

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



Mémoire du Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Microbiologie - Ecologie

Spécialité/Option : Santé, Eau et Environnement/ Microbiologie de l'environnement.

**Thème : Etude des peuplements de cyanobactéries et des
paramètres physico – chimiques de l'eau du barrage Bouhamdane
- Wilaya de Guelma -**

Présenté par :

- **Sehailia Nadjah**
- **Noureddine Naima**

Devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------------|------------------------|-------|----------------------|
| Président | : Mr. Ramdani K. | M.A.A | Université de Guelma |
| Examinatrice | : Mme. Benhalima L. | M.A.A | Université de Guelma |
| Encadreur | : Mme. Boussadia M. I. | M.A.A | Université de Guelma |

Juin 2014

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos remerciements et notre profonde gratitude, avant tout à Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la force pour mener a bout ce modeste travail.

Nos sincères remerciements et nos respects vont à notre encadreur Mme BOUSSADIA Meriem Imen, qui nous a donné l'opportunité de réaliser ce travail .nous la remercions chaleureusement pour sa patience et sa confiance qu'elle nous a toujours accordée durant ces moins .Nous la remercions également pour sa disponibilité sans faille, ses précieux conseils scientifiques et ses encouragements qui nous ont indiscutablement permis d'évoluer.

Nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui ont accepté de juger ce travail.

Nous remercions vont également à tous les professeurs et les enseignants qui nous ont beaucoup encouragé et soutenu tout au long du cycle d'étude.

Sans oublier de conférer nos plus sincères remerciements à tous les personnels de la station de hammam Debagh surtout à monsieur le chef de laboratoire Amraoui Saleh, ainsi que Agoune Ghani, Radia, Mbarqa, Samira, Amel et Chahra.

Nous sincères gratitudes vont également à tous nos collègues et amis (es) de la promotion (SEÆ) 2013-2014.

A tous ceux qui ont contribués de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Liste des abréviations | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction..... | 01 |
| Chapitre I : Cyanobactéries et Cyanotoxines | |
| Généralités..... | 03 |
| 1. Diversité morphologique..... | 03 |
| 2. Cytologie..... | 04 |
| 3. Classification | 06 |
| 4. Phylogénie | 07 |
| 5. Ecologie | 07 |
| 6. Prolifération des cyanobactéries..... | 08 |
| II. Les cyanotoxines | 10 |
| 1. Facteurs influençant la production des toxines | 10 |
| 2. les principaux types de cyanotoxines..... | 11 |
| 3. Les molécules à effets irritants | 13 |
| Chapitre II : Les eaux du barrage | |
| 1. Définition | 14 |
| 2. Rôle des barrages..... | 14 |
| 3. Traitement des eaux | 15 |
| 3.1. Les pré-traitements..... | 15 |
| -La préoxydation | 15 |
| -La clarification | 16 |
| -La filtration | 17 |
| 3.2. Les traitements d'affinage..... | 17 |
| -L'inter-ozonation..... | 17 |
| -Le charbon actif | 17 |

| | |
|---|----|
| - Traitement Membranaire..... | 18 |
| 3.3. La désinfection finale | 18 |
| -Chlore et dioxyde de chlore | 18 |
| 4.Traitements appliquées sur les eaux du barrage Hammam Debagh..... | 18 |
| 5. Potabilité et normes des eaux | 19 |
| 6. Les recommandations OMS et cyanobactéries..... | 21 |

Chapitre III : Matériel et Méthodes

| | |
|--|----|
| 1. Description de la zone d'étude..... | 24 |
| 1.1. Situation géographique..... | 24 |
| 1.2. Caractéristiques du barrage Bouhamdane..... | 24 |
| 1.3. Aperçu géologiques..... | 26 |
| 1.4. Réseau hydrographique..... | 26 |
| 1.5. Climatologie | 26 |
| -La température..... | 26 |
| -La pluviométrie..... | 27 |
| 1.6. Cadre biotique | 27 |
| 1.7. Rôle du barrage | 28 |
| 2. Stratégie d'échantillonnage | 28 |
| 2.1. Fréquences et stations de prélèvement..... | 29 |
| 3. Etude des cyanobactéries..... | 30 |
| 3.1. Identification des cyanobactéries | 30 |
| 3.2. Dénombrement des cyanobactéries | 31 |
| 4. Analyse physico-chimique de l'eau du barrage Bouhmdane..... | 31 |
| 4.1. Dosage de l' Ammonium..... | 33 |
| 4.2. Dosage des ions nitrites (NO ₂ ⁻)..... | 33 |
| 4.3. Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻)..... | 34 |
| 4.4. Dosage des orthophosphates (PO ₄ ³⁻) | 34 |
| 4.5. Mesure des matières en suspensions (MES) | 35 |
| 4.6. Dosage de la Chlorophylle <i>a</i> | 36 |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|---|----|
| 1. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau du barrage Bouhamdane..... | 38 |
| 1.1. La température | 38 |

| | |
|---|----|
| 1.2. Le pH..... | 39 |
| 1.3. L'oxygène dissous..... | 41 |
| 1.4.les matières solides dissoutes (TDS)..... | 43 |
| 1.5. La conductivité | 45 |
| 1.6. La turbidité..... | 47 |
| 1.7. L'ammonium (NH ₄ ⁺)..... | 49 |
| 1.8. Les nitrites (NO ₃ ⁻)..... | 50 |
| 1.9. Les nitrates (NO ₂ ⁻)..... | 52 |
| 1.10. Les orthophosphates (PO ₄ ³⁻)..... | 53 |
| 1.11. Les matières en suspension (MES)..... | 55 |
| 1.12. La chlorophylle a..... | 57 |
| 2. Etude des cyanobactéries..... | 59 |
| <i>Conclusion et perspectives</i> | 61 |
| <i>Résumé</i> | |
| <i>Abstract</i> | |
| <i>الملخص</i> | |
| <i>Références Bibliographiques</i> | |
| <i>Annexes</i> | |

Liste des abréviations

- **Abs** : Absence
- **ADE** : Agence Algérienne des eaux
- **ADN** : Acide désoxyribonucléique
- **ADN_R** : Acide désoxyribonucléique ribosome
- **ANB** : L'Agence nationale des barrages
- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrique
- **ANTX-a** : Anatoxines –a
- **BMAA** : β -N- méthylamino-L-alanine
- **°C** : Degré Celsius
- **CE** : Conductivité électrique
- **Cm** : Centimètre
- **CO₂** : Dioxyde de carbone
- **COT** : Carbone organique totale
- **CYL** :Cylandrospermopsines
- **DL50** : Dose létale de 50% de la population
- **DO** : Densité optique
- **H** : Hectare
- **h** : Heure
- **Hm³** : Hectomètre cube
- **Kg** : Kilogramme
- **Km** : Kilomètre
- **L** : Litre
- **LPS** : Les lipopolysaccharides
- **M** : Mètre
- **MC** : Microcystines
- **mg** : Milligramme
- **Microcystine (MC-LR)** :Microcystine- leucine et l'arginine
- **Microcystine (MC-RR)** : Microcystine- arginine et arginine

- **µl** : Microlitre
- **µm** : Micromètre
- **min** : Minute
- **ml** : Millilitre
- **mm** : Millimètre
- **NTU** : Nephelometric turbidity unit
- **OMS** : Organisation mondiale de santé
- **SAX** : Saxitoxines

Liste des figures

| Numéro | Titre de la figure | Page |
|---------------|---|-------------|
| 1 | La diversité morphologique des cyanobactéries | 04 |
| 2 | Photographie d'un bloom des cyanobactéries | 09 |
| 3 | Recommandations OMS | 21 |
| 4 | localisation de barrage Hammam Debagh (Guelma) | 24 |
| 5 | Localisation des points de prélèvements | 30 |
| 6 | Photo de multi parameters (wtw) | 32 |
| 7 | Photo de turbidimètre. | 32 |
| 8 | Variations mensuelles de la température de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 38 |
| 9 | Variations mensuelles de la température moyenne de l'eau (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 39 |
| 10 | Variations mensuelles du pH de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 40 |
| 11 | Variations mensuelles du pH moyen de l'eau (barrage Bouhamdane: Février – Avril , 2014). | 40 |
| 12 | Variation mensuelles des teneurs en oxygène dissous de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane: Février – Avril , 2014). | 41 |
| 13 | Variations mensuelles de la teneur moyenne en oxygène dissous de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane: Février – Avril , 2014). | 42 |
| 14 | Variations mensuelles des TDS de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 43 |
| 15 | Variations mensuelles moyenne des TDS de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril ,2014). | 44 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 16 | Variations mensuelles de la conductivité de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 45 |
| 17 | Variations mensuelles de la conductivité moyenne de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane: Février – Avril , 2014). | 46 |
| 18 | Variations mensuelles de la turbidité de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril ,2014). | 48 |
| 19 | Variations mensuelles de la turbidité moyenne de l'eau (barrage Bouhamdane : Février - Avril ,2014). | 48 |
| 20 | Variations mensuelles des teneurs d'ammonium de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 49 |
| 21 | Variations mensuelles moyenne de la teneur en ammonium de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 50 |
| 22 | Variations mensuelles des teneurs en nitrites de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 51 |
| 23 | Variation mensuelles moyenne des teneurs en nitrites de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 51 |
| 24 | Variations mensuelles des teneurs en nitrates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 52 |
| 25 | Variations mensuelles de la teneurs moyenne des nitrates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 53 |
| 26 | Variations mensuelles des teneurs en orthophosphates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane: Février – Avril , 2014). | 54 |
| 27 | Variations mensuelles de la teneur moyenne des orthophosphates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 54 |
| 28 | Variations mensuelles des teneurs en MES de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 56 |
| 29 | Variations mensuelles de la teneur moyenne des MES de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 56 |
| 30 | Variations mensuelles des teneurs en chlorophylle a de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 57 |
| 31 | Variations mensuelles de la teneur moyenne en chlorophylle a l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014). | 58 |

Liste des tableaux

| Numéro | Titre du tableau | Page |
|---------------|---|-------------|
| 1 | Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries | 6 |
| 2 | Exemples d'intoxications animales liées aux toxines de cyanobactéries | 12 |
| 3 | Exemples d'intoxications animales liées aux toxines de cyanobactéries | 13 |
| 4 | Les normes de potabilisation de l'eau | 20 |
| 5 | Recommandations OMS pour la protection de la santé publique dans les eaux de baignade | 22 |
| 6 | Principales caractéristiques du barrage Bouhamdane | 25 |
| 7 | Variations mensuelles de la température de l'air | 27 |
| 8 | Variations mensuelles de la précipitation | 27 |
| 9 | Qualité des eaux en fonction de l'oxygène dissous | 42 |
| 10 | Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique | 46 |
| 11 | Qualité des eaux de surface selon l'Agence Algérienne des bassins versants (1999). | 55 |
| 12 | Valeurs des seuils de l'état trophique des plans d'eau | 58 |

INTRODUCTION

L'importance de l'eau pour la vie composante de l'écosystème mondial n'est plus à démontrer. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un élément-clé du développement, en particulier pour générer et entretenir la prospérité par le biais de l'agriculture, de la pêche, de la production d'énergie, de l'industrie, des transports et du tourisme **(Kouadri, 2013)**

La quantité d'eau dont nous disposons dépend de son degré de propreté ou de pollution. La problématique de l'eau est un souci de quantité et de qualité ; La mauvaise qualité de l'eau se répercute sur l'environnement et le bien-être de l'homme **(Kouadri, 2013)**

Le phénomène d'eutrophisation définie comme étant l'enrichissement des plans d'eaux par des éléments nutritifs tels que le phosphore et l'azote en périodes de fort ensoleillement est un problème croissant à l'échelle mondiale **(Bertrand, 2005)**.

A l'origine c'est un phénomène naturel s'autorégulant et sans réel danger dans un milieu en équilibre. Ses manifestations se sont accélérées depuis un demi-siècle et les secteurs touchés se sont étendus. Son augmentation est due à l'intensification des activités humaines (rejet d'eaux usées, diffusion d'engrais azotés...) **(Bertrand, 2005)**.

L'une des conséquences les plus graves dans les écosystèmes aquatiques en sont les proliférations massives des producteurs primaires et en particulier des cyanobactéries appelées aussi algues bleues-vert et cyanoprocaryotes formant ainsi des blooms ou efflorescences **(Briand et al., 2003)**.

Ces prolifération représentent un problème environnemental majeur car elles perturbent le fonctionnement des écosystèmes aquatiques à travers leur impact sur les réseaux trophiques, la diversité des communautés planctoniques **(Marion, 2009)**, économique tel que la mortalité

INTRODUCTION

des poissons, bovins et d'autres organismes...etc., sanitaire du faite que de nombreuses espèces de cyanobactéries sont capables de synthétiser des métabolites secondaires toxiques à la fois pour l' homme et l'animal et d'autres molécules altérant la qualité organoleptique des eaux destinées à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable.

Afin de réaliser ce travail trois objectifs sont fixés :

- Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries peuplant le barrage Bouhamdane.
- Suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques de l'eau du site d'étude.
- Et enfin, évaluer l'état trophique de ce plan d'eau.

Notre travail est structuré en quatre parties :

- La première rassemble les données bibliographiques collectées sur les cyanobactéries et leurs cyanotoxines .
- La deuxième une idée sur les barrages ainsi que les procédés de traitement réalisés, on plus des recommandations OMS établis.
- La troisième est consacrée à la présentation des stations de prélèvement, l'étude des cyanobactéries et la physico-chimie de l'eau.
- La quatrième relate nos résultats avec leur discussion possible et enfin, nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

Généralités

Les cyanobactéries, ou algues bleu-vert, font partie des plus vieux organismes apparus sur terre, il y a plus de 3 milliards d'années (**Fay, 1983**), tandis que des publications plus récentes indiquent que leur apparition s'est faite il y a 2,7 milliards d'années (**Lee, 2008**). On peut cependant affirmer que l'apparition massive d'oxygène (O₂) dans l'atmosphère a eu lieu il y a 2,4 milliards d'années, grâce à l'activité photosynthétique des cyanobactéries primitives (**Falkowski et Knoll, 2007**).

Les cyanobactéries ou cyanophytes ; sont des organismes procaryotes photosynthétiques, des bactéries Gram négatif réparties en 150 genres et 2000 espèces. Présents aussi bien dans les milieux aquatiques marins, saumâtres et dulçaquicoles, que dans les milieux terrestres (**Thomzeau ,2006**).

Elles sont présentes sur tous les continents et largement étudiées en écologie, en toxicologie, en taxinomie, ou encore en microbiologie (**Thomzeau ,2006**).

Elles sont classées du point de vue systématique dans le règne des Eubactéries mais ont longtemps fait parties du règne végétal car elles possèdent à la fois des caractéristiques :

- des bactéries : absence de noyau et d'organites intracellulaires.
- des algues : présence de chlorophylle a et de phycobiliprotéines (**Anonyme1**).

De plus, certaines espèces synthétisent des toxines, responsables d'intoxications animales et humaines, parfois mortelles.

1. Diversité morphologique

Les cyanobactéries présentent une diversité morphologique importante, on les retrouve (fig.1)

- Soit sous forme unicellulaire isolée ou en colonies.
- Soit sous forme de trichome qui correspond à un enchainement de cellules (thalle), sans gaine.
- Soit sous forme de filament engainé.

Ces organismes présentent trois types cellulaires différents (**Komárek *et al.* 2003**) :

- **les cellules végétatives** : forme cellulaire variées rondes, ovoïde, oblongues, quadratiques avec un contenu cellulaire homogène ou non, avec ou sans vacuoles à gaz.
- **les hétérocytes** : cellules spécialisées dans la fixation de l'azote atmosphérique, rencontrés uniquement chez les représentants des ordres des Nostocales et des Stigonematales.
- **les akinètes** : cellules de résistance avec paroi épaisse, contiennent des réserves permettant aux espèces qui les possèdent (ordres des Nostocales et des Stigonematales) de survivre en conditions environnementales défavorables.

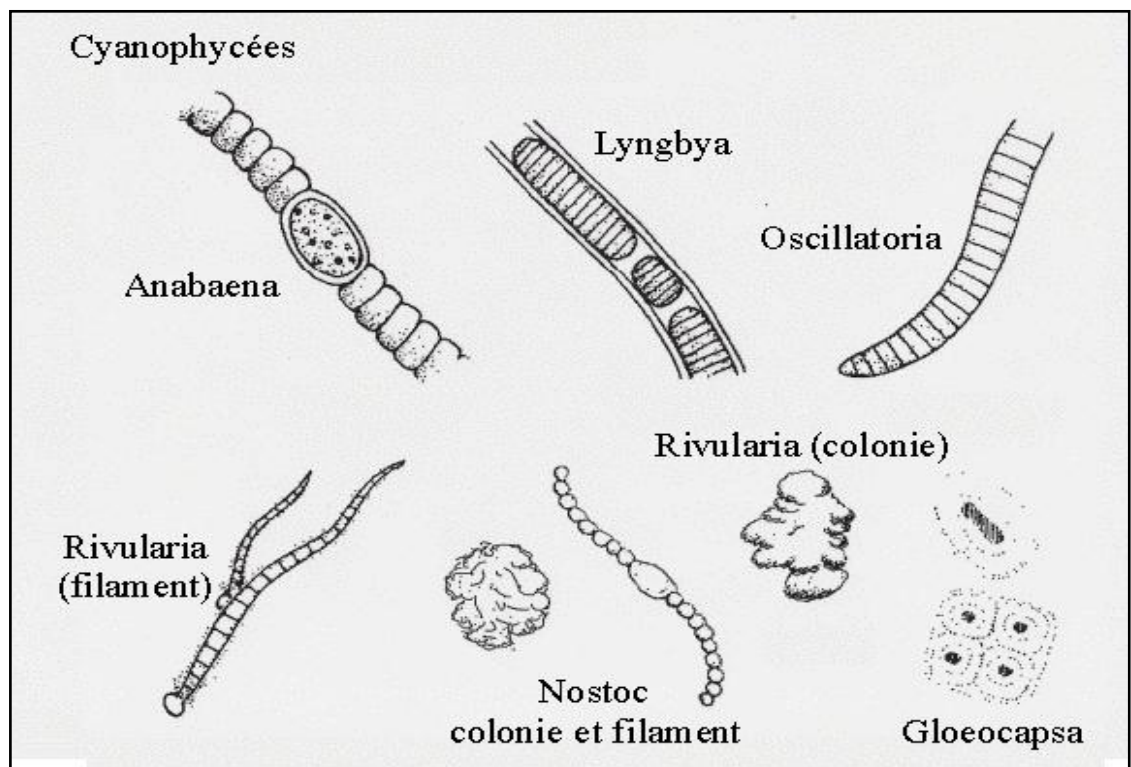


Figure 1: la diversité morphologique des cyanobactéries (**Anonyme 2**).

2. Cytologie

L'étude d'une cellule de cyanobactérie au microscope électronique à transmission montre la structure cellulaire suivante :

- **Un protoplasme central** ou centroplasma contient des fibrilles d'ADN qui ne sont pas associées à des protéines basiques (les histones). Ce centroplasma est aussi appelé nucléoplasme.
- **Les ribosomes 70s** : sont dispersés à travers la cellule mais sont surtout abondants dans la région centrale autour du nucléoplasme.
- **Les granules de cyanophycine** : sont des inclusions de grande taille composées de protéines stockées sous forme de polypeptides, contenant généralement de l'acide aspartique.
- ❖ **Les carboxysomes** : sont des corps polyédriques placés au centre de la cellule. Ils contiennent l'enzyme fixant le CO₂.
- ❖ **Les polyphosphates** : les phosphates sont stockés sous forme de polyphosphates dans des granules, appelés granules de volutine (**Pelmont, 2005**).
- ❖ **Vacuoles gazeuses** : composées de vésicules gazeuses ou de tubes cylindriques creux à bouts coniques. Elle permet à l'algue bleue de flotter. Ces inclusions sont rencontrées dans le cytoplasme de toutes les cyanobactéries à l'exception des espèces de la famille des Chamaesiphonacées, algues bleues exclusivement benthiques.

La paroi cyanobactérienne peut être entourée d'une enveloppe mucilagineuse qui relie les cellules ou les filaments ensemble (**Silvano, 2005**).

La taille des cellules de cyanobactéries varie entre la taille typique des bactéries (0,5 à 1µm de diamètre) jusqu'à 40µm de diamètre (chez l'espèce *Oscillatoria princeps*), certaines d'autres forment des filaments dépassant un mètre de long (**Madigan et Martnko, 2007**).

La réalisation de la photosynthèse met en jeu un ensemble de pigments photosynthétiques. Les cyanobactéries synthétisent plusieurs types de pigments qui sont : la chlorophylle a, les caroténoïdes et des phycobiliprotéines.

Cette composition en pigments, leur permettent d'exploiter le rayonnement solaire disponible sur une plus grande étendue de longueur d'onde comparé aux autres algues, ainsi la photosynthèse est plus efficace même à faible intensité lumineuse (**Lavoie et al., 2007**).

3. Classification

Les cyanobactéries sont reconnues à la fois par le Code International de Nomenclature Botanique (**Greuter *et al.*, 2000**) et par le Code International de Nomenclature Bactériologique (**Lapage *et al.*, 1992**). Le premier se base essentiellement sur le mode de reproduction et la morphologie tandis que le second est fondé sur les critères physiologiques et génotypiques de cultures pures.

Ces deux classifications reconnaissent cependant les mêmes sections ou ordres (tab.1) et les divergences résident essentiellement au niveau des taxons inférieurs (espèces).

Il existe ainsi 5 ordres divisés en 27 familles qui comportent 166 genres de cyanobactéries.

Tableau 1 : Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries (**Thamzeau, 2006**).

| <i>Classification bactériologique</i> | Classification botanique | Description |
|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| Section I | Chroococcales | formes unicellulaires ou coloniales, à multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores |
| Section II | Pleurocapsales | formes coloniales à multiplication par fissions multiples formant des baeocytes |
| Section III | Oscillatoriales | formes filamenteuses unisériées, non hétérocytées, sans ramification, à division cellulaire perpendiculaire à l'axe du trichome |
| Section IV | Nostocales | formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan |
| Section V | Stigonematales | formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes et akinètes), présentant des ramifications (vraies ou fausses), à division cellulaire dans plusieurs plans |

4. Phylogénie

Les données moléculaires basées sur les gènes ribosomaux indiquent, comme le suggère (**Hoffmann, 2005**), que des remaniements sont nécessaires afin d'affiner la classification actuelle. L'arbre phylogénétique réalisé à partir de l'ADNr 16S est tout de même concordant avec la classification botanique classique. Cependant, à un niveau générique, les données moléculaires (ADNr 16S) sont parfois contradictoires avec les données morphologiques : certains genres sont monophylétiques (*Microcystis*, *Planktothrix*) (**Gugger et al., 2002**). Quant au niveau spécifique, aucune relation claire n'a été obtenue entre les espèces (différenciation morphologique) et les caractères moléculaires étudiés à ce jour (**Hoffmann et al., 2005**).

5. Ecologie

Les cyanobactéries sont répertoriées dans la plupart des habitats : **Whitton et Sinclair (1975) ; Bourrelly (1985)** ont fait une synthèse des connaissances actuelles sur l'écologie des cyanobactéries.

Ces microorganismes sont présents dans tous les pays du monde et en tous lieux, aussi bien dans les milieux aquatiques 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. D'autres espèces ont été retrouvées dans des lacs à salinité élevée ou même hypersalins (**Dillon, 2009**). Des cyanobactéries sont également présentes dans certains lacs des régions polaires, notamment en Antarctique, où les températures sont très basses (**Taton, 2003 ; Jungblut, 2005**).

Ces microorganismes poussent également sur les rochers où elles vivent en symbiose avec les champignons tels que les lichens. Elles peuvent être endolithes, perforant les roches pour s'y réfugier, ou bien endophytes dans les feuilles de fougères aquatiques du genre *Azolla*.

6. Prolifération de cyanobactérie

Dans les conditions environnementales qui leur sont favorables, les cyanobactéries connaissent des phases de prolifération massive, aussi qualifiée d'efflorescence ou de bloom. Ces proliférations se traduisent par la production, sur une courte période de temps (quelques jours), d'une biomasse importante et par une forte diminution de la diversité spécifique dans le compartiment phytoplanctonique puisque une ou deux espèces deviennent alors très largement dominantes.

Elles peuvent provoquer une coloration de l'eau qui dépendra des pigments majoritairement présents dans l'espèce dominante (fig. 2). Les espèces planctoniques se développent dans l'ensemble de la colonne d'eau ou à un niveau bien précis.

Ces phénomènes peuvent survenir en profondeur (entre 10 et 15 mètres) en fonction des disponibilités en nutriments et en énergie lumineuse (**Afssa et Afsset, 2006**).

Le développement des proliférations de cyanobactérie et le plus souvent associé à plusieurs facteurs :

- **Les éléments nutritifs** : la présence de phosphore sous forme d'orthophosphates, d'azote et du fer en concentration élevée.
Les cyanobactéries présentent plus d'affinités pour le phosphore que les autres algues (**Blais, 2002**).
- **Luminosité modérée** : bien que la lumière soit essentielle pour les organismes photosynthétiques, de trop fortes intensités lumineuses peuvent dégrader l'appareil photosynthétique des cyanobactéries (photo inhibition), entraînant ainsi leur dégénérescence. La croissance de la plupart des cyanobactéries est inhibée quand elles sont soumises en permanence à une intensité lumineuse supérieure à 3 200 Lux mais certaines cyanobactéries, comme le filamenteuse *Anabaena sp.* Préfèrent des intensités lumineuses, et *Planktothrix* sera former des bandes denses juste en dessous de la surface de l'eau.

Toutefois, lorsque l'intensité lumineuse en surface s'avère trop élevée, les cyanobactéries possèdent des vésicules gazeuses ajustant ainsi leur position dans la colonne d'eau (**Antonie, 2009**).

- **La température :** la température optimale de prolifération des cyanobactéries se situe généralement entre 20 et 25 °C, leur taux de croissance peut augmenter jusqu'à 35 °C, il est souvent fait référence à une saisonnalité caractéristique des proliférations dans les régions tempérées. La période de mai à septembre est considérée comme la plus favorable au développement des cyanobactéries (**Ibrahim et al., 2010**).
- **Le pH du milieu :** Les cyanobactéries prolifèrent plutôt dans les milieux alcalins compris entre 6 et 9 (**Ibrahim et al., 2010**).
- **La turbidité :** une turbidité élevée favorise le développement de certaines cyanobactéries par rapport aux autres groupes phytoplanctoniques.
- La stabilité élevée de la colonne d'eau au moment du développement de l'efflorescence et dans la période précédant cet événement



Figure 2 : Photographie d'un bloom des cyanobactéries
Barrage sur l'oued El Mellah (Maroc, 2002) (**Bouaïcha, 2002**)

II. Les cyanotoxines

Les cyanotoxines sont des molécules intracellulaires, de structures variées. Elles sont synthétisées par des cyanobactéries en phase de croissance et se retrouvent dans l'eau lors de la mort ou de la lyse cellulaire. Une même toxine peut être produite par des espèces différentes et une même espèce peut produire plusieurs types de toxine. De plus la quantité de ces dernières produite est très variable au sein d'une espèce en relation avec les conditions environnementales (Affsa et Afsset, 2006).

1. Facteurs influençant la production des toxines

Différentes théories sont actuellement en discussion, la production de ces toxines pourrait contribuer à augmenter l'avantage compétitif des cyanobactéries dans le but d'atteindre la dominance du monde aquatique (Lavoie *et al.*, 2007).

Parmi les facteurs qui influencent la production des cyanotoxines on peut citer :

- **La croissance cellulaire** : Il semble qu'il y ait une corrélation linéaire entre le taux de division cellulaire et la concentration intracellulaire des toxines hépatiques chez *Microcystis aeruginosa* (Lavoie *et al.*, 2007).
- **L'intensité lumineuse** : une corrélation positive est rencontrée entre la lumière et la production de toxine. Tant que la lumière n'est pas en excès, elle stimule la croissance (Msagati *et al.*, 2006 ; Lavoie *et al.*, 2007).
- **Les nutriments** : Le contenu cellulaire en microcystine serait plus fortement corrélé à la quantité d'azote total que du phosphore total. Une augmentation d'azote entraîne une augmentation de la concentration en microcystine ainsi qu'une augmentation du nombre de cyanobactéries toxiques (Lavoie *et al.*, 2007).
- **Le zooplancton** : Il a été observé une augmentation de la production de toxines par *Microcystis* lors d'une exposition directe au zooplancton (Lavoie *et al.*, 2007).
- **La température** : La température optimale de production de toxines s'étend de 15 à 25 °C, selon les espèces (Msagati *et al.*, 2006 ; Lavoie *et al.*, 2007).

2. Les principaux types des cyanotoxines

Il existe plusieurs types de toxines que l'on peut classer soit en fonction de leur mode d'action, soit en fonction de leur structure.

❖ Les hépatotoxines

Ce sont les toxines les plus fréquemment rencontrées lors des proliférations. On distingue 3 grandes familles qui sont:

- **Les microcystines** : peptide cyclique de 7 acides aminés. On distingue plus de 80 variants de masse moléculaire comprise entre 800 et 1100 daltons. Les variants proviennent majoritairement de substitution d'acide aminé en position 2 et 4 ou bien du retrait/ajout d'un groupement méthyle sur les acides aminés 3 et 7. Les microcystines sont solubles dans l'eau et très stable dans l'environnement.
- **Les nodularines** : sont des peptides cycliques de 5 acides aminés. On distingue 9 variants en fonction de la position des méthylations. Elles sont très proches des microcystines, même gamme de poids moléculaire et propriétés physico-chimiques identiques.
- **La cylindrospermopsine** : est un alcaloïde de 415 daltons. Il en existe 2 variants, l'un non toxique et l'autre toxique avec une DL 50 après injection intra péritonéale chez la souris de 2,1 mg/kg. C'est une molécule très polaire et soluble dans l'eau (Affsa et Afsset ,2006).

❖ Neurotoxines

Elles sont regroupées en 3 familles, parmi lesquels on trouve :

- **L'anatoxine a** : amine secondaire de 165 daltons, soluble dans l'eau, peu stable et rapidement dégradée dans l'environnement. Chez la souris sa DL50 est de 250µg/kg par voie intra péritonéale et de plus de 5000 µg/kg par voie orale.
- **L'anatoxine a(s)** : est un ester de phosphate de 252 daltons, instable au pH alcalin et à la chaleur.
- **Les saxitoxines** : forment une famille de 25 variants d'alcaloïdes à noyau tétrahydropuriques. Leur poids moléculaire varie de 241 à 491 daltons. Elles sont très stables dans l'eau (Afssa et Afsset, 2006).

- **La BMAA ou β -méthylamino-L-alanine** : est une molécule de type acide aminé non impliquée dans la synthèse ribosomale de protéine, c'est une neurotoxine qui provoque une excitation des neurones et qui serait à l'origine de maladies neurodégénératives (sclérose amyotrophique latérale, Alzheimer, Parkinson) (Spencer *et al.*, 1986 ; 1987).

(Cox *et al.*, 2005) ont détecté la BMAA chez 95 % des genres et 97 % des souches de cyanobactéries étudiées provenant des États-Unis d'Amérique, d'Europe, d'Inde ou de différents océans ou mers. Selon ces auteurs, cette molécule serait produite par toutes les cyanobactéries symbiotiques, planctoniques ou benthiques, qu'elles soient terrestres ou aquatiques (eau douce, eau saumâtre ou milieu marin).

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

Le tableau suivant présente quelques intoxications animales par les cyanotoxines.

Tableau 2 : Exemples d'intoxications animales liées aux toxines de cyanobactéries (Briande, 2008).

| Cyanobactéries | Animaux décédés | Toxicité/toxine | Pays |
|---|---|----------------------|----------------------|
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | Bétail | Hépatotoxicité/MC | Argentine |
| | Moutons | Hépatotoxicité | Australie |
| <i>Anabaena circinalis</i> | Bétail, Moutons | Neurotoxicité /SAX | Australie |
| <i>Anabaena flos-aquae</i> | Chiens, canards | Neurotoxicité/ANTX-a | Etats-Unis Canada |
| <i>Planktothrix agardhii</i> | Oiseaux aquatique, Poisson et Rats | Hépatotoxicité | Finlande |
| <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> | Bétail, Moutons | Hépatotoxicité/CYL | Australie |

De nombreuses études ont révélé chez les personnes accidentellement par la consommation régulière de faibles doses de toxines favorise l'apparition de troubles chroniques du foie et tube digestif, le degré d'intoxication dépend de la concentration et de la nature des toxines, l'âge de la personne, de son sexe et de son état de santé (**Fremy et Patrick ,2001**). Le tableau suivant présente quelques intoxications humaines par des cyanotoxines.

Tableau 3 : Exemples d'intoxications humaines liées aux toxines de cyanobactéries (**Briand ,2008**).

| Mode | Cyanobactéries /toxine | Effets | Pays |
|-----------------|--|-----------------------------------|-----------|
| Par ingestion | <i>Microcystis aeruginosa/MC</i> | Epidémie de gastro-entérite | Zimbabwe |
| | <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> /CYL | Hépatite, vomissements, diarrhées | Australie |
| Par hémodialyse | <i>Microcystines</i> | 117 intoxications ,60morts | Brésil |
| | <i>Microcystis aeruginosa</i> et <i>Anabaena flos-aquae/ANTX-a</i> | intoxication ? | Portugal |

3. Les molécules à effets irritants

Il en existe de 2 types :

- **Les alcaloïdes dermatotoxiques** : comme l'aplysiatoxine, la debroaplysiatoxine et la lyngbyatoxine-a. Ces molécules ont été identifiées uniquement dans les eaux de mer.
- **Les lipopolysaccharides (LPS)** : éléments constitutifs de la paroi cellulaire présente dans toutes les espèces de cyanobactéries. Ils pourraient également être responsables d'effets gastro-intestinaux en cas d'ingestion ainsi que d'irritation et d'inflammation des voies aériennes supérieures (**Blais , 2002**).

Historiquement, les barrages furent construits afin de répondre à un seul problème: l'approvisionnement en eau et l'affusion.

Avec le développement des civilisations, les besoins furent plus importants et plus nombreux, ajoutant aux précédents la nécessité de contrôler les crues, la navigation, la qualité de l'eau, le contrôle des sédiments et l'énergie. Par conséquent des barrages ont été construits pour répondre à ces besoins spécifiques.

Les ressources en eau douce sont limitées et inégalement réparties. Les pays dont la consommation est importante mais qui disposent de ressources en eau importantes et d'infrastructures techniques hautement développées, pourraient répondre à la demande grandissante grâce aux différentes manières de conserver, recycler et réutiliser l'eau.

Les barrages polyvalents sont des projets très importants pour les pays en développement, puisqu'un seul investissement permet aux populations de recevoir des bénéfices à la fois domestiques et économiques. Un Barrage est la pierre angulaire dans le développement et la gestion des ressources hydrauliques (**Anonyme 3**).

1. Définition

Un barrage est un ouvrage artificiel retenant de l'eau, il peut être installé sur un cours d'eau pour en bloquer les écoulements et élever le niveau d'eau en amont de l'ouvrage, ou de manière à fermer une cuvette naturelle dans le but de retenir les eaux de pluie et de ruissellement.

Les barrages peuvent être constitués de matériaux durs (autrefois en maçonnerie, aujourd'hui en béton), ou meubles (terre, enrochements) (**Anonyme 3**).

2. Rôle des barrages

Les barrages sont construits en vue d'une utilisation principale, mais pour un même ouvrage plusieurs types d'usages peuvent se combiner :

- La production d'électricité, par transformation de l'énergie naturellement produite par les écoulements au sein d'une centrale hydro-électrique associée à la retenue.
- L'alimentation en eau potable de villes ou d'établissements industriels.
- L'irrigation des zones agricoles en période sèche.
- L'alimentation en eau de canaux.
- Le maintien dans une rivière d'un débit suffisant pour la navigation, pour garantir la qualité écologique du milieu ou permettre des prélèvements à l'aval en période de basses eaux.
- L'écrêtement des crues (l'eau est retenue puis libérée progressivement pour réduire voire éviter les débordements en aval).
- La production de neige artificielle dans les stations de sport d'hiver.

La retenue résultant de la mise en place d'un barrage peut par ailleurs être exploitée pour le tourisme lorsque la baignade et les activités nautiques et halieutiques sont autorisées (**Anonyme 3**).

3. Traitement des eaux

Plusieurs techniques de traitement sont utilisées pour clarifier et purifier l'eau destinée à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation dont on peut citer :

3.1. Les pré-traitements

❖ La préoxydation

Ce traitement d'oxydation est effectué avant l'étape de clarification et permet :

- L'oxydation des ions métalliques, en particuliers le fer et le manganèse, surtout s'ils sont complexés à la matière organique.
- L'oxydation de l'azote ammoniacal.
- L'amélioration de la clarification par déstabilisation des colloïdes.
- Dégradation des cellules algales et principalement cellule des cyanobactéries par lyse cellulaire.

Les réactifs pouvant être utilisés en préoxydation sont : le chlore, le permanganate de potassium et l'ozone

- **Le chlore**

Dans la pratique le taux d'application varie de 0.25 à 2 mg /l et est généralement fixé en fonction de la teneur en ammoniacque et non pas en fonction de la concentration en cellules de cyanobactéries.

- **Le permanganate de potassium**

C'est l'oxydant le plus efficace vis-à-vis du fer et du manganèse, ce réactif peut également être utilisée comme un algicide.

Pour des doses comprises entre 1et 5 mg/l le permanganate de potassium provoquent la lyse des cyanobactéries et donc la libération des cyanotoxines intercellulaire.

Des études récentes ont montré que le permanganate de potassium permettait d'abattre les microcystines et l'anatoxine –a, mais avait peu d'action sur la cylindrospermopsine (**Rodriguez et al., 2007b ,OMS, 2003**).

- **L'ozone**

En pré-ozonation ,les doses utilisées sont faibles , de l'ordres de 0.2 à 0.25mg d'O₃/ mg de carbone organique totale (COT) , à ces doses, l'ozone permet une meilleure clarification de l'eau par déstabilisation des colloïdes (**Bonnélye et al., 1995 ; Maatouk et al.,2002**) .

- ❖ **La clarification**

- **Coagulation –floculation**

La coagulation a pour but de déstabiliser les colloïdes et les particules fines en suspension, leur agglomération, l'absorption des substances dissoutes ainsi que de molécules organiques hydrophiles. Ce traitement est utilisé pour la clarification, la décoloration, et l'amélioration du goût et de l'odeur.

- **Décantation ou flottation**

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation, l'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floccs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. A l'inverse la flottation consiste à favoriser la clarification par entrainement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspensions et aux floccs. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur.

❖ La filtration

La filtration est généralement le processus de finition de la clarification. Parallèlement à ses propriétés de fixation des particules en suspension, la filtration peut agir par adsorption et être le siège de processus biologiques. Deux filtrations sont à différencier de part leur vitesse de filtration : la filtration rapide ($20\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) et la filtration lente ($<5-6\text{m}^3/\text{m}^2/\text{j}$).

3.2 les traitements d'affinage

➤ L'inter-ozonation

Avant l'étape de filtration sur charbon actif en grain, une inter-ozonation peut être utilisée pour l'oxydation de la matière organique et pour la désinfection des bactéries, virus et parasites optimisant ainsi la désinfection finale.

L'ozone est l'oxydant qui permet d'agir sur la majorité des cyanotoxines contrairement au chlore et au dioxine de chlore qui ont respectivement peu d'action sur l'élimination de l'anatoxine -a et de la cylindrospermopsine (**Rositano et Nichols on 1994 ; Rodriguez et al., 2007a ; Hengfeng et Wenyi , 2008**).

➤ Le charbon actif

La filtration sur charbon actif permet d'éliminer les matières en suspension résiduelles, de réduire des oxydants tels que le chlore, et de retenir les matières organiques en solution et les micropolluants. Au niveau de la chaîne de traitement d'eau, le charbon actif peut être utilisé en deux points :

- En tête de filière : le charbon actif est injecté sous formes de poudre pendant l'étape de coagulation /floculation, mais ne doit pas dépasser des concentrations de $30-40\text{g}/\text{m}^3$ (effet colmatant).
- En affinage : avant la désinfection finale , le charbon actif peut être utilisé sous forme de grains ou sous forme de poudre dans un réacteur couplé à des rétentions membranaires d'ultrafiltration (**Keijola et al., 1988 ; Falconer et al., 1989 ; Himberg et al.,1989 ;Hart et Stott 1993 ;Nicholson et al.,1994 ;Bernazeau et al., .1995 ; Croll et Hart 1996 ;Maatouk et al.,2004**)

L'utilisation du charbon actif en poudre va permettre l'élimination des cyanotoxines extracellulaires dissoutes dans l'eau brute.

Une quantité de 10 à 30g/m³ est nécessaire pour éliminer 85 à 98% des toxines et durant un temps de contact d'eau moins 30min (Keijola *et al.*, 1988 ; Donati *et al.*, 1993 ; Hart et Stott 1993 ; Croll et Hart, 1996).

- **Le charbon actif en grain** : permet une rétention efficace des cyanotoxines selon (Falconer *et al.*, 1989 et Lambert *et al.*, 1996), un lit de charbon actif en grain peut retenir plus de 90% de microcystines –LR pendant sa première année d'utilisation.

➤ **Traitement Membranaire**

Les cellules de cyanobactéries ayant des tailles comprises entre 3 et 10 µm, les traitements par membranes de microfiltration et d'ultrafiltration permettent d'obtenir de très bons abattements des cellules cyanobactériennes (Chow *et al.*, 1997 ; Lai *et al.*, 2002).

Concernant les cyanotoxines extracellulaires, les membranes d'ultra- et de microfiltration ne permettent pas de les retenir, sauf si elles sont utilisées en couplage avec du charbon actif en poudre (Neumann et Weckesser, 1998).

3.3 La désinfection finale

➤ **Chlore et dioxyde de chlore**

La désinfection par le chlore ou le dioxyde de chlore a lieu en fin de processus de production d'eau potable, avant envoi vers le réseau de distribution, ces deux oxydants ont un effet rémanent dans l'eau, permettant ainsi de le protéger contre toute pollution ultérieure, lors de son transport et de son stockage.

L'oxydation par le chlore est efficace pour éliminer les microcystines, les nodularines et les cylindrospermopsines, mais s'avère inefficace quant à l'élimination de l'anatoxine –a (Carlile, 1994 ; Nicholson *et al.*, 1994 ; Senogles *et al.*, 1999 ; Ho *et al.*, 2006 ; Rodriguez *et al.*, 2007a ; Rodriguez *et al.*, 2007b).

4. Traitements appliqués sur les eaux du barrage Bouhamdane (Wilaya de Guelma)

La station de traitement des eaux potables de la wilaya de Guelma est une usine de traitement des eaux, de capacité de 500 l/s.

Le traitement se fait par des étapes bien définies en fonction de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau brute du barrage.

Les étapes de traitement sont les suivantes :

- Une pré-chloration succédée par l'étape de coagulation/floculation puis la décantation et filtration.
 - ✓ La pré-chloration se fait par l'eau de javel.
 - ✓ La coagulation se fait par le sulfate d'alumine dans un bassin d'agitation rapide.
 - ✓ La floculation se fait par un flocculant qui est le poly-électrolyte, dans un bassin à agitation lente.
- Le temps nécessaire pour la formation des floccs est d'environ 20 min.
- La décantation se fait dans un bassin de décantation à ciel ouvert pendant 2 heures.
- La filtration sur sable succède la décantation car il y a toujours des petits floccs qui ne décantent comme c'est le cas des particules de faible masse, telles que : les parasites, les levures et les algues (**Kouadri ,2013**).

5. Potabilité et norme de l'eau

Une eau est dite potable lorsque :

- Elle est incolore, inodore et sans mauvais goûts.
- Elle ne contient pas de microorganismes pathogènes.
- Elle contient, dans des limites définies, un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable et dont l'action bénéfique sur l'organisme humain est prouvée.
- Elle ne contient pas des éléments indices de pollution et d'éléments dont la toxicité est reconnue.
- Elle ne contient pas des substances la rendant inutilisable pour le ménage.
- Elle ne doit pas être agressive ou à effet entartrant pour les canalisations (**Kouadri ,2013**).

Les normes de paramètre physico-chimique des eaux destinées à l'alimentation sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau4:les normes de potabilisation de l'eau (ANB, 2014)

| Paramètres | Unités | Normes algériennes |
|------------------------------------|------------------------|--------------------|
| Physico-chimique | | |
| pH | * | 6.5-8.5 |
| Conductivité à 25c° | µs/cm | 3125 |
| Température | C° | / |
| Turbidité | NTU | 5 |
| Oxygène dissous | mg /l | 8 |
| Examen préliminaire | | |
| Résidu sec à 105c° | mg/l | 2000 |
| Titre alcalimétrique Simple | mg/l CaCO ₃ | / |
| Titre alcalimétrique complet | mg/l CaCO ₃ | / |
| Matière en suspension | mg/l | Abs |
| Oxydant résiduel(Cl ₂) | mg/l | / |
| Contrôle de la pollution | | |
| Ammonium | mg/l | 0.5 |
| Nitrites | mg/l | 0.1 |
| Nitrates | mg/l | 50 |
| Orthophosphate | mg/l | 0.5 |
| Indice permanganate | mg/l O ₂ | 3 |
| Minéralisation | | |
| Calcium | mg/l | 200 |
| Magnésium | mg/l | 150 |
| Sodium | mg/l | 200 |
| potassium | mg/l | 20 |
| Fer total | mg/l | 0.3 |
| Aluminium | mg/l | 0.2 |
| CO ₂ total | mg/l | / |
| CO ₂ libre dissous | mg/l | / |
| Bicarbonates | mg/l | / |
| Carbonates | mg/l | / |
| Hydroxyde | mg/l | / |
| Silice | mg/l | / |
| Chlorure | mg/l | 500 |
| Sulfate | mg/l | 400 |

* : pas d'unité, / : norme non disponible, Abs : absence

6. Les recommandations OMS et cyanobactéries

Dans le cadre de la prévention contre les risques occasionnés par le développement des cyanobactéries, une surveillance et un contrôle des plans d'eau doivent être effectués par temps sec et ensoleillé, afin d'être alerté de l'éventuel développement d'un bloom. Actuellement, la surveillance des blooms est réalisée grâce à des indicateurs de biomasse comme la chlorophylle a et la densité cellulaire ainsi que par la détermination des espèces présentes.

En effet l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande, à partir de ces paramètres de biomasse, des niveaux guide pour les eaux de baignades et des niveaux de vigilance et d'alerte pour les eaux destinées à la distribution, selon le schéma ci-dessous.

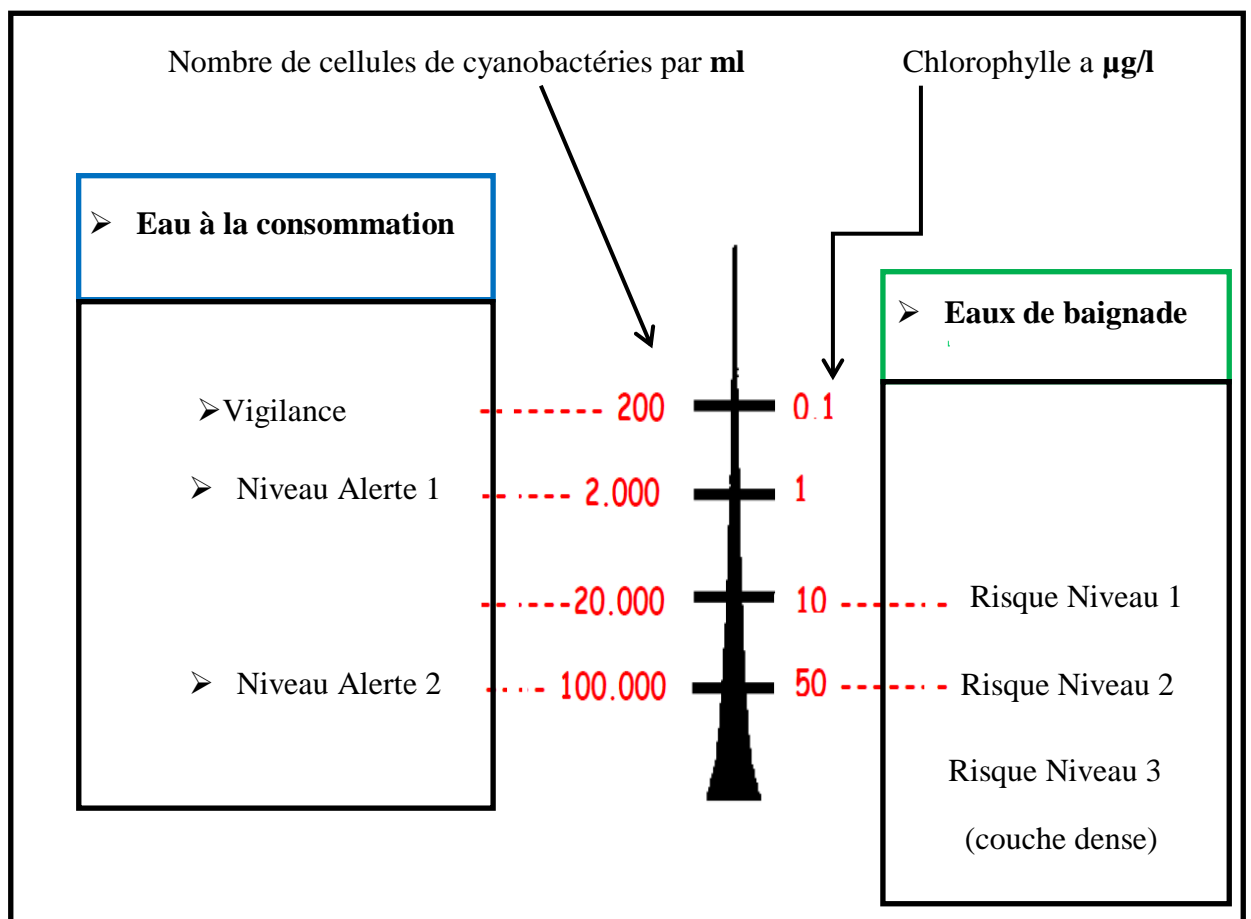


Figure 3: Recommandations OMS (Chorus et Bartram, 1990).

Ce schéma a été conçu selon le principe suivant: une cellule de cyanobactérie correspond à une taille, sachant que la quantité de chlorophylle a dans une cellule est proportionnelle à sa taille et que les quantités de toxines sont proportionnelles à la

chlorophylle a donc on peut estimer les quantités de toxines potentielles en fonction de la densité cellulaire.

▪ Eaux de Baignade

Les risques élevés pour la santé humaine sont associés à la présence d'écume verte à la surface de l'eau, formée par les agrégats de cyanobactéries.

Les recommandations OMS pour les eaux de baignade sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Recommandations OMS des eaux de baignade.

| Situations | Risques | Recommandations |
|---|---|---|
| Ecumes de cyanobactéries | Toxicité aiguë: - empoisonnement létal - irritation de la peau - troubles gastro-intestinaux | -Empêcher tout contact avec l'écume -Informers les autorités compétentes |
| 100 000 cellules/ml (50 µg/l chlorophylle a) | Toxicité aiguë: - irritation de la peau - troubles gastro-intestinaux Toxicité chronique | -Restreindre la baignade Mettre des panneaux d'avertissement -Informers les autorités compétentes |
| 20 000 cellules/ml (10 µg/l chlorophylle a) | Toxicité aiguë: - irritation de la peau - troubles gastro-intestinaux Toxicité chronique | -Mettre des panneaux d'avertissement -Informers les autorités compétentes |

▪ Eaux à la consommation

- ✓ **Le niveau de vigilance** : englobe les premiers stades d'un possible de développement du bloom de cyanobactérie, cette valeur indicatrice correspond à la détection d'une colonie ou de 5 filaments /ml d'eau.
- ✓ **Le seuil d'alerte 1** : correspond à 2 000 cellules/ml ou 1 µg/l de chlorophylle a. C'est le seuil de biomasse cyanobactérienne, en considérant que l'espèce est un producteur de microcystine potentiel, pour lequel les concentrations de microcystines dans l'eau brute pourraient dépasser la valeur guide de l'OMS. Dans ces conditions, il est nécessaire d'estimer si la densité de cyanobactéries dans l'eau brute peut être réduite

ou si les traitements sont suffisants pour amener les concentrations de microcystines à des concentrations acceptables.

- ✓ **Le seuil d'alerte 2** : correspond à 100 000 cellules/ml ou 50 µg/l de chlorophylle a avec la présence confirmée de toxines décrit un bloom en place et toxique, avec de possibles agrégats en surface.

Ces conditions indiquent une augmentation significative des risques pour la santé publique, même pour un temps l'exposition très court, dans le cas des réservoirs dont l'eau subit des traitements inefficaces pour l'élimination des toxines.

1. Description de la zone d'étude

1.1 Situation géographique

Le barrage Hammam Debagh est situé dans la Wilaya de Guelma à 25 km à l'Ouest du chef-lieu, il dépend administrativement de la Daira de Hammam Debagh et de la Commune de Bouhamdane, occupant une superficie totale de 700 hectares. Il est alimenté principalement par Oued Bouhamdane (fig.4) (ANB, 2014).

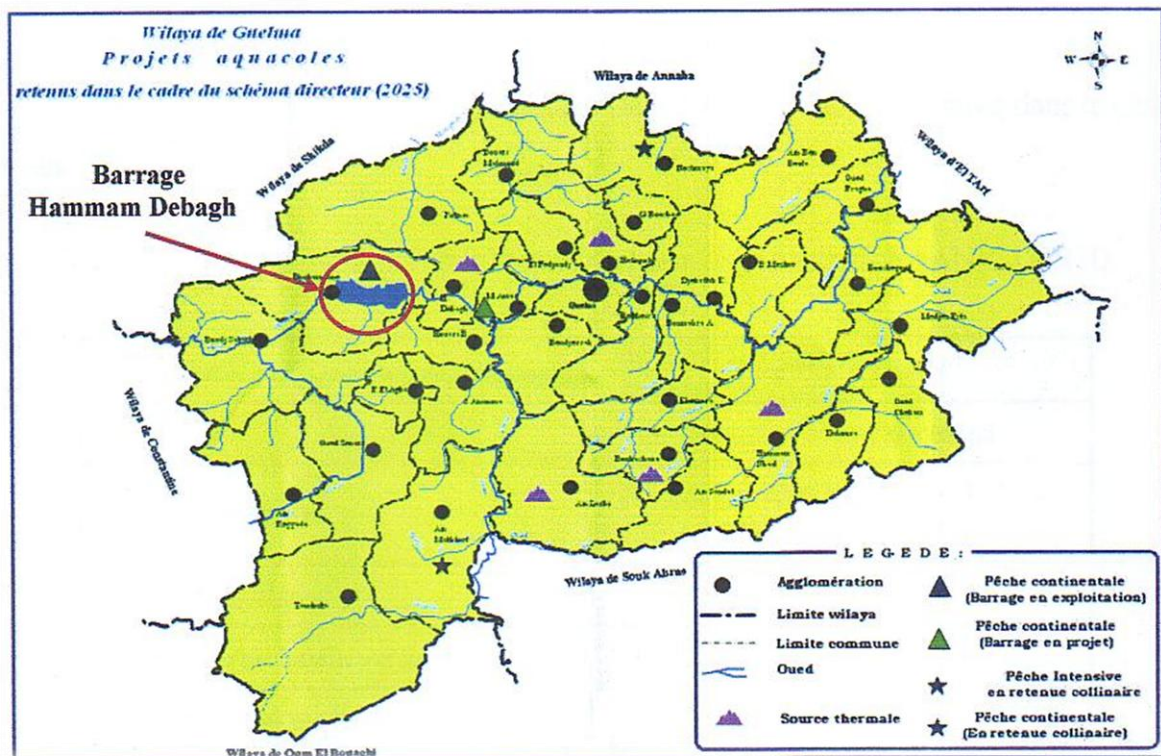


Figure 4 : localisation de barrage Hammam Debagh(Guelma)

Le plan d'eau présente les coordonnées géographiques suivantes: une latitude : $36^{\circ} 27' N$ et une longitude : $7^{\circ} 14' E$ avec une d'élévation de : 418,31m.

1.2. Caractéristiques du barrage Bouhamdane

Les principales caractéristiques du barrage Bouhamdane sont représentées dans le tableau suivant (Tab.6) (ANB, 2014).

Tableau 6 : Principales caractéristiques du barrage Bouhamdane (ANB, 2014).

| | |
|------------------------------------|---|
| Début du travaux | Octobre 1980 |
| Achèvement du travaux | Decembre 1987 |
| Effluents | Oued Bouhamdane |
| Type | En terre avec noyau central |
| Capacité hydrique | 200 hm ³ (1988) 184,347 hm ³ (2004) |
| Superficies du bassin versant | 1070 Km ² |
| Apport annuel moyen | 63 hm ³ |
| Profondeur maximale | 93 m |
| Hauteur de l'eau | minimal: 5m- Maximal : 60m |
| Envasement moyen annuel | 0,53 hm ³ |
| Sources d'approvisionnement en eau | Oued Bouhamdane et ses affluents |
| Longueur en crête | 340 m |
| Largeur en crête | 9 m |
| Volume de la digue | 6500000 m ³ |
| Largeur à la base | 516 m |
| Longueur de couronnement | 430 m |
| Excavations | 1.700.000 m ³ |
| Coffrages | 130.000 m ² |
| Remblais | 6.500.000 m ³ |
| Aciers | 6.000 T |
| Béton | 198.000 m ³ |
| Forages et injections | 39.0 |

1.3. Aperçu géologique

La région de Hammam Debagh appartient aux nappes épitelliennes qui résultent d'une poussée vers le sud de la chaîne du Djebel Debagh du Grar et du Kef-Hahouner, où affleure un substratum formé de calcaires Crétacés. C'est sur celui-ci qu'ont été charriées les nappes dites telliennes.

Une autre nappe dite du Flysch Crétacé, recouvre indifféremment les nappes telliennes ou le crétacé « autochtone ». Elle est composée de schistes noirs et de puissants bancs de grés, localement de poudingues (**Chaouch et al., 2009**).

1.4. Réseau hydrographique

Notre source d'approvisionnement en eaux de barrage Hammam Debagh est d'origines pluviales véhiculées principalement par Oued Bouhamdane et ses affluents, qui représentant un affluent principal de l'oued Seybouse (**Chaouch et al., 2009**).

1.5. Climatologie

Le climat est un facteur abiotique important dans l'étude de la typologie et le fonctionnement d'un milieu naturel, il nous permet de déterminer les composants et les caractéristiques de ce dernier.

Les caractéristiques climatiques sont prises en considération afin de mieux prendre connaissance des conditions naturelles de la région d'étude (**Fustec et Lefevre, 2000**).

❖ la température

La température est l'un des facteurs les plus importants dans la climatologie et signe du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

Les données de la température de l'air récoltées durant la période d'étude sont représentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Variations mensuelles de la température de l'air (février -Avril,2014) (ANB, 2014).

| | Températures (°C) | | |
|----------------|-------------------|------|-------|
| | Mini | Max | Moy |
| Février | 4.2 | 17.8 | 11 |
| Mars | 5.9 | 15.2 | 10.55 |
| Avril | 10.6 | 23.4 | 16.9 |

❖ La pluviométrie

Les précipitations sont un facteur important dans le conditionnement de l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. C'est un des éléments fondamentaux du bilan hydriques.

Les précipitations enregistrées dans la zone d'étude sont représentées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Variations mensuelles de la précipitation (Février- Avril ,2014) (ANB, 2014).

| | Précipitations (mm) |
|----------------|---------------------|
| Février | 51.9 |
| Mars | 121 |
| Avril | 1.1 |

1.6. Cadre biotique

Le barrage Hammam Debagh forme un microclimat avec une faune et une flore assez abondante. Selon l'administration des forêts et la direction de l'environnement il existe une variété d'espèces végétales et animales:

- **La faune** : on note la présence d'une pléthore d'oiseaux: la cigogne blanche (*Ciconiac iconia*), le canard colvert (*Anas platyrhynchos*), la poule d'eau (*Gallinula chloropus*), l'heron Goube Boeufs (*Bubulcus ibis*), l'épervier (*Accipiternisus*), le pigeon (*Columba oenas*),

le corbeau (*Corvus corax*), la perdrix (*Alectoris barbara*) et enfin, le merle de rocher (*Monticola saxatilis*).

On rencontre également la carpe argentée (*Hypophthalmi chrysomolatrix*), la carpe à grande bouche (*Aristichthys nobilis*), la carpe commune (*Cyprinus carpio*), la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*), sandre (*Stizostedion lucioperca*), le barbeau (*Barbus*), l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), l'ablette (*Alburnus alburnus*), les crabes (*Carcinus maenas*), les tortues aquatiques (*Emyda subglobosa*). Les reptiles tels que la couleuvre (*Natrix tessellata*), la vipère (*Vipera aspis*), le lézard (*Lacerta lepida*).

- **La flore :** on rencontre le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le pin maritime (*Pinus maritima*), l'eucalyptus (*Eucalyptus australis*), l'oléastre (*Olea europaea*), le chêne liège (*Quercus suber*), le chêne zen (*Quercus faginea*), le frêne oxyphylle (*Fraxinus oxyphylla*). Et enfin le peuplier blanc (*Populus nigra*) (**Lassoued et Touhami, 2008**).

1.7. Rôle du barrage

Le barrage Bouhamdane est un grand lac ayant son rôle à jouer dans le souci de sauvegarder l'environnement, en plus des finalités pour lesquelles il a été construit à l'origine, à savoir :

- L'alimentation en eau potable d'une partie de la population de la wilaya, dont les communes de Guelma : Hammam Debagh, Mdjez Amar et Ain Hssainya.
- L'irrigation d'une superficie de plus de 9.500 hectares de terres du périmètre agricole Guelma-Boucheougouf (**Lassoued et Touhami, 2008**).

2. Stratégie d'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (**Rodier, 2009**), la raison pour laquelle nous avons insisté sur les points suivants :

- Usage de bouteilles en matière plastiques en raison des facilités qu'ils présentent pour le transport et leur faible coût.
- Chaque flacon et/ou bouteille ont été munis d'une étiquette comportant la codification suivante :
 - Date et heure du prélèvement.
 - Motif de la demande d'analyse.
 - Nom du point d'eau et localisation.
- Pour chaque site d'étude nous avons préparé une fiche signalétiques rassemblant les renseignements utiles relevées au cours des opérations (observations météorologiques, paramètres physico-chimiques de l'eau, surveillance des fleurs d'eau,... etc.).

2.1. Fréquences et stations de prélèvement

Le prélèvement mensuel est effectué à partir de six point de prélèvement, durant la période s'étalant de (Février-Avril, 2014).

Ce réseau de station a été sélectionné, en tenant compte des critères suivants :

- La direction des vents dominants.
- L'accessibilité des stations.

La localisation des stations de prélèvement est la suivante :

Station 01 : représente le côté Sud du barrage.

Station 02 : Ouest du barrage.

Station 03 : Centre du barrage.

Station 04 : Est du barrage.

Station 05 : représente le point de sortie de l'eau du barrage.

Station 06 : représente le point de prélèvement d'eau après traitement.



Figure 5 : localisation des points de prélèvements (Naima, 2014)

3. Etude des cyanobactéries

Pour l'étude des cyanobactéries ont été prélevé à l'aide d'une bouteille en verre de 250ml sub -margée à 50 cm de la surface, par la suite on rajoute du formol à 10% , les échantillons sont transportés dans une glacière au la laboratoire pour une observation microscopique ultérieure.

3.1 Identification des cyanobactéries

La détermination des genres récoltés a été réalisée à partir de l'observation, sous microscope optique, des caractères morfo-anatomiques représentant les clés d'identification proposées par **Bourelly, (1985) ; Bergey, (1987)**.

Les principaux critères retenus sont :

- La structure de la micro-algue (unicellulaire ou filamenteuse).
- La présence ou non : d'une gaine gélatineuse, d'akinètes et d'hétérocystes.

NB:

Les clés d'identification sont présentées dans l'annexe I

3.2 Dénombrement des cyanobactéries

Chaque échantillon est soigneusement homogénéisé ; un sous échantillon de 1ml est prélevé, puis un volume réduit de 50µl est mis entre lame et lamelle et observée au microscope photonique suivant un 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, d'environ un champ de microscope, afin d'éviter tout chevauchement (**Leitao *et al.*, 1983**).

Les cyanobactéries présentes indépendamment de leurs genres sont comptées sous l'objectif (40x) (**Champiat et Larpent, 1998**).

4. Analyse physico-chimique de l'eau de barrage

Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : la température , le pH , l'oxygène dissous , les sels dissous totaux (TDS) ,la conductivité électrique (CE) , la turbidité , les sels nutritifs (nitrites, les nitrates ,L'ammonium et les orthophosphates) , ainsi que les matières en suspension et la chlorophylle a.

- Les mesures de la température (T°C), le pH, la conductivité (µs/cm) et l'oxygène dissous (O₂ en mg/l) ont été réalisées « *in situ* » à l'aide d'un multi paramètres (WTW) (fig.6), quant à la turbidité a été mesuré par un turbidimètre (fig.7).



Figure 6 : Photographie d'un multi paramètres (wtw).



Figure 7 : Photographie d'un turbidimètre.

-La mesure des matières en suspension et le dosage des sels nutritifs ont été réalisés au niveau de la station du traitement des eaux (A.D.E – barrage Bouhamdane – Guelma). En ce qui concerne, la chlorophylle a, le dosage a été effectué dans le laboratoire de microbiologie (Université 8 Mai 1945 -Guelma).

4.1 Dosage de L'Ammonium (AFNOR NF T90-015-1, 2000)

Principe :

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore pour les transformer en monochloramine (NH_2Cl) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire.

➤ Mode opératoire :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser dans une fiole de 100ml.
- Ajouter 1 ml de réactif I (Solution chlorée)
- Ajouter 1 ml de réactif II (Solution de nitroprussiate de sodium et de phénol)
- Agiter et placer les fioles à l'obscurité pendant 6 heures au moins.

➤ Expression des résultats :

Les concentrations en (mg/l) d'ammonium sont directement lues par spectrophotomètre à $\lambda = 630 \text{ nm}$.

4.2 Dosage des ions nitrites (NO_2^-) (NFT EN 26777, 1993)

➤ Principe

La diazotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de *N*-(naphtyl-1) diamino-1,2éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique

➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1 ml du réactif mixte, attendre 10mn.
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .

➤ Expression des résultats

Les concentrations en (mg/l) de nitrite sont directement lues par spectrophotomètre à $\lambda = 543 \text{ nm}$.

4.3. Dosage des nitrates (NO_3^-) (ISO 7890-3 ,1998)

➤ Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique.

➤ Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser. Évaporer à sec à l'étuve 75 - 88° C.
- Ajouter 1 ml de réactif I (Acide phosphorique), mélangé puis évaporer. Laisser refroidir.
- Reprendre le résidu par 1ml de réactif II (Réactif de diazotation) ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 min.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée, puis 10 ml de réactif III (Solution de chlorure d'ammonium) qui développe la couleur jaune.

➤ Expression des résultats

Les concentrations en (mg/l) du nitrate sont directement lues par spectrophotomètre à $\lambda = 415 \text{ nm}$.

4.4. Dosage des Orthophosphates (PO_4^{3-}) (NF EN ISO 6878 ,2005)

➤ Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, 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 donnant des orthophosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur qui est le tartrate double d'antimoine et de potassium

➤ Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser dans une fiole jugée de 25 ml.
- Ajouter 1 ml de réactif I (Solution d'acide sulfurique), agiter.

- Ajouter 4 ml du réactif II (Solution de molybdate d'ammonium), mélangé, attendre 30 mn, la stabilisation de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{3-} .

➤ **Expression des résultats**

Les concentrations en (mg/l) des Orthophosphates sont directement lues par spectrophotomètre à $\lambda = 700\text{nm}$.

NB

- La préparation des réactifs utilisés dans la détermination de la teneur en éléments nutritifs de l'eau du barrage Bouhamdane sont représentés dans l'annexe II.

4.5. La mesure de matière en suspension(MES) (Aminot et Chaussepied, 1983)

La connaissance de la quantité de matières en suspension (MES) est importante pour l'étude des milieux aquatiques. Les particules réduisent la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique. Selon leur nature, Elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune.

➤ **Principe**

La détermination de la matière en suspension dans l'eau a été réalisée par l'application de la méthode de pesée différentielle après filtration d'échantillon sur un filtre en fibre de verre WHATMAN GF/C 47 μm de porosité.

Le filtre a été pesé avant et après filtration. La différence de poids permet de connaître le poids sec total de la matière en suspension dans le volume filtré correspondant

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{\text{P2}-\text{P1}}{\text{V}}$$

P1 = poids du filtre avant filtration (mg).

P2 = poids du filtre après filtration (mg).

V = volume d'eau filtrée (litre).

4.6. Dosage de la Chlorophylle *a* (Amino et Kerouel, 2004)

En milieu marin, comme en eau douce, la mesure de la chlorophylle permet de caractériser la biomasse phytoplanctonique. C'est un descripteur de la capacité de production d'un végétal. D'une manière générale, la mesure des pigments phytoplanctoniques est basée sur leurs propriétés optiques : absorption de la lumière (spectrométrie) ou fluorescence (fluorimétrie).

➤ Principe

La chlorophylle, après extraction de l'eau par filtration et sa solubilisation dans l'acétone à 90%, présente une absorbance à 664,647 et 630nm suivant sa nature a, b ou c.

➤ Mode opératoire

Filtration

- Filtrer l'échantillon d'eau brute à travers un filet ou un tamis de 200 à 250 µm de vide de maille ce qui permet l'élimination grossière du zooplancton.
- Filtrer un volume connu d'échantillon (0.5 à 5 litres) sous vide, sur membrane en fibre de verre (WHATMAN GF/C 47 µm) recouverte au préalable d'une fine couche de carbonate de magnésium pour éviter l'altération de la chlorophylle.

a) Extraction

- Introduire la membrane filtrante dans un tube à centrifuger contenant 10 ml d'acétone à 90%.
- Déchiqueter le filtre à l'aide d'une baguette ou d'un tube en verre à embout coupant. Boucher et agiter vigoureusement pour disperser les fibres.
- Laisser l'extraction acétonique se poursuivre une nuit au réfrigérateur.

b) Centrifugation et transfert de l'extrait préalable à la mesure spectroscopique

- Contrôler le volume du solvant, le noter ou l'ajuster. Les tubes doivent être bouchés jusqu'à la mesure.
- Centrifuger les tubes durant une minute à 3000 - 4000 tours, faire tomber les fibres de verre qui adhèrent la paroi.
- Centrifuger à nouveau 5 à 10 mn à 3000 - 4000 tours.
- Transférer le surnageant de centrifugation dans la cuve de mesure (par aspiration).

d) Mesure des absorbances selon la méthode trichromatique

- Laisser revenir à température ambiante les extraits s'ils sont froids.
- Rincer 2 fois la cuve avec un peu d'extrait à analyser.
- Transférer dans la cuve assez de volume pour faire la mesure. Veiller à ne pas entraîner des fibres.
- Vérifier la propreté des faces de la cuve et la positionner correctement sur le portoir.

Mesurer les absorbances brutes de l'extrait à 630, 647, 664 et 750 nm : $A_{630 \text{ brut}}$, $A_{647 \text{ brut}}$, $A_{664 \text{ brut}}$ et $B_{\text{ brut}}$.

e) **Calculs des concentrations de pigments selon la méthode trichromatique**

- $A_{630} = (A_{630 \text{ brut}} - bc_{630}) - (B_{\text{ brut}} - bc_{750})$
- $A_{647} = (A_{647 \text{ brut}} - bc_{647}) - (B_{\text{ brut}} - bc_{750})$
- $A_{664} = (A_{664 \text{ brut}} - bc_{664}) - (B_{\text{ brut}} - bc_{750})$

Calculer les chlorophylles **a** selon :

$$[\text{Chl a}] \mu\text{g/l} = (11,85 \times A_{664} - 1,54 \times A_{647} - 0,08 \times A_{630}) \times v / V \times l$$

1. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau du barrage Bouhamdane

1.1. La température

La température est un facteur écologique très important qui a une grande influence sur les propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques. Elle conditionne les possibilités de développement et la durée du cycle biologique des espèces aquatiques (Aberkan *et al.*, 2011).

Les résultats obtenus durant cette période d'étude montrent que ce paramètre présente des variations similaires dans l'ensemble des stations, illustrées par une température minimale relevée en Février et un maximum en Avril (fig.8 et 9).

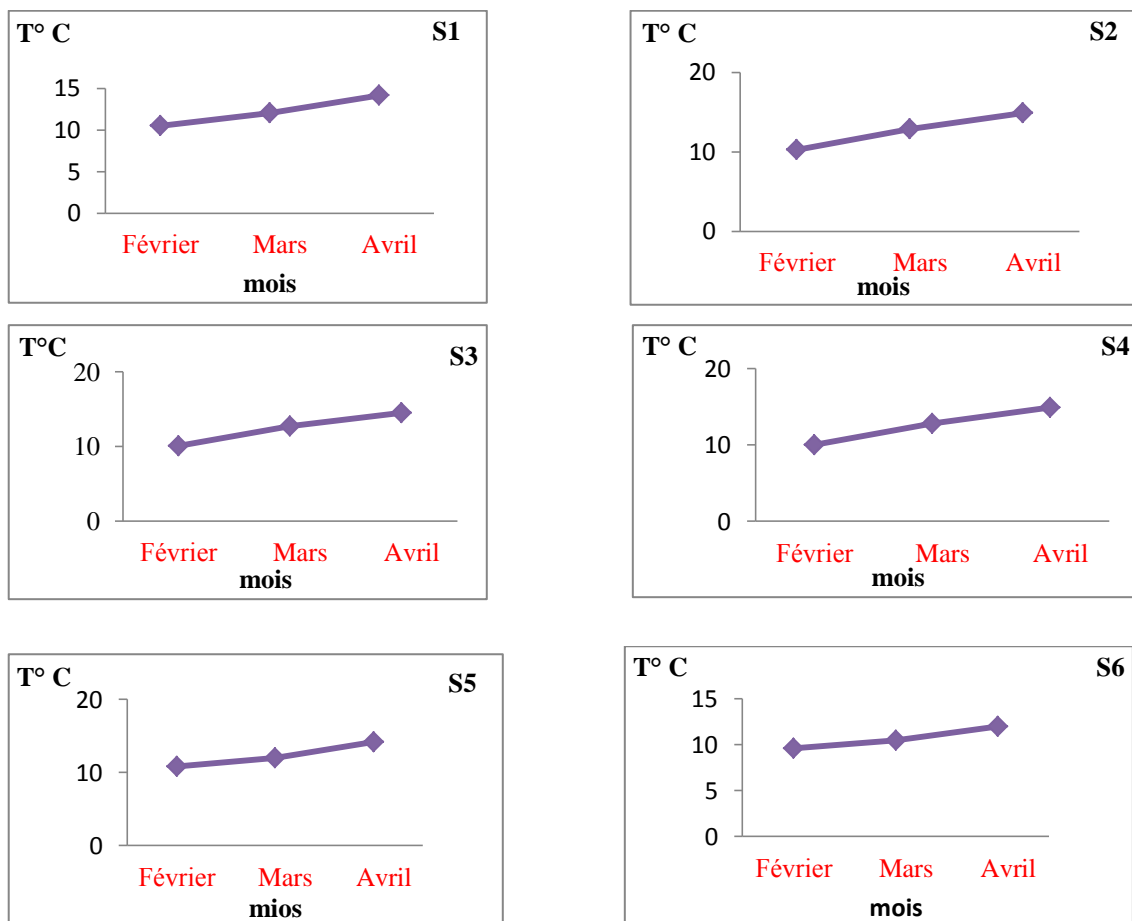


Figure 8 : Variations mensuelles de la température de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

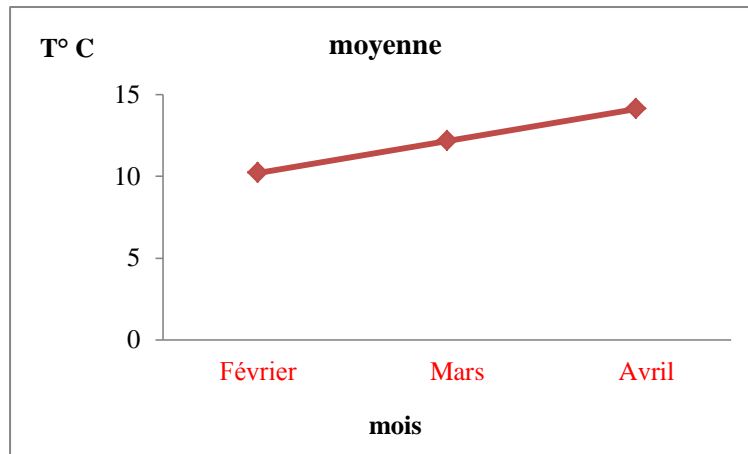


Figure 9 : Variations mensuelles de la température moyenne de l'eau (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

Nos relevés de température concordent avec ceux qui rapportent que les maxima enregistrés en période printanière sont en réponse aux conditions climatiques locales, notamment la température de l'air qui déterminent de façon directe les fluctuations de la température de l'eau (**Baba Ahmed, 2005 ; Boussadia, 2008**).

1.2. Le pH

Ce paramètre représente le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu aquatique, le pH des écosystèmes aquatiques traduit les relations complexes entre la chimie de l'eau et les effets biologiques (**Bousaaroura ,2011**).

Les valeurs du pH enregistrées durant la période d'étude sont généralement alcalines dans l'ensemble des stations, les maximum sont relevées au mois d'Avril à l'exception de la station 6. Ceci est probablement due aux faibles poussées algales dans cette dernière par rapport aux autres (fig.10 et 11).

Des résultats similaires sont rapportés par (**Boulesnane et Chaibi, 2002 ; Mazbour, 2004 et Bensafia, 2005**).

Cette alcalinité de l'eau ne peut être expliquée que par une prolifération algale et une photosynthèse accrue qui pourrait diminuer le CO₂ du milieu (**Nisbit et Verneaux , 1970**).

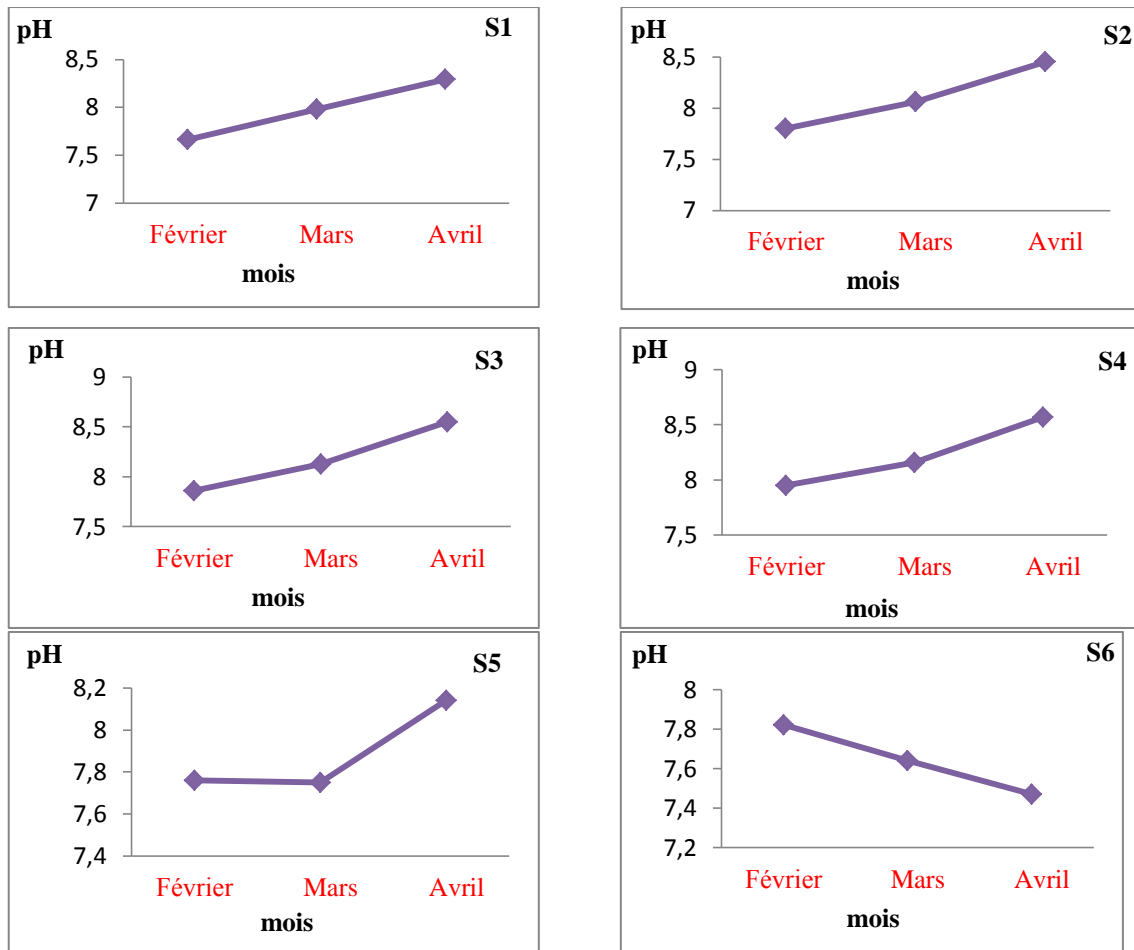


Figure 10: Variations mensuelles du pH de l'eau des 6 stations de prélèvements (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

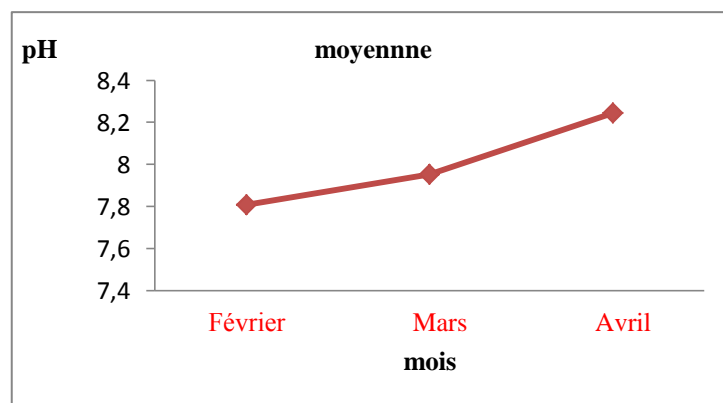


Figure 11 : Variations mensuelles du pH moyen de l'eau (barrage Bouhamdane : Février-Avril ,2014).

1.3. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des micro-organismes aquatiques. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeur (Rodier, 1996).

Les fortes teneurs en oxygène sont relevées en période hivernale (12 mg/l). En revanche les faibles teneurs sont enregistrées en période printanière (9 mg/l) (fig.12 et 13).

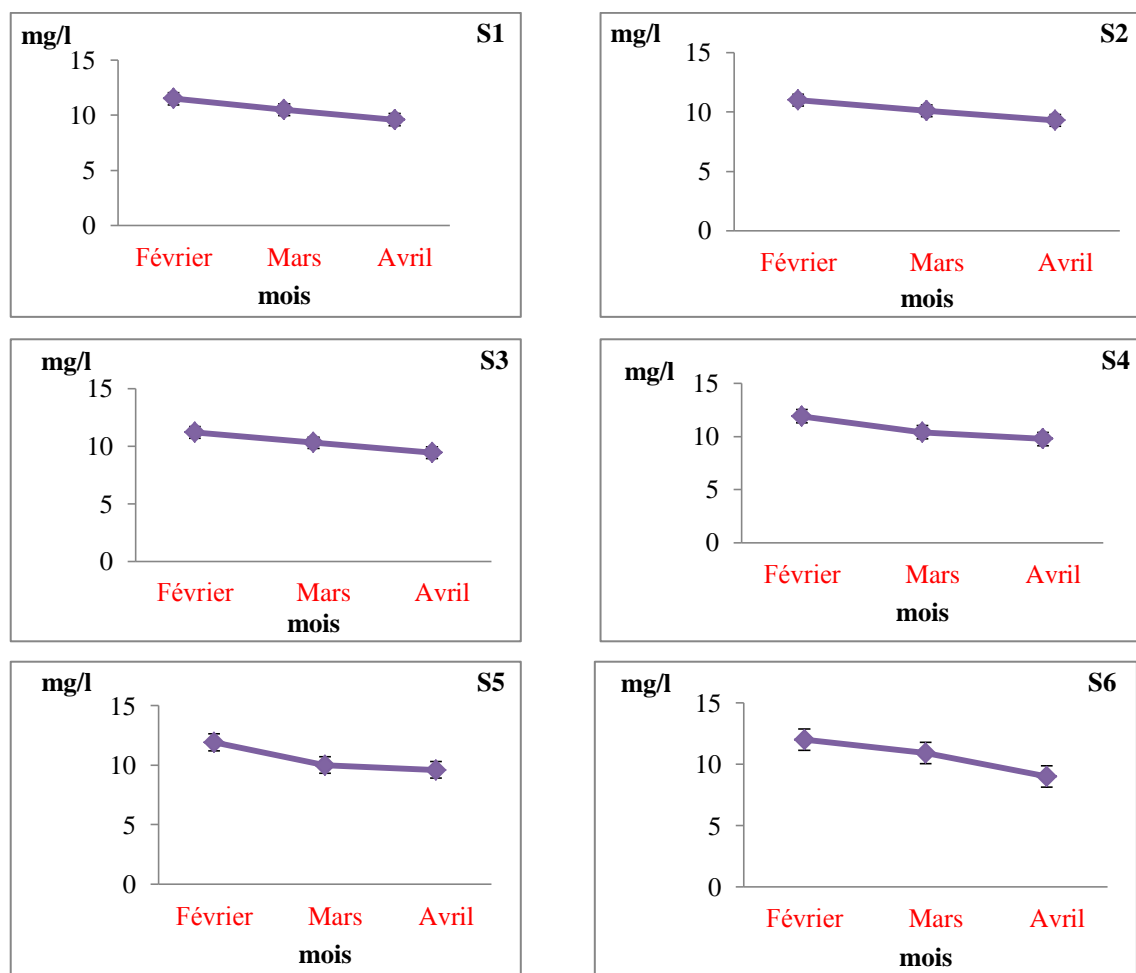


Figure 12: Variations mensuelles des teneurs en oxygène dissous de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

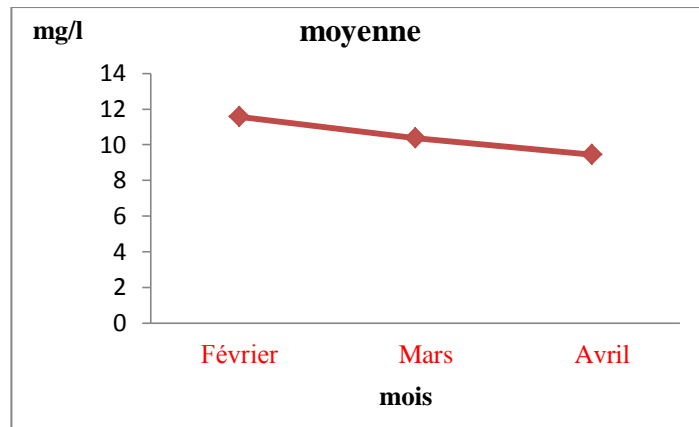


Figure 13 : Variations mensuelles de la teneur moyenne en oxygène dissous de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril ,2014).

La concentration en oxygène dissous est une variable d'état fondamentale, qui intervient dans beaucoup de processus. C'est également un bon indicateur de la santé d'un écosystème.

Ce paramètre dépend de l'activité biologique du milieu, c'est-à-dire de l'équilibre photosynthèse- respiration, des vents et de la température. Il représente alors la résultante d'un grand nombre de facteurs biotiques et abiotiques (**Boussadia , 2008**).

Selon la grille d'appréciation de la qualité des eaux du barrage Bouhamdane (ANRH ,2001) on peut classer les eaux de cet écosystème dans la catégorie normal (tab.9).

Tableau 9: Qualité des eaux en fonction de l'oxygène dissous (**ANRH ,2001**).

| l'oxygène dissous (mg/l) l'oxygène dissous (%) | qualité des eaux | Classe |
|---|------------------|--------|
| >7mg/l —> 90% | Normal | 1A |
| Entre 5et7mg/l —>70%à90% | Bonne | 1B |
| Entre 3à5mg/l —>50%à70% | Moyenne | 2 |
| <3mg/l —> <50% | Médiocre | 3 |

1.4. Les matières solides dissoutes (TDS)

La TDS (Total Dissolved Solids) correspond à la masse de la totalité des actions, anions et toutes autres espèces non dissociées présentes dans un litre de solution aqueuse (Arnold *et al.*, 1992).

Les relevées de ce paramètre montrent une évolution similaire dans les stations d'échantillonnage, illustrées toutefois, par des valeurs maximales en Février variant entre 339-365 mg/l et les minimales en période printanière variant entre 288-301 mg/l (fig .14 et15).

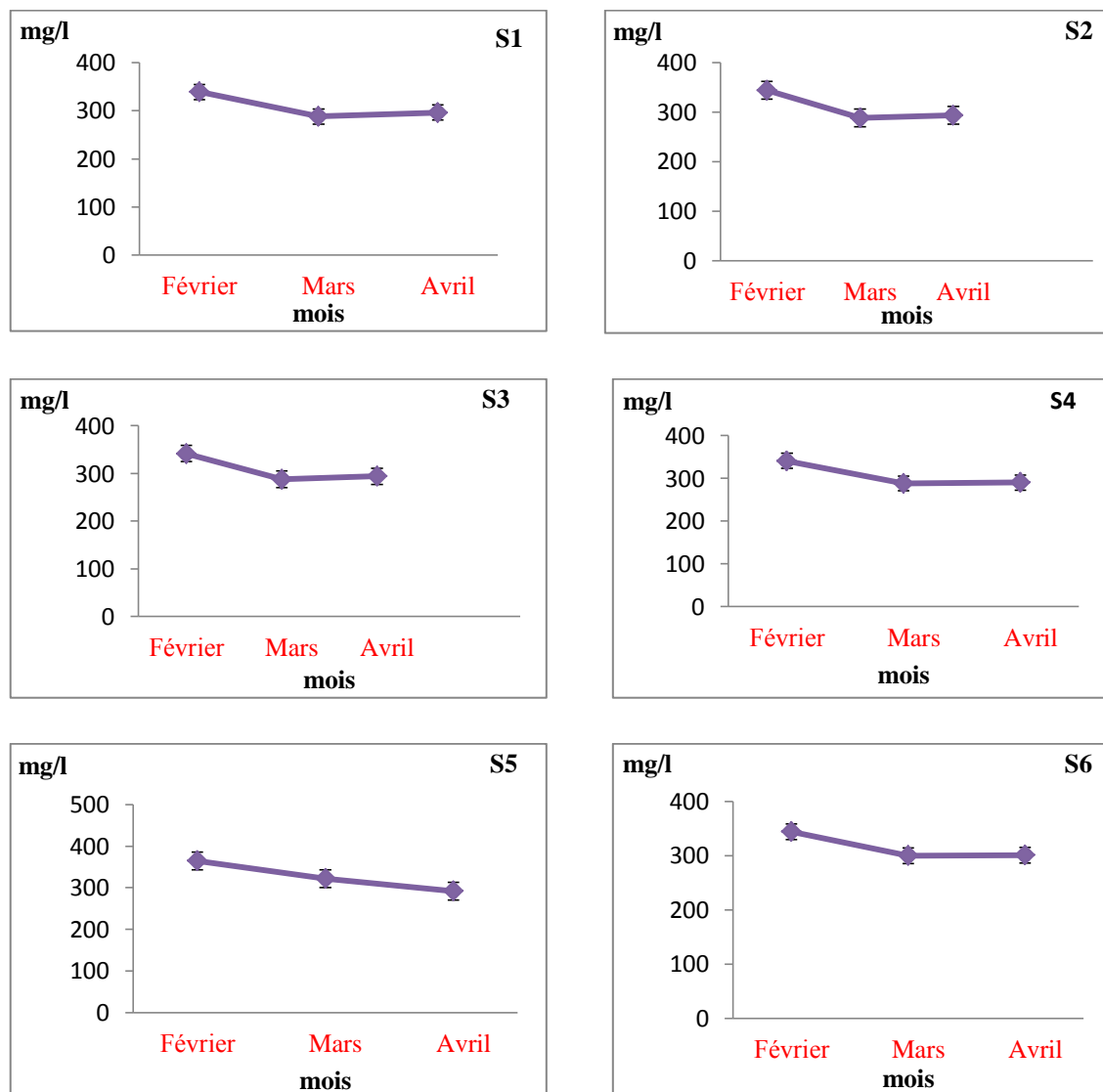


Figure 14: Variations mensuelles des TDS de l'eau dans les 6 stations
(barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

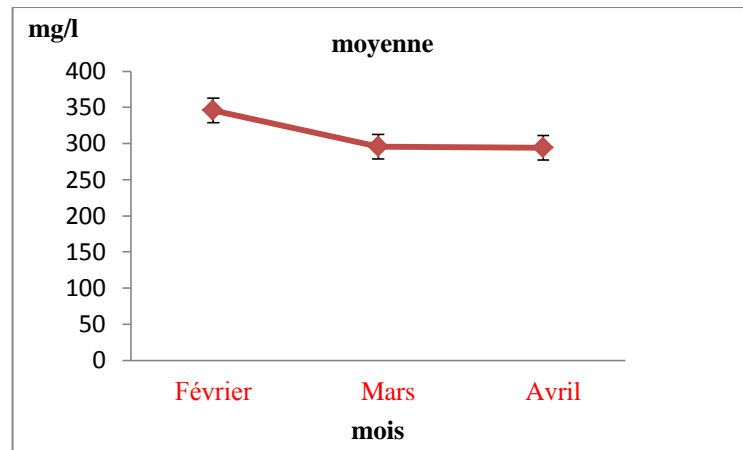


Figure 15: Variations mensuelles moyenne des TDS de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril ,2014).

Ces changements des teneurs de l'eau en matières solides dissoutes sont reliés d'une part au phénomène de dilution et d'autre part à un certain nombre de source naturelle autant que suite aux activités humaines. Les eaux de ruissellement agricoles et urbaines peuvent provoquer un surplus de minéraux dans les sources d'eaux.

D'après le calcul du facteur TDS selon l'équation :

$$\text{Facteur TDS} = \frac{\text{TDS}}{K}$$

K = conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Les eaux du barrage sont considérées normales tant que le facteur est compris entre 0.50 et 0.70, et selon L'OMS, l'eau d'une bonne qualité à un niveau de TDS qui varie entre 300 et 600 mg/l (Arnold *et al.*, 1992).

1.5. La conductivité

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Rodier, 2009).

Les données relatives à ce paramètre, montrent une importante minéralisation durant le mois de Février par rapport aux restes des mois de prélèvement dont les valeurs enregistrées dépassent généralement $700\mu\text{S}/\text{cm}$ (fig.16 et 17).

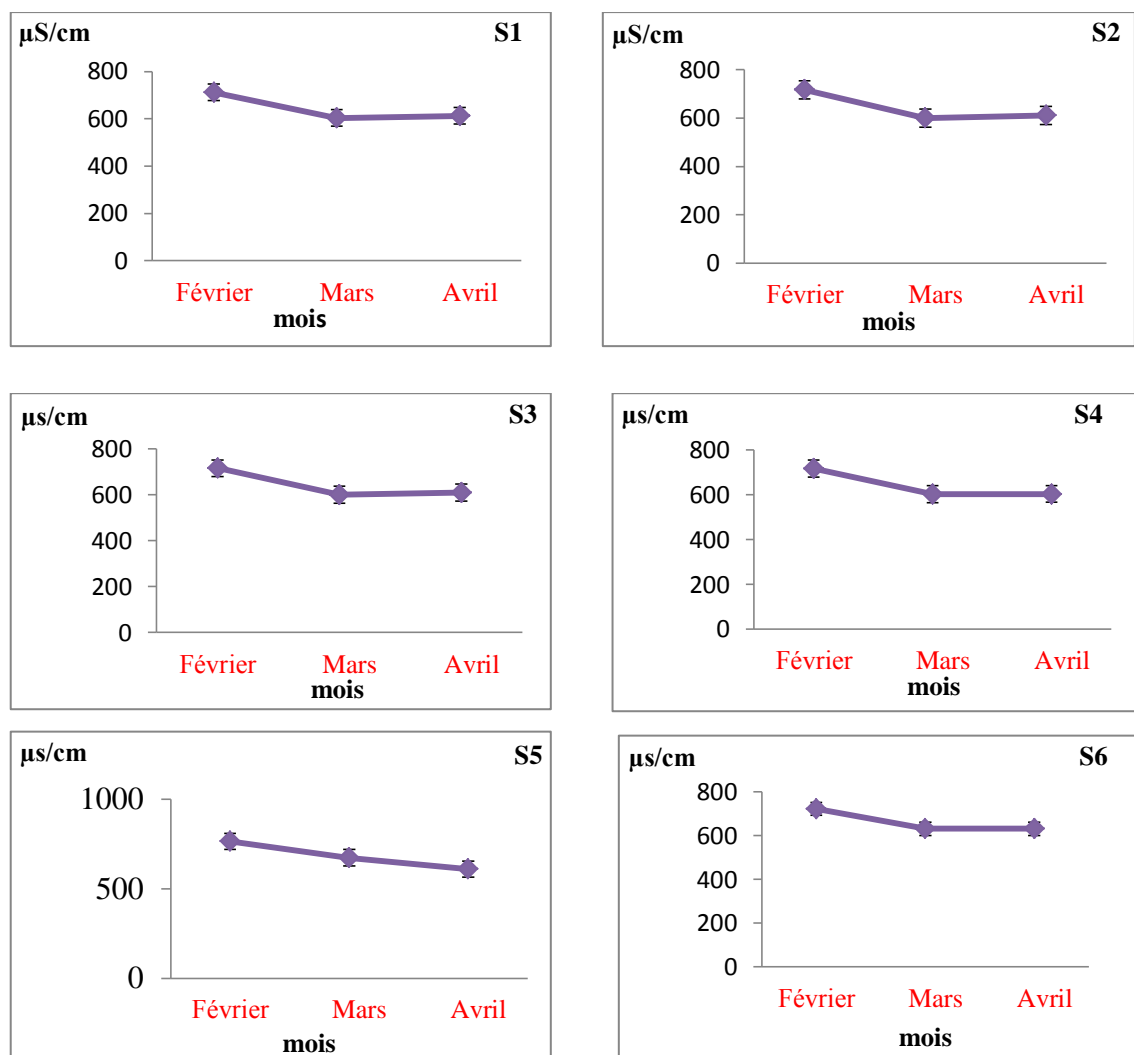


Figure 16: Variations mensuelles de la conductivité de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril, 2014).

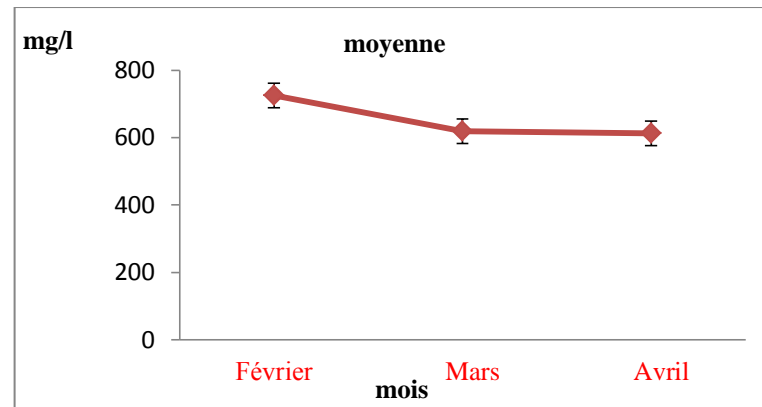


Figure 17: Variations mensuelles de la conductivité moyenne de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

De manière générale la conductivité de l'eau dépend de beaucoup de substances ou de matières inorganiques solides dissoutes dans les solutions d'eau telles que les sulfates, les chlorures et les bicarbonates. Toutes ces matières à une certaines concentrations ont la capacité d'engendrer un courant électrique.

Si le niveau de quantité de matières dissoutes dans l'eau augmente, la conductivité augmentera également.

D'après les valeurs guide de la qualité des eaux, on peut dire que ce plan d'eau est de bonne qualité (tab.10).

Tableau 10: Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Merzoug, 2009).

| Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | Qualité des eaux |
|---|------------------|
| $\text{CE} < 400$ | Bonne |
| $400 < \text{CE} < 750$ | Bonne |
| $750 < \text{CE} < 1500$ | Passable |
| $1500 < \text{CE} < 3000$ | Médiocre |

1.6. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.

Ce paramètre est important à suivre lors de la production d'eau destinée à l'alimentation humaine, car il rend compte de la bonne efficacité des étapes de clarification et de filtration. Elle permet également de suivre la dégradation de la qualité, notamment microbiologique, consécutive aux épisodes de pluies intenses (**Rodier ; 2009**).

D'après les données collectées durant la période d'étude on remarque que la teneur la plus élevée des particules en suspension de la colonne d'eau est enregistrée le mois de Mars ce qui est corrélé avec la pluviométrie importante relevée.

Notons toutefois, que les faibles teneurs sont relevées dans la station 6 (station d'eau après traitement) ce qui signifie que les traitements appliqués sont efficaces pour l'élimination de ces éléments (fig .18 et 19).

La turbidité est d'autant plus élevée que la densité des particules contenues dans l'échantillon d'eau généralement dans les eaux de surface les valeurs oscillent entre 10 et 50 NTU, après les fortes précipitations pouvant dépasser 100 NTU (**Rodier, 2009**).

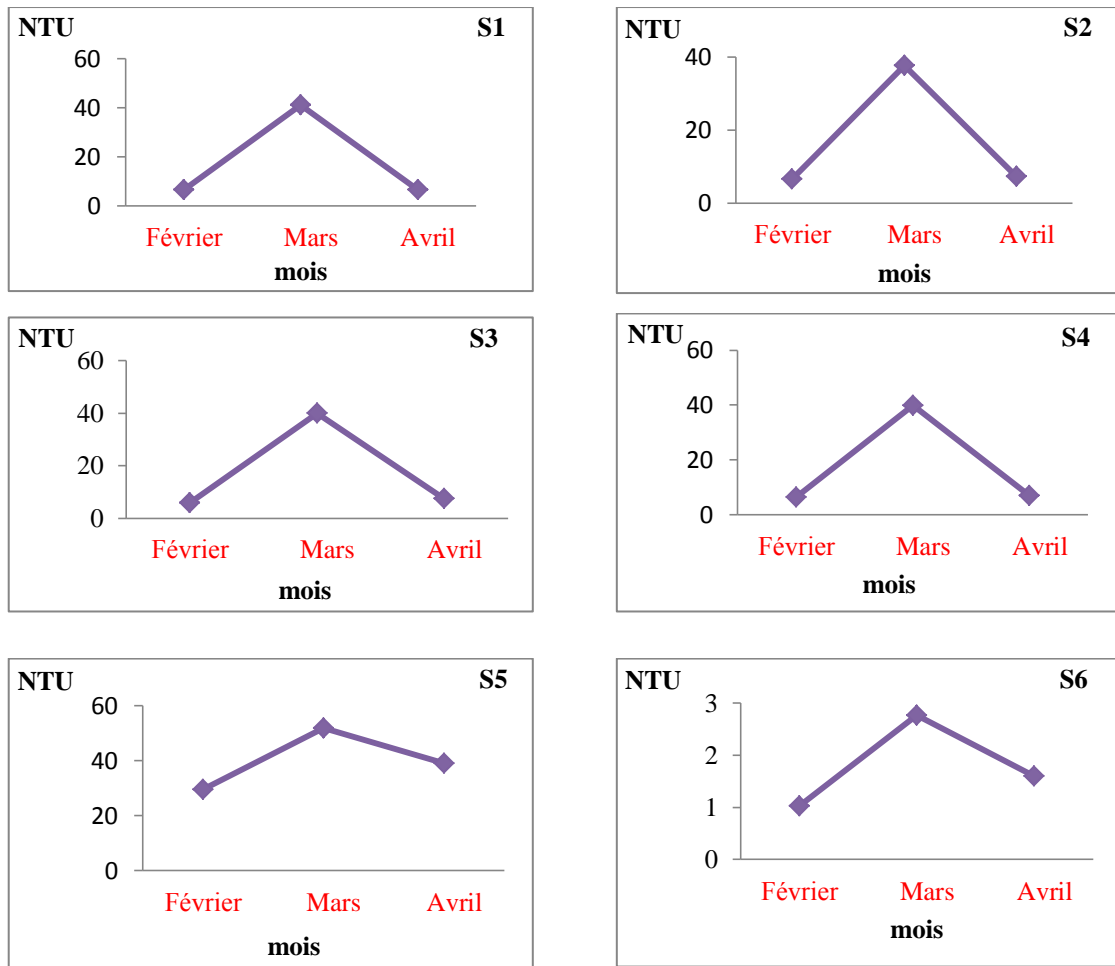


Figure 18 : Variations mensuelles de la turbidité de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

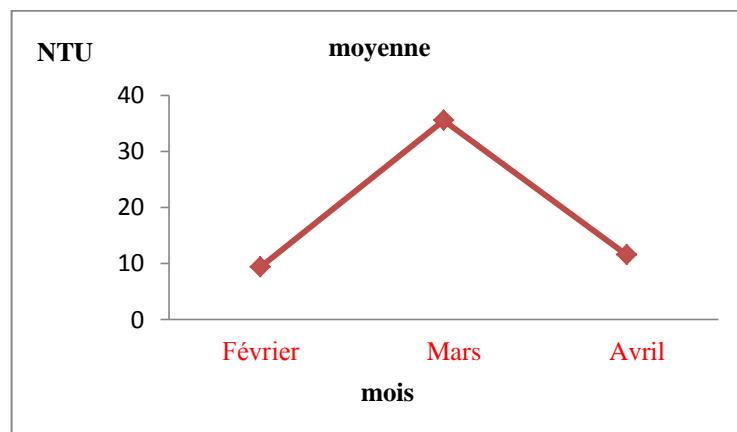


Figure19 : Variations mensuelles de la turbidité moyenne de l'eau (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

1.7. L'Ammonium (NH_4^+)

Les teneurs de cet élément présentent des variations spatio-temporelles dans les eaux du barrage. On remarque que c'est en mois de Mars que les teneurs moyennes élevées sont notées traduisant ainsi l'apport important de cet élément par le biais des ruissellements des terres agricoles, à l'exception de la station 6 où une absence d'ammonium est noté (fig.21 et 22).

Cette absence confirme l'efficacité des procédés de traitements appliqués, car cet élément réagit avec le chlore en donnant des chloramines. La présence d'azote ammoniacal après traitement de l'eau indique une chloration insuffisante. La désinfection n'a pas été réalisée (Arnold *et al.*, 1992).

Selon la grille établie par l'Agence Algérienne des bassins versants. Les eaux du barrage Bouhamdane sont de bonne qualité (tab.11).

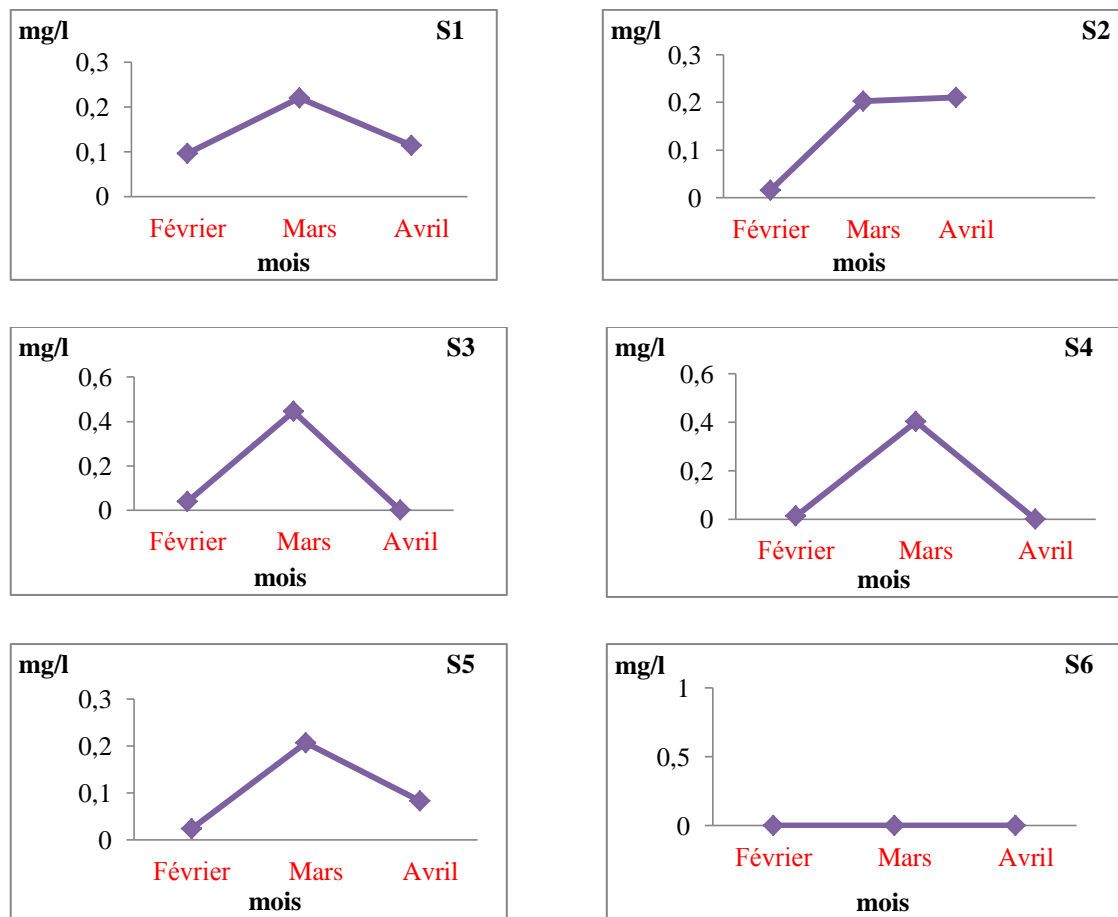


Figure 20: Variations mensuelles des teneurs d'ammonium de l'eau des 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

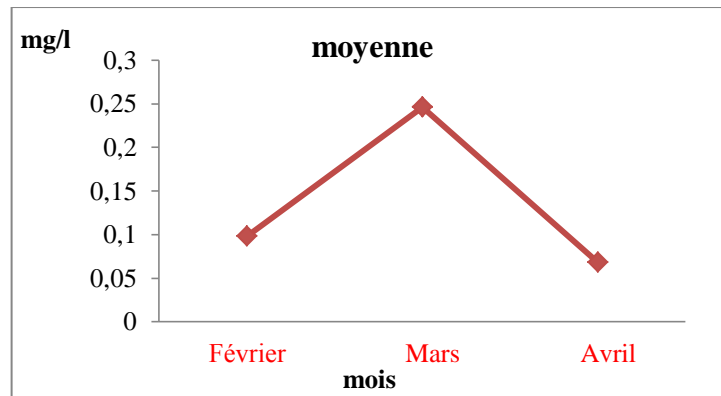


Figure 21: Variations mensuelles de la teneur moyenne en ammonium de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

1.8. Les nitrites (NO_2^-)

Dans le cycle de l'azote, les ions nitrites sont des intermédiaires entre l'azote ammoniacal et les ions nitrates (**Bousaaroura ; 2011**).

Les variations mensuelles des teneurs en nitrites de l'eau du barrage Bouhamdane montrent que les fortes teneurs sont relevées en Mars avec un maximum de 0.03 mg/l dans l'ensemble des stations de prélèvement à l'exception de la station 6 où on note une absence de cet élément (fig .22 et 23).

Les fortes teneurs relevées en période printanière sont liées principalement aux facteurs internes (résidus de la vie animal et les rejets métaboliques , excréments des poissons, phénomène de dégradation de la matière organique et externes (la précipitation, le ruissellement de surface). En revanche son absence en S6 est en relation avec les traitements appliqués.

Par comparaison aux normes de qualité des eaux de surface (admises par l'Agence Algérienne des bassins versants) (tab.11), les eaux du barrage sont d'excellente qualité.

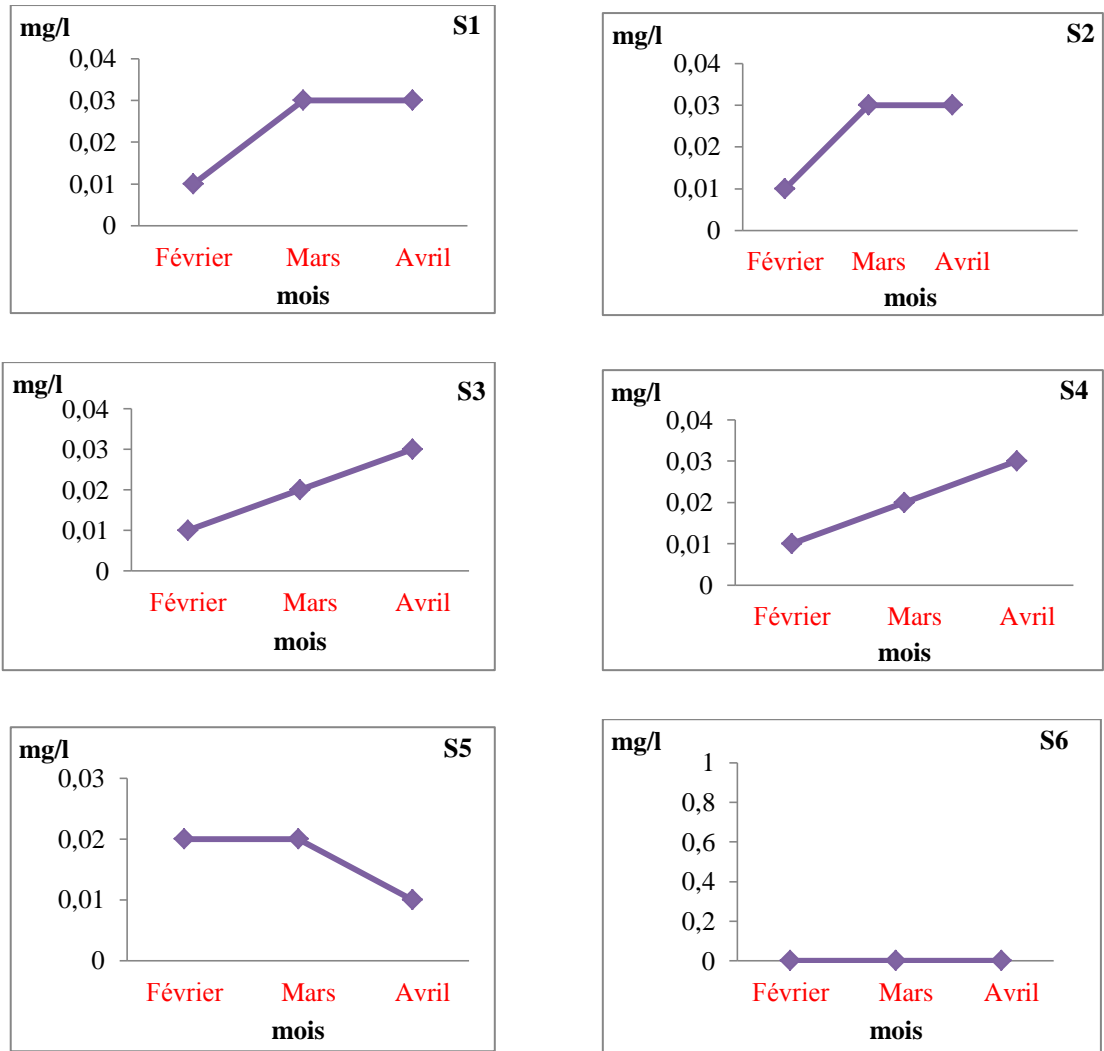


Figure 22: Variations mensuelles des teneurs en nitrites de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

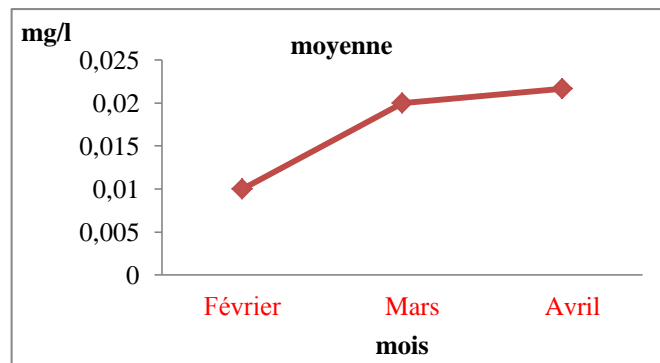


Figure 23 : Variation mensuelles des teneurs moyenne en nitrites de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

1.9. Les nitrates (NO₃)

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles (Rodier ; 2009).

Dans les eaux du barrage Bouhamdane les teneurs en cet élément varient d'un mois à un autre, mais semblablement dans les stations de prélèvements illustrées toutefois par des maxima relevées en Avril variant de (5 à 12 mg/l) et des minima en Février (1 à 2 mg/l) (fig.24 et 25).

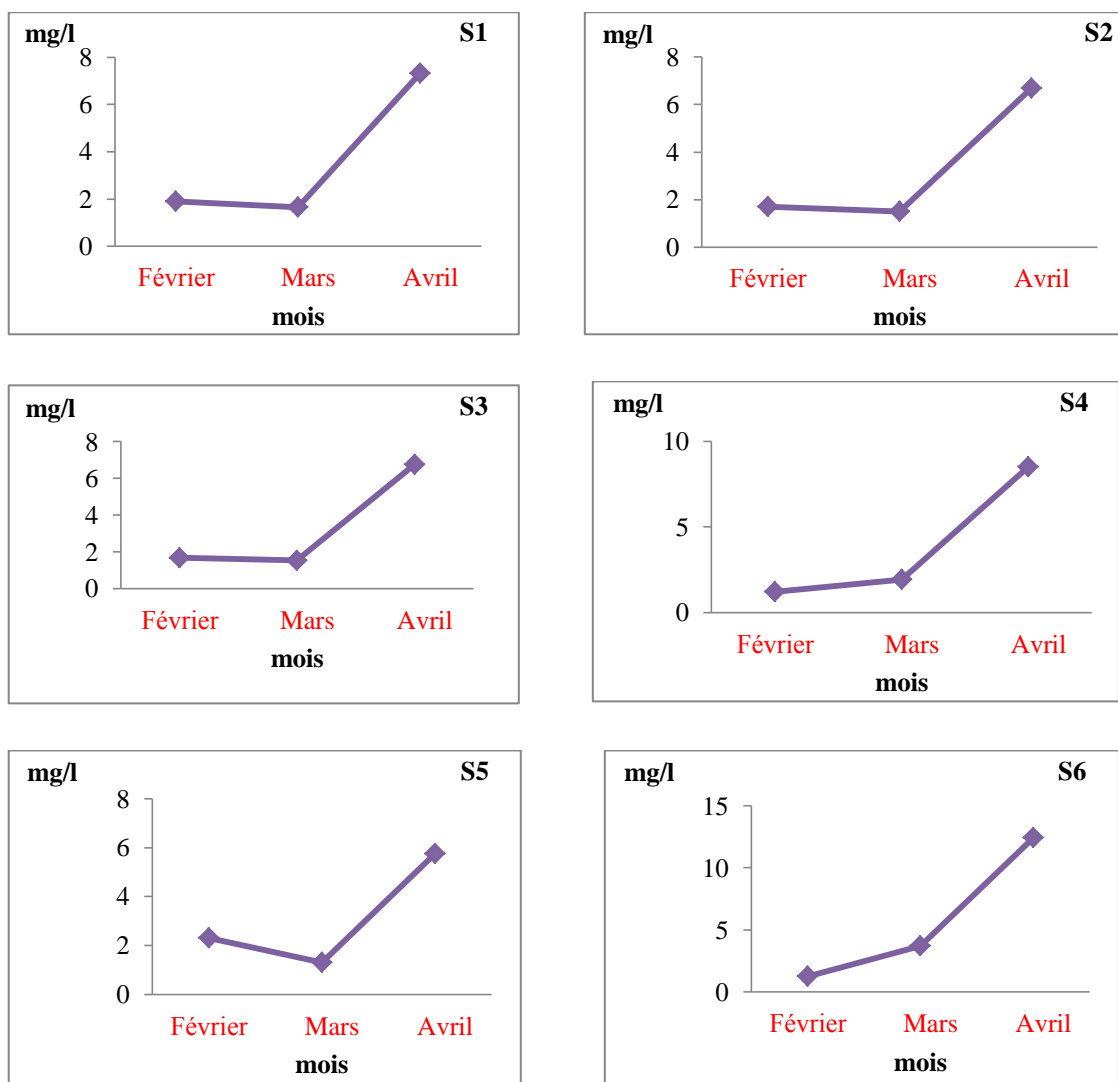


Figure 24 : Variations mensuelles des teneurs en nitrates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

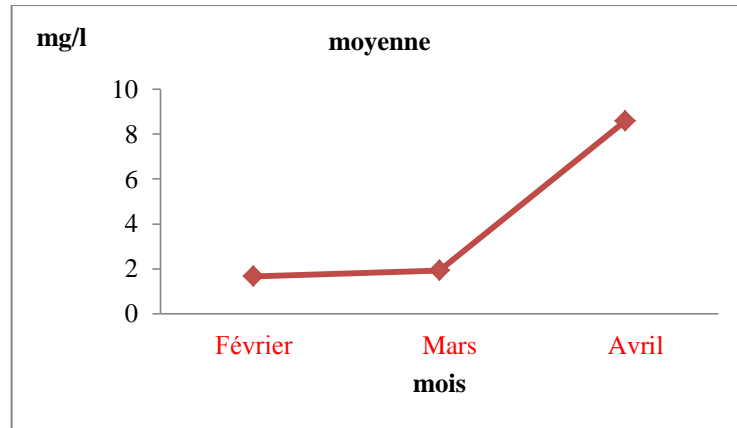


Figure 25: Variations mensuelles de la teneur moyenne des nitrates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février – Avril , 2014).

De manière générale ces changements de concentrations s'expliqueraient par un apport important d'éléments azotés et une minéralisation de la matière organique.

Les teneurs enregistrées sont < 7 mg/l ce qui attribue à ce plan d'eau d'être de bonne qualité (admises par l'Agence Algérienne des bassins versants) (tab.11).

1.10. Les orthophosphates (PO_4^{-3})

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques. Le contenu en phosphore total reprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates (détergents, rejets industriels) et les phosphates organiques (Lisec , 2004).

Cet élément présente une évolution similaire dans l'ensemble des stations. De faibles valeurs sont notées les mois de Février et Avril .tandis que les forts teneurs sont relevés le mois de Mars (fig.26 et 27).

L'augmentation ou la diminution des teneurs en cet élément sont en relation avec les apports externes accentués par les pluies et la consommation algales.

D'après les valeurs guides des orthophosphates (admises par agence algérienne de bassin versants) (tab .11). Les eaux du barrage Bouhamdane sont de bonne qualité.

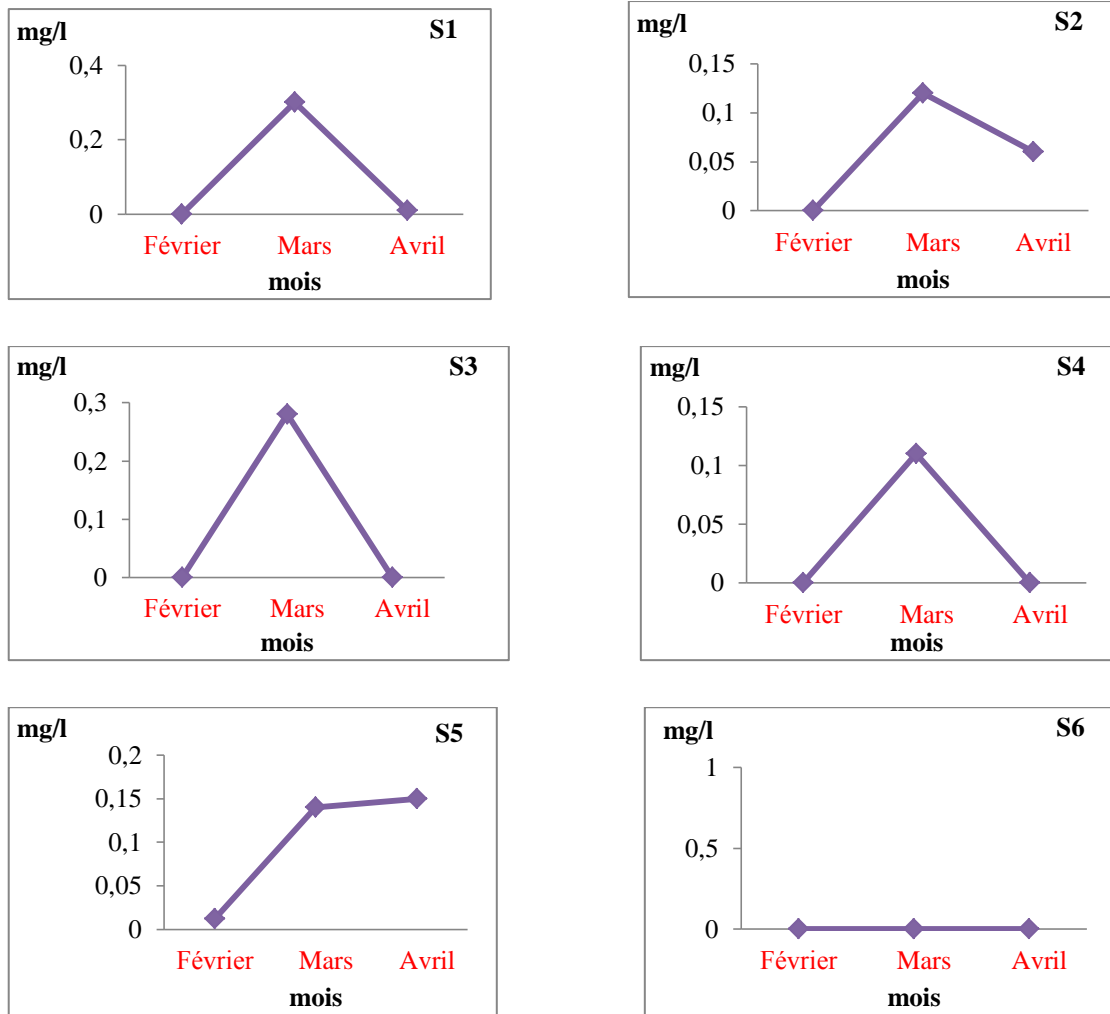


Figure 26 : Variations mensuelles des teneurs en orthophosphates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

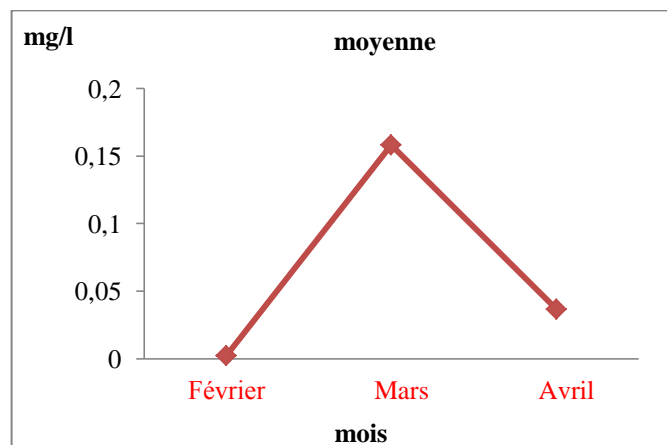


Figure 27 : Variations mensuelles de la teneur moyenne des orthophosphates de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

Tableau 11: Qualité des eaux de surface selon l'Agence Algérienne des bassins versants (1999).

| Classe de qualité | Excellente | Bonne | Passable | Médiocre | Pollution excessive |
|---------------------------|------------|-----------|----------|----------|---------------------|
| NH_4^+ (mg/l) | < 0.1 | 0.1 à 0.5 | 0.5 à 2 | 2 à 8 | > 8 |
| PO_4^{3-} (mg/l) | < 0.2 | 0.2 à 0.5 | 0.5 à 1 | 1 à 2 | >2 |
| NO_3^- (mg/l) | < 5 | 5 à 25 | 25 à 50 | 50 à 80 | >80 |
| NO_2^- (mg/l) | < 0.1 | 0.1 à 0.3 | 0.3 à 1 | 1 à 2 | >2 |

1.11. Les matières en suspension (MES)

Ce paramètre présente des variations spatio-temporelles. On remarque que les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la S5 (40mg/L).

Dans la S6, les valeurs sont très faibles. Pour le reste des stations les teneurs ne dépassent pas 10 mg/l (fig.28 et 29).

Les variations de MES sont liées particulièrement au chemin parcouru par l'eau, de la pluviométrie et des rejets urbains en plus de la dégradation de la matière animal ou végétale qui se trouvent dans la colonne d'eau. Elles doivent être absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine (Directive de communautés européennes) (Arnold *et al.*, 1992).

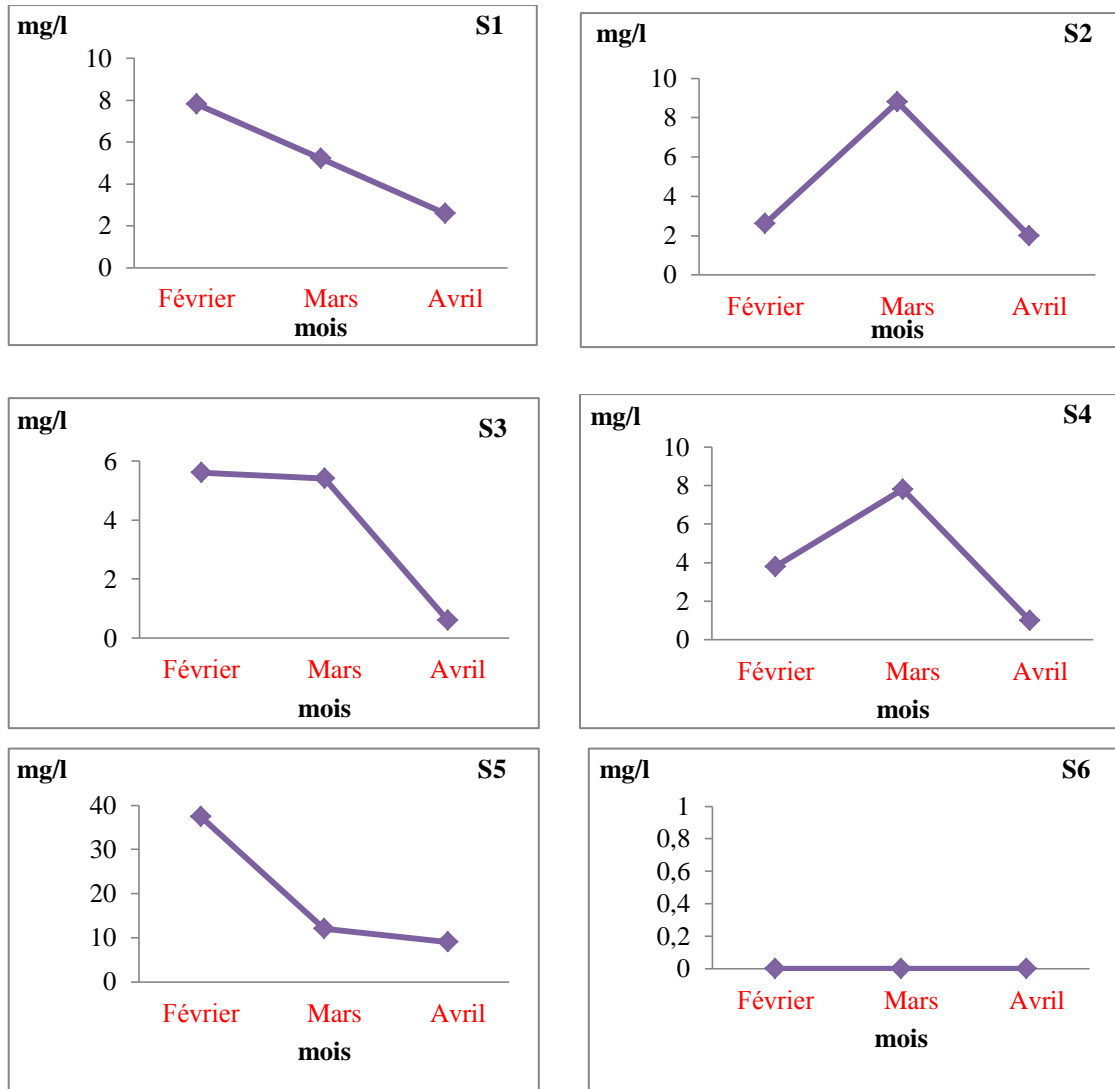


Figure 28: Variations mensuelles des teneurs en MES de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

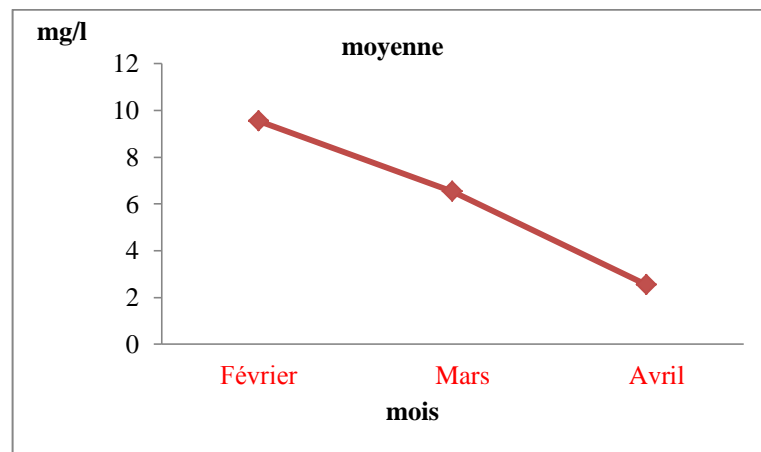


Figure 29: Variations mensuelles de la teneur moyenne des MES de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

1.12. La chlorophylle a

Durant la période d'étude on remarque l'absence de ce pigment les mois de Mars et Avril dans l'ensemble des stations d'échantillonnage, en revanche c'est au mois de Février que des teneurs supérieures à 1 $\mu\text{g/l}$ sont relevées. A l'exception de la station 6 où on note une absence totale (fig.30 et 31).

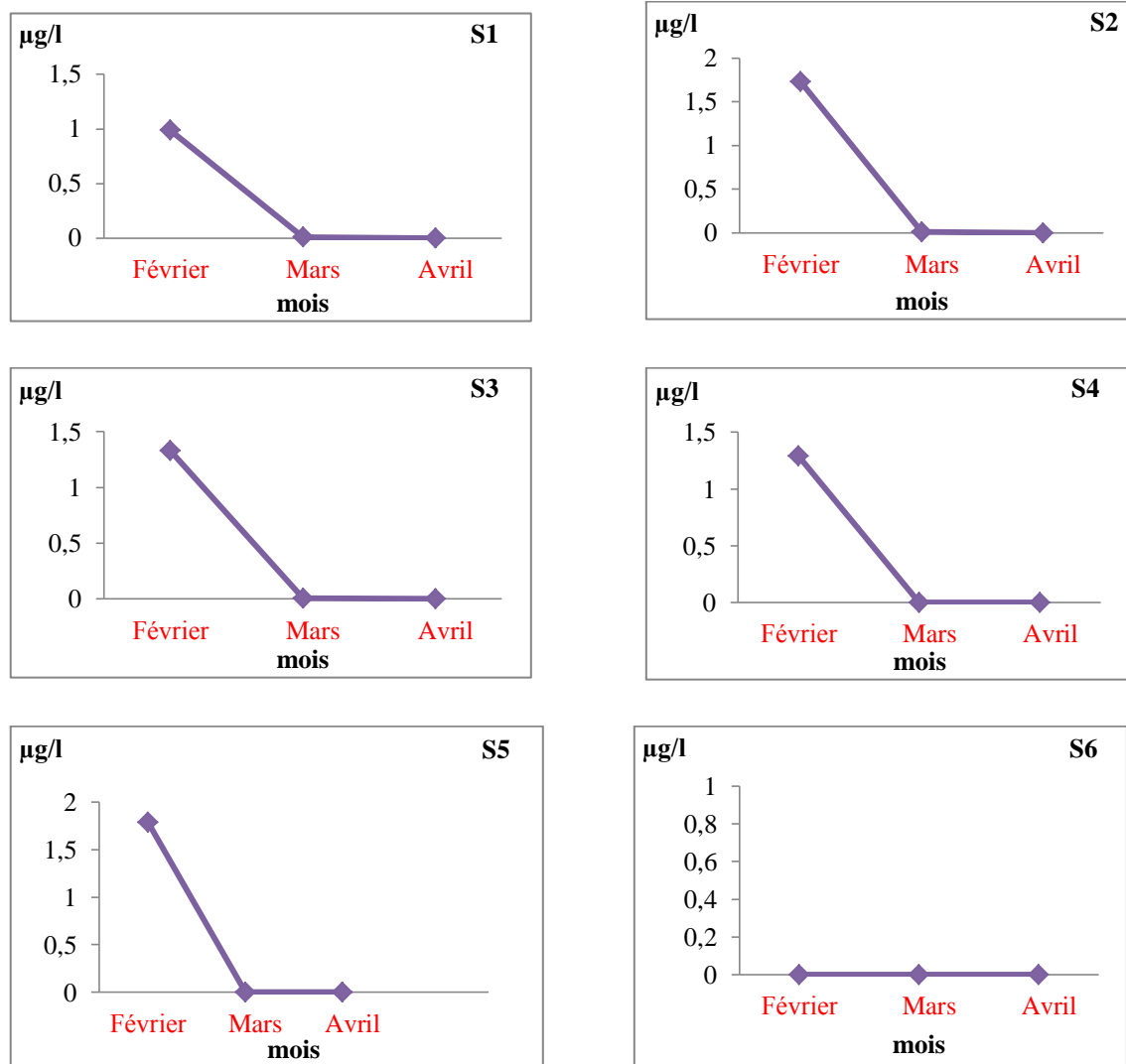


Figure 30: Variations mensuelles des teneurs en chlorophylle a de l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

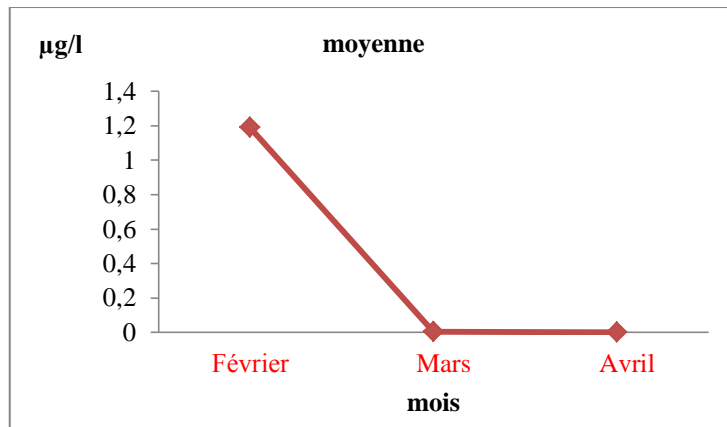


Figure 31: Variations mensuelles de la teneur moyenne en chlorophylle a l'eau dans les 6 stations (barrage Bouhamdane : Février - Avril , 2014).

Les variations des teneurs en chlorophylle a fournissent une indication globale et intégratrice des réponses de la communauté phytoplanctonique aux fluctuations de son environnement (Quéguiner ,2007). À savoir la température, l'intensité lumineuse, en plus des dilutions qui affectent les communautés phytoplanctoniques.

En ce basent sur les valeurs seuils de l'état trophique des plans d'eau (Galvez *et al.*, 2002), représentés dans le tableau 12 , on peut placer les eaux du barrage Bouhamdane dans la catégorie oligotrophe au cours de cette période d'étude.

Tableau 12 : Valeurs des seuils de l'état trophique des plans d'eau (Galvez *et al.*, 2002)

| Degré de trophie | P total µg/ L | Chlorophylle a moyenne µg/L | Chlorophylle a maximum µg/L | Secchi moyenne m | Secchi minimum m |
|---------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| Ultra- oligotrophe | < 4 | < 1 | < 2.5 | > 12 | > 6 |
| Oligotrophe | < 10 | < 2.5 | 2.5 - 8 | > 6 | > 3 |
| Mésotrophe | 10 - 35 | 2.5 - 8 | 8 - 25 | 6 - 3 | 3 – 1.5 |
| Eutrophe | 35 - 100 | 8 - 25 | 25 - 75 | 3 – 1.5 | 1.5 – 0.7 |
| Hypereutrophe | > 100 | > 25 | > 75 | < 1.5 | < 0.7 |

2. Etude des cyanobactéries

L'observation microscopique des échantillons collectés durant la période d'étude Février - Avril 2014, tout en se basant sur les clés proposées par Bourelly (1985) , Bergey (1987) et Komarek (2001) montre l'absence des cyanobactéries.

En revanche, une autre classe phytoplanctonique a pu être identifiée, il s'agit principalement des diatomées.

Cette absence des cyanobactéries, classe cible de notre étude ne peut être expliqué que par les conditions défavorables à leur croissance :

- La température comprise entre (9-14°C).
- Le vent très fort, et par conséquent une colonne d'eau instable.
- Précipitation très élevées (1.1-121 mm).

Le plus important c'est que les concentrations des sels minéraux étaient trop faibles pour favoriser la croissance de ces micro-organismes.

Les conditions propices d'une prolifération de cyanobactéries sont :

- Des concentrations élevées en nutriments dont le phosphore et/ou l'azote qui sont souvent les éléments nutritifs limitant dans les plans d'eau (**Chorus et Mur 1999, Deppe et al., 1999**).
- Une stabilité élevée de la colonne d'eau au moment du développement de l'efflorescence et dans la période précédant cet événement.
- Ainsi que les conditions météorologiques favorables telles que : la luminosité et la température.

Concernant le premier facteur, la théorie développée par (**Tilman ,1982**) puis reprise par beaucoup d'autres auteurs (**Interlandi et Kilham , 2001**), prédit que la diversité d'une communauté est positivement corrélée au nombre de nutriments à niveaux limitant dans le système où se trouve cette communauté.

(**Huisman et al., 2001**) ont montré que la compétition pour les nutriments mais aussi pour la lumière pouvait générer des oscillations et des fluctuations chaotiques dans l'abondance, qui permettent la coexistence de nombreuses espèces.

En revanche, en situation de ressources limitées, la sélection de l'espèce la plus adaptée aux conditions du milieu se traduira par sa dominance au sein de la communauté.

Concernant la stabilité de la colonne d'eau, le même type de mécanisme peut être évoqué et une forte stabilité permet la sélection des espèces les plus compétitives. En revanche, des perturbations intermédiaires génèrent des changements dans la dominance des espèces et favorisent ainsi la richesse et la diversité spécifique (**Barbiero *et al.*, 1999, Flöder et Sommer, 1999**).

Concernant les concentrations en nutriments, la plupart des proliférations de cyanobactéries surviennent dans des milieux eutrophes dont les charges en phosphore, principalement sous forme d'orthophosphates sont élevées (> 50 µg./l en P).

La réduction des charges en nutriments, et surtout des apports en phosphore, est considérée comme une priorité pour prévenir le développement de proliférations de cyanobactéries (**Chorus ; Mur, 1999 ; Deppe *et al.*, 1999**).

Les précipitations peuvent aussi avoir un effet sur l'abondance des cyanobactéries en surface, en entraînant les cellules vers des couches d'eau plus profondes. En effet, l'absence cellulaire en surface suite aux épisodes de précipitations, concorde probablement avec une augmentation de l'abondance des cellules en profondeur ; L'absence de précipitations pourrait ainsi être un facteur favorisant la persistance des cyanobactéries en surface.

Il est souvent fait référence à une saisonnalité caractéristique des blooms dans les régions tempérées, la plupart ayant tendance à apparaître en été. C'est généralement le cas en Bretagne où la période de Mai à Septembre est considérée comme la plus favorable au développement des cyanobactéries. Cependant un phénomène récent est à noter: dans certains sites des cyanobactéries peuvent encore être observées en quantité importante en automne et parfois même pendant la période hivernale (**Brient *et al.*, 2001**).

Conclusion et perspectives

La présente étude nous a permis de conclure que la température est le facteur critique contrôlant la production primaire dans les milieux aquatiques, favorisant ainsi, l'accélération des processus métaboliques au niveau de la colonne d'eau et par conséquent influence la dégradation des matières organique et le recyclage des sels nutritif (nitrite, nitrate, ammonium et orthophosphate).

Par ailleurs, la stabilité de la colonne d'eau serait le facteur principal contrôlant les teneurs de ces éléments.

L'étude de la qualité physico-chimique de l'eau du barrage Bouhamdane montre que les variations relevées reflètent une synergie d'un ensemble des facteurs environnementales et que les concentrations des éléments minéraux sont inférieurs aux normes requises, certifiant que l'eau du barrage Bouhamdane (Wilaya de Guelma) et chimiquement non polluée.

L'observation microscopique des échantillons d'eau destinés à l'analyse des cyanobactéries indique que l'eau du barrage Bouhamdane (Wilaya de Guelma) est dépourvu de cyanobactéries, notons en revanche la présence de d'autre espèce phytoplanctoniques.

De manière générale peut considérer que les « conditions défavorables » à la prolifération excessive des cyanobactéries sont souvent la conjoncture de plusieurs facteurs complexes. Cependant, un facteur essentiel à leur croissance est la présence d'éléments nutritifs et plus particulièrement l'azote et le phosphore.

Et enfin, en se référant aux valeurs guides de la chlorophylle a, admises par l'O.E.D.D. nous pouvons placer les eaux du barrage Bouhamdane dans la catégorie oligotrophe au cours de cette période d'étude.

Conclusion et perspectives

A la suite de toutes ces observations, il serait utile d'élaborer un programme de surveillance des plans d'eau basé sur :

- Un suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau.
- Prolonger la durée d'étude à un cycle au plus afin d'assurer toutes les variations saisonnières.
- Faires des prélèvements de cyanobactéries à différents profondeurs.
- Prélever des modèles animales, et doser les toxines extracellulaires à leurs niveaux.

Résumé

Le présent travail porte sur l'étude des peuplements de cyanobactéries et la caractérisation physico-chimique de l'eau du barrage Bouhamdane -Wilaya de Guelma- durant la période s'étalant de Février - Avril, 2014.

L'observation microscopique des échantillons d'eau destinée à l'analyse des algues-bleues verts montre l'absence de ces micro-organismes en réponse aux facteurs défavorables du site d'étude.

L'analyse physico-chimique de l'eau du barrage révèle que sur l'ensemble des paramètres étudiés, la variation est en relation étroite avec les facteurs environnementaux et permettent de le placer dans la bonne qualité et les traitements appliqués sont efficaces.

En se basant sur la teneur de la chlorophylle a on peut classer les eaux du barrage dans la catégorie oligotrophe.

Mots clés : barrage ; cyanobactéries ; physico-chimique ; oligotrophe.

Abstract

This work focuses on the study of populations of cyanobacteria and physico-chemical characterization of water from the dam Bouhamdane, Guelma country during the period from February to April, 2014.

Microscopic observation of water samples for the analysis of blue-green algae, shows the absence of these micro-organisms in response to unfavorable factors of the study site.

The physico-chemical analysis of water from the dam revealed that of all the parameters studied, the variation is closely related to environmental factors and allow the place in good quality and applied treatments are effective.

Based on the content of chlorophyll a can be classified waters of the dam in the oligotrophic category.

Keywords: dam; cyanobacteria; physico-chemical; oligotrophic.

الملخص

ترتكز هذه الدراسة على تجمع البكتيريا الزرقاء والخصائص الفيزيوكيميائية التي توصف مياه سد بوحمدان " ولاية قالمة " خلال الفترة الممتدة من فيفري إلى أفريل 2014 .

أظهرت الملاحظة تحاليل لعينة المياه لتحليل الطحالب الزرقاء عدم وجود هذه الأخيرة ويعود ذلك لعدم توفر العوامل الملائمة في موقع الدراسة.

التحاليل الفيزيوكيميائية لمياه السد على أن مجموعة المعايير المدروسة ترتبط ارتباط وثيق بالعوامل البيئية كما سمحت بتصنيف ماء السد ذا نوعية جيدة و المعالجة المطبقة فعالة.

بناء على كمية الكلوروفيل "a" تشير إلى أن السد يصنف ضمن الفئة الشحيحة.

الكلمات المفتاحية : السد؛ البكتيريا الزرقاء؛ الكيمياء الفيزيائية ؛ الشحيحة.

Références bibliographiques

- **Aberkan M., Harkat R et Mkhalfi M., (2011):** Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet Hadj Tahar (Skikda). Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 Guelma.
- **Afssa et Afsset ., (2006) :** Rapport commun sur les risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau. 194p
- **AFNOR NF T90-015-1., (2000) :** Qualité de l'eau – Dosage de l'ammonium – Partie 1: méthode par titrimétrie après entraînement à la vapeur. p200-201
- **Agence Algérienne des bassins versant ., (1999) :** Le cahier de l'agence : bassin hydrologique constantinois –Seybousse –Mellduge .Le bassin du kebir Rhumel n°2C,pp :33.
- **Agence Nationale des Barrages « ANB » ., (2014) :** Barrage de Hammam Debagh. Document dactylographié ,18p .
- **Aminot A et Chaussepied M., (1983) :** Maneuls d'analyses chimiques en milieu marin. C.N.E.X.O.France.993p.
- **Amino et Kerouel., (2004) :** Manuel d'analyses chimiques en milieu marin. C.N.E.X.O.France. 993p.
- **ANRH., (2001) :** Agence nationale des ressources hydrique.
- **Arnold G., Lenore C et Andrew E., (1992) :** Standard methods for the examination of water and wasterwaters ”, 18ème édition partie 2540C, page 2-55.
- **Baba Ahmed F., (2005) :** Evaluation de la contamination fécale de trois plans d'eau du complexe des zones humides d'EL Kala (oubeira, Tonga, Mellah). Mémoire de magister en écologie animale. Université d'Annaba. pp : 185
- **Barbiero P., James F et Barko W., (1999) :** The effects of disturbance events on phytoplankton community structure in a small temperate reservoir. *Freshwater Biol.* 42, 503-512.
- **Bensafia ., (2005) :** Les peuplements de cyanobactéries de deux plans d'eau douce (Lac Oubeira, lac Tonga) « inventaire et dynamique spatio-temporelle ». Mémoire de magister en biologie marine. Université d'Annaba.pp : 111
- **Bernazeau F., Bandin I., Pieronne P., Bruchet A et Anselme C., (1995) :** Traitement des problèmes des toxines générées par les algues. TSM. Volume 10.747-748p.

- **Berger C., (2005) :** Cyanobactéries du Bas Delta du fleuve Sénégal: diversité, toxicité, toxines et risques associés. Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 211 p.
- **Blais S., (2002) :** La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi Agrosol. 2002, 13 (2) : 103-110p.
- **Bonnélye V., Baudin I., Bernazeau F., Gislette P et Mouchet P., (1995) :** Elimination des algues planctoniques : efficacité des filières de traitement. TSM. Volume 10.721p.
- **Bouaïcha N., (2002) :** La ruée vers l'eau en Algérie, Maroc et Tunisie. Université Paris -Sud, UFR de Pharmacie / Laboratoire Santé Publique-environnement .2 p.
- **Boulesnane et Chaïbi., (2002) :** Les cyanobactéries dans un plan d'eau douce : le lac oubeira ; inventaire et dynamique. Mémoire d'ingénieur en aquaculture. Université d'Annaba. pp : 54.
- **Bourelly P., (1985) :** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III : Les algues bleues et rouges. Eugléniens, Péridiniens et cryptomonadines. Société. NouvellesEditionsBoubée, 607pp.
- **Boussaourou A., (2011) :** Etude de la qualité bactériologique et physico-chimique du lac Tonga.Mémoire de master II. (université de 8Mai 1945 Guelma) pp : 20 ,53 ,52
- **Boussadia I., (2008) :** Les cyanobactéries peuplant les lacs Tonga et Oubeira « Parc National d' El Kala ». Inventaire et distribution spatio-temporelle, Mémoire de magistère en microbiologie appliquée, Université d'annaba ,105p.
- **Briande E., (2008) :** Contribution à la compréhension du déterminisme de la mise en place des cyanobactéries et de leur production de toxines. Mémoire de Doctorat. Museum national d'histoire naturelle. 223p
- **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.61p.
- **Carlèle R., (1994) :** futher studies to investigate microcystin-LR and anatoxin.-a removal From Water. Report FR 0458, Foundation For Water research , Marlow , Buckinghamshire . 44p.
- **Castany G et Margot T., (1977) :** Dictionnaire Français D'hydrogéologie, géologie minière.249p.
- **Chaouch R., Moumed S et Mebarki F., (2009) :** Suivi de quelques paramètres physicochimiques et bactériologiques dans les eaux du barrage et de l'Oued de

Bouhamdane .Mémoire d'Ingénieur d'état en biologie, Université de 8 Mai 45 Gulema ,56p .

- **Chorus I et Bartram J., (1990) :** Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management, ed. by E et FN Spon on behalf of the World Health Organisation. pp :1-416.
- **Chorus I et Mur L., (1999) :** Preventative measures. In Toxic Cyanobacteria in Water : a guide to their public health consequences, monitoring and management. London, Spon, E. et F.N. p. 235-273.
- **Chow W ., Hous J., Velzeboer M ., DRIKAS M., Burch D et steffensen A., (1997) :** the effect of Ferric chloride flocculation ou cyanobacterial cells . *Journal water SRT Aqua*. Volume 46. pp : 324-334
- **Cox P., Banack S., Murch J., Rasmussen U., Tien G., Bidigare R., Metcalf J., Morrison L., Codd G et Bergman B., (2005) :** Diverse taxa of cyanobacteria produce b-N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102 (14), 5074-5078.
- **Croll B et Hart J., (1996) :** Algal toxins and customers. Paper presented at the UKWIRAWWART Technology Transfer conference, Philadelphia
- **Dajoz R., (1985) :** précis d'écologie.5^{ème} édition, pp7-318
- **Deppe T., Ockenfeld K., Meybohm A., Opitz M et Benndorf J., (1999) :** Reduction of *Microcystis* blooms in a hypertrophic reservoir by a combined ecotechnological strategy. *Hydrobiologia* 408/409, 31-38.
- **Detay M., (1993) :** le forage d'eau ; réalisation, entretien et habilitation.masson.379p.
- **Dillon G., Miller S., Bebout B., Hullar M., Pinel N et Stahl A., (2009) :** Spatial and temporal variability in a stratified hypersaline microbial mat community. *FEMS Microbiol Ecol.* 68(1):46-58p.
- **Falconer I ., Runneger M., Buckley T ., Huynh V et bradshaw P ., (1998) :** Using activated carbon to remove toxicity from drinking Water cantaining cyanobacterial blooms .*Journal American Water Works Association*. Volume 81 , 102-105p.
- **Falkowski G et Knoll A., (2007) :** Evolution of Primary Producers in the Sea. China: Elsevier Academic Press.
- **Fay P., (1983) :** The blue-greens, London; Baltimore, Md., U.S.A.: E. Arnold.
- **Flöder S et Sommer U., (1999) :** Diversity in planktonic communities : An experimental test of the intermediate disturbance hypothesis. *Limnol. Oceanogr.* 44, 1114-1119.

- **Fermy J et Patrick L., (2001) :** Toxines d'algues dans l'alimentation. Plouzané, Editions Ifremer. 553 p.
- **Fustec E et Lefeuvre J., (2000) :** Fonctions et valeurs des zones humides, Dunod Paris ,426p.
- **Galvez R., Ize S et Arsenault S., (2002) :** La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophisation. Vecteur environnement. Vol 35.N° 6 : 18-37p.
- **Greuter J ., Neil F., Barrie M ., Burdet V., Demoulin T., Filgueiras H., Nicolson P., Silva J ., Skog P., Trehane N et Hawksworth D., (2000) :** International Code of Botanical nomenclature (Saint Louis Code). Regnum Vegetabile, Koeltz scientific Books, 474 p.
- **Groupe scientifique sur l'eau., (2004) :** Cyanobactéries et cyanotoxines (eau potable et eaux récréatives). Dans : Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 18 p.
- **Gugger M., Lyra C., Henriksen P., Couté A., Humbert J et Sivonen K., (2002) :** Phylogenetic comparison of the cyanobacterial genera Anabaena and Aphanizomenon. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 52 -1867-1880 p.
- **Hart J et Stott P., (1993) :** Microcystin-LR Removal from Water. Report FR0367. Foundation for Water Research, Mariow, UK.
- **Hengfeng et Wenyi T., (2008) :** The mechanisms of ozonation ou cyanobacterial and its toxins removal. Separation and purification Technology. Volume 66, n° 1, 187-193p.
- **Himberg K., Keijola M ., Hiisvirta L ., Pyysalo H et Sivonen K., (1989) :** the effect of Water treatment processes on the removal of hepatotoxins from Microcystis and Oxillatoria cyanobacteria : Alaboratory study. Water Research Volume 23,979-984p.
- **Ho L., Onstad G ., Von G., Rinck-Pfeiffer S., Craig K et Newcombe G., (2006) :** Differences in the chlorine reactivity of from microcystin analogues . Water Research. Volume 40 n° 6. P1200-1209p.
- **Hoffmann L., Komarek J et Kastovsky J., (2005) :** System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria)- state in 2004. Algol. Stud. 11 -7 95-115p.
- **Huisman J ., Johansson M ., Folmer E et Weissing F., (2001) :** Towards a solution of the plankton paradox: the importance of physiology and life history. *Ecol. Lett.* 4, 408-411.

- **Interlandi S et Kilham S., (2001) :** Limiting resources and the regulation of diversity in phytoplankton communities. *Ecology* 82, 1270-1282.
- **ISO 7890-3 (1998) :** Qualité de l'eau – Essais des eaux – Dosage des nitrates – Partie 3 méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique.p328-329
- **Jaeg J., (2007):** Microcystines : intoxication des animaux domestiques et sécurité des aliments d'origine animale. 158, 2, 46-58p.
- **Jungblut A et Neilan B., (2005) :** Molecular identification and evolution of the cyclic peptide hepatotoxins, microcystin and nodularin, synthetase genes in three orders of cyanobacteria. *Arch Microbiol.* 185(2):107-114p.
- **Keijola A., Himberg K., Esala A., Sivonen K et Hiisvirta L., (1988) :** Removal of cyanobacterial toxins in Water Treatment Processes : laboratory and pilot-scale experiment. *Toxicity Assessment.* Volume 3, n°5. 643 – 656p.
- **Komárek J et Anagnostidis K., (1998) :** Cyanoprokaryota. 1. Teil. Chroococcales. in: *Süßwasserflora von Mitteleuropa.* E. H., G. Gärtner, H. Heynig et D. Mollenhauer, Stuttgart-Jena, 548 p.
- **Komárek J., Azeedo P., Domingos J., Komárková J et Tich M., (2003) :** Background of the Caryarutragey ; a case taxonomic study of toxic cyanobacteria. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 140 :9-11
- **Komárek J., Komárková J et Kling H., (2003) :** *Filamentous cyanobacteria.* In: *Freshwater algae of North America,* Elsevier. USA, 117-196p.
- **Kouadri I., (2013) :** Analyse physico-chimique des eaux de différentes origine .
Mémoire de projet de fin d'études. Master II (Université de 08 mai 1945) 32 -34p.
- **Lai C., YEH T., Tseng C., Chen H et Wang G., (2002) :** Conventional versus advanced Traitement for eutrophic. *Journal American Water Works Association.* volume 94, n°12, 96-108p.
- **Lambert T., Holmes C et Hrydey S., (1996) :** Adsorption of microcystin-LR.by activated carbon and removal in full-scale. *Water Treatment.* Volume 30.1411-1422p.
- **Lapage P., Sneath H., Lessel E., Skerman V., See Liger P et Clark W., (1992) :** International Code of Nomenclature of Bacteria (1990 revision). American society of Microbiology, Washington D. C., 199 p.
- **Lassoued K et Touhami N., (2008) :** Contribution à l'étude de la qualité microbiologique de l'eau du Barrage de Hammam Debagh , Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie , Université de Guelma ,44p.

- **Lavoie I., Laurion I., Warren A et Vincent W., (2007) :** Les fleurs d'eau de cyanobactéries, revue littéraire. INRS rapport n°916, xiii, 124p.
- **Leclerc J., (1996) :** Microbiologie général. Doin. France. 368 p.
- **Lee E., (2008) :** Phycology (4th edition), Cambridge University Press.
- **Lefeuvre J., Brient L et Marion L., (2004):** Dégradation de la qualité des eaux douces et marines : des risques pour la santé et la biodiversité. 2ème journée de l'institut français de la biodiversité. Session III, 54-62p.
- **Leitao M., Lassus P., Maggi P . , Le Baut C . , chauvin J et Truquet P .,(1983) :** phytoplancton des zones mytilicoles de la baie de villaine et intoxication par les coquillages .Rev . Trav .Inst. Pêches marit, 46(3) : 233-266p
- **Lisec ., (2004) :** Contrôle van de fysicochemische kwaliteit van de viswaters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest , rapport effectué pour le compte de l'IBGE.16p.
- **Maatouk I., Bouaiocha N., Plessis M et Périm F., (2004) :** Detection by 32P-postlabelling of 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine in DNAs biomarker of microcystin – LR-and nodularin – induced DNAdamage in vitro in primary cultured rat hepatocytes and in vitro rat liver Mutation Research- Genetie Toxicology and environmental . Volume 564- n°1, 920p.
- **Madigan et Martnko., (2007) :** Brock biologie des micro-organismes .11édition.
- **Merzoug S., (2009) :** Etude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'écosystème lacustre Graet Hadj-Taher (bennazzouz, Wilaya de Skikda). 109p.
- **Mazbour F., (2004) :** Bioécologie des cyanobactéries du lac Oubeira. Mémoire d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'Annaba.pp :59p.
- **Msagati T., Siame A et Shushu D., (2006) :** Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. Aquat Toxicol. 97-382p.
- **Neumam U et Weckesser J., (1998) :** Elimination of microcystin peptide toxins from Water by reverse osmosis environmental toxicology and Water Quality.Volume 13.(2). 143-148p.
- **NFT en 26777., (1993) :** Qualité de l'eau – Dosage des nitrites – Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire (indice de classement T90-013). p334-335
- **NF en ISO 6878., (2005) :** Qualité de l'eau – Dosage du phosphore – Méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium (indice de classement T 90-023).p338
- **Nicholson B., Rositano J et Burch M., (1994) :** Destruction of cyanobacterial peptide hepatotoxins by chlorin and chloramine.Water Research.Volume 28. n° 6. 1297-1303p.

- **Nisbit M et Verneaux J., (1970)** : composantes chimique des eaux courantes, discussion et proposition de classe en tant que base d'interprétation des analyses chimiques.
- **OMS., (2003)** : Algae and cyanobacteria in Fresh Water .In Guidelines For safe recreational Water environnements. Geneva, Warld Organization.136-158p.
- **Quéguiner B., (2007)** : Structure et Fonctionnement des écosystèmes pélagiques blooms toxiques à cyanobactérie dans trois lacs réservoirs du Maroc. *Revue des sciences de l'eau / journal of water science*, vol. 15, nol 301-313 p.
- **Rejesk F., (2002)** : Analyse De L'eau ; Aspects Régimentaires Et Techniques .Sceren .Paris 360p.
- **Rodier J., (1996)** : l'analyse de l'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer .8^{ème} Edition .Dunod. 1383p.
- **Rodier J., (2005)** :l'analyse de l'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer .8^{ème} Edition .Dunod. 1383p.
- **Rodier J., (2009)** :l'analyse de l'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer .9^{ème} Edition .Dunod. 1383p.
- **Rodriguez E., Onstad G ., Kull T., Metcalf J., Acero J et Von G., (2007 b)** : Oxidative elimination of cyanotoxins : comparison of ozone, chlorine , chlorine dioxide and permanganate.Water Research.Volume 41, n° 15 ,août 2007. 3381-3393p.
- **Rodriguez E., Sordo A., Metcalf J et Acero L., (2007a)** : Kinetics of the oxidation of cylindrospermopsin and anatoxin-a With chlorine, monchloramine and permanganate.Water Research.Volume 41, n° 9. 2048-2056p.
- **Rositano J et Nicholson B., (1994)** : Water treatment technique For Removal of Cyaobacterial Toxins From Water.Australian Centre For Water Quality Research. Salisbury, South Australai.
- **Silvano., (2005)** : toxicite des cyanobacteries d'eau douce vis-a-vis des animaux domestiques et sauvages.55p.
- **Senogle P., Shaw G., Smith M., Norris R., Chiswell R., Mueller J., Sadler R et Eaglesham G., (1999)** : Dégradation of the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin, from cylindrospermopsis raciborskii, by chlorimation. *toxicon*. Volume 38. n° 9. 1203-1213p.
- **Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vualazf D., Balderer W., Looser M., Zpbrit J et Zumstein J., (2001)** : Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. Société Suisse D'Hydrogéologie.57p

- **Thomazeau S., (2006) :** Diversité phylogénétique et toxinique de cyanobactéries du Sénégal et du Burkina Faso. 06p.
- **Tilman D., (1982) :** Resource competition and community structure. Princeton, New Jersey, Princeton University Press. 296 p.
- **Whitton B et Sinclair C., (1975) :** Ecology of blue-green algae. Sci. Prog. Oxford.62 : 429-446p.
- **Watanabe M et Oishi S., (1985) :** "Effect of environmental factors on toxicity of cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*) under conditions." Appl. Environn. Microbiol. 49 :1342-1344p.
- **Zeddouri A., (2003) :** contribution à l'étude hydrogéologique et hydro-chimique de la plaine alluviale de Guelma (essai de modélisation), Guelma , NE Algérien. Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba.107p.

Webographie

- **Anonyme 1** : www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/.../cyanobacteries.htm 09;34
(09/01/2014)
- **Anonyme2** : http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/cyano/cyanobacteries_clip_image006.gif
(09/02/2014).
- **Anonyme 3** : <http://www.icold-cigb/FR/Barrage/rôle-des-barrages.asp>.
(23/04/2014).

Les clés d'identification des cyanobactéries selen Bergey (1987)

Clé des 5 sous- groupes des cyanobactéries

1. Unicellulaires ou en agrégats, pas de filaments.

- Fission binaire en un, deux ou trois plans, symétriques ou non, parfois bourgeonnement.

Sous-groupe 1 :Chroococcales

- Reproduction par fission multiple interne, et fission binaire.

Sous-groupe 2 : Pleurocapsales

2. Filamenteux : trichome ramifié ou non, unisériel ou multisériel.

- Fission binaire se réalise dans un seul plans pour engendrer un trichome non ramifié, unisériel.
 - Trichome sans différenciation cellulaire en akinètes ou hétérocystes .

Sous-groupes 3 : Oscillatoriales

- Trichome différencie en akinètes et hétérocystes .

Sous-groupes 4 : Nostocales

- Fission binaire se réalise dans plusieurs plans donnant naissance soit à des trichomes multisériés , soit à des trichomes avec ramification .

Sous-groupes 5 : Stigonématales

Sous-groupe 1 : Chroococcales

Clé des genres

1. Fission binaire

A. Division en un plan

1. Présence de thylacoïdes, diamètre supérieure à 3µm.

- Bâtonnets engaine.....*Gloeothece*
- Bâtonnets non engaine.....*Cyanothece*

2. Cellule très allongée avec des extrémités pointues *Myxobaktron*

3. Diamètre inférieur à 3µm.

- Bâtonnets ou coccoïdes , avec thylacoïdes*Synechoccus*
- Bâtonnets en gaine sans thylacoïdes*Gloeobacter*

B. Division en deux, trois plans

1. Cellule coccoïdes avec gaine multilaminée*Gloeocapsa*

2. Cellule coccoïdes ou sphérique, solitaires, dépourvues de gaines gélatineuses*Synecocystis*

3. Cellule ovoïdes ou sphériques, groupés en colonies grâce à une gaine mucilagineuse amorphe*Microcystis*

2. Bourgeoisement répété du pole apicale de la cellule

ovoïde.....*Chamaesiphon*

Sous-groupe 2 : Pleurocapsales

Clé des genres

1. Division uniquement par fission multiple

- Baeocytes mobile*Dermocapsa*
- Baeocytes immobile.....*Xenococcus*

2. division par fission multiple et binaire

- la baeocyte donne une cellule végétative qui se divise par fission binaire une à trois fois pour engendrer une cellule apicale qui se divise par fission multiple et libère des baeocytes.....*Dermocarpella*
- la formation des baeocytes est suivie de fission binaire formant des agrégats cellulaire complexes.
-

A. Fission binaire se fait dans trios plans et les cellules subissent des fissions multiple

- Baeocytes mobiles*Myxosarcina*
- Baeocytes immobiles.....*Chroococciopsis*

B. fission binaire se réalise dans de nombreux plans formant des agrégats irréguliers, filamenteux avec parfois des fissions multiples.....*Pleurocapsa*

Sous-groupe 3 : Oscillatoriales

Clé des genres

1. Trichomes ne sont pas cylindriques

- Trichomes aplatis, à section elliptique*Crinalium*

2. Trichomes cylindriques

A. Trichomes hélicoïdales

1. Cloisons invisibles au microscope photonique*Spirulina*
2. Cloisons visibles au microscope photonique.....*arthrospira*

B. Trichomes droits ou légèrement sinueux

1. Trichomes immobiles dans une gaine (les hormogonies peuvent migrer hors de la gaine)
 - Présence de deux ou plus d'un trichome par gaine*Microcoleus*
 - Présence d'un seul trichome par gaine*lyngbya*
2. Trichomes mobiles , pas de gaine*Oscillatoria*
 - a. Peu ou pas de constriction (dont le nombre ne dépasse pas 1/8 du diamètre du trichome)*Trichodesmium*
 - b. le nombre de constriction dépasse 1/8 du diamètre du trichome.....*Pseudoanabaena*

Sous –groupe 4 : NOSTOCALES

(Section A : Nostocaceae , Section B : Scytonemataceae , Section C : Rivulariaceae)

Clé des genres

1. Trichomes avec division diffuse et désarticulation sans hormogènes, mobiles par glissement.

A. Hétérocystes intercalaires, souvent terminales, position variable d'akinètes.

- Cellules végétatives sphériques, ovoïdes ou cylindriques allongées
 - a. Cellules cylindriques et des cellules allongées et incolores au bout des trichomes*Aphanizomenon* (Section A)
 - b. Cellules cylindriques ovoïdes ou sphériques
.....*Anabaena* (Section A)
- Cellules végétatives plus courtes que larges*Nodularia* (Section A)

B. Hétérocystes terminaux, akinètes adjacents aux hétérocystes

.....*Cylindrospermum* (Section A)

2. Trichomes avec division diffuse ou localisée, immobiles sauf de courtes chaînes de cellules qui manquent d'hétérocystes (hormogonies).

A. Trichomes polarisés avec gaine, formation d'hétérocystes à la base élargie du trichome ; hormogonie produisant un hétérocyste basal lorsque la mobilité cesse.....*Calothrix* (Section C)

B. Trichomes non polarisés, pas de fausses ramifications . mucus commun autour un assemblage de trichome ; hormogonie à hétérocyste terminal quand la mobilité cesse*Nostoc* (Section A)

C. Trichomes non polarisés, avec gaine, fausses ramifications au site de l'hétérocyste intercalaire ; hormogonie forme un hétérocyste basal quand la mobilité cesse*Scytonema* (Section B)

Sous –groupe 5 : Stigonématales

Clé des genres

1. Ramification vraies dichotomes ou subdichotomes (avec des dépôts calcaires entourant les filaments)A. Pas d'hétérocystes*Geitleria*B. Avec hétérocystes*Loriella***2. Ramifications vraies, latérales, irrégulières**A. Hétérocystes latéraux ou terminaux sur des courtes ramifications, hétérocystes jamais intercalaire*Nostochopsis*, *Mastigocladopsis*, *Mastigoleus* (endolithe marin)

B. Hétérocystes intercalaires, parfois terminaux

1. Hormogonies, trichomes unisériés*Westiella*

2. Hormogonies, trichomes unisériés ou multisériés

▪ Vraies ramifications

-Trichomes nisériés*Halosiphon*- Trichomes Multisériés*Stigonema*-Trichomes multisériés avec des ramifications latérales libèrent des cellules isolées*Cyanobotrys*-Trichomes se divisant dans plus d'un plan avec fragmentation en agrégats*Chlorogloeopsis*▪ varies ramification avec cellules différenciées de l'axe principal*Fischerella*

Réactifs utilisés dans les analyses physico –chimique de l'eau

1. Dosage de l'ammonium

Réactif I : Solution chlorée

Préparation :

- Hydroxyde de sodium en pastilles..... 20 g .
- Citrate trisodique ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7, 2 \text{H}_2\text{O}$)..... 380 g.
- Acide dichlorocyanurique ($\text{C}_3\text{HCl}_2\text{N}_3\text{O}_3$).....04 g .
- Eau déionisée.....1 000 ml.

Dissoudre l'hydroxyde de sodium et le citrate trisodique dans 800 ml d'eau environ et porter la solution à l'ébullition, maintenir celle-ci pendant 20 min.

Après refroidissement, ajouter l'acide dichlorocyanurique et ajuster le volume à 1 000 ml.

Conserver cette solution au réfrigérateur.

Réactif II : Solution de nitroprussiate de sodium et de phénol

Préparation :

- Phénol35 g.
- Nitroprussiate de sodium ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}, 2 \text{H}_2\text{O}$)..... 0,4 g.
- Eau déionisée 1 000 ml.

Transvaser cette solution dans un flacon en verre brun et la conserver au réfrigérateur.

2. Dosage des ions nitrites

-Réactif mixte : Réactif de diazotation

Préparation :

- Amino-4-benzènesulfonamide40 g.
- Dichlorure de *N*-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane2 g.
- Acide orthophosphorique ($d = 1,7$)100 ml.
- Eau déionisée 1 000 ml.

Mélanger dans un bécher 800 mL d'eau déionisée et 100 mL d'acide phosphorique, ajouter l' amino-4-benzènesulfonamide puis après dissolution, ajouter le dichlorure de *N*-(naphtyl-1)diamino-1,2 éthane. Agiter jusqu'à complète dissolution.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1 000 mL, ajuster le volume avec de l'eau déionisée, mélangé.

Conservée au réfrigérateur, cette solution est stable un mois.

3. Dosage des ions nitrates

Réactif I : Acide phosphorique ($d = 1,7$).

Réactif II : Réactif de diazotation

Préparation :

| | |
|---|-----------|
| -Acide phosphorique..... | 100 ml. |
| -Amino-4-benzènesulfonamide (NH ₂ C ₆ H ₄ SO ₂ NH ₂)..... | 10 g. |
| -Dichlorure de <i>N</i> -(naphtyl-1) diamino-1,2-éthane (C ₁₀ H ₇ NH-CH ₂ -CH ₂ -NH ₂ -2 HCl)..... | 0, 5 g. |
| -Agent mouillant non ionique (NP 10) | 1 g. |
| -Eau déionisée | 1 000 ml. |

Mélanger l'acide phosphorique à environ 800 mL d'eau déionisée, ajouter l' amino-4-benzènesulfonamide, agiter puis introduire le dichlorure de *N*-(naphtyl-1) diamino-1,2-éthane.

Après dissolution complète, ajouter l'agent mouillant et compléter le volume à 1 litre avec de l'eau déionisée.

Réactif III : Solution de chlorure d'ammonium à 85 g/l

Préparation :

| | |
|---------------------------|-------|
| -Chlorure d'ammonium..... | 85 g. |
| -Agent mouillant | 1 g. |
| -Eau déionisée | 1 l. |

Conservée en flacon en verre à l'obscurité, cette solution est stable un mois.

5. Dosage d'ortho phosphates PO₄⁻³

Réactif I : Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.

Réactif II : Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.

Préparation :

| | |
|--|---------|
| -Molybdate d'ammonium tétrahydraté | 20 g. |
| -Eau déionisée <i>q.s.p</i> | 500 ml. |

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

Réactif III : Solution d'acide ascorbique à 20 g/L

Préparation :

| | |
|-------------------------|---------|
| -Acide ascorbique | 2 g. |
| -Eau déionisée | 100 ml. |

Les images représentent le barrage Hammam Debagh Wilaya de Guelma



Barrage Hammam Debagh (naima,2014)