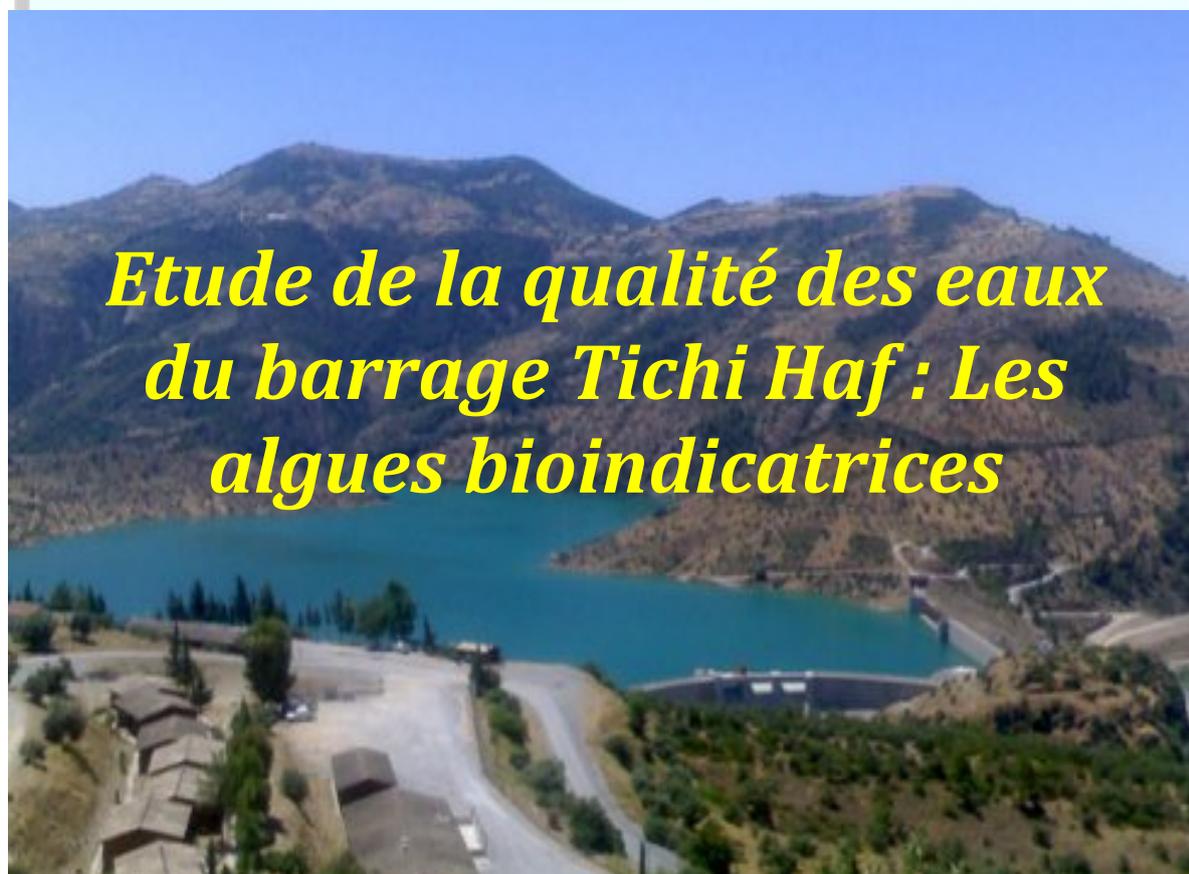


**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Abderrahmane MIRA de Bejaia**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de Vie**  
**Département des Sciences Biologiques de l'environnement**

**Mémoire en vue de**  
**l'obtention du diplôme de Master II**  
**en Environnement et Santé Publique**

## **Thème**



# **Etude de la qualité des eaux du barrage Tichi Haf : Les algues bioindicatrices**

**Présenté par :**  
**M<sup>elle</sup> Chaïbi Meriem**  
**M<sup>elle</sup> Khedoussi Ferroudja**

**Devant le jury composé de :**

**Présidente : M<sup>r</sup> CHELLI**

**Examinatrices :**

**M<sup>me</sup> MONKOU**

**M<sup>elle</sup> RAHMANI**

**Promotrice : M<sup>me</sup> ZEBBOUDJ A, Maitre de conférences, Université de Bejaïa.**

**Co promotrice: M<sup>elle</sup> DJOUAD S**

**2011/ 2012**

## Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier, «Allah» le tout puissant qui nous a procuré, patience, courage et volonté afin de réaliser ce modeste travail.

Nous aimerons exprimer nos gratitudeux aux êtres les plus chers aux monde « Nos Parents » pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de nous voir réussir et pour l'éducation qu'ils nous ont prodigué.

Au terme de la réalisation de ce travail, nous remercions vivement notre promotrice M<sup>me</sup> zebboudj A. on lui suit reconnaissantes de nous avoir accepté de nous encadrer, on les remercie pour tous ses conseils, ses disponibilité, leurs sérieux dans le travail, on est très fier d'avoir eu la chance de travailler sous sa direction.

Nous tenons à remercier beaucoup notre Co-promotrice M<sup>elle</sup> Djowad S, de nous avoir aide, encouragé, oriente durant notre travail.

On remercie sincèrement les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger ce travail : M<sup>me</sup> BENHAMICH, M<sup>me</sup> KEBBI M et M<sup>elle</sup> RAHMANI A.

On souhaite remercier tout particulièrement les ingénieurs et techniciens des laboratoires du bloc 9 et bloc 12. Pour sa disponibilité et sa gentillesse, Un grand merci à tous ceux qui ont rendu ce travail possible et à toute la communauté scientifique à travers le monde entier.

## Dédicaces

**À nom d'ALLAH**

*Avec l'aide d'ALLAH, le tout puissant, ce travail est achevé ; Je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères ;*

*À ceux qui j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et que je suis très fières de les avoir comme parents et que tout les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leurs porte : À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands Hommes : mon père soient toujours en bonne santé et à mes cotés.*

*À Ma très chère mère qui a consacré sa vie pour bâtir la mienne, je lui serai éternellement reconnaissante,*

*À mon très chers petit frère Islam que dieux le garde longtemps. Je l'embrasse énormément.  
À mes très chères sœurs ; Aicha et son mari Athman ainsi que leurs enfants Ahlam, Lina et Amin,  
Sabrina et son mari Omar ainsi que leurs enfants Nariman et Hossam et Samira et son mari Hocin. je les souhaite une belle vis avec beaucoup d'enfants.*

*À tous mes frères que j'aime beaucoup ; Aziz, Amirouch, Arezki et Fateh.*

*À mon mari qui est tout le temps a mes coté, merci Mahdi ainsi que toute la famille khenache.*

*À mes oncles et tantes*

*À mes chères amies Kahina, Yasmina.*

*À toute la famille Chaibi et la famille de mon amie Khedoussi.*

*À la famille Mohammadi sur tout faiz*



*Meriem*

# Dédicaces



**À nom d'ALLAH**

*Avec l'aide d'ALLAH, le tout puissant, ce travail est achevé ; Je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères ;*

*À ceux qui j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et que je suis très fières de les avoir comme parents et que tout les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leurs porte :*

*À Ma très chère mère qui a consacré sa vie pour bâtir la mienne, je lui serai éternellement reconnaissante,*

*À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands Hommes : mon père soient toujours en bonne santé et à mes cotés.*

*Mes chères sœurs et frères : Malika, Nora , Samia, Zahra, Djamila, Mahfoud, Makhlouf,,Abd Anour et Halim.*

*À mon fiancé Sid Ali.*

*Mes petits Princes : Rabah, Farhat, Lotfi, Zino, Lydia, et Lynda que je les adore.*

*Toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de notre travail.*

***Ferroudja.***

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Dédicaces</b>          |  |
| <b>Sommaire</b>           |  |
| <b>Liste des figures</b>  |  |
| <b>Liste des tableaux</b> |  |
| <b>Résumé</b>             |  |

|   |    |
|---|----|
| <b>INTRODUCTION</b>                                   | 01 |
| <b>I-GENERALITES</b>                                  | 02 |
| <b>I-1-Caractéristiques de l'eau</b>                  | 02 |
| I-1-1-Eaux naturelles                                 | 02 |
| I-1-2-Eaux atmosphériques                             | 02 |
| I-1-3-Eaux souterraines                               | 02 |
| I-1-4-Eaux de surfaces                                | 02 |
| I-1-5-Eaux potables                                   | 03 |
| I-1-6-Critères de potabilité                          | 03 |
| I-1-7-Principaux constituants des eaux naturelles     | 04 |
| I-1-7-1-Electrolytes minéraux                         | 04 |
| I-1-7-2- Gaz dissous                                  | 05 |
| I-1-7-3-Matières organiques                           | 06 |
| I-1-8 -Propriétés des eaux naturelles                 | 06 |
| I-1-8-1-Propriétés organoleptiques                    | 06 |
| I-1-8-2-Propriétés physico-chimiques                  | 07 |
| <b>I-2-Systématique des algues</b>                    | 08 |
| I-2-1-Aperçu général sur les algues                   | 08 |
| I-2-2-Systématiques des algues des eaux continentales | 08 |
| I-2-2-1-Chlorophycophytes                             | 09 |
| I-2-2-2-Euglenophycophytes                            | 09 |
| I-2-2-3-Chromophycophytes                             | 09 |
| I-2-2-4-Pyrrhophycophytes                             | 09 |
| I-2-2-5-Rhodophycophytes                              | 09 |

|  |           |
|--|-----------|
| I-2-3-Facteurs favorisant le développement algal.....                          | 09        |
| I-2-4-Effets de prolifération des algues sur le milieu .....                   | 10        |
| I-2-4-1- Oxygénation .....   | 10        |
| I-2-4-2- Epuration.....  | 11        |
| <b>I-3-Eutrophisation et risques sanitaires.....</b>                           | <b>12</b> |
| Introduction.....  | 12        |
| I-3-1-Désagréments associés à l'eutrophisation.....                            | 13        |
| I-3-2-Prolifération des Cyanophycées.....                                      | 13        |
| I-3-3-Morphologie de cyanophycées.....   | 14        |
| I-3-4-Toxicité des cyanophycées.....   | 16        |
| I-3-5-Impact et pathologies liées à la prolifération Cyanophycées toxique..... | 17        |
| <b>II-MATERIELS ET METHODES.....</b>   | <b>18</b> |
| <b>II-1-Description du milieu.....</b>   | <b>18</b> |
| II-1-1-Présentation du barrage de Tichi Haf.....                               | 18        |
| II-1-2-Présentation du sous bassin versant de Boussellam.....                  | 18        |
| II-1-3-Caractéristiques hydrologiques de la retenue du barrage Tichi Haf.....  | 02        |
| II-1-4- La station de traitement .....   | 22        |
| II-1-5-Climat.....   | 22        |
| II-1-5-1-Précipitations.....   | 22        |
| II-1-5-2-Températures.....   | 23        |
| II-1-5-3-Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS.....                  | 23        |
| II-1-5-4-Climagramme d'Emberger .....  | 24        |
| II-1-6-Flore et la faune.....  | 26        |
| <b>II-2- Echantillonnage.....</b>  | <b>27</b> |
| III-2-1-Périodicité d'échantillonnage .....                                    | 27        |
| III-2-2-Prélèvements.....  | 27        |
| III-2-3-Points de prélèvement.....   | 28        |
| <b>II-3-Mesure des paramètres physico-chimiques .....</b>                      | <b>29</b> |

|  |    |
|--|----|
| <b>II-4- Etude taxinomique</b> .....   | 30 |
| <b>III-RESULTATS</b> .....   | 31 |
| <b>III-1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux du barrage Tichi Haf</b> ..... | 31 |
| <b>III-2 -Composition algologique du lac du barrage Tichi Haf</b> .....              | 37 |
| <b>IV-DISCUSSION</b> .....   | 47 |
| IV-1-Analyses des paramètres physico-chimiques.....                                  | 47 |
| IV-2-Analyse de la communauté algale .....   | 51 |
| IV-3-Cyanophyceae toxiques.....  | 52 |
| IV-4-Cyanobactéries et Cyanotoxines en Algérie, en Maroc, et en Tunisie.....         | 55 |
| <b>CONCLUSION</b> .....  | 58 |
| <b>BIBLIOGRAPHIE</b>   |    |
| <b>ANNEXE</b>  |    |

## Liste des figures

**Figure 01** : Morphologie des cyanobactéries potentiellement toxiques les plus fréquemment rencontrées (Chorus et Bartram, 1999).

**Figure 02** : Vue globale du barrage de Tichi Haf (collection personnelle, 2011).

**Figure 03** : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de Boussellam (LAMBARDI, 1984).

**Figure 04** : Diagramme Ombrothérmique de Bagnols et Gaussen du bassin versant de Boussellam.

**Figure 05** : Situation bioclimatique de barrage Tichi Haf selon le climagramme d'Emberger.

**Figure 06** : Localisation des points de prélèvements (P1, P2, et P3) au niveau du barrage de Tichi Haf. Source : [www .Google earth. Com](http://www.Google.earth.Com).

**Figure 07** : Les températures de l'air et de l'eau (C°) mesurées lors des prélèvements du barrage de Tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 08** : Evaluation du pH dans l'eau de barrage Tichi Haf entre la période février-mais, 2012

**Figure 09** : Teneur en oxygène dissous (O .D) (mg/l) dans l'eau du barrage de tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 10** : Teneur de la salinité (mg/l) dans l'eau du barrage de tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 11** : Evaluation de la conductivité dans l'eau de barrage de Tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 12** : Teneurs en nitrate (mg/l) dans l'eau de barrage de Tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 13** : teneurs en nitrites (mg/l) de l'eau dans le barrage Tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 14** : Teneurs en phosphate dans l'eau de barrage de Tichi Haf entre la période février-mais, 2012.

**Figure 15 :** teneur en chlorure (mg/l) de l'eau dans le barrage de Tichi Haf entre la période février-mars, 2012.

**Figure 16:** Répartition des différents embranchements d'algues dans l'ensemble des récoltes des trois points de prélèvement au cours de la période Novembre 2011-mai 2012.

**Figure 17 :** Répartition des différents embranchements d'algues en classe dans l'ensemble des sorties au cours de la période novembre 2011-mai 2012.

**Figure 18:** répartition en famille de cyanophycées inventoriées dans le barrage Tichi Haf entre novembre 2011-mai 2012.

**Figure 19 :** répartition des cyanophycées toxiques et les Cyanophycées non toxique dans le barrage Tichi Haf.

**Figure 20 :** pourcentage des algues toxiques par apport à la totalité des algues récoltées dans le barrage Tichi Haf.

## Liste des tableaux

**Tableau I :** Problèmes liés à l'eutrophisation des plans d'eau (JEAN CLAUDE LACAZE ,1996).

**Tableau II :** Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries (AFSSA ,2006).

**Tableau III :** espèces de cyanobactéries toxiques selon AFSSA et AFSSET (2006) et FREMY et LASSURS(2001)

**Tableau IV:** Effets des principaux types de toxines élaborées par les cyanobactéries (CHORUS et BARTRAM, 1999).

**Tableau V :** caractéristiques hydrologiques de la retenue du barrage du Tichi Haf (COYNE et BELLIER, 1973).

**Tableau VI:** Précipitations moyennes mensuelles interannuelles enregistrées par la station de Sidi Yahia durant la période 1993 à 2008 (Source ANRH).

**Tableau VII:** Températures mensuelles et moyennes (Station Sidi Yahia (M : température maximum, m : température minimum) (1993 à 2008).

**Tableau VIII :** Répartition des sorties en fonction de période de récolte.

**Tableau IX :** Récapitulatif des résultats des paramètres physico- chimiques des eaux de surface de barrage de Tichi Haf durant le période d'étude (Février, début de mai, 2012).

**Tableau X:** Quelques taxons inventoriés au niveau du barrage Tichi Haf pendant la période d'étude (novembre 2011-mai 2012).

**Tableau XI :** les taxons algaux identifiés dans le lac du barrage Tichi Haf entre novembre 2011-mai 2012.

**Tableau XII :** Paramètres de classification des eaux de surface (Décret N° 2001-1220, 2001).

**Tableau VIII :** Cyanobactéries potentiellement toxiques identifiées à Bejaïa.

## Etude de la qualité des eaux de barrage Tichi Haf : Les algues bioindicatrices

### Résumé

L'étude de la qualité de l'eau du barrage Tichi Haf qui se trouve à l'ouest de la wilaya de Béjaïa a été réalisée durant la période s'étalant de novembre 2011 à mai 2012 afin d'étudier la flore algale qui n'a jamais été abordée auparavant et déterminer les taxons pouvant être utilisés comme indicateurs de dégradation de la qualité des eaux de ce barrage destinées à pourvoir, en eau potable, quasiment toutes les communes de la wilaya de Béjaïa. Trois points d'échantillonnage accessibles, ont été choisis pour prélever une vingtaine d'échantillons d'algues récoltés entre novembre 2011 et mai 2012.

Cette étude a été initiée suite à l'observation d'un développement massif en novembre 2011, de *Microcystis aeruginosa*, cyanobactérie produisant de la microcystine, une cyanotoxine parmi les plus dangereuses, incriminée dans plusieurs cas d'intoxications humaines et animales. Parallèlement plusieurs plaintes ont été signalées concernant la coloration et la détérioration du goût des eaux consommées provenant de ce barrage.

Les résultats des mesures de quelques paramètres physico-chimiques caractérisant les eaux de ce barrage montrent une hétérogénéité temporelle.

L'analyse de la communauté algale du lac du barrage présente un large spectre taxinomique. Une trentaine de genres ont été identifiés : 11 Diatomophyceae, 01 Xanthophyceae, 10 Cyanophyceae dont 06 genres toxiques qui sont : *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Scynechocystis*, *Anabaena* et *Spirulina*.

Des Chlorophyceae ont également été identifiées notamment des Desmidiaceae et Zygnemataceae à côté d'un *Peridinium* et quelques *Euglena* très métabolites.

Cette liste reste incomplète et les observations microscopiques nous ont révélé plusieurs formes qui ont été négligées par manque d'individus et de caractères systématiques détruits par la fixation mais montre à l'évidence que d'autres études taxinomiques devront être effectuées afin d'enrichir cet inventaire, le premier pour cet important lac de barrage. L'étude des Cyanobactéries et des facteurs favorisant leur développement est nécessaire car la présence d'espèces toxiques est un signe de déséquilibre alarmant. Des toxines sont probablement libérées dans les eaux et peuvent constituer un risque majeur pour la santé des utilisateurs humains et animaux.

**Mots clés :** *Algue, Cyanobactéries toxiques, taxinomie, risque sanitaire, eutrophisation, vigilance*

# *Introduction*

L'eau est d'une importance biologique et économique capitale. L'hydrosphère est fondement de la vie et des équilibres biologiques. L'eau est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples mais s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade et, surtout, la fourniture collective ou individuelle d'eau potable (GERIN et al., 2003).

Pour satisfaire les besoins en eau, plusieurs barrages ont été construits en Algérie cependant, leur bilan écologique est souvent beaucoup moins favorable et le barrage Tichi Haf en est un exemple. En effet, l'eau de ce barrage distribuée récemment (Août 2006) n'a cessé d'inquiéter les utilisateurs qui doutent encore de sa qualité. La mise en eau date d'août 2006 et à ce jour, l'eau distribuée est d'une couleur suspecte et dégage une odeur nauséabonde et présente un goût de moisi qui pourra être lié à la stagnation de son eau pendant plus de cinq années. Dans certaines localités, son eau a été mélangée à celle des sources afin d'atténuer l'odeur mais les utilisateurs continuent à se plaindre. De plus, des poissons morts y ont aussi été signalés.

A cet effet une sortie prospective faite au mois de novembre 2012, a révélé la présence de *Microcystis aeruginosa* avec des masses très élevées. Cette espèce est une Cyanobactérie réputée pour sa capacité à produire des toxines qui peuvent présenter un danger pour le fonctionnement de l'écosystème et ses organismes et un impact sanitaire redoutable.

Actuellement, aucune étude n'a intéressé ce problème. Cette étude vise à caractériser les populations des algues qui colonisent le lac du barrage Tichi Haf et caractériser ses eaux par l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques afin d'appréhender les facteurs qui favorisent leur développement et plus particulièrement la prolifération des Cyanobactéries qui pourraient être à la base des nuisances olfactives et visuelles et la cause de la mort des poissons.

Des prélèvements d'eau, contenant les algues, ont été effectués au niveau du lac du barrage Tichi Haf entre novembre 2011 et mai 2012. Le manuscrit est organisé en IV

Chapitres dont le premier donne des généralités sur l'eau, les algues et l'eutrophisation. Dans le deuxième chapitre on a entamé la partie pratique dans laquelle on a présenté le site d'étude, et le matériel et les méthodes utilisés. Enfin, nous présentons les résultats obtenus et leurs interprétations.

# *Généralités*

## **I-1- Les caractéristiques de l'eau**

L'eau est un liquide naturel, vital, inodore, sans saveur et transparent à l'état pur ; sa composition, H<sub>2</sub>O, a été déterminée en 1783 par Lavoisier et Meusnier (BOUAROUR, 2008).

L'eau est un solvant de la plus majeure partie du constituant de la matière vivante. Elle sert de milieu réactionnel pour tout métabolisme naturel et vivant. Elle est également un élément essentiel dans l'industrie alimentaire, puisqu'elle est utilisée pour le lavage et le traitement des aliments, pour la stérilisation des produits ou du matériel, pour le nettoyage, le refroidissement et l'alimentation des chaudières.

### **I-1-1-Les eaux naturelles**

Dans la nature les eaux absolument pures n'existent pas, car elles contiennent toujours de nombreuses substances d'origine naturelle au provenant de l'activité humaine.

### **I-1-2-Les eaux atmosphériques**

Elles sont généralement précipitées sous forme de pluie, neige et grêle. On y trouve surtout des gaz dissous mais les sels dissous sont presque totalement absents. Donc théoriquement c'est une eau distillée (DUPONT, 1981).

### **I-1-3-Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines proviennent de la pluie qui ruisselle plus au moins avant de s'infiltrer dans le sol. Elles peuvent provenir également d'eaux superficielles s'infiltrant dans le sous sol d'un cours d'eau (nappe alluviale) ou s'engouffrant dans les fissures du sol. Les eaux souterraines enfouies dans le sol sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Leur qualité naturelle va donc être influencée par la géologie du terrain et se charge de sels minéraux (DUPONT, 1981).

### **I-1-4-Les eaux de surface**

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. On a parfois recours en vue de l'alimentation publique aux eaux de surface véhiculées par les cours d'eaux, à celles contenues dans les lacs ou maintenues des barrages réservoirs. Ces eaux comprennent à la fois l'eau de ruissellement de surface du bassin versant, ainsi que l'apport lointain d'eau de déversement des sources.

Elles sont rarement potables, car elles sont polluées bactériologiquement et chimiquement (industrie et agriculture). Elles doivent subir un traitement particulier les débarrassant de tous organismes pathogènes ou polluants dangereux pour les utilisateurs.

### **I-1-5-Les eaux potables**

Selon l'O.M.S, l'eau est potable lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à ceux qui la consomment et elle doit être exempte de micro-organismes pathogènes et de substances toxiques, mais elle peut contenir une certaine quantité de sels minéraux et de micro-organismes saprophytes. En outre elle doit être agréable à boire.

### **I-1-6-Les critères de potabilité**

Sept groupes de paramètres ont été pris pour critères :

#### **✓ Paramètres organoleptique**

Ce sont des paramètres qui concernent les qualités sensibles de l'eau ; couleur, odeur, saveur et transparence.

Les critères n'ont pas de valeurs sanitaires directes, une eau peut être trouble, colorée, et être parfaitement consommable d'un point de vue sanitaire (RODIER, 1996).

#### **✓ Paramètres physico-chimiques**

Ils sont en relation avec la structure naturelle des eaux. On y retrouve des caractéristiques que l'eau brute a pu acquérir dans son parcours naturel telles que la température, la conductivité et le pH (RODIER, 1996).

#### **✓ Paramètres toxiques**

Les normes retenues pour ce groupe de substances telles que le Pb, Cr, As et Cd sont calculées en tenant compte de la marge d'incertitude adoptée en toxicologie, c'est-à-dire d'elles fixent des limites sensibles inférieures aux seuils considérés acceptables. Ces teneurs sont extrêmement faibles (RODIER, 1996).

#### **✓ Paramètres indésirables**

Ce sont des substances dont la présence est tolérée tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil (fluor, nitrates). On trouve parmi elles aussi bien des substances dont l'effet se limite à un désagrément pour l'usage (traces de rouille sur linge, dues à une concentration excessive de Fer) que d'autres qui peuvent avoir une incidence sur la santé (teneur excessive en fluor)

### ✓ Paramètres microbiologiques

Ils sont représentés par les germes suivants :

Coliformes fécaux, streptocoques fécaux, clostridium sulfitoréducteurs.

Les clostridium sulfitoréducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau sous une forme végétative. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement limités que les coliformes par les désinfectants, ils constituent aussi un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection. C'est certainement la présence d'organismes pathogènes dans une eau qui fait courir le plus grand risque pour la santé. Paradoxalement, les paramètres microbiologiques n'ont pas une très grande importance pour le traiteur, car les procédés classiques de désinfection sont d'un quasi parfaite efficacité.

Les bactéries recherchés dans les eaux traitées ne sont qu'exceptionnellement celles qui ont un caractère pathogène. En dehors des éventuelles périodes de crise (épidémie d'une maladie d'origine hydrique), on se contente de rechercher ce qu'il est convenu d'appeler les germes tests de contamination fécale (RODIER, 1996).

### ✓ Pesticides et produits apparents

Plusieurs centaines de substance entrent dans cette catégorie. Leur présence dans l'eau est limitée à des doses infimes.

### ✓ Paramètre concernant les eaux adoucies ou déminéralisées

Alors que les critères établis pour l'eau du robinet consistent en un seuil à ne pas dépasser, l'eau adoucie ou déminéralisée doit contenir une teneur minimale en calcium, en magnésium (dureté), de même qu'en carbonate et en bicarbonate (alcalinité) (RODIER, 1996).

## I-1-7- Les principaux constituants des eaux naturelles

Les composés minéraux présents dans les eaux naturelles, trouvent leur origine dans les échanges qui se produisent entre l'eau et le sol et entre l'eau et l'atmosphère. Ils résultent aussi du métabolisme des éléments de la biomasse aquatique (BOUAROUR, 2008).

### I-1-7-1- Les électrolytes minéraux

La nature chimique des terrains conditionne la composition électrolytique des eaux naturelles, il résulte des qualités des eaux extrêmement variées.

On peut classer tout fois les constituants minéraux en deux catégories : les éléments fondamentaux et les éléments caractéristiques (BOUAROUR, 2008)

#### ✓ Les éléments fondamentaux

On les retrouve dans toutes les eaux naturelles, ils représentent le système calcocarbonique associé aux ions issus de la dissociation de l'eau ; il s'agit de :  $\text{H}_2\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ .

La présence de ces éléments dans l'eau provoque la dissolution du gaz carbonique et le passage en solution sous l'effet de l'acidité carbonique du carbonate de calcium.

#### ✓ Les éléments caractéristiques

Ces sont tous les autres ions minéraux qui résultent aussi souvent de l'action dissolvante de l'acide carbonique ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , etc...). Leur présence donne sa particularité à l'eau et fera dire que l'eau est magnésienne ferrugineuse, chlorurée, séléniteuse, etc... (RODIER, 1996).

### I-1-7-2- Les gaz dissous

L'eau a la capacité de dissoudre certains gaz comme l'oxygène et le gaz carbonique. Leur présence dans les milieux aquatiques a permis à la vie de prospérer. Les poissons, comme les humains respirent et ont donc besoins d'oxygène pour vivre. Le phytoplancton et les algues ont en plus besoins de gaz carbonique pour élaborer leurs tissus végétaux par photosynthèse (BONTOUX, 1983).

L'oxygène est en outre indispensable à l'épuration des milieux aquatiques. Il permet en effet aux bactéries aérobies présentes dans les écosystèmes aquatiques de dégrader les matières organiques biodégradables. Cette dégradation se fait de manière progressive. Elle conduit d'abord à la formation de composés organiques plus simples dont certains sont parfois difficilement biodégradables. Un tel processus peut être long mais lorsqu'il est complet, il donne des substances minérales simples : du gaz carbonique, de l'eau et de l'ammoniac soluble dans l'eau ce qui forme un cycle des gaz dissous entre l'eau et l'atmosphère.

La solubilité de ces gaz dans l'eau dépend de la température. Elle diminue lorsque la température augmente : en moyenne, les eaux tropicales sont donc moins bien oxygénées que les eaux tempérées et, d'une manière générale, les milieux aquatiques contiennent moins d'oxygène par litre d'eau.

### I-1-7-3- Les matières organiques

Les matières organiques peuvent être présentes sous forme dissoutes (carbohydrates, acide humique, pigment et composés d'origines artificielles comme les hydrocarbures, les solvants, ou les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton...). Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi des composés issus de l'activité humaine. Leur concentration, infime dans les eaux profondes, peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface.

La conséquence quasi immédiate de la pollution des eaux par les matières organiques et oxydables est une diminution de teneur en oxygène dissous. Celle-ci résulte de l'action des bactéries qui naturellement en assurent la dégradation (BONTOUX, 1983).

### I-1-8- Les propriétés des eaux naturelles

#### I-1-8-1- Les propriétés organoleptiques

- ✓ **La couleur** : la couleur est due à la présence des matières organiques dissoutes ou colloïdales. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques, en particulier pour le poisson, car elle provoque toujours un doute sur la potabilité.
- ✓ **La saveur et l'odeur** : plusieurs corps peuvent donner à l'eau une saveur désagréable comme le fer et manganèse, le chlore actif, le phénol et les chlorophénols. La saveur se développe avec l'augmentation de la température. La saveur est liée à la minéralité de l'eau. Les eaux potables équilibrées et de bonne qualité doivent jouir d'une saveur agréable.

Les odeurs sont dues notamment au plancton, à l' $H_2S$  (pour les eaux souterraines). Ces odeurs disparaissent au contact de l'air (RODIER, 1996).

- ✓ **La turbidité** : permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle se pratique en comparant l'eau à analyser à l'eau parfaitement limpide dite (optiquement vide).

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité au près des usagers sont relatifs cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension.

#### **I-1-8-2- Les propriétés physico-chimiques**

- ✓ **La température** : C'est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs en sont liées (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des variations de température de l'eau, il est possible d'obtenir des indications sur son origine et son écoulement.
- ✓ **La conductivité** : La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.
- ✓ **Le pH ou potentiel hydrogène** : il mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau.

## I-2-Systématique des algues

### I-2-1-Aperçu général sur les algues

Les algues sont des organismes chlorophylliens ayant besoin d'eau ou d'humidité, d'air, de lumière et de sels minéraux. Elles prospéreront partout où se trouvent réunies ces conditions dans les eaux des mers, des lacs, des eaux courantes et thermales. (BOURRELLY, 1966).

Selon BOURRELLY (1966) ces végétaux appartiennent au grand groupe des Cryptogrammes (organismes à reproduction sexuée cachée), et colonisent d'une part les mers où elles sont suffisamment de grande taille pour être visibles à l'œil nu (souvent elles se présentent sous forme d'épaves sur le sable, flottantes à la surface ou accrochées à différentes roches, falaises ...) et d'autre part elles sont très présentes dans les eaux douces où elles importent souvent les industriels de l'eau par leur prolifération intensive ; elles rendent fréquemment la filtration difficile et même parfois impossible. Parfois elles donnent à l'eau potable des goûts et odeurs indésirables (goût de concombre, de poisson, de vase et de moisi causé par les Cyanophycées). Mais leur production d'O<sub>2</sub> est considérable, elles sont également de précieux indicateurs biologiques de pollution en renseignant assez rapidement sur l'état sanitaire des collections d'eau, sur l'évolution d'eutrophisation et sur les modifications physicochimiques des milieux aquatiques.

Les algues dulçaquicoles sont de dimensions très réduites et pour la plus part, elles ne peuvent être visibles qu'à l'aide d'un microscope d'où le terme micro algues ; ceci rend leur étude difficile et attire très peu de curieux.

### I-2-2-La systématique des algues des eaux continentales :

La systématique de BOURRELLY (1966) des algues continentales est basée sur la chimie du pigment et des réserves, on distingue deux grands groupes :

**1-Les procaryotes :** avec un seul embranchement qui est celui des Schizophytes et la classe des cyanophycées. Les cellules sont dépourvues de véritable noyau, elles possèdent de la chlorophylle et des pigments bleus et rouges (phycocyanine et phycoérythrine), leurs réserves sont constituées par un polysaccharide voisin du glycogène.

**2-Les eucaryotes :** les cellules ont un véritable noyau et on distingue les embranchements suivants :

**I-2-2-1-Les Chlorophycophytes :**

Elles possèdent des plastes colorés en vert par la chlorophylle a et b et des pigments accessoires. Les réserves sont toujours constituées par l'amidon.

Elles sont représentées par quatre classes :

*Chlorophyceae ; Ulotrichophyceae ; Zygothryxaceae ; Charophyceae.*

**I-2-2-2-Les Euglenophycophytes :** avec une seule classe celle des Euglénophycées ; ce sont des formes mobiles flagellées possédant des chlorophylles a et b, et mettant en réserve du paramylon, un polysaccharide très différent de l'amidon.

**I-2-2-3-Les Chromophycophytes :** contiennent 4 classes : Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomophycées, l'algue a une coloration jaune, brune ou vert jaune, les réserves sont constituées par un polysaccharide, la laminarine qui contrairement à l'amidon ne se colore pas avec la solution iodo-iodurée de lugol.

**I-2-2-4-Les Pyrrhophycophytes :** possèdent de la chlorophylle a et c, et des plastes brunes ou jaunes, plus rarement bleu ou rouge, le matériel de réserve est constitué par l'amidon. Elles ont en plus des xanthophylles, de la phycoérythrine et de la phycocyanine, On distingue deux classes : Cryptophytes et Dinophycées,

**I-2-2-5-Les Rhodophycophytes :** ce sont des algues rouges contenant de la chlorophylle a et d et des xanthophylles, de la phycoérythrine. Les réserves sont constituées par de l'amidon floridien extraplastidial proche du glycogène. Elles sont représentées par deux classes Bangiophyceae et Floridophyceae.

**I-2-3-Les facteurs favorisant le développement algal**

La demande exercée par les organismes est en fonction de la composition de leurs tissus vivants. Les algues élaborent leur propre substance à partir des éléments minéraux dissous dans l'eau et du CO<sub>2</sub>, c'est le principe de la photosynthèse. Ainsi leur croissance se trouve limitée à la présence de l'eau, de la lumière et du CO<sub>2</sub> (BOURRELLY, 1966 ; GAYRAL, 1975 et ILTIS, 1980).

Parmi les formes minérales de l'azote (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>), c'est l'ammoniac qui est utilisé préférentiellement par de nombreuses algues, les nitrates et les nitrites devant être réduits avant leur assimilation (DABBADI, 1992). L'ammoniac et les nitrates sont

susceptibles de provoquer les mêmes vitesses de croissance, tandis que les nitrates ont un effet toxique à faible concentration (NGANSOUMANA, 2006). Selon DESCY (1989), certaines espèces d'algues telles que les Euglenophyta préfèrent les milieux riches en matières organiques en particulier l'azote. Des expériences au laboratoire par Patrick et al (1969) ont montré que les Chlorophyceae sont beaucoup plus favorisées par la présence d'un taux de manganèse inférieur à une unité par billion alors que sa concentration de 0,02 à 0,043 mg/l favorise le développement des diatomées. Les premières cultures ont été réalisées par des allemands, mais elles ont été très rapidement abandonnées au profit des cultures d'algues vertes comme *Chlorella* ou *Scenedesmus* (VON WITSCH, 1970). Certaines espèces présentent une forte affinité pour les milieux riches en matières organiques qu'elles colonisent essentiellement au printemps et à l'automne. Elles appartiennent principalement aux genres *Melosira*, *Cyclotella* et *Stephanodiscus*.

#### **I-2-4-Effets de la prolifération des algues sur le milieu**

Les algues du phytoplancton ont une influence directe sur les conditions physicochimiques d'un écosystème aquatique.

##### **I-2-4-1- Oxygénation :**

La présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton (DABBADI, 1992 ; GAUJOUS, 1995).

Ainsi, dans un milieu contenant beaucoup d'algues productrices d'oxygène par photosynthèse et peu de consommateurs (bactéries, zooplancton, poissons), la teneur en oxygène du milieu va beaucoup varier au cours de la journée: minimale le matin, elle peut atteindre, voire dépasser largement 100% de saturation dans la journée (DABBADI, 1992).

##### **I-2-4-2-Epuration**

En se développant et en prélevant des éléments nutritifs dans le milieu, les algues contribuent à l'épurer. Il est donc possible de dépolluer des eaux usées en utilisant ces végétaux, c'est le principe du lagunage (DABBADIE, 1992).

### **I-3-Eutrophisation et risques sanitaires**

#### **Introduction**

L'eutrophisation est le phénomène d'enrichissement excessif des eaux en éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore stimulateurs de la production primaire. C'est un problème qui se pose depuis longtemps dans les eaux douces et se trouve accéléré par les déchets agricoles et industriels suite activités anthropiques. Il représente une menace croissante pour les plans d'eau en général et induit une dégradation importante de la qualité des eaux. Ceci peut se traduire par des pertes économiques et des risques pour la santé humaine. (LACAZE, 1996 ; CAPBLANCQ et DECAMPS, 2002).

#### **I-3-1-Désagréments associés à l'eutrophisation**

L'eutrophisation est considérée comme indésirable, car les plans d'eau eutrophies présentent des caractéristiques rarement compatibles avec les utilisations auxquelles ils sont destinés (potabilisation de l'eau, zone de loisirs, irrigation). Le tableau I rapporte les problèmes les plus courants causés par l'eutrophisation des lacs, réservoirs et retenues.(LACAZE, 1996).

**Tableau I** : Problèmes liés à l'eutrophisation des plans d'eau selon LACAZE (1996).

| problèmes  | Causes                                     |  |
|--|--|--|
|  | Prolifération de microalgues planctoniques | Prolifération des macrophytes et d'algues littorales |
| <u>Altération de la qualité de l'eau</u>   |  |  |
| Gout et l'odeur, couleur, filtration, floculation, sédimentation et autres difficultés de traitement.                | +++  | +  |
| Désoxygénation, formation de fer, manganèse, CO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S. | ++   | +  |
| Corrosion de tuyaux et d'autres réalisations humaines.   | ++   | +  |
| <u>Altération des usages récréatifs de l'eau</u>   |  |  |
| Risques sanitaires   | +  | ++   |
| Danger pour les baigneurs  | +  | ++   |
| Aspect inesthétique  | ++   | +  |
| <u>Altération des pêches</u>   |  |  |
| Mortalité de poissons  | +  | -  |
| Production des espèces moins nobles  | ++   | ++   |
| <u>Altération de la capacité de résistance des matériaux et des installations</u>                                    |  |  |
| Envasement, colmatage des tuyaux et des filtres, réduction de débit.   | +  | +  |

### I-3-2-Prolifération des Cyanophycées

Actuellement, on remarque que l'intensification des activités de l'homme entraîne l'apparition de proliférations de cyanobactéries suite à l'eutrophisation des eaux de surfaces.

Les cyanobactéries sont des organismes pouvant se développer dans des habitats divers et dans les environnements des plus simples aux plus extrêmes. Elles regroupent environ 120 genres pour plus de 1500 espèces.

Ces microorganismes présentent des propriétés communes à la fois aux algues et/ou aux bactéries. Les cyanobactéries sont géologiquement les plus anciens organismes photosynthétiques connus. Des Chroococcales fossiles, âgées de deux milliards d'années, ont été découvertes dans le précambrien de l'Ontario (Canada) (JEREMY, 2005). 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).

**Tableau II :** Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries (AFSSA, 2006).

|          | <b>Classification botanique</b> | <b>Classification bactériologique</b> |
|----------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Division | Cryptogames                     | Procaryotes                           |
| Classe   | Thallophytes                    | Eubactéries                           |
|          | Algues                          | Gracilicutes                          |
|          | Procaryotes                     | Cyanobactéries                        |
|          | Cyanophytes                     |                                       |
|          | Cyanophycées                    |                                       |

### **I-3-3-Morphologie de cyanophycées**

Il existe ainsi cinq ordres divisés en vingt sept familles qui comportent cent soixante six genres de cyanobactéries qui ont des formes variées, unicellulaires, coloniales ou filamenteuses (Figure 01).

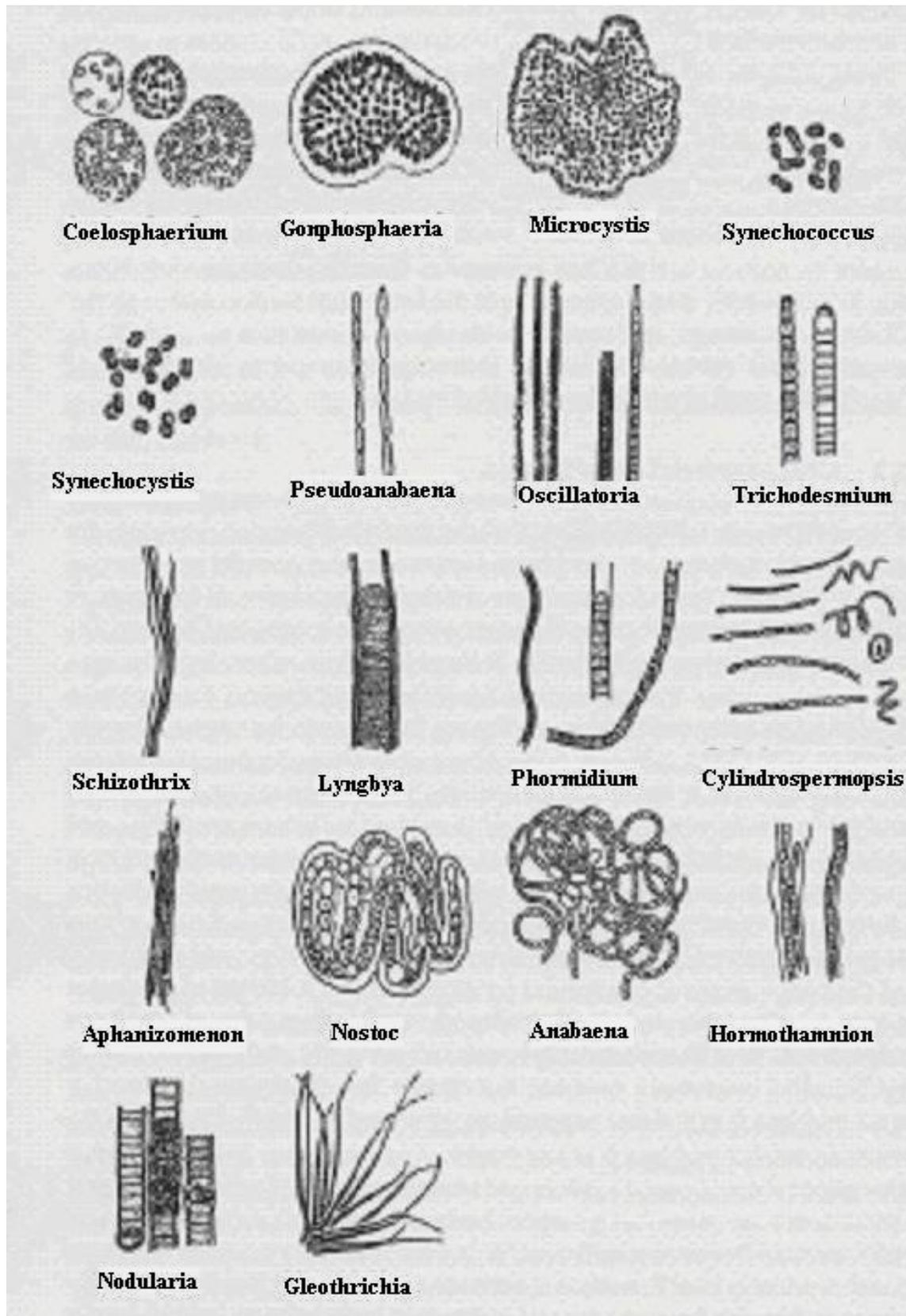


Figure 01 : Morphologie des cyanobactéries potentiellement toxiques les plus fréquemment rencontrées (Chorus et Bartram, 1999).

### I-3-4-Toxicité des cyanophycées

Jusqu' aujourd'hui, une quarantaine d'espèces sont capables de produire des substances toxiques. Le tableau III donne les espèces potentiellement toxiques et les toxines qu'elles produisent.

**Tableau III:** espèces de cyanobactéries toxiques selon AFSSA et AFSSET (2006) et FREMY et LASSURS (2001).

| CYANOBACTERIES TOXIQUES                    | TOXINES   | CYANOBACTERIES TOXIQUES               | TOXINES   |
|--|---|---------------------------------------|---|
| <i>Anabaena affinis</i>                    | nd  | <i>Anabaena circinalis</i>            | Anatoxine-a, PSPs, Microcystines                      |
| <i>Anabaena flos aquae</i>                 | Anatoxines -a, -a (s), -b, -c, -d), microcystines   | <i>Anabaena planctonica</i>           | Anatoxine-a   |
| <i>Anabaena spiroides</i>                  | Anatoxines -a, microcystines  | <i>Anabaena torulosa</i>              | nd  |
| <i>Anabaena variabilis</i>                 | nd  | <i>Anabaena sp</i>                    | Anatoxine-a   |
| <i>Anabaenopsis milleri</i>                | Microcystines   | <i>Aphanizomenon ovalisporum</i>      |   |
| <i>Aphanizomenon sp</i>                    | Anatoxines -a   | <i>calothribrenissima</i>             | Bromophénols  |
| <i>Calothrix crustacea</i>                 | Alkylphénol   | <i>Coelosphaerium naegelianum</i>     | Microcystines   |
| <i>Cylindrospermum sp</i>                  | Paracyclophanes, Anatoxines -a  | <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> | Cylindrospermopsine, PSPs                             |
| <i>Fscherella epiphytica</i>               | nd  | <i>Fscherella muscicola</i>           | Fscherelline  |
| <i>Gloeotrichia echinulata</i>             | nd  | <i>Gloeotrichia pisum</i>             | nd  |
| <i>Gomphosphaeria aponona</i>              | Aponine   | <i>Gomphosphaeria naegelianum</i>     | Anatoxines -a   |
| <i>Hapalosiphon fontinalis</i>             | Hapalindole A   | <i>Hapalosiphon hibernicus</i>        | microcystines   |
| <i>Hydrocoleum sp</i>                      | Terpènes, carbohydrates   | <i>Lyngbya birgei</i>                 | nd  |
| <i>Lyngbya gracilis</i>                    | Debromoaplysiatoxine  | <i>Lyngbya major</i>                  | nd  |
| <i>Lyngbya majuscula</i>                   | Lyngbyatoxique-a, Aplysiatoxine, malyngolide, curacineA, antillatoxine, barbaramideA, tanicolide, dolostatine | <i>Lyngbya wollei</i>                 | PSPs  |
| <i>Microcoleus lyngbyaceus</i>             | nd  | <i>Microcystis aeruginosa</i>         | Microcystine, Anatoxine-a                             |
| <i>Microcystis botrys</i>                  | Microcystine  | <i>Microcystis farlwiana</i>          | Ichtyotoxine  |
| <i>Microcystis Flos-aquae</i>              | Microcystine  | <i>Microcystis toxica</i>             | nd  |
| <i>Microcystis viridis</i>                 | Microcystine, microviridine   | <i>Microcystis wesenbergii</i>        | Microcystine  |
| <i>Microcystis sp, Nodularia spumigena</i> | Anatoxine-a<br>Nodularines  | <i>Nostoc muscorum</i>                | Indolocarbazome<br>Paracyclophanes,<br>alkylphénol    |
| <i>Nostoc paludosum</i>                    | nd  | <i>Nostoc rivulare</i>                | nd  |
| <i>Nostoc sp</i>                           | Microcystine  | <i>Oscillatoria acutissima</i>        | Acutiphycines   |
| <i>Oscillatoria lacustris</i>              | nd  | <i>Oscillatoria limosa</i>            | Microcystine  |
| <i>Oscillatoria nigroviridis</i>           | Oscillatoxine-A, Aplysiatoxines   | <i>Oscillatoria tenuis</i>            | Microcystine  |
| <i>Oscillatoria sp</i>                     | Anatoxine-a   | <i>Phormidium formosa</i>             | Homo-anatoxine-a                                      |
| <i>Planktothrix agardhii</i>               | Microcystine  | <i>Planktothrix mougeotii</i>         | Microcystine  |
| <i>Planktothrix rubescens</i>              | Microcystine  | <i>Planktothrix sp</i>                | PSPs  |
| <i>Plectonema sp</i>                       | Tubercidine   | <i>Pseudanabaena sp</i>               | Neurotoxines  |
| <i>Schizothrix calcicola</i>               | Aplysiatoxines,<br>dolostatine  | <i>Scytonima hofmanni</i>             | Scytophycines A et B                                  |
| <i>Scytonima pseudohofmanni</i>            | Scytophycines A et B  | <i>Spirulina subsalsa</i>             | nd  |
| <i>Symploca hydnoidea</i>                  | nd  | <i>Symploca muscorum</i>              | Aplysiatoxines  |
| <i>Synechococcus sp</i>                    | nd  | <i>Tolypothrix conglutinata</i>       | Toyocamycine,<br>-5-a-D-glucopyranose,<br>tubercidine |
| <i>Trichodesmium erythraeum</i>            | neurotoxines  | <i>Umezakia natans</i>                | cylindrospermopsines                                  |

PSPs : saxitoxineet/ou néasaxitoxine et /ou gonyotoxines 1, 2, 3, 4et 6 et /ou décabamoyles 2 et 3nd : toxine(s) non déterminée(s).

### I-3-5-Effets et pathologies liées aux proliférations de Cyanobactéries

Les eaux continentales soumises à l'eutrophisation sont particulièrement favorables à leur développement. Leur prolifération se caractérise par un changement de la couleur de l'eau, une diminution de sa transparence et parfois l'apparition d'écume ou de mousse. Les écosystèmes qui subissent ces développements massifs présentent un fort déséquilibre des organismes phytoplanctoniques pouvant causer le développement presque exclusif d'une seule espèce de cyanobactérie. Peu consommées par le zooplancton, les proliférations de ces algues peuvent aussi perturber l'ensemble du réseau trophique. Enfin, les cellules sénescents se dégradant massivement provoquent une diminution du taux d'oxygène dissous ce qui cause parfois une mortalité importante de poissons.

Outre leurs impacts sur les écosystèmes aquatiques et les organismes qui y vivent, les cyanobactéries ont la capacité de produire des toxines (figure 01) susceptibles d'avoir un impact sur la santé de l'Homme et l'animal (WIEGAND et PELUGMACHER, 2005).

**Tableau IV:** Effets des principaux types de toxines élaborées par les cyanobactéries (CHORUS et BARTRAM, 1999).

|                                       | <b>Hépatotoxines</b>  | <b>Neurotoxines</b>  | <b>Dermatotoxines</b>  |
|---------------------------------------|---|--|--|
| <b>Modes d'action</b>                 | Inhibition de la synthèse protéique se lie à la phosphatase des protéines des cellules du foie. | Perturbation de la transmission nerveuse (blocage des canaux Na <sup>+</sup> ).                        | Fixation sur les membranes cellulaire.   |
| <b>effets</b>                         | Altération des cellules du foie. Insuffisance hépatique, initiation du cancer du foie.          | Perturbation de l'influx nerveux (malaises comme maux du tête, vomissement, diarrhées, paralysie ...). | Sensibilisations, allergies cutanées : (inflammations, démangeaisons, rougeur...). |
| <b>Délais d'apparition des effets</b> | à court et à long terme (quelques heures à quelques années).                                    | Très rapide (quelques heures).   | A court /moyen terme.  |

***Chapitre II :***  
***Matérielles et Méthode***

## II-Matériels et méthodes

### II-1-Description du milieu

Le projet de construction du barrage de Tichi Haf s'inscrit dans le programme de construction des grands ouvrages lancés par l'état au début des années 80. Son aboutissement permettra de combler le déficit en eau des sept Daïras se trouvant sur la vallée de la Soummam, qui connaît une grande expansion démographique et une importante croissance industrielle (AHMANEK ; BOUZARARI S, 2005).

Le barrage Tichi Haf (Figure 02), dont la capacité annuelle est de 147 Hm, constitue une véritable solution au problème du manque d'eau potable et industrielle dans le couloir Akbou-Bèjaïa.



**Figure 02 :** Vue globale du barrage de Tichi Haf (collection personnelle).

L'aménagement du barrage de Tichi Haf entre dans le cadre du plan général de maîtrise des ressources en eau de l'Algérie (AHMANE et BOUZARARI, 2005). Il est destiné à :

- L'alimentation en eau potable et industrielle des agglomérations situées sur le couloir Akbou-Bèjaïa.
- L'irrigation de périmètre du Sahel et de la Basse Soummam avec un volume de 43 Hm<sup>3</sup>/an.

- L'écrêtement des crues de l'Oued Boussellam et par la même occasion leur réduction dans la vallée de la Soummam.

## **II-2-Présentation du sous bassin versant de Boussellam**

Le Barrage de Tichi Haf est situé près du village Mahfouda, commune Bouhamza, Wilaya de Bejaïa (36° 23' 26" Nord, 4° 23' 25" Est). Il est implanté sur le lit de l'Oued Boussellam, un des affluents de l'Oued Soummam, à environ 20 Km de la vallée de la Soummam. Il se situe à 7 kilomètres à l'amont de la station hydrométrique de Sidi Yahia. La surface du bassin versant au site du barrage est de 3980 km<sup>2</sup> (dont 2020 km<sup>2</sup> contrôlée par le barrage d'Ain Zada à Sétif) (COYNE et BELLIER, 1996). Le réseau hydrographique du bassin versant de Boussellam, montre une densité du réseau bien plus marquée dans la région inférieure, signe évident d'une participation plus active de cette région à l'écoulement (Figure 03).



**Figure 03 :** Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Boussellam (LAMBARDI, 1984).

### II-3- Caractéristiques hydrologiques de la retenue du barrage du Tichi Haf

Ces caractéristiques sont rassemblées dans le tableau I suivant :

**Tableau V** : caractéristiques hydrologiques de la retenue du barrage du Tichi Haf (COYNE et BELLIER, 1973).

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Mis en eau                          | Août 2006                   |
| Capacité totale                     | 150 millions m <sup>3</sup> |
| Capacité totale la retenue          | 81.844 hm <sup>3</sup>      |
| Débit journalier                    | 128 000 m <sup>3</sup>      |
| Capacité utile                      | 75 Hm <sup>3</sup>          |
| Volume de la garde d'envasement     | 5 Hm <sup>3</sup>           |
| Hauteur du barrage                  | 84 m                        |
| Longueur                            | 70 km                       |
| Surface du bassin versant           | 3.980 km <sup>2</sup>       |
| Précipitations moyennes             | 750 mm/ an                  |
| Apport solide                       | 4,7 Hm <sup>3</sup> / an    |
| Volume régularisé garanti           | 150 hm <sup>3</sup> / an    |
| Crue du projet                      | 7400 m <sup>3</sup> / s     |
| Aire (Surface) de la Retenue Normal | 475 ha                      |

#### II-4- La station de traitement :

La station de traitement de Tichi Haf est située, approximativement à une distance de 2,5Km du barrage, à une cote de 222 m sur la rive gauche de l'oued Boussellam.

Ce site a été choisi selon les critères suivants :

- disponibilité d'une assiette de 5Ha au moins.
- possibilité d'atteindre les agglomérations a un niveau piézométrique favorable du point de vue hydraulique.
- le terrain, devant servir d'assiette pour la station, est constitué du point de vue géologique de marnes consolidées et altérées par endroit de présence de calcite.

#### II-4-1-Technologie de traitement :

D'après AHMANE et BOUZARARI (2005) on constate que le traitement de l'eau se fait comme suit :

- mélange de l'eau avec un adjuvant pour la coagulation.
- floculation.
- décantation.
- aération.
- filtration
- désinfection
- enfin, acheminement vers les réservoirs d'eau traitée.

#### II-5-Climat

La vallée de la Soummam se trouve sous un climat de type méditerranéen subhumide, pour la basse vallée (El Kseur-Bejaïa) et semi-aride pour la moyenne et haute vallée.

La continentalité et l'aridité augmentent à mesure que l'on s'éloigne de la mer, tandis que la pluviométrie diminue (900 à 1000 mm à Bejaïa et 498 mm à Akbou) (SAAOUI et TAZRARI, 2005).

#### II-5-1- Précipitations

Les données recueillies proviennent de la station pluviométrique la plus proche du barrage ( Station de Sidi Yahia), ayant plus de 15 années d'observations.

**Tableau VI:** Précipitations moyennes mensuelles interannuelles enregistrées par la station de Sidi Yahia durant la période 1993 à 2008.

| Mois  | J     | F     | M     | A     | M     | J    | J    | A   | S     | O     | N     | D     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-------|-------|-------|-------|
| p(mm) | 54.32 | 36.09 | 34.89 | 36.92 | 31.04 | 6.31 | 4.11 | 9.4 | 36.45 | 26.18 | 38.11 | 60.54 |

Pour une période de 15 ans, une moyenne annuelle de 374,36 mm a été enregistrée (Tableau IV). Le mois de décembre montre la plus forte pluviométrie (60,54mm), et juillet constitue le moi le moins arrosé (4,11mm).

### II-5-2-Températures

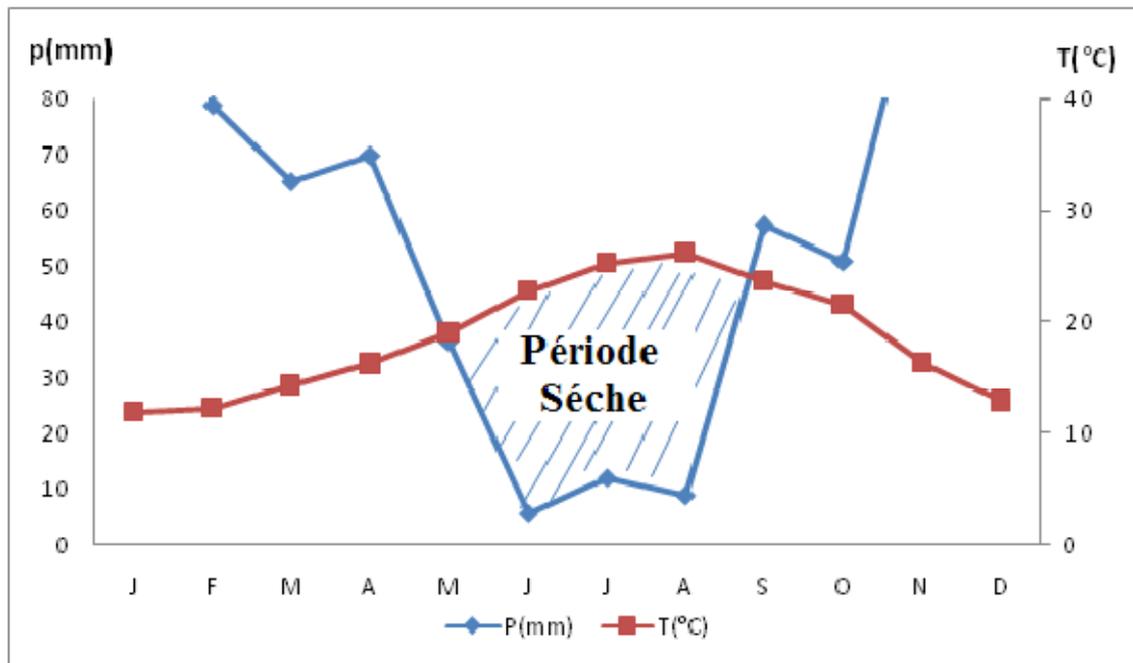
La station pluviométrique de Sidi Yahia est située à 960 m d'altitude, en apportant les modifications faites par SELTZER on aura comme résultat le tableau suivant :

**Tableau VII:** Températures mensuelles et moyennes (Station Sidi Yahia (M : température maximum, m : température minimum) (1993 à 2008).

| Mois         | J    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>m</b>     | 2.37 | 2.41 | 8.06 | 8.33 | 11.8 | 15.7 | 18.8 | 19   | 16.1 | 10.5 | 7.04 | 5.73 |
| <b>M</b>     | 11.4 | 13.3 | 14.1 | 19.1 | 22.7 | 28.4 | 31.1 | 32.1 | 27.3 | 23.8 | 15.7 | 11.8 |
| <b>M+m/2</b> | 8.08 | 9.04 | 15.1 | 17.9 | 23.2 | 29.9 | 34.3 | 35.1 | 29.8 | 22.4 | 14.9 | 11.6 |

### II-5-3-Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Le diagramme est conçu de telle sorte que la pluviométrie (P) exprimée en millimètre est égale au double de la température moyenne mensuelle (T), exprimée en degré Celsius, soit  $P = 2T$ . D'après GAUSSEN et BAGNOULS (DAJOZ, 1971), il ya sécheresse lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous. Ainsi, le diagramme établi avec les données de la période 1993-2008 de la station de Sidi Yahia, montre l'existence d'une période humide, s'étalant de début septembre à la fin mai, et une période sèche durant les trois mois restant (juin à aout) (Figure 04).



**Figure 04:** Diagramme D'ombrothermique de BAGNOLS ET GAUSSEN du bassin versant de Boussellam.

**II-5-4- Climagramme d'Emberger :**

Emberger a défini un quotient pluviométrique qui permet de faire la distinction entre les différentes nuances du climat méditerranéen. Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond. (DAJOZ, 1971). Le Quotient d'Emberger(Q<sub>2</sub>) est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{P}{M - m}$$

D'où :

P : Précipitations annuelles exprimées en mm

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °K

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °K

Ce quotient a été adapté au climat du territoire nord-africain (Maroc, Algérie et Tunisie) par Stewart 1969. Il se calcule par la formule suivante :

$$Q_2 = \dots$$

D'où :

P : Précipitations annuelles exprimées en mm

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C

Calcul de  $Q_2$  pour la région de Boussellam :

$$P = 374.36 \text{ mm}$$

$$M = 32.1 \text{ C}^\circ$$

$$m = 2.37 \text{ C}^\circ$$

$$Q_2 = 3,43 \left( \frac{\dots}{\dots} \right) \longrightarrow Q_2 = 43.19$$

En tenant compte de la température minimale et en rapportant ce quotient sur le climagramme d'Emberger (modifié par STEWART, 1969), il en déduit que Le barrage Tichi Haf, y compris la zone d'étude, se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

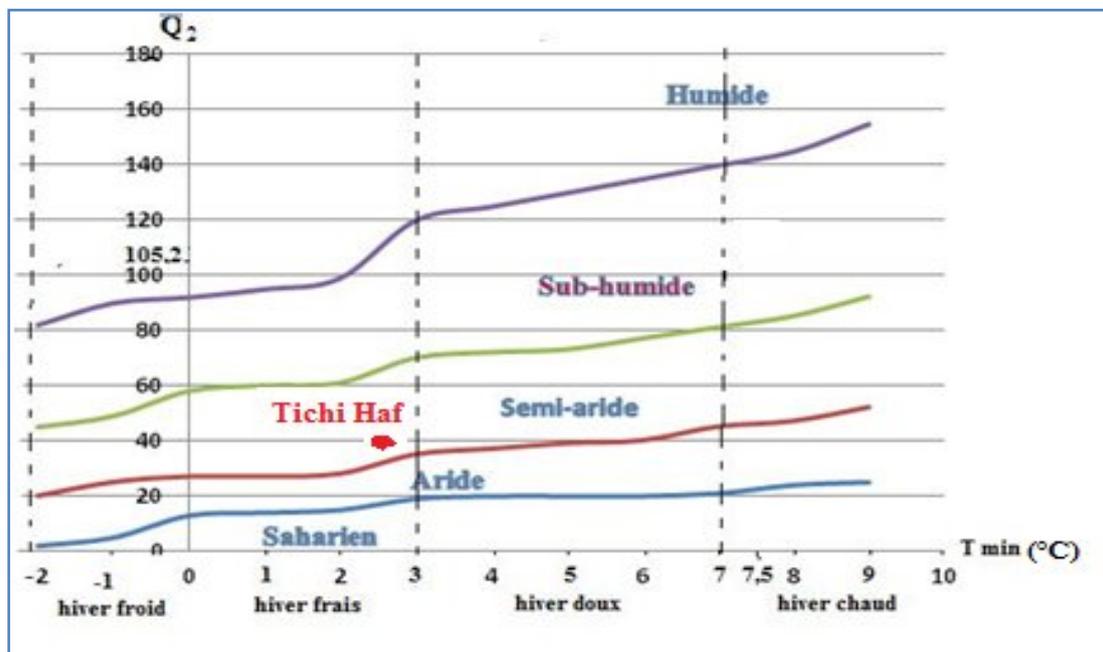


Figure 05 : Situation bioclimatique de barrage Tichi Haf selon le climagramme d'Emberger.

## II-6- La flore et la faune

Le bassin de Boussellam n'a pas fait l'objet que de peu d'études floristiques poussées. Une végétation rivulaire, des formations de *Peupleraie-Saulaie* et des maquis à *Tamaricitaie-phragmites* ont été identifiées.

La ripisylve de l'oued Boussellam a subi une dégradation très importante d'où sa disparition complète dans certains endroits. Ceci est une conséquence directe des travaux de l'adduction et du transfert depuis le barrage Tichi Haf (KENNOUCHE et IRBAH, 2009).

Tout comme la végétation, l'ichtyofaune des eaux de barrage Tichi Haf reste peu connue, et parmi laquelle certaines espèces, surtout les espèces autochtones, sont menacées de disparition (*Barbus nasus*, *Pseudophoxinus callensis*, *Aphanius iberus*) suite aux activités anthropiques toujours croissantes (BACHA et AMARA, 2007). Ces auteurs ont recensé 7 espèces de poisson dans les eaux de l'Oued Boussellam dont 3 sont des espèces introduites.

La distribution des micro-organismes et des éléments chimiques dans les eaux superficielles n'est pas homogène. Elle a été décrite comme étant aléatoire ou propagatrice ainsi il est nécessaire de choisir les sites de prélèvements afin d'avoir un bon échantillonnage représentatif et plusieurs données à exploiter au laboratoire.

### III-1-Echantillonnage

#### III- 1-1-Périodicité d'échantillonnage

L'échantillonnage proprement dit a été réalisé au cours de la période de novembre 2011 et mai 2012. 07 sorties au total ont été effectuées durant cette période (Tableau VIII).

Tableau VIII : Répartition des sorties en fonction de période de récolte.

| Sorties | Dates      |
|---------|------------|
| 01      | 29/11/2011 |
| 02      | 13/12/2011 |
| 03      | 27/02/2012 |
| 04      | 14/03/2012 |
| 05      | 02/04/2012 |
| 06      | 10/04/2012 |
| 07      | 02/05/2012 |

#### III-1-2-Prélèvements

Pour les analyses des communautés phytoplanctoniques le choix des périodes de prélèvement est le premier élément crucial. Leur mauvais positionnement dans l'année entraîne des biais dans l'interprétation des données collectées. Selon LAPLACE et *al.*, (2009) ; quatre campagnes de prélèvements sont préconisées durant l'année dont trois durant la période estivale soit entre mai et octobre.

Nos prélèvements d'eau contenant les algues se sont étalées entre novembre 2011 et mai 2012 durant les premières sorties, prospectives.

07campagnes de prélèvements ont été effectuées ce qui nous a permis de récolter 21 échantillons.

Différentes méthodes ont été utilisées pour le prélèvement des algues afin d'avoir tous les types écologiques des algues (ILTIS, 1980 ; BOURRELLY, 1966) :

- ✓ Expression des racines, tiges et les feuilles des plantes ; pour les algues fixées.
- ✓ Grattage des substrats colorés pour détacher la partie colorée ou gélatineuse pour les algues benthiques.
- ✓ Concentration des algues phytoplanctoniques par un filet à plancton de 25 µm de vide de maille, utilisé en sub-surface (profondeur = 0,20 m) pour les algues planctoniques.

Les prélèvements récoltés sont mis dans des bocaux en verre ou en plastique opaque préalablement lavés, étiquetés (date de la récolte, niveau de prélèvement, le point de prélèvement) les échantillons sont transportés jusqu'au laboratoire d'hydrobiologie de l'université de Bejaïa dans une glacière.

Les observations sont réalisées sous microscope optique. Après homogénéisation, une partie de chaque échantillon est observé à l'état frais pour déterminer les espèces mobiles ou fragiles qui pourraient être altérées par la fixation. Une autre partie fixée, avec une solution de formol à 35%, est gardée à l'abri de la lumière, pour être observée ultérieurement.

Tous les échantillons sont conservés au frais (4°C) et à l'abri de la lumière.

### **III-1-3-Points de prélèvement**

Les points de prélèvement ont été fixés selon leur accessibilité. Des prélèvements au centre du barrage n'ont été pas effectués à cause de manque de moyens (barque). Ces points sont représentés sur la figure 06.



**Figure 06:** Localisation des points de prélèvements (P1, P2, et P3) au niveau du barrage de Tichi Haf. Source : [www .Google earth. Com](http://www.google.com).

### III-2-Mesures des paramètres physico-chimiques

Au niveau des points d'échantillonnage et en parallèle avec les prélèvements d'algues, des mesures de quelques paramètres physicochimiques ont été réalisées. Il s'agit de la salinité, de l'oxygène dissous, de la température de l'eau, de la conductivité électrique et du pH, en plus la couleur des eaux et les odeurs se dégageant ont été évaluées sur le terrain.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un matériel de terrain comprenant un oxymétrie de type Hanna instrument modèle HI9 1 42 et un multi paramètre de type WTW modèle 330i.

A coté des paramètres physiques in situ d'autres dosages ont été réalisées au laboratoire, il s'agit du dosage des nitrates, des nitrites, des chlorures, des phosphates et de l'oxygène dissous. Les méthodes utilisées sont celles préconisées par RODIER (1996). (Annexe 01).

**III-3- Etude taxinomique**

Plus de 150 Photos d'algues ont été prises et mesurées en prenant en détail : les dimensions du thalle (cellules, cénobies, colonies, filaments) et des structures cellulaires importantes (soies, flagelles, épines, ...)

A partir de ces données (photos) une identification plus fine des espèces a été possible grâce aux travaux proposée par BOURRELLY (1970, 1981, 1966), aussi celle de : BOURRELLY et COUTE (1986), COMPERE (1860) pour les Chlorophycophytes, COUTE (1984, 1979), DEHBI-ZEBBOUDJ (1989) et KENNETH H .NICHOLLS (2003), pour les Diatomophycées, et COUTE (1979) pour les Cyanophycées.

## ***Chapitre III :***

### ***Résultats***

### III- Résultats

#### III-1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux du barrage Tichi Haf

Dans la recherche des facteurs écologiques qui peuvent jouer un rôle dans le développement des algues, nous avons mesuré quelques paramètres physico-chimiques des eaux du milieu de vie des algues récoltées.

L'évolution de ces paramètres durant la période d'étude est représentée dans le tableau IX.

**Tableau IX :** Récapitulatif des résultats des paramètres physico- chimiques des eaux de surface du barrage Tichi Haf durant le période d'étude (février, début de mai, 2012).

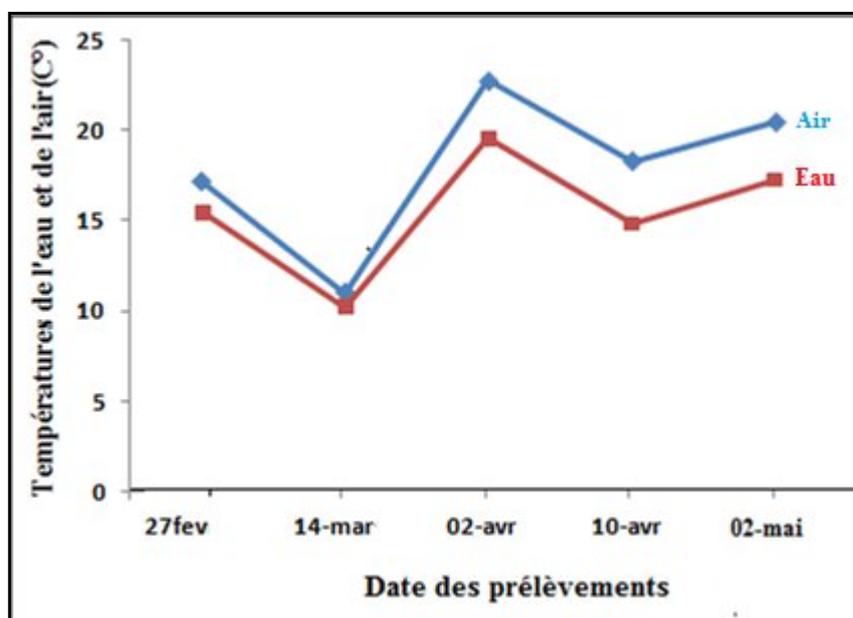
| Dates des prélèvements     | 27 février | 14 Mars | 02 Avril | 10Avril | 02 Mai  |                 |
|----------------------------|------------|---------|----------|---------|---------|-----------------|
| Nombres de prélèvements    | 03         | 03      | 03       | 03      | 03      | <b>Moyennes</b> |
| Températures de l'eau (°C) | 15,5       | 10,2    | 19,63    | 14,84   | 17,3    | 15,5            |
| Températures de l'air (°C) | 17,2       | 13,25   | 22,8     | 18,33   | 20,5    | 18,41           |
| Salinité (g/l)             | **         | 615     | 754.33   | 578.66  | 729     | 480             |
| Conductivité (µs/cm)       | **         | 694     | 1310,33  | 1380    | 1479,66 | 1198,5          |
| pH                         | 8.8        | 8,01    | 8,46     | 8.17    | 8,12    | 8,19            |
| Oxygène Dissous (mg/l)     | **         | 6,12    | 4,97     | 4,27    | 7,84    | 6,86            |
| Nitrates (mg/l)            | 28,7       | 26,93   | 17,98    | 65,34   | 54,04   | 38,59           |
| Nitrites (mg/l)            | 2,66       | 11,95   | 29,04    | 66,19   | 64,26   | 34,82           |
| Orthophosphates (mg/l)     | 0,45       | 3,91    | 1,46     | 4,15    | 2,45    | 2,48            |
| Chlorures (mg/l)           | 155        | 275,6   | 249,33   | 347,33  | 276,23  | 260,698         |

Nb : \*\* = absence de mesure

##### III-1-1-Températures de l'eau et de l'air

L'évolution des températures de l'eau et de l'air (figure 07) montre que les températures de l'eau de notre station d'étude suivent considérablement la même évolution que celles de l'air. Ces températures oscillent entre 10,2 et 19,63 °C, présentant un minimum, le 14 mars avec une valeur de 10,2°C, et un maximum enregistré le 02 avril qui est de 19,63°C. La moyenne des températures enregistrées est de 15,5 °C.

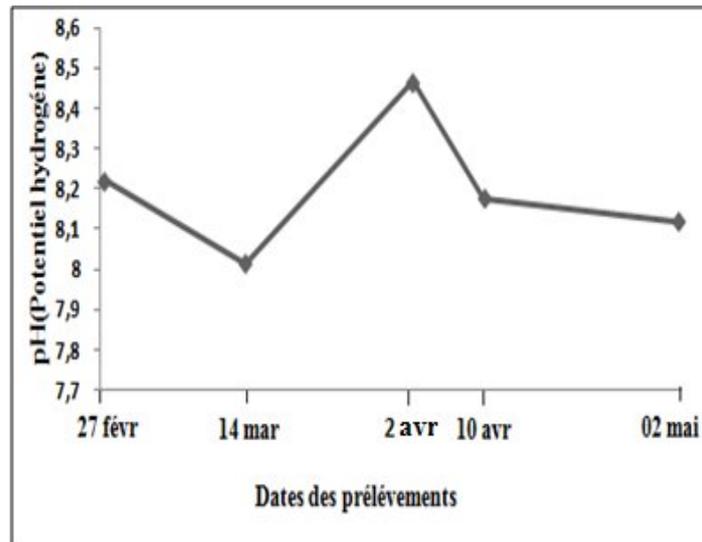
Les valeurs obtenues pour les températures de l'eau sont toujours inférieures à celles de la température de l'air, les grands écarts de températures enregistrés entre l'eau et l'air pourraient être dus aux mesures matinales, toutefois les températures de l'eau restent dépendantes de l'insolation et donc de la température de l'air.



**Figure 07 :** Evolution des températures de l'air et de l'eau (°C) du barrage Tichi Haf pendant la période d'étude (février- mai, 2012)

### III-1-2-pH

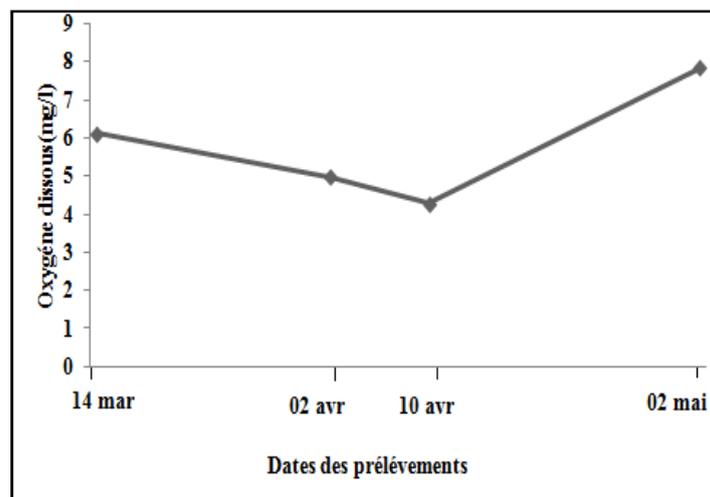
La dynamique du potentiel hydrogène de la station d'étude (Figure 08) montre que les eaux du barrage sont de nature alcaline. En effet, le pH moyen est de 8,19. Le maximum étant enregistré au début de l'étude (27-février) avec une valeur de 8,8, puis il diminue à sa valeur minimale, le 14-mars avec 8,01. Nous remarquons une certaine stabilité de pH pour toute la période d'étude.



**Figure 08** : Evolution des valeurs du pH du barrage Tichi Haf pendant la période d'étude (février-mai, 2012).

### III-1-3- Oxygène dissous

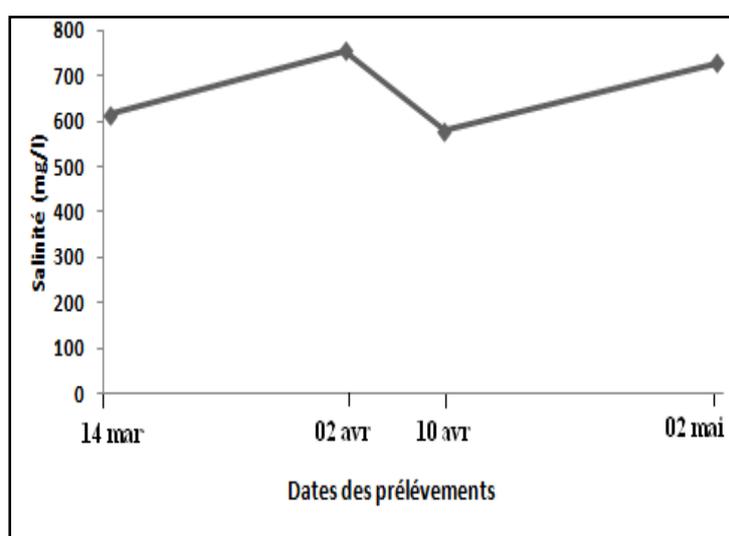
Les concentrations en oxygène dissous de la station d'étude (Figure 09) sont très variables. Les teneurs en oxygène dissous diminuent progressivement du 14 février de 6,12 mg/l jusqu'à 4,27 mg/l valeur minimale enregistrée le 10 avril. La teneur maximale est enregistrée le 7,84 mg/l vers le début du mois de mai. La teneur moyenne en oxygène est de 6,86 mg/l.



**Figure 09** : Teneur en oxygène dissous (O.D mg/l) dans l'eau du barrage de Tichi Haf pendant la période d'étude (mars- mai, 2012).

### III-1-4 Salinité

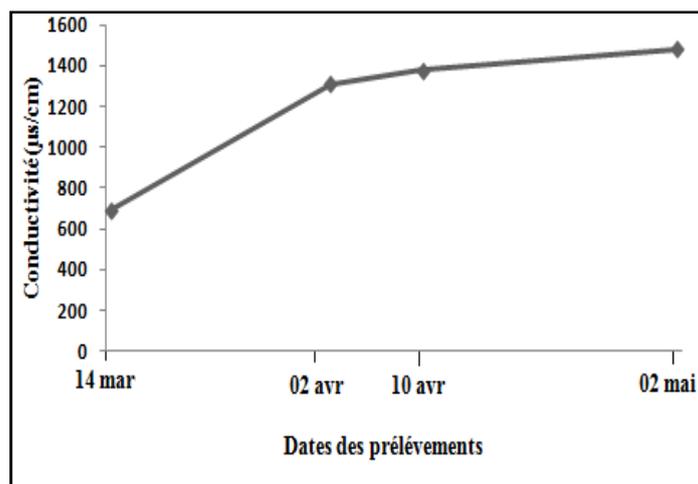
Les eaux de la surface du barrage sont caractérisées par une salinité qui varie entre 578,66 et 754,33, avec une moyenne de 480 mg/l de chlorures de sodium. Le maximum étant mesuré en début d'avril avec une teneur de 754,33 mg/l et le minimum en 10 avril avec une teneur de 578,66 mg/l. Les résultats sont présentés dans la figure 10.



**Figure 10 :** Teneur de la salinité (mg/l) dans l'eau du barrage de Tichi Haf pendant la période d'étude (mars- mai, 2012).

### III-1-5 - Conductivité électrique

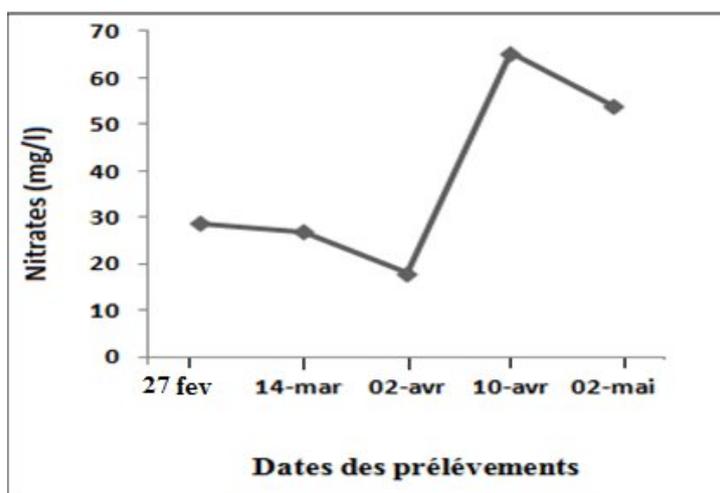
Les conductivités (charge ionique) enregistrées pour ce barrage sont élevées durant toute la période d'étude, présentant un maximum au début du mois de mai qui est de 1479,66  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , et un minimum au mois de mars qui est de 694  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . La conductivité moyenne pour toute la période d'étude est de 1198,5  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . La figure 11 montre l'évolution de la conductivité au cours de temps.



**Figure 11 :** Evaluation de la conductivité dans l'eau de barrage de Tichi Haf pendant la période d'étude (mars- mai, 2012)

### III-1-6 - Nitrates

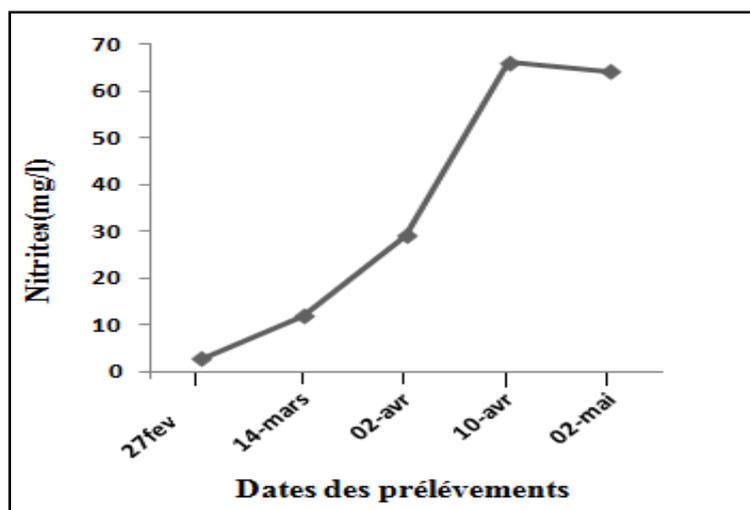
Les teneurs en nitrates oscillent entre 17 ,98 mg/l et 65, 34 mg/l ; la moyenne étant de 38,598 mg /l (Figure 12).



**Figure 12 :** Teneurs en nitrates (mg/l) dans l'eau de barrage de Tichi Haf pendant la période d'étude (février- mai, 2012)

### III-1-7- Nitrites

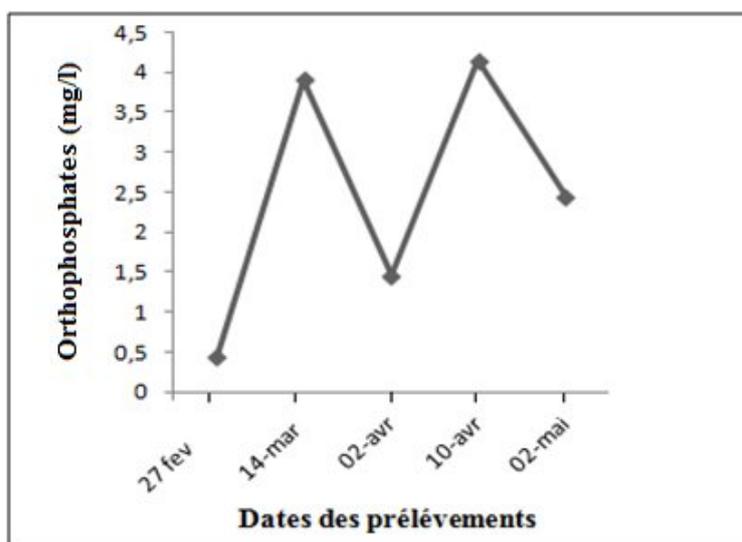
C'est la forme prépondérante de l'azote minéral, les concentrations ont enregistré des variations significatives au cours de la période d'étude. Nous avons enregistré une valeur minimale de 2 ,66 mg/l en février et une teneur maximale de 66,20 mg/l le 10 avril. La teneur moyenne en nitrites enregistrée est de 34,82 mg/l (Figure 13).



**Figure 13 :** Teneurs en nitrites (mg/l) de l'eau dans le barrage Tichi Haf pendant la période d'étude (février- mai, 2012)

### III-1-8 - Orthophosphates

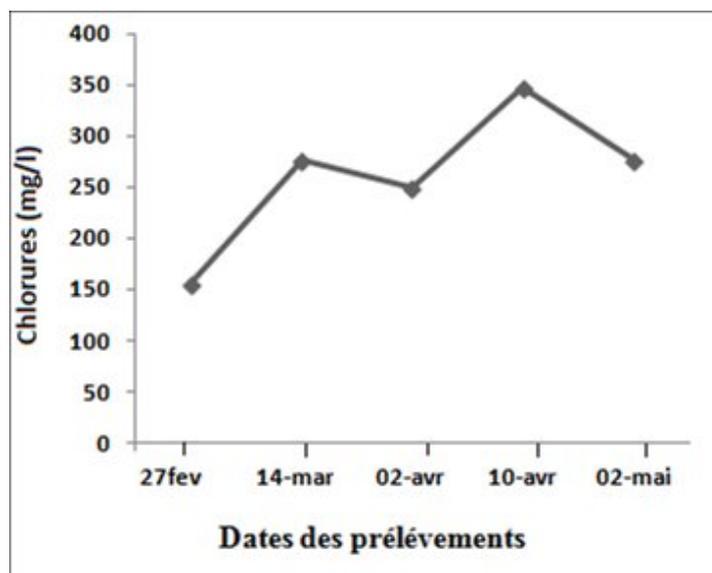
La charge en orthophosphates ( $PO_4$ ) durant la période d'étude est de 0,45 mg/l au mois de février correspondant à la valeur minimale et de 4,15 mg/l comme valeur maximale enregistrée le 10 avril. La teneur moyenne étant de 2,48 mg/l (Figure 14).



**Figure 14 :** Teneurs en orthophosphates dans l'eau de barrage de Tichi Haf pendant la période d'étude (février- mai, 2012).

### III-1-9- Chlorures

Les concentrations en chlorures ne connaissent pas de variations significatives, (Figure 15). En effet elle est presque stable au moi de février, avril et mai qui sont respectivement 0,15 mg/l, 0,25 mg/l et 0,27 mg/l. Leur maximum est au mois de mars avec une concentration de 2,75 mg/l leur teneur moyenne en chlorures est de 2,60 mg/l.



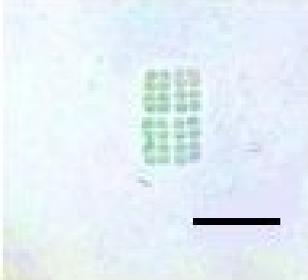
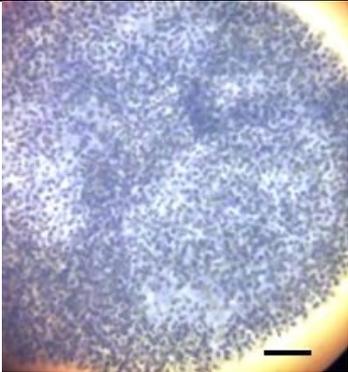
**Figure 15 :** teneur en chlorures (mg/l) de l'eau dans le barrage de Tichi Haf pendant la période d'étude (février- mai, 2012)

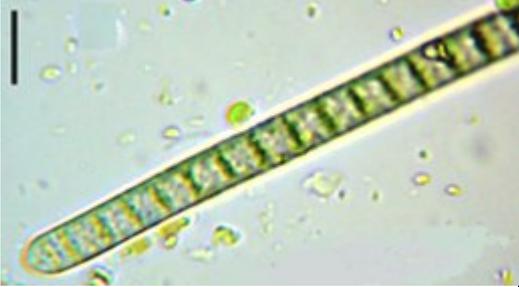
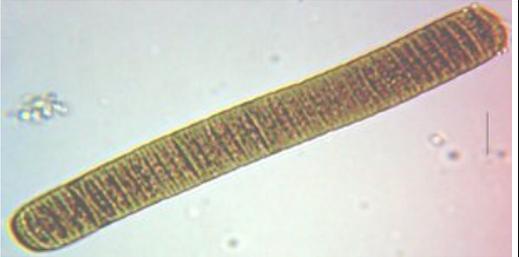
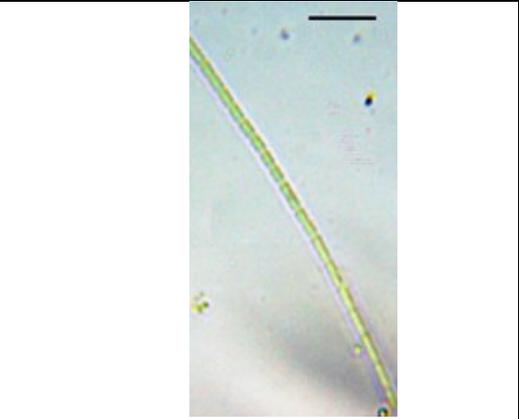
### III-2 - Composition algologique du lac du barrage Tichi Haf entre novembre 2011 et mai 2012

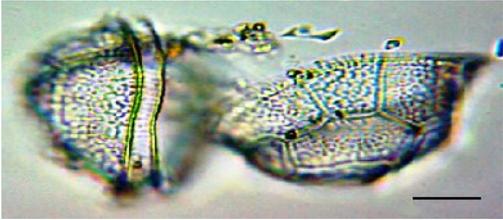
L'analyse d'une vingtaine d'échantillons d'eau contenant les algues a permis d'identifier une flore algale essentiellement constituée par des Diatomées surtout pennées, quelques Chlorophycées et beaucoup de Cyanobactéries notamment filamenteuses.

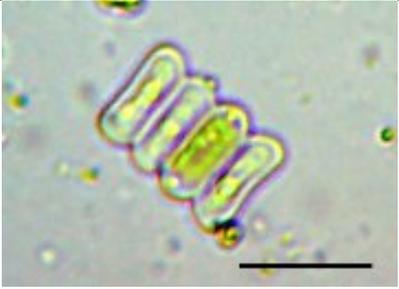
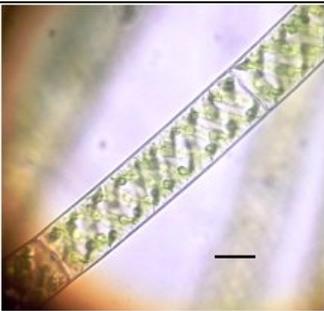
Le cours temps imparti pour l'examen de cette composition algale fait que le nombre de taxons identifiés reste faible par rapport aux résultats attendus. En effet, une trentaine de genres ont été répertoriés, ils sont classés comme suit (BOURRELLY, 1966, 1970,1981) dans le tableau suivant:

**Tableau X :** Quelques taxons inventoriés au niveau du barrage Tichi Haf pendant la période d'étude (novembre 2011-mai 2012).

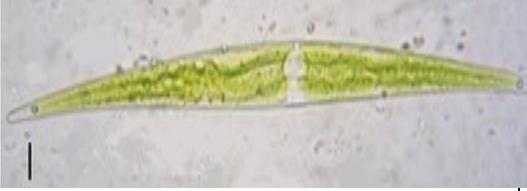
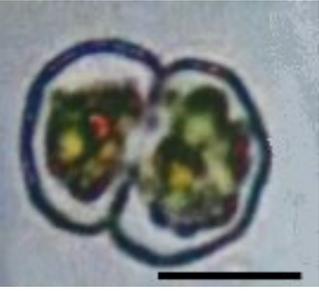
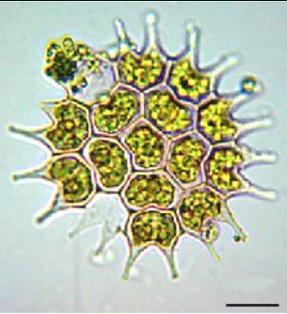
| <b>EMBRANCHEMENT : SCHIZOPHYTA</b><br><b>CLASSE : CYANOPHYCEAE</b><br><b>FAMILLE CHROOCOCCACEAE</b>  |   |
|--|---|
| <p><i>Merismopedia sp.</i></p> <p>Clonies tubulaires de petites dimensions.<br/>Cellules de 1 à 2 <math>\mu\text{m}</math> de largeur.</p>   |  <p><b>Fig.1</b></p>    |
| <p><i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz.</p> <p>Colonies globuleuses faites de cellules sphériques de 5 à 6 <math>\mu\text{m}</math> de diamètre et disposées irrégulièrement.</p> <p>Espèce cosmopolites.</p> |  <p><b>Fig.2</b></p>   |
| <p><i>Microcystis sp.</i></p> <p>Cellules sphériques de 1 à 2 <math>\mu\text{m}</math> de diamètre forme des colonies limitées, arrondies ,larges d'environ de 48 <math>\mu\text{m}</math> de diamètre.</p>  |  <p><b>Fig. 3</b></p> |
| <b>FAMILLE : OSCILLATORIACEAE</b>  |   |

|   |  |
|---|--|
| <p><b><i>Oscillatoria sp 1.</i></b></p> <p>Cellules de 4-5 <math>\mu\text{m}</math> de largeur et 4-6 <math>\mu\text{m}</math> de longueur.</p>   |  <p><b>Fig.4</b></p>   |
| <p><b><i>Oscillatoria sp 2.</i></b></p> <p>Cellules de 2.5 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 11 <math>\mu\text{m}</math> de largeur</p>   |  <p><b>Fig.5</b></p>   |
| <p><b><i>Oscillatoria sp 3.</i></b></p> <p>Cellules de 15 <math>\mu\text{m}</math> de largeur et 2,5 <math>\mu\text{m}</math> longueur.</p>   |  <p><b>Fig.6</b></p>  |
| <p><b><i>Pseudanabaena sp.</i></b></p> <p>Cellules cylindriques, légèrement atténuées au bout des filaments, mesurant 2 <math>\mu\text{m}</math> de largeur et 2.5 à 3.5 <math>\mu\text{m}</math> de longueur, reliées entre elles par des liaisons ressemblant à des ponts gélatineux.</p> |  <p><b>Fig.7</b></p> |
| <p><b><i>Spirulina sp.</i></b></p> <p>filament enroulé en spirales régulières de 2 <math>\mu\text{m}</math> de diamètre. L'ouverture des spires est de 1,5 <math>\mu\text{m}</math> de diamètre.</p>  |  <p><b>Fig.8</b></p> |

|   |   |
|---|---|
| <b>EMBRANCHEMENT : EUGLENOPHYTA</b><br><b>CLASSE : EUGLENOPHYCEAE</b><br><b>FAMILLE : EUGLENACEAE</b>   |   |
| <p><i>Euglena sp.</i></p> <p>cellules solitaires, allongées ; peu métaboliques de 61 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 9 <math>\mu\text{m}</math> de largeur, flagelle bien visible sur les échantillons vivants.</p>   |  <p><b>Fig.9</b></p>    |
| <b>EMBRANCHEMENT : PYROPHYTA</b><br><b>CLASSE : DINOPHYCEAE</b><br><b>FAMILLE : PYRIDINIUM</b>  |   |
| <p><i>Piridinium sp.</i></p> <p>cellules globuleuses mesurant 25 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 22 <math>\mu\text{m}</math> de largeur.</p>  |  <p><b>Fig. 10</b></p> |
| <b>EMBRANCHEMENT : CHLOROPHYTA</b><br><b>CLASSE : EUCHLOROPHYCEAE</b><br><b>FAMILLE : OOCYSTACEAE</b>   |   |
| <p><i>Monoraphidium tortile (W.et G .S.West).</i></p> <p>Cellules solitaires, fusiformes, étroites courbées en croissant, aux extrémités aigues, mesurant 2 à 2.5 <math>\mu\text{m}</math> de largeur et 27 <math>\mu\text{m}</math> de longueur.</p> <p><b>Espèce cosmopolite.</b></p> |  <p><b>Fig.11</b></p> |
| <b>FAMILLE : SCENEDESMACEAE</b>   |   |

|  |   |
|--|---|
| <p><i>Scenedesmus sp.</i></p> <p>Cellules ellipsoïdales à pôles légèrement arrondie, groupés par 2 ou 4 cellules en cénobe régulier. Elles mesurent 9 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 3.5 de largeur.</p>                |  <p style="text-align: center;"><b>Fig.12</b></p>   |
| <p><i>Scenedesmus sp.</i></p> <p>Cénobe de 4 cellules mesurant 8 à 10 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 3 à 4 <math>\mu\text{m}</math> de largeur ; les cellules marginales portent chacune 2 longues épines.</p>          |  <p style="text-align: center;"><b>Fig.13</b></p>   |
| <p><b>CLASSE : ZYGOPHYCEAE</b></p> <p><b>FAMILLE : ZYGNEMATACEAE</b></p>   |   |
| <p><i>Spirogyra sp.</i></p> <p>Filaments simple de 15 <math>\mu\text{m}</math> de largeur et 70 <math>\mu\text{m}</math> de longueur sont caractérisés par leurs plastes en rubans pariétaux régulièrement tordus en hélice.</p> |  <p style="text-align: center;"><b>Fig.14</b></p> |
| <p><b>CLASSE : ZYGOPHYCE</b></p> <p><b>FAMILLE : DESMIDIACEAE</b></p>  |   |
| <p><i>Closterium acutum Breb.ex ralfs.</i></p> <p>Cellule allongée de 143 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et de 5 <math>\mu\text{m}</math> de largeur ,légèrement courbée, aiguë aux pôles.</p>                             |  <p style="text-align: center;"><b>Fig.15</b></p> |

NB : Le trait sur chaque figure représente 10 $\mu\text{m}$

|   |   |
|---|---|
| <p><i>Closterium sp.</i></p> <p>Cellules peu courbées vers les extrémités de 150 - 410 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 10-20 <math>\mu\text{m}</math> de largeur atténuées et plus au moins aigues aux pôles.</p>                                     |  <p><b>Fig.16</b></p>   |
| <p><i>Cosmarium sp 1.</i></p> <p>cellules de 10 à 22 de longueur et 9 à 17 <math>\mu\text{m}</math> de largeur et Isthme de 6 à 12 <math>\mu\text{m}</math> .hémisotes ellipsoïdaux</p>   |  <p><b>Fig.17</b></p>   |
| <p><i>Cosmrium sp2.</i></p> <p>cellule de 10-27 <math>\mu\text{m}</math> de longueur et 8-23 <math>\mu\text{m}</math> de largeur Isthme de 5-12 <math>\mu\text{m}</math> hémisomes hexagonaux à subhexagonaux</p>   |  <p><b>Fig.18</b></p> |
| <p><b>EMBRANCHEMENT DES CHROMOPHYTA</b></p> <p><b>CLASSE : XANTHOPHYCEAE</b></p> <p><b>FAMILLE : SCIADIACEA</b></p>   |   |
| <p><b>Famille : PEDIATRUM</b></p>   |   |
| <p><i>Pediastrum boryanum.</i></p> <p>talles organisée en cénobes sphérique de 60 à 80<math>\mu\text{m}</math> de diamètre, porte de l'apex un aiguillon fin de 8 à 12 <math>\mu\text{m}</math> de long , cellule de diamètre 10<math>\mu\text{m}</math>.</p> |  <p><b>Fig.19</b></p> |

| <b>EMBRANCHEMENT : CHROMOPHYTA</b><br><b>CLASSE :DIATOMOPHYCEAE</b><br><b>SOUS CLASSE :PENNATOPHYCIDEAE</b>       |   |
|---|---|
| <p><b><i>Surirella sp. 1</i></b></p> <p>Cellules ovoïdes 49 µm de longueur et 16 µm de largeur</p>                |  <p><b>Fig.20</b></p>   |
| <p><b><i>Surirella sp 2.</i></b></p> <p>Cellules ovales de 53 µm de longueur et 38µm de largeur.</p>              |  <p><b>Fig.21</b></p> |
| <p><b><i>Gyrosigma sp.</i></b></p> <p>Valve de 189 µm de longueur et 38 µm de largeur .les stries invisibles.</p> |  <p><b>Fig.22</b></p> |

NB : Le trait sur chaque figure représente 10µm

Les observations des algues récoltées au niveau du lac du barrage Tichi Haf (21 échantillons) entre novembre 2011 et mai 2012 nous ont permis d'identifier 31 genres ( Tableau XI). Ils appartiennent aux embranchements suivants :

- ✓ 10 Schizophyta, (01 seule classe : Cyanophyceae).
- ✓ 01 Euglenophyta, (01 seule classe : Euglenophyceae).
- ✓ 01 Pyrrophyta, (01 seule classe : Dinophyceae).
- ✓ 11 Chromophyta, dont (01 classe : Xanthophyceae et 1 classe : Diatomophyceae).
- ✓ 08 Chlorophyta, (01 classe : Euchlorophyceae).

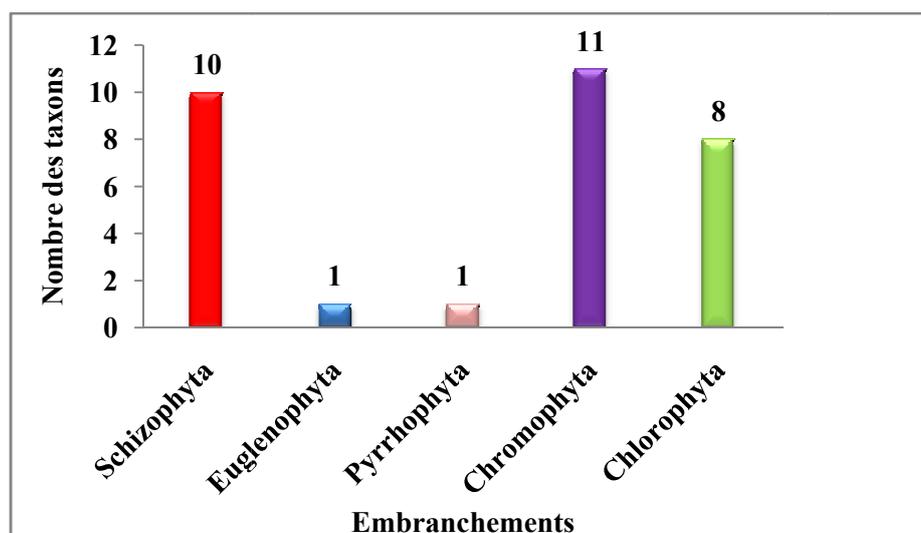
**Tableau XI** : les taxons algaux identifiés dans le lac du barrage Tichi Haf entre novembre 2011-mai 2012.

| <b>Cyano.</b>        | <b>Eugleno.</b> | <b>Dino.</b>      | <b>Xantho.</b>   | <b>Diatomo.</b>     | <b>Chloro.</b>       |
|----------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| <i>Anabaena</i>      | <i>Euglena</i>  | <i>Peridinium</i> | <i>Tribonema</i> | <i>Cyclotella</i>   | <i>Closterium</i>    |
| <i>Chroococcus</i>   |                 |                   |                  | <i>Cymatopleura</i> | <i>Cosmarium</i>     |
| <i>Lyngbya</i>       |                 |                   |                  | <i>Epithemia</i>    | <i>Monoraphidium</i> |
| <i>Merismopedia</i>  |                 |                   |                  | <i>Fragilaria</i>   | <i>Mougeotia</i>     |
| <i>Microcystis</i>   |                 |                   |                  | <i>Gomphonema</i>   | <i>Pediastrum</i>    |
| <i>Oscillatoria</i>  |                 |                   |                  | <i>Gyrosigma</i>    | <i>Scenedesmunia</i> |
| <i>Pseudanabaena</i> |                 |                   |                  | <i>Melosira</i>     | <i>Spirogyra</i>     |
| <i>Spirulina</i>     |                 |                   |                  | <i>Pinnularia</i>   | <i>Zygnema</i>       |
| <i>Synechocystis</i> |                 |                   |                  | <i>Pleurosigma</i>  |                      |
| <i>Phormidium</i>    |                 |                   |                  | <i>Surirella</i>    |                      |
| <b>10</b>            | <b>01</b>       | <b>01</b>         | <b>01</b>        | <b>10</b>           | <b>08</b>            |

**Nb** : Cyano = Cyanophyceae ; Eugleno = Euglenophyceae ; Dino = Dinophyceae ;

Xantho = Xanthophyceae ; Diatomo = Diatomophyceae ; Chloro = Chlorophyceae.

Selon la figure 16 nous notons que le plus fort pourcentage est-ce lui des Chromophyta avec 11 taxons, représente 35% des algues déterminées suivi par celui des Schizophyta avec 10 taxons et dont le pourcentage est de 32% ; les Chlorophyta représentent pour leur part 08 taxons, avec 25% de la totalité des taxons identifiés. Pour les Euglenophyta il ne comporte qu'un seul taxon ce qui représente 3%.



**Figure 16:** Répartition des différents embranchements d'algues dans l'ensemble des récoltes des trois points de prélèvement au cours de la période novembre 2011-mai 2012.

La figure 17 montre que les 10 taxons appartenant aux Shizophyta, représentées par la seule classe des cyanophycées dont le pourcentage atteint 33%, elle compte 10 genres regroupés dans trois familles parmi ces familles, celle des *Oscillatoriaceae* est majoritaire et constitue la moitié de toutes les cyanophycées, elles renferment 4 genres à savoir *Lyngbya* Agardh, *Oscillatoria* Vaucher, *Spirulina* Turpin et *Phormidium* Kützing.

La famille des Chroococaceae vient en deuxième position avec 4 genres qui sont : *Chroococcus* Nägen, *Microcystis* Kützing, *Synechocystis* Sauvageau et *Merismopedia* Meyen.

Quand à la famille des Nostocaceae, on a retrouvé un seul genre *Anabaena* Denis. Et Frémy qui donne un pourcentage de 10% (Figure 18).

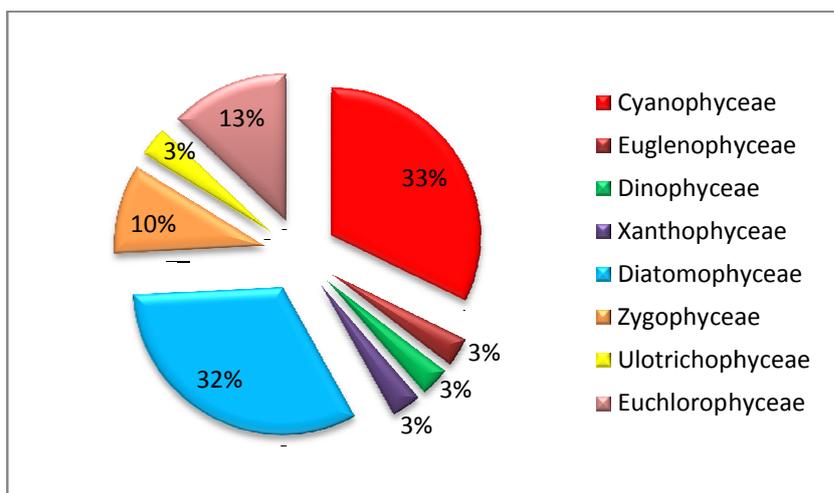
Les Cyanophyceae sont suivies par les Chromophyta (32%) dont la majorité appartient aux Diatomophyceae parmi lesquelles on reconnaît des diatomées pennés comme : *Epithemia* de Brebisson, *Fragilaria* Haworth, *Pinnularia* Ehrenberg, *Surirella* Turpin, *Cyclotella* Kützing, *Cymatopleura* W.Smith, *Gonphonema* Ehrenberg, *Gyrosigma* Hassall, *Melosira* G. Agardh, *Pleurosigma* W.Smith.

Nous avons également observé une seule Xantophyceae (03%).

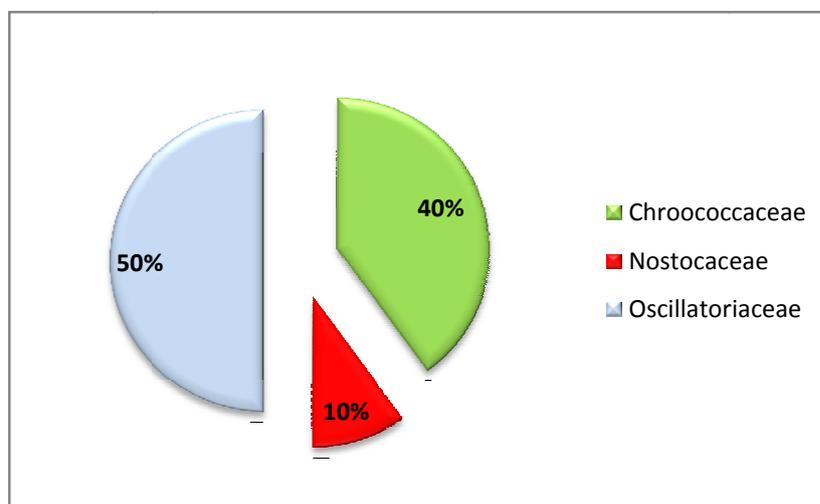
Pour les Chlorophyta nous avons essentiellement des Euchlorophyceae qui renferment 08 genres soit 26% de toutes les Chlorophyceae inventoriées, elles sont présentées par les

genres suivants, *Scenedesmus* Meyen, *Mougeotia* C .A.Agardh, *Pediastrum* Meyen, *Zygnema* Agardh, *Monoraphidium* Meyen, *Closterium* Nitzsch, *Cosmarium* Corda, et *Pediastrum* Meyen.

Les autres taxons ont des pourcentages faibles soit de 3% pour chacun des Euglenophyceae et Dinophyceae.



**Figure 17 :** Répartition des algues identifiées en classes dans le Barrage Tichi Haf de novembre 2011 à mai 2012.



**Figure 18:** Répartition en familles de cyanophycées inventoriées dans le barrage Tichi Haf entre novembre 2011 et mai 2012).

*Chapitre IV :*  
*Discussion*

## IV- Discussions

## IV-1- Analyses des paramètres physico-chimiques

L'étude de l'évolution des paramètres physico chimiques des eaux du barrage Tichi Haf indique une hétérogénéité spatiale à court terme très apparente.

Nous avons discuté nos résultats en comparaison avec les normes de Décret N° 2001-1220, 2001) représenté dans le tableau suivant :

**Tableau XII** : Paramètres de classification des eaux de surface (Décret N° 2001-1220, 2001)

| Classe<br>Paramètres                | 1A       | 1B         | 2          | 3           | HC      |
|-------------------------------------|----------|------------|------------|-------------|---------|
| Conductivité $\mu\text{s/cm}$       | <400     | 400 à 750  | 750 à 1500 | 1500 à 3000 | >3000   |
| Température ( $^{\circ}\text{C}$ )  | <20      | 20 à 22    | 22 à 25    | 25 à 30     | >30     |
| pH                                  | <6,5     | 6,5 à 8,5  | 6 à 9      | 5,5 à 9,5   | 9,5     |
| MES (mg/l)                          | <30      | <30        | <30        | <30         | 150     |
| OD (mg/l)                           | >7       | 5 à 7      | 3 à 5      | <3          | <3      |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)             | <3       | 3 à 5      | 5 à 10     | 10 à 25     | 25      |
| DCO (mg/l)                          | <20      | 20 à 25    | 25 à 40    | 40 à 80     | >80     |
| Fe (mg/l)                           | < 0,5    | 0,5 à 1    | 1 à 1,5    | >1,5        | >1,5    |
| Cu (mg/l)                           | 0,02     | 0,02       | 0,05 à 1   | >1          | >1      |
| Pb (mg/l)                           | <0,05    | <0,05      | <0,05      | <0,05       | <0,05   |
| Mn (mg/l)                           | <0,1     | 0,1 à 0,25 | 0,25 à 0,5 | 1           | >1      |
| F (mg/l)                            | < 0,7    | 0,7 à 1,5  | 0,7 à 1,7  | >1,7        | >1,7    |
| Zn (mg/l)                           | <0,5     | 0,5 à 1    | 1 à 5      | >5          | >5      |
| Cd (mg/l)                           | <0,5     | <0,05      | <0,05      | <0,05       | <0,05   |
| Hg (mg/l)                           | < 0,0005 | <0,01      | <0,0005    | <0,0005     | <0,0005 |
| Detergents (mg/l)                   | <0,2     | <0,001     | 0,2 à 0,5  | >0,5        | >0,5    |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | -        | 0,1        | 0,3        | 1           | >2      |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | 25       | 50         | 50         | 50          | >50     |
| PO <sub>4</sub> (mg/l)              | < 0,4    | -          | -          | -           | >7      |
| Chlorures (mg/l)                    | <150     | 200        | 200        | 200         | >250    |
| Sulfates (mg/l)                     | <150     | 200        | 250        | 250         | >250    |

#### **IV-1-1- Température de l'eau et de l'air**

Les eaux du barrage durant la période s'étalant de février à mai 2012 ont une température moyenne de 15.49 C°. D'une manière générale, les températures sont inférieures à celles de l'air (Figure 07) Ceci peut être due aux mesures matinales (10 :00 h), toutefois les températures de l'eau restent dépendantes de l'insolation et donc de la température de l'air.

Les faibles valeurs enregistrées en février et mars 2012 restent caractéristiques du climat de la région.

#### **IV-1-2- Potentiel hydrogène (pH)**

Le pH des eaux du barrage est alcalin (8 ,19 en moyenne). Cette valeur est comprise dans l'intervalle exigée par les normes algériennes (Tableau XI).

D'après VALENTINE (2004) la présence du phytoplancton est à l'origine de l'augmentation du pH dans l'eau .Grâce à la photosynthèse, il y a libération de l'oxygène, ce qui augmentera sa concentration et la consommation de CO<sub>2</sub> entraînant l'élévation du pH. D'après DAJOZ (1985) les milieux qui présentent un pH supérieur à 7 sont dits eutrophes.

#### **IV-1-3- Salinité et conductivité**

L'eau du barrage Tichi Haf présente une salinité moyenne de 480 g/l. Cette valeur de salinité peut être expliquée Selon SANCHEZ (1992), à la libération des ions des sédiments. Cette salinité peut être due aussi à la nature minérale des eaux provenant de L'Oued Boussellam et de celui de la Soummam, qui reçoivent les eaux thermales et minérales de hammam Sidi Yahia et d'autres rejets d'industries diverses installées le long de ces deux oueds.

Les faibles teneurs (578 ,66 mg/l) enregistrées en avril 2012 coïncident avec les fortes pluies que la région a reçues.

Les valeurs de la conductivité mesurées lors des différents prélèvements varient entre 1479,66 et 694 µs/cm, toutefois, elles restent dans les normes établies pour des eaux cde surface. (>3000 µs/cm) (Tableau XI). On note une forte variation de la conductivité durant les cinq sorties. La forte valeur enregistrée lors du dernier prélèvement (1479, 66 ms/cm) pourrait s'expliquer par les déversements des eaux usées domestiques provenant des villages à

proximité (Bouhamza, Mahfodha, Tansawth ..) et des eaux chargées provenant de l'Oued Boussellam.

#### IV-1-4- Oxygène dissous :

La teneur en oxygène dissous est en moyenne de (5.73 mg/l) qui révèle une eau de qualité acceptable ( $OD < 5$  mg/l). Pour l'embouchure de Oued Boussellam on constate que les concentrations mesurées sont plus faibles (4,7 mg/l) correspondant à une qualité médiocre des eaux (3 à 5), l'origine de cette baisse d'oxygène peut être liées selon SANCHEZ (1992) ; et GOUJOU (1995) à l'activité photosynthétique ou à l'oxygène dissous atmosphérique.

Durant la dernière sortie, nous avons noté une augmentation des teneurs en oxygène dissous (7.84 mg/l) qui est peut être liée selon NJUNE et *al*, (2007) à des fortes précipitations qui entraînent souvent une légère élévation du taux de saturation en oxygène dissous.

#### IV-1-5- Propriétés organoleptiques

**Couleur :** les eaux naturelles sont toujours plus au moins colorées et cette coloration varie de jaune paille à peine perceptible au brin rougeâtre.

Sur les lieux, nous avons observé une couleur brin verdâtre de l'eau du barrage.

Les matières colorantes qui sont les plus souvent d'origine naturelle, proviennent de la dégradation des végétaux morts, phytoplanctons, les métaux...etc. (TARDAT; 1985).

**Odeur :** une odeur d'herbe frais et d'autres odeurs désagréables se dégagent des eaux du barrage. Cependant, en l'absence d'analyses plus précises, nous n'avons pu en déterminer les causes. Généralement, les odeurs résultent de la présence excessive de matières biologiques comme les algues ou industrielles comme le chlore libre actif.

#### IV-1-6- Nitrates

Les concentrations en nitrates varient entre 17,98 mg/l et 65,34 mg/l ; la moyenne étant de 38,598 mg/l (Figure 12). Les teneurs élevées observées en avril (65,34 mg/l) et en début mai (54,04 mg/l) peuvent être expliquées par la forte pluviométrie et les ruissellements qui augmentent les débits des cours d'eau qui se trouvent chargés d'éléments organiques

rajoutés aux apports importants d'eaux usées émises par les habitants de plusieurs villages avoisinants (Aguemoune ,Tachewaft ,Tizekht et Tansawth ...).

Les nitrates peuvent être issus en grande partie des terrains agricoles par l'épandage des engrais et atteignent le barrage par lessivage des sols ou via les eaux souterraines. La partie ouest de barrage est connue par une agriculture intensive comme nous l'avons constaté et comme le confirme la figure 21.



**Figure 21 :** Collection personnelle présentant les activités d'agriculture autour de barrage Tichi Haf prise en 29/11/2011.

#### **IV-1-7- Orthophosphates :**

Ces formes de phosphates correspondent à la forme directement assimilable par les plantes et fournissent des informations précieuses sur la pollution des eaux par les activités humaines.

La teneur moyenne calculée pendant nos prélèvements est de 2.48 mg/l. Ces valeurs sont petites en comparaison avec la valeur normale des eaux de surface. Les teneurs enregistrées sont probablement liées aux rejets ponctuels des industries et proviennent essentiellement de l'oued Boussellam et l'Oued Soummam principaux affluents du barrage Tichi Haf.

Au mois de février, une diminution en phosphates a été observée (0,45 mg/l); elle peut s'expliquer selon GOUZE et al (2005), par le phytoplancton qui utilise le phosphate nécessaire à son développement et sa survie.

#### **IV-1-8- Chlorures :**

L'analyse des mesures effectuées montrent que la concentration en chlorures varie entre 155 et 347 mg/l avec une moyenne de 260,7. En comparant avec les normes établies (Tableau XI), ces valeurs dépassent la norme (250 mg/l). Ces augmentations en chlorures peuvent être causées par l'intensité des rejets domestiques (produits ménagers et détergents) qui renferment habituellement une quantité importante en chlorures.

Par ailleurs, les concentrations les plus élevées en chlorures ont été enregistrées au niveau de l'embouchure de l'Oued Boussellam qui constitue un point de déversement de grandes quantités d'eaux usées domestiques distant d'à peine 2 km de barrage Tichi Haf.

#### **IV-1-9- Nitrites :**

D'après les résultats d'analyses on remarque que les teneurs en nitrites suivent un rythme équivalent à celui des nitrates, les teneurs se situent entre 2.66 et 66.19 mg/l avec une moyenne de 34,82 mg/l la plus part de ces valeurs dépassent la norme qui est de 1 mg/l.

L'examen de la (figure 13) montre que les NO<sub>2</sub> augmentent dans le temps et sont élevées dans les prises du 2 mai 2012. L'augmentation de ces teneurs pourrait être attribuée aux apports en éléments nutritifs provenant des différentes sources de pollution.

Elle pourrait également expliquer la forte présence d'Euglenophyceae, classe réputée pour sa préférence aux matières organiques.

#### **IV-2- Analyse de la communauté algale**

Les algues provenant du lac du barrage Tichi Haf se développent dans des eaux généralement assez riches en nutriments si on examine les teneurs mesurées en nitrates (8,678 mg/l), nitrites (34,82 mg/l) et Orthophosphates (1,98 mg/l). Ces eaux sont moyennement oxygénées (6,86 mg/l) et alcalines pH (8,19), et avec des températures moyennes de (15,5°C).

La communauté algale du lac du barrage Tichi Haf est dominée par les Cyanophyceae ou Cyanobactéries (33%) et les Diatomophyceae. Parmi les Cyanobactéries,

Les Oscillatoriceae sont les plus présentes et parmi les Diatomophyceae, les formes pennées sont les plus diversifiées et les plus abondantes.

Les Diatomophyceae sont des algues qui tolèrent généralement d'importantes variations thermiques ce qui explique leur présence et en grand nombre dans toutes les récoltes provenant du barrage objet de notre travail. Nous tenons à signaler que le frustule de ces algues est difficilement visible sans élimination de la matière organique et montage dans des résines spéciales ; par conséquent beaucoup de formes n'ont pu être identifiées.

Les Chlorophyceae sont aussi présentes avec un pourcentage de 26%. Ce sont pour la plupart des espèces d'une large distribution. Ce pourcentage reste faible par rapport à la richesse systématique des algues vertes et à l'importance de la surface du barrage. Il faut rappeler par ailleurs que le nombre de points d'échantillonnage est aussi faible à cause de l'inaccessibilité du site à certains endroits escarpés ou difficiles à atteindre (centre du lac) et à une longue période neigeuse. De plus, la plupart des algues vertes inventoriées appartiennent aux Desmidiaceae. Elles ont été observées au niveau du point trois dont le pH est de 4.3. Ceci confirme la préférence de ces algues aux milieux acides (ILTIS, 1973).

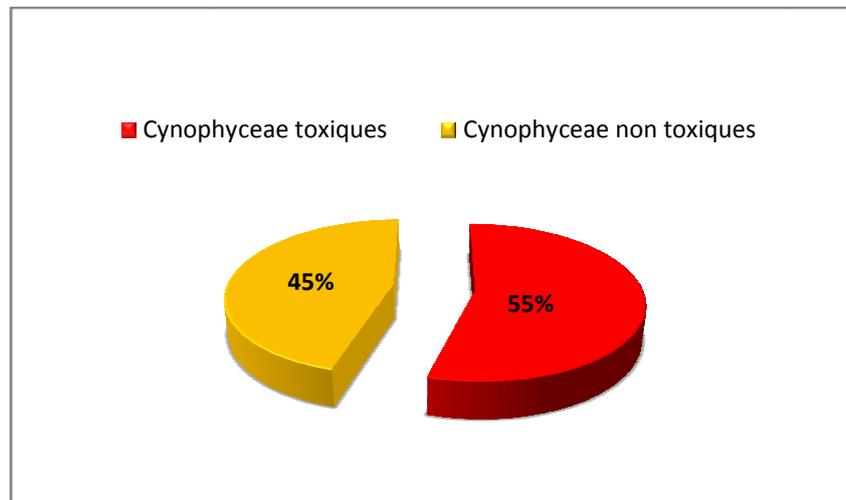
Les Euglenophyceae renferment plusieurs espèces d'Euglena notamment des formes métabolites dont la fixation a rendu difficiles à déterminer. La plupart de ces Euglena ont été récoltées au niveau du point 3 qui reçoit les eaux usées des villages avoisinants. En effet, ces algues préfèrent les milieux eutrophes et sont rarement retrouvées dans les milieux saumâtre et salé (BOURRELLY, 1970).

*Peridinium* est le seul genre représentant la classe des Dinophyceae dans le lac du barrage Tichi Haf. Les Dinophyceae sont cosmopolites et se rencontrent tant en eau douce qu'en milieu marin, et certaines même sont très largement euryhalines (lagunes, marais salants).

#### **IV-3- Cyanophyceae toxiques:**

Il est important de noter par ailleurs la présence dans cette flore, la première dans son genre pour ce barrage dont les eaux sont essentiellement destinées à la consommation, de Cyanophycées toxiques.

En analysant les 10 Cyanophyceae retrouvées dans les eaux de ce barrage, on a remarqué la présence de 06 genres potentiellement toxiques. Comme le montrent les figures 19 et 20, ils représentent 16 % de la totalité de cette flore. Ce sont les genres : *Microcystis* Kützing, *Synechocystis* sauvageau, *Anabaena* Denis. Et Frémy, *Lyngbya* Agardh, *Oscillatoria* Vaucher, *Spirulina* Turpin.



**Figure 19 :** Répartition des Cyanophycées toxiques par rapport à la totalité des Cyanophycées du barrage Tichi Haf entre novembre 2011-mai 2012.



**Figure 20 :** Pourcentages des algues toxiques par rapport aux totalités des algues récoltées dans le barrage Tichi Haf entre novembre 2011-mai 2012.

Il est important de signaler qu'en novembre 2011 nous avons été préoccupés par le développement massif d'une espèce, *Microcystis aeruginosa* qui avait été observée en

grandes quantités (9783 thalles/ml) dans quelques uns de prélèvements d'eau en provenance du lac du barrage Tichi Haf destinés à satisfaire une simple curiosité.

Cette Cyanobactérie a servi à l'isolation de la première toxine appelée Microcystine et dont l'organe cible est le foie d'où le terme d'hépatotoxine qui est donné pour toutes les microcystines. Ces cyanotoxines sont les plus fréquentes dans l'eau. Elles sont extrêmement stables grâce à leur structure chimique qui leur permet de se développer dans les eaux tièdes et froides et de tolérer des changements importants dans la composition chimique de l'eau, notamment le pH (OBERHOLSTER P et al 2004).

Jusqu'à présent, 50 différentes sortes de microcystines ont été découvertes. Elles sont souvent incriminées dans des empoisonnements chez les animaux et chez les humains qui utilisent des eaux contenant des fleurs d'eau toxiques (OBERHOLSTER P et al 2004). Le caractère toxique des *Microcystis* ainsi que leur association en colonies leur permettent d'être moins broutées par le zooplancton que le reste d'algues ce qui explique leurs proliférations intenses (NGANSOUMANA, 2006).

D'après REVIERS (2003) et VALENTINE (2004), le développement massif des cyanophycées est dû au climat de plus en plus sec et aux différents paramètres physiques : pH alcalin et températures se situant entre 15 et 30 °C. Ces proliférations peuvent aussi être expliquées par la disponibilité des nutriments en particulier les nitrates et les phosphates (CHORUS et BARTRAM, 1999).

La dégradation de la qualité organoleptique des eaux du barrage Tichi Haf serait peut être causée par la présence de ces Cyanobactéries toxiques. Selon MOUCHET (1978), cette altération être expliquée par des substances métaboliques génératrices de goût et d'odeur surtout pendant la phase de croissance des cyanobactéries comme les composées phénolés, qui sont surtout susceptibles de former lors de la désinfection des eaux, des composées chlorées (chlorophénols) pouvant rendre l'eau impropre à la consommation .

La mauvaise odeur peut être liée aussi à la décomposition des fleurs d'eau des cyanophycées par voie microbienne produisant des différentes composées soufrées odorants comme le méthylmercaptopan, l'isobutylmercaptopan et le diméthylsulfure.

Vue la présence importante de Cyanobactéries dans ces eaux, il est probable que ces nuisances soient liées aux substances produites par ces microorganismes.

Par ailleurs, des chiens et des poissons ont été signalés morts dans et à proximité de ce barrage. Ils pourraient être empoisonnés par les cyanotoxines libérées dans l'eau suite à la dégradation de la flore Cyanobactérienne.

Aucune étude n'est encore faite sur les toxines de ces algues au niveau du lac du barrage Tichi Haf cependant une forte abondance de *Microcystis aeruginosa* (9783 thalles/ml) a été observée dans les eaux. Des études ont montré que la présence de cyanotoxines est détectée avec des cyanobactéries dont le nombre de cellules est inférieur à 5000 cellules/ml dans les eaux, chiffre recommandé par l'AFSSA pour l'analyse des microcystines dans les eaux bretonnes en France. En effet, *Microcystis aeruginosa* est capable de sécréter une microcystine connue sous le nom de microcystine-LR (Leucine, Arginine). C'est la plus répandue et la plus toxique parmi plus de 80 variétés de microcystine identifiées jusqu'à nos jours. Ces variétés diffèrent par deux acides aminés et le nom de chaque microcystine est terminé par les initiales de ces acides. D'après un groupe scientifique sur l'eau de l'Institut de santé publique du Québec, ces toxines sont très stables et résistent à la lumière solaire. Elles sont aussi accumulées dans les poissons.

La microcystine LR qui est un puissant inhibiteur des sérine/thréonine phosphatases 1 et 2A in vitro. Ces enzymes jouent un rôle important dans l'homéostasie cellulaire. Leur inhibition provoque la prolifération des cellules, la promotion de tumeurs et une perturbation de la structure cellulaire du foie. Il n'y a pas de traitement spécifique. Il a été démontré que l'administration de cyclosporine ou rifampine, des compétiteurs pour les transporteurs membranaires, diminuait la gravité de l'intoxication en réduisant fortement l'absorption des microcystines. Malheureusement, ce résultat est obtenu uniquement quand on administre ces composés avant d'exposer les animaux aux microcystines. Selon JAEG(2007) malgré la faible biodisponibilité des microcystines, les quantités de toxines dans l'eau sont suffisamment importantes pour empoisonner les animaux à cause de sécrétion de certaines toxines.

#### **IV-4- Cyanobactéries et cyanotoxines en Algérie, en Maroc, et en Tunisie**

Beaucoup d'études ont été faites dans les pays d'Afrique du Nord sur des plans d'eaux différents (retenues de barrages, lacs naturels ou artificiels) afin de déterminer la flore algale présente dans ces milieux qui évoluent, dans la majorité des cas, vers l'eutrophisation et en tenant compte des proliférations de Cyanobactéries potentiellement toxiques. Selon BOUAÏCHA 2002, *Microcystis* est l'espèce la plus abondante par la formation des blooms en

Algérie et au Maroc ; pour la Tunisie le genre *Oscillatoria* est la plus dominante. Les concentrations en microcystines dans les eaux brutes algérienne et marocaine peuvent atteindre 20 à 30 mg/l (très fortes). En Tunisie la concentration est de d'ordre d'une dizaine de micro- gramme par litre.

Concernant Béjaïa, la dernière décennie a vu la réalisation de plusieurs travaux sur les Cyanobactéries, comme ceux de BACHA (2003), DJOUAD (2008) et GUENANA et MOUSSOUNI (2010).

Le tableau XIII rassemble la liste des taxons reconnues toxigènes comme *Lyngbya*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Scynechocystis*, *Anabenna* et *Spirulina* existent au niveau de la wilaya de Béjaïa. L'analyse de la flore cyanobactérienne a permis d'identifier près de 37 espèces parmi lesquelles 13 sont reconnues toxiques.

Rappelons que ces genres ont été récoltés à Bejaïa au niveau des trois plans d'eau à savoir le lac Mézaïa, au centre ville ; au niveau de la lagune Tamelaht près de l'aéroport et au niveau de l'Oued Soummam. Ils ont été également signalés dans les sources thermales d'Acif El Hammam dans lesquelles les Oscillatoriaceae étaient dominantes (Tableau XIII).

**Tableau XIII** : Cyanobactéries potentiellement toxiques identifiées à Bejaïa.

| les cyanophycées toxiques inventoriées (genre) /famille | Bejaïa (lagune Tamelaht, Lac Mézaïa, Embouchure de l'Oued Soummam) | Barrage Tichi Haf                          |
|---|--|--|
| Famille des Chroococceae                                | Microcystis<br>Pleurocapsa<br>Spirulina<br>Scynechocystis          | Microcystis<br>Spirulina<br>Scynechocystis |
| Famille des Nostocae                                    | Anabaena<br>Nostoc<br>Raphidiopsis                                 | Anabaena                                   |
| Famille des Oscillatoriaceae                            | Lyngbya<br>Oscillatoria  | Lyngbya<br>Oscillatoria                    |
| <b>Total/genre</b>                                      | 9  | 6  |

Il ressort de ce tableau que parmi les 09 genres toxiques recensés à Bejaïa, 06 sont retrouvés au niveau du lac du barrage Tichi Haf.

Ce chiffre est inquiétant d'autant plus que ce barrage alimente en eau potable, toute la région de Bejaïa soit plus de 700 000 habitants. Son eau est également exploitée par les agriculteurs de la région pour leurs cultures et élevages.

La présence de plusieurs genres réputés produire des neurotoxines (*Oscillatoria*) et des hépatotoxines (*Microcystis aeruginosa*) est un signe de déséquilibre dont certaines manifestations environnementales sont déjà perceptibles (mauvaise qualité organoleptique et mortalité d'animaux). Leur développement trouve sa source dans la présence suffisante de nutriments provenant des multiples rejets agricoles et des nombreux effluents résiduaux urbains.

Une surveillance renforcée doit être instaurée rapidement afin de prévoir tout risque sanitaire futur.

*Chapitre IV :*  
*Discussion*

## Conclusion

---

Notre travail traite de la qualité des eaux brutes du barrage Tichi Haf. Il s'est étalé sur 06 mois, de novembre 2011 à mai 2012. Trois points de prélèvements ont été prospectés au niveau du lac de ce barrage. Durant cette période, plusieurs analyses physico-chimiques et algologiques ont été réalisées pour tenter d'expliquer la dégradation olfactive et gustative des eaux signalée par les consommateurs. Nous nous sommes intéressés à la flore Cyanobactérienne car un développement important de *Microcystis aeruginosa* a été observé en novembre 2011.

L'examen des résultats des mesures de quelques paramètres nous ont permis d'avoir des informations concernant la composition physico-chimique des eaux. Celles-ci présentent des températures moyennes (15,5°C), une salinité de 480 mg/l et une conductivité de 1198,5 µs/cm. Les teneurs en nitrates, nitrites et phosphates sont 38,59 mg/l, 34,82 mg/l et 2,48 mg/l respectivement.

Ces conditions semblent être suffisantes pour le développement des algues et surtout celui des Cyanobactéries.

L'examen microscopique des algues récoltées nous a aidé à identifier, pour la première fois, 31 genres phytoplanctoniques et benthiques. Cette flore reste faible par rapport au nombre d'observations faites car plusieurs formes ont été négligés à cause de l'insuffisance de certains caractères systématiques indispensables à leur détermination.

L'analyse des différents taxons montre la présence de 10 Diatomophyceae, 10 Cyanophyceae, 08 Chlorophyceae, 01 Euglenophyceae, 01 Xanthophyceae et 01 Dinophyceae. Parmi les 10 genres de Cyanophyceae, 06 sont potentiellement toxiques ce qui représente 60% de la totalité des algues répertoriées et 66,6% des genres toxiques observés à Bejaïa, dans trois plans d'eau différents qui sont le lac Mézaïa, le lac Tamelaht et l'Oued Soummam. Il s'agit des genres : *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Lyngbya*, *Scynechocystis*, *Anabeana* et *Spirulina*.

Cette constatation indique que les eaux du barrage, en plus des rejets polluants qu'ils reçoivent et qui les prédisposent au phénomène d'eutrophisation ; sont menacées par la présence de Cyanobactéries toxiques dont le danger est plus grand à cause des toxines qu'elles peuvent produire.

## *Conclusion*

---

Il serait donc souhaitable d'approfondir cette étude afin d'enrichir ce premier inventaire algal et pour mieux connaître et comprendre la dynamique des Cyanobactéries. La recherche de toxines doit également être abordée vue l'importance sociale et économique de ce barrage fortement exploité pour l'eau potable, l'irrigation de cultures et les attractions.

Un plan de surveillance de la qualité des eaux doit être mis en marche pour éviter les risques sanitaires liés aux Cyanobactéries et leurs toxines.

Tous les déversements aboutissant à ce barrage doivent subir un traitement préalable pour minimiser les apports en nutriments qui stimulent l'efflorescence des algues et surtout celle des algues bleues ou Cyanobactéries.

## *Bibliographie*

**Bibliographie**

- 1. AFSSA., AFFSET., 2006-**Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau. Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans l'alimentation, à la baignade et autre activités récréatives, Paris, 235p.
- 2. AHMANE K., BOUZARARI S., 2005-**Etude de l'adduction de l'eau du barrage de Tichi-Haf dans le couloir Akbou-Bejaia. Mémoire de fin d'étude en hydrologie, université de Béjaïa.4, 5p.
- 3. AIT HABIB., HAMOUCHE S., 2010-** Contribution à l'étude de l'âge et de la croissance de l'able de la calle (*Pseudophoxinus callensis*) au niveau du barrage Tichy Haf. Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement, Pathologie des Ecosystèmes .10p.
- 4. ANA LUZMILA SANCHEZ., 1992-** Etude de phytoplanctons des lacs d'inondation de bas ORENOQUE, relation avec les facteurs de climat. Thèse de doctorat de l'université de PAULSABATIER de TOULOUSE. Spécialité : écologie des systèmes aquatiques continentaux .édition ORSTOM. Paris.
- 5. AYAD H., HADJI O., 2003-**Etude et analyses physico-chimiques de l'eau de l'Oued Soummam. Mémoire de D. E. U. A, option Analyse. 49p.
- 6. BACHA M., AMARA R., 2007-** Les poissons des eaux continentales d'Algérie. Etude de l'Ichyofaune de la Soummam. Cybium 2007, 31 (3) : 351-358.
- 7. BACHA M., 2003-** Contribution à l'étude de la biodiversité phytoplanctoniques dans les zones humides de Béjaïa. Mémoire de magister en biologie, option biologie de la conservation et écodéveloppement, université de Béjaïa.13p.
- 8. BEAUPOIL C., BOUMENS P., 1997-**Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes : seuils d'acceptabilité. Station de Biol. Ed. Agence de l'Eau Loire – Bretagne. 48p.

**9. BELIN C., RAFFIN B., 1998**-Les espèces phytoplanctoniques toxiques et nuisibles sur le littoral Français de 1984 à 1995, Résultat de REPHY (réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines). Rapport *Ifremer* RST. DEL/MP-AO. P.98-16, 2 *tome*, 283 p.

**10. BELIN C., RAFFIN B., 1998**-Espèces toxiques et nuisibles pour la faune marine in Les espèces phytoplanctoniques toxiques et nuisibles sur le littoral français de 1984 à 1995, Résultats du REPHY (réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines). 189p.

**11. BONTOUX J., 1983**-introduction à l'étude des eaux douces : Eaux naturelles-Eaux usées-Eaux de boisson. Ed. CEBEDOC sprl.7-63.

**12. BOUAÏCHA N., 2002**-La ruée vers l'eau en Algérie, Maroc et Tunisie, Lettre de l'ARET, Laboratoire Santé Publique-Environnement, université Paris.

**13. BOUAROUB R., 2008**-Analyses physico-chimique et le traitement des eaux du barrage de Taksebt, mémoire de fin d'étude (D.E.U.A).9p.

**14. BOULOU D A., BOURCHICH L., FOUTLANE A., 2001**-Eutrophisation des retenues de barrages et production d'eau potable. Laboratoire de la Qualité des Eaux, ONEP. Revue H.T.E. N° 119. 21p.

**15. BOURRELLY P., COUTE A., 1986**-Algues d'eau douce de Ile Maurice (Diatomées exclues).Ed. *Rev-Hydrobiol-trop*- 19(2) 1986 :131-158.

**16. BOURRELLY P., 1981**-Les algues d'eau douce : initiation à la systématique, Tome II : les algues jaunes et brunes .Chrysophycées, Xanthophycées et Diatomées. Ed. Boubée et Cie. 517p.

**17. BOURRELLY P., 1970**-Les algues d'eau douce : initiation à la systématique, Tome III : les algues bleues et rouges, les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Ed. Boubée et Cie ; 19p.

18. **BOURRELLY P., 1966**-Les algues d'eau douce : initiation à la systématique, Tome I : les algues vertes Ed. Boubée et Cie ; 19p.
19. **BRICKER S. B., CLEMENT C.G., PIRHALLA D. E., ORLANDO S. P.,**
20. **FARROWD. R. G., 1999**-"National Estuarine Eutrophication Assessment. Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries". NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD. 71p.
21. **CAPBLANCQ J, DECAMPS H., 2002**-Centre d'écologie des systèmes aquatiques continentaux. *Ed scientifiques et médicales. Article. N°2. 6. 17.*
22. **CHORUS I., BARTRAM J., 1999**-Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health significance, monitoring and management. Ed. E et FN Spon, London ,400p.
23. **COMPÈRE P., 1972**- Algues de la région du lac Tchad, VII- Chlorophycophytes (3<sup>ème</sup> partie : Desmidiées), Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Hydrobiol 2 (11) : 91-113.
24. **COUTE A., ILTIS A., 1984**-Mise au point sur la flore périodiale (Algue, Pyrrophyta) d'eau douce de Côte d'Ivoire. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 17 (1) : 53-64.
25. **COYNE., BELLIER., 1996**-Rapport d'étude sur le bassin versant de l'oued Bousellam
26. **DABBADIE L., 1992**-Cultures intensives de microalgues sur lisier de porc : performances, contraintes, utilisation des biomasses. Mémoire d'agronomie appliquée. Spécialité biologie animale. Paris, 12-22.
27. **DAJOZ R., 1971**-précis d'écologie, Ed. Dunod. Paris, 505p.
28. **DILLON P., RIGLER F., 1974**-The phosphorus-Chlorophyll relationship in lakes. *Limnol.Oceanogr.*, 19 (5), 767-773.
29. **DJOUAD S., 2007**-Contribution à l'étude de la diversité algale notamment les cyanobactéries dans trois plans d'eau de la région de Bèjaia. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en Ecologie et l'environnement. 13p.
30. **ERM (environmental resources management) 2000**- Criteria used for the definition of eutrophication in marine/coastal waters. European commission, D. G. Environment. P. 71.

- 31. FAY P., 1969** - Oxygen relation of nitrogen fixation in cyanobacteria. *Microbiological rev*, 2(56): 240-373.
- 32. FEDALA B., 2002**- Aperçu bibliographique sur les études des algues d'eau douce en Algérie et contribution à la connaissance de la composition algale du lac MESAIA (Bejaïa) .Mémoire d'ingénieur à l'université de Bejaia. 8p.
- 33. GAMRASNI M ., 1986**-le gout de l'eau, étude de synthèse. Paris ,11p.
- 34. GERIN M., GOSSELIN P., VIAU S., QUENEL P., DEWAILLY E., 2003**- Environnement et sante publique, Fondement et pratique, edisem.15p.
- 35. COUTE A., 1979**- Cyanophycées planctoniques du bassin de la Seine. Paris, 4<sup>eme</sup> sér. 272- 274.
- 36. GUILLAUD J., ANDRIEUX F., MÉNESGUEN A., 2000**-Biogeochemical modelling in the Bay of Seine (France): an improvement by introducing phosphorus in nutrient cycles. *J. Mar. Systems*, 25p.
- 37. GUILLAUD J., MENESGUEN A., 1998**- Modélisation sur vingt ans de la production phytoplantonique en Baie de Seine (France). *Oceanol. Acta*, 21, 887-906.
- 38. HAIDER S., NAITHANI V., VISWANATHAN P., KAKKAR P., 2003** - Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern.*Chemosphere* 52 :1–21.
- 39. JAEG J. P., 2007**- Microcystines : intoxication des animaux domestiques et sécurité des aliments d'origine animale *Revue Méd. Vét.*, **158**, 2, 46-58.
- 40. KATERJIA N, HOFACK P., 2004**- Les pressions anthropiques et leurs impacts sur les situations qualitatives et quantitatives de l'eau dans le Bassin versant de la Seine. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA n°51*. Paris, 84p.
- 41. KENNETH H., NICHOLL S., 2003**-VI. Guide to Literature for Species, Identification, Literature Cited.*Aquatic Science Section ,Ontario Ministry of the Environment*.576p.
- 42. KENNOUCHE A., IRBAH F., 2009**-Contribution à l'analyse et la cartographie de la végétation ripisylve des deux Oueds : Oued Boussellam et Oued Sahel (région de Bejaia), 24p.

- 43. LACAZE C., 1996-**L'eutrophisation des eaux marines et continentales, causes, manifestations, conséquences et moyens de lutte. Paris .Edition MarketingS. A.10-110.
- 44. LAMBARDI., 1984-** Bureau d'étude Locano (suisse) Barrage de Tichy Haf avant projet détaillé .Rapport hydrologique.4p.
- 45. LEFÈVRE J., 1986-**Aspects of the biology of frontal systems. Adv. Mar. Biol. 23p.
- 46. MARY., 2003-**Mécanisme moléculaires de la réponse aux stress environnementaux chez la Cyanobactérie marine prochlorococcus, option biologie école doctorale. Univ Rennes, 16 ,17p.
- 47. MOUNI L., MERABET D., ARKOUB H., MOUSSACEB K., 2009 -** Etudes et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Sécheresse 2009 ; 20 (4) : 360-366.
- 48. NGANSOUMANA., 2006-**La communauté phytoplanctoniques du lac GUIERS (Sénégal) : types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs de régulations. Thèse de doctorat de 3<sup>eme</sup> cycle (université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 144p.
- 49. NJUNE T.;2007-**Peuplement phytoplanctoniques et qualité des eaux en milieu lacustre anthropisé : cas de lac municipal de Yaoundé (CAMEROUN).Laboratoire de Biologie Générale, Universit2 de Yaoundé I.38p.
- 50. OBERHOLSTER P., BOTHA A., GROBBELAAR J., 2004-** Microcystis aeruginosa: source of toxic microcystins in drinking water .African Journal of Biotechnology Vol. 3 (3), 159-168.
- 51. PATRICK R. CRUM B., et COLES J., 1969-**Temperature and manganeseas determining factors in in the presence of diatom or blue-green algal floras in streams. *Rev. Botany*: 472-478.

- 52. RABOUILLE S., 2002**-Modélisation de la dynamique des réserves carbonées chez macrocystis et de son influence sur la migration vertical : simulation d'une population sur un cycle annuel. Thèse de doctorat, université Toulouse III, spécialité Hydrobiologie-Modélisation : 162p.
- 53. REVIERS B., 2003**- Biologie et phylogénie des algues, Tome II. Ed. Belin 82- 153p.
- 54. RODIER J., 1996**-Analyse de l'eau : eaux naturelle, résiduaires et de mer. 8<sup>eme</sup> édition. DUNOD. Paris, 25-1085.
- 55. SAAOUI B, TAZRARI N., 2005**-Adduction et dimensionnement de la station de traitement de seaux du barrage de Tichi Haf .Mémoire d'ingénieur en hydraulique urbaine. Université de Bejaia,10p.
- 56. SELTZER P., 1946**- Le climat de l'Algérie. Inst. Météor. et de Phys. du globe. Univ. Alger.
- 57. SILVANO JEREMY., 2005** - Toxicité des Cyanobacteries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages. Univ. Claude-Bernard - Lyon I (Médecine -Pharmacie) pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire toxicologie environnementale.
- 58. SOUCHU P., ABADIE E., VERCELLI C., BUESTEL D., SAUVAGNARGUES J. C., 1998**- La crise anoxique du bassin de Thau de l'été 1997. Bilan de phénomène et perspective. *Rapport interne Ifremer*. R. INT. DEL/98.04/SETE, 33p.
- 59. VALENTINE M., 2004**- Floraison des cyanobactéries au lac Saint-Augustin : Dynamique à court terme et stratification. Mémoire de maitrise en Biologie, Spécialité Science de Génie. Université Laval. Quebec, 129p.
- 60. VOLLENWEIDER R., 1968**-Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. Rapport technique, O.C.D E., Paris .2 *fasc.*61-182p.

## *Annexes*

**Annexe 03** : Concentration critiques de certaines algues productrices de métabolites odorants d'après **MOUCHET (1978)**.

| Embranchements et genres d'algues | Limites critiques |                |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|
|                                   | Cellules /100ml   | Colonies/100ml |
| <u>Cyanophytes</u>                |                   |                |
| Anabaena                          | 530 000           | 20 000         |
| Aphanizomenon                     | 660 000           | 20 000         |
| Gomphosphaeria                    | -                 | 17 000         |
| Mcrocystis(ou Anacystis)          | 3 500 000         | -              |
| Oscillatoria                      | 5 300 000         | 300 000        |
| <u>Chlorophytes</u>               |                   |                |
| Ankistrodesmus                    | 400 000           | -              |
| Chlamydomonas                     | 360 000           | -              |
| Closterium                        | 20 000            | -              |
| Eudorina                          | -                 | 8 000          |
| Pandorona                         | 20 000            | -              |
| Scenedesmus                       | -                 | 150 000        |
| <u>Euglénophytes</u>              |                   |                |
| Eugléna                           | 80 000            | -              |
| <u>Chrysophytes</u>               |                   |                |
| Dinobryon                         | 300 000           | -              |
| Mallomonas                        | 45 000            | -              |
| Synura                            | -                 | 1 000          |
| <u>Diatomées</u>                  |                   |                |
| Asterionella                      | 300 000           | -              |
| Cyclotella                        | 220 000           | -              |
| Melosira                          | 250 000           | -              |
| Synedra                           | 300 000           | -              |
| Tabellaria                        | 75 000            | -              |
| <u>Pyrrhophytes</u>               |                   |                |
| Ceratium                          | 20 000            | -              |
| Cryptomonas                       | 120 000           | -              |

**Annexe 01: Dosage des nitrates, nitrites et phosphates.**

**Dosage des nitrates par la Méthode au Salicylate de Sodium**

**-Réactifs et préparation des solutions :**

- solution de salicylate de sodium a 0.5%à renouveler toutes les 24H
- solution d'acide sulfurique concentré (d=1.84)
- solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium
- hydroxyde de sodium 400g + tartrate double de sodium et de potassium 60g + eau distillée 100ml (Faire dissoudre les sels dans l'eau, laisser refroidir et compléter à 100ml a conserver dans un flacon en polyéthylène ).
- solution mère étalon d'azote nitrique 0.1g /l (nitrate de potassium anhydre 0.722g + eau distillée 1000ml). -chloroforme fille étalon d'azote nitrique à 0.005g/l.

**Dosage des nitrites par la méthode au réactif de Zambelli**

**-Réactifs :**

- Ammoniaque pur (d = 0,925) ;
- Solution mère étalon de NO<sub>2</sub> (0,23g /l) :

- Nitrite de sodium-----0,345g
- Eau fraîchement distillée -----1000ml

Cette solution se conserve mieux si l'on prend la précaution d'y ajouter 1 ml de chloroforme.

**- Solution fille étalon d'ion NO<sub>2</sub> à 0,0023g/l :**

- Préparer cette solution dans une fiole jaugée de 100 ml à partir de la solution mère avec de l'eau distillée.

**-Réactif de ZAMBELLI :**

- HCL pur (d = 1,19) -----260ml
- Acide sulfanilique -----5g
- Phénol cristallisé -----7,5g
- Chlorure d'ammonium-----135g
- Eau distillée (exempte de NO<sub>2</sub>) -----625ml

**-Mode de préparation du réactif de ZAMBEILLI :**

- Introduire dans une fiole jaugée d'un litre : l'eau distillée et l'HCL.

- Dissoudre dans le mélange l'acide sulfanilique et le phénol en chauffant légèrement au bain-marie jusqu'à dissolution complète ;
- Ajouter le chlorure d'ammonium et agiter jusqu'à dissolution ;
- Après refroidissement ajuster jusqu'à 1L avec l'eau distillée.

N.B : Le nitrite est un produit qu'il faut manipuler avec délicatesse vue sa toxicité et son impact sur la santé de l'homme.

**Dosage des phosphates méthode au molybdate d'ammonium**

**Réactifs :**

- Molybdate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Hydrogénophosphate de potassium  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,
- Chlorure stanneux  $(\text{SnCl}_2)$ .
- Glycérol
- Acide sulfurique  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$  concentré.

**Préparation des solutions :**

**-Solution mère de phosphate à 0,5mg/l :**

Hydrogénophosphate de potassium sec  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  .....0,07615g  
les dissoudre dans 10ml d'eau distillée dans un bécher. Transférer la solution dans une fiole jugée de 1000ml et rincer le bécher avec 1ml de  $\text{CHCl}_3$  puis compléter au trait de jauge avec d'eau distillée.

**-Solution standard de phosphate à 0,05mg/l :**

1ml de la solution mère de phosphate à 0,5mg/l dissout dans 100ml d'eau distillée.

**-Solution de molybdate d'ammonium :**

Acide sulfurique concentré.....25 ml  
Eau distillée.....40 ml

Dans un bécher, on met d'abord l'acide sulfurique concentré puis on rajoute petit à petit l'eau distillée). Laisser la solution se refroidir à la température ambiante.

Peser 2,5 g de molybdate d'ammonium  $(\text{NH}_3)_6\text{MO}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  et les dissoudre dans 7,5 ml d'eau bi-distillée.

Mélanger la de molybdate d'ammonium avec la solution d'acide refroidi puis ajuster à 100 ml avec d'eau distillée.

**-Solution de chlorure stanneux :**

Chlorure stanneux.....0,25g  
Glycérol.....10 ml

Mélanger puis chauffer la solution au bain marie tout en remuant avec une baguette en verre jusqu'à dissolution complète du stanneux.

**Dosage des chlorures par la méthode de Mohr**

**Les réactifs :**

Nitrate d'argent à 0,2N

Chromate de potassium à 5%

**Préparation des solutions**

Solution mère de nitrate d'argent à 0,2N

Nitrate d'argent.....33,96 g

Eau distillée.....1000 ml

Solution de chromate de potassium à 5%

Chromate de potassium.....5 g

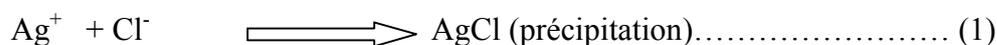
Eau distillée.....100 ml

## Dosage des chlorures par la méthode de Mohr

### 1-Principe:

La réaction principale du dosage est une réaction de précipitation. Les ions chlorure  $Cl^-$  sont dosés par les ions argent  $Ag^+$  du  $AgNO_3$  (0.1N), il se forme alors au fur et à mesure un précipité blanc de chlorure d'argent ( $AgCl$ ) selon la réaction (1).

L'utilisation de  $K_2CrO_4$  à titre d'indicateur est basée sur la propriété de l'ion  $CrO_4^{2-}$  de donner avec l'ion  $Ag^+$  un précipité rouge brique de  $Ag_2CrO_4$  (selon la réaction 2) qui ne commence toutefois à se déposer qu'après que les ions  $Cl^-$  à doser ont été pratiquement tous précipités sous forme de  $AgCl$ .



### 2-Mode opératoire :

- Remplir la burette avec la solution de nitrate d'argent de 0.1 N.
- Verser 100ml d'eau à analyser (après avoir effectué une dilution : 5 ml d'échantillon+95ml d'eau distillée) dans un erlenmeyer.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de  $HNO_3$  et une pincée de  $CaCO_3$ .
- Ajouter 2 à 3 gouttes de chromate de potassium.
- Titrer avec la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition de la coloration rouge brique persistante.
- Noter le volume  $V_3$  d' $AgNO_3$  versé.

### 3-Expression des résultats :

$$\text{On a : } N_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3} = N_{Cl^-} \times V_3$$

$$N_{Cl^-} = \frac{N_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3}}{V_3} \times 1000 \times 35,5 \text{ mg/l de } Cl^-$$

## **Dosage des nitrates par la méthode au Salicylate de sodium**

### **1-Principe :**

On présence de salicylate de sodium, les nitrates donnant du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune est susceptible d'un dosage colorimétrique.

### **2-Mode opératoire :**

- Introduire 10ml d'eau à analysée dans un erlenmeyer.
- Alcalinisé faiblement avec la solution NaOH.
- Ajouter 1ml de la solution de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou dans une étuve portée à 75°-80°C (ne pas surchauffer ni chauffer trop longtemps).
- Laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement.
- Attendre 10mn, puis ajouter 15ml d'eau bidistillée, 15ml de la solution de NaOH et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin.
- Faire la moyenne des lectures.
- Se rapporter à la courbe d'étalonnage déjà faite.

## **Dosage des nitrites**

### **1-Principe :**

L'acide sulfanilique en milieu chloridrique en présence d'ions ammonium et de phénol donne les ions  $\text{NO}_2^-$ , un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des nitrites.

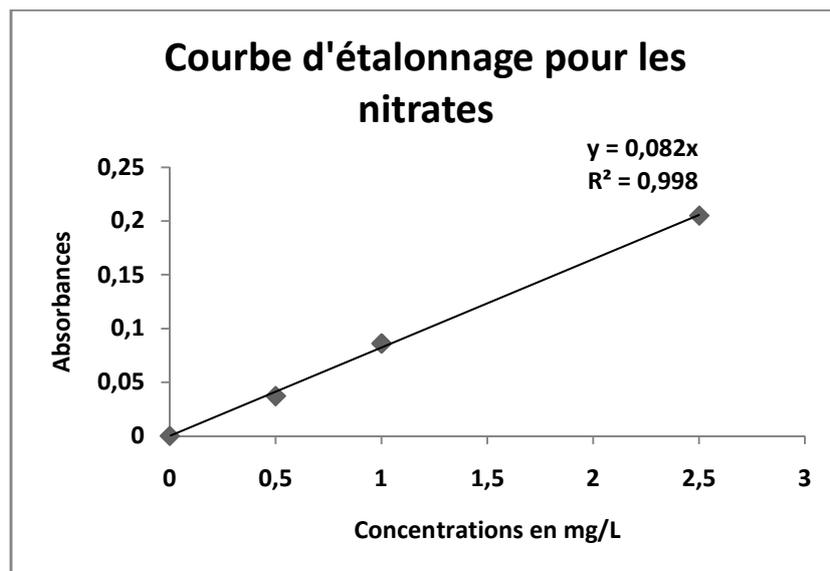
### **2-Mode opératoire :**

- Introduire 50ml d'eau à analysée dans un erlenmeyer.
- Ajouter 2ml du réactif de Zambelli.
- Agiter et laisser au repos 10mn.

- Ajouter ensuite 2ml d'ammoniaque pure.
- Effectuer les lectures des absorbances au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin.
- Faire la moyenne des lectures.
- Se rapporter à la courbe d'étalonnage déjà faite.

## Dosage des nitrates

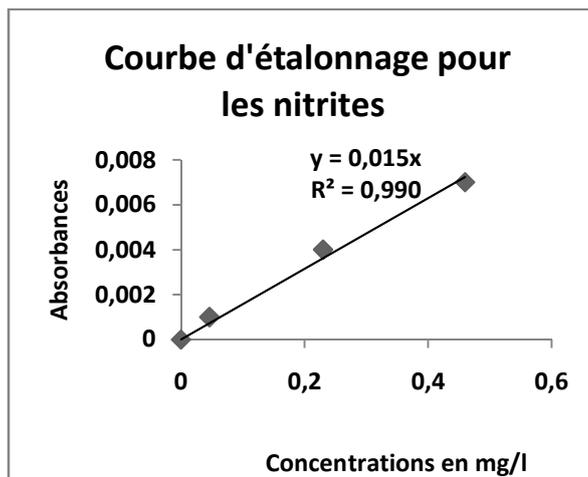
| N° des fioles   | T | I     | II    | III   |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
| C (mg/l)        | 0 | 0.5   | 1     | 2.5   |
| Absorbances (A) | 0 | 0.037 | 0.086 | 0.205 |



**Annexe 02** : les courbes d'étalonnage pour les nitrites, phosphates et les nitrates

### Dosage des nitrites

| N° des fioles   | T | I     | II    | III   |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
| C (mg/l)        | 0 | 0.046 | 0.23  | 0.46  |
| Absorbances (A) | 0 | 0.001 | 0.004 | 0.007 |



### Dosage des phosphates

| N° des fioles   | T | I     | II    | III   |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
| C (mg/l)        | 0 | 0.1   | 0.2   | 0.3   |
| Absorbances(A ) | 0 | 0.009 | 0.015 | 0.023 |

