | +   |     |     | +   |     |     |     |     |      |      |
| <i>Synedra ulna</i>                   |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |      |      |
| <i>Synedra</i> sp / <i>Ulnaria</i> sp |     |     | +   |     | +   |     | +   |     |     | +    |      |
| <i>Fragilaria</i> sp                  |     |     | +   | +   | +   |     |     |     |     | +    |      |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| Suite du tableau IV.8          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Diatoma sp1</i>             | +         | +         |           |           |           |           |           | +         |           |           |           |
| <i>Diatoma sp2</i>             |           | +         |           | +         |           |           |           |           | +         |           |           |
| <i>Pinnularia sp</i>           |           |           |           | +         |           | +         | +         |           | +         |           |           |
| <i>Navicula cytopleura</i>     |           |           |           | +         |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Navicula sp1</i>            |           |           | +         | +         |           | +         | +         | +         | +         | +         |           |
| <i>Navicula sp2</i>            |           |           |           |           | +         | +         |           |           | +         | +         |           |
| <i>Tryblionella sp</i>         |           |           |           |           |           |           |           |           |           | +         |           |
| <b>Cryptophyceae</b>           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Cryptomonas sp</i>          | +         | +         |           | +         | +         | +         | +         | +         | +         | +         | +         |
| <i>Chroomonas sp</i>           |           |           |           | +         |           | +         | +         | +         | +         | +         |           |
| <i>Chroomonas minuta</i>       |           | +         |           |           |           |           |           |           |           | +         |           |
| <b>Euglenophyceae</b>          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Euglena oxyuris</i>         | +         | +         | +         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Euglena sp</i>              | +         | +         |           |           |           |           |           | +         | +         | +         |           |
| <i>Phacus sp</i>               |           | +         |           |           |           |           |           |           |           | +         | +         |
| <b>Coccinodiscophyceae</b>     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Melosira varians</i>        |           |           |           |           |           |           |           | +         | +         |           |           |
| <i>Melosira sp</i>             |           |           |           |           |           | +         |           |           |           |           |           |
| <i>Melosira italica</i>        |           |           |           | +         |           |           |           |           |           | +         |           |
| <b>Chlorophyceae</b>           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Chlamydomonas sp1</i>       | +         | +         | +         |           |           | +         |           |           | +         | +         | +         |
| <i>Chlamydomonas sp2</i>       |           |           |           | +         | +         | +         |           |           |           |           | +         |
| <i>Chlamydomonas sp3</i>       |           |           |           |           |           |           | +         | +         |           |           |           |
| <i>Gonium pectoale</i>         | +         | +         | +         |           |           |           |           | +         | +         |           |           |
| <i>Coelastrum microporum</i>   |           | +         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Pandorina sp</i>            |           | +         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Volvox sp1</i>              |           |           |           |           |           |           |           | +         |           |           |           |
| <i>Volvox sp2</i>              |           | +         |           | +         |           | +         |           |           | +         |           |           |
| <b>Conjugatophyceae</b>        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Closterium lumula</i>       |           |           |           | +         |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Closterium aciculare</i>    |           |           |           | +         |           | +         |           |           |           | +         |           |
| <i>Closterium sp</i>           |           |           | +         |           | +         |           |           |           |           |           |           |
| <i>Mougeotia sp</i>            |           |           | +         | +         |           |           | +         | +         | +         |           |           |
| <i>Spirogyra sp</i>            |           |           |           | +         |           |           | +         |           |           |           |           |
| <i>Staurastrum sp</i>          |           |           |           | +         | +         | +         |           |           |           | +         |           |
| <b>Mediophyceae</b>            |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | +         | +         |           |           | +         |           |           |           |           |           |           |
| <i>Cyclotella sp</i>           |           | +         | +         | +         | +         | +         | +         | +         | +         | +         | +         |
| <b>Ulvophyceae</b>             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Ulotrix zonata</i>          |           |           |           |           |           | +         |           |           |           |           |           |
| <b>Total</b>                   | <b>12</b> | <b>20</b> | <b>17</b> | <b>24</b> | <b>19</b> | <b>22</b> | <b>22</b> | <b>22</b> | <b>24</b> | <b>30</b> | <b>15</b> |

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

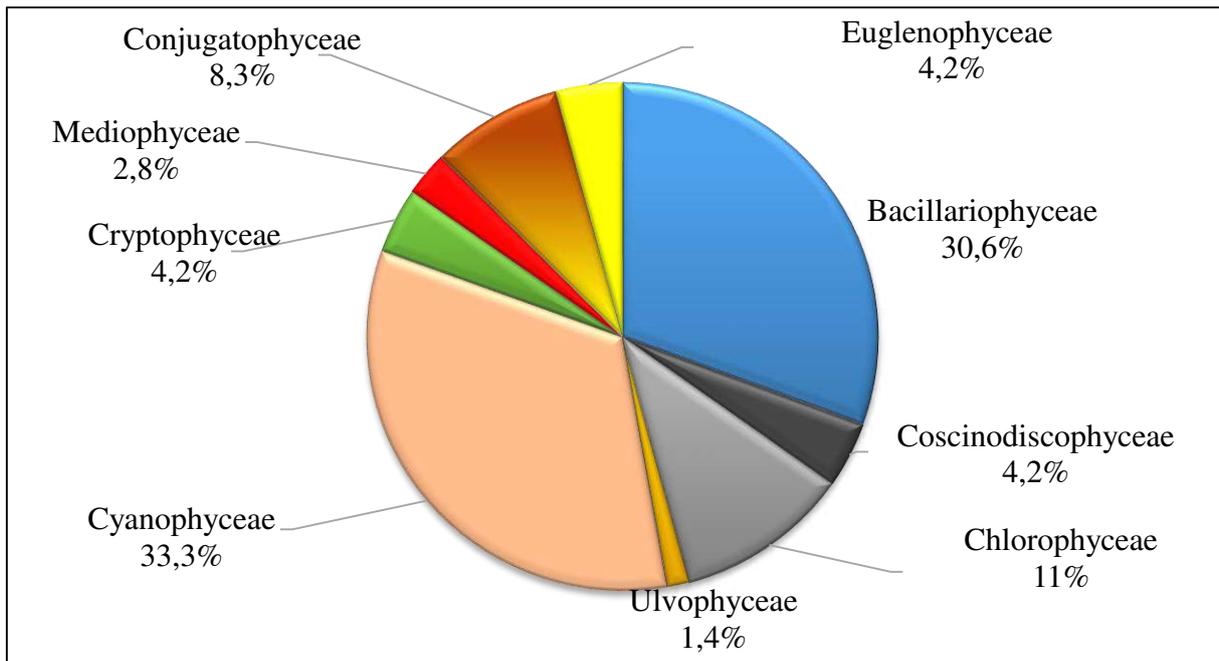
En général les stations d'étude présentent des diversités variant entre 12 et 30 taxons vu le jeune âge du barrage. La station la plus riche est celle d'Anouche Ali St10 avec un total de 30 taxons. Elle se distingue par sa position au voisinage de sources de matières organiques telles que des poulaillers, étables, bergeries, installés sur les berges du barrage. Les stations Metlili St9 et Ferdoua St5, abritent une diversité non négligeable estimée par 24 genres. Elles sont situées à proximité d'Oued Metlili dont les eaux drainent des déchets organiques. Et enfin les stations Medious St6, Pont St7 et Tourba St8 avec 22 genres chacune.

Nous avons inventorié en tout 72 taxons qui traduisent une richesse spécifique relativement importante à titre comparatif, avec les travaux réalisés par l'ANRH et qui rapportent une richesse spécifique moindre pour le même barrage selon un document interne relative aux années 2013 et 2014. Nous estimons notre liste probablement non exhaustive, néanmoins elle couvre deux cycles annuels avec des prélèvements saisonniers sur onze stations réparties à la surface du barrage. En effet, l'étude n'a porté que sur les espèces pélagiques, aucun prélèvement en profondeur n'a été effectué. Cette contribution reste une investigation qualitative et quantitative de cet important maillon de l'équilibre de l'écosystème qui, à notre connaissance, n'a jamais fait l'objet d'une étude antérieure malgré les quelques travaux déjà réalisés sur ce barrage et qui ont porté sur d'autres aspects. Exceptionnellement, des travaux de l'ANRH qui se sont intéressés à la diversité du phytoplancton mais ils n'ont porté que sur un seul point de prélèvement au niveau du barrage et n'ont pas fait objet de publication à notre connaissance. La richesse spécifique totale a mis en évidence la présence de 9 classes phytoplanctoniques avec une prédominance des Cyanophyceae et des Bacillariophyceae, cette dominance est déjà signalée dans plusieurs stations (*C. paragraphe IV.4.1*). Plus de détails sur l'évolution de ces taxons seront donnés ci-dessous en étude quantitative.

### **IV.4.1.3 Diversité phytoplanctonique totale du barrage**

D'après une analyse qualitative des eaux du barrage, nous avons pu identifier 9 classes phytoplanctoniques au cours du cycle biannuel de notre étude (fig.IV.35). Il s'agit d'une abondance particulière partagée entre les Cyanophycées à la première position avec une contribution de 33,3 % et les Bacillariophycées en deuxième avec plus de 30 %. De ce fait, une attention particulière doit être portée aux cyanobactéries. Ces algues, qui ont une importance considérable dans le plancton des eaux douces (Groga, 2012).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.35.** Contribution des différentes classes d'algues à la richesse spécifique totale (RST) du peuplement phytoplanctonique du barrage de Béni-Haroun. Le pourcentage attribué à chaque classe d'algue représente le nombre de ses espèces par rapport à la RST (en %).

La classe des Chlorophycées assure, elle aussi, une grande part de cette richesse taxonomique, soit 11 %, suivie par les la classe des Conjugatophycées avec une diversité de 8,3%. D'importance moindre, apparaissent les Cryptophycées, Euglenophycées et Coscinodiscophycées avec des richesses spécifiques identiques ; elles représentent plus de 12%, de la richesse spécifique totale.

La classe de Mediophycées, se présente avec une faible contribution 2,8 %. Quant à la classe des Ulvophycées, elle ne joue qu'un rôle minoritaire dans la structure taxinomique globale du fait qu'elle n'atteigne même pas 2 % de la richesse spécifique totale.

Nous pouvons conclure que les Cyanophycées et les Bacillariophycées sont les groupes les plus importants et les plus diversifiés du phytoplancton du barrage, soit 63.6% de la richesse spécifique totale.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

### **IV.4.1.4 Estimation de densité stationnelle des différentes classes du phytoplancton**

Selon la figure IV.36, présentant la variabilité des densités stationnelles durant les huit campagnes de prélèvement réalisées au cours de notre cycle de travail à savoir qu'ils ont été réalisés comme suit : C1 et C5 : campagnes réalisées à la fin de la saison hivernale, C2 et C6 : réalisées en plein saison printanière, C3 et C7 : réalisées en plein été et C4 et C8 : réalisées à la fin de la saison estivale. Les campagnes C1, C2, C3 et C4 : réalisées durant l'année 2015 et celles de C5, C6, C7 et C8 : réalisées pendant l'année 2016.

- la station Kripssa St1, comptabilise 7 classes phytoplanctoniques : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Conjugatophyceae et Mediophyceae. A titre comparatif avec d'autres stations, celle-ci, présente la faible densité phytoplanctonique. Les campagnes C6 et C7 ont enregistré la plus haute densité phytoplanctonique respectivement avec 10 et 8 ind/ml suivies par C4 et C5 (6 ind/ml). Au total 21 ind/ml ont été comptés durant l'année 2016 contre 18 ind/ml enregistrés en 2015.

- la station Mellel St2, enregistre le même nombre de classes phytoplanctonique à l'exception de l'apparence des Dinophyceae à la place des Conjugatophyceae et avec des densités plus élevées que celles de Kripssa St1. A l'opposé de la station précédente, l'année 2015, présente les densités les plus élevées durant les campagnes C2 = 8 ind/ml, C3 = 9 ind/ml et C4 = 10 ind/ml. Au total 32 ind/ml enregistrés en 2015 contre 21 ind/ml comptés en 2016.

- la station Djellama St3, montre l'apparence de 6 classes phytoplanctoniques : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, et Conjugatophyceae. La densité la plus élevée est enregistrée durant la campagne C3 = 11 ind/ml. L'année 2015 détermine une densité globale de 30 ind/ml contre seulement 23 ind/ml en 2016.

- la station Hloufa St4 se manifeste avec l'apparence de 6 groupes phytoplanctoniques : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Conjugatophyceae et Mediophyceae. Les campagnes qui ont enregistré plus de densité sont : C3 = 11 ind/ml et C6 = 9 ind/ml. L'année 2016 présente la densité la plus élevée traduit par la comptabilisation de 25 ind/ml contre 23 ind/ml en 2015.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

- la station Ferdoua St5 avec une diversité de 5 classes phytoplanctonique : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Conjugatophyceae et Mediophyceae, cette station présente des densités importantes par rapport à d'autres stations, les plus élevées ont marqué les campagnes C3 = 19 ind/ml et C7 = 14 ind/ml. Au global, l'année 2015 a enregistré une densité estimée par 57 ind/ml contre une densité de 42 ind/ml comptée en 2016.

- la station Medious St6 se présente avec la même diversité que celle de Ferdoua avec 5 classes phytoplanctoniques à l'exception d'une apparence des Cryptophyceae à la place des Mediophyceae. La densité la plus élevée est enregistré au cours de l'année 2016 avec 8 ind/ml durant la campagne C8 et une densité totale estimé par 22 ind/ml contre seulement 16 ind/ml enregistré au cours de l'année 2015.

- la station Pont St7 s'est montrée par 5 classes phytoplanctonique : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae et Conjugatophyceae. La densité la plus élevée est enregistré durant la campagne C3 = 13 ind/ml. L'année 2015 a montré une densité globale estimée par 34 ind/ml contre 31 ind/ml comptabilisé pendant les campagnes de l'année suivante.

- celle de Tourba St8 s'est caractérisée par la présence de 6 classes phytoplanctoniques : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Conjugatophyceae et Mediophyceae. Les densités les plus élevées sont rencontrées au cours des campagnes C3 = 12 ind/ml et C7 = 11 ind/ml ; alors que la densité totale a été estimée par 33 ind/ml pour chacune des deux années.

- Metlili St9 s'est montré avec 4 classes : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae et Cryptophyceae. Les densités les plus élevées sont enregistrées durant les campagnes C3 et C7 respectivement avec les densités 12 ind/ml et 10 ind/ml. La densité globale la plus élevée est comptabilisé durant les campagnes de l'année 2015 avec une densité de 32 ind/ml contre celle enregistrée au cours de l'année 2016 avec une densité égale à 27ind/ml.

- celle d'Anouche St10 se présente avec une diversité de 7 classes : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Conjugatophyceae et Mediophyceae. Les densités les plus élevées ont été enregistré au cours de l'année 2015 durant les campagnes C3= 15ind/ml et C4 = 11ind/ml. L'année 2015 a enregistré la densité totale la plus élevée avec 39ind/ml contre 28ind/ml soulevée au cours des campagnes de l'année 2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

- au dernier la station Digue St11 vient avec 6 classes : Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, et Mediophyceae. Les densités enregistrées dans cette station sont faibles par rapport à celles déjà mentionnées dans les autres stations. La densité la plus élevée est enregistrée en 2016 au cours de la campagne C7= 9ind/ml suivie par celle enregistrée en 2015 durant la campagne C3= 7 ind/ml.

La classe des Cyanophycées est apparue comme une classe dominante dans plus de 80% de relevés dont les genres *Microcystis* et *Oscillatoria* sp, ont été présents en nombre important dans 70 % des prélèvements. En revanche les Nostacales comme les *Anabaena spiroides* et *Anabaena* sp ont surtout été présents en 2015 et 2016 en saison des pluies et en saison sèche en automne des deux années. Les Cyanophycées sont présentes pratiquement pendant toute la période d'étude.

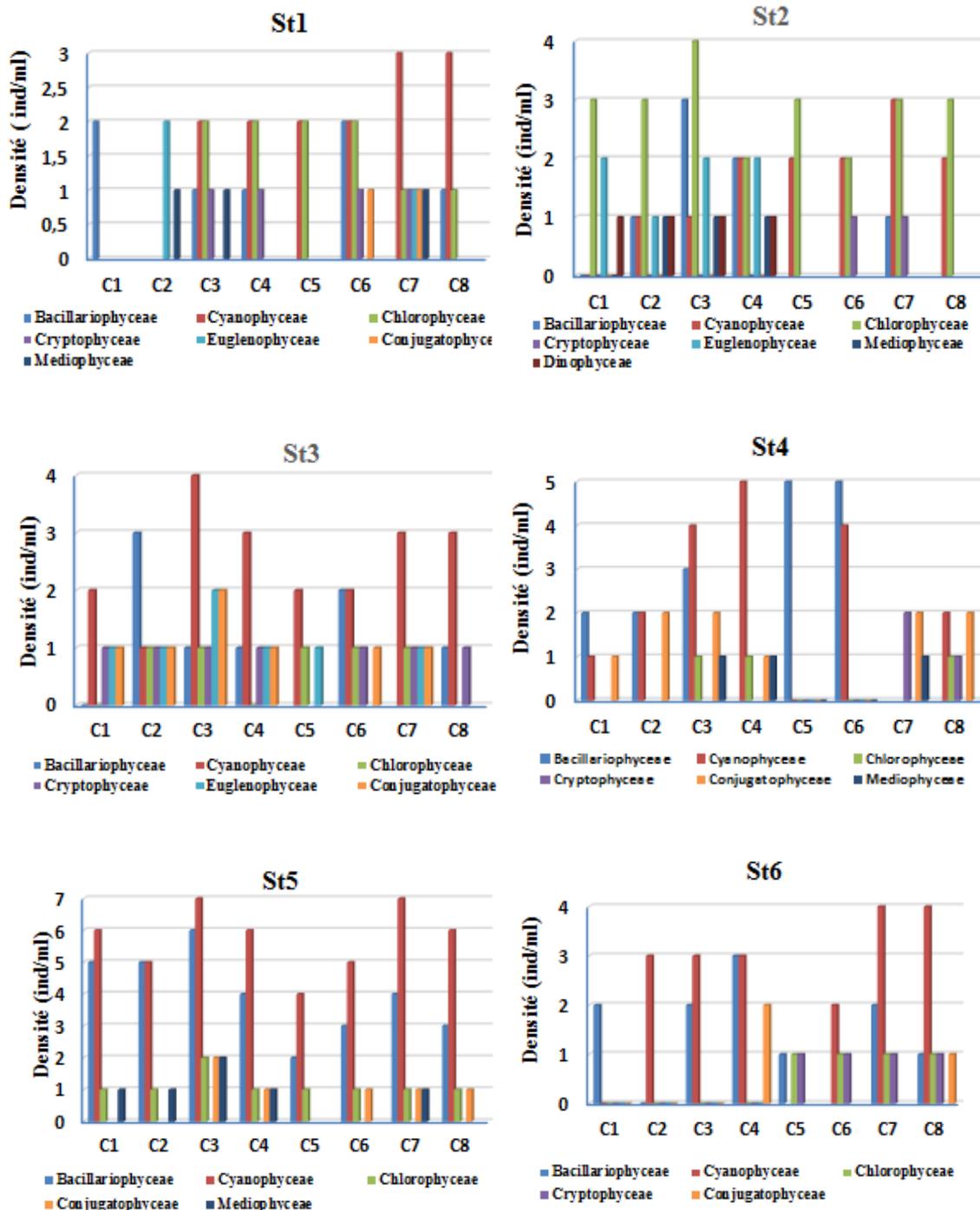
La classe des Bacillariophycées (Diatomées) est essentiellement dominée par la famille des Gomphonemataceae, Naviculaceae et Fragilariaceae, dont elles participent avec plus de 42 % du total des taxons, notamment par les espèces *Gomphonema elliptica*, *Gomphonema constrictum*, *Nitzschia* sp et *Gomphonitzchia* sp. *Pinnularia* sp, *Navicula* sp, *Fragilaria* sp et *Synedra* sp. Cependant, ces espèces pérennes n'ont jamais constitué une part importante de la biomasse phytoplanctonique dans nos relevés. Les Naviculaceae et les Surirellaceae, en revanche, malgré leur faible nombre de taxons observés, ont toujours été plus abondantes. Parmi les espèces qui ont le plus marqué les différents développements des diatomées, nous avons surtout observé *Fragilaria* sp. Cette dernière est observée en générale pendant toute l'année avec une fréquence particulière en saison de pluie. Les Bacillariophyceae ont toujours partagé la dominance avec les Cyanophyceae dans presque 65 % de relevés.

La classe des Euglenophycées, représentée par des *Euglena oxyuris*, *Euglena* sp, est peu représentée, et même très rare pour le genre *Phacus*.

Les chlorophycées, représentées par huit genres, ne sont jamais apparues comme une classe dominante. Cependant elles ont été présentes dans 12 % de l'ensemble des prélèvements.

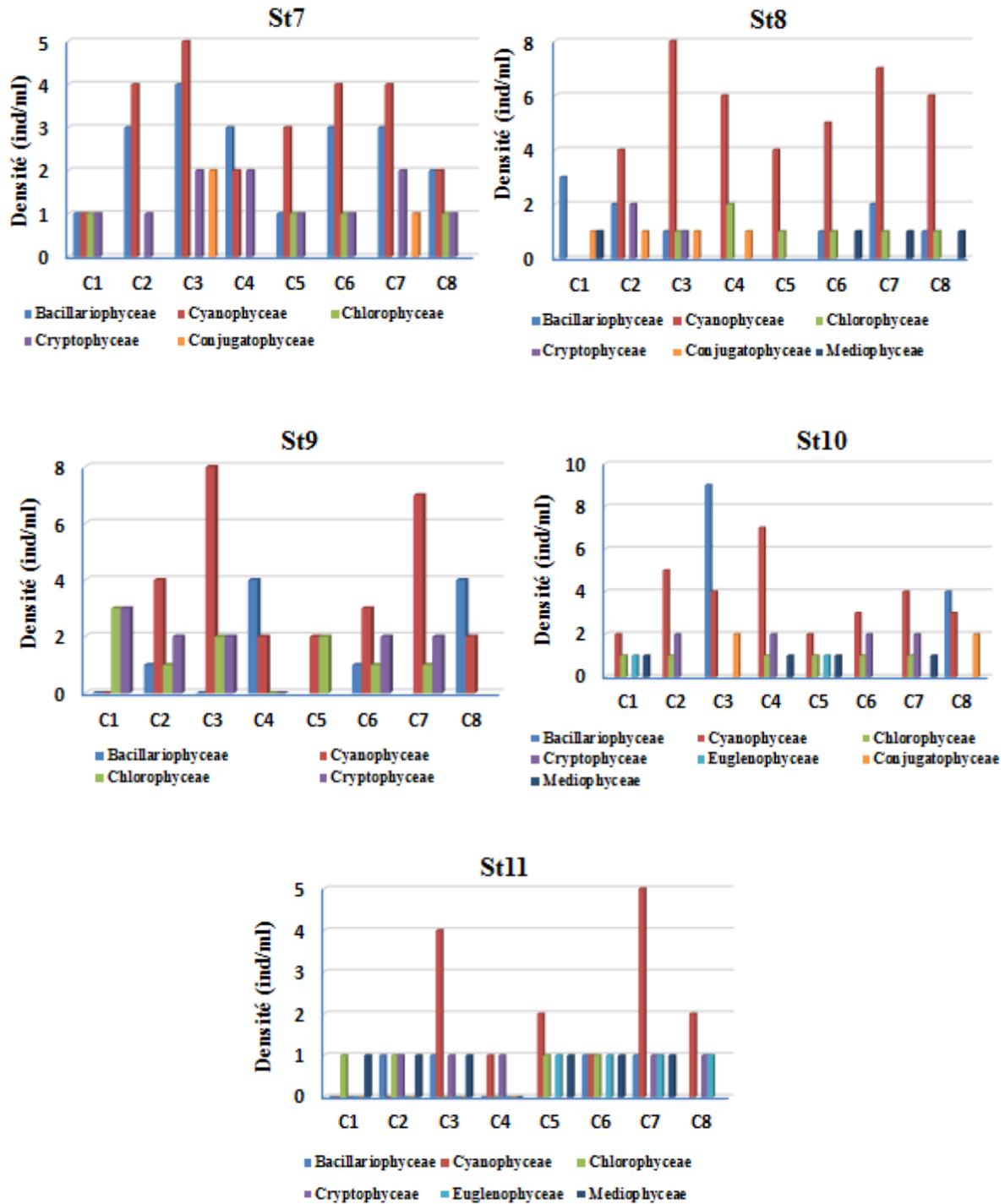
Les Chryptophycées, essentiellement représentées par *Cryptomonas* sp, *Chroomonas minuta* ont surtout été observées dans les prélèvements du printemps avec un taux toujours inférieur à 3 %. Cette classe n'a jamais constituée des valeurs élevées de densité.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV. 36.** Distribution de la densité phytoplanctonique dans les différentes stations du barrage entre (2015-2016). C1 et C5 : campagnes réalisées à la fin de la saison hivernale, C2 et C6 : réalisées en plein saison printanière, C3 et C7 : réalisées en plein été, et C4 et C8 : réalisées à la fin de la saison estivale. (C1, C2, C3 et C4 : réalisées l'année 2015). (C5, C6, C7 et C8 : réalisées l'année 2016).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV. 36.** Distribution de la densité phytoplanctonique dans les différentes stations du barrage entre (2015-2016). C1 et C5 : campagnes réalisées à la fin de la saison hivernale, C2 et C6 : réalisées en plein saison printanière, C3 et C7 : réalisées en plein été, et C4 et C8 : réalisées à la fin de la saison estivale. (C1, C2, C3 et C4 : réalisées l'année 2015). (C5, C6, C7 et C8 : réalisées l'année 2016).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Les Mediophycées, représentées par le genre *Cyclotella meneghiniana* et *Cyclotella sp*, malgré leur présence dans plus de 60 % de relevés, cette classe n'a jamais dépassé 1% de densité.

Les Conjugatophycées, représentées par six genres, n'a jamais aussi été abondante. Le genre le plus fréquent est *Spirogyra sp* et *Mougeotia sp* surtout en saison sèche.

Dans le barrage, les cyanobactéries (genre *Oscillatoria*) sont pérennes mais leur développement paraît inhibé pendant la saison froide, au moment de la prolifération des Diatomées. Leur densité devient considérable d'avril à septembre, c'est-à-dire pendant la saison chaude. D'après Reyssac (1970), son développement arrive jusqu'à 1000 filaments par litre en surface. On peut donc les considérer comme caractéristiques de la grande saison chaude ; les principales poussées avaient été observées dans des eaux à plus de 27°C. Elles s'accommodent des eaux pauvres en sels nutritifs, vraisemblablement en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique (Vonarx, 2008). La variation saisonnière des conditions environnementales agit également sur la composition et la succession des assemblages phytoplanctoniques, ainsi les espèces du phytoplancton ne réagissent pas de la même manière aux facteurs du milieu, en particulier la turbulence ; leurs taux de croissance, ainsi que leur dépendance vis-à-vis des nutriments, sont également variables (Gailhard, 2003).

### IV.4.1.5 Diversité et équitabilité

Selon la figure IV.37, la variabilité des indices de diversité et d'équitabilité varient d'une station à l'autre et d'une campagne à l'autre comme suit :

- la station Kripssa St1, enregistre les indices les plus élevés durant les prélèvements du printemps (Ish = 0,24 ; E = 0,03) et l'été (Ish = 0,25 ; E = 0,04) de l'année 2015 et l'hiver de l'année 2016 (Ish = 0,28 ; E = 0,05). Donc pour cette station, la campagne de l'hiver 2016 est le plus diversifié.
- la station Mellel St2, présente des indices plus importants que ceux de la station précédente durant toutes les campagnes de l'année 2015 avec une diversité proportionnellement importante en hiver de la même année (Ish = 0,35 ; E = 0,06) et celle du 2016 (Ish = 0,31 ; E = 0,05). Pour cette station, l'année 2015 est plus diversifiée que celle du 2016.

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

- la station Djellama St3 est caractérisée par une diversité aussi portante durant les huit campagnes avec des indices les plus élevés (Ish = 0,31 ; E = 0,04 et Ish = 0,31 ; E = 0,06) en été respectivement en C3 et C6.
- par contre la station Haloufa St4, enregistre les diversités les plus élevées durant les campagnes de l'année 2016 au printemps C6 (Ish = 0,36 ; E = 0,06) et en été C7 (Ish = 0,41 ; E = 0,06).
- la station Ferdoua St5, présente des indices de diversité et d'équitabilité plus importantes que les stations précédentes pratiquement pour l'ensemble des campagnes dont l'indice de Shannon varie entre 0,38 et 0,41 pour des indices d'équitabilité s'échelonnent entre 0,06 et 0,07. Les campagnes C1 et C8 présentent les mêmes indices de Shannon et d'équitabilité (Ish = 0,41 ; E = 0,07).
- la station Medious St6, enregistre les indices de Shannon les plus élevés pendant les campagnes C4 (Ish = 0,39) et C8 (Ish = 0,37) avec une diversité non négligeable en C1 (Ish = 0,35) avec le même indice d'équitabilité (E = 0,06).
- la station Pont St7, présente des indices de diversité proches varient entre (Ish = 0,29 - 0,36 ; E = 0,04 - 0,06), les plus élevées sont comptabilisés pendant les campagnes C2 et C6 avec les mêmes valeurs des indices de Shannon et d'équitabilité (Ish = 0,36 ; E=0,06).
- la station de Tourba St8, est comptée parmi les stations les plus diversifiées comparativement avec d'autres stations telles que St1 et St11. Les indices les plus élevés sont enregistrés durant les campagnes C2 (Ish = 0,36 ; E = 0,06) et C8 (Ish = 0,37 ; E = 0,06).
- la station de Metlili St9, c'est la station la plus diversifiée, elle se présente avec les indices de Shannon les plus élevés allant de 0,30 à 0,42. Les campagnes les plus diversifiées sont celles des C2 (Ish = 0,36 ; E = 0,06) et C7 (Ish = 0,42 ; E = 0,06).
- la station d'Anouche Ali St10, se montre avec les indices les plus diversifiés durant les campagnes de l'année 2015 variant entre Ish = 0,32 – 0,37 et E = 0,05 – 0,06).

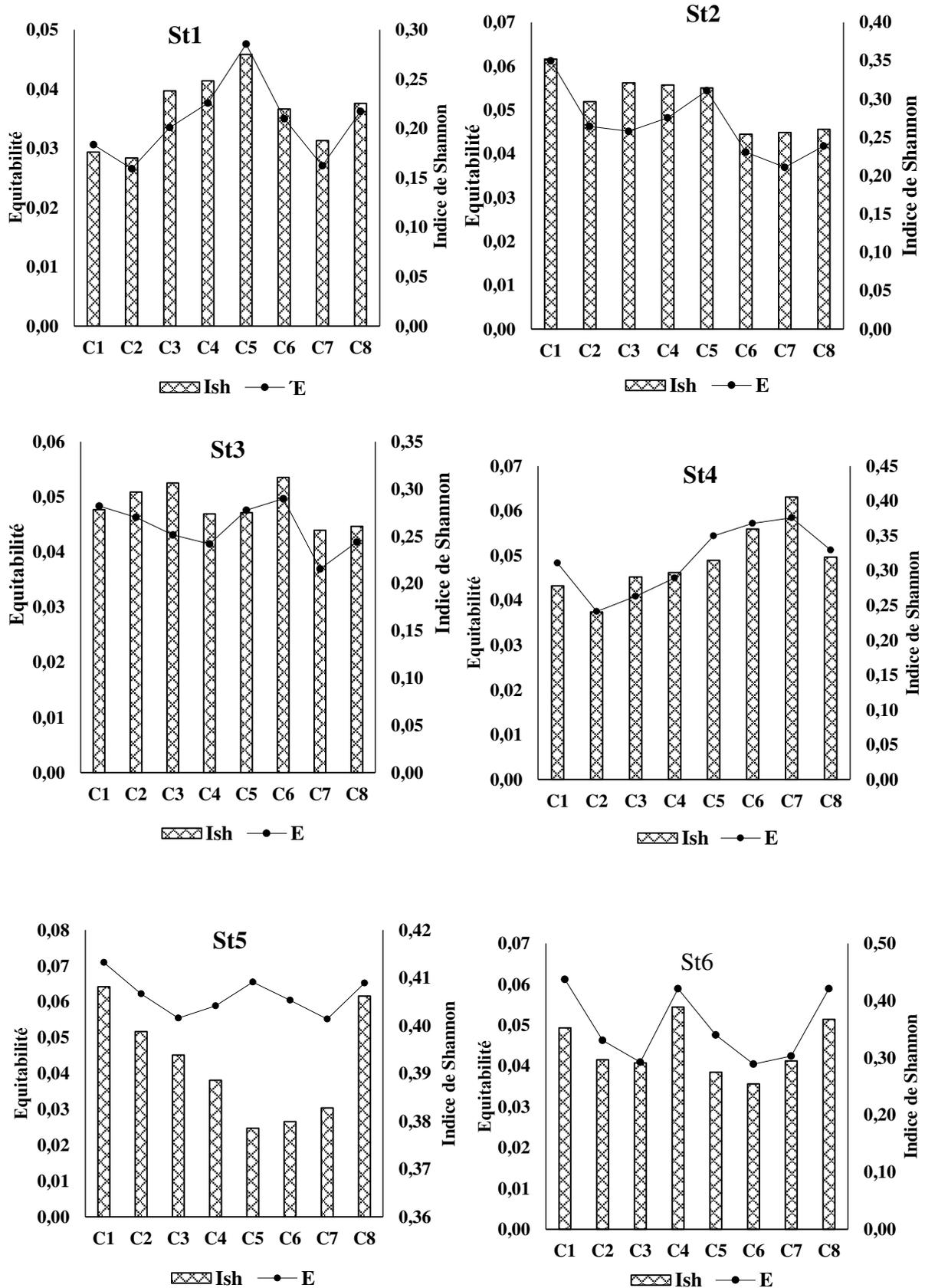
## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

- La station Digue du barrage St11, apparaît moins diversifiée avec des valeurs des indices plus faibles enregistrés au cours des prélèvements de l'année 2015 alors que l'année 2016, présente les indices les plus élevées pendant les campagnes C5 (Ish = 0,31 ; E = 0,05), C6 (Ish = 0,28 ; E = 0,05) et C7 (Ish = 0,28 ; E = 0,04).

Selon le test ANOVA, les variations spatiale des indices de diversité Shannon et d'équitabilité dans les eaux du barrage (fig. IV.37) sont hautement significatives (Isd :  $F= 8,002$ ,  $p=0,000$  ; E :  $F=13,228$ ,  $p= 0,000$ ) alors qu'aucune variation du paramètre campagne n'a été détectée (Ish :  $F= 1,336$ ,  $p= 0,245$  ; E :  $F= 0,011$ ,  $p= 1$ ). Cela est forcément lié à la particularité de chaque station. Les indices de Shannon et d'équitabilité atteignent les valeurs les plus basses en saison de pluie, puis la diversité s'élève rapidement en saisons printanières en raison du développement de plusieurs espèces de Cyanophyceae, Diatomées, Chlorophycées, Conjugatophycées et Mediophycées. En saison estivale et automnale, les communautés sont au maximum de leur diversité.

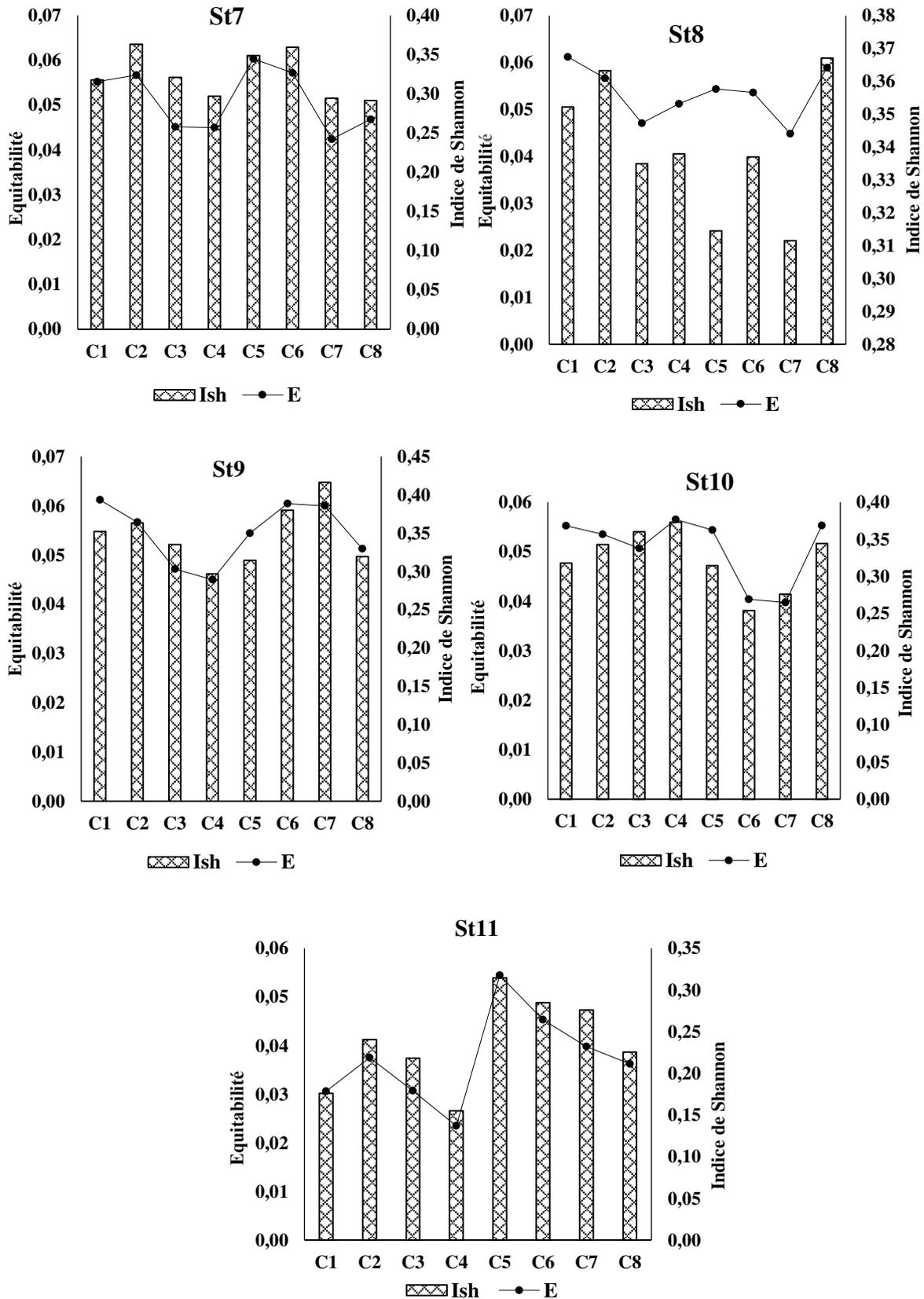
Dans certaines stations, les évolutions saisonnières des indices de Shannon et d'équitabilité varient de façon différente, ce qui suggère que les espèces phytoplanctoniques peuvent répondre différemment aux conditions du milieu (Gay, 1980).

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV. 37.** Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) aux stations d'étude.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



Suite IV. 37. Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) aux stations d'étude

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Les indices de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) sont basés sur les proportions d'espèces observées. Dans le barrage, les valeurs moyennes des indices et d'équitabilité au cours des deux années sont respectivement portées dans le tableau qui suit :

**Tableau IV.17.** Indices de Shannon et d'équitabilité des stations du barrage Béni Haroun pour une période de deux ans (2015- 2016).

| Stations    | Codes des stations | Indice de Shannon | Équitabilité |
|-------------|--------------------|-------------------|--------------|
| Kripssa     | St1                | 0,22              | 0,03         |
| Mellel      | St2                | 0,30              | 0,05         |
| Djellama    | St3                | 0,28              | 0,05         |
| Haloufa     | St4                | 0,31              | 0,05         |
| Ferdoua     | St5                | 0,39              | 0,06         |
| Medious     | St6                | 0,31              | 0,05         |
| Pont        | St7                | 0,32              | 0,05         |
| Tourba      | St8                | 0,34              | 0,05         |
| Metlilli    | St9                | 0,35              | 0,05         |
| Anouche Ali | St10               | 0,32              | 0,05         |
| Digue       | St11               | 0,24              | 0,04         |

Les valeurs moyennes minimales des indices de Shannon et d'équitabilité sont observées à la station St1 (Ish = 0,22 ; E = 0,03) tandis que les maximales sont obtenus à la station (St5) (Ish = 0,39 ; E = 0,06). La variabilité des indices est élevée aux stations St5, S7 et St9. En revanche une variabilité relativement faible est enregistrée aux stations : St1, St2, St3, St4, St6, St8, St10 et St11 (fig IV.37). Le seuil retenu par Daget (1979) comme indice d'un peuplement équilibré, soit 0.80, n'a été atteint dans aucune station.

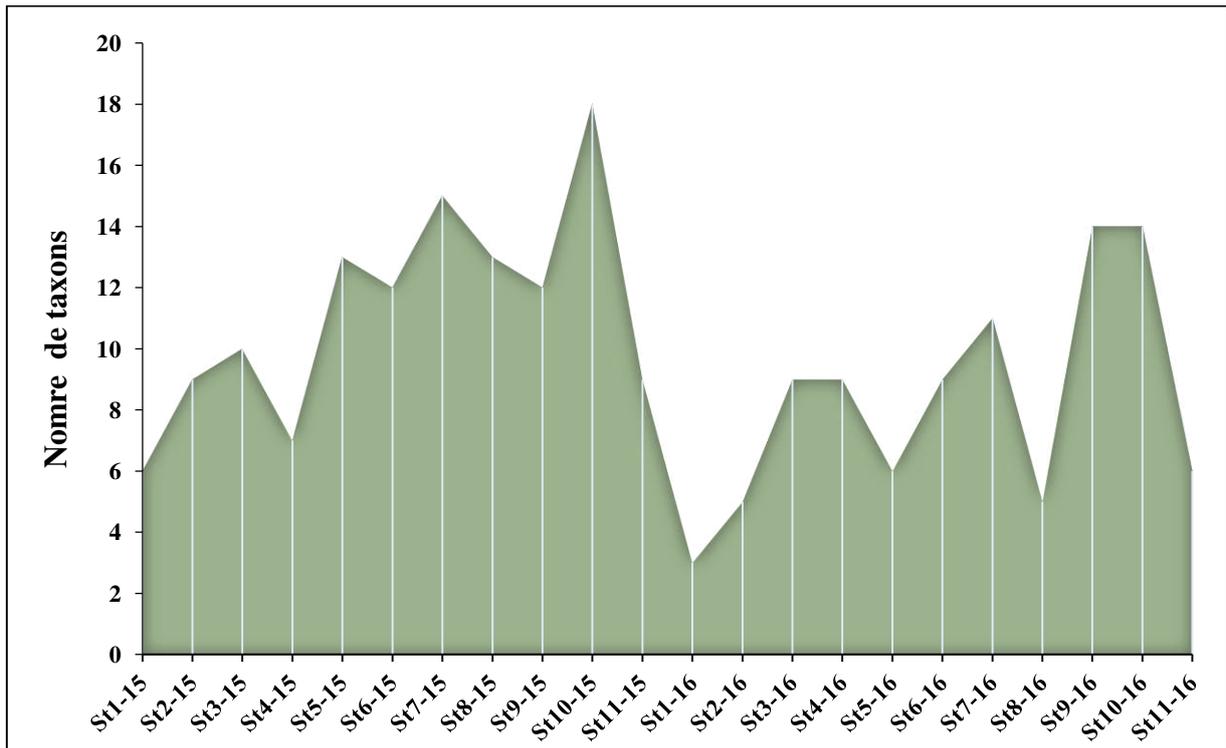
### IV.4.2 Analyse quantitative

#### IV.4.2.1 Diversité relative de la composition algale

L'analyse quantitative a révélé une population algale moins diversifiée par analogie à l'analyse qualitative soit 62 taxons répartis sur huit groupes avec la dominance des mêmes classes algales déjà évoqués par l'analyse qualitative.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

La figure (IV. 38) illustre les variations spatiales de la diversité algale ; nous constatons que l'année 2015 se distingue par une diversité maximale composée de 18 taxons à la station St10 (Metlili), suivie par Medious (St7) avec 15 taxons, les stations St5 et St8 avec une diversité de 13 taxons. Les stations St6 et St9 hébergent le même nombre de 12 taxons, la station Djellama (St3), 10 taxons alors que la digue (St11) et Mellel (St2) abritent 9 taxons chacune. Les stations St4 et St1 sont les moins diversifiées de l'année 2015 avec respectivement 7 et 6 taxons.



**Figure IV.38.** Nombre de taxons phytoplanctoniques rencontrés dans les stations du barrage Béni-Haroun en 2015 et 2016.

Quant à l'année 2016, l'évolution spatiale suit le même profil que l'année précédente avec des diversités moindres allant de 3 et 14 taxons, en liaison, probablement, aux variations des conditions abiotique (climat, facteurs physico-chimiques...) et biotique (prédation...) (Gay, 1980 ; Grogga, 2012). Cette diversité est bien liée aux variables spatiales caractéristiques des stations d'études. Les stations qui ont enregistrées plus de taxons sont celles déjà mentionnées dans la partie précédente comme des stations loin des points d'altération et riches en nutriments, alors que les plus basses diversités ont été attribuées aux stations les plus exposées aux apports polluants.

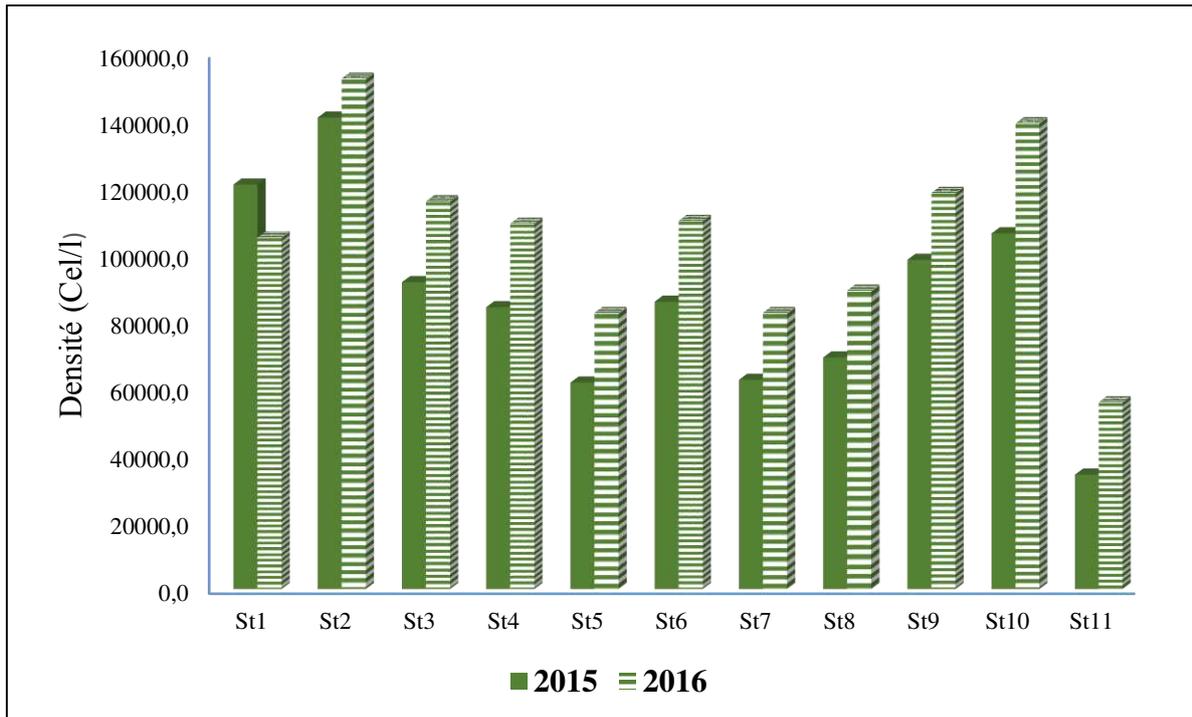
## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Les variations de la composition spécifique sont attribuées aux conditions environnementales via les facteurs physiques (lumière, température, turbulence), chimiques (nutriments, chélateurs organiques, vitamines) et biologiques (compétition, broutage). L'importance relative des facteurs biologiques et physico-chimiques sur la succession des assemblages est difficile à évaluer (Hallegraeff et Reid, 1986).

### **IV.4.2.2 Densité spatiale de la composition algale**

L'évolution de la densité du phytoplancton varie d'une année à une autre ; d'après le résultat obtenu (fig.IV.39), les plus fortes densités ont été enregistrées en 2016 comparativement à 2015 à l'exception de la station St1 qui a montré une densité plus élevée en 2015 soit 120833,3 Cel/l contre 105000 Cel/l en 2016. Les stations qui ont révélé un développement phytoplanctonique en 2016 excédant celui de 2015 sont la St2 avec la densité maximale des deux années soit 152500 / 1408333 Cel/l, suivie par les stations St10 (139166,7 / 106250 Cel/l), St9 (118333,3 / 98333,3 Cel/l), St3 (115833,3 / 91666,7 Cel/l), St6 (110000 / 85833,3 Cel/l) et St4 (109166,7 / 84166,7 Cel/l). Les stations St5 et St7 enregistrent globalement les mêmes densités, probablement en raison de leur localisation. En effet, les deux stations appartiennent à la même région et subissent des actions anthropiques similaires. La station près de la digue (St11), en revanche, enregistre les plus faibles densités (55833,3 / 34166,7 Cel/l). Sur un cycle de deux ans, les densités du phytoplancton enregistrées dans les différentes stations étudiées oscillent entre 45000 – 14666,7 Cel/l (voir annexe 24).

La densité phytoplanctonique peut être davantage favorisée par le cycle des éléments nutritifs dont le retour dans la zone euphotique n'est pas perturbé par la stratification (Richardson et Schoeman, 2004) ; mais elle peut être défavorisée par la turbidité minérale et une faible couche euphotique. Une turbulence moins faible due au vent ne favorise pas la remise en suspension des particules minérales du sédiment. Cette situation va permettre le maintien d'une activité photosynthétique moyenne et relativement constante dans tout le milieu.



**Figure IV.39.** Evolution de la densité moyenne annuelle dans les différentes stations du barrage Béni-Haroun en 2015 et 2016.

Pour la plupart des stations, les Cyanophycées et les Bacillariophycées sont relativement les plus abondantes dans l'ensemble des échantillons. L'année 2015, présente la diversité la plus élevée avec des pics :  $18 \cdot 10^4$  Cel/l enregistrée à la station Anouche (St10),  $15 \cdot 10^4$  Cel/l aux stations St5 et St7. Ces dernières sont déjà mentionnées parmi les stations les plus riches en éléments nutritifs. La plus basse diversité est enregistrée à la station près de la digue caractérisée par le mélange des eaux de différentes origines.

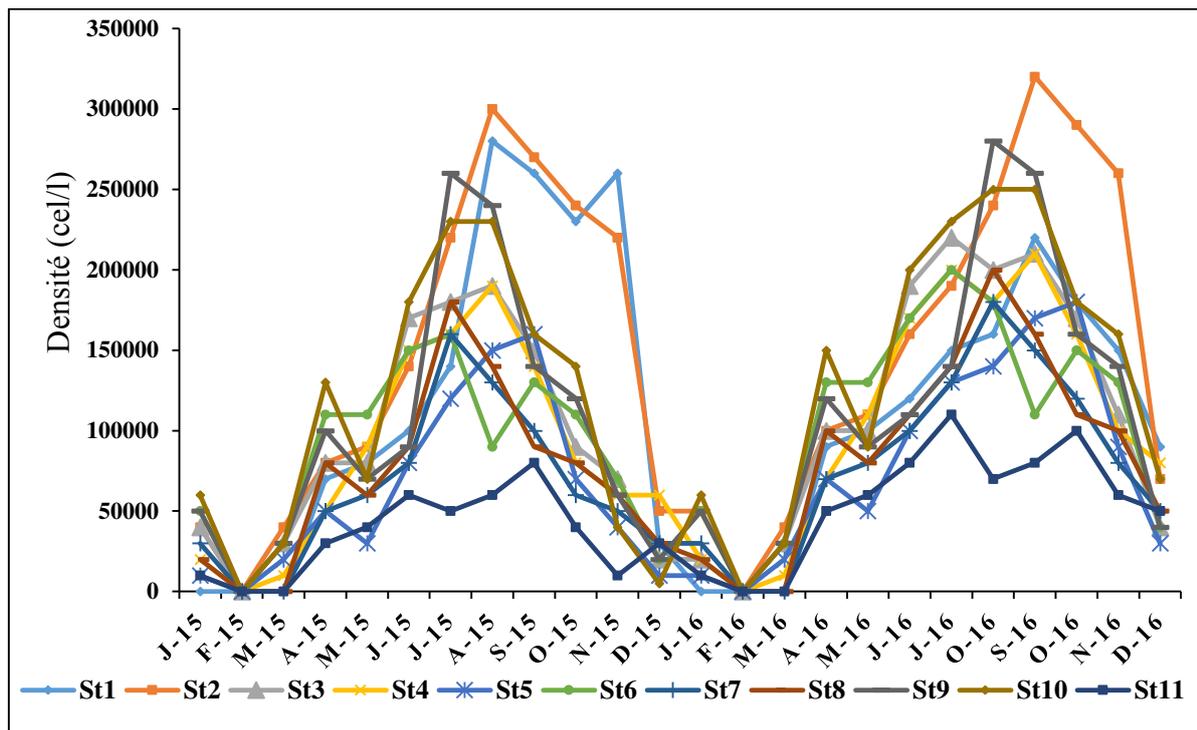
#### IV.4.2.3 Dynamique mensuelle de la densité algale

La dynamique des populations phytoplanctoniques est fréquemment examinée à travers la réponse de la communauté dans son ensemble, aux variations environnementales, à l'aide de variables synthétiques telles que la biomasse phytoplanctonique totale ou la production primaire (Gailhard, 2003).

L'estimation mensuelle de la densité algale (fig. IV.40) durant 24 mois a révélé des différences annuelles. Un très faible développement moyen du phytoplancton variant entre 1000 et 6000 Cel/l, est enregistré durant le premier trimestre pour les deux années avec des fluctuations d'une station à l'autre.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Cette période de l'année, représentée essentiellement par des Diatomées et des Chlorophyceae, est une situation de référence précédant le début du développement printanier (température de l'air < 10°C et de l'eau < 20°C). A cette période de l'année, l'activité phytoplanctonique est minimale, et la matière organique produite lors du cycle biologique antérieur a été minéralisée. La quantité d'éléments nutritifs mesurée représente le stock dont pourra disposer le phytoplancton pour son développement printanier (Morin *et al.*, 1991).



**Figure IV.40.** Evolution spatio-temporelle de la densité microalgale du barrage Béni Haroun durant la période de 24 mois.

Donc, les algues à cette période de l'année disposent d'un début d'éclairement déjà intense et d'une concentration de sels nutritifs élevée, ramenés dans la zone euphotique pendant le brassage verticale des eaux qui s'opère pendant la saison des pluies. Le phytoplancton est alors constitué essentiellement d'espèces de grande taille difficilement consommées par le zooplancton. Bennouna *et al.* (2000) ont montré que les Bacillariophyceae (diatomées) (bien qu'en densité faible) dominent pendant l'hiver et le printemps quand les températures sont relativement basses (17 à 18°C).

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Les mois d'avril et mai ont montré la première phase de croissance du phytoplancton à l'exception d'un petit effondrement le mois de mai-2015 dans quelques stations, expliqué peut être par un développement massive du zooplancton. La densité varie entre 3000 et 13000 Cel/l pour la première année et de 6000 à 20000 Cel/l pour la deuxième, représenté essentiellement par des Cyanophyceae > Cryptophyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae > Mediophyceae.

En plein été, un nombre maximum de cellules est enregistré en juin, juillet, août et même le mois de septembre, avec un pic le mois d'août 2015 (30000 Cel/l) à la station Mellel et le deuxième au mois de septembre de l'année 2016 estimé par 38000 Cel/l). A cette période de l'année, l'activité phytoplanctonique est maximale, largement dominée par les Cyanophyceae > Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Cryptophyceae > Mediophyceae, Dinophyceae > Euglenophyceae > Zygnematophyceae. Selon Capblancq (1972), Revaclier et Druart (2000) et Leboulanger *et al.* (2003), le biovolume algale présente une phase de croissance rapide et atteint une valeur maximale entre juillet et août.

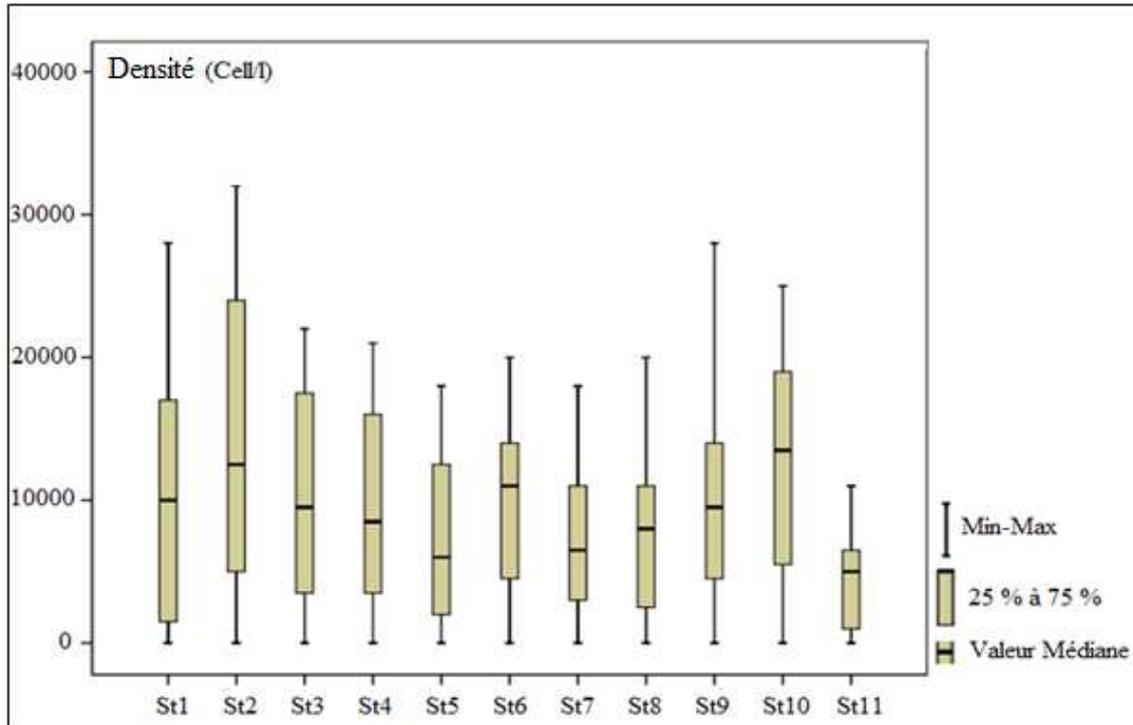
Pour l'année 2016, cette période s'est étalée jusqu'au mois de novembre, où nous avons enregistré des quantités de biovolume évoluant entre 6000 et 28000 Cel/l). Le déclin du phytoplancton enregistré dans certaines stations pendant cette période de l'année serait à mettre probablement en relation avec une forte présence de zooplancton et une forte augmentation de la transparence aboutissant à une phase des eaux claires. Le broutage peut être considéré comme un facteur décisif de cette chute en quantité de biomasse (Reynolds, 2006). Selon Schmoker *et al.* (2013), le taux de perte par le broutage peut être considérable, au point d'entraîner la disparition des populations de phytoplancton. Le taux de mortalité, engendré par le broutage, peut représenter de 40 % à plus de 90 % du taux de croissance du phytoplancton selon les régions du monde.

Une baisse régulière du nombre cellulaire algale est observée à la fin du mois de septembre jusqu'à novembre de l'année 2015, alors que pendant l'année 2016, cette période s'est prolongée jusqu'au mois de novembre, où on a enregistré une densité (28000 Cel/l) dans la station Mellel. Cette phase, bien que sa durée change d'une année à l'autre, explique dans la plupart des cas, la fin de la stratification estivale, dominée essentiellement par les Cyanophyceae > Diatomées > Chlorophyceae > Dinophyceae.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Globalement le développement du phytoplancton en 2016 s'avère plus important que durant 2015 probablement influencé par les différences météorologiques entre les deux années. En effet, le climat méditerranéen chaud en été favorise la persistance des cyanobactéries dans les eaux douces eutrophes, dont la multiplication peut démarrer au printemps et persister jusqu'à décembre (Sivonem et Jones, 1999 ; Kormas et *al.*, 2011). Parmi tous les groupes phytoplanctoniques des lacs et réservoirs, les cyanobactéries posent des problèmes supplémentaires du fait de leur potentiel toxique qui gêne les usages de l'eau et représente un danger pour la santé humaine et animale (Leitão et Couté, 2005).

La dynamique des groupements algaux dans le temps est fortement liée aux variations des facteurs abiotiques dépendant des variations saisonnières. Différentes études suggèrent que la saisonnalité influe sur la composition, la structure et la densité du phytoplancton, (Reynolds, 1992 ; Padisak, 1993 ; Yin, 2002 ; Lavoie et *al.*, 2003 et Matos et *al.*, 2011). En outre, les micro-algues ont la capacité de pouvoir réagir à un changement de leur environnement en modifiant leurs voies métaboliques c'est-à-dire de type trophique autotrophe à celui d'hétérotrophe et mésotrophe (Chojnacka Katarzyna, 2004 ; Perez-Garcia et *al.*, 2011 ; Michaud, 2016).



**Figure IV.41.** Amplitude des variabilités temporelles de la densité dans les stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Une large variabilité temporelle du nombre d'individus est observée dans la plupart des stations. La figure IV.41, fait ressortir deux groupes de stations sur la base des distributions de la densité par rapport à la médiane : un groupe renferme (St2, St3, St4, St5 et St7) avec des valeurs tendant vers les valeurs minimales alors que le reste des stations (St1, St6, St8, St9 et St10), présentent une variabilité asymétrique inclinée vers les valeurs maximales. La station digue s'isole avec la plus faible valeur de médiane.

La variabilité saisonnière de la densité est très hautement significative au niveau de chaque station ( $F= 102,915$  ;  $P = 0,000$ ). Les variations saisonnières ont une grande influence sur les variables physicochimiques et biologiques, puisqu'elles sont responsables, entre autres, des variations de température, de lumière, du débit et de la disponibilité des éléments nutritifs (Lavoie et *al.*, 2003). L'influence des cycles saisonniers en domaine tempéré sur la dynamique de la densité phytoplanctonique a déjà été évoquée antérieurement. La variation saisonnière des conditions environnementales agit également sur la composition et la succession des assemblages phytoplanctoniques.

Les résultats du test de Bonferroni (tab. IV.18) permet de distinguer six groupes de stations homogènes :

- Le groupe (A), où la moyenne est la plus élevée (St2 : 14666,67 Cel/l) ;
- Le groupe (AB) relative à la station Anouche (St10) avec une moyenne de 12458,33 Cel/l ;
- Le groupe (ABD) renferme les stations Djellama (St3), Haloufa (St4), Ferdoua (St5), Tourba (St8) et Metlili (St9) ; les moyennes oscillent entre 7208,33- 10833,3 Cel/l ;
- Le groupe (BCD) s'écarte avec la station Pont (St7) : 7250 Cel/l ;
- Le dernier groupe (D) formé par celle près de la digue (St11) caractérisée par la plus faible densité : 4500 Cel/l.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV. 18.** Résultats du Test Bonferroni des teneurs moyennes de la densité phytoplanctonique (Cel/l) des eaux des stations du barrage Béni-Haroun en 2015-2016.

| Stations | Densité  | A   | B   | C   | D   |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|
| Mellel   | 14666,67 | *** |     |     |     |
| Anouche  | 12458,33 | *** | *** |     |     |
| Kripssa  | 11291,67 | *** | *** |     | *** |
| Metlili  | 10833,33 | *** | *** |     | *** |
| Djellama | 10375,00 | *** | *** |     | *** |
| Medious  | 9791,67  | *** | *** |     | *** |
| Haloufa  | 9666,67  | *** | *** |     | *** |
| Tourba   | 7916,67  | *** | *** |     | *** |
| Pont     | 7250,00  |     | *** | *** | *** |
| Ferdoua  | 7208,33  |     | *** |     | *** |
| Digue    | 4500,00  |     |     |     | *** |

### IV.4.2.4 Amplitude saisonnière de la densité algale

Durant l'année 2015, le développement phytoplanctonique maximale (fig. IV.42) est observé pendant à la saison estivale avec des pics importants signalés aux stations St2 > St10 > St9, dépassant  $19.10^3$  Cel/l. Cette saison est marquée par une densité moyenne égale 15606 Cel/l.

De même, le développement algal de la saison automnale n'est pas négligeable avec des pics aussi importants aux stations St1 > St2, supérieurs à  $24.10^3$  Cel/l. L'automne enregistre, une moyenne de biovolume égale à 11758 Cel/l.

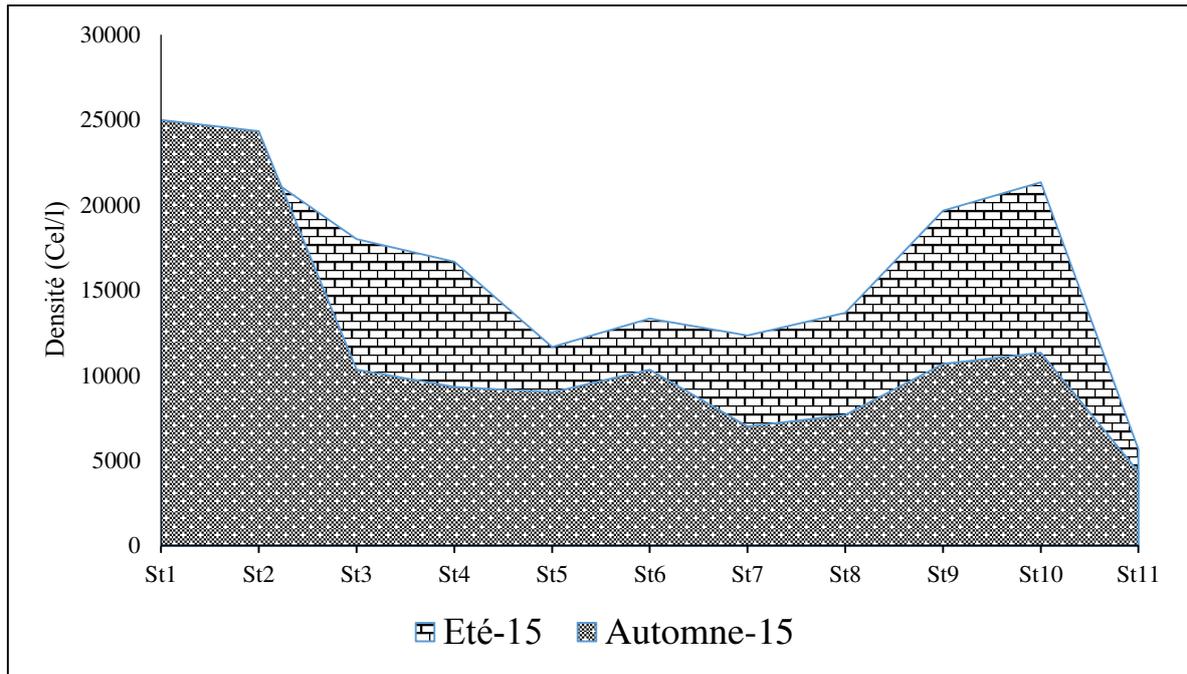


Figure IV.42. Amplitude saisonnière moyenne de la densité phytoplanctonique des stations du barrage Béni-Haroun durant l'été et l'automne 2015.

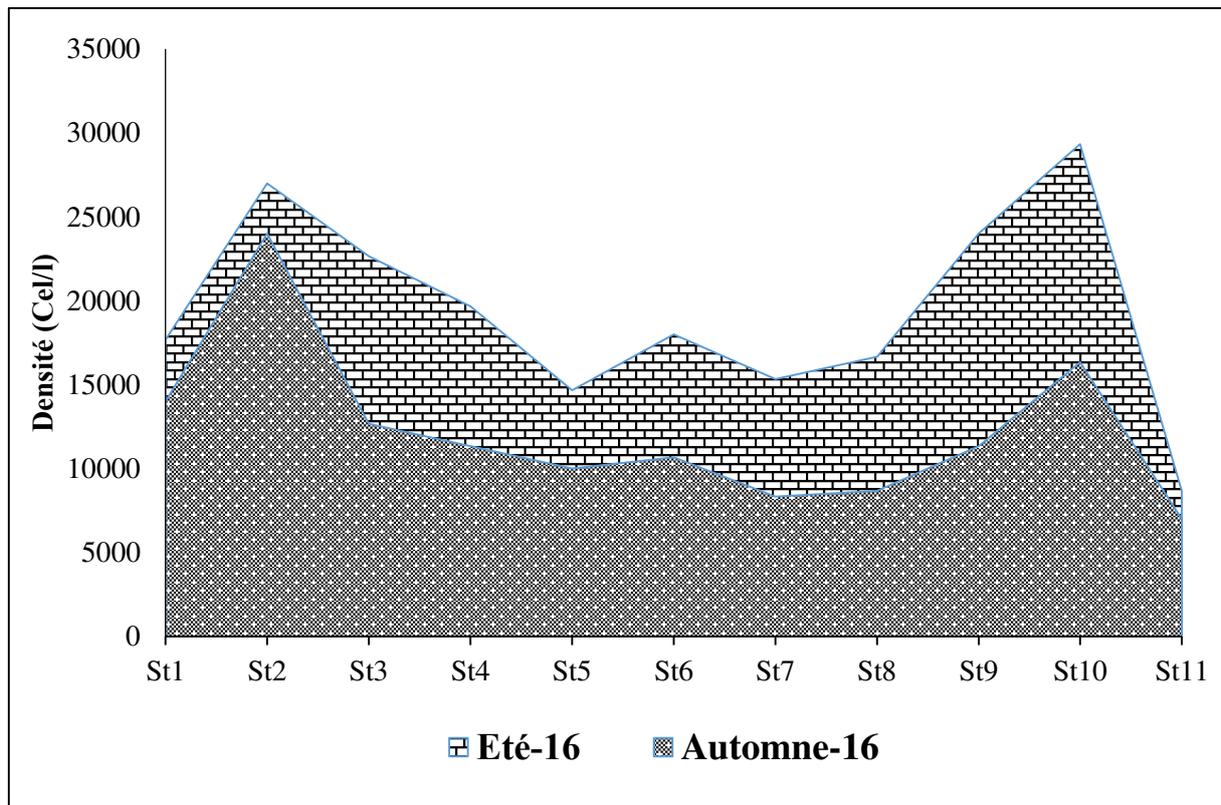
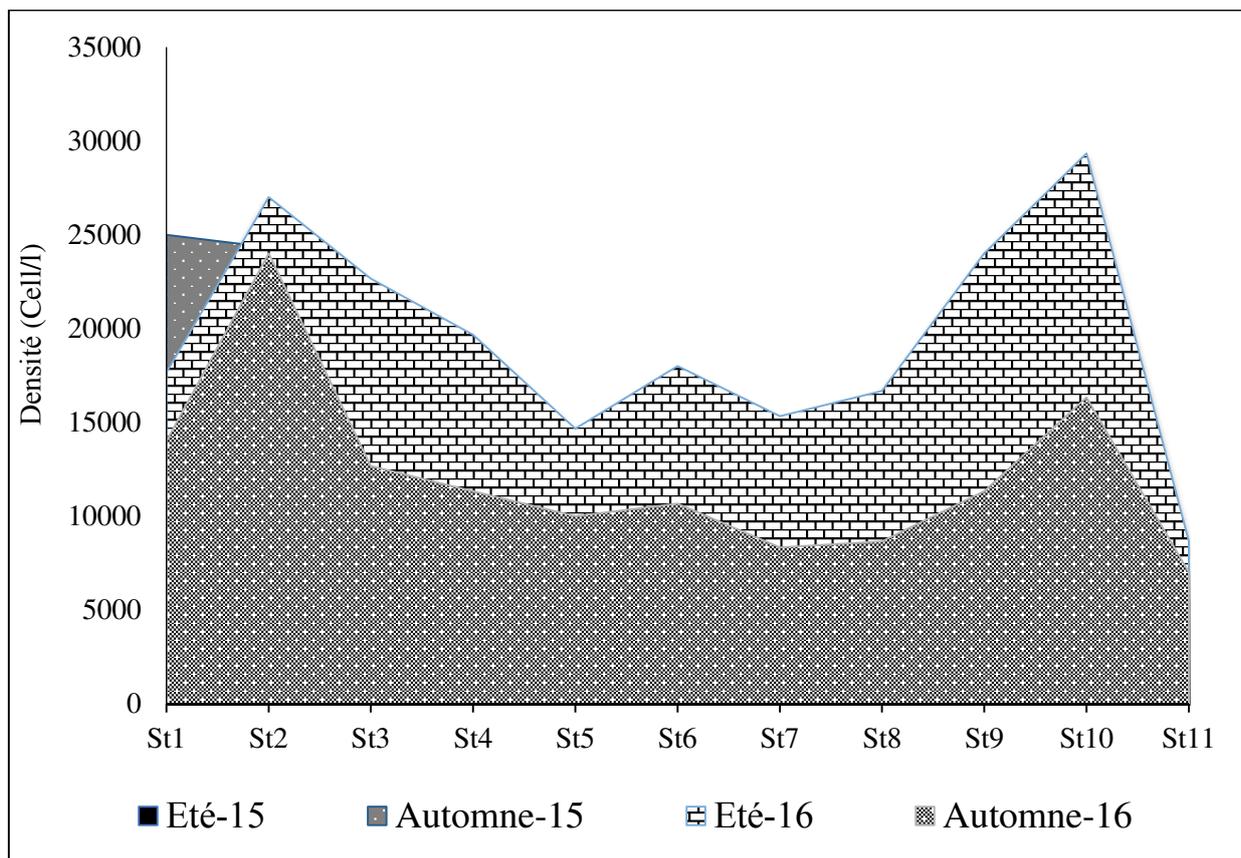


Figure V.43. Amplitude saisonnière moyenne de la densité phytoplanctonique des stations du barrage Béni-Haroun durant l'été et l'automne 2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

L'évolution des densités cellulaires totales montre des variations saisonnières importantes davantage en 2015 qu'en 2016 (Fig IV.44). La période pluvieuse est de faible productivité algale tandis que les saisons estivale et automnale sont marquées par les plus fortes densités cellulaires. Les maxima enregistrés en plein été varient entre de  $30.10^3$  Cel/l (St2) en août 2015 et  $32.10^3$  Cel/l dans la même station au début de septembre de l'année 2016. D'après des recherches du CNRS, cela est due au brassage des eaux en hiver provoquant une redistribution des nutriments en surface ce qui limite l'abondance du phytoplancton ayant besoin pour croître à la fois des nutriments et de lumière. À l'opposé, en saison printanière et estivale, lorsque la colonne d'eau se stratifie à nouveau, l'abondance des nutriments apportés en surface durant l'hiver et la disponibilité de la lumière donnent lieu à un développement intense (CNRS-INSU, 2014).



**Figure IV.44.** Amplitude saisonnière moyenne de la densité phytoplanctonique durant la période allant de janvier 2015 à novembre 2016.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

L'amplitude saisonnière (fig. IV.44) durant la période allant de janvier 2015 à novembre 2016 a révélé un large développement du phytoplancton pendant la saison estivale de l'année 2016, suivi par la saison automnale de la même année avec des pics aussi importants enregistrés pendant la saison hivernale de l'année 2015. Un tel résultat ne peut être attribué qu'aux variations des conditions environnementales (température, lumières, éléments nutritifs, etc) caractéristiques à la période étudiée. L'impact d'un changement environnemental, qu'il soit régional ou à grande échelle, se propage assez rapidement à travers la chaîne alimentaire (Roemmich et McGowan 1995 ; Richardson et Schoeman 2004).

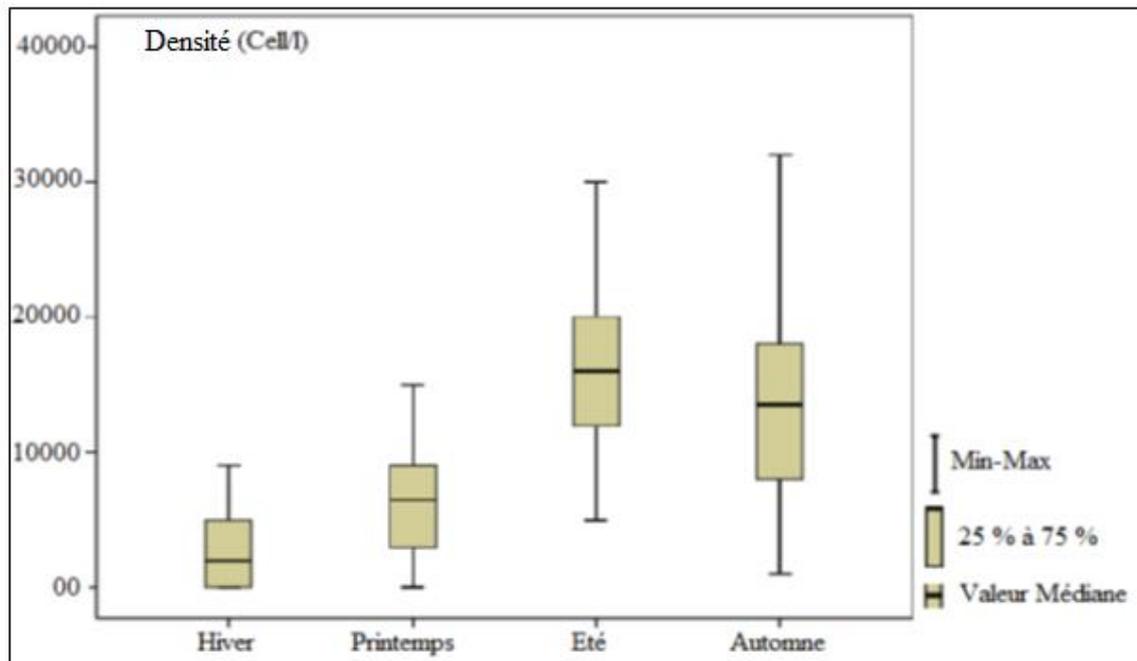
Le phytoplancton du barrage est principalement dominé par le picophytoplancton qui regroupe les espèces d'une taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$ . On y compte des cyanobactéries (*Peridinium* et *Synechococcus*) ainsi que de petits eucaryotes comme des flagellés (Siokou-Frangou et al., 2010). Des espèces du nanophytoplancton (taille entre 2 et 20  $\mu\text{m}$ ) comme les dinoflagellés ainsi que des espèces du microphytoplancton (taille entre 20 et 200  $\mu\text{m}$ ) dont font partie la plupart des diatomées. Elles sont aussi abondantes et caractéristiques du climat méditerranéen (Boldrin et al., 2002 ; Zervoudaki et al., 2007 ; Ignatiades et al., 2009).

Une succession saisonnière de ces différents groupes phytoplanctoniques a été observée sur l'ensemble du barrage. Aux stations situées proche des embouchures des oueds (Endja, Mila et Rhumel), la densité atteint son maximum en été et en automne quand la colonne d'eau est stratifiée avec un écart plus élevé en 2016. Ensuite, la période hivernale est caractérisée par de faible développement de Bacillariophycées due probablement à la diminution de l'activité photosynthétique à cause des basses températures, alors qu'au début du printemps, nous observons une sensible multiplication des Diatomées et les Dinophycées (Vidussi et al., 2000 ; Marty et al., 2002), correspondant au début de l'activité photosynthétique. Les variations saisonnières de la structure phytoplanctonique des eaux naturelles suivent généralement un schéma assez bien connu tel que décrit par Sommer *et al.* (1986). Cependant, pour les réservoirs, les conditions hydrologiques peuvent largement influencer cette dynamique saisonnière. En domaine tempéré, le cycle saisonnier de la production phytoplanctonique est principalement contrôlé par la dynamique de mélange de la colonne d'eau (Margalef, 1958 : en effet, pour sa croissance et sa reproduction, le phytoplancton a besoin d'énergie lumineuse et de nutriments, d'où l'importance de la turbulence qui brasse la colonne d'eau et permet l'importation des nutriments dans la zone euphotique (Gailhard, 2003).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

La variabilité de la densité (fig. IV.45) suit un gradient saisonnier très remarquable lié aux conditions du milieu. La distribution des valeurs asymétriques montre que les saisons (printemps, été et automne) présentent des valeurs tendant vers les maximums.

L'automne révèle une large variabilité alors que l'hiver se distingue des autres saisons avec la plus faible valeur de médiane.



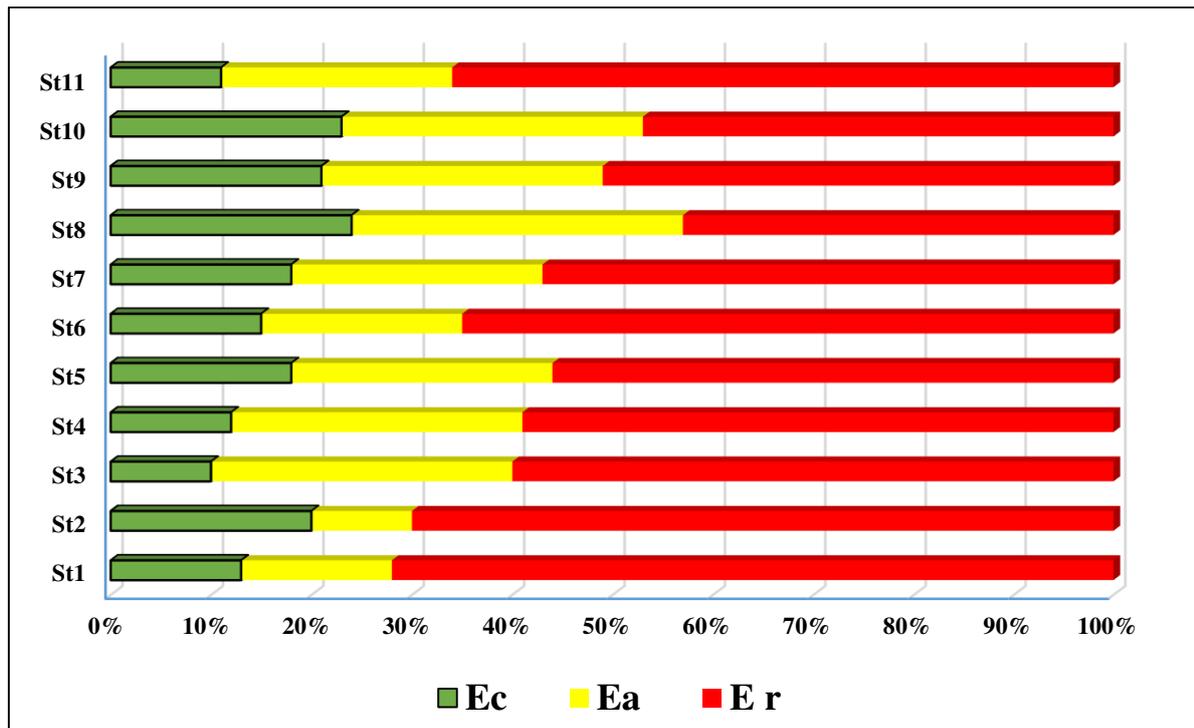
**Figure IV.45.** Amplitude des variabilités saisonnières de la quantité de biomasse durant une période de 23 mois (janvier2015-novembre2016).

Cet effet de saisonnalité est lié forcément aux paramètres abiotiques. La quantité et la composition du phytoplancton sont très variables dans le temps car de nombreux paramètres interviennent : migrations verticales journalières en fonction de l'intensité lumineuse, successions saisonnières des différents groupes en fonction de la température, composition spectrale de la lumière, transparence de l'eau, disponibilité en nutriments, activité de prédation par la faune (Leclercq, 2009). Par exemple et selon Angelier (2003), la température conditionne le développement et la durée du cycle biologique des espèces aquatiques et les basses températures peuvent affecter l'autoépuration des eaux car les réactions d'oxydation sont freinées. Shapiro (1973) a attribué la dominance de Cyanophyceae dans les réservoirs d'eau douce principalement à la température de l'eau, la lumière, le CO<sub>2</sub> et au pH.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

### IV.4.2.5 Fréquence temporelle

Les trois groupes d'espèces définies selon leurs fréquences temporelles, ont été retrouvés au niveau des différentes stations d'étude. La figure IV.46, illustre la variation spatiale des pourcentages des espèces constantes, accessoires et rares par rapport au nombre total d'espèces récoltées au cours des vingt-quatre mois d'échantillonnage.



**Figure IV. 46.** Evolution spatiale des nombres des espèces (en % par rapport à la richesse spécifique totale) espèces constantes (Ec), espèces accessoires (Ea), espèces rares (Er) recensées pendant la période 2015-2016.

La figure IV.46 permet de voir que la grande majorité des espèces du peuplement phytoplanctonique appartient au groupe des espèces rares. Le plus grand nombre d'espèces rares a été enregistré au niveau des stations St1 et St2 respectivement par 72% et 70% du total. Les espèces accessoires occupent le second rang ; elles sont généralement plus nombreuses que les espèces constantes puis les espèces communes au sens strict. Le plus grand nombre a été enregistré au niveau de la station St8 (33 %), suivie par les stations St3 et St10 avec la même fréquence, 30 %. Les espèces constantes, au cours de cette étude appartiennent aux classes des Cyanophycées et Chlorophycées dans 100 % des relevés ainsi que les Bacillariophycées dans 95 % de relevés. La classe des Cryptophycées a été, également, récoltées dans plus de 82 % des prélèvements. Selon Gay (1980), les populations planctoniques peuvent évoluer d'une année à l'autre et ces changements étant imputables à des variations climatiques.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

### IV.5 Analyses statistiques

#### IV.5.1 Analyses descriptives

Le résultat des analyses descriptives (moyenne, écart type, valeur minimale et maximale) propre à 16 variables biotiques et abiotiques sont portés dans le tableau (tab IV.19).

L'analyse de variance (ou ANOVA) permet de comparer les moyennes des échantillons en fonction d'un facteur étudié. L'ampleur de la dispersion totale se décompose en dispersions intra et inter groupes étudiés (Soizic Morin, 2006).

Les analyses de la variance ou analyses factorielles sont des techniques permettant de savoir si une ou plusieurs variables dépendantes (appelées aussi variables endogènes ou variables à expliquer) disposées dans différentes lignes d'un tableau) sont en relation avec une ou plusieurs variables dites indépendantes (ou variables exogènes ou variables explicatives) disposées dans différentes colonnes d'un tableau.

L'analyse de l'ANOVA (SPSS19), a montré des variations temporelles hautement à très hautement significatives pour la plupart des paramètres physico-chimiques et nutritifs à l'exception de la CE,  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  qui ont montrés une variation temporelle non significative ( $p > 0,05$ ). Cette dynamique est suivie par une variation très hautement significative ( $p < 0,01$ ) de la densité phytoplanctonique (tab IV.19). Cela explique bien que la structure et l'abondance de la communauté phytoplanctonique réagit fortement aux variables abiotiques, selon les préférences écologiques (Bellinger et Sigeo, 2010 ; Mukherjee et *al.*, 2010 ; Donadel et *al.*, 2016).

Egalement l'effet de l'espace (stations) a été testé par le même analyse et le résultat a été significatif pour  $\text{O}_2$ , CE, MES,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  ( $p < 0,01$ ) ; par contre, aucune variation significative ( $p > 0,05$ ) dans l'espace n'a été enregistrée pour  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{NO}_2^-$  et le  $\text{NO}_3^-$ , traduisant ainsi une forte similarité entre les stations échantillonnées. La composition et l'abondance des espèces de plancton sont fonction des interactions avec les conditions environnementales, notamment la salinité, la température, la lumière et les éléments nutritifs (Mukherjee et *al.*, 2010 ).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Tableau IV.19.** Variations temporelles moyennes des paramètres biotiques et abiotiques des eaux du Barrage Béni-Haroun (ANOVA1, SPSS19).  
Les astérisques indiquent la probabilité du test ANOVA : \*\*\* : Très hautement significative, \*\* : Hautement significative,  
ns : Non significative, Moyenne  $\pm$  Ecart type, Minimal – Maximal, et St : Station.

| Stations<br>Paramètres                       | Station1          | Station2         | Station3         | Station4        | Station5        | Station6         | Station7        | Station8         | Station9         | Station10       | Station11        |
|----------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| <b>T°C</b>                                   | 23,7 $\pm$ 6,7    | 22,8 $\pm$ 5,6   | 22 $\pm$ 6,1     | 22,3 $\pm$ 6,3  | 22,8 $\pm$ 6,6  | 23,7 $\pm$ 7,5   | 23,3 $\pm$ 6,8  | 22,6 $\pm$ 6,4   | 22,2 $\pm$ 5,9   | 22,4 $\pm$ 5,9  | 21,2 $\pm$ 5,9   |
|                                              | 13,4 – 33         | 13,8 - 33        | 12,6-32,6        | 12,2 - 30,9     | 12,4 - 31,4     | 12,7 - 33,9      | 12,8 - 33,7     | 12,4 -33,5       | 12,1-29,5        | 12,1-29,5       | 13 - 30,4        |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |
| <b>pH</b>                                    | 7,9 $\pm$ 0,6     | 8 $\pm$ 0,8      | 8,1 $\pm$ 0,5    | 8 $\pm$ 0,5     | 8 $\pm$ 0,5     | 8,07 $\pm$ 0,5   | 7,8 $\pm$ 0,7   | 7,8 $\pm$ 0,49   | 7,8 $\pm$ 0,4    | 8,2 $\pm$ 0,5   | 7,8 $\pm$ 0,4    |
|                                              | 6,9 - 9,3         | 7-9,5            | 6,9 - 9,2        | 7 - 8,8         | 7 - 9,7         | 7 - 9,7          | 6,1 - 8,8       | 6,9 - 8,8        | 6,9-8,5          | 6,9 - 8,8       | 7 - 8,7          |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |
| <b>O<sub>2</sub><br/>(mg/l)</b>              | 8,6 $\pm$ 2,6     | 10,7 $\pm$ 2,9   | 10,2 $\pm$ 2,8   | 10,6 $\pm$ 2,03 | 10 $\pm$ 2,6    | 9,8 $\pm$ 2,7    | 9,5 $\pm$ 2,6   | 10,6 $\pm$ 2,4   | 13,4 $\pm$ 3,1   | 10,8 $\pm$ 2,4  | 9,5 $\pm$ 1,9    |
|                                              | 4,9 -16,2         | 5,4-15           | 4,5-18,3         | 6,5 - 14,4      | 6,8 - 17,3      | 6,2 - 17,5       | 5,8 - 17,7      | 5,7- 16,5        | 7-17,7           | 4,3 - 16,06     | 5,5 - 13         |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |
| <b>O<sub>2</sub><br/>(%)</b>                 | 94,9 $\pm$ 30,2   | 118 $\pm$ 33,7   | 112,6 $\pm$ 31,8 | 117 $\pm$ 22,5  | 112 $\pm$ 28,9  | 110,8 $\pm$ 30,6 | 106,7 $\pm$ 30  | 119,1 $\pm$ 25,7 | 148,3 $\pm$ 34,4 | 120 $\pm$ 26,4  | 107,8 $\pm$ 20,5 |
|                                              | 54,8 - 178,9      | 60 - 167         | 49,8 -202,7      | 71,9 -159,2     | 75,3 - 192      | 68,6 - 193,7     | 64 - 196        | 63,3 - 182,6     | 77,8 - 195,9     | 47,6-177,8      | 60,8 - 145       |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |
| <b>CE<br/>(<math>\mu</math>s/cm)</b>         | 1224,6 $\pm$ 66,9 | 1424 $\pm$ 517,7 | 1241 $\pm$ 91    | 1195 $\pm$ 68   | 1202 $\pm$ 73   | 1201,4 $\pm$ 77  | 1206,4 $\pm$ 75 | 1189,5 $\pm$ 75  | 1205,9 $\pm$ 83  | 1201,6 $\pm$ 67 | 1199 $\pm$ 73    |
|                                              | 1076 - 1354       | 1072 - 3800      | 997-1360         | 1043-1292       | 1073 - 1327     | 1012 - 1306      | 1065-1306       | 1011-1280        | 1000 - 1321      | 1038-1276       | 1005 - 1266      |
|                                              | NS                | NS               | NS               | NS              | NS              | NS               | NS              | NS               | NS               | NS              | NS               |
| <b>MES<br/>(mg/l)</b>                        | 26 $\pm$ 10,4     | 25,2 $\pm$ 11,3  | 9,7 $\pm$ 6,6    | 82 $\pm$ 5,1    | 14,5 $\pm$ 20,2 | 11,8 $\pm$ 7,7   | 12 $\pm$ 8,7    | 15,4 $\pm$ 11,9  | 16,9 $\pm$ 9,9   | 9,5 $\pm$ 6,8   | 12,3 $\pm$ 10,5  |
|                                              | 6-48              | 6-46             | 1-24             | 2 - 19          | 1- 81           | 0,2 - 31         | 3 - 34          | 3 - 44           | 4 - 37           | 0-26            | 1 - 38           |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |
| <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup><br/>(mg/l)</b> | 8,1 $\pm$ 1,4     | 9,1 $\pm$ 1,4    | 7,6 $\pm$ 1,4    | 7,3 $\pm$ 1,9   | 6,6 $\pm$ 1,2   | 7,3 $\pm$ 1,4    | 6,3 $\pm$ 1,5   | 6,3 $\pm$ 1,6    | 7,2 $\pm$ 1,3    | 6,6 $\pm$ 1,3   | 5,8 $\pm$ 1,2    |
|                                              | 5,7-10,2          | 6,9 - 13,5       | 4-9,7            | 3,2 - 9,8       | 4,2 - 8,6       | 3,1 - 9,8        | 3,3 - 8,7       | 3,4 - 8,9        | 4,2 - 9,9        | 4,1- 8,9        | 3,9 - 7,7        |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |
| <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup><br/>(mg/l)</b> | 0,5 $\pm$ 0,2     | 0,6 $\pm$ 0,2    | 0,36 $\pm$ 0,22  | 0,4 $\pm$ 0,2   | 0,4 $\pm$ 0,2   | 0,3 $\pm$ 0,2    | 0,4 $\pm$ 0,2   | 0,4 $\pm$ 0,2    | 0,5 $\pm$ 0,2    | 0,48 $\pm$ 0,3  | 0,4 $\pm$ 0,2    |
|                                              | 0,2 -0,9          | 0,2- 0,9         | 0,1-0,8          | 0,09 - 0,9      | 0,1-0,8         | 0,1 - 0,8        | 0,1 - 0,9       | 0,1 - 0,75       | 0,16 - 0,9       | 0,14 - 1,55     | 0,1 - 0,8        |
|                                              | ***               | ***              | ***              | ***             | ***             | ***              | ***             | ***              | ***              | ***             | ***              |

## Chapitre IV : Résultats et discussion

**Suite au Tableau IV.19.** Variations temporelles moyennes des paramètres biotiques et abiotiques des eaux du Barrage Béni-Haroun (ANOVA1, SPSS19). Les astérisques indiquent la probabilité du test ANOVA : \*\*\* : Très hautement significative, \*\* : Hautement significative, ns : Non significative, Moyenne ± Ecart type, Minimal – Maximal, et St : Station.

| Stations<br>Paramètres                              | Station1                          | Station2                          | Station3                            | Station4                        | Station5                         | Station6                           | Station7                         | Station8                          | Station9                         | Station10                          | Station11                        |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <b>PO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b><br><b>(mg/l)</b> | 0,3 ± 0,2<br>0,04 – 0,6<br>***    | 0,4 ± 0,2<br>0,05 - 1,07<br>***   | 0,2 ± 0,15<br>0,03-0,5<br>***       | 0,13 ± 0,09<br>0,01-0,39<br>*** | 0,18 ± 0,14<br>0,01 - 0,6<br>*** | 0,16 ± 0,09<br>0,01 - 0,4<br>***   | 0,14 ± 0,09<br>0,02 - 0,4<br>*** | 0,25 ± 0,12<br>0,06 - 0,52<br>*** | 0,3 ± 0,16<br>0,07 - 0,56<br>*** | 0,2 ± 0,12<br>0,04 - 0,5<br>** *   | 0,1 ± 0,08<br>0,01-0,36<br>***   |
| <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b><br><b>(mg/l)</b> | 301 ± 115,4<br>137 – 525<br>***   | 314,3 ± 150<br>129,5 - 675<br>*** | 276,5 ± 109<br>109 - 473<br>***     | 251 ± 104<br>100 - 442<br>***   | 263,5 ± 88<br>145 - 431<br>***   | 259,7±102,5<br>140-498,8<br>***    | 264 ± 117<br>85- 481<br>***      | 269,4 ± 105<br>120,4 ± 453<br>*** | 263 ± 105<br>102 - 465<br>***    | 269 ± 98,7<br>155,8 - 485,5<br>*** | 267 ± 94,4<br>131- 446,7<br>***  |
| <b>Ca<sup>2+</sup></b><br><b>(mg/l)</b>             | 108,6±21,7<br>82–163<br>NS        | 103,6 ± 21<br>64 - 140,5<br>NS    | 116,4 ± 19,3<br>64 -153<br>NS       | 83, 3 ± 15<br>57,7-113<br>NS    | 82,5 ± 9,7<br>60 - 104,6<br>NS   | 101,6 ± 25,6<br>68,1 - 156,4<br>NS | 94,3 ± 11<br>76,9-120,2<br>NS    | 120,2 ± 13,7<br>75,4 - 143<br>NS  | 100,7 ± 19<br>60 - 136,8<br>NS   | 80,6 ± 9,45<br>63-100,6<br>NS      | 83 ± 8<br>61,7-96,5<br>NS        |
| <b>Mg<sup>2+</sup></b><br><b>(mg/l)</b>             | 68,5±9,6<br>45 –84<br>NS          | 52,3 ± 13,7<br>33,2 - 75,8<br>NS  | 46,7±16,2<br>19,4-89,5<br>NS        | 57,5 ± 8,3<br>44,2-83,2<br>NS   | 50,9 ± 7<br>41,8 - 69,2<br>NS    | 52,2 ± 7<br>41,3 - 66,6<br>NS      | 51,1 ± 7,1<br>40,3 - 69,6<br>NS  | 39,7 ± 13,9<br>21 - 70<br>NS      | 53,6 ± 12,2<br>34 -73<br>NS      | 55,9 ± 8, 3<br>38,3-76<br>NS       | 61,49 ± 14<br>29,3-88,9<br>NS    |
| <b>Cl<sup>-</sup></b><br><b>(mg/l)</b>              | 193,6 ± 42<br>79,7– 248,7<br>**   | 212 ± 115<br>87,7 - 718<br>**     | 160 ± 28,6<br>90,8-201,8<br>**      | 153 ± 19<br>114,5-199,6<br>**   | 163 ± 18,8<br>117,4-205,6<br>**  | 162,2 ± 17,2<br>132 - 202<br>**    | 165 ± 18,7<br>123,5-210,5<br>**  | 168,3 ± 17<br>133,4 - 206<br>**   | 160 ± 26,9<br>72,7-213<br>**     | 163,9 ± 21,3<br>110,5-209,7<br>**  | 153 ± 23<br>102-191,5<br>**      |
| <b>Na<sup>+</sup></b><br><b>(mg/l)</b>              | 105,4 ± 26,8<br>72 - 150,5<br>*** | 106 ± 27<br>68 -144,6<br>***      | 107,3 ± 24,9<br>68,5 - 143,7<br>*** | 107 ± 16,3<br>76,5 - 137<br>*** | 107,4 ± 15<br>81,5 - 137<br>***  | 107,3 ± 19,6<br>75,3 - 150<br>***  | 104 ± 17,7<br>74,4-136<br>***    | 103,9 ± 20<br>73,3 - 141<br>***   | 102,3±24,2<br>67,4-155<br>***    | 100 ± 22,8<br>70,5-141<br>***      | 99,3 ± 21,6<br>64,5-135,6<br>*** |
| <b>K<sup>+</sup></b><br><b>(mg/l)</b>               | 5,2 ± 1,4<br>2,4 - 8,3<br>***     | 5 ± 1,4<br>2 - 8<br>***           | 4,8 ± 1,4<br>2,5 -7,9<br>***        | 5, 3 ± 1,4<br>2,8 - 8<br>***    | 5,2 ± 1,4<br>2,9 - 7,9<br>***    | 5,4 ± 1,6<br>3,3 - 8,3<br>***      | 5,7 ± 1,7<br>3,3 - 10<br>***     | 5,68 ± 1,6<br>2,5 - 8,34<br>***   | 5,5 ± 1,6<br>2,3 - 8,7<br>***    | 5,36 -1,62<br>2,4-8,75<br>***      | 5,7 ± 1,9<br>2,9-9,7<br>***      |
| <b>Densité</b><br><b>(Cel/ml)</b>                   | 11291±9191<br>0-28000<br>***      | 14666±10328<br>0-3200<br>***      | 10375±7805<br>0-22000<br>***        | 9666±6888<br>0-21000<br>***     | 7208±5875<br>0-18000<br>***      | 9791,6±5883<br>0-20000<br>***      | 7250±5277<br>0-18000<br>***      | 7916,6±5815<br>0-20000<br>***     | 10833±8297<br>0-28000<br>***     | 12458±8267<br>0-25000<br>***       | 4500±3284<br>0-11000<br>***      |

### IV.5.2 Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est un outil extrêmement puissant de compression et de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter. C'est l'une des techniques descriptives les plus utilisées en écologie (Brosse et *al.*, 2001). Ainsi, elle peut être considérée comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis l'espace à  $p$  dimensions des  $p$  variables vers un espace à  $k$  dimensions ( $k < p$ ) tel qu'un maximum d'information soit conservée (l'information est ici mesurée au travers de la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions ([www.xlstat.com](http://www.xlstat.com)).

Toutes les variables mesurées et calculées ont été soumises à des Analyses en Composantes Principales afin de mieux connaître les liaisons globales entre les différents paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés lors de notre étude, d'établir une (ou des) structure (s) typologique (s) spatiotemporelle (s) et de repérer les variables déterminantes dans la dynamique et le fonctionnement du barrage. Elle permet de traduire, en graphiques, l'information essentielle que contient un large tableau de données. L'ACP a pris sa source par Pearson en 1901 et de nouveau développée et formalisée par Hotelling dans les années 1930.

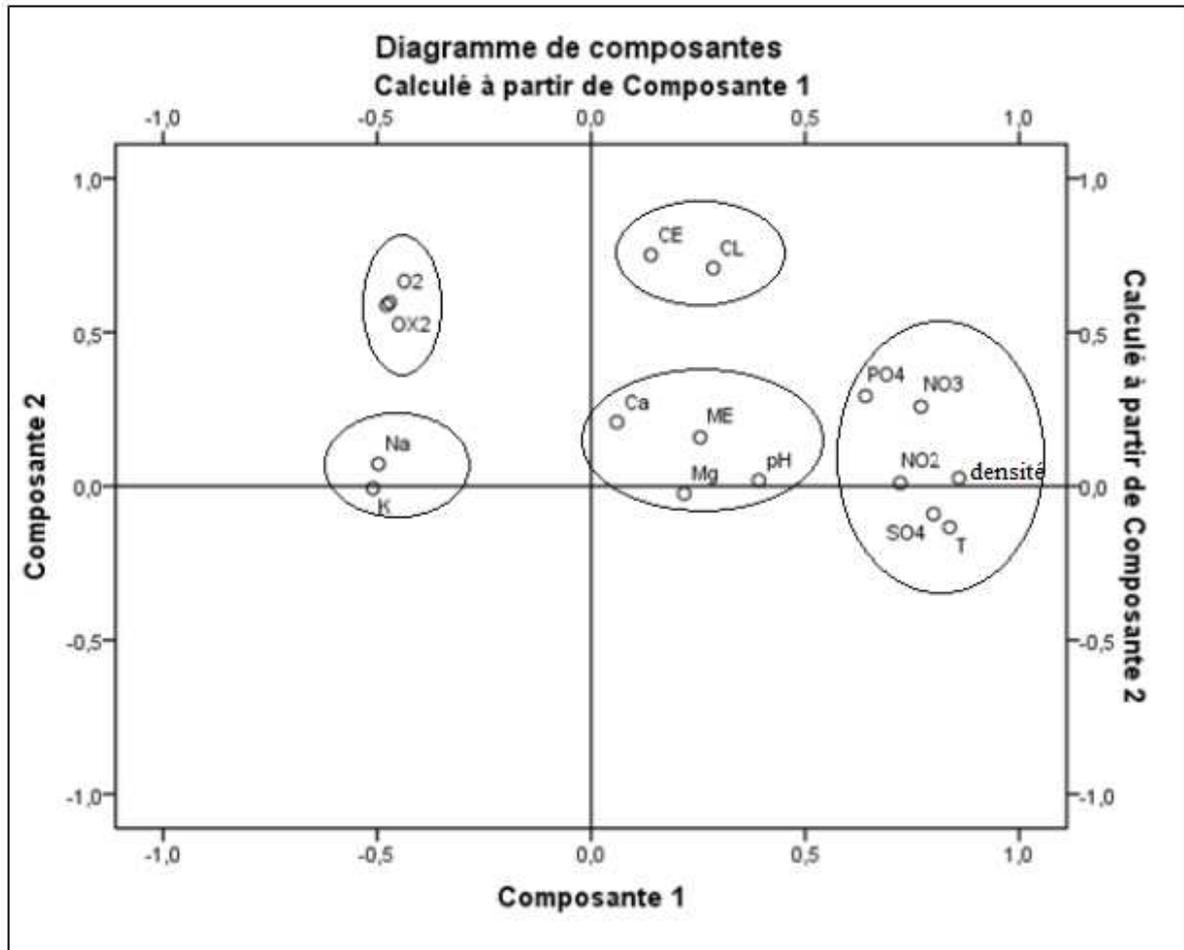
L'ACP permette d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées. Ainsi, grâce à cette analyse descriptive on cherchera si l'on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent, celles qui se distinguent des autres, etc. Pour les variables, on cherchera quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles, celles qui, au contraire ne sont pas corrélées aux autres, etc.

Les deux ACP que nous avons réalisées ont été appliquées : la première sur des données mensuelles de 16 variables biotiques et abiotique correspond à 264 données pour chaque variable, la deuxième sur des données saisonnières réduites de 26 variables initiales sont de natures diverses et exprimées dans différentes unités correspond à 88 données pour chacune des variables étudiées. Le grand intérêt de l'ACP réside dans le fait qu'elle prend en compte toutes les variables simultanément et non pas isolément. Elle permet de déceler les liens existant entre les différentes variables étudiées, de réduire leur nombre lors d'études semblables ultérieures et de visualiser la répartition des différents relevés considérés.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Elle peut aussi renseigner sur certaines liaisons entre les variables et les relevés. Le logiciel dont nous avons fait usage pour la réalisation de cette analyse statistique est le (SPSS19).

Les résultats de ces analyses multidimensionnelles seront présentés comme suit :



**Figure IV.47.** Analyse en composantes principales expliquant la relation entre les variables environnementales et la densité cellulaire du phytoplancton.

Les résultats de l'ACP ( Fig.IV.47), expliquant la relation entre les variables environnementales et la densité, montrent que les deux premier axe expliquent 74,276 % de la variation totale disponible dans la matrice des données soumises à l'analyse (30,819 % axe1 et 43,457 % axe 2), dont l'analyse du composant principal a montré des corrélations positives et d'autres négatives entre la densité et les paramètres abiotique.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Il existe cinq groupes de relations :

- la densité, température,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{NO}_2^-$  et le  $\text{NO}_3^-$  ; les éléments nutritifs ainsi que le paramètre température qui joue un rôle majeur se dans la formation de la densité cellulaire se regroupent du côté positif de l'axe 1 ;
- $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , MES et pH ; ce regroupe aussi du côté positif de l'axe 1 mais leur impacte parait moins sur la densité ;
- $\text{CE}$  et  $\text{Cl}^-$  , forment le côté positif de l'axe 2, traduisent la forte minéralisation ;
- $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ , s'opposent au groupe densité, sels nutritifs et température ;
- l'oxygène (dissous et % de saturation) forme un groupe à part du côté positif de l'axe 2 mais s'oppose au groupe des éléments nutritifs, T°C et biomasse sur l'axe 1.

Les communautés du phytoplancton, composante biotique majeure d'un écosystème aquatique, sont grandement influencées par les différentes caractéristiques physico-chimiques de l'eau, selon la corrélation de Pearson. Cette dernière indique la force et la direction d'une relation linéaire entre les variables. Les besoins nutritifs des microalgues sont similaires à ceux des plantes supérieures (Becker, 1994).

D'après le résultat du test de corrélation, reflétant, la relation entre les paramètres abiotiques et la densité phytoplanctonique, on constate en générale que la densité est hautement corrélée positivement avec la température ( $r=0,710$  ;  $p < 0,01$ ), le pH ( $r = 0,421$ ), les chlorures ( $r = 0,192$ ), les sulfates ( $r = 0,647$ ), les phosphates ( $r = 0,531$ ), les nitrites ( $r = 0,564$ ) et les nitrates ( $r = 0,700$ ) et corrélé positivement pour ( $p < 0,05$ ) avec le magnésium ( $r = 0,125$ ). Alors que négativement, avec l'oxygène ( $r = - 0,265$ ), le sodium ( $r = - 0,470$ ) et le potassium ( $r = - 0,430$ ).

D'autres corrélations entre paramètres abiotiques ont été obtenus à savoir ; la corrélation positive de la température pour ( $p < 0,01$ ) avec le pH ( $r = 0,304$ ),  $\text{SO}_4^{-2}$  ( $r = 0,772$ ),  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $r = 0,439$ ),  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,557$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,599$ ) alors qu'elle est corrélée négativement avec l'oxygène ( $r = - 0,377$ ), le  $\text{Na}^+$  ( $r = -0,333$ ) et  $\text{K}^+$  ( $r = -0,401$ ).

Le pH quant à lui, est corrélé positivement pour ( $p < 0,01$ ) avec le  $\text{Cl}^-$  ( $r=0,214$ ),  $\text{SO}_4^{-2}$  ( $r = 0,302$ ),  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,211$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,201$ ) et négativement avec  $\text{K}^+$  ( $r = -0,220$ ) et avec l'oxygène ( $p < 0,05$  et  $r = -0,134$ ).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

L'oxygène est faiblement corrélé négativement avec l'ensemble des paramètres à l'exception d'une corrélation positive avec le sodium ( $p < 0,05$  ;  $r = 0,133$ ).

La CE est corrélée positivement pour ( $p < 0,01$ ) avec le  $\text{Cl}^-$  ( $r = 0,808$ ),  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $r = 0,171$ ), et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,216$ ).

La MES est corrélée positivement pour ( $p < 0,01$ ) avec le  $\text{SO}_4^{-2}$  ( $r = 0,205$ ),  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $r = 0,325$ ),  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,217$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,216$ ) et avec le  $\text{Ca}^{+2}$  ( $p < 0,05$  ;  $r = 0,157$ ).

Les sulfates sont hautement corrélés ( $p < 0,01$ ) positivement avec le  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,462$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,576$ ) et significative ( $p < 0,05$ ) avec le  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $r = 0,122$ ) alors que la corrélation négative ( $p < 0,01$ ) est établie avec le  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  respectivement ( $r = 0,315$  ;  $r = 0,255$ ).

Le sodium est corrélé positivement avec le  $\text{K}^+$  ( $p < 0,01$  ;  $r = 0,529$ ) et négativement ( $p < 0,01$ ) avec le  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $r = 0,226$ ),  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,252$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,287$ ).

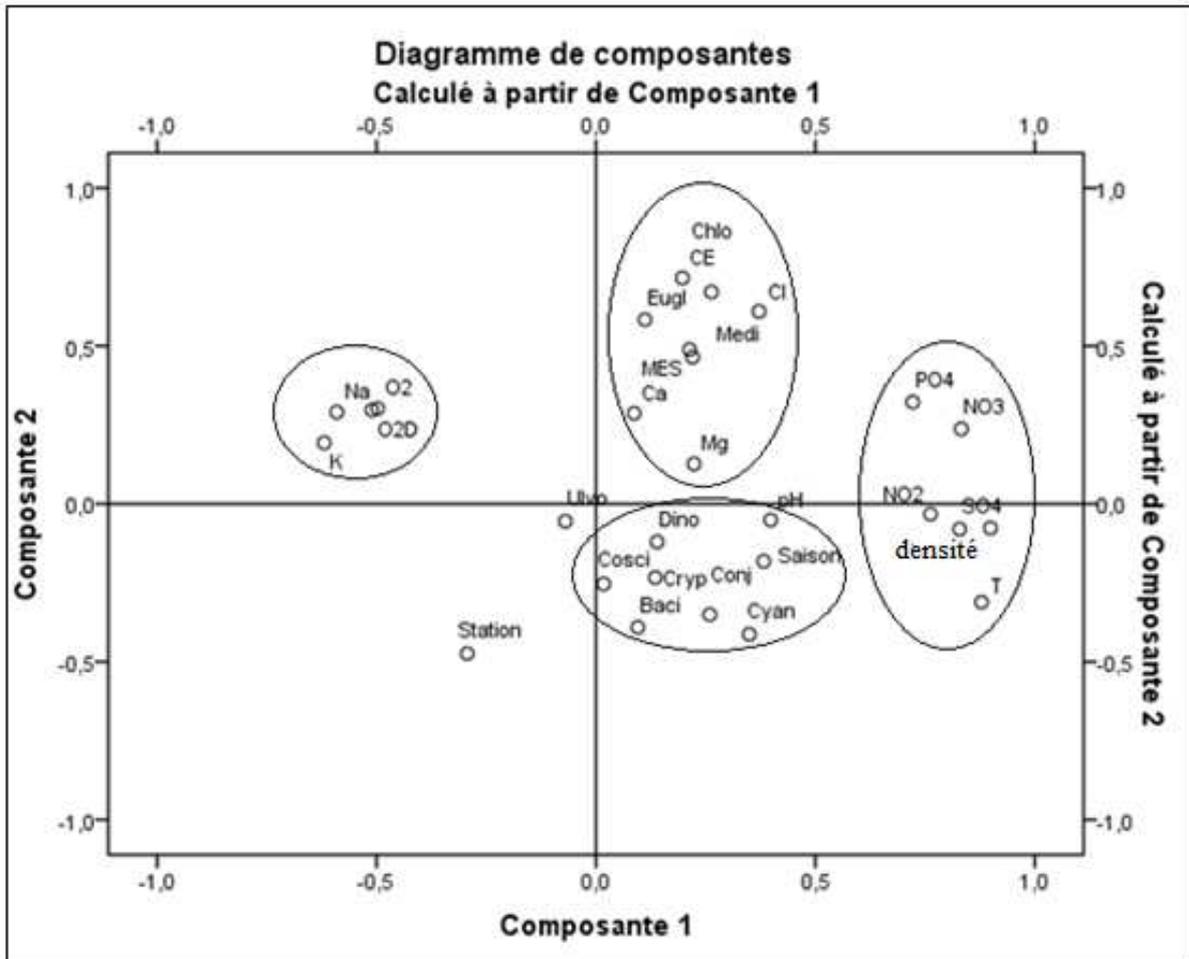
Le potassium est hautement corrélé ( $p < 0,001$ ) négativement avec  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $r = 0,187$ ),  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,289$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,359$ ). Une corrélation significative entre le calcium et le  $\text{PO}_4^{-2}$  ( $p < 0,05$ ,  $r = 0,157$ ).

Le magnésium est hautement corrélé avec le  $\text{NO}_2^-$  ( $p < 0,01$  ;  $r = 0,196$ ) et significativement avec le  $\text{NO}_3^-$  ( $p < 0,05$  ;  $r = 0,134$ ). Les  $\text{PO}_4^{-2}$  sont hautement et positivement corrélés avec  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,524$ ) et le  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,535$ ).

Et enfin le  $\text{NO}_2^-$  est hautement corrélé avec le  $\text{NO}_3^-$  ( $p < 0,01$  ;  $r = 0,466$ ).

Les corrélations entre les éléments physico-chimiques, nutritifs et la densité algale sont davantage liée aux variations temporelles saisonnières. Les paramètres physico-chimiques et biologique jouent un rôle décisif suivant les périodes de l'année ce qui entraîne des fluctuations dans la composition et l'abondance de la flore algale. Ainsi et d'après Palmer (1969), l'effet le plus important de la pollution organique dans un milieu aquatique est dû à l'enrichissement en substances nutritives et qu'il y a une corrélation claire entre la pollution organique et le développement du phytoplancton. De plus, Chaib et *al.* (2011) ont signalé que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau conditionnent celles des biocénoses aquatiques d'un point de vue structurel et fonctionnel.

## Chapitre IV : Résultats et discussion



**Figure IV.48.** Analyse en composantes principales expliquant la relation entre Variables environnementales et abondance des groupes phytoplanctonique. Abréviations: Cryp - Cryptophyceae; Cyan - Cyanophyceae; Baci - Bacillariophyceae; Chlo - Chlorophyceae; Eugl - Euglenophyceae; Cosci - Coscinodiscophyceae; Dino -Dinophyceae; Medi - Mediophyceae; Ulvo - Ulvophyceae; Conj – Conjugatophyceae.

La projection des données sur les deux premiers axes factoriels de l'ACP permet de conserver 60,55 % de l'inertie totale (23,638 % selon l'axe 1 et 36,917 % selon l'axe 2 (voir annexe 23). L'analyse en composantes principales, appliquée aux descripteurs environnementaux et l'ensemble des éléments biologiques relatifs à l'aspect quantitatif et qualitatif de neuf classes d'algues, a pu mettre en exergue d'importantes liaisons entre ces deux grandes composantes.

D'autres affinités ont été montrées avec cette deuxième ACP :

- il existe une corrélation hautement significative entre les Dinophyceae, Coscinodiscophyceae, Cryptophyceae, Conjugatophyceae, Bacillariophyceae, les Cyanophyceae et les sels nutritifs puis le degré d'alcalinité (pH) ;

## Chapitre IV : Résultats et discussion

➤ de même une relation très hautement significative entre les Chlorophycées, Euglénophycées, Mediophycées et les MES, CE, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>+2</sup> et le Mg<sup>+2</sup>.

Une attention particulière doit être portée aux cyanobactéries. Ces algues, qui ont une importance considérable dans le plancton des eaux douces, peuvent représenter une part importante de la biomasse végétale et même provoquer des eaux rouges (Groga, 2012). Dans le barrage les cyanobactéries (genre *Oscillatoria*) sont pérennes mais leur développement paraît inhibé pendant la grande saison froide, au moment du développement des diatomées. Leur importance devient proportionnellement considérable d'avril à septembre, c'est-à-dire pendant le radoucissement des températures et également la saison chaude et même au-delà de ça lorsque les conditions sont favorables. D'après Reyssac (1970), le développement du genre *Oscillatoria* arrive jusqu'à 1000 filaments par litre en surface. On peut donc les considérer comme caractéristiques de la grande saison chaude, les principales poussées avaient été observées dans des eaux à plus de 27°C. Elles s'accommodent des eaux pauvres en sels nutritifs, vraisemblablement en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique.

Au niveau du barrage, les cyanophycées s'avèrent abondantes en effectifs et en espèces en faibles qu'en des taux élevés en sels nutritifs à l'exception d'une certaine diminution pendant les saisons de pluies. Ce résultat est en parfait accord avec l'abondance stationnelle déjà mentionnée.

Les charges en matière en suspension sont importantes en saison pluviale et abondantes aussi lorsque les eaux sont très peu salées et à température élevée.

Pour le paramètre thermique, Stanier et *al.* (1971) précisent l'intervalle que 35 - 43°C correspond aux températures maximales permettant la prolifération des Cyanobactéries.

Généralement, la température propice pour le développement des Cyanobactéries oscille entre 15 et 30°C. Selon ces mêmes auteurs, ces algues bleues exigent pour leur pullulation des nutriments en concentrations moyennes à élevées mais au même temps, il est important de souligner qu'un déficit en azote ne gêne en rien le développement de certaines espèces d'algues bleues puisqu'elles jouissent de l'habileté de fixer l'azote libre (Paerl, 1988 ; Reynolds, 1997).

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

Les températures les plus élevées, les grandes quantités de MES totales, la disponibilité des nutriments et un pH alcalin représentent les principales conditions environnementales préférées par les Chlorophycées. Pendant la saison froide, les Chlorophyceae montrent une tendance d'affection pour des pH moins alcalins (Benabellouahed, 2006).

Plusieurs auteurs s'accordent pour ces conditions ; Philippose (1967) rapporte, pareillement, que les Chlorophycées abondent pendant la période la plus chaude et affectionnent un pH basique. Ces algues vertes, tout comme, les Cyanobactéries, se caractérisent par une extrême plasticité écologique et les conditions physico-chimiques des sites qu'elles fréquentent sont loin d'être uniformes.

Les genres *Pinnularia sp* dont la distribution dans les différentes stations est très restreinte, semble également typique d'une contamination métallique (Admiraal *et al.*, 1999, Gomez et Licursi 2003).

Ainsi le développement de la plupart des groupes phytoplanctoniques est influencé par un ensemble de facteurs environnementaux à savoir, la lumière qui conditionne l'intensité photosynthétique, la température, les éléments nutritifs et autres. Ainsi et selon Démory (2017), la dynamique d'une population phytoplanctonique, résulte du bilan entre facteurs de croissance et de mortalité. Ces deux fonctions, dépendantes du temps et d'une multitude de facteurs, abiotiques ou biotiques, fluctuent au cours du temps. Le déversement d'eaux riches en composés organiques et minéraux, plus chaudes, plus troubles ou caractérisées par une présence bactérienne importante, modifie les peuplements du point de vue aussi bien qualitatif que quantitatif, avec une diminution des espèces moins tolérantes et une prolifération des espèces qui s'adaptent mieux aux conditions écologiques contingentes (Tolomio, 2006).

Conclusion  
et  
Perspectives

## *Conclusion et perspectives*

Le présent travail représente une contribution pionnière à l'étude du phytoplancton du barrage de Béni Haroun, se trouvant dans l'est Algérien entre la wilaya de Constantine et celle de Mila. En fait, bien que ce réservoir ait fait l'objet de nombreux travaux de recherche depuis sa construction, son compartiment phytoplanctonique, malgré sa grande importance, n'a jamais été étudié auparavant. C'est ainsi que nous avons entamé cette étude sur les peuplements phytoplanctoniques du barrage afin de compléter, en quelque sorte, les études antérieures.

L'objectif principal que vise notre travail est la constitution d'une base de référence pour toute étude ultérieure des peuplements phytoplanctoniques de cet écosystème hydraulique. Nous avons cherché à décrire ces peuplements essentiellement des points de vue structure, abondance et dynamique. La détermination de la composition taxinomique de ces producteurs primaires améliore, en fait, la connaissance de la biodiversité de toute la région. Nous nous sommes fixés également sur la caractérisation physico-chimique des eaux superficielles, 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 vingt-quatre mois s'étalant de janvier 2015 à décembre 2016, au niveau de onze points de prélèvement répartis sur le pourtour du barrage. En vue d'une comparaison spatio-temporelle des résultats, aussi bien hydrologique que biologique, nous avons bien tenu à échantillonner les stations d'étude suivant un pas généralement mensuel et saisonnier.

Sur le plan physico-chimique. Les variations de la température de l'eau sont tributaires des variations de la température de l'air et qui dépend elle aussi des variations saisonnières, en présentant des fluctuations thermiques variantes selon la saison, atteignant des valeurs minimales en hiver et maximales en été. Le pH de l'eau demeure plutôt alcalin. Les valeurs les plus alcalines sont attribuées à la saison estivale. Cette alcalinité favorise la productivité du phytoplancton. Les valeurs de l'oxygène dissous montrent un écart assez large marquant des sursaturations dans plusieurs stations. Les concentrations les plus élevées sont paradoxalement enregistrées pendant la saison hivernale et printanière et ce en raison de l'importante activité photosynthétique qui débute le mois d'avril. Les valeurs de la conductivité indiquent une minéralisation très élevée révélant, une minéralisation excessive. L'apport intensif et continu des éléments minéraux par les eaux de ruissellement ont montrés des pics des teneurs en chlorures à la même station que celle mentionnée pour la CE s'avèrent les plus contributifs à cette minéralisation.

## *Conclusion et perspectives*

Les teneurs en MES dans les eaux du barrage sont très variables tant dans le temps que dans l'espace ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets et autres. En dehors des périodes de crues, la teneur en MES ne présentent aucune anomalie. Les teneurs en calcium emportent beaucoup plus sur celles en magnésium ce qui donne à l'eau du barrage, le caractère calcique plus que magnésien. Les valeurs du potassium, restent dans l'énormes, alors que, les valeurs du sodium, dépassent légèrement celle admise par le JORA.

Les valeurs de Nitrate, les plus élevées sont attribuées aux saisons printanières et estivales des deux années à l'exception des pics apparaissent pendant la saison pluvieuse. L'enrichissement des eaux en nitrates pendant les périodes pluvieuses suggère que ces ions proviennent du lessivage des sols par ruissellement, des apports de déchets d'origine végétale et animale riche en composés organiques azotés et des apports d'origine urbaine. Des taux bas en saisons printano-estivale, en relation avec les poussées phytoplanctoniques ont été ainsi observés dans d'autres stations. Cependant les teneurs des  $\text{NO}_3^-$  relevées, inférieures aux valeurs guides 50 mg/l admise par le (JORA, 2011) et 20 mg/l selon Rodier (2009) dans le barrage Béni-Haroun, lui confèrent une qualité normale répondant à la qualité des eaux douces superficielles destinées à la production d'eau potable. Les valeurs obtenues des nitrites dépassent celle indicative par le JORA qui est 0,2 mg/l. Les nitrites caractérisent également les milieux à eutrophisation active. Ainsi, les valeurs élevées notées aux printemps et en été sont dues à l'activité photosynthétique accéléré pendant cette période où la dégradation de la matière organique, particulièrement d'origine végétale, entraîne momentanément des déficits en oxygène dissous. Par contre les faibles concentrations rencontrées pourraient être expliquer par le fait que l'ion Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium. Ces valeurs non négligeables sont essentiellement la conséquence des rejets domestiques, de la matière fécale du troupeau en pâturage et des engrais phosphatés utilisés en agriculture sur le terrain avoisinant le barrage. Selon l'ABH, ces valeurs, nécessitant un traitement poussé lorsque l'eau est destinée à la consommation humaine. La présence de sulfates est avant tout liée à la nature géologique de la roche mère et des terrains de la région. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées pendant la saison estivale ce qui peut être la conséquence du phénomène d'évaporation qui aura tendance à concentrer les sels.

## *Conclusion et perspectives*

Une contamination directe de l'eau du barrage par des rejets domestiques surtout riches en détergents ou par l'utilisation des pesticides en agriculture n'est pas non plus à exclure. Les teneurs en phosphate des eaux de surface sont négligeable mais ce résultat peut indiquer une rétention du phosphate bio-assimilable par les phosphates d'aluminium, de fer ou de chaux.

Effectué pour la première fois au niveau du barrage depuis sa construction, a mis en exergue, sur la base de 88 échantillons, un inventaire floristique de 72 taxons. Cette contribution reste une investigation qualitative et quantitative de cet important maillon d'équilibre de l'écosystème. La flore micro-algale recensée est essentiellement constituée de Cyanophycées, Bacillariophycées (Diatomées), Chlorophycées, Conjugatophyceae, Euglenophycées, Cryptophycées, Coscinodiscophycées, et Mediophycées. Les Ulvophycées sont très peu représentés (1,4 % de la richesse taxinomique totale). La richesse spécifique totale a mis en évidence une large prédominance des Cyanophyceae et des Bacillariophyceae, Plusieurs auteurs ont déclaré cette prédominance dans plusieurs écosystèmes d'eau douce. Concernant la diversité relative de la composition phytoplanctonique. L'année 2015, présente la diversité la plus élevée. L'année 2016 s'est présentée avec des diversités relatives moins importantes que l'année précédente. La dynamique des groupements algaux dans le temps est fortement liée aux variations des facteurs abiotiques dépendant des variations saisonnières. Des études suggèrent également que la saisonnalité influe sur la composition et la densité du phytoplancton. Une baisse régulière de la densité est observée à la fin du mois de septembre jusqu'à novembre de l'année 2015, alors que pendant l'année 2016, cette période s'est retardée jusqu'au mois de novembre, où on a enregistré un biovolume assez important. En effet, le climat méditerranéen chaud en été favorise la persistance des cyanobactéries dans les eaux douces eutrophes, qui peut commencer au printemps et persister jusqu'à décembre.

L'évolution des densités cellulaires totales montre des variations saisonnières importantes en 2016 plus qu'en 2015. La période pluvieuse est de faible productivité algale tandis que les saisons estivale et automnale sont marquées par les plus fortes densités cellulaires. Les maxima enregistrés en plein été de l'année 2015 et au début du printemps de l'année 2016. Les indices de Shannon et d'équitabilité atteignent les valeurs les plus basses en saison de pluie, la diversité s'élève rapidement en raison du développement de plusieurs espèces de Cyanophyceae, Diatomées, Chlorophycées, Conjugatophyceae et Mediophycées. En saison estivale et automnale, les communautés sont au maximum de leur diversité.

## *Conclusion et perspectives*

La variation physico-chimique a été approchée grâce à des analyses en composantes principales. Il en ressort des tendances révèlent une variation temporelle saisonnière plutôt que spatiale. Au terme de cette étude, nous pouvons dire que, l'évolution des paramètres physico-chimiques tout au long de notre période d'étude suit un gradient saisonnier lié aux paramètres environnementaux (lumière, température, etc.). En effet, la distribution spatio-temporelle du phytoplancton dépend de nombreux facteurs qui peuvent être de nature biotique (broutage du zooplancton, attaques des virus, etc.) ou de nature abiotique (taux d'éclairement, température, concentrations en nutriments, advection horizontale et verticale, etc.).

Les eaux du barrage Béni-Haroun, le plus grand d'Algérie étant destinées à l'irrigation, à l'alimentation en eau des populations de six wilayas, et à la pêche, leurs utilisations pourraient avoir des conséquences sanitaires préoccupantes et une surveillance drastique de la qualité s'impose. Les apports intensifs d'éléments nutritifs ont non seulement des effets néfastes sur les écosystèmes mais aussi sur les êtres humains par les pertes d'usages, problèmes de santé en raison de la dégradation de la qualité de l'eau, diminution de la valeur marchande des propriétés, etc.. En ce sens, prévenir les conséquences devrait être au centre des préoccupations des riverains, des municipalités et de l'ensemble des acteurs interpellés par la santé des barrages. Plusieurs actions peuvent être entreprises dès maintenant afin de limiter les apports d'éléments nutritifs dans le barrage, par exemple :

- conserver ou recréer une zone de végétation autour du barrage afin de diminuer l'érosion des rives et de retenir les nutriments et sédiments en provenance du bassin versant. La bande riveraine, c'est la ceinture de sécurité du barrage ;
- maintenir une installation septique conforme et en faire la vidange régulièrement ;
- cesser l'usage de produits domestiques contenant des phosphates (plusieurs produits alternatifs existent maintenant sur le marché) ;
- sensibiliser les gens de l'entourage et les élus municipaux, et les encourager à adopter de bonnes pratiques en matière de gestion des barrages (façon d'assurer ou de faciliter la protection) ;
- en savoir plus sur les éléments nutritifs favorisant les proliférations d'algues responsables de la production de toxines.
- établir des lignes directrices sur les éléments nutritifs pour protéger les organismes aquatiques dans différents plans d'eau ;

## *Conclusion et perspectives*

- élaborer des plans et des codes de pratique pour la gestion des éléments nutritifs dans des secteurs comme l'agriculture et l'aquaculture, et de mettre en application des plans de gestion dans certains bassins hydrographiques ;
- installer des stations d'épuration pour le traitement des différents types de rejets avant leur déversement dans le barrage ou, à la rigueur, éloigner les points de déversement du site. Les eaux traitées peuvent servir probablement à l'irrigation ou à l'industrie ;
- protéger les étendues douces contre les pathogènes qui représentent une menace pour les sources d'approvisionnement en eau potable ainsi que les écosystèmes aquatiques en général.

Notre présent travail, représentant une première contribution à l'étude du phytoplancton, a donné naissance à d'autres aspects très intéressants à étudier ultérieurement, c'est le cas notamment de :

- l'étude des Diatomées benthiques comme bio-indicateurs de la qualité chimique des eaux du barrage avec l'application d'indices diatomiques ;
- des études écophysiological pour la mise en valeur des caractéristiques biochimiques de certaines microalgues ;
- évaluer l'impact écotoxicologique des micro-algues toxiques et nuisibles sur les organismes ;
- évaluer les transferts de toxines le long de la chaîne trophique, en faisant des tests de toxicités au niveau des différents maillons de cette dernière ;
- évaluation du risque toxique lié aux Cyanobactéries d'eau douce ;
- et pourquoi pas ! Chercher à préciser le potentiel des microalgues comme source d'énergie durable exploitable en zones climatiques variées en regard des principaux aspects du marché de l'énergie et des autres alternatives en développement.

# Références Bibliographiques

## Références bibliographiques

- Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F., Benaabidate L. et Lahrach A., 2014.** Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal* vol. 10 n° 23 : 84-94.
- Abdallaoui A., 1998.** Contribution à l'étude du phosphore et des métaux lourds contenus dans les sédiments et de leur influence sur les phénomènes d'eutrophisation et de la pollution. Cas du bassin versant de l'oued Beht et de la retenue de barrage El Kansera. Thèse de doctorat. Université Moulay Ismail. Faculté des Sciences de Meknès, 209p.
- ABH., 1999.** Aménagement des bassins hydroliques. Constantine. Algérie
- ABH., 2004.** Aménagement des bassins hydroliques. Constantine. Algérie
- Adandédjan D., 2012.** Diversité et déterminisme des peuplements de macro invertébrés benthiques de deux lagunes du Sud- Bénin : la lagune de Porto-Novo et la lagune côtière. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi-Bénin. 261p.
- Adechina A. C., 2016.** Analyse temporelle des indicateurs de la pollution du Rhone. Rapport de fin de formation Master 2. Etude Quantitative pour la Décision Economique (EQUADE). Université de Lyon2. 74p.
- Admiraal W., Ivorra N., Jonker M., Bremer S., Barranguet C. et Guasch H., 1999.** Distribution of diatom species in a metal polluted Belgian-Dutch River: an experimental analysis. - In: Prygiel, J., Whitton, B.A. et Bukowska, J. (eds.), Use of algae for monitoring rivers III, pp. 240-244.
- AFNOR., 1996.** Qualité de l'eau. 6<sup>ème</sup> édition, Tome 2. Analyses organoleptiques, mesures physico-chimiques, paramètres globaux, composés organiques. 629p.
- Afri F.Z. et Pauwels J.M., 1983,** Facteurs physico-chimiques et présence de diatomées dans l'oued Rhumel, Mémoires de la Société d'Histoires Naturelles de L'Afrique du Nord, 13 :131-144.
- Aidat A., 2008.** Typologie de rapports entre la ville de Constantine et son Rhumel-Boumerzoug. Mémoire de Magistère. Université Mentouri – Constantine. 180p.
- Aissaoui A., 2013.** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles. 133p.
- Amblard C., 1987.** Les successions phytoplanctoniques en milieu lacustre. *Ann. Biol.* 26: 1-34.
- Aminot A., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Caractéristiques physicochimiques. Centre National de l'exploitation des océans, pp. 39-75.
- Anderson D. M. et Wall B., 1978.** Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *Gonyaulax excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *J. Phycol.* 14 : 224–234.
- Anderson D. M., 1998.** Physiology and Bloom Dynamics of Toxic *Alexandrium* Species, with Emphasis on Life Cycle Transitions. In: Anderson, D.M., Cembella, A.D. and Hallegraeff, G.M. (Eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 29–47.

## Références bibliographiques

- Anderson D. M., Glibert P. M. et Burkholder J. M., 2002.** Harmful Algal Blooms and Eutrophication : Nutrient Sources, Composition, and Consequences. *Estuaries and Coasts*. 25:704–726.
- Anderson D. M., Kaoru Y. A. et White. W., 2000.** Estimated annual economic impacts from harmful algal blooms in the United States. WHOI Technical Report WHOI-2000-11, Woods Hole, 97p.
- Anderson R. S., Burreson E. M. et Paynter K. T., 1995.** Defense responses of hemocytes withdrawn from *Crassostrea virginica* infected with *Perkinsus marinus*. *J. Invertebr. Pathol.* 66: 82–89.
- Anderson, D.M., 2008.** Harmful algal blooms and ocean observing systems: needs, present status and potential, in: *Fisheries for Global Welfare and Environment. Memorial Book of the 5 Th World Fisheries Congress 2008.* TERRAPUB, Tokyo (Japan).
- Andresen- Leitao M.D.P., Lassus P., Maggi P., La Baut C., Chauvin J. et Truquet P., 1983.** Phytoplankton des zones mytilicoles de la baie de vilaines et intoxication par les coquillages. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*46(3) : 233-266.
- Angelier E., 2003.** *Ecologie des eaux courantes.* éd. Technique et documentation. Lavoisier, Paris. 199 p.
- Anneville O., Kaiblinger C., Tadonlélé R.D., Druart J.C. et Dokulil M., 2008.** Contribution of Long-Term Monitoring to the European Water Framework Directive Implementation. *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference.* Sengupta, M. et Dalwani, R. (eds), pp. 1122-1131.
- Argillier C., Lévêque C., et Oberdorff T, 2008.** In : Leclerc M.C. (ed.), Scheromm P. (ed.), Desbordes M. (préf.). *L'eau une ressource durable ?.* Montpellier : CRDP, (Questions Ouvertes ; 2). ISBN 978-2-86626-333-1, (2) :170-175.
- Arrignon J., 1976.** *Aménagement écologique et piscicole des eaux douces.* éd. Bords, Paris, 318 p.
- Arzul G., 2009.** Le phytoplancton. [http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/encart\\_role\\_phyto.html](http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/encart_role_phyto.html)
- Aubriot J., 2007.** *Le droit à l'eau émergence, définition, situation actuelle et position des acteurs.* 94p.
- Auby I. et Maurer D., 2004.** *Etude de la reproduction de l'huître creuse dans le bassin d'Arcachon, Rapport final.* Ifremer.
- Ayad W. et Kahoul M., 2016.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E -Algérie). *J. Mater. Environ. Sci.* 7(4) :1288-1297.
- Azam F. et Malfatti F., 2007.** Microbial Structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology.* 5: 782-791.
- Badsil H., Alil O., Loudiki M. et Aamiril A., 2012.** Phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Massa Estuary. *American Journal of Human Ecology:* 1: 58-64.

## Références bibliographiques

- Baillet S., 2013.** Utilisation des groupes morpho-fonctionnels du phytoplancton pour le diagnostic écologique des plans d'eau du bassin Loire Bretagne. Sciences de l'environnement Ecole pratique des hautes études Sciences de la vie et de la terre. Diplôme de l'école pratique des hautes études.125p.
- Balech E., 1988.** Los Dinoflagelados Del Atlantico Sud-occidental. Publ EspOcean1. 310p
- Balvay G., 1985.** Structure et fonctionnement du réseau trophique dans les retenues artificielles. Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles. INRA. Paris. pp 39-66.
- Bartram J., Carmichael W.W., Chorus I., Jones J. et Skulberg O.M., 1999.** Introduction. In I. Chorus, J. Bartram [eds.], Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO, New York.
- Becerra Celis G.P., 2009.** Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photobioréacteur continu. Thèse de doctorat. 241p.
- Becker E.W., 1994.** Microalgae Biotechnology and microbiology. Cambridge Press University. behavioral and physiological effects of *Gonyaulax tamarensis* on bivalve molluscs. In Anderson, D. M., White, A. W., Baden, D., (Eds.) Toxic dinoflagellates. New York: Elsevier Science publishing, pp.389-394.
- Behrenfeld M. J., Randerson J.T., McClain C. R., Feldman G. C., Los S. O., Tucker C. J., Falkowski P. G., Field C. B., Frouin R., Esaias W. E., Kolber D. D. et Pollack N. H., 2001.** Biospheric primary production during an ENSO transition. Science. 291 : 2594–2597.
- Bejaoui B., Ferjani D., Zaaboub N., Chapelle A. et Moussa M., 2010.** Caractérisation hydro biologique saisonnière de la lagune de Bizerte (Tunisie). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 3 : 215-232.
- Belaidi C. et Mecheri H.A., 2009.** Evaluation du niveau de contamination par les éléments traces métalliques (Cr , Cd , et Pb) du compartiment sédimentaire de l'oued Rhumel (de l'amont de Belaa jusqu'à l'amont du barrage Béni Haroun) Mémoire Ingénieur d'Etat en Ecologie et environnement : Pathologie des écosystèmes. Université Mentouri- Constantine.77p.
- Belfethi L. et Moulai R., 2018.** Aperçu sur la diversité et l'écologie de l'avifaune aquatique du barrage de Béni-Haroun (Mila, Algérie). 1er Congrès Nord-Africain D'ornithologie & 4ème Colloque International D'ornithologie Algérienne. *See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication>.*
- Belghyti D., El Guamri Y., Ztit G., Ouahidi M L., Joti M B., Harchrass A., Amaghrar H., Bouchouata., El kharrim K. et Bounouira H., 2009.** Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kénitra au Maroc. Afrique Science, pp. 199 - 216.
- Belin C., Belliaeff B., Raffin B., Rabia M. et Ibanez F., 1995.** Phytoplankton time. Series data of the French phytoplankton monitoring network: toxic and dominant species. In: Lassus P., Arzul G., Erard E., Gentien P. et Marcaillou C. (eds.). Harmful algal blooms. Proceedings of sixth international conference on toxic marine phytoplankton, Nantes, Paris, pp.771-776.

## Références bibliographiques

- Belin C., et Daniel A., 2013.** Méthodes de bio-indication en eaux littorales. Indicateur phytoplancton et physico-chimie. *Ifremer Nantes et Brest*. 63p.
- Bellinger E. G. et Sigee D. C., 2010.** Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 99-136.
- Ben Khaled J., 2016.** Couplage de la dénitrification autotrophe sur soufre aux systèmes de traitement biologique des eaux usées domestiques applicables au secteur de l'assainissement décentralisé. Thèse présentée pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor, Ph.D. en Sciences de l'Eau. Université de Québec. 171p.
- Benabbas C., Mebarki A. et Grecu F., 2008.** Le système « Béni-Haroun » (Oued kebir-Rhumel Algérie): Aménagement hydrauliques et contraintes morpho-géologiques, pp. 38-51.
- Benabdellouahad S., 2006.** Structure, dynamique et typologies physico-chimiques et phytoplanctoniques de l'estuaire du Bouregreg (côte atlantique marocaine). Thèse de doctorat, Université Mouhamed V Rabat, 293p.
- Bendjadou A., 2015.** <https://www.liberte-algerie.com/est/des-etudiants-dalger-au-barrage-de-beni-haroun-225765>
- Béné C., Hersoug B., Allison E.H., 2010.** Not by rent alone: analysing the pro-poor functions of small-scale fisheries in developing countries. *Dev. Policy Rev.* 28:325-358
- Bengtsson, J., 1998.** Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. *Applied Soil Ecology.* 10 (3): 191-199.
- Benmassaoud F., 2007.** Qualité physico-chimique, métallique et bactériologique des eaux de l'estuaire de Bouregreg et impact sur la biologie et la démographie de *Venerupis decusta* (Linne, 1758). Thèse de doctorat d'état Rabat. Maroc, 306p.
- Bennett A. G., 1920.** On the occurrence of diatoms on the skin of whales. *Proceedings of the royal society of London*, 91: 352-357.
- Bennouna A., Assobhei O., Berland B. et El Attar J., 2000.** Étude des populations phytoplanctoniques de la lagune de Oualidia (Maroc) ; Dinoflagellés potentiellement nuisibles. Vol. 10 (1-2) : 3-18.
- Bermond R., Vuichaard R., 1973.** Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179p.
- Bernard C., 2014.** Micro-organismes pathogènes de l'eau. Les cyanobactéries et leurs toxines. *Revue Francophone Des Laboratoires.* N°460 : 53-68.
- Béthoux J.P., Morin P. et Ruiz-Pino D.P., 2002.** Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity. *Deep-Sea Res. Part II.* 49 : 2007-2016.

## *Références bibliographiques*

- Biedermann P. et Yon B., 2005.** Etude environnementale du barrage de Lom Pangar (Cameroun). Thème 15 : qualité des eaux. Rapport final Rev.01. République du Cameroun, ministère de l'eau et de l'énergie, 85 p.
- Blais S. 2002.** La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi en 2001. *Agrosol*. 13 (2) : 103-110.
- Blandin P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol*, Ministère de l'Environnement, contrat n°82160 : « Synthèse et évaluation des recherches sur la mise au point d'indicateurs biologiques permettant de caractériser l'état et la transformation des écosystèmes ». 17 (4) : 215-307.
- Blieffert C. et Perraud R., 2008.** Chimie de l'environnement -air, eau, sols, déchets, éd. De Boeck Université. 478p
- Blondel J., 1979.** Biogéographie et écologie. Masson, Paris, 173p.
- Boeuf G., Béné C., Carvahlo G., Cury P., David B., Desbruyères D., Doyen L., Goulletquer F., Gros P., Hanna S., Jennings S., Levrel H., Thébaud O. et Weber J., 2010.** Synthèse et recommandations en sciences environnementale et sociale Rapport à l'Ifremer de l'expertise collective en biodiversité marine. Quelles priorités pour une stratégie Ifremer de recherche en biodiversité marine?. 139 p
- Boldrin A., Misericocchi S., Rabitti S., Turchetto M., Balboni V. et Socal G., 2002.** Particulate matter in the southern Adriatic and Ionian Sea: Characterization and downward fluxes. *Journal of Marine Systems*, 33 : 389-410.
- Bottin M., 2012.** Structure des assemblages de diatomées benthiques en rivière : l'environnement explique-t-il tout ? Processus écologiques et développement méthodologiques. Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 159p.
- Bouabdellah K., 2018.** Le barrage de Béni Haroun déborde. <https://www.liberte-algerie.com/actualite/le-barrage-de-beni-haroun-deborde-292023>.
- Bouchareb N., 2013.** Transferts et géochimie de l'azote, du phosphore et du silicium des bassins des oueds Kebir-Rhumel, Kebir ouest et Saf-Saf au littoral. Doctorat en sciences de la mer, 90p
- Boudoukha A., 2017.** Impact de la pollution urbaine sur les eaux de surface du Grand Constantinois. Thèse de doctorat en Sciences, Université Mohamed Khider – Biskra, 181p
- Bougis P., 1974.** Ecologie du plancton marin. Tome I : Le phytoplancton. Ed. Masson et Cie, 196 p.
- Boulahbel S. et Mebarki A., 2013.** Bilan Et Fonctionnement Hydrologique Du Barrage De Béni Haroun (Oued Kébir-Rhumel, Algérie Orientale), pp749-754.
- Bouloud A., Foutlane A. et Bourchich L., 2001.** Eutrophisation des retenues de barrages et production d'eau potable. *Revue I.L.T.E* N° 119, pp 21-24.
- Bourelly P., 1966.** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome I : Les algues vertes. Eds. Boubée et Cie, Paris, 510 p.

## Références bibliographiques

- Bourelly 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 p.
- Bourelly 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 p.
- Bouzid-Lagha S. et Djelita B., 2012.** Etude du phénomène d'eutrophisation dans le Barrage de Hammam Bouhrara (Wilaya de Tlemcen, Algérie). *Hydrological Sciences Journal* : 57 (1) : 186–201.
- Bremaude C., Claisse J.R., Leulier F., Thibault J. et Ulrich E., 2006.** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale, Edition Educagri, Dijon, France, pp 220-221.
- Brémond R. et Vuichard R., 1973.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. SPEPE, Paris, 79 p.
- Brémond R. et Perrodon C., 1979.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. Prévention des pollutions. 2ème éd: 259 p.
- Brient L., Vézic C. et Bertru G., 2001.** Evaluation des efflorescences à cyanobactéries dans des eaux de cours d'eau et plans d'eau bretons. Rapport Université de Rennes I.U.M.R, Ecobio 6553. 35042 Rennes Cedex, 80p.
- Brosse S., Giraudel J.L. et Lek S., 2001.** Utilization of non-supervised neural networks and principal component analysis to study fish assemblages. *Ecological Modelling* - 146(1-3) : 159-166.
- Brouard J.S., 2011.** Analyse comparative de génomes chloroplastiques et d'algues vertes de la classe Chlorophyceae. Thèse, University Laval. 297p.
- Bruslé J., 1995.** The impact of harmful algal blooms on finfish. Mortality, pathology and toxicology. *Reperes Ocean* n°10. éd. IFREMER, 75 p.
- Burgin A.J. et Hamilton S.K., 2008.**  $\text{NO}_3^-$ - driven  $\text{SO}_4^{2-}$  production in freshwater ecosystems: Implications for N and S cycling. *Ecosystems* II : 908-922.
- Cachon J. et Cachon M., 2019.** « DINOPHYCÉES », *Encyclopædia Universalis* [en ligne],. URL: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/dinophycees-dinoflagelles-peridiniens/>. Consulté le 05 avril 2019
- Cambon S., 2008.** Services d'eau potable, de la logique d'offre à la maîtrise de la demande. Comparaison France-États-Unis. Thèse en Sciences et Techniques de l'Environnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris. 429 p.
- Capblancq J., 1972.** Phytoplancton et productivité primaire de quelques lacs d'altitude. Volume 8, N°3 : 231-321.

## Références bibliographiques

- Carvalho L., Lepisto L. J., Rissanen O. P., Pietiläinen S., Rekolainen L., Torok A. L., Solheim T., Saloranta R., Ptacnik G., Tartari A., Cardoso C., Premazzi G., Gunn I., Penning E., Hanganu J., Hellsten S., Orhan I. et Navodaru I., 2006.** Nutrients and eutrophication in lakes. *In Cellamare M., 2009.* Évaluation de l'Etat Ecologique des Plans d'Eau Aquitains à partir des Communautés de Producteurs Primaires. Université Bordeaux 1, 332p.
- Cavalla M., 2000.** Les Algues – Les Microalgues, L'Opéron – La revue scientifique de l'UPBM.17p. [http://mcavalla.free.fr/rsr/Algues\\_operon.pdf](http://mcavalla.free.fr/rsr/Algues_operon.pdf). Consultée le 10/11/2018.
- Cellamare M., 2009.** Evaluation de l'état écologique des plans d'eau aquitains à partir des communautés de producteurs primaires. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1. 293p.
- Cembella A.D. et John U., 2006.** Molecular Physiology of Toxin Production and Growth Regulation in Harmful Algae, In: Granéli, E., Turner, T. (Eds.), Ecology of Harmful Algae, Ecological Studies, vol. 189. Springer Verlag. Heidelberg, pp. 215-227
- Chabbah L. et Kabour A., 2018.** Impact de la retenue d'un barrage sur le régime Climatique local : cas de Béni Haroun (est Algérien). *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°33: 51-69*
- Chaib N., Alfarhan A.H., Al-Rasheid K.A.S. et Samraoui B., 2011.** Environmental determinants of diatom assemblages along a North African wadi, the Kebir-East, North-East Algeria. *J. Limnol., 70(1) : 33-40.*
- Champiat D., et Larpent J.P., 1988.** Biologie des eaux. Méthodes et Techniques. Masson Paris Milan Barcelone Mexico, 347 p.
- Chapman D. et Kimstach V., 1996.** Selection of Water Quality Variable. W of Biota, Sediments and Water Quality Assessments: A Guide to of the Use of Biota. In: Sediments and Water in Environment Monitoring, 2nd éd, Chapman éd, E& FN Spon, London, pp. 59-126.
- Chapman M.R., Funnell B.M. et Weaver P.P.E., 1998.** Marine Micropaleontology: Isolation, extinction and migration within Late Pliocene populations of the planktonic foraminiferal lineage Globorotalia (Globoconella) in the North Atlantic, pp. 203-222.
- Chisholm S.W., 1995.** The iron hypothesis: Basic research meets environmental policy. *Reviews of Geophysics 33: 1277-1296.*
- Chojnacka K. et Marquez-Rocha F. J., 2004.** Kinetic and Stoichiometric Relationships of the Energy and Carbon Metabolism in the Culture of Microalgae," *Biotechnology, vol. 3, pp.21-34.*
- Chorus I. et Bartram J.N., 1999.** Toxic Cyanobacteria in Water. World Health Organization, 1st ed. E. and F.N. Spon, London and New York, 400p.
- Clauzier S., 2012.** Etude de la solubilité de l'hydrogène dans des liquids confinés. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1, 139p.
- CNRS-INSU, 2014.** L'évolution interannuelle du plancton en Méditerranée contrôlée par la convection hivernale, Centre national de la recherche scientifique, France, <http://www.insu.cnrs.fr/node/4893> Consultée le 14/11/2018.

## Références bibliographiques

- Codd G. A., Lindsay J., Young F. M., Morrison L. F. et Metcalf J. S., 2005.** From mass mortalities to management measures, J. Huisman, H.C.P. Matthijs and P.M. Visser (eds.), Harmful Cyanobacteria, pp.1-23.
- Codd G.A., 2000.** Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritization of eutrophication control. Ecological Engineering, 16: 51-60.
- Coddeville P., Pascaud A., Sauvage S., Nicolas M. et Mathias É., 2016.** Évolution des émissions, de la qualité de l'air et des dépôts atmosphériques dans les espaces ruraux, notamment forestiers. Pollution Atmosphérique - Numéro Spécial : 43-63.
- Colyer C. L., Kinkade C. S., Viskari P. J. et Landers J. P., 2005.** Analysis of cyanobacterial pigments and proteins by electrophoretic and chromatographic methods. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 382 : 559-569.
- Corriveau J., Gauthier F., Lemieux J., Rioux C., Roy G., Bourret F., Lefebvre Y. et Gauthier S., 2019.** Utilisation des pesticides en milieu aquatique – Guide d'apprentissage, 50 p.
- Coste M., 1978.** Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes. Thèse Biologie Végétale. Université. Besançon, 150 p
- Couté A. et Bernard C., 2001.** Les cyanobactéries toxiques. In : Toxines d'algues dans l'alimentation, Frémy, J. M. et Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, pp. 21-37.
- CRElaurentides, 2009.** Les algues. 3p ; [https://crelaurentides.org/images/images\\_site/documents/troussedeslacs/Fiches/fiche\\_algues.pdf](https://crelaurentides.org/images/images_site/documents/troussedeslacs/Fiches/fiche_algues.pdf).
- Croll D. A. et Holmes R. W., 1982.** A note on the occurrence of diatoms on the feathers of diving seabirds. Auk 99 : 765-766
- CSEB., 2009.** Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne. Communiqué sur les marées vertes, 14p.
- Daget J., 1979.** Les modèles mathématiques en écologie. Ed. Masson, Paris, 172 p.
- Dajoz R., 1975.** Précis d'écologie. 3ème édition, Dunod, Paris, 549 p.
- Dajoz R., 2000.** Précis d'écologie. 7ème Edition. Dunod, Paris. 615p.
- Day E.H., 1963.** The chemical elements in nature. George C. Harrap & Co, London, U.K., 372 p.
- De Revier B., 2003.** Biologie et phylogénie des algues. Tome 2, éd. Belin Sup. Sciences, 255p.
- De Revier B., 2019.** Encyclopédie : Chapitre : algues (habitat). Site internet : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/algues/8-habitat/> consulté le 28/03/2019.
- De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., Dutrieux S., Onclinx F., Squilbin M., Thirion A., 2005.** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 16p.

## Références bibliographiques

- Deblois C. P., Mochon A. et Juneau P., 2008.** Toxines de cyanobactéries dans les perchaudes : Analyse exploratoire dans quatre lacs du bassin de la rivière Yamaska. Volume 132, numéro 1 : 56-59
- Delaux P-M., 2011.** Rôles des strigolactones et évolution des compétences mycorrhiziennes dans la lignée verte. Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier. 260p.
- Delegrange A., 2015.** Impact du phytoplancton sur les juvéniles de bar (*Dicentrarchus labrax*) en milieu aquacole. Approches in situ et expérimentales. Thèse de Doctorat, Université Lille Nord de France. 218p
- Démory D., 2017.** Impact de la température sur le phytoplancton et ses interactions avec les virus thèse de doctorat. 194p.
- Deronzier G., et Choubert J-M., 2004.** Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. Unité de recherche QHAN. FNDAE n° 29 Document technique. 24p.
- Derradji F., Bousnoubra H., Kherici N., Romeo M. et Caruba R., 2007.** Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est algérien. *Sécheresse*, 18 (1) : 23-27.
- Derradji M., 2015.** Contribution à l'étude de la tolérance des plantes épuratrices dans l'épuration des eaux usées : stratégie et application Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 140p.
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. et Belghity D., 2010.** Caractérisation physicochimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec oued Fes. *Larhyss Journal* 8 : 101-112.
- Descy J.P. et Coste M., 1990.** Utilisation des diatomées benthiques pour l'évaluation de la qualité des eaux courantes. Rapport final. UNECD-NAMUR, CEMAGREF, Bordeaux CEEB, 112 p.
- Dibong S.D. et Ndjouondo G. P., 2014.** Inventaire floristique et écologie des algues des rivières Kambo et Longmayagui de la zone humide de Douala (Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(6): 2560-2577.
- Djeddi H., Kherief N.S., Kidari D. et Afri-Mehennaoui F. Z., 2018.** Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn Et Pb des sédiments du Barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie). éd ISSN : 1857 – 7881 (Print) e. EISSN : 1857- 743.
- Dokulil M., Chen W. et Cai Q., 2000.** Anthropogenic impacts to large lakes in China: the Tai Hu example. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3: 81 – 94
- Domaizon I., Viboud S. et Fontvieille D., 2003.** Taxon-specific and seasonal variations in flagellates grazing on heterotrophic bacteria in the oligotrophic Lake Annecy - importance of mixotrophy. *FEMS Microbiology Ecology*, 46:317-329.
- Donadel L., Cardoso L. DE. S. et Torgan L.C., 2016.** Plankton community dynamics in a subtropical lagoonal system and related factors. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(1): 249-267

## *Références bibliographiques*

- Doré-Deschênes F., 2009.** Utilisation des microalgues comme source d'énergie durable. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.). Université De Sherbrooke, 111p.
- Drebes G., 1976.** Marine Phytoplankton: Auswahl der Helgolander Planktonalgen (Diatomeen, Peridineen). Ed. George Thiems, Stuttgart, 177 p.
- Duc Hung Nguyen., 2014.** Caractérisation et expression de nouveaux éléments génétiques transposables de la superfamille Tc1-mariner chez la microalgue marine *Amphora acutiuscula* (Bacillariophyta). Thèse de doctorat. Maine sous le label de l'Université Nantes Angers Le Mans-laval, 268p.
- Durand J.R et Lévêque C., 1980.** Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahelo-Soudanienne, Volume 1, 369p.
- Dussart B., 1966.** Limnologie : L'étude des eaux continentales. Ed : Gauthier- Villares, Paris.704p.
- Dussart, B., 1992.** Limnologie. L'étude des eaux continentales. 2ème édition. Collection « faunes et flores actuelles ». 680 p.
- Eaton J.G., McCormick J.H., Goodno B.E., O'Brien D.G., Stefany H.G., Hondzo M. et Scheller R. M., 1995.** A Field Information-based System for Estimating Fish Temperature Tolerances. Fisheries. Volume 20, N° (4): 10-18.
- El Bakouri H., 2006.** Développement nouvelles techniques de détermination des pesticides et contribution à la réduction de leur impact sur les eaux par utilisation des substances organiques naturelles (S.O.N). Thèse de doctorat, Maroc, 200p.
- El Ghachtoul Y., Alaoui Mhamidi M. et Gabi H., 2005.** Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (maroc) : causes, conséquences et consignes de gestion. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 18 :75-89.
- El Hachimi O., 2012.** Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (Oasis de figuig) : Performances épuratoires et aspect phytoplanktonique. Thèse doctorat. Université Mohammed Premier. Faculté des Sciences Oujda, 140p.
- El Ouedghiri K., El Oualti A., El Ouchy M., Zerrouq F., Ouazzani Chahdi F. et El Ouali Lalami A., 2014.** Risques sanitaires liés aux composés chimiques contenus dans l'eau de boisson dans la ville de Fès : Cas des ions nitrates et nitrites (Health risks of the chemicals in drinking water in the city of Fez: nitrate and nitrite ions). J. Mater. Environ. Sci. 5 (S1) : 2284-2292.
- Ellinger E.G. et Sigeo D.C., 2010.** Fresh water Algae: identification and use as bioindicators. Chichester: J Wiley & Sons, 271p.
- Falkowski P.G., 1981.** Light-shade adaptation and assimilation numbers. Journal of Plankton Research, 3 (2) :203-216.
- Farah A. S., 1991.** Etude du comportement hydrochimique d'un oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques : l'Oued Rhumel, Constantinois, Algérie. Thèse de Doctorat en Géologie Appliquée (Hydrogéologie). Université d'Orléans, 217 p.

## Références bibliographiques

- Feret T. et Laplace-Treytoure C., 2012.** Développement et optimisation des méthodes de bio-indication pour les plans d'eau. IPLAC : l'indice Phytoplancton Lacustre : Méthode de développement, description et application nationale, 70p.
- Field C. B., Behrenfeld M. J., Randerson J. T. et Falkowski P., 1998.** Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281 (5374) : 237-240.
- Filion É., 2017.** La problématique des nitrates dans l'eau souterraine en milieu agricole : du sol à l'aquifère. Cas de l'aire d'alimentation de l'eau souterraine de la municipalité de Sainte-Luce, Québec, Canada. Université du Québec à Rimouski, 162p.
- Findlay D.L. et Kling H.J., 1990.** Protocols for measuring biodiversity: Phytoplankton in Fresh water. Department of Fisheries and Oceans. Fresh water Institute 501 University. Crescent Winnipeg, Manitoba. N°6, 19p.
- Fogg G.E., Stewart W.D.P., Fay P. et Walsby A.E., 1973.** The blue-green algae. Academic Press-London and New York, pp 9-297.
- Fouad S., Hajjami K., Cohen N. et Chlaida M., 2014.** *Afrique science* : Qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de l'Oued Hassar : impacts des eaux usées de la localité de Mediouna (Périurbain de Casablanca, Maroc), 10(1) : 91-102.
- Fourtanier, E. et Kociolek J.P., 2009.** Catalogue of diatom names. Occasional papers of the California Academy of Sciences. N°. 156 : Part II, 231p.
- Foutlane A., Bouloud A. et Ghedda K., 1997.** Restauration de la qualité des eaux des retenues de barrages. *Freshwater Contamination (Proceedings of Rabat Symposium S4, IAHS Publ. n° 243: 287- 297.*
- Fqih Berrada D., Berrada R., Benzekri A. et Jabri E., 2000.** Évolution saisonnière des peuplements phytoplanctoniques dans le lac réservoir El Kansera (Maroc), en relation avec certains paramètres abiotiques et biotiques, *Hydroécol. Appl.* 12, (1-2), 207-231.
- Frontier S. et Richo-Viale D., 1993.** Ecosystèmes, Structure, Fonctionnement, Evolution. Collection d'écologie, Masson, Paris, 392 p.
- Gailhard I., 2003.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le "Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines" (REPHY) Thèse de Doctorat, 97p
- Gaillard J.F., 1993.** Limnologie chimique : principes et processus. In : *Limnologie générale.* Ed. Masson, pp. 115-156.
- Ganf G. G., Heaney S. I. et Corry J., 1991.** Light absorption and pigment content in natural populations and cultures of a non-gas vacuolate cyanobacterium *Oscillatoria bourrellyi* (= *Tychomema bourrellyi*). *Journal of Plankton Research.* 13: 1101-1121.
- Gartet A., El Fengour M., Gartet J. et García C.C., 2009.** Dégradation de la qualité des eaux du barrage sahla: traitement et gestion des risques de pollution (Province de Taounate, Rif – Maroc septentrional), pp. 41-54.

## Références bibliographiques

- Gastineau R., 2012.** Biodiversité, reproduction et phylogénie des diatomées bleues du genre *Haslea* et valorisation de leurs pigments de type marennine. Thèse de doctorat de l'Université du Maine Le Mans France, 329p
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques. Analyse des principaux phénomènes de pollution des eaux. Lavoisier, collection Technique et Documentation, 2ème édition. Paris, 224 p.
- Gay C., 1980.** Quelques aspects de l'écologie du plancton d'un lac de montagne eutrophe : le lac de Petichet (ISERE) Annis Limnol.15(3) : 275-29
- Gay G., 1983.** Etude écologique des bactéries nitrifiantes : comparaison de deux sérotypes de Nitrobacter. Thèse de troisième cycle, Université Lyon I, 172 p.
- Gayral P., 1975.** Les algues : Morphologie, Cytologie, Reproduction et Ecologie, éd. Doin : 163p.
- Germain H., 1981.** Flore des Diatomées. Eaux douces et saumâtres. Eds. Boubée et Cie, Paris, 443p.
- Gillet P., 1986.** Contribution à l'étude écologique des Annélides Polychètes de l'estuaire du Bou Regreg (Maroc). Thèse de l'Université d'Aix-Marseille (France), 215 p.
- Goldman J. C., 1993.** Potential role of large oceanic diatoms in new primary production. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 40: 159-168
- Goldman J.C., Hansell, D.A., Dennett, M.R., 1992.** Chemical characterization of three large oceanic diatoms: potential impact on the water column chemistry. Mar. Ecol. Prog. Ser. 88, 257 – 270.
- Gomez N. et Licursi M., 2003.** Abnormal forms in *Pinnularia gibba* (Bacillariophyceae) in a polluted lowland stream from Argentina. Nova Hedwigia - 77(3-4): 389-398.
- Gorniak A. et Jekaterynczuk-Rudczyk, E., 1995.** Limnology of the Siemianowka dam reservoir (eastern Poland), 2- Seasonal and horizontal differentiation of water chemistry. Acta. Hydrobiol. 37 (1), 11-20
- Goterman H.L., 1995.** Toxicocinétique de trois polluants métalliques majeurs chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*), le chrome, le cuivre et le zinc ». Thèse de 3ème cycle Université de Claude Bernard, Lyon, 125 p.
- Gray J. S., McIntyre A. D. et Stirn J., 1992.** Manuel des méthodes de recherche sur l'environnement aquatique. Onzième partie. Evaluation biologique de la pollution marine, eu égard en particulier au benthos. FAO Document technique sur les pêches, N° 324, 53p.
- Groga N., 2012.** Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire).Thèse d'écologie fonctionnelle. Université de Toulouse, 224p.
- Haberkorn H., 2009.** Impact du dinoflagellé toxique, *Alexandrium minutum*, sur l'huître creuse, *Crassostrea gigas* : approche intégrative. Interactions entre organismes. Université de Bretagne Occidentale - Brest, 173p

## Références bibliographiques

- Habila S., 2008.** Etude de l'impact du barrage Béni Haroun sur l'environnement : Effets Ecotoxicologiques Mémoire de Magister en Biologie : Ecotoxicologie. Université de Jijel, 138p
- Hade A., 2002.** Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éd : Fides, 360 p.
- Hadjadj I., 2014.** Caractérisation de la diversité écophysiological d'*Alexandrium catenella/tamarense* au Nord (France) et au Sud-Ouest (Algérie) de la Méditerranée. Thèse Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba, 167p.
- Hallegraef G. M., Anderson D. M., Cembella A. D. et Enevoldsen H. O., 1995.** Manual on Harmful Marine Microalgae, Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides (33), UNESCO, 551p.
- Hallegraef G.M. et Reid D.D., 1986.** Phytoplankton species successions and their hydrological environment at a coastal station off Sydney. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, 37 (3) : 361-377.
- Haniche M., 2019.** <http://www.aps.dz/regions/84921-mila-recul-du-nombre-d-oiseaux-migrateurs-dans-la-zone-humide-du-barrage-de-beni-haroun>. consulté le 23/04/2019
- Harrat N. et Achour S., 2010.** Pollution physico-chimique des eaux de barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration, *Larhyss Journal*, 8: 47-54.
- Harrat N., 2006.** Qualité des eaux de surface de l'Est algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore ; Mémoire de Magister en géologie, 62p.
- Harris G.P., 1986.** Phytoplankton Ecology: Structure, function and fluctuation. Chapman and Hall, London, 384p.
- Hébert, S. et Légaré, S., 2000.** Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Envirodoq n° : ENV-2001-0141, Rapport n° : QE-123, 24 p.
- Heral M., Razet D., Deslous-Pzoli J. M., Berthone J. P. et Garnier J., 1983.** Caractéristiques saisonnières de l'Hydrobiologie du complexe estuarien de marennes Orléans (France). *Travaux de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes*. 42 (4) : 269-290.
- Hess P. et Hégaret H., 2015.** Colloque scientifique sur les microalgues toxiques et les cyanobactéries, pp 1-2.
- Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bourchic H., El Maroufy M., Benazzout T. et Hasnaoui M., 2003.** Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane –Morocco). *Rivista di idrobiologia*. Università degli studi di Perugia, dipartimento di biologia animale ed ecologia laboratorio di idrobiologia "G.B. Grassi", 110– 111p
- Hoagland P. et Scatista S., 2006.** The economic effects of harmful algal blooms. In: Graneli, E., Turner, J., (Eds.) *Ecology of Harmful Algae*. Ecology Studies Series. Springer-Verlag, Dordrecht, The Netherlands, pp. 391-402.

## Références bibliographiques

- Hoagland P., Anderson D.M., Kaoru Y. et White A.W., 2002.** The Economic Effects of Harmful Algal Blooms in the United States: Estimates, Assessment Issues, and Information Needs. *Estuaries* 25:819–837.
- Howarth R. W., Marino R., Garritt R. et Sherman D., 1992.** Ecosystem respiration and organic carbon processing in a large, tidally influenced river: the Hudson River. *Biogeochem.*, 16: 83-102.
- Humborg C., Ittekkot V., Cociasu A. et Van Bodungen B., 1997.** Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*. 386 : 385-388.
- Hutchinson G.E., 1957.** A treatise on Limnology. Vol 1. Geography, Physico and Chemistry. John Wilcy and Sono. Inc. New York, 1115p.
- Hyslop E. J., 1980.** Stomach contents analysis, a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17 : 411 - 429.
- IBGE., 2005.** Observatoire des données de l'environnement, qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, 16 p.
- Ifremer., 2014.** Elément de qualité « Phytoplancton ». Etat biologique. pp.1-3. [http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas\\_DCE/upload/doc/SN/FEQ\\_Phytoplancton\\_Juillet2014.pdf](http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas_DCE/upload/doc/SN/FEQ_Phytoplancton_Juillet2014.pdf). ( Consultée le 13/09/ 2018).
- Iglesias-Rodriguez M.D., Schofield O.M., Batley J., Medlin L.K. et Hayes P.K. 2006.** Intraspecific genetic diversity in the marine coccolithophore *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae): The use of microsatellite analysis in marine phytoplankton population studies. *Journal of phycology*, 42 : 526-536.
- Ignatiades L., Gotsis-Skretas O., Pagou K. et Krasakopoulou E., 2009.** Diversification of phytoplankton community structure and related parameters along a large-scale longitudinal east–west transect of the Mediterranean Sea, *Journal of Plankton Research*, vol 31 (4): 411-428.
- Iltis A., 1974.** Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). VII. Structure des peuplements. *Cah. ORSTOM, Hydrobiol.* 8 (4) : 51-76.
- INRE., 2001.** Menaces Pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada. Rapport 1, série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE. Canada, 83p.
- Ioune N., Kabriti M. et El Amrani S., 2016.** Caractérisation physico-chimique et analyse biologique des eaux de surface de l'Oued Daliya, Maroc. *Afrique SCIENCE*, pp 256 - 270.
- Ishikawa K., Kumagai M., Vincent W.F., Tsujimura S. et Nakahara H., 2002.** Transport and accumulation of bloom -forming Cyanobacteria in a large mid Latitude Lake: The gyre –*Microcystis* hypothesis. *Limnology*. 3: 87-96.
- ISO 9297., 1989.** Qualité de l'eau, dosage des chlorures, titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9297:ed-1:v1:fr>.
- Jacquet S., 2017.** Suivi scientifique du lac du Bourget année 2016. Rapport de suivi, 211p.

## *Références bibliographiques*

- Jochimsen E.M., Carmichael W.W. et An J.D.M., Cardo S.T., Cookson C.E.M., Holmes M.B., Antunes D.A., de Melo Filho T.M., Lyra V.S.T., Barreto S.M.F.O., Azevedo et Jarvis W.R., 1998.** « Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil ». *New Engl and J. Med.* 339 (13) : 873-878.
- JORA., 2011.** Décret exécutif n°11-219 du 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations. *Jora* n°34 du 19 juin 2011.
- Kadi A., 1997.** La gestion de l'eau en Algérie, *Journal des Sciences Hydrologiques*, pp 191-197.
- Kemp A. E. S., Pearce R. B., Grigorov I., Rance J., Lange C. B., Quilty P., Salter I., 2006.** The production of giant marine diatoms and their export at oceanic frontal zones: implications for Si and C flux in stratified oceans. *Global Biogeochemical Cycles* 20 : 1-13.
- Kemp A., Pearce R., Grigorov I., Rance J., Lange C., Quilty P. et Salter I., 2010.** The production of giant marine diatoms and their export at oceanic frontal zones: implications for Si and C flux in stratified oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol 20 : 1-13.
- Kerdoud S., 2006.** Le bassin versant de Béni Haroun eau et pollution. Mémoire de magistère en aménagement du territoire, Université Mentouri- Constantine, 128 p.
- Kilham S.S. et Kilham P., 1984.** The importance of resource supply rates in determining phytoplankton community structure, pp7-27.
- Kim J-H., Boo S. M. et Shin W., 2007.** Two Freshwater Cryptomonads New to Korea: *Cryptomonas marssonii* and *C. pyrenoidifera*, *Algae* Volume 22(3): 147-152.
- Koller E., 2009.** Traitement des pollutions industrielles Eau - Air - Déchets - Sols – Boues 2ième édition : Dunod, L'Usine Nouvelle, 570p.
- Kooistra W. et Medlin L.K., 1996.** Evolution of the diatoms (Bacillariophyta). IV.A Reconstruction of their age from small subunit rRNA coding regions and the fossil record, 6(3): 391-407.
- Kormas K. Ar., Gkelis S, Vardaka El. et Moustaka-Gouni M., 2011.** *Limnologica* : Morphological and molecular analysis of bloom-forming Cyanobacteria in two eutrophic, shallow Mediterranean lakes, 41: 167-173
- Krammer K. et Lange-Bertalot H., 1986.** Naviculaceae. *Süsswasser flora von Mitteleuropa* 2/1. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 876p.
- Krammer K. et Lange-Bertalot H., 1988.** Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Süsswasser flora von Mitteleuropa* 2/2. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 596p.
- Krammer K. et Lange-Bertalot H., 1991a.** Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. *Süsswasser flora von Mitteleuropa* 2/3. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 576pp.

## *Références bibliographiques*

- Krammer K., et Lange-Bertalot H., 1991b.** Achnantheaceae. Süßwasser flora von Mitteleuropa 2/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437pp.
- Krom M. D., Kress N., Brenner S. et Gordon L. I., 1991.** Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol.Oceanogr.* 36: 424-432.
- Kromkamp K., 1987.** Formation and functional significance of storage products in Cyanobacteria. *New. Zealand of Marine and Freshwater. Research* 21: 457- 465.
- Labroue L., Capblancq J. et Dauta A., 1995.** Cycle des nutriments : l'azote et le phosphore. In Pourriot et Meybeck. *Limnologie générale* Masson, Paris. Collection Ecologie 25 : 727-764.
- Lajaunie-Salla K., 2017.** Modélisation de la dynamique de l'oxygène dissous dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 244p.
- Lancelot C., Passy P. et Gypens N., 2014.** Model assessment of present-day Phaeocystis colony blooms in the Southern Bight of the North Sea (SBNS) by comparison with a reconstructed pristine situation. *Harmful Algae* 37, 172–182.
- Landsberg J. H., 2002.** The Effects of Harmful Algal Blooms on Aquatic Organisms. *Fish. Sci.* 10:113–390.
- Lange-Bertalot H., 1979.** Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia* 64: 285-304
- Laplace-Treyture C, 2016.** Les Cyanobactéries d'eau douce, une nuisance. Colloque du GIS Cyano : cyanobactéries et zones récréative, Biscarrosse ,13p.
- Larsen J. et Moestrup φ., 1989.** Guide to Toxic and Potentially Toxic Marine Algae. The Fish Inspection Service, Ministry of Fisheries, Copenhagen, 61 p.
- Larsen J. et Moestrup φ., 1992.** Potentially toxic phytoplankton. 2. Genus *Dinophysis* (Dinophyceae). ICES Identification leaflets for plankton. ICES, Copenhagen, 12 p.
- Lassus P., Baron R., Garen P., Truquet P., Masselin P., Bardouil M., Leguay D. et Amzil, Z., 2004.** Paralytic shellfish poison outbreaks in the Penzé estuary: Environmental factors affecting toxin uptake in the oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquatic Living Resources*, Vol17, 2: 207-214.
- Lassus P., Paulmier G., et Le Baut C., 1982.** Rôle du phytoplancton dans les perturbations des écosystèmes côtiers et estuariens. 60p
- Lavoie I., Hailton PB., Campeau S., Grenier M., Dillon PJ., 2008.** Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est de Canada. Presse de l'université du Québec. Imprimé au Canada, 241p.
- Lavoie I., Warwick F. V., Reinhard P. et Painchaud J., 2003.** Effet du débit sur la dynamique temporelle des algues périphytiques dans une rivière influencée par les activités agricoles. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 16, n° 1 : 55-77.

## *Références bibliographiques*

- Lawton L., Marsalek B., Padisak J. et Chorus I., 1999.** Determination of cyanobacteria in the laboratory. In: Toxic cyanobacteria in water, a guide to their public health consequences, monitoring and management. Chorus I. et Bartram J. (Ed.) SPON Press , pp. 347-367.
- Leboulanger C., Chifflet P., Hustache J.C. et Moille J.P., 2003.** Dynamique de la production phytoplanctonique et de la biomasse chlorophyllienne dans le Léman. Campagne 2002, pp59-67.
- Lecarpentier C., 1975.** L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. In: Annales de Géographie, t. 84,n°463, pp 257-274.
- Leclercq L., 2009.** Le phytoplancton des eaux douces. Revue trimestrielle de la Société royale Cercles des Naturalistes de Belgique. Université de Liège, Station scientifique des Hautes-Fagnes, pp13-20.
- Leclercq L., Swinnen G. et Inforef., 2000.** Un logiciel de simulation qui vous convie à devenir un acteur de la gestion durable de l'eau. Projet financé par la Commission Européenne, programme SOCRATES Comenius Action 2.1 : 2-31.
- Legeas M., Bertrand N., Cathala D. et Delahaie S., 2007.** Atelier Santé et Environnement : Les toxines marines sur le littoral français, état des connaissances, 54p.
- Leitão M. et Couté A., 2005.** Guide Pratique des Cyanobactéries Planctoniques du Grand Ouest de la France. Agence de l'Eau Seine-Normandie, Paris, 63p.
- Leitão M., 2005.** Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France. Manuel pour les prélèvements et la reconnaissance à l'usage des gestionnaires des eaux de surface caractéristiques, échantillonnage, identification DEPEE – DLM. 34 p.
- Livingstone D.M., 1991.** The diel oxygen cycle in three subalpine Swiss streams. Arch. Hydrobiol., 120, 457-479.
- Lund J. W. G., Kipling C. et Lecren E. D., 1958.** The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiol, 11 : 143 - 170.
- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., et Van. Clooster M., 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680. 09 : 149-169.
- Mann D. G., 1999.** The species concept in diatoms. *Phycologia*, 38: 437-495
- Marcaillout-Le Baut C., 2006.** Les toxines des micro-algues toxines, pp 35-39.
- Margalef R., 1956.** Informacion y diversidad especifica en las comunidades de organismos. *Invesi Pesq.*, 3 : 99-106 in : Sevrin- Reys J., *Phytoplankton et production primaire dans les eaux marines ivoiriennes* : 152-166.
- Margalef R., 1958.** Temporal succession and spatial heterogeneity in phytolankton. : *Perspectives in marine biology*, Buzzati-Traverso ed., Univ. Colifornia Press, Berkeley and Los Angeles: 323-349.

## *Références bibliographiques*

- Martin J. M., 1980.** Cycle des éléments chimiques dans les estuaires. *Océanis* 5 (fasc. Hors série) : 517 – 520.
- Marty J. C. et Chiavérini J., 2002.** Seasonal and interannual variations in phytoplankton production at dy famed time-series station, northwestern Mediterranean sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49, 11:2017-2030.
- Marty J.C., Chiaverini J., Pizay M.D. et Avril B., 2002.** Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep -Sea Res. Part II.* 49: 1965-1985.
- Mas S., 2008.** Le rôle du phytoplancton de petite taille «20 µm) dans les variations des propriétés optiques des eaux du Saint-Laurent. Université du Québec à Rimouski. Thèse de doctorat, 286p.
- Masó M. et Garcés E., 2006.** Harmful microalgae blooms (HAB); problematic and conditions that induce them. *Marine pollution bulletin.* 53 : 620–630.
- Masson J. P., 1988.** Suivi de la qualité des eaux superficielles : l'expérience française. In : la qualita delle acqua superficial, criteria per une metodologia omogenea di valutazione, atti del convegno interazione. Palazzo dei Congressi. 99-100
- Mata T. M., Martins A. A. et Caetano N. S., 2010.** "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol14, 1: 217-232.
- Matos J.B., Sodré D.K.L., Da Costa KG., Pereira L.C.C. et Da Costa R.M., 2011.** Spatial and temporal variation in the composition and biomass of phytoplankton in an Amazonian estuary. *J Coastal Res SI*, 64: 1525-1529.
- Matsuyama Y., Uchida T., Nagai K., Ishimura M., Nishimura A., Yamaguchi M. et Honjo T., 1996.** Biological and environmental aspects of noxious Dinoflagellate red tides by *Heterocapsa circularisquama* in the west Japan. In: Yasumoto T., Oshima Y. & Fukuyo (eds). Harmful and toxic algal bloom. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, pp. 247-250.
- Mebarki A., Laborde J.P., 2012.** Synthèse cartographique des bilans hydriques de l'Algérie du Nord , Colloque International de Rouen , Regards croisés Nord –Sud, Université de Rouen, pp 25-26.
- Mebarki A., 1982.** Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, thèse doctorat de 3ième cycle, Université de Nancy II, 304 p.
- Mebarki A., 1984,** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir-Rhumel, Office des Publications Universitaires, Alger, 302 p.
- Mebarki A., 2000.** Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins méditerranéens de l'Algérie orientale. /Low water flows, effluents and protection of water resources in the Mediterranean basins of eastern Algeria. . In: Géocarrefour, vol. 75, n°4, 2000. L'interface nature-sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux. pp. 399-416.

## *Références bibliographiques*

- Mebarki A., 2005.** Hydrologie des bassins de l'Est-algérien : ressources en eaux, aménagement et environnement, Thèse doctorat, Université Constantine 1 ex Mentouri, 360p.
- Mebarki A., 2010.** Hydrologie, barrages et transfert d'eaux en Algérie orientale. ResearchGate. 33-41.
- Mebarki A., Benabbas CH., et Grecu F., 2008.** Le système « Béni Haroun » (oued Kebir-Rhumel, Algérie) : Aménagements hydrauliques et contraintes morpho-géologiques, 38-51.
- Melghit M., 2009.** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun, Magistère en Ecologie, Université Mentouri- Constantine, 141p
- Merabet S., 2010.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Béni Haroun. Mémoire de Magister, Université de Constantine 120p.
- Mérigout P., 2006.** Étude du métabolisme de la plante en réponse à l'apport de différents fertilisants et adjuvants culturaux. Influence des phytohormones sur le métabolisme azoté. Sciences of the Universe [physics]. INAPG (AgroParisTech), Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 110p.
- Metahri M.S., 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. cas de la STEP Est de la ville de Tizi Ouzou, thèse de doctorat en agronomie, 170p.
- Michaud J.C., 2016.** Stratégie de culture algale en deux étapes afin de produire des biocarburants. Mémoire présenté à l'Université du Québec à Trois-Rivières. Université Du Québec, 104 p.
- Millet B., 1986.** Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical : le lac Togo. Objet d'une thèse présentée à l'université de Paris-Sud, 230p.
- Moinecourt M.A.E., 2002.** L'alimentation en calcium de la truie reproductrice. Thèse de Doctorat, Université Lyon, 90p.
- Mollo P. et Noury A., 2013.** Le Manuel du plancton, éd Charles Léopold Mayer, Essai n° 195, ISBN 978-2-84377-173-6, 198p.
- Morales J.S., 2014.** Liens entre la météorologie et l'abondance de phytoplancton dans l'océan à partir d'images satellites Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.) Université Sherbrooke, 71p
- Morin P., LE Corre P., Marty Y. et L'Helguen S., 1991.** Oceanologica Act : Evolution printanière des éléments nutritifs et du phytoplancton sur le plateau continental armoricain Europe de Nord-Ouest.3 : 263-280
- Mortensen A.M., 1985.** Massive fish mortalities in the Faroe Islands caused by a *Gonyaulax* excavated tide. In: Anderson, D.M., White, A.W., Baden, D.G. (Eds.), Proceedings of the Third International Conference on Toxic Dinoflagellates, St. Andrews, Elsevier, New York, pp 165–170.

## *Références bibliographiques*

- Moussoukhoye sissokho., 2003.** Détermination structurale de biomolécules polaires isolées d'organismes marins de la Côte Sénégalaise. Docteur d'état Es-Sciences Physiques. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 104p
- Muckensturm F., 1973.** Méditerranée : La pollution des eaux en Provence, côte d'Azur.12 : 81-93.
- Mukherjee B., Nivedita M. et Mukherjee D., 2010.** Journal of Environmental Biology: Plankton diversity and dynamics in a polluted eutrophic lake, Ranchi. 31(5): 827-839.
- Muller-feuga A., Moal J. et Kaas R., 2003.** The aquaculture of microalgae. In L.A. McEvoy & J.G. Stottrup (Ed.), Live feeds in marine aquaculture. London, UK: Wiley-Blackwell, pp. 206–252
- Mur L.R., Skumberg O.M. et Utkilen H., 1999.** Cyanobacteria in the Environment. In : Chorus, I. et Bartram, J. (eds.). Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management. WHO Ed. E & FN SPON, pp. 41-111.
- Nalco., 1983.** Manuel de l'eau, TEC- DOC – Lavoisier, Paris.
- Nambatingar M N., 2011.** Contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena. Thèse de Doctorat de l'Université de Lyon. Université Claude Bernard Lyon1.164p
- Nezan E., 1996.** Surveillance du phytoplancton marin : manuel illustré adapté à la formation des analystes. IFREMER. Ed. Direction de l'Environnement et de l'Aménagement du littoral, Concarneau (France), 78 p.
- Nisbet M. et Verneaux J., 1970.** Composition chimique des eaux courantes. Discussion et propositions de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. Anns. Limnol. 6 (2) : 161 – 190.
- Nollet P., 1996.** Problèmes d'environnement. Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris. 288 p.
- Not, F., Valentin, K., Romari, K., Lovejoy, C., Massana, R., Tobe, K., Vaulot, D. et Medlin, L.K. 2007.** Picobiliphytes: A marine picoplanktonic algal group with unknown affinities to other eukaryotes. Science. 5809:253-255.
- OMS., 2004.** Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3rd éd., World Health Organization, Geneva. World Health Organization. <http://www.who.int/iris/handle/10665/42852>. (Consultée le 15/11/2018).
- OMS/UNICEF., 2013.** Rapport sur les progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau. <http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/> (Consultée le 15/11/2018).
- Ouhmidou M., Chahlaoui A., Kharroubi A. et Chahboune M., 2015.** Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Hassan Addakhil d'Errachidia (Maroc). Environ. Sci. 6, 6:1663-1671

## Références bibliographiques

- Padisák J., 1998.** Sudden and gradual responses of phytoplankton to global climate change: case studies from two large, shallow lakes (Balaton, Hungary; Neusiedlersee, Austria/Hungary). In: George DG, Jones JG, Puncochar P, Reynolds CS, Sutcliffe DW, eds. Management of lakes and reservoirs during global change. Dordrecht; Boston; London: Kluwer, pp. 111-25.
- Padisák J., Borics G., Grigorszky I. et Soróczki-Pinter E., 2006.** Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive the assemblage index. *Hydrobiologia*. 553: 1-14.
- Padisak, J., 1993.** The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 249:135-156.
- Paerl H., 1988.** Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria); in: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Ed. Sandgren C. D. Cambridge University Press, Cambridge, pp 261– 315.
- Palmer C.M., 1969.** Journal of Phycology: A Composite rating of Algae Tolerating Organic Pollution., 5: 75-82.
- Pascher A., 1925.** Die Süßwasser-Flora, Deutschlands, Österreichs Und Der Schweiz. Heft 12: Cyanophyceae. Jena Verlag Von Gustav Fischer, 481 p.
- Patrick R., 1977.** Ecology of freshwater diatoms and diatom communities. In: Werner, D. (ed.) the Biology of Diatoms. Bot. Monogr. 13: 284-332.
- Pearson K., 1901.** On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine* 2 : 559 – 572.
- Pelmont J., 2008.** Glossaire de biochimie environnementale. éd : EDP Sciences. Collection : Grenoble Sciences .1026p
- Peltier C., 2010.** La disparition du phytoplancton menace les océans. <https://www.nouvelobs.com/rue89/rue89-planete/20100806.RUE7883/la-disparition-du-phytoplancton-menace-les-océans.html>. (Consulté le 16/09/2018).
- Perez-Garcia O., Escalante F. M. E., de-Bashan L. E. et Bashan Y., 2011.** "Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products," *Water Res.*, vol. 45, n°1:11-36.
- Perrodin Y., 2013.** Pollution des milieux aquatiques. CNRS Éditions. pp. 242-243. [tps://books.openedition.org/editions-cnrs/10794](https://books.openedition.org/editions-cnrs/10794). Consultée le 15/09/2018.
- Person J., 2010.** Livre turquoise Algues, Colloque Algues : filières du futur. Ed. Adebitech, Romainville, 163p.
- Pesez G., et Pesez M., 1977.** Atlas de microscopie des eaux douces. Editions Le chevalier S.A.R.L. Paris, 285p
- Philippose M. T., 1967.** Chlorococcales. I.C.A.R., New Delhi, 365 p.

## *Références bibliographiques*

- Pinay G., Gascuel Ch., Ménesguen A., Souchon Y., Le Moal (coord) M., Levain A., Florentina M., Pannard A. et Souchu P., 2017.** L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea (France), 148 p.
- Poletti R., Cettul R., Bovo F., Milandri A., Pompei m. et Frate R., 1998.** Distribution of toxic dinoflagellates and their impact on she llfish along the Northwest Adriatic coast. In: Reguera B., Blanco J., Fernández M.L., Wyatt T., editors. Harmful Algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO; Santiago de Compostela, Spain: 1998, pp88-90.
- Pondaven P., Ruiz-Pino D., Druon J.N., Fravallo C. et Treguer P., 1999.** Factors controlling silicon and nitrogen biogeochemical cycles in high nutrient, low chlorophyll systems (the Southern Ocean and the North Pacific): Comparison with a mesotrophic system (the North Atlantic). *Deep-Sea Res. Part I.* 46: 1923-1968.
- Prescott L. M., Harley, J.P. et Klein D.A., 2003.** Microbiologie, 2ème édition. De boeck Université, Bruxelles. 1164p.
- Rainey M. P., Tyler A. N., Gilvear D. J., Bryant R. G. et Mc Donald P., 2003.** Mapping inertidal estuarine sediment grain size distributions through airborne remote sensing. *Remotesens. Environ.* 86: 480-490.
- Ramade F., 2005.** *Eléments d'écologie (écologie appliquée)*, Dunod, Paris, 789p
- Ramade F., 1984,** *Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale*, éd, Mac-Graw-Hill, Paris, 397 p.
- Ramade F., 2002.** *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement.* 2ème Ed. Dunod. Paris, 1100p.
- Rastoin J.L., 2014.** *Le secteur des micro-algues en Méditerranée Perspectives et contribution au développement durable. Rapport et analyses*, 94p
- Rastoin J.L., 2015.** *Le secteur des micro-algues en méditerranée.* Piante et Ody, 94p.
- Ratel M-O. et Debrieu C., 2003.** *Elimination des nitrates des eaux potables.* Document technique FNDAE hors-série n°4. Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, Direction de l'Espace Rural et de la Forêt, Paris, France, 71p.
- Raven J.A. et Geider R.J., 1988.** Temperature and algal growth. *New Phytologist*, 110: 441-461.
- Raymond D.J., 1990.** *Le traitement des eaux ; 2ème édition revue et améliorée.* éd. L'école polytechnique de Montréal .page1.304p.
- Rejsek F., 2002.** *Analyse des eaux – aspects réglementaire et techniques-*. Edition scérén.110p.
- Remini B., Leduc C. et Hallouche W., 2009.** Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. *Sécheresse ;* 20(1) : 96-103.

## Références bibliographiques

- Remmache I., 2006.** Potentiel en substances utiles non métalliques (gypse et sel gemme) du bassin de Mila (Algérie nord orientale). Magister en Géologie, Université Mentouri-Constantine, 80p
- Revaclier R. et Druart J.C., 2000.** Evolution du phytoplancton du Léman. Campagne 1999, pp 67-78.
- Reyjol Y., Spyrtatos V. et Basilicos L., 2012.** Bioindication, des outils pour évaluer l'état des milieux aquatiques - synthèse des rencontres de l'ONEMA, p.31. In : Cahier de l'eau, 2015. Les indicateurs biologiques. N° : 12, du réseau CPIE, 24p
- Reynolds C. S. et Melo S., 2000.** Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow *Hydrol. Process.* 14: 3119-3132
- Reynolds C. S., 1992.** Dynamics, selection and composition of phytoplankton in relation to vertical structure in lakes. *Arch. Hydrobiol. Beih. Engeben. Limnol.*, 35: 13-31
- Reynolds C. S., 1997.** Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory, 371p.
- Reynolds C. S., 2006.** The ecology of phytoplankton. Cambridge: University Press. 124p.
- Reynolds C.S., 1984.** The ecology of freshwater phytoplankton, Cambridge University Press, London, Beck & Connor, 384p.
- Reynolds C.S., Oliver L. et Walsby A.E., 1987.** Cyanobacterial dominance: the role of buoyancy regulation in dynamic lake environments. *New Zealand Journ. Of Mar. Freshw. Res.* 21: 379-390.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-flores, L. et Melo, S. 2002.** Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research.* 24 : 417-428.
- Reyssac O., 1970.** Phytoplancton et production primaire au large de la Côte-d'Ivoire. *Bull. IFAN, sér. A*, 32(4): 869-981.
- Rhee G.Y. et Gotham I. J., 1981.** The effect of environmental factors on phytoplankton growth: Temperature and the interaction of temperature and nutrient limitation, *Limnol. Oceanogr.* 26 (4) : 633-648.
- Ricard M., 1987.** Atlas du phytoplancton marin. Vol. II : Diatomophycées. Muséum National d'Histoire Naturelle. Edition du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Paris (France), 297 p.
- Richardson A. J. et Schoeman D. S., 2004.** Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 305(5690) :1609-1612
- Robigo L., 2005.** La nutrition de l'huître – Présentation de la fonction de nutrition de l'huître et du parcours des nutriments dans le tube digestif, <https://www.ostrea.org/la-nutrition-de-lhuître/>.
- Rodier J., 2005.** Analyse de l'Eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8<sup>ème</sup> édition. Dunod. Paris, 1384p.

## Références bibliographiques

- Rodier J., Bernard L., Nicole M. et coll., 2009.** L'analyse de l'eau. 9<sup>e</sup> édition Dunod Paris, 1579 p.
- Rodolph P., 1990.** Le grand livre de l'eau, la manufacture, Cité des sciences. Paris, pp160 - 370.
- Roemmich D. et Mcgowan J., 1995.** Climatic warming and the decline of Zooplankton in the California current (Vol 267, PG 1324, 1995). Science, 268(5209) :352-353.
- Rolland D., Launay J., Aurousseau P., Bormans M., Brient L. et Menesguen A., 2015.** Prolifération du phytoplancton en eaux douces et marines : Eléments de compréhension. Projet de fiches scientifiques et techniques, premiers exemples de fiches réalisées, pp 2-9.
- Rossi N., 2009.** Écologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (Toulon, France). Ecologie, Environnement. Thèse de doctorat, Université du Sud Toulon, 201p
- Round F. E., Crawford R. M. et Mann, D. G., 1990.** The diatoms. Biology and morphology of the genera, Cambridge University Press, 747p.
- Ryding S.O. et Rast W., 1994.** Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. Masson, Paris, pp 1-294.
- Saez A.G., Zaldivar-Riveron, A. et Medlin, L.K. 2008.** Molecular systematics of the Pleurochrysidaceae, a family of coastal coccolithophores (Haptophyta). Journal of Plankton Research. 30 : 559-566.
- Safewater., 2017.** Fiche d'information : La pollution de l'eau, [www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/14/pollution-eau](http://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/14/pollution-eau).
- 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. Doctorat en Sciences Pollution, et Ecotoxicologie 215p
- Salsamo N., Morabito G., Buzzi F., Garibaldi L., Simona M. et Mosello R., 2006.** Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. Hydrobiologia. 563 : 167-187.
- Santé Canada., 2001.** Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999), Liste des substances d'intérêt prioritaire, Rapport d'évaluation, Sels de voirie, 188 p.
- Sarazin G., Quibuer-Llobéras C., Bertru G., Brient L., Vezie C., Bernard C., Coûté A., Hennion M.C, Robillot C. et Tandeau De Marsac N., 2002.** Première évaluation du risque toxique lié aux cyanobactéries d'eau douce en France le programme « EFFLOCYA ». *Revue des sciences de l'eau*, rev. sci. Eau .pp15-326
- Sarthou G. et Jeandel C., 2001.** Seasonal variations of iron concentrations in the Ligurian Sea and iron budget in the Western Mediterranean Sea. Mar. Chem. 74: 115-129
- Schagerl M. et Donabaum K., 2003.** Patterns of major photosynthetic pigments in freshwater algae.1. Cyanoprokaryota, Rhodophyta and Cryptophyta. *Annales de Limnologie*. 39 :35-47.

## Références bibliographiques

- Schmoker C., Hernandez-Leon S. et Calbet A., 2013.** Microzooplankton grazing in the oceans: impacts, data variability, knowledge gaps and future directions. *Journal of Plankton Research* 35(4) :691–706.
- Scott N., 2002.** Les algues, les cyanobactéries et la qualité de l'eau. Canada, 4p
- Semadi F., 2010.** Faisabilité du traitement des eaux d'un oued chargé en éléments traces métalliques (ETM) par filtres plantés de macrophytes (*Phragmites australis*) : cas de la région d'Annaba. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 174p.
- SEQ-Eau, 1999.** Système d'évaluation de la qualité des eaux douces. Etudes de l'Agence des eaux N°72.
- Sevrin-Reyssac J., 1973.** Phytoplancton et production primaire dans les eaux marines Ivoiriennes. pp151-166.
- Shapiro J., 1973.** Blue-green Algae: Why they become dominant. *Sci. NY*, vol. 179, n° 4 : 382-384.
- Shilton A., Walmsley N., Pearson H., Paterson C., Curtis T., Craggs R., Davies-Shumway S. E., Cucci T. L., Gainey L. et Yentsch C. M., 1985.** A preliminary study of the behavioral and physiological effects of *Gonyaulax tamarensis* on bivalve molluscs. In Anderson, D. M., White, A. W., Baden, D., (Eds.) *Toxic dinoflagellates*. New York: Elsevier Science publishing. pp389-394.
- Shilton A., Walmsley N., Pearson H., Paterson C., Curtis T., Craggs R., Davies-Colley R. et Mara D., 2005.** *Pond Treatment Technology*, IWA Publishing, London, Seattle, 479p.
- Shomar B.H., Müller, G. et Yahya A., 2005.** Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in the wetland of Wadi Gaza, Gaza Strip. *Wetlands Ecology and management*, 13: 419-431
- Shumway S. E. et Cucci T. L., 1987.** The effects of the toxic dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis* on the feeding and behaviour of bivalve molluscs. *Aquat. Toxicol.*10:9-27
- Shumway S. E., 1990.** A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *Journal of World Aquaculture Society*. 21: 65-104.
- Shumway S. E., Burkholder J. A. M. et Springer J., 2006.** Effects of the estuarine dinoflagellate *Pfiesteria shumwayae* (Dinophyceae) on survival and grazing activity of several shellfish species. *Harmful Algae*, 5: 442–458.
- Shumway S.E., Sherman-Caswell S. et Hurst J.W., 1988.** Paralytic shellfish poisoning in Maine: monitoring a monster. *J. Shellfish Res.* 7: 643-652.
- Shumway, S. E., Cucci, T. L., Gainey, L. et Yentsch, C. M., 1985.** A preliminary study of the behavioral and physiological effects of *Gonyaulax tamarensis* on bivalve molluscs; In: Anderson DM, White AW, Baden DG (ed.), *Toxic marine dinoflagellates*. Elsevier, New York, pp389-394.
- Sialve B. et Steyer J-P., 2013.** Les microalgues, promesses et défis. *Innovations Agronomiques*, Paris, 26 : 25-39.

## *Références bibliographiques*

- Sigg L., Behra P. et Stumm W., 2013.** Chimie des milieux aquatiques. Dunod. 5ème édition, 497 p.
- Silvano J., 2005.** Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon. 116p.
- Siokou-Frangou I., Christaki U., Mazzocchi M. G., Montresor M., Ribera d'Alcalá M., Vaqué D. et Zingone A., 2010.** Plankton in the open Mediterranean sea: a review. *Biogeosciences*, 7 (5): 1543-1586,
- Sirois L., 2013.** Changements physiologiques chez les microalgues vertes menant à la biosynthèse de caroténoïdes. Exigence partielle de la maîtrise en Sciences de l'Environnement ; Université du Québec à Montréal, 117p.
- Sivonen K. et Jones G., 1999.** Edited by Ingrid Chorus and Jamie Bartram: Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management, pp55-124.
- Skulberg O.M., 1996.** Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland waters-health and environment. In: Chemical data as a basis of geomedical investigations. éd. Lag. J., the Norwegian Academy of Sciences and Letters, Oslo, pp 131-148.
- Smayda T. J., 1990.** Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic. In: Toxic Marine Phytoplankton (Granéli, E., Sundstrom, B., Edler, L., Anderson, D. M., (Eds.). New York: Academic Press, pp 29-40.
- Smayda T. J., 1997.** Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography* 42 (5) : 1137 –1153.
- Smetacek V. A., 1999.** Diatoms and the ocean carbon cycle. *Protist*, 150 : 25-32.
- Smol J. P. et Stoermer E. F., 2010.** The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Second edition, 686p.
- Smruti S., 2016.** India International Journal of Science Technology & Engineering: A Review of Phytoplankton Ecology in Freshwater Rivers and Lakes of 3: 19-21.
- Soizic M., 2006.** Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Approches in situ et expérimentales. Biologie végétale. Université Sciences et Technologies- Bordeaux I, France, 302p.
- Solheim A.L. 2005.** Reference Conditions of European Lakes. Indicators and methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference conditions. Version 5. REBECCA Working Group, 105p.
- Sommer U., Gliwicz M., Lampert W. et Duncan A., 1986.** The PEG model of seasonal succession of planktonic events in freshwaters. *Archiv für Hydrobiologie*. 106 : 433-471.
- Sommer U., Sommer F., Feuchtmayr H. et Hansen T., 2004.** The Influence of mesozooplankton on phytoplankton nutrient limitation: a mesocosm study with Northeast Atlantic plankton. *Protist*. 155: 295-304.

## Références bibliographiques

- Souchon Y. et Nicolas V., 2011.** Barrages et seuils : principaux impacts environnementaux. Dynamique physique– Action 23-24 Restauration, pp.21-28.
- Souissi M., Chaibi R., Bouallag M., Melizi M. et Bensouilah M., 2004.** Les Cyanobactéries D'un Plan D'eau Douce (Le Lac Oubeira El Kala). Inventaire Et Répartition Spatiale. Sciences & Technologie, 22 : 38-42.
- Soukehal B., 2011.** La wilaya de Mila : villes, villages et problématique de l'alimentation en eau potable. Thèse de doctorat es science en aménagement de territoire. Université
- Sournia A., 1978.** Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology 6. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, UNESCO, 337 p..
- Sournia A., 1986.** Atlas du phytoplankton marin. Volume I: Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées. Editions du CNRS, Paris, 219 p.
- Sournia A., 1995.** Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into biodiversity. In: Harmful Marine Algal Blooms, Lassus, P., Arzul, G., Erard-Le-Denn, E., Gentien, P., Marcaillou-Le-Baut, C., (Eds.). Paris : Lavoisier. pp. 103–112-  
Mentouri- Constantine, 303p.
- Speare D. J., Brackett J. et Ferguson H. W., 1989.** Sequential pathology of gills of coho salmon with a combined diatom and microsporidian gill infection. Can. Vet. J. 30: 571–575.
- Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E. et Isambert A., 2006.** Commercial applications of microalgae. Journal of bioscience and bioengineering, 101, 2: 87–96.
- Stanier R. Y., Kunisawa R., Mandel M. et Cohen-Bazir G., 1971.** Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). Bacteriological reviews 35 (2): 171 - 205.
- Staudinger B., Peiffer S., Avnimelech Y. et Berman T., 1990** - Phosphorus mobility in interstitial waters of sediments in Lake Kinneret, Israel. Hydrobiologia, Volume 207, Number 1. 167-177.
- Strickland J. D. H., 1960.** Measuring the production of marine phytoplankton. Bull. Fish. Res. Ba. Canada, n° 122, 172 p.
- Strickland J.D.H. et Parsons T. R., 1968.** A manual of seawater analysis. n°167, 311 p.
- Sweeney B.W., Bott T. L., Jachson J. K., Kaplan L. A., Newbold J. D., Standley L. J. et Talling J. F., 1957.** The phytoplankton as a compound photosynthesis system. *New phyto.* 56: 133-149.
- Tazi O., Fahde A. et El Younoussi S., 2001.** Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca, Maroc. Sécheresse, 12: 129 – 134.
- Tester P. A. et Mahoney B., 1995.** Implication of the diatom *Chaetoceros convolutus*, in the death of Red King Crabs, *Paralithoides camtschatica*. In : Harmful Marine Algal Blooms. (Eds.), P. Lassus, Arzul, G., Erard-Le Denn, E., Gentien, P., Marcaillou-Le Baut, C. Lavoisier, Paris, France, pp95-100.

## Références bibliographiques

- Thakar M. K., Luthra D. et Khattar J. S., 2018.** Forensic studies of phytoplankton ecology of two water bodies of Kurukshetra area of Haryana, State in India Thakar et al. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 8: 38, pp1-15.
- Thébaud O., Véron G. et Fifas S., 2005.** Incidences des épisodes d'efflorescences de microalgues toxiques sur les écosystèmes et sur les pêcheries de coquillages en baie de Douarnenez, 88p.
- Thingstad T. F., Zweifel U. L. et Rassoulzadegan F., 1998.** P limitation of heterotrophic bacteria and phytoplankton in the northwest Mediterranean. *Limnol. Oceanogr.* 43: 88- 94.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. et Olivier J. M., 1997.** ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7: 75- 83.
- Thomas W.H., 1966.** Surface nitrogenous nutrients and phytoplankton in the northeastern tropical Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 11/3: 393-400
- Thomazeau S., 2006.** Diversité Phylogénétique et Toxinique de Cyanobactéries du Sénégal et du Burkinafaso, Mémoire de Master 2. Université Pierre & Marie Curie - Paris 6, 44p
- Thornton K. W., 1990.** Perspectives on reservoir limnology, *In* : Thornton, K. W., Kimmel, B. L. & Payne, F. E., (eds.). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons, New York, pp 1-13.
- Thurman H. V., 1997.** *Introductory Oceanography*. New Jersey, USA: Prentice Hall College, *In Becerra Celis G.P., 2009.* Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photobioréacteur continu. Thèse de doctorat, 241p.
- Tilman D., 1999.** The ecological consequences of changes in biodiversity: A search *Ecology*, Vol 80, N°(5):1455–1474.
- Tolomio C., Moschin E. et Moro I., 2006.** Phytoplankton de la lagune de Venise II - Bassin Central (Avril 1989 - Mars 1990). *Lavori - Soc. Ven* ; Vol.32, pp33-41.
- Tomas C. R., 1996.** *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. Florida Marine Research Institute. Academic Press, Inc, 598 p.
- Toubal O., 1986.** Phytoécologie, Biogéographie et Dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie nord – orient.). *Cartographie à 1 / 25000*. – Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier Grenoble, 109p.
- Travers M., 1964.** Diversité du microplancton du Golf de Marseille. *Station marine d'Endoume et centre d'océanographie, Marseille*, 35p.
- Travers M., 1971.** Diversité du microplancton du Golf de Marseille. *Station Marine d'Endoume et Centre d'Océanographie, Marseille, France*, pp308-343.
- Tréguer P., Nelson D. M., Van Bennekom A. J., De Master D. J., Leynaert A. et Quéguiner B., 1995.** The silica balance in the world Ocean: a reestimate. *Science*. 268: 375-379.

## Références bibliographiques

- Turki S., 2004.** Suivi des microalgues planctoniques toxiques dans les zones de production, d'élevage des mollusques bivalves et d'exploitation des oursins du nord De la Tunisie. Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 31 : 83-96.
- Vallod D., 2011.** Devenir des produits phytosanitaires. Proliférations algales et Cyanobactéries : deux cas d'études en étangs. Conférence eau et santé. pp 63-66.
- Valo M., 2017.** Alerte sur les microalgues toxiques. Le Monde Science Et Techno. [tps://www.lemonde.fr/sciences/article/2017/01/02/alerte-sur-les-microalgues-toxiques](https://www.lemonde.fr/sciences/article/2017/01/02/alerte-sur-les-microalgues-toxiques) (consulté le 11/09/ 2018).
- Vidal M. et Duarte C. M., 2000.** Nutrient accumulation at different supply rates in experimental Mediterranean planktonic communities. Mar. Ecol. Prog. Ser. 207: 1 11.
- Vidussi F., Marty J.C. et Chiaverini J., 2000.** Phytoplankton pigment variations during the transition from spring bloom to oligotrophy in the northwestern mediterranean sea. Deep Sea Research Part I : Oceanographic Research Papers, 47 (3): 423- 445.
- Vila M., Camp J., Garcés E., Maso M. et Delgado M., 2001.** High-resolution spatio-temporal detection of potentially harmful dinoflagellates in confined waters of the NW Mediterranean. Journal of Plankton Research, 23 (5) : 497-514.
- Villay A., 2013.** Production en photobioréacteurs et caractérisation structurale d'un exopolysaccharide produit par une microalgue rouge, *Rhodella violacea* : application à l'obtention d'actifs antiparasitaires. Alimentation et Nutrition. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. Thèse de doctorat, 179p.
- Ville E., 1990.** Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques du lac de barrage d'Esch-sur-Sûre. Bull. soc, Nat. Luxemb, pp 3-36.
- Villeneuve V., Légaré S., Painchaud J. et Vincent W., 2006.** Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. Revue des sciences de l'eau, 19, (4) : 259–274. <https://doi.org/10.7202/014414ar>.
- Vollenweider R A., 1968.** Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD Technical report DAS/CSI/68.27, 254 p.
- Vonarx J., 2008.** Cyanobactéries et cyanotoxines, Planète-Vie, Mardi 7 octobre, <http://planet-vie.ens.fr/article/1848/cyanobacteries-cyanotoxines>, consulté le 03/11/ 2018.
- Warren, A., Rolland D. et Laurion I., 2010.** L'eutrophisation des plans d'eau sur le territoire du Séminaire de Québec : Sources de perturbation, impacts associés à l'exploitation forestière, mesures de protection et de restauration, qualité de l'eau et risque associé aux cyanobactéries. INRS rapport n° R1202, 54 p.
- Wehr J. D. et Sheath R.G., 2003,** Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification, Academic Press, San Diego, CA, 1066p.
- Wetzel C. E., Van de Vijver B. et Ector L., 2010.** *Luticola deniseae* sp. nov. A new epizoic diatom from the Rio Negro (Amazon hydrographic basin). Vie et Milieu 60 : 177-184.

## Références bibliographiques

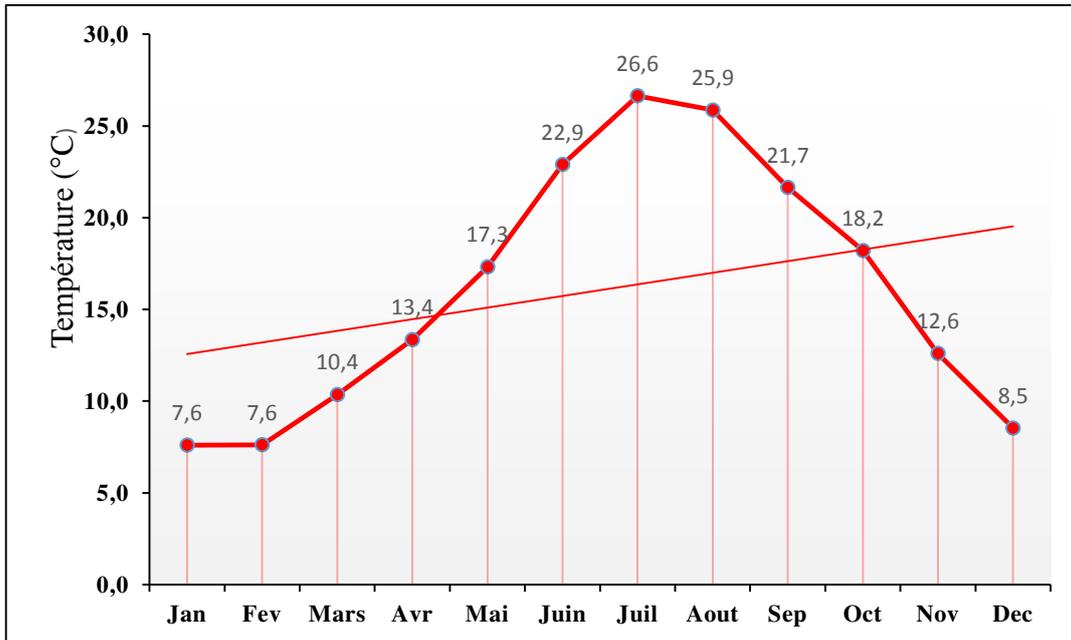
- Wille E., 1990.** Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques du lac de barrage d'Esch-sur-Sûre. Bull. soc, Nat. Luxemb, pp 3-36.
- Williams R. G. et Follows M. J., 2003.** Physical transport of nutrients and the maintenance of biological production, dans Ocean Biogeochemistry, Springer, pp 19-51,
- Winder M. et Sommer U., 2012.** Phytoplankton response to a changing climate. Hydrobiologia Volume 698, 1: 5–16
- Yin K., 2002.** Marine Ecology Progress Series: Monsoonal influence on seasonal variations in nutrients and phytoplankton biomass in coastal waters of Hong Kong in the Vicinity of the Pearl River estuary. 245 : 111-122.
- Zeitzschel B., 1978.** Why study phytoplankton? In: Sournia A. éd, Phytoplankton Manual. Monographs on Oceanographic Methodology - Unesco, pp1-6.
- Zervoudaki S., Christou E., Nielsen T., Siokou-Frangou I., Assimakopoulou G., Giannakourou A., Maar M., Pagou K., Krasakopoulou E., Christaki U. et al., 2007.** The importance of small-sized copepods in a frontal area of the aegean sea. Journal of plankton research, 29 (4): 317-338.
- Zinsou H.L., Attingli A.H., Gnohossou P, Adandedjan D. et Laleye P., 2016.** Caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin. Journal of Applied Biosciences 97 : 9163 – 9173
- Zouaidia H., 2006.** Bilan des incendies de forêts dans l'est algérien cas de Mila, Constantine et Oum Bouaghi. Mémoire de Magister, Université de Constantine, 153p
- Zubkov M.V. et Tarran G.A., 2008.** High bacterivory by the smallest phytoplankton in the North Atlantic Ocean. Vol 455: 224–226.

### Sites Internet consultés

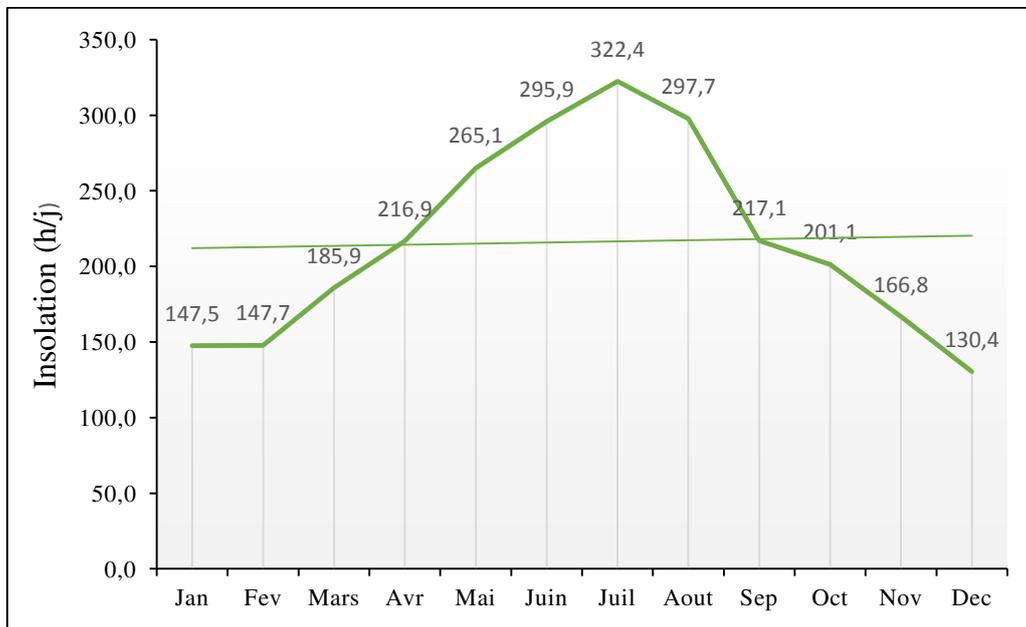
- [http : //www.conservation-nature.fr](http://www.conservation-nature.fr), Consulté le 27/10/2018.
- <http://www.diatomloir.eu/Siteplancton/Cyanophyc.html/> Consulté le 08/10/2018
- [http://www.dr17.cnrs.fr/IMG/pdf/cp\\_phycotox-cyano.pdf](http://www.dr17.cnrs.fr/IMG/pdf/cp_phycotox-cyano.pdf), Consulté le 11/9/2018.
- <http://www.eau-et-rivieres.asso.fr/media/user/File/ExtraitRevuePDF/dossier128>
- <http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/.html>, Consulté 26/01/2019
- <http://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20180325/137359.html>, Consulté le 27/10/2018.
- <http://www.soudoud-dzair.com>), Consulté le 27/10/ 2018.
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cryptophyta>). Consulté 18/01/2018
- <https://news.un.org/fr/story/2018/03/1009271> , Consultée le 15/11/2018.
- <https://www.anses.fr/fr/system/files/Eaux-fi-Sulfate.pdf>, 2005). Consulté 26/01/2019
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-sodium.html> consulté 06/10/2016.
- <https://www.extenso.org/article/les-nitrates-et-les-nitrites/> 2012 Consulté 06/10/2016.
- <https://www.liberte-algerie.com/actualite/le-barrage-de-beni-haroun>. le 27/10/ 2018.
- <https://www.researchgate.net/publication/329130789>. Consulté le 27/10/ 2018.
- [https://www.vitamedz.com/barrage-de-beni-haroun/Photos\\_0\\_181594\\_0\\_1.html](https://www.vitamedz.com/barrage-de-beni-haroun/Photos_0_181594_0_1.html)
- [www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/14/pollution-eau](http://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/14/pollution-eau). Consulté le 27/10/ 2018
- <https://www.universalis.fr/encyclopedie/dinophytes-dinoflagelles-peridiniens/> 26/10/2018.
- <https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/> acp. 27/10/ 2018

# Annexes

## Annexes

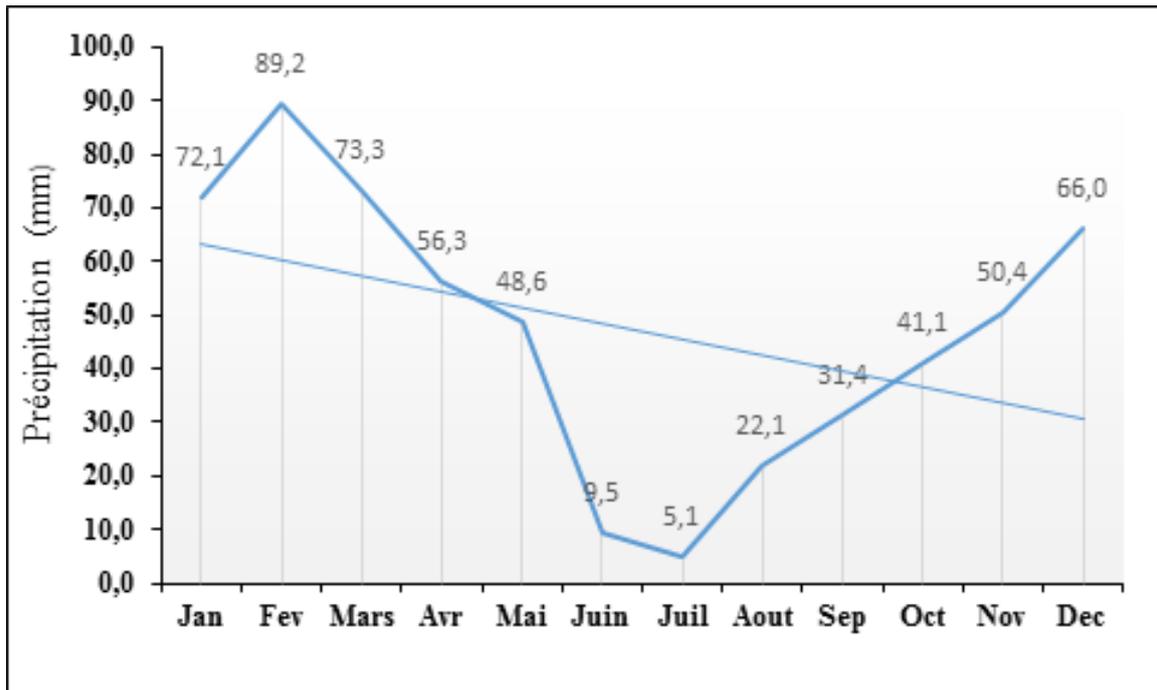


**Annexe1.** Variabilité des températures moyennes mensuelles sur une période allant de 2005- 2016



**Annexe2.** Variabilité des insulations moyennes mensuelles sur une période allant de 2005- 2016

## Annexes



**Annexe3.** Variabilité des précipitations moyennes mensuelles dans la région de Mila sur une période allant de 2005- 2016

**Annexe 4.** Calcule de la minéralisation à partir de CE (Rejsek, 2002)

| Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ . | Minéralisation en $\text{mg}/\text{l}$ |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| <50                                       | Conductivité $\times$ 1,365079         |
| Entre 50 et 166                           | Conductivité $\times$ 0,947658         |
| Entre 166 et 333                          | Conductivité $\times$ 0,769574         |
| Entre 333 et 833                          | Conductivité $\times$ 0,715920         |
| Entre 833 et 10 000                       | Conductivité $\times$ 0,758544         |
| >10 000                                   | Conductivité $\times$ 0,850432         |

## Annexes

### Annexe 5. Statistiques descriptives de la station Kripssa sur une période de 24mois

| Kripssa St1         | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne    | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|------------|------------|
| T                   | 24 | 13,40   | 33,10    | 23,6729    | 6,73987    |
| pH                  | 24 | 6,90    | 9,30     | 7,8958     | ,69687     |
| O2                  | 24 | 4,95    | 16,16    | 8,6500     | 2,69223    |
| O2D                 | 24 | 54,79   | 178,89   | 94,9221    | 30,19058   |
| CE                  | 24 | 1076,00 | 1354,00  | 1224,6667  | 66,92544   |
| MES                 | 24 | 6,00    | 48,00    | 26,0833    | 10,38225   |
| CL                  | 24 | 79,75   | 248,60   | 193,6692   | 42,12930   |
| SO4                 | 24 | 137,18  | 524,85   | 301,0779   | 115,39269  |
| Na                  | 24 | 72,00   | 150,50   | 105,4392   | 26,83182   |
| K                   | 24 | 2,400   | 8,340    | 5,17667    | 1,438062   |
| Ca                  | 24 | 81,76   | 163,17   | 108,5729   | 21,67962   |
| Mg                  | 24 | 45,20   | 84,08    | 68,5467    | 9,58799    |
| PO4                 | 24 | ,04     | ,60      | ,2838      | ,17589     |
| NO2                 | 24 | ,16     | ,90      | ,5246      | ,22643     |
| NO3                 | 24 | 5,71    | 10,20    | 8,1267     | 1,44607    |
| Densité             | 24 | ,00     | 28000,00 | 11291,6667 | 9191,10708 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |            |            |

### Annexe 6. Statistiques descriptives de la station de Mellel sur une période de 24mois

| Mellel St2          | N  | Minimum | Maximum | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|---------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 13,80   | 33,30   | 22,8883   | 5,62823    |
| pH                  | 24 | 7,00    | 9,50    | 8,1500    | ,79496     |
| O2                  | 24 | 5,44    | 15,11   | 10,7433   | 2,99461    |
| O2D                 | 24 | 60,22   | 167,26  | 118,2792  | 33,79857   |
| CE                  | 24 | 1072,00 | 3800,00 | 1424,0833 | 517,74594  |
| MES                 | 24 | 6,00    | 46,00   | 25,2375   | 11,28376   |
| Cl                  | 24 | 87,71   | 717,90  | 212,0225  | 115,25040  |
| SO4                 | 24 | 129,55  | 675,15  | 314,3358  | 150,02012  |
| Na                  | 24 | 67,90   | 144,60  | 106,3383  | 26,89785   |
| K                   | 24 | 2,10    | 7,92    | 5,1492    | 1,39356    |
| Ca                  | 24 | 64,13   | 140,56  | 103,6263  | 21,07062   |
| Mg                  | 24 | 33,23   | 75,82   | 52,2517   | 13,77125   |
| PO4                 | 24 | ,05     | 1,07    | ,3717     | ,22981     |
| NO2                 | 24 | ,20     | ,94     | ,5633     | ,18763     |
| NO3                 | 24 | 6,90    | 13,53   | 9,0863    | 1,45999    |
| Densité             | 24 | ,0      | 32000,0 | 14666,667 | 10327,9556 |
| N valide (listwise) | 24 |         |         |           |            |

## Annexes

### Annexe 7. Statistiques descriptives de la station Djellama sur une période de 24 mois

| Djellama St3        | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne    | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|------------|------------|
| T                   | 24 | 12,60   | 32,60    | 21,9917    | 6,07816    |
| pH                  | 24 | 6,90    | 9,20     | 8,1187     | ,52519     |
| O2                  | 24 | 4,50    | 18,31    | 10,2150    | 2,82466    |
| O2D                 | 24 | 49,81   | 202,69   | 112,6379   | 31,85699   |
| CE                  | 24 | 997,00  | 1360,00  | 1241,5833  | 91,22877   |
| MES                 | 24 | 1,00    | 24,00    | 9,7792     | 6,62800    |
| Cl                  | 24 | 90,78   | 201,80   | 160,0550   | 28,02455   |
| SO4                 | 24 | 108,94  | 472,73   | 276,5696   | 109,26531  |
| Na                  | 24 | 68,50   | 143,70   | 107,3521   | 24,93691   |
| K                   | 24 | 2,50    | 7,92     | 4,7833     | 1,39262    |
| Ca                  | 24 | 64,13   | 152,87   | 116,4279   | 19,29309   |
| Mg                  | 24 | 19,44   | 89,50    | 46,6938    | 16,20302   |
| PO4                 | 24 | ,03     | ,49      | ,1958      | ,15024     |
| NO2                 | 24 | ,10     | ,80      | ,3608      | ,22685     |
| NO3                 | 24 | 4,04    | 9,72     | 7,5954     | 1,45430    |
| Densité             | 24 | ,00     | 22000,00 | 10375,0000 | 7305,81960 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |            |            |

### Annexe 8. Statistiques descriptives de la station Haloufa sur une période de 24mois

| Haloufa St4         | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 12,20   | 30,90    | 22,2979   | 6,35371    |
| pH                  | 24 | 7,00    | 8,80     | 8,0896    | ,48700     |
| O2                  | 24 | 6,50    | 14,38    | 10,6400   | 2,03754    |
| O2D                 | 24 | 71,95   | 159,18   | 117,3667  | 22,54923   |
| CE                  | 24 | 1043,00 | 1292,00  | 1195,3750 | 67,97046   |
| MES                 | 24 | 2,00    | 19,00    | 8,2250    | 5,10092    |
| Cl                  | 24 | 114,47  | 199,62   | 152,7975  | 18,95172   |
| SO4                 | 24 | 100,00  | 444,24   | 250,8237  | 103,65193  |
| Na                  | 24 | 76,50   | 137,00   | 107,1313  | 16,38314   |
| K                   | 24 | 2,82    | 8,00     | 5,3021    | 1,43963    |
| Ca                  | 24 | 57,72   | 113,20   | 83,3525   | 14,99010   |
| Mg                  | 24 | 44,23   | 83,23    | 57,4975   | 8,34759    |
| PO4                 | 24 | ,01     | ,39      | ,1325     | ,09460     |
| NO2                 | 24 | ,09     | ,90      | ,4108     | ,23907     |
| NO3                 | 24 | 3,20    | 9,83     | 7,2800    | 1,92052    |
| Densité             | 24 | ,00     | 21000,00 | 9666,6667 | 6888,34344 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |           |            |

## Annexes

### Annexe 9. Statistiques descriptives de la station Ferdoua sur une période de 24mois

| Ferdoua St5         | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 12,40   | 31,40    | 22,8750   | 6,60366    |
| pH                  | 24 | 7,00    | 9,70     | 8,0750    | ,57653     |
| O2                  | 24 | 6,80    | 17,30    | 10,0071   | 2,62564    |
| O2D                 | 24 | 75,27   | 191,51   | 111,7254  | 28,94140   |
| CE                  | 24 | 1073,00 | 1327,00  | 1201,5000 | 72,85065   |
| MES                 | 24 | 1,00    | 81,00    | 14,5000   | 20,22736   |
| Cl                  | 24 | 117,40  | 205,65   | 162,6083  | 18,80844   |
| SO4                 | 24 | 145,30  | 430,91   | 263,5113  | 87,53588   |
| Na                  | 24 | 81,50   | 137,00   | 107,4383  | 15,15694   |
| K                   | 24 | 2,90    | 7,92     | 5,1933    | 1,38474    |
| Ca                  | 24 | 60,12   | 104,59   | 82,5158   | 9,72997    |
| Mg                  | 24 | 41,80   | 69,15    | 50,9804   | 7,04627    |
| PO4                 | 24 | ,01     | ,56      | ,1821     | ,14667     |
| NO2                 | 24 | ,10     | ,80      | ,4467     | ,23074     |
| NO3                 | 24 | 4,20    | 8,63     | 6,6621    | 1,24242    |
| Densité             | 24 | ,00     | 18000,00 | 7208,3333 | 5875,36616 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |           |            |

### Annexe 10. Statistiques descriptives de la station Medious sur une période de 24mois

| Medious St6         | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 12,70   | 33,90    | 23,7208   | 7,50694    |
| pH                  | 24 | 7,00    | 9,70     | 8,0708    | ,56162     |
| O2                  | 24 | 6,20    | 17,50    | 9,8933    | 2,78256    |
| O2D                 | 24 | 68,63   | 193,72   | 110,8533  | 30,59949   |
| CE                  | 24 | 1012,00 | 1306,00  | 1201,4167 | 77,18691   |
| MES                 | 24 | ,20     | 31,00    | 11,7833   | 7,74061    |
| Cl                  | 24 | 132,05  | 201,75   | 162,2233  | 17,25988   |
| SO4                 | 24 | 140,06  | 498,79   | 259,7763  | 102,50074  |
| Na                  | 24 | 75,30   | 150,00   | 107,3117  | 19,69629   |
| K                   | 24 | 3,30    | 8,34     | 5,4642    | 1,62500    |
| Ca                  | 24 | 68,14   | 156,42   | 101,6033  | 25,63622   |
| Mg                  | 24 | 41,31   | 66,62    | 52,2429   | 7,03805    |
| PO4                 | 24 | ,01     | ,42      | ,1658     | ,09587     |
| NO2                 | 24 | ,10     | ,80      | ,3721     | ,23322     |
| NO3                 | 24 | 3,15    | 9,81     | 7,2821    | 1,46606    |
| Densité             | 24 | ,00     | 20000,00 | 9791,6667 | 5882,76160 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |           |            |

## *Annexes*

### **Annexe 11.** Statistiques descriptives de la station près du Pont sur une période de 24mois

| Pont                | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 12,80   | 33,70    | 23,2958   | 6,88525    |
| pH                  | 24 | 6,10    | 8,80     | 7,7979    | ,75188     |
| O2                  | 24 | 5,80    | 17,70    | 9,5446    | 2,68396    |
| O2D                 | 24 | 64,20   | 195,93   | 106,7613  | 30,18279   |
| CE                  | 24 | 1065,00 | 1306,00  | 1206,4583 | 75,41305   |
| MES                 | 24 | 3,00    | 34,00    | 12,0375   | 8,71814    |
| Cl                  | 24 | 123,49  | 210,47   | 165,6558  | 18,70559   |
| SO4                 | 24 | 85,15   | 481,21   | 264,1783  | 117,33188  |
| Na                  | 24 | 74,40   | 135,70   | 103,9358  | 17,68675   |
| K                   | 24 | 3,30    | 9,90     | 5,7750    | 1,77183    |
| Ca                  | 24 | 76,95   | 120,24   | 94,3383   | 11,04333   |
| Mg                  | 24 | 40,34   | 69,62    | 51,0725   | 7,11259    |
| PO4                 | 24 | ,02     | ,36      | ,1488     | ,09438     |
| NO2                 | 24 | ,10     | ,90      | ,3871     | ,21126     |
| NO3                 | 24 | 3,33    | 8,76     | 6,3113    | 1,52745    |
| Densité             | 24 | ,00     | 18000,00 | 7250,0000 | 5277,10395 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |           |            |

### **Annexe 12.** Statistiques descriptives de la station Tourba sur une période de 24mois

| Tourba St8          | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 12,40   | 33,50    | 22,5692   | 6,44911    |
| pH                  | 24 | 6,90    | 8,80     | 7,8417    | ,49071     |
| O2                  | 24 | 5,72    | 16,50    | 10,6850   | 2,39559    |
| O2D                 | 24 | 63,32   | 182,65   | 119,1100  | 25,70305   |
| CE                  | 24 | 1011,00 | 1280,00  | 1189,5417 | 75,01709   |
| MES                 | 24 | 3,00    | 44,00    | 15,4000   | 11,91667   |
| Cl                  | 24 | 133,40  | 205,79   | 168,3208  | 16,98544   |
| SO4                 | 24 | 120,45  | 453,33   | 269,4346  | 105,08574  |
| Na                  | 24 | 73,30   | 141,00   | 103,9542  | 20,02342   |
| K                   | 24 | 2,50    | 8,34     | 5,6858    | 1,60537    |
| Ca                  | 24 | 75,43   | 142,97   | 120,2300  | 13,76947   |
| Mg                  | 24 | 20,90   | 70,06    | 39,7479   | 13,88634   |
| PO4                 | 24 | ,06     | ,52      | ,2537     | ,12907     |
| NO2                 | 24 | ,10     | ,75      | ,3867     | ,20673     |
| NO3                 | 24 | 3,37    | 8,90     | 6,3233    | 1,68495    |
| Densité             | 24 | ,00     | 20000,00 | 7916,6667 | 5815,39685 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |           |            |

## *Annexes*

### **Annexe 13.** Statistiques descriptives de la station Metlili sur une période de 24mois

| Metlili St9         | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne    | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|------------|------------|
| T                   | 24 | 12,10   | 29,50    | 22,1950    | 5,93678    |
| pH                  | 24 | 6,90    | 8,60     | 7,8813     | ,45416     |
| O2                  | 24 | 7,03    | 17,70    | 13,3696    | 3,15297    |
| O2D                 | 24 | 77,82   | 195,93   | 148,3188   | 34,45640   |
| EC                  | 24 | 1000,00 | 1321,00  | 1205,9167  | 82,99079   |
| ME                  | 24 | 4,00    | 37,00    | 16,9417    | 9,93137    |
| Cl                  | 24 | 72,70   | 213,16   | 160,1892   | 26,79127   |
| SO4                 | 24 | 102,12  | 465,45   | 263,2104   | 105,15991  |
| Na                  | 24 | 67,40   | 155,00   | 102,2796   | 24,21971   |
| K                   | 24 | 2,30    | 8,75     | 5,4988     | 1,64302    |
| Ca                  | 24 | 60,12   | 136,84   | 100,7529   | 19,07483   |
| Mg                  | 24 | 34,02   | 72,90    | 53,6617    | 12,18232   |
| PO4                 | 24 | ,07     | ,56      | ,2979      | ,16384     |
| NO2                 | 24 | ,16     | ,90      | ,4617      | ,19419     |
| NO3                 | 24 | 4,20    | 9,90     | 7,1733     | 1,33338    |
| Densité             | 24 | ,00     | 28000,00 | 10833,3333 | 8297,02234 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |            |            |

### **Annexe 14.** Statistiques descriptives de la station Anouche Ali sur une période de 24mois

| Anouche Ali St10    | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne    | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|------------|------------|
| T                   | 24 | 12,10   | 29,50    | 22,4383    | 5,99299    |
| pH                  | 24 | 6,90    | 8,80     | 8,2167     | ,55534     |
| O2                  | 24 | 4,30    | 16,06    | 10,7950    | 2,40434    |
| O2D                 | 24 | 47,60   | 177,78   | 120,0504   | 26,41887   |
| CE                  | 24 | 1038,00 | 1276,00  | 1201,6667  | 67,14790   |
| ME                  | 24 | ,00     | 26,00    | 9,5083     | 6,79411    |
| Cl                  | 24 | 110,47  | 209,69   | 163,8858   | 21,25437   |
| SO4                 | 24 | 155,81  | 485,45   | 269,0196   | 98,69533   |
| Na                  | 24 | 70,50   | 141,00   | 99,9033    | 22,80350   |
| K                   | 24 | 2,40    | 8,75     | 5,3692     | 1,62878    |
| Ca                  | 24 | 63,33   | 100,58   | 80,6092    | 9,45063    |
| Mg                  | 24 | 38,32   | 76,10    | 55,9250    | 8,33010    |
| PO4                 | 24 | ,04     | ,49      | ,1658      | ,12479     |
| NO2                 | 24 | ,14     | 1,55     | ,4813      | ,31655     |
| NO3                 | 24 | 4,10    | 8,90     | 6,6658     | 1,35037    |
| Densité             | 24 | ,00     | 25000,00 | 12458,3333 | 8267,16484 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |            |            |

## Annexes

### Annexe 15. Statistiques descriptives de la station Digue sur une période de 24mois

| Digue St11          | N  | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 24 | 13,00   | 30,40    | 21,1833   | 5,97203    |
| pH                  | 24 | 7,00    | 8,70     | 7,8646    | ,42998     |
| O2                  | 24 | 5,50    | 13,10    | 9,5950    | 1,89231    |
| O2D                 | 24 | 60,88   | 145,01   | 107,7813  | 20,54058   |
| CE                  | 24 | 1005,00 | 1266,00  | 1198,8333 | 72,89818   |
| MES                 | 24 | 1,00    | 38,00    | 12,2908   | 10,49059   |
| Cl                  | 24 | 101,87  | 191,47   | 152,6367  | 22,84292   |
| SO4                 | 24 | 131,36  | 446,67   | 266,6837  | 94,38982   |
| Na                  | 24 | 64,50   | 135,65   | 99,3079   | 21,61206   |
| K                   | 24 | 2,90    | 9,70     | 5,7229    | 1,91330    |
| Ca                  | 24 | 61,72   | 96,48    | 82,8983   | 7,76306    |
| Mg                  | 24 | 29,26   | 88,92    | 61,4971   | 13,99725   |
| PO4                 | 24 | ,01     | ,36      | ,1100     | ,08993     |
| NO2                 | 24 | ,10     | ,80      | ,3925     | ,20382     |
| NO3                 | 24 | 3,92    | 7,70     | 5,7958    | 1,19501    |
| Densité             | 24 | ,00     | 11000,00 | 4500,0000 | 3283,68828 |
| N valide (listwise) | 24 |         |          |           |            |

### Annexe 16. Statistiques descriptives des 11 stations sur une période de 24mois

|                     | N   | Minimum | Maximum  | Moyenne   | Ecart type |
|---------------------|-----|---------|----------|-----------|------------|
| T                   | 264 | 12,10   | 33,90    | 22,6480   | 6,31586    |
| pH                  | 264 | 6,10    | 9,70     | 8,0002    | ,59179     |
| O2                  | 264 | 4,30    | 18,31    | 10,3762   | 2,80477    |
| OX2                 | 264 | 47,60   | 202,69   | 115,2551  | 31,05749   |
| CE                  | 264 | 997,00  | 3800,00  | 1226,4583 | 180,31832  |
| ME                  | 264 | ,00     | 81,00    | 14,7079   | 11,91488   |
| CL                  | 264 | 72,70   | 717,90   | 168,5513  | 44,45250   |
| SO4                 | 264 | 85,15   | 675,15   | 272,6019  | 108,59581  |
| Na                  | 264 | 64,50   | 155,00   | 104,5811  | 21,59414   |
| K                   | 264 | 2,10    | 9,90     | 5,3746    | 1,57117    |
| Ca                  | 264 | 57,72   | 163,17   | 97,7207   | 21,26260   |
| Mg                  | 264 | 19,44   | 89,50    | 53,6470   | 13,08363   |
| PO4                 | 264 | ,01     | 1,07     | ,2098     | ,15946     |
| NO2                 | 264 | ,09     | 1,55     | ,4352     | ,23199     |
| NO3                 | 264 | 3,15    | 13,53    | 7,1184    | 1,69658    |
| Densité             | 264 | ,00     | 32000,00 | 9632,5758 | 7557,47555 |
| N valide (listwise) | 264 |         |          |           |            |

## Annexes

### Annexe 17. Résultat de l'analyse de la variance ANOVA critère station

|         | Station       | Somme des carrés | ddl | Moyenne des carrés | F      | Signification |
|---------|---------------|------------------|-----|--------------------|--------|---------------|
| T       | Inter-groupes | 136,425          | 10  | 13,642             | ,333   | ,972          |
|         | Intra-groupes | 10354,673        | 253 | 40,928             |        |               |
|         | Total         | 10491,098        | 263 |                    |        |               |
| pH      | Inter-groupes | 5,074            | 10  | ,507               | 1,475  | ,149          |
|         | Intra-groupes | 87,034           | 253 | ,344               |        |               |
|         | Total         | 92,107           | 263 |                    |        |               |
| O2      | Inter-groupes | 338,700          | 10  | 33,870             | 4,953  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 1730,246         | 253 | 6,839              |        |               |
|         | Total         | 2068,946         | 263 |                    |        |               |
| OX2     | Inter-groupes | 41394,799        | 10  | 4139,480           | 4,933  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 212286,477       | 253 | 839,077            |        |               |
|         | Total         | 253681,277       | 263 |                    |        |               |
| CE      | Inter-groupes | 1081592,667      | 10  | 108159,267         | 3,663  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 7469772,875      | 253 | 29524,794          |        |               |
|         | Total         | 8551365,542      | 263 |                    |        |               |
| MES     | Inter-groupes | 8656,011         | 10  | 865,601            | 7,636  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 28680,647        | 253 | 113,362            |        |               |
|         | Total         | 37336,658        | 263 |                    |        |               |
| CL      | Inter-groupes | 78474,913        | 10  | 7847,491           | 4,500  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 441219,602       | 253 | 1743,951           |        |               |
|         | Total         | 519694,515       | 263 |                    |        |               |
| SO4     | Inter-groupes | 84163,634        | 10  | 8416,363           | ,706   | ,719          |
|         | Intra-groupes | 3017408,422      | 253 | 11926,516          |        |               |
|         | Total         | 3101572,056      | 263 |                    |        |               |
| Na      | Inter-groupes | 2146,077         | 10  | 214,608            | ,451   | ,920          |
|         | Intra-groupes | 120492,584       | 253 | 476,255            |        |               |
|         | Total         | 122638,661       | 263 |                    |        |               |
| K       | Inter-groupes | 21,112           | 10  | 2,111              | ,850   | ,581          |
|         | Intra-groupes | 628,126          | 253 | 2,483              |        |               |
|         | Total         | 649,238          | 263 |                    |        |               |
| Ca      | Inter-groupes | 47882,989        | 10  | 4788,299           | 17,058 | ,000          |
|         | Intra-groupes | 71018,787        | 253 | 280,707            |        |               |
|         | Total         | 118901,776       | 263 |                    |        |               |
| Mg      | Inter-groupes | 13507,897        | 10  | 1350,790           | 10,845 | ,000          |
|         | Intra-groupes | 31512,834        | 253 | 124,557            |        |               |
|         | Total         | 45020,731        | 263 |                    |        |               |
| PO4     | Inter-groupes | 1,581            | 10  | ,158               | 7,830  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 5,107            | 253 | ,020               |        |               |
|         | Total         | 6,688            | 263 |                    |        |               |
| NO2     | Inter-groupes | 1,055            | 10  | ,106               | 2,038  | ,030          |
|         | Intra-groupes | 13,099           | 253 | ,052               |        |               |
|         | Total         | 14,155           | 263 |                    |        |               |
| NO3     | Inter-groupes | 206,840          | 10  | 20,684             | 9,512  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 550,174          | 253 | 2,175              |        |               |
|         | Total         | 757,015          | 263 |                    |        |               |
| Densité | Inter-groupes | 1,895E9          | 10  | 1,895E8            | 3,652  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 1,313E10         | 253 | 51884552,042       |        |               |
|         | Total         | 1,502E10         | 263 |                    |        |               |

## Annexes

### Annexe 18. Résultat de l'analyse de la variance ANOVA critère mois

|         | Mois          | Somme des carrés | ddl | Moyenne des carrés | F       | Signification |
|---------|---------------|------------------|-----|--------------------|---------|---------------|
| T       | Inter-groupes | 9676,024         | 23  | 420,697            | 123,875 | ,000          |
|         | Intra-groupes | 815,073          | 240 | 3,396              |         |               |
|         | Total         | 10491,098        | 263 |                    |         |               |
| pH      | Inter-groupes | 51,164           | 23  | 2,225              | 13,040  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 40,943           | 240 | ,171               |         |               |
|         | Total         | 92,107           | 263 |                    |         |               |
| O2      | Inter-groupes | 811,098          | 23  | 35,265             | 6,729   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 1257,848         | 240 | 5,241              |         |               |
|         | Total         | 2068,946         | 263 |                    |         |               |
| O2D     | Inter-groupes | 96213,007        | 23  | 4183,174           | 6,376   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 157468,270       | 240 | 656,118            |         |               |
|         | Total         | 253681,277       | 263 |                    |         |               |
| CE      | Inter-groupes | 792843,178       | 23  | 34471,443          | 1,066   | ,384          |
|         | Intra-groupes | 7758522,364      | 240 | 32327,177          |         |               |
|         | Total         | 8551365,542      | 263 |                    |         |               |
| MES     | Inter-groupes | 12511,335        | 23  | 543,971            | 5,259   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 24825,322        | 240 | 103,439            |         |               |
|         | Total         | 37336,658        | 263 |                    |         |               |
| Cl      | Inter-groupes | 78754,384        | 23  | 3424,104           | 1,864   | ,011          |
|         | Intra-groupes | 440940,131       | 240 | 1837,251           |         |               |
|         | Total         | 519694,515       | 263 |                    |         |               |
| SO4     | Inter-groupes | 2676026,061      | 23  | 116348,959         | 65,619  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 425545,995       | 240 | 1773,108           |         |               |
|         | Total         | 3101572,056      | 263 |                    |         |               |
| Na      | Inter-groupes | 98124,112        | 23  | 4266,266           | 41,767  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 24514,549        | 240 | 102,144            |         |               |
|         | Total         | 122638,661       | 263 |                    |         |               |
| K       | Inter-groupes | 448,094          | 23  | 19,482             | 23,246  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 201,144          | 240 | ,838               |         |               |
|         | Total         | 649,238          | 263 |                    |         |               |
| Ca      | Inter-groupes | 3322,097         | 23  | 144,439            | ,300    | ,999          |
|         | Intra-groupes | 115579,679       | 240 | 481,582            |         |               |
|         | Total         | 118901,776       | 263 |                    |         |               |
| Mg      | Inter-groupes | 4087,039         | 23  | 177,697            | 1,042   | ,414          |
|         | Intra-groupes | 40933,693        | 240 | 170,557            |         |               |
|         | Total         | 45020,731        | 263 |                    |         |               |
| PO4     | Inter-groupes | 2,294            | 23  | ,100               | 5,448   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 4,394            | 240 | ,018               |         |               |
|         | Total         | 6,688            | 263 |                    |         |               |
| NO2     | Inter-groupes | 6,458            | 23  | ,281               | 8,755   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 7,697            | 240 | ,032               |         |               |
|         | Total         | 14,155           | 263 |                    |         |               |
| NO3     | Inter-groupes | 315,947          | 23  | 13,737             | 7,475   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 441,068          | 240 | 1,838              |         |               |
|         | Total         | 757,015          | 263 |                    |         |               |
| Densité | Inter-groupes | 1,033E10         | 23  | 4,493E8            | 22,997  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 4,689E9          | 240 | 19535606,061       |         |               |
|         | Total         | 1,502E10         | 263 |                    |         |               |

## *Annexes*

### Annexe 19. Résultat de l'analyse de la variance ANOVA critère saison

|         | saison        | Somme des carrés | ddl | Moyenne des carrés | F       | Signification |
|---------|---------------|------------------|-----|--------------------|---------|---------------|
| T       | Inter-groupes | 7117,510         | 3   | 2372,503           | 182,847 | ,000          |
|         | Intra-groupes | 3373,588         | 260 | 12,975             |         |               |
| pH      | Inter-groupes | 6,547            | 3   | 2,182              | 6,631   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 85,561           | 260 | ,329               |         |               |
| O2      | Inter-groupes | 202,119          | 3   | 67,373             | 9,383   | ,000          |
|         | Intra-groupes | 1866,827         | 260 | 7,180              |         |               |
| OX2     | Inter-groupes | 26371,474        | 3   | 8790,491           | 10,055  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 227309,802       | 260 | 874,268            |         |               |
| CE      | Inter-groupes | 354378,193       | 3   | 118126,064         | 3,747   | ,012          |
|         | Intra-groupes | 8196987,348      | 260 | 31526,874          |         |               |
| MES     | Inter-groupes | 956,107          | 3   | 318,702            | 2,278   | ,080          |
|         | Intra-groupes | 36380,551        | 260 | 139,925            |         |               |
| CL      | Inter-groupes | 23993,857        | 3   | 7997,952           | 4,195   | ,006          |
|         | Intra-groupes | 495700,659       | 260 | 1906,541           |         |               |
| SO4     | Inter-groupes | 2136513,977      | 3   | 712171,326         | 191,869 | ,000          |
|         | Intra-groupes | 965058,080       | 260 | 3711,762           |         |               |
| Na      | Inter-groupes | 30735,765        | 3   | 10245,255          | 28,985  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 91902,897        | 260 | 353,473            |         |               |
| K       | Inter-groupes | 93,294           | 3   | 31,098             | 14,544  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 555,945          | 260 | 2,138              |         |               |
| Ca      | Inter-groupes | 107,608          | 3   | 35,869             | ,079    | ,972          |
|         | Intra-groupes | 118794,168       | 260 | 456,901            |         |               |
| Mg      | Inter-groupes | 1308,889         | 3   | 436,296            | 2,595   | ,053          |
|         | Intra-groupes | 43711,842        | 260 | 168,122            |         |               |
| PO4     | Inter-groupes | 1,223            | 3   | ,408               | 19,403  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 5,464            | 260 | ,021               |         |               |
| NO2     | Inter-groupes | 4,503            | 3   | 1,501              | 40,431  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 9,652            | 260 | ,037               |         |               |
| NO3     | Inter-groupes | 246,273          | 3   | 82,091             | 41,790  | ,000          |
|         | Intra-groupes | 510,741          | 260 | 1,964              |         |               |
| Densité | Inter-groupes | 8,154E9          | 3   | 2,718E9            | 102,915 | ,000          |
|         | Intra-groupes | 6,867E9          | 260 | 26411480,186       |         |               |

## Annexes

### Annexe 20. Résultat d'analyse de l'ANOVA des indices de diversité de Schannon et d'équitabilité critère station.

|     | Station       | Somme des |     | Moyenne des |  | F      | Signification |
|-----|---------------|-----------|-----|-------------|--|--------|---------------|
|     |               | carrés    | ddl | carrés      |  |        |               |
| E   | Inter-groupes | ,005      | 10  | ,000        |  | 8,002  | ,000          |
|     | Intra-groupes | ,005      | 77  | ,000        |  |        |               |
|     | Total         | ,010      | 87  |             |  |        |               |
| Ish | Inter-groupes | ,188      | 10  | ,019        |  | 13,228 | ,000          |
|     | Intra-groupes | ,109      | 77  | ,001        |  |        |               |
|     | Total         | ,297      | 87  |             |  |        |               |

### Annexe 21. Résultat d'analyse de l'ANOVA des indices de diversité de Schannon et d'équitabilité critère station.

|     | Campagnes     | Somme des |     | Moyenne des |  | F     | Signification |
|-----|---------------|-----------|-----|-------------|--|-------|---------------|
|     |               | carrés    | ddl | carrés      |  |       |               |
| E   | Inter-groupes | ,001      | 7   | ,000        |  | 1,336 | ,245          |
|     | Intra-groupes | ,009      | 80  | ,000        |  |       |               |
|     | Total         | ,010      | 87  |             |  |       |               |
| Ish | Inter-groupes | ,000      | 7   | ,000        |  | ,011  | 1,000         |
|     | Intra-groupes | ,297      | 80  | ,004        |  |       |               |
|     | Total         | ,297      | 87  |             |  |       |               |

### Annexe 22. Variance totale expliquée / Variables abiotique et biotiques (Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales).

| Composante | Valeurs propres initiales |                  |           | Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus |                  |           |
|------------|---------------------------|------------------|-----------|---------------------------------------------------|------------------|-----------|
|            | Total                     | % de la variance | % cumulés | Total                                             | % de la variance | % cumulés |
| 1          | 4,931                     | 30,819           | 30,819    | 4,931                                             | 30,819           | 30,819    |
| 2          | 2,022                     | 12,638           | 43,457    | 2,022                                             | 12,638           | 43,457    |
| 3          | 1,649                     | 10,304           | 53,761    |                                                   |                  |           |
| 4          | 1,331                     | 8,317            | 62,079    |                                                   |                  |           |
| 5          | 1,054                     | 6,586            | 68,664    |                                                   |                  |           |
| 6          | ,989                      | 6,183            | 74,847    |                                                   |                  |           |
| 7          | ,908                      | 5,677            | 80,524    |                                                   |                  |           |
| 8          | ,745                      | 4,656            | 85,181    |                                                   |                  |           |
| 9          | ,534                      | 3,337            | 88,517    |                                                   |                  |           |
| 10         | ,481                      | 3,008            | 91,526    |                                                   |                  |           |
| 11         | ,475                      | 2,970            | 94,496    |                                                   |                  |           |
| 12         | ,343                      | 2,142            | 96,638    |                                                   |                  |           |
| 13         | ,217                      | 1,356            | 97,994    |                                                   |                  |           |
| 14         | ,167                      | 1,041            | 99,035    |                                                   |                  |           |
| 15         | ,131                      | ,819             | 99,854    |                                                   |                  |           |
| 16         | ,023                      | ,146             | 100,000   |                                                   |                  |           |

## *Annexes*

### **Annexe 23.** Variance totale expliquée Variables abiotique et les différents groupes d'algues (Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales).

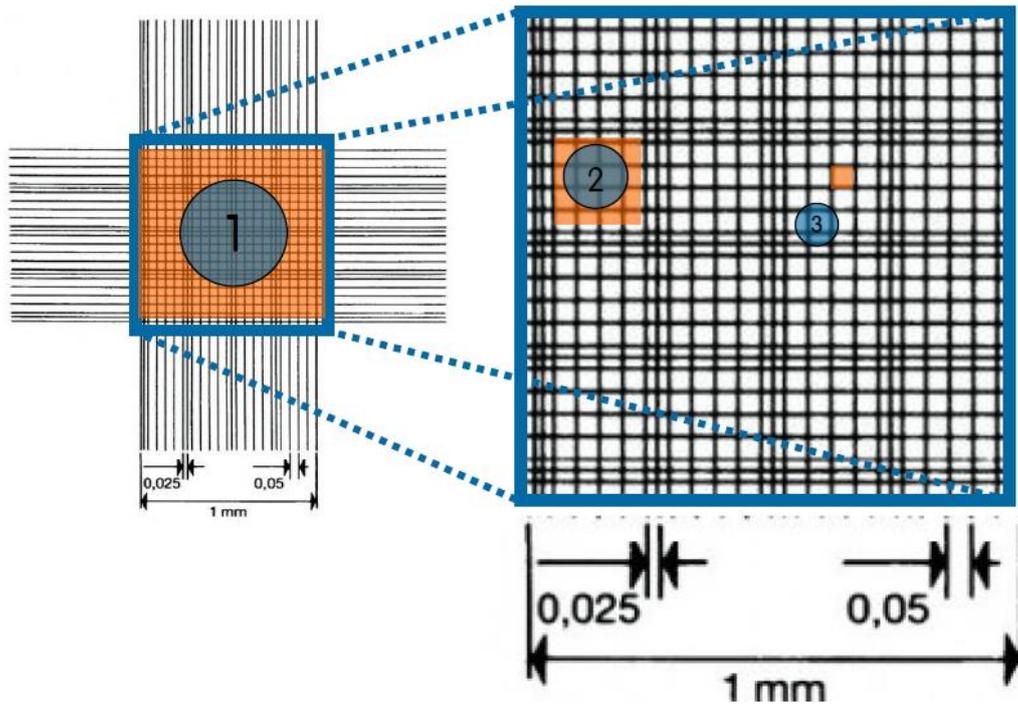
| Composante | Valeurs propres initiales |                  |           | Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus |                  |           |
|------------|---------------------------|------------------|-----------|---------------------------------------------------|------------------|-----------|
|            | Total                     | % de la variance | % cumulés | Total                                             | % de la variance | % cumulés |
| 1          | 6,146                     | 23,638           | 23,638    | 6,146                                             | 23,638           | 23,638    |
| 2          | 3,453                     | 13,279           | 36,917    | 3,453                                             | 13,279           | 36,917    |
| 3          | 1,971                     | 7,579            | 44,497    |                                                   |                  |           |
| 4          | 1,724                     | 6,632            | 51,129    |                                                   |                  |           |
| 5          | 1,579                     | 6,074            | 57,203    |                                                   |                  |           |
| 6          | 1,204                     | 4,630            | 61,833    |                                                   |                  |           |
| 7          | 1,169                     | 4,496            | 66,328    |                                                   |                  |           |
| 8          | 1,116                     | 4,294            | 70,622    |                                                   |                  |           |
| 9          | 1,087                     | 4,182            | 74,803    |                                                   |                  |           |
| 10         | ,930                      | 3,577            | 78,380    |                                                   |                  |           |
| 11         | ,831                      | 3,196            | 81,576    |                                                   |                  |           |
| 12         | ,754                      | 2,900            | 84,476    |                                                   |                  |           |
| 13         | ,693                      | 2,667            | 87,143    |                                                   |                  |           |
| 14         | ,558                      | 2,145            | 89,289    |                                                   |                  |           |
| 15         | ,493                      | 1,897            | 91,186    |                                                   |                  |           |
| 16         | ,485                      | 1,867            | 93,053    |                                                   |                  |           |
| 17         | ,431                      | 1,657            | 94,710    |                                                   |                  |           |
| 18         | ,363                      | 1,397            | 96,107    |                                                   |                  |           |
| 19         | ,270                      | 1,040            | 97,146    |                                                   |                  |           |
| 20         | ,222                      | ,855             | 98,002    |                                                   |                  |           |
| 21         | ,168                      | ,646             | 98,648    |                                                   |                  |           |
| 22         | ,121                      | ,467             | 99,115    |                                                   |                  |           |
| 23         | ,093                      | ,359             | 99,474    |                                                   |                  |           |
| 24         | ,077                      | ,296             | 99,770    |                                                   |                  |           |
| 25         | ,050                      | ,191             | 99,961    |                                                   |                  |           |
| 26         | ,010                      | ,039             | 100,000   |                                                   |                  |           |

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

## Annexes

### Annexe 24. Comptage cellulaire par microscopie

Le principe de la méthode consiste à effectuer un dénombrement des cellules microalgales présentes dans un volume connu et dans les limites des carrés de la cellule de comptage à l'aide d'un microscope optique. La cellule de thoma comporte un grand carré d'un volume de  $10^{-4}$  ml.



#### CARRE 1

$$\text{Aire} = 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} = 1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume} = 1 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{-4} \text{ ml}$$

1

$$\text{Concentration cellulaire} = \frac{\text{Cellules totales comptées}}{\text{Nombre de carrés}} \times 10.000$$

Quelques règles simples permettent d'effectuer un comptage de bonne qualité :

- Avant de réaliser le comptage, les cultures doivent être correctement homogénéisées. Une agitation de la culture, juste avant le prélèvement, doit permettre l'obtention d'une culture la plus homogène possible.

## Annexes

- Une dilution doit être réalisée si nécessaire
- Pour chaque carré il faut compter :

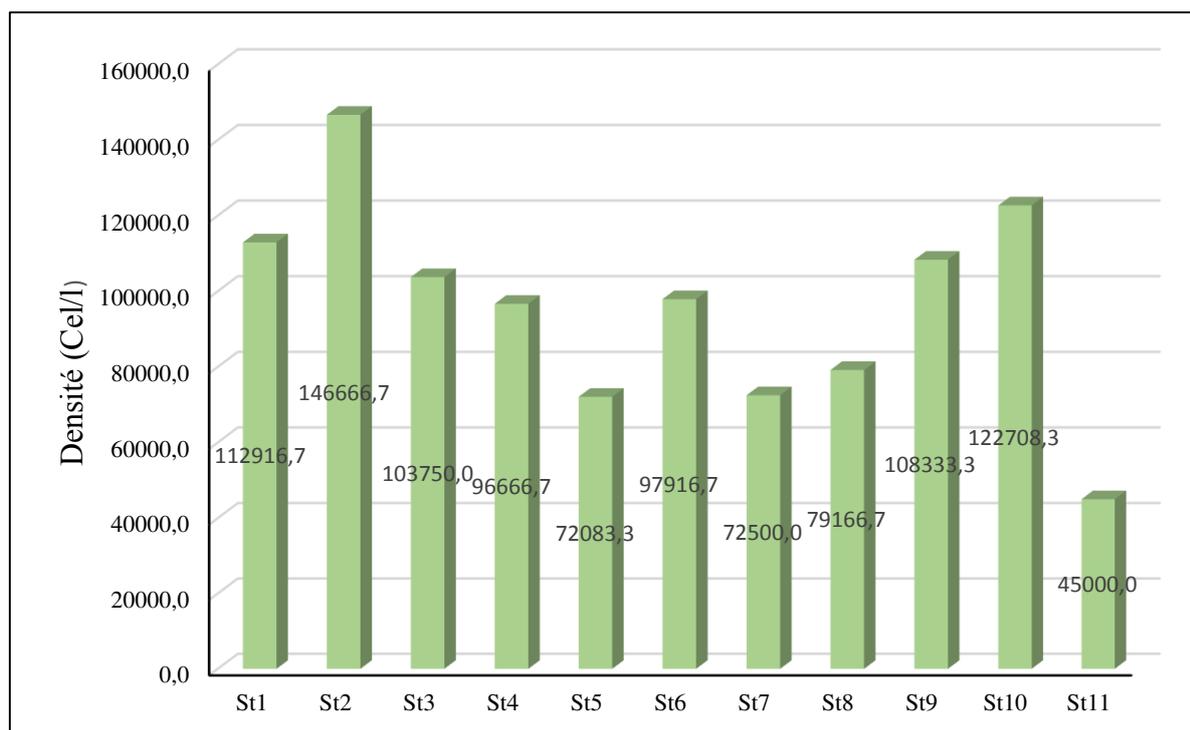
1. tous les éléments situés à l'intérieur des lignes délimitant le carré choisi,
2. tous les éléments situés sur les lignes, soit ceux qui sont sur la ligne de gauche et pas ceux qui sont sur la ligne de droite, soit l'inverse
3. et, soit ceux qui sont sur la ligne supérieure et pas ceux qui sont sur la ligne inférieure, soit l'inverse.

La concentration cellulaire (cellules/ml) est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$CC = \frac{NC * 104}{Nc}$$

**NC** : Nombre de cellules comptées

**Nc** : Nombre de carrés pris en comptes



**Annexe 25.** Evolution de la densité moyenne spatiale durant la période d'étude

## Annexes

**Annexe 26.** Groupes de stations selon les différents paramètres étudiés (teste statistique de Bonferouni, SPSS19)

|                 | Stations                  |                       |                           |                          |                          |                          |                          |                          |                           |                         |                         |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                 | Kripssa                   | Mellel                | Djellama                  | Haloufa                  | Ferdoua                  | Medious                  | Pont                     | Tourba                   | Metlili                   | Anouche                 | Digue                   |
|                 | St1                       | St2                   | St3                       | St4                      | St5                      | St6                      | St7                      | St8                      | St9                       | St10                    | St11                    |
|                 | Moyenne                   | Moyenne               | Moyenne                   | Moyenne                  | Moyenne                  | Moyenne                  | Moyenne                  | Moyenne                  | Moyenne                   | Moyenne                 | Moyenne                 |
| T               | 23,67 <sub>a</sub>        | 22,89 <sub>a</sub>    | 21,99 <sub>a</sub>        | 22,30 <sub>a</sub>       | 22,87 <sub>a</sub>       | 23,72 <sub>a</sub>       | 23,30 <sub>a</sub>       | 22,57 <sub>a</sub>       | 22,19 <sub>a</sub>        | 22,44 <sub>a</sub>      | 21,18 <sub>a</sub>      |
| pH              | 7,89 <sub>a</sub>         | 8,15 <sub>a</sub>     | 8,12 <sub>a</sub>         | 8,09 <sub>a</sub>        | 8,07 <sub>a</sub>        | 8,07 <sub>a</sub>        | 7,80 <sub>a</sub>        | 7,84 <sub>a</sub>        | 7,88 <sub>a</sub>         | 8,22 <sub>a</sub>       | 7,86 <sub>a</sub>       |
| O2              | 8,65 <sub>a</sub>         | 10,7 <sub>a</sub>     | 10,21 <sub>a</sub>        | 10,64 <sub>a</sub>       | 10,01 <sub>a</sub>       | 9,89 <sub>a</sub>        | 9,54 <sub>a</sub>        | 10,68 <sub>a</sub>       | 13,37 <sub>a</sub>        | 10,79 <sub>a</sub>      | 9,59 <sub>a</sub>       |
| O2%             | 94,9 <sub>a</sub>         | 118,3 <sub>a</sub>    | 112,6 <sub>a</sub>        | 117,36 <sub>a</sub>      | 111,72 <sub>a</sub>      | 110,85 <sub>a</sub>      | 106,76 <sub>a</sub>      | 119,11 <sub>a</sub>      | 148,31 <sub>a</sub>       | 120,05 <sub>a</sub>     | 107,78 <sub>a</sub>     |
| CE              | 1224,67 <sub>a</sub>      | 1424,08 <sub>b</sub>  | 1241,58 <sub>a</sub>      | 1195,38 <sub>a</sub>     | 1201,50 <sub>a</sub>     | 1201,42 <sub>a</sub>     | 1206,46 <sub>a</sub>     | 1189,54 <sub>a</sub>     | 1205,91 <sub>a</sub>      | 1201,67 <sub>a</sub>    | 1198,83 <sub>a</sub>    |
| MES             | 26,08 <sub>a</sub>        | 25,23 <sub>a</sub>    | 9,77 <sub>b</sub>         | 8,22 <sub>b</sub>        | 14,50 <sub>b</sub>       | 11,78 <sub>b</sub>       | 12,03 <sub>b</sub>       | 15,40 <sub>b</sub>       | 16,94 <sub>b</sub>        | 9,51 <sub>b</sub>       | 12,29 <sub>b</sub>      |
| Cl              | 193,67 <sub>a,b</sub>     | 212,02 <sub>a</sub>   | 160,05 <sub>b,c,d</sub>   | 152,80 <sub>c,d,e</sub>  | 162,61 <sub>b,c,d</sub>  | 162,22 <sub>b,c,d</sub>  | 165,66 <sub>b,c</sub>    | 168,32 <sub>b,c</sub>    | 160,19 <sub>b,c,d</sub>   | 163,89 <sub>b,c,d</sub> | 152,64 <sub>c,d,e</sub> |
| SO <sub>4</sub> | 301,08 <sub>a</sub>       | 314,34 <sub>a</sub>   | 276,57 <sub>a</sub>       | 250,82 <sub>a</sub>      | 263,51 <sub>a</sub>      | 259,78 <sub>a</sub>      | 264,18 <sub>a</sub>      | 269,43 <sub>a</sub>      | 263,21 <sub>a</sub>       | 269,02 <sub>a</sub>     | 266,68 <sub>a</sub>     |
| Na              | 105,44 <sub>a</sub>       | 106,34 <sub>a</sub>   | 107,35 <sub>a</sub>       | 107,13 <sub>a</sub>      | 107,44 <sub>a</sub>      | 107,31 <sub>a</sub>      | 103,94 <sub>a</sub>      | 103,95 <sub>a</sub>      | 102,28 <sub>a</sub>       | 99,90 <sub>a</sub>      | 99,31 <sub>a</sub>      |
| K               | 5,18 <sub>a</sub>         | 5,15 <sub>a</sub>     | 4,78 <sub>a</sub>         | 5,30 <sub>a</sub>        | 5,19 <sub>a</sub>        | 5,46 <sub>a</sub>        | 5,78 <sub>a</sub>        | 5,69 <sub>a</sub>        | 5,58 <sub>a</sub>         | 5,37 <sub>a</sub>       | 5,72 <sub>a</sub>       |
| Ca              | 108,57 <sub>a,b</sub>     | 103,63 <sub>a,b</sub> | 116,43 <sub>a,b</sub>     | 83,35 <sub>c</sub>       | 82,52 <sub>c</sub>       | 101,60 <sub>a,b</sub>    | 94,34 <sub>b,c</sub>     | 120,23 <sub>a</sub>      | 100,75 <sub>b,c</sub>     | 80,61 <sub>c</sub>      | 82,90 <sub>c</sub>      |
| Mg              | 68,55 <sub>a</sub>        | 52,25 <sub>b,c</sub>  | 46,69 <sub>b,c,d</sub>    | 57,50 <sub>b</sub>       | 50,98 <sub>b,c,d</sub>   | 52,24 <sub>b,c</sub>     | 51,07 <sub>b,c,d</sub>   | 39,75 <sub>c</sub>       | 53,66 <sub>b</sub>        | 55,92 <sub>b</sub>      | 61,49 <sub>a</sub>      |
| PO <sub>4</sub> | ,28 <sub>a,c,h</sub>      | ,37 <sub>a,b</sub>    | ,20 <sub>c,d,h,j</sub>    | ,13 <sub>d,j</sub>       | ,18 <sub>c,d,e,h,j</sub> | ,17 <sub>c,d,f,h,j</sub> | ,15 <sub>c,d,g,j</sub>   | ,25 <sub>a,c,d,h</sub>   | ,30 <sub>b,h,i</sub>      | ,17 <sub>c,d,i,j</sub>  | ,11 <sub>j</sub>        |
| NO <sub>2</sub> | ,52 <sub>a</sub>          | ,56 <sub>a</sub>      | ,36 <sub>b,c</sub>        | ,41 <sub>a,b</sub>       | ,45 <sub>a,b</sub>       | ,37 <sub>b,c</sub>       | ,39 <sub>b,c</sub>       | ,39 <sub>b,c</sub>       | ,46 <sub>a,b</sub>        | ,48 <sub>a,b</sub>      | ,39 <sub>b,c</sub>      |
| NO <sub>3</sub> | 8,13 <sub>a,b</sub>       | 9,08 <sub>a</sub>     | 7,60 <sub>a,b,c</sub>     | 7,28 <sub>b,c,d</sub>    | 6,66 <sub>b,c,d,e</sub>  | 7,28 <sub>b,c,d</sub>    | 6,31 <sub>b,c,d,e</sub>  | 6,32 <sub>b,c,d,e</sub>  | 7,17 <sub>b,c,d</sub>     | 6,67 <sub>b,c,d,e</sub> | 5,80 <sub>c,d,e,f</sub> |
| Densité         | 11291,67 <sub>a,b,d</sub> | 14666,67 <sub>a</sub> | 10375,00 <sub>a,b,d</sub> | 9666,67 <sub>a,b,d</sub> | 7208,33 <sub>b,d</sub>   | 9791,67 <sub>a,b,d</sub> | 7250,00 <sub>b,c,d</sub> | 7916,67 <sub>a,b,d</sub> | 10833,33 <sub>a,b,d</sub> | 12458,33 <sub>a,b</sub> | 4500,00 <sub>d</sub>    |

## Annexes

**Annexe 27.** Matrice de corrélation de Pearson entre la biomasse et les paramètres abiotiques (\* :  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$ ) (SPSS19)

|                                      | pH     | O2     | OX2     | CE      | ME    | CL     | SO4    | Na      | K       | Ca    | Mg     | PO4     | NO2     | NO3     | Densité |
|--------------------------------------|--------|--------|---------|---------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| T (°C)                               | ,304** | ,373** | ,373**  | -,001   | ,129* | ,083   | ,772** | -,333** | -,401** | ,024  | ,091   | ,439**  | ,557**  | ,599**  | ,710**  |
| pH                                   | 1      | ,039   | ,039    | ,034    | -,027 | ,214** | ,302** | -,092   | -,220** | -,011 | ,068   | ,035    | ,211**  | ,201**  | ,421**  |
| O <sub>2</sub> (mg/l)                |        | 1      | 1,000** | -,196** | ,038  | -,106  | ,241** | -,022   | -,194** | -,045 | -,006  | ,208**  | ,179**  | ,125*   | ,208**  |
| OX2 (%)                              |        |        | 1       | -,196** | ,038  | -,106  | ,241** | -,022   | -,194** | -,046 | -,006  | ,208**  | ,179**  | ,125*   | ,208**  |
| CE (μS/cm)                           |        |        |         | 1       | ,044  | ,808** | ,034   | ,033    | ,044    | -,023 | ,019   | ,171**  | ,041    | ,268**  | ,020    |
| MES (mg/l)                           |        |        |         |         | 1     | ,060   | ,205** | -,019   | -,071   | ,157* | ,085   | ,325**  | ,217**  | ,216**  | ,072    |
| CL <sup>-</sup> (mg/l)               |        |        |         |         |       | 1      | ,061   | -,057   | -,084   | ,024  | ,086   | ,255**  | ,138*   | ,310**  | ,192**  |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l) |        |        |         |         |       |        | 1      | -,315** | -,255** | ,053  | ,122*  | ,462**  | ,576**  | ,540**  | ,647**  |
| Na <sup>+2</sup> (mg/l)              |        |        |         |         |       |        |        | 1       | ,529**  | ,029  | -,060  | -,226** | -,252** | -,287** | -,470** |
| K <sup>+2</sup> (mg/l)               |        |        |         |         |       |        |        |         | 1       | -,051 | -,136* | -,187** | -,289** | -,359** | -,430** |
| Ca <sup>+</sup> (mg/l)               |        |        |         |         |       |        |        |         |         | 1     | -,081  | ,157*   | -,017   | ,095    | ,088    |
| Mg <sup>+</sup> (mg/l)               |        |        |         |         |       |        |        |         |         |       | 1      | ,078    | ,196**  | ,134*   | ,125*   |
| PO4 (mg/l)                           |        |        |         |         |       |        |        |         |         |       |        | 1       | ,524**  | ,535**  | ,531**  |
| NO <sub>2</sub> (mg/l)               |        |        |         |         |       |        |        |         |         |       |        |         | 1       | ,466**  | ,564**  |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)               |        |        |         |         |       |        |        |         |         |       |        |         |         | 1       | ,700**  |



## Publications

**KHERIEF NACEREDDINE S., DJEDDI H., BENAYACHE N. Y & AFRI-MEHENNAOUI F. Z:** Dynamique des éléments nutritifs et du phytoplancton dans le barrage Béni Haroun dans l'est algérien. European Scientific Journal April 2018 edition Vol.14, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n12p111](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n12p111)

DJEDDI H., **KHERIEF NACEREDDINE S., KEDARI DONIA & AFRI-MEHENNAOUI F. Z:** Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn Et Pb des sédiments du Barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie). European Scientific Journal May 2018 edition ISSN: 1857 – 7881 (Print) e. EISSN: 1857-743. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p26>

## Communication internationales

**KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup>, DJEDDI HAMSA<sup>1</sup>, NAYLA YASMINE BENAYACHE<sup>1</sup> & AFRI- MEHENNAOUI FATIMA-ZOHRA<sup>1</sup> :** Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux du barrage de Béni-Haroun dans l'est Algérien. Colloque International Ressources en Eau, Environnement et Changement Climatique *Sciences de l'Eau du Climat et de l'Environnement* .Tunis 2018.

DJEDDI HAMSA<sup>1</sup>, **KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup>, KEDARI DONIA<sup>1</sup> & AFRI-MEHENNAOUI FATIMA-ZOHRA<sup>1</sup> :** Evaluation de la contamination des poissons par les éléments traces (Cu, Zn et Pb) dans le Barrage de Béni-Haroun. Colloque International Ressources en Eau, Environnement et Changement Climatique *Sciences de l'Eau du Climat et de l'Environnement* .Tunis 2018.

**KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup>, DJEDDI HAMSA<sup>1</sup> & AFRI- MEHENNAOUI FATIMA-ZOHRA<sup>1</sup> :** Analyses physico-chimiques des eaux du Rhumel dans la région de Constantine. International Conference in Integrated Management of Environment. Tunisia 2014.

DJEDDI HAMSA, **KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup> & AFRI MEHANAOUUI FATIMA-ZOHRA :** Evaluation de la qualité biologique de l'oued Rhumel et Endja par l'indice biotique. International Conference in Integrated Management of Environment. Tunisia 2014.

## Communication nationales

**KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup>, DJEDDI HAMSA<sup>1</sup>, NAYLA YASMINE BENAYACHE<sup>1</sup> & AFRI- MEHENNAOUI FATIMA-ZOHRA<sup>1</sup> :** Dynamique saisonnière de quelques paramètres physico-chimique et biologique des eaux du barrage Béni-Haroun. Journées Scientifiques du Réseau « Eau et Climat au Maghreb » Constantine 2018.

AFRI- MEHENNAOUI FATIMA-ZOHRA<sup>1</sup>, **KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup>, DJEDDI HAMSA<sup>1</sup>, NAYLA YASMINE BENAYACHE<sup>1</sup> & BOUAICHA NOUREDDINE<sup>2</sup> :** Qualité physico-chimique et inventaire phytoplanctonique des eaux du barrage Béni-Haroun, Algérie. Journées Scientifiques du Réseau « Eau et Climat au Maghreb » Constantine 2018.

DJEDDI HAMSA, **KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup> KEDARI DONIA<sup>1</sup> & AFRI MEHANAOUUI FATIMA-ZOHRA :** contamination métallique de *Abramus brama* et *Carpinus carpio* du barrage Béni Haroun est Agérien .Journées Scientifiques du Réseau « Eau et Climat au Maghreb » Constantine 2018.

DJEDDI HAMSA, **KHERIEF NACEREDDINE SALIHA<sup>1</sup> & AFRI MEHANAOUUI FATIMA-ZOHRA :** Evaluation de la richesse faunistique par l'indice biotique des oueds Rhumel et Endjas (zone Est de l'Algérie) Colloque national sur la biodiversité en Algérie. Skikda 2017

## Etude de l'évolution de la qualité écologique des eaux et inventaire de la micro flore aquatique du barrage de Béni Haroun.

Thèse de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Science

### 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. La détermination de la composition taxonomique de ces producteurs primaires améliore, en fait, la connaissance de la biodiversité de toute la région. Notre intérêt a également porté sur la caractérisation des eaux superficielles via quatorze 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 vingt-quatre mois s'étalant de janvier 2015 à décembre 2016, au niveau de onze 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 88 échantillons, 72 taxons ont été identifiés appartenant à 9 classes phytoplanctoniques. La richesse spécifique totale a mis en évidence une large prédominance des Cyanophyceae et des Bacillariophyceae. L'évolution des densités cellulaires totales montre des variations saisonnières importantes en 2016 plus qu'en 2015. La période pluvieuse est de faible productivité algale tandis que les saisons estivales et automnales sont marquées par les plus fortes densités cellulaires. Les indices de Shannon et d'équitabilité atteignent les valeurs les plus basses en saison de pluie, la diversité s'élève en printanière rapidement en raison du développement de plusieurs espèces de Cyanophycées, Diatomées, Chlorophycées, Conjugatophyceae et Mediophycées. En saison estivale et automnale, les communautés sont au maximum de leur diversité. Les éléments abiotiques ont montré des affinités positives et/ou négatives avec la quantité de biomasse phytoplanctonique.

**Mots clés :** Béni Haroun, qualité des eaux, éléments nutritifs, phytoplancton, Interaction.

**Laboratoire de recherche :** Biologie et Environnement Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Université Frères Mentouri Constantine 1.

Jury d'évaluation :

|                     |                      |     |                                              |
|---------------------|----------------------|-----|----------------------------------------------|
| <b>Président :</b>  | Hamidechi Mohamed AH | Pr  | Université des Frères Mentouri Constantine1  |
| <b>Rapporteur :</b> | Afri-Mehennaoui F-Z  | Pr  | Université des Frères Mentouri Constantine1  |
| <b>Examineurs :</b> | Saheb Menouar        | Pr  | Université Larbi Ben M'Hidi - Oum El Bouaghi |
|                     | Bensouileh Mourad    | Pr  | Université Badji Mokhtar – Annaba            |
|                     | Yahia Abdelouaheb    |     | Centre Universitaire Abdhafid Boussouf- Mila |
|                     | Sahli Leïla          | MCA | Université des Frères Mentouri Constantine1  |

**Date de soutenance :** 06 / 01 / 2019