

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Alimentaires

**Spécialité/Option :** Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

**Département :** Biologie

### Thème

## Identification et dénombrement des cyanobactéries dans le barrage de Bouhamdane (wilaya de Guelma)

### Présenté par:

- Afaifia Raoudha
- Brahimi Roueya
- Hassad Amira Nihal

### Devant le jury composé de :

**Président:** BENHALIMA.L (M.C.A)

**Université de Guelma**

**Examineur:** AMRI. S (M.C.B)

**Université de Guelma**

**Encadreur :** TOUATI.H (M.A.B)

**Université de Guelma**

**Juin 2023**

## *Remerciement*

*On tient tout d'abord à remercier ALLAH, le tout puissant qui nous avoir donné la force, la patience, le courage, la volonté pour affronter tous les difficultés et les obstacles, qui se sont hissés au travers de notre chemin d'études et d'accomplir ce modeste travail.*

*On tient également à exprimer une reconnaissance aux membre de jury :*

*Madame BENHALIMA, docteur à l'université de 08 mai 1945 de nous avoir honoré de présider le jury de la soutenance.*

*Madame AMRI, docteur à l'université de 08 mai 1945 d'avoir accepté d'examiner le contenu du présent travail.*

*Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr TOUATI Hassen, maitre-assistant classe B. On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*On tient remercie aussi Mr le directeur de l'ANBT de Guelma qui a mis à notre disposition toutes les données du barrage de Bouhamdane.*

*Merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mes très chers parents, qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*A ma chère sœur Radja et mes chers frères Chakib et Siradj Eddine, source de joie et de bonheur.*

*A tous membres de familles pour leurs soutien moral et encouragement.*

*A mes chères camarades Roeya et Nihel pour leurs efforts, sacrifices, soutiens et  
patiences*

*A mes cheres amies proches, Amani, Ghada, Ahlam et Ilham.*

*A mes cheres amies, youssra, Amani et Wissal.*

*Raoudha.*

## *Dédicace*

*Ce projet fin d'études est dédié à mes chers parents, qui m'ont poussé et motivé dans mes études. Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet fin d'études représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.*

*C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre, à mes chères partenaires Roeya et Raoudha, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour les sacrifices dont vous avez fait toujours.*

*A mes chers frères, Nadjib et Aymen*

*A ma nièce Arouaa*

*A ma chère sœur Souha, pour leur soutien moral et leur conseils précieux tout au long de mes études.*

*A mes chères amies, Wissal, Roufaïda, Meriem, Douaa, Amani, Youssra.*

*Amira Nihel*

## *Dédicace*

*Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :*

*À ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*À l'âme de mon cher père*

*À mon cher frère*

*À tous les membres de la famille et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant. Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

*Sans oublier mes binômes (Amira nihel & Raoudha) pour son soutien moral, ses patiences et ses compréhensions tout au long de ce projet.*

*Roueya*

## Table des matières

Résumé en français	
Résumé en anglais	
Résumé en arabe	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
<b>Introduction</b>	<b>01</b>
<b><u>Chapitre 01 : Synthèse bibliographique</u></b>	
1.1. Les cyanobactéries	03
1.1.1. Généralité sur les cyanobactéries	03
1.1.2. La diversité morphologique des cyanobactéries	03
1.1.3. Multiplication	04
1.1.4. Composant de cyanobactéries	06
1.1.5. Classification	06
1.1.6. Les fleur d'eau de cyanobactéries " prolifération "	08
1.1.7. Les facteurs de contrôle des proliférations de cyanobactéries	08
1.2. Les Cyanotoxines	09
1.2.1. Les effets des Cyanotoxines sur la santé	09
1.3. Réglementations relatives aux cyanobactéries et aux cyanotoxines	10
<b><u>Chapitre 02: Matériel et Méthodes</u></b>	
2.1. Description de la zone d'étude	13
2.2. Échantillonnage	14
2.2.1. Choix des stations	14
2.2.2. Stratégie d'échantillonnage	14
2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau	17
2.3.1. Dosage des paramètres critiques	17
2.4. Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries	22
2.4.1. Identification	22
2.4.2. Dénombrement	22

## Chapitre 03 : Résultats et Discussion

<b>3.1.</b>	Paramètres physico-chimiques des eaux des barrages de Bouhamdane	<b>25</b>
<b>3.1.1</b>	Potentiel Hydrogène (pH)	<b>25</b>
<b>3.1.2</b>	Température	<b>26</b>
<b>3.1.3</b>	Teneurs en oxygène dissous	<b>26</b>
<b>3.1.4</b>	Conductivité	<b>27</b>
<b>3.1.5</b>	Chlorophylle <i>a</i>	<b>28</b>
<b>3.1.6</b>	Matière en suspension	<b>29</b>
<b>3.1.7</b>	Teneurs en nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<b>30</b>
<b>3.1.8</b>	Teneurs en nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<b>31</b>
<b>3.1.9</b>	Teneurs en Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	<b>32</b>
<b>3.1.10</b>	Les Orto phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	<b>33</b>
<b>3.2</b>	Étude qualitative des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Bouhamdane	<b>34</b>
<b>3.2.1</b>	Identifications génériques des cyanobactéries	<b>34</b>
<b>3.2.2</b>	Densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés	<b>36</b>
<b>3.2.3</b>	Distribution spatiale des peuplements Cyanobactéries	<b>37</b>
<b>3.2.4</b>	Distribution spatio-temporelle des peuplements Cyanobactéries	<b>38</b>
<b>3.2.5</b>	Distribution spatio-temporelle du genre <i>Microcystis</i>	<b>38</b>
<b>3.2.6</b>	Distribution spatio-temporelle du genre <i>Oscillatoria</i>	<b>39</b>
<b>3.2.7</b>	Distribution spatio-temporelle du genre <i>Planktothrix</i>	<b>40</b>
<b>3.2.8</b>	Distribution spatio-temporelle du genre <i>Chroococidiopsis</i>	<b>40</b>
	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>43</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	
	<b>Annexes</b>	<b>55</b>

## Résumé

Ce mémoire étudie la qualité de l'eau du barrage Bouhamdane (Guelma) en termes de paramètres physico-chimiques et de la présence de cyanobactéries. L'échantillonnage a été réalisé sur une période de deux mois (février et mars 2023) et sur quatre stations dans le barrage.

Les résultats montrent que la température est le facteur déterminant dans les variations des paramètres biotiques et abiotiques. L'étude qualitative des cyanobactéries présentes dans le barrage a révélé la présence de quatre genres toxiques, à savoir *Microcystis*, *Woronichinia*, *Planktothrix* et *Oscillatoria*, avec une prédominance du genre *Microcystis*. Les eaux traitées présentent une très faible présence de ces cyanobactéries.

Cependant, les densités de cyanobactéries détectées classent les eaux au niveau d'alerte 1, ce qui représente un risque élevé pour les consommateurs. Les activités humaines comme l'agriculture et l'industrie pourraient être responsables de cette contamination.

L'évaluation de la qualité de l'eau du barrage Bouhamdane souligne la présence de cyanobactéries toxiques et le risque qu'elles représentent pour la santé des consommateurs. Il est recommandé d'instaurer une surveillance régulière et de prendre des mesures de traitement pour minimiser la présence de ces organismes dans l'eau et protéger la santé des consommateurs.

**Les mots clés :** qualité de l'eau, cyanobactéries, paramètres physico-chimiques, surveillance, traitement, Barrage Bouhamdane



**Abstract**

This dissertation studies the water quality of the Bouhamdane dam (Guelma) in terms of physical and chemical parameters and the presence of cyanobacteria. The sampling was carried out over a period of two months (February and March 2023) and on four stations in the dam.

The results show that temperature is the determining factor in the variations of biotic and abiotic parameters. The qualitative study of cyanobacteria presents in the dam revealed the presence of four toxic genera, namely *Microcystis*, *Woronichinia*, *Planktothrix* and *Oscillatoria*, with a predominance of the genus *Microcystis*. The treated waters show a very low presence of these cyanobacteria

However, the densities of cyanobacteria detected classify the waters at Alert Level 1, which represents a high risk for consumers. Human activities such as agriculture and industry could be responsible for this contamination.

The Bouhamdane Dam water quality assessment highlights the presence of toxic cyanobacteria and the risk they pose to consumer health. Regular monitoring and treatment measures are recommended to minimize the presence of these organisms in the water and protect consumer health.

**Key words:** water quality, cyanobacteria, physical and chemical parameters, monitoring, treatment, Bouhamdane Dam

## ملخص

### ملخص

هذه الأطروحة تدرس جودة الماء في سد بوحمدان ولاية قالمة من حيث المعايير الفيزيائية والكيميائية وأيضا من حيث وجود البكتيريا الزرقاء. تم أخذ العينات على مدى شهرين (فبراير ومارس 2023) وعلى مستوى أربع محطات في السد.

تظهر النتائج أن درجة الحرارة هي العامل الحاسم في اختلاف المعايير الحيوية واللاحيوية حيث كشفت الدراسة النوعية للبكتيريا الزرقاء الموجودة في السد عن وجود أربعة أنواع سامة، وهي *Woronichinia* و *Microcystis* و *Oscillatoria* و *Planktothrix*، مع غلبة نوع *Microcystis* اما بالنسبة للمياه المعالجة فان وجود هذه البكتيريا الزرقاء منخفض للغاية.

ومع ذلك، إن كثافة البكتيريا الزرقاء المكتشفة تصنف المياه في حالة خطرة من الدرجة الأولى للمستهلكين ويمكن أن تكون الأنشطة البشرية مثل الزراعة والصناعة مسؤولة عن هذا التلوث.

يؤكد تقييم جودة المياه في سد بوحمدان على وجود البكتيريا الزرقاء السامة والمخاطر التي تسببها لصحة المستهلكين. كما ينصح بإنشاء مراقبة منتظمة واتخاذ تدابير علاجية لتقليل وجود هذه الانواع البكتيرية في المياه وحماية صحة المستهلكين.

**الكلمات المفتاحية:** جودة الماء، البكتيريا الزرقاء، المعايير الفيزيائية والكيميائية، مراقبة، معالجة، سد بوحمدان.

Liste des figures

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
01	Représentation La diversité morphologique des cyanobactéries	04
02	Image montrant les types de cellules peuvent être rencontrés chez les cyanobactéries	05
03	Image montrant les composantes d'une cyanobactérie	06
04	Images satellitaires (Google Earth, 2023) montrant la localisation géographique du barrage de Bouhamdane	13
05	Photographie du filet à plancton.	15
06	Multi-parameters (3420 IDS, WTW, Germany)	16
07	Photographie du dispositif de filtration	16
08	Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).	19
09	Détermination des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).	20
10	Détermination des nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).	21
11	Détermination des Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).	22
12	Image d'une cellule Nageotte ( <a href="http://www.servilab.fr">www.servilab.fr</a> )	23
13	Variations spatio-temporelles du pH des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)	25
14	Variations spatio-temporelles de la température des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).	26
15	Variations spatio-temporelles de la teneur en oxygène dissous des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).	27
16	Variations spatio-temporelles de la conductivité des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)	28
17	Variations spatio-temporelles de la teneur en chlorophylle a des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)	29
18	Variations spatio-temporelles de la teneur en MES des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).	30
19	Variations spatio-temporelles de la teneur en nitrites des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)	31
20	Variations spatio-temporelles de la teneur en nitrates des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).	31
21	Variations spatio-temporelles de la teneur en azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).	32
22	Variations spatio-temporelles de la teneur en ortho phosphates des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).	33

<b>23</b>	<b>Distribution des densités globales des genres recensés dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>37</b>
<b>24</b>	<b>Distribution spatiale des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>37</b>
<b>25</b>	<b>Distribution spatio-temporelle des peuplements de Cyanobactéries dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>38</b>
<b>26</b>	<b>Distribution spatio-temporelle des densités du genre Microcystis dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>39</b>
<b>27</b>	<b>Distribution spatio-temporelle des densités du genre Oscillatoria dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>39</b>
<b>28</b>	<b>Distribution spatio-temporelle des densités du genre Planktothrix dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>40</b>
<b>29</b>	<b>Distribution spatio-temporelle des densités du genre Chroococciopsis dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).</b>	<b>40</b>

Liste des tableaux

<i>Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>01</b>	<b>Correspondance entre les deux systèmes de classification des cyanobactéries I.C.B.N et I.C.N.B.</b>	<b>07-08</b>
<b>02</b>	<b>Inventaire des cyanobactéries dans le barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).</b>	<b>34</b>
<b>03</b>	<b>Les caractéristiques des genres identifiés dans les eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).</b>	<b>35-36</b>

### Liste des abréviations

**μl** : microlitre

**μm** : Micromètre

**μs**: Microsiemens

**cm** : centimètre

**Cell** : Cellule.

**GF** : Glass Fibre

**J.O.R.A.** : Journal Officiel de la République Algérienne

**OMS** : Organisation Mondiale de Santé

**OCDE** : Organisation de coopération et de développement économiques

**Km<sup>2</sup>** : kilomètre carré

**°C** : degré Celsius

**mg** : milligrammes

**ml** : millilitre

**λ** : longueur d'onde

**nm** : nanomètre

**min** : Minutes

**L** : Litre

**MC-LR** : microcystines-LR

**MCs** : Microcystine

**V** : volume

**N** : nord

**E**: Est

# *Introduction*

### **Introduction**

Ces dernières années, l'eutrophisation est devenue le problème environnemental mondial le plus important concernant les réservoirs et de nombreux autres types d'écosystèmes aquatiques (**Sanchez-Carrillo *et al.*, 2007**) ; une eutrophisation sévère dans les réservoirs d'eau douce peut entraîner l'apparition croissante d'efflorescences algales nuisibles, en particulier de cyanobactéries (Cyano-Habs) (**Paerl, 2008 ; Codd, 2005**). Cependant, les cyanobactéries (communément appelées algues bleues) sont un groupe ancien d'organismes procaryotes que l'on trouve dans tous les écosystèmes terrestres et aquatiques du monde (**Whitton et Potts, 2000**). Elles sont d'importants producteurs primaires et jouent un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes et la biodiversité (**Mur *et al.*, 1999**). En outre, certaines espèces de cyanobactéries produisent des métabolites secondaires qui ont des effets hépatotoxiques (microcystines), neurotoxiques (anatoxines et saxitoxines), cytotoxiques (cylindrospermopsine) ou dermatotoxiques (**Chorus, 2001**). Ces cyanotoxines ont été associées à une diminution de la qualité de l'eau et à des effets négatifs sur les niveaux trophiques supérieurs (**Ferrão-Filho *et al.*, 2009**), ainsi qu'à des risques pour la santé humaine (**Paerl, 2008**) et à la mortalité et aux maladies animales (**Jacoby et Kann, 2007 ; Nasri *et al.*, 2008**).

Depuis les 50 dernières années, plusieurs études ont montré que différents facteurs environnementaux influencent la dynamique de la prolifération des cyanobactéries et la production de toxines. Il s'agit notamment de facteurs abiotiques tels que la température, le pH, la disponibilité de la lumière, les nutriments et l'hydrodynamique (**Renaud *et al.*, 2011 ; Elliott, 2012**), mais aussi des interactions biotiques (**Walsby *et al.*, 2005 ; Ger *et al.*, 2010**).

Les recherches scientifiques, les études préliminaires et les suivis en cours dans de nombreux pays donnent un aperçu général de l'étendue des cyanobactéries et des cyanotoxines (**Chorus et Bartram, 1999 ; Chorus, 2001 ; Quiblier *et al.*, 2008 ; Joung *et al.*, 2011**). En Algérie, le changement climatique et la dégradation de l'eau ont créé des conditions écologiques favorables au développement des cyanobactéries dans de nombreux écosystèmes aquatiques. Cependant, un suivi des conditions environnementales et des assemblages de phytoplancton a été réalisé dans plusieurs réservoirs et lacs d'eau douce où des problèmes d'eutrophisation et de prolifération d'algues nuisibles ont été signalés (**Bouaïcha et Nasri 2004 ; Nasri *et al.*, 2004 ; Nasri *et al.* 2007 ; Nasri *et al.* 2008 ; Ouartsi *et al.* 2011 ; Djabourabi *et al.* 2014 ; Boussadia *et al.* 2015 ; Saoudi *et al.* 2015 ; Bidi-Akli *et al.* 2017 ; Saoudi *et al.* 2017 ; Guellati *et al.* 2017).**



Dans la présente étude nous nous sommes intéressés au barrage de Bouhamdane ; pourquoi cet intérêt pour ce plan d'eau ? Parce que le réservoir Hammam Debagh, est situé à l'exutoire du bassin versant de Bouhamdane, dont ses eaux sont susceptibles d'être polluées par les effluents des agglomérations, l'agriculture en plus, a connu en 2012 une prolifération spectaculaire d'une cyanobactérie du genre *Planktothrix* ce qui a motivé la mise en place de la thèse.

Les objectifs visés dans le cadre de ce travail sont :

- ❖ Le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau du barrage.
- ❖ L'étude qualitative et quantitative des cyanobactéries peuplant ce plan d'eau.

Après une introduction générale, ce manuscrit s'articulera autour de 3 chapitres :

**Chapitre 1 intitulé synthèse bibliographique** : dans ce chapitre nous présenterons l'état des connaissances, dans lequel, nous rappelons les caractéristiques des cyanobactéries, les avancées de la recherche afin d'apporter des éléments explicatifs permettant de mieux comprendre l'occurrence des cyanobactéries, et les mesures recommandées.

**Chapitre 2 nommé Matériel et méthodes** : ce chapitre comporte une présentation de la zone d'étude ; Dans ce chapitre seront consignées les données relatives à la stratégie d'échantillonnage et le matériel ainsi que les différentes méthodes et techniques utilisées pour la caractérisation des physico chimique des eaux, l'identification des cyanobactéries, leur dénombrement.

**Chapitre 3 dénommé Résultats et discussion** : dans ce chapitre seront consignés les résultats, interprétation et discussion des paramètres physico-chimiques étudiés, ceux des cyanobactéries recensées et leur dynamique spatio-temporelle afin d'évaluer la qualité des eaux et l'efficacité de leur traitement de potabilisation.

L'ensemble de ces chapitres seront suivis d'une conclusion générale et les recommandations à proposer pour une gestion durable de cette ressource et la préservation de la santé de l'utilisateur de ces eaux. Et pour clôturer le tout, la partie référence bibliographique regroupera l'ensemble publications consultées pour la mise au point de ce projet de fin d'étude, sa réalisation et enfin la rédaction du manuscrit.

*Chapitre 01*

*Synthèse*

*bibliographique*

## **1.1. Les cyanobactéries**

### **1.1.1. Généralité sur les cyanobactéries**

Les cyanobactéries sont les plus anciens organismes à être apparus sur Terre, il y a environ trois de milliards d'années (**Schopf, 2002**). Leur prolifération au cours de la période de l'antécambrien est à l'origine de l'atmosphère terrestre riche en oxygène de l'époque moderne (**Berkner & Marshall, 1965**) et d'une évolution de la vie végétale et animale plus complexe.

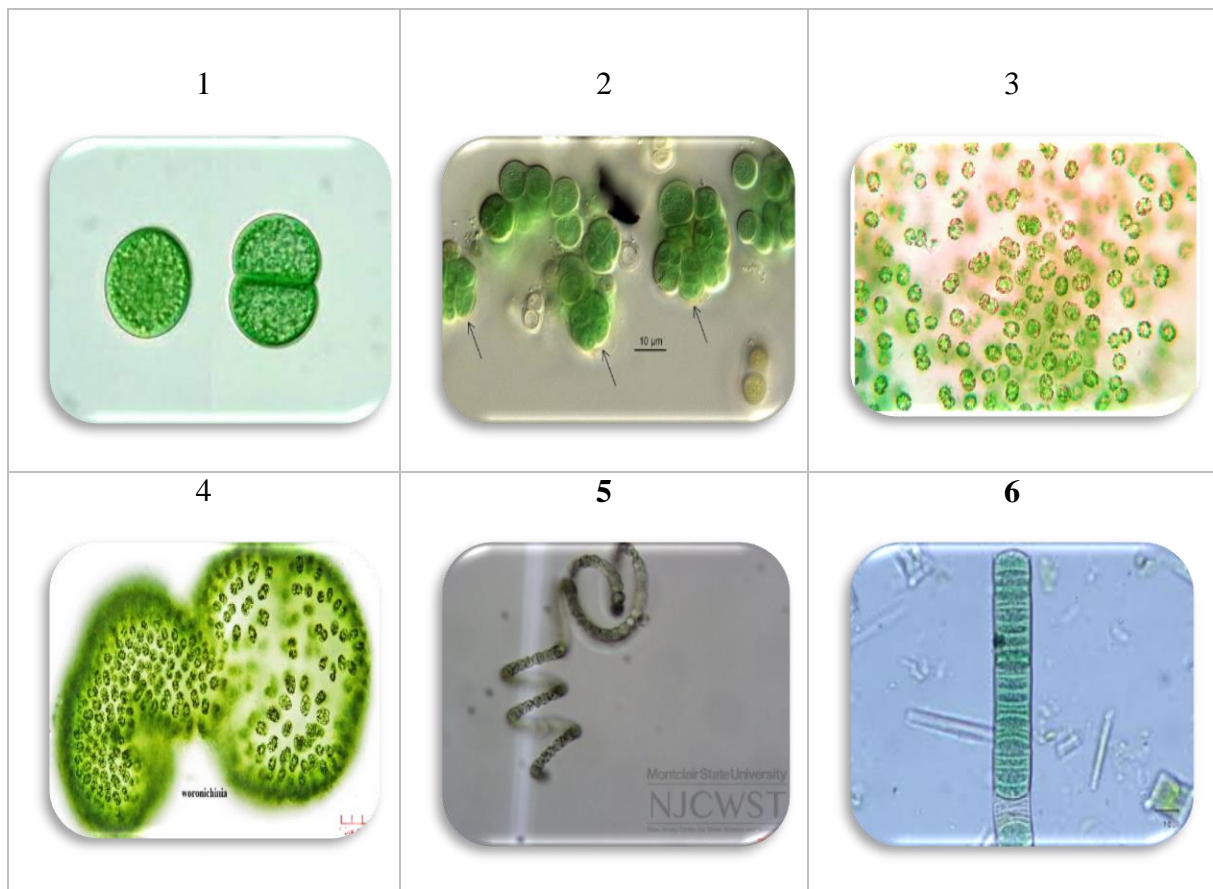
Les cyanophycées sont des procaryotes photosynthétiques, à Gram négatif dont la pigmentation peut varier du bleu-vert au rouge, classés du point de vue systématique dans le règne des Eubactéries. Ces microorganismes ont longtemps été rangés dans le règne végétal car ils présentent, outre des propriétés spécifiques des bactéries, des caractéristiques propres aux algues :

- la structure cellulaire est similaire à celle des bactéries et se caractérise plus particulièrement par l'absence de noyau et d'organites intracellulaires :
- comme les algues, la plupart des cyanobactéries des eaux continentales possèdent de la chlorophylle *a* et nonde la bactériochlorophylle comme certaines bactéries. Elles renferment généralement, comme autres pigment photosynthétiques, des phycobiliprotéines et réalisent une photosynthèse productrice d'oxygène en utilisant l'eau comme donneur d'électrons. (**Afssa & Afsset, 2006**).

### **1.1.2. La diversité morphologique des cyanobactéries**

Les cellules cyanobactériennes présentent plusieurs formes ; les formes les plus courantes sont les cellules sphériques et cylindriques.

Dans les milieux aquatiques, on les retrouve sous différentes structures (**Fig.01**) :



**Figure 01.** Représentation de la diversité morphologique des cyanobactéries

(1/*Synechococcus*, 2/*Chroococcidiopsis*(Unicellulaire)3/*microcystis*,4/ *worochinia*(Structure coloniale non filamenteuse) 5/ *Dolicospermum*6/*Planktothrix* (Structure colonial filamenteuse)

### 1.1.3. Multiplication

La reproduction des cyanobactéries est végétative, c'est-à-dire asexuée. Elle se produit par fission binaire d'une cellule mère en deux cellules filles par bourgeonnement Ou par plusieurs départements. Le temps dépend des espèces et des conditions environnementales Doublement de la population en quelques heures à quelques jours (**Briand et al., 2008**).

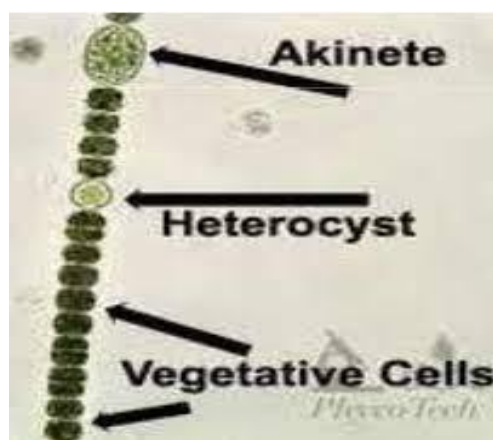
Trois types de cellules peuvent être rencontrés chez les cyanobactéries à savoir (**Fig. 02**) :

- **Des cellules végétatives** ; au contenu peu distingué (en microscopie photonique) sauf lorsqu'elles enferment des vacuoles gazeuses (aérotopes), très réfringentes (responsables de la flottabilité des thalles qui en possèdent), et de couleurs très variées, conséquence des teneurs distinctives en pigments photosynthétiques tels que

la chlorophylle a (vert), la phycoyanine (bleu) et la phycoérythrine (rouge) et en substances hélio protectrices.

- **Des hétérocytes ;** à paroi épaisse et au contenu homogène faiblement coloré. Leur forme est sphérique, cylindrique, voire conique. Leur emplacement dans le trichome est soit intercalaire, soit terminale à l'une des extrémités seulement ou aux deux, ou encore latérale (pédicellée). Les hétérocystes sont généralement dépeuplés mais peuvent aussi paraître en paire et, plus rarement, en série. La présence, dans les hétérocystes, de la nitrogénase leur confère la capacité de fixer l'azote moléculaire dissous dans l'eau pour le transformer en azote assimilable par la cellule. Les hétérocystes ne sont présents que chez certaines formes filamenteuses, et ce seulement lorsque les conditions écologiques nécessaires à leur formation sont réunies (**Dumont, 2006**).
- **Des akinètes :** Ce sont des cellules généralement plus larges que les cellules végétatives

Les hétérocystes. Leur paroi est très poussée et peut être colorée et ornementée. Leur Contenu apparaît rempli de grosses granules sphériques ou polyédriques. Leur teneur en ADN est plus importante, de même que celles de la cyanophycine (réserve protéique) et du Glycogène (réserve de glucides). Les akinètes sont des cellules de repos, capables d'empêcher à des conditions écologiques très défavorables et qui, après retour à une situation environnementale normale, peuvent germer et redonner un thalle. Les akinètes n'existent que dans certaines structures filamenteuses. Ils sont solitaires ou disposés en série dans le trichome, en position intercalaire ou subterminale, adjacente ou éloignée des hétérocystes (**Dumont, 2006**).



**Figur02.** Image montrant les types de cellules peuvent être rencontrés chez les cyanobactéries

#### 1.1.4. Composant de cyanobactéries

Les cyanobactéries possèdent des propriétés propres aux procaryotes. Par exemple, il n'y a pas de noyau, pas d'organites (réticulum endoplasmique rugueux, appareil de Golgi, mitochondries, plastes, etc.), et/ou une paroi cellulaire de type Gram-négatif. Cependant, ils possèdent également des caractéristiques propres aux cellules végétales eucaryotes, comme un appareil photosynthétique complexe composé de deux photosystèmes alimentés par différents pigments photosynthétiques (Sotton, 2012).

Ces photosystèmes sont alimentés en photons par la chlorophylle-a et de nombreux caroténoïdes ( $\beta$ -carotène, zéaxanthine, myxoxanthophylle, etc.) présents dans la membrane thylakoïde. Le phycobilisome externe du thylakoïde contient également des phycobiliprotéines (phycocyanine, phycoérythrine, phycoérythrocyanine et allophycocyanine), des pigments accessoires qui captent l'essentiel de l'énergie lumineuse utilisée dans la photosynthèse (Stanier & Cohen-Bazire, 1977).

D'autres structures spécifiques formées par des cellules différenciées telles que les akinètes et les hétérocystes se retrouvent chez certaines espèces filamenteuses (Fig. 03).

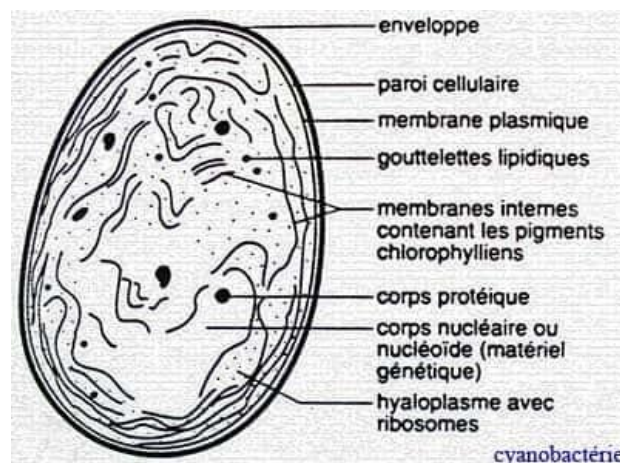


Figure 03. Image montrant les composantes d'une cyanobactérie

#### 1.1.5. Classification

Les cyanobactéries, également appelées cyanobactéries ou algues bleu-vert, sont des micro-organismes procaryotes photosynthétiques appartenant au règne des eubactéries (Woese, 1987). Ils sont actuellement reconnus par deux systèmes de classification :

Code international de nomenclature botanique (ICBN) (Greuter *et al.*, 2000) et Code international de nomenclature bactérienne (ICNB) (Lapage *et al.*, 1992).

L'approche botanique est basée sur des critères morphologiques (taille des cellules, morphologie des colonies) et physiologiques tels que la composition pigmentaire, la présence de bulles d'air, la composition du matériau de réserve, la paroi cellulaire, la présence de cellules différenciées (hétérocystes ou akinètes), et type de multiplication. L'approche bactériologique est basée sur la caractérisation physiologique et génotypique de cultures pures. L'ordre de la taxonomie botanique correspond aux sections définies dans la taxonomie bactériologique (**Tableau 1**). Les écarts entre les deux taxons s'observent principalement au niveau de l'espèce et s'expliquent par : l'absence de nombreux taxons en culture pure, la variation des caractéristiques morphologiques au cours de la culture, les différences dans les souches conservées, les problèmes d'identification (par critères morphologiques), collection.

La taxonomie des cyanobactéries a subi de nombreuses révisions, prenant en compte de nouvelles caractéristiques morphologiques, physiologiques, écologiques et cytologiques, comme celle de **Bornet et Flahaut (1886-1888)**, complétées par d'importantes études comme **Elenkin. (1936-1949)** et aujourd'hui **Anagnostidis** et ; **Komàrek et Anagnostidis (1986, 1989, 1999, 2005)** et **Komàrek et al. (2003)** En plus des traits morphologiques et physiologiques, les traits génotypiques ont également redéfini et affiné la taxonomie des cyanobactéries, contribuant à une meilleure compréhension de la diversité de ces organismes. Aujourd'hui, il existe 124 genres avec plus de 2500 espèces (**Komàrek et al., 2003**).

**Tableau 1.** Correspondance entre les deux systèmes de classification des cyanobactéries  
I.C.B.N et I.C.N.B

Classification bactérienne (I.C.N.B.)	Classification botanique (I.C.B.N.)	Description
<b>Section I</b>	Chroococcales	Individus unicellulaires ou coloniaux, à multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores.
<b>Section II</b>	Pleurocapsales	Individus coloniaux (protohalles) à multiplication par fissions multiples donnant des baeocytes
<b>Section III</b>	Oscillatoriales	Formes filamenteuses unisériées, non hétérocystées, sans ramification, à divisions cellulaires perpendiculaires à l'axe du trichome

<b>Section IV</b>	Nostocales	Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocystes, akinètes) et à divisions cellulaires dans un seul plan.
<b>Section V</b>	Stigonematales	Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes, akinètes) présentant des ramifications (vraies ou fausses), à divisions cellulaires dans plusieurs plans

#### 1.1.6. Les fleurs d'eau de cyanobactéries " prolifération "

Les algues bleu-vert ont une bonne capacité d'adaptation qui leur permet d'accroître, peu importe le milieu (terrestres ou aquatiques) dans lequel elles se développent. C'est ainsi que des chercheurs ont découvert des proliférations de cyanobactéries dans des sources thermales (Miller & Castenholz, 2000), sous la glace des régions polaires (Vincent, 2007), dans des lacs salés (Post, 1977), dans le désert (Bahl *et al.*, 2011), sous l'écorce des arbres (Neustupa & Škaloud, 2008), liées à du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) pour former des stromatolites (Dupraz & Visscher, 2005) ou encore en symbiose avec une multitude d'organismes tels que des diatomées, des éponges, des coraux, des lichens, des fougères, et une variété d'autres organismes (Kardish *et al.*, 1989).

Les floraisons de cyanobactéries peuvent apparaître en quelques jours et parfois même en quelques heures seulement (Oliver & Ganf, 2000), Certaines fleurs d'eau envahissent toute la superficie d'un milieu aquatique. D'autres affectent seulement certains secteurs d'un plan d'eau comme des baies.

Selon les conditions physiques du plan d'eau, on peut observer soit la formation d'une mousse bleue verdâtre laiteuse à la surface de l'eau, soit une coloration uniforme (bleu-vert, jaune, rouge, verte...) de la colonne d'eau. Suivant les espèces de cyanobactéries, des blooms peuvent apparaître et disparaître aussi vite lorsque les conditions environnementales changent (Dumont, 2006).

#### 1.1.7. Les facteurs de contrôle des proliférations de cyanobactéries

Les proliférations de cyanobactéries, qui interviennent généralement en période estivale puis au début de l'automne (Lévi *et al.*, 2006), sont le plus souvent associées à plusieurs

Facteurs principaux :

1. Une stabilité de la colonne d'eau au moment du développement (Visser *et al.*, 1996).



2. Des conditions météorologiques favorables en terme de luminosité et température permettant des taux de croissance importants (**Mur et al., 1999**).
3. Des concentrations élevées en nutriments (azote et/ou phosphore) qui sont souvent Les éléments nutritifs limitants dans les plans d'eau (**Chorus et Mur, 1999**).

## 1.2. Les Cyanotoxines

Les toxines de cyanobactéries ou cyanotoxines recouvrent une grande variété de structures chimiques et de mécanismes de toxicité (**Sivonen and Jones 1999**). En fonction de leur mode d'action, les cyanotoxines sont classées en hépatotoxines (organe cible principal : Le foie), en neurotoxines (organe cible : le système nerveux) ou en dermatotoxines (organe cible : la peau). Les toxines de cyanobactéries peuvent être considérées essentiellement comme des endotoxines libérées dans le milieu au cours de lyse algale, lorsque les cellules vieillissent ou à la suite d'un traitement algicide qui les font éclater (**Duy et al., 2000**). Elles sont également classées suivant leur structure chimique. Ce sont en majorité des peptides cycliques ou des alcaloïdes.

Les cyanotoxines peuvent avoir des effets nocifs sur la santé suite à leur ingestion ou à leur contact avec la peau. Leur présence constitue un problème d'envergure mondiale. Il y a au moins 46 espèces de cyanobactéries qui ont le potentiel de produire des toxines.

Les cyanotoxines les plus communes appartiennent au groupe des microcystines (MC). Près de 80 variantes de microcystines ont été identifiées et sont principalement produites par les genres *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Microcystis*, *Oscillatoria* et *Nostoc*.

Le caractère toxique ou non toxique peut varier à l'intérieur d'une même espèce de cyanobactéries, du fait que les cellules possèdent ou non les gènes de production de toxines. Les facteurs qui contrôlent l'expression de ces gènes sont encore mal connus (**Lavoie, 2007**).

### 1.2.1. Les effets des Cyanotoxines sur la santé

Il existe trois catégories de toxines produites par les cyanobactéries, chacune pouvant avoir des effets variables sur la santé :

- ✚ **Les dermatotoxines** peuvent causer des irritations et créer des problèmes d'allergies. En contact avec la peau, ces toxines peuvent provoquer des sensations de brûlures ainsi que des démangeaisons rougeâtres et boursoufflées.
- ✚ **Les hépatotoxines** favoriseraient l'apparition de troubles chroniques du foie et du tube digestif.

✚ **Les neurotoxines** affectent le fonctionnement du système nerveux. En stimulant constamment les muscles, elles peuvent provoquer des crampes, une grande fatigue et même une paralysie (**Laurentides, 2009**).

### **1.3.Réglementations relatives aux cyanobactéries et aux cyanotoxines**

Au cours de ces dix dernières années, de multiple pays à travers le monde se sont trouvés confrontés à de graves difficultés sanitaires et environnementaux liés aux proliférations ou aux accumulations exagérées de cyanobactéries dans les réservoirs d'eau potable et les aires de loisirs aquatiques. En effet, des règles de sûreté à respecter et des rangées d'exposition idéale ont été définis pour les cyanobactéries et les microcystines, hépatotoxines les mieux connues et les plus souvent mises en évidence dans les milieux aquatiques en période de proliférations cyanobactériennes. Présentement, la surveillance des proliférations à cyanobactéries est réalisée grâce à des Dénonciateurs de biomasse comme la concentration en chlorophylle a (Chl a), à des dénonciateurs d'abondance et aussi grâce à l'identification des espèces présentes. En séquelle, au niveau international, l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**) recommande depuis 2003, à partir de ces paramètres, des seuils pour les eaux de baignades.

- **Eau de baignade**

À l'échelle internationale, l'OMS a élaboré en 1999 des recommandations pour les eaux récréatives et les cyanobactéries. Des valeurs guides ont été suggérées en tenant compte des éventuels risques par contact direct, inhalation et ingestion. Ces valeurs guides sont présentées en trois niveaux et ont été établies à partir d'études ou de cas d'intoxication avérée.

- **Eau potable**

L'OMS a également établi en 1999 des seuils d'alerte pour l'eau destinée à la consommation humaine en considérant la biomasse cyanobactérienne présente dans l'eau brute. A chaque seuil sont associées des actions à entreprendre par les gestionnaires des stations de potabilisation, cependant ces actions doivent être adaptées à chaque ressource et aux possibilités analytiques et de traitement de l'eau.

- **Seuil de vigilance (environ 200 cell/mL)** : Ce seuil correspond à la détection dans 1 mL d'eau brute d'une colonie ou de filaments de cyanobactéries. Quand ce seuil est atteint, il est conseillé d'augmenter la fréquence d'échantillonnage à au moins une fois par semaine, de façon à observer un changement rapide de la biomasse cyanobactérienne.

- **Seuil 1 d'alerte (2 000 cell/mL)** : Ce seuil indique la possibilité de dépasser la valeur guide établie par l'OMS pour l'eau de boisson, et nécessite d'évaluer l'efficacité de la filière de traitement de potabilisation à éliminer les cyanotoxines ou la possibilité d'avoir recours à un captage de secours présentant une eau moins chargée en cyanobactéries. Un tel niveau de biomasse nécessite de s'entretenir avec les autorités sanitaires et de poursuivre la surveillance des eaux brutes avec une fréquence au moins hebdomadaire. Une identification des genres ou espèces cyanobactériennes doit être réalisée afin de déterminer les cyanotoxines pouvant être potentiellement produites. Des analyses de cyanotoxines dans l'eau distribuée peuvent également être envisagées. Si celles-ci sont négatives mais que la biomasse reste supérieure au seuil d'alerte 1, la surveillance des cyanobactéries dans l'eau brute doit être maintenue.

- **Seuil 2 d'alerte (100 000 cell/mL)** : Une telle concentration témoigne d'un risque accru d'effets néfastes sur la santé à court terme si aucun traitement n'est mis en place ou si la filière de potabilisation n'est pas assez efficace en termes d'élimination de cyanobactéries et de cyanotoxines. Il est donc primordial pour le gestionnaire de connaître l'efficacité de sa filière de traitement ainsi que ses performances. En l'absence d'étape de traitement comprenant du charbon actif ou une autre technologie avancée afin d'éliminer les cyanotoxines, il convient d'envisager la mise en place d'un plan d'urgence pour garantir la distribution de l'eau d'alimentation. Une surveillance de la prolifération s'impose pour déterminer le retour à une situation de fonctionnement normal.

*Chapitre 02*

*Matériel et*

*méthodes*

## 2.1. Description de la zone d'étude

Le barrage de Hammam Debagh est situé dans la wilaya de Guelma à 25 Km à l'ouest du chef-lieu entre les coordonnées 36°27'50.07''N de latitude et 7°14'10.10''E de longitude avec une élévation de 363 m. Il dépend administrativement de la Daïra de Hammam Debagh et de la commune de Bouhamdane, occupant une superficie totale de 700 hectares. Il est alimenté principalement par Oued Bouhamdane.

La station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh est située à 1 km à l'amont de la localité du barrage de Hammam Debagh, à environ 2 km au Nord-ouest de l'agglomération du chef-lieu de la commune et existent sur la rive droite d'Oued Bouhamdane à 40 km, elle est mise en service en 2003. Leur surface est de 3 hectares, elle est située entre 36°27'49.04''N et 7°15'21.23''E avec une élévation de 296 m. La station est alimentée par le barrage Bouhamdane qui possède une capacité théorique de 220 millions de m<sup>3</sup> (**Fig. 04**) (ANBT, 2023).



**Figure 04.** Images satellitaires (Google Earth, 2023) montrant la localisation géographique du barrage de Bouhamdane

## **2.2. Echantillonnage**

Notre étude a fait l'objet d'un échantillonnage mensuel réalisé, durant la période s'étalant du mois février jusqu'au mois de mars 2023, sur les berges du barrage.

### **2.2.1. Choix des stations**

Le présent travail consiste à étudier le suivi des cyanobactéries et physico-chimique dans le barrage de Bouhamdane (W. de Guelma) ; Pour cela nous avons procédé à des prélèvements mensuels des eaux brutes (St1, St2 et St3) et des eaux traitées (eau prélevée chez un consommateur (St4).

Des eaux potables à savoir :

- **Station (1)** : L'eau de surface de barrage rive gauche.
- **Station (2)** : L'eau de surface de barrage rive droite.
- **Station (3)** : L'eau non traitée provenant du barrage de Bouhamdane.
- **Station (4)** : L'eau prélevée chez un consommateur.

Les analyses physicochimiques et microbiologiques ont été réalisées au niveau de la station de traitement et au niveau du laboratoire de microbiologie à l'université 8 Mai 1945 de Guelma.

### **2.2.2. Stratégie d'échantillonnage**

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

- Utilisation de bouteilles en plastique d'1.5L couvertes de papier aluminium avec étiquettes pour bien caractériser les échantillons (N° de station, date, dosage élément nutritifs, chlorophylle, MES).
- Les flacons en verre de 50 ml bien nettoyés à l'eau couverts en papier aluminium avec étiquettes sur lesquelles on a signalé : station, date, identification et dénombrement (**Silvano, 2005**).
- Préparation d'une fiche portant des renseignements importants (paramètres physico-chimique de l'eau)

- Une glacière pour le transport au frais et à l'obscurité (pour quelques heures seulement ; au-delà de ce délai, il faut placée les échantillons au réfrigérateur.).

### **2.2.2.1. Sur terrain**

Dans un premier temps, nous avons procédé à un prélèvement d'eau brute pour l'identification microscopique et le comptage des cyanobactéries dominantes. Pour cela, un prélèvement intégré de 1 L d'eau brute à l'aide d'un tube échantillonneur de 1 m de long a été effectué dans chacune des deux stations de prélèvement. Ce volume a été concentré par la suite à travers un filet à plancton de 20  $\mu\text{m}$  de vide de maille (**Fig. 05**), pour obtenir au final un volume d'environ 100 mL. En plus, nous avons effectué un second prélèvement à la bouteille (2 L) destiné à la mesure de la matière en suspension, la chlorophylle-a et les nutriments. Au final, tous les échantillons sont conservés à l'abri de la lumière et transportée dans une glacière jusqu'au laboratoire.



**Figure 05.** Photographie du filet à plancton.

Les mesures des paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité, Oxygène dissous) sont réalisées « in situ », au moment de l'échantillonnage à l'aide d'un multi paramètre « WTW. Multi 3420 SETG » (**Fig.06**) après le calibrage approprié de chaque paramètre. L'utilisation de cet appareil consiste à faire plonger la sonde appropriée dans l'eau, puis attendre, quelques secondes, la stabilisation de l'affichage sur l'écran avant sa lecture.



**Figure 06.** Multi-paramètres (3420 IDS, WTW, Germany)

### 2.2.2.2. Au laboratoire

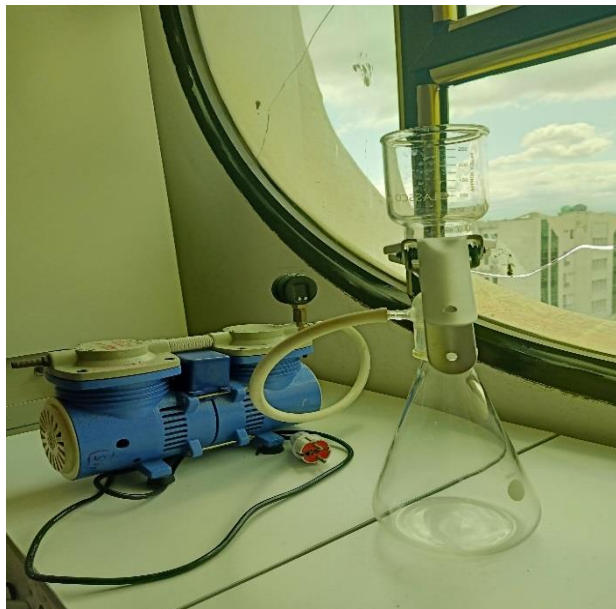
Dès l'arrivée au laboratoire :

Les prélèvements réservés au dénombrement sont conservés à 4°C jusqu'à l'analyse ultérieure.

▪ Le volume de 1.5l consacré au dosage des paramètres physico-chimiques et la chlorophylle *a* est réparti comme suit:

✓ 250 ml réservés au dosage de la chlorophylle *a* sont filtrés sous vide (**fig. 07**) à travers un filtre en microfibrilles de verre Whatman GF/C (0.45  $\mu\text{m}$ ).

✓ 500 ml réservé au dosage des sels nutritifs est également filtré de la même manière, le filtre est récupéré pour le dosage des matières en suspension.



**Figure 07.** Photographie du dispositif de filtration



## 2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau

### 2.3.1. Dosage des paramètres critiques

#### ▪ **Matières en suspension**

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

#### □ Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105 °C pendant 20 mn ;
- Laisser refroidir dans le dessiccateur ;
- Ensuite les peser soit **p1** : poids des membranes avant filtration ;
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers;
- Rendre les membranes à l'étuve (105 °C) afin de les sécher pendant 20 min ;
- Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une 2ème fois soit **p2** : poids des membranes après filtration ;

$$\text{MES (mg/l)} = (\text{p1-p2}) \times 5 \times 1000.$$

#### ▪ **Dosage de la Chlorophylle a dans l'eau**

**Principe** : La mesure des pigments phytoplanctoniques repose sur leurs caractéristiques spectroscopiques : absorption de lumière (spectrophotométrie) ou fluorescence (fluorimétrie). Contenue dans les cellules, la chlorophylle *a* est un paramètre « particulière » qui pour une mesure précise au laboratoire nécessite la récolte du matériel en suspension par filtration, suivie d'une extraction du filtre par un solvant et finalement la mesure de l'absorbance de l'extrait.

#### □ Mode opératoire

##### ○ **Filtration**

(1) Filtrer l'échantillon d'eau brute à travers un filet ou un tamis de 200 à 250 µm de vide de maille ce qui permet l'élimination grossière du zooplancton. (2) Filtrer un volume connu d'échantillon (0.5 à 5 litres) sous vide, sur membrane en fibre de verre (WHATMAN GF/C 47µm) recouverte au préalable d'une fine couche de carbonate de magnésium pour éviter l'altération de la chlorophylle.

##### ○ **Extraction**

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

Laisser l'extraction acétonique se poursuivre une nuit au réfrigérateur.

○ **Centrifugation et transfert de l'extrait préalable à la mesure spectroscopique**

Contrôler le volume du solvant, le noter ou l'ajuster. Les tubes doivent être bouchés jusqu'à la mesure.

Centrifuger les tubes durant une minute à 3000 - 4000 tours, faire tomber les fibres de verre qui adhèrent à la paroi.

Centrifuger à nouveau 5 à 10 mn à 3000 - 4000 tours.

Transférer le surnageant de centrifugation dans la cuve de mesure (par aspiration).

○ **Mesure des absorbances selon la méthode trichromatique**

Laisser revenir à température ambiante les extraits s'ils sont froids.

Rincer 2 fois la cuve avec un peu d'extrait à analyser.

Transférer dans la cuve assez de volume pour faire la mesure. Veiller à ne pas entraîner des fibres.

Vérifier la propreté des faces de la cuve et la positionner correctement sur le portoir.

Mesurer les absorbances brutes de l'extrait à 630, 647, 664 et 750 nm : **A<sub>630</sub> brut, A<sub>647</sub> brut,**

**A<sub>664</sub> brut et B<sub>bruts</sub>**

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

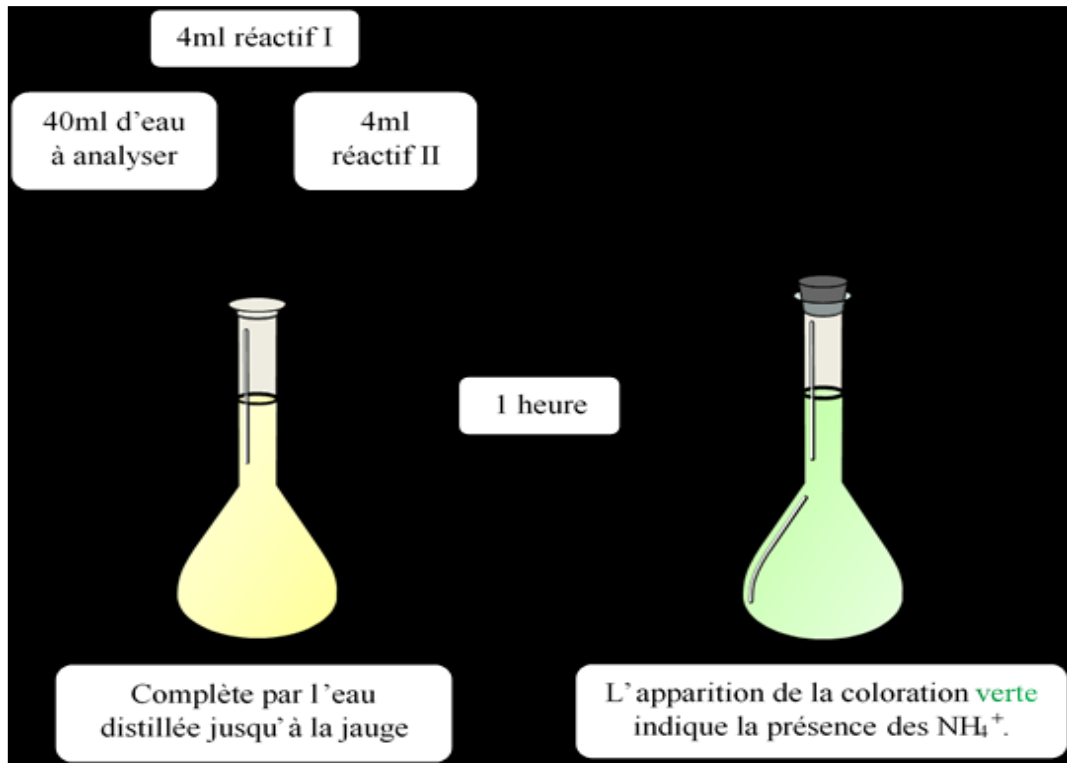
▪ **Dosage des éléments nutritifs**

✓ **Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

C'est une mesure spectrométrique à environ 655 nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

□ Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml ;
- Ajouter 4 ml du réactif I (réactif coloré) ;
- Ajouter 4 ml du réactif II (Dichloroisocyanurate de sodium) et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1h ;
- L'apparition de la couleur verte indique la présence de l'ammonium ;
- Effectuer la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible à 655 nm ;
- Le résultat est donné directement en mg/l (**Fig. 08**).



**Figure 08.** Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

✓ **Dosage des Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

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

□ **Mode opératoire**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 % ;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C ;
- (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu avec 2 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> laissé reposer 10 mn ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 415 nm (**Fig. 09**).

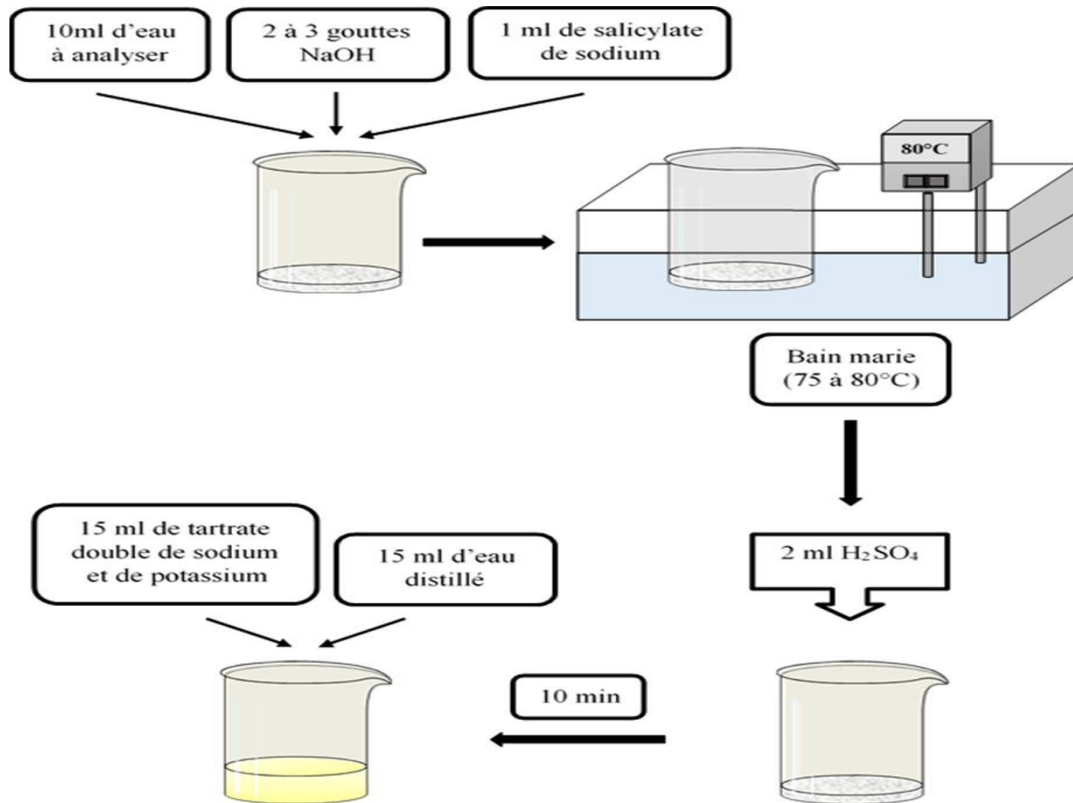


Figure 09. Détermination des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

#### ✓ Détermination des Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les ions nitrites réagissent en milieu acide avec la sulfamilade en formant sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl) -éthylènediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

#### □ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte ;
- Attendre 10 mn ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2^-$  ;
- Effectuer la lecture à 543 nm ;
- Le résultat est donné directement en mg/l (Fig. 10).

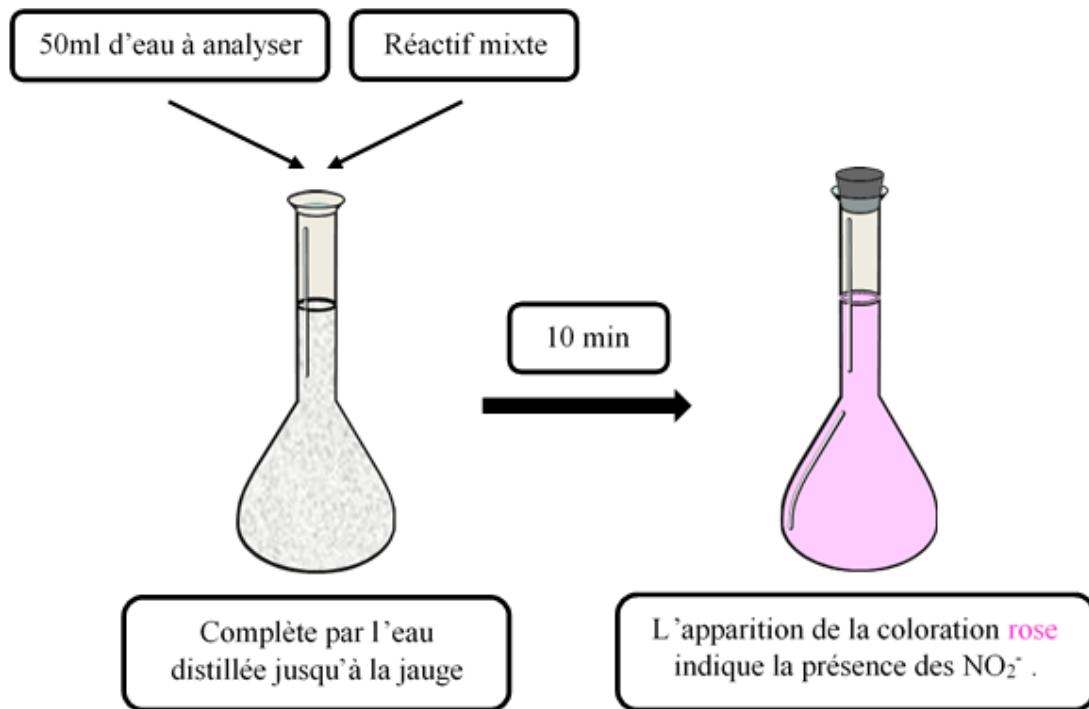


Figure 10. Détermination des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

#### ✓ Détermination des Phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

C'est la formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. La réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm).

#### □ Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser.
- 1 ml d'acide ascorbique.
- Ajouter 2 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 mn.
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.
- Effectuer la lecture à une longueur d'onde  $\lambda$  à 700 ou 880 nm.
- Le résultat est donné directement en mg/l (Fig. 11).

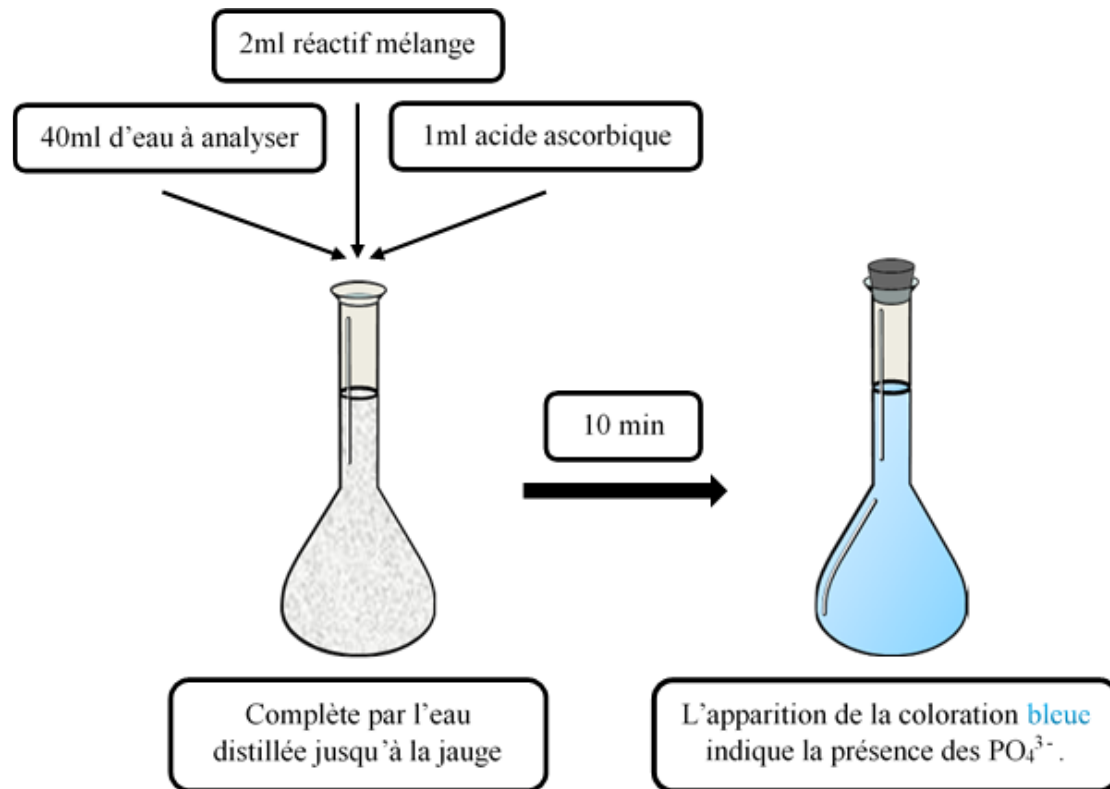


Figure 11. Détermination des Phosphates ( $PO_4^{3-}$ ).

## 2.4. Etude qualitative et quantitative des cyanobactéries

### ✓ 2.4.1. Identification

L'identification des cyanobactéries a été effectuée à l'aide d'observations microscopiques (Axiostar Plus, Carl Zeiss, Germany) des caractéristiques morphologiques de celles-ci sur la base des critères proposés par **Komárek & Anagnostidis, (1999)** ; **Komárek & Anagnostidis, (2005)** et **Komárek *et al.*, (2014)**.

Les critères retenus sont : (1) La structure micro-algale (cellulaire ou filamenteuse), ainsi que la couleur. (2) La forme de la colonie (trouée, aplatie, lobée, composée de sous-colonies compactes) ou du trichome ; (3) La taille des cellules ; (4) La présence ou l'absence de gaine gélatineuse (couleur, aspect et taille), akinètes, hétérocystes, vacuoles à gaz (pseudovacuelles).

### ✓ 2.4.2. Dénombrement

Le dénombrement des cellules des cyanobactéries est réalisé à l'aide d'une cellule de comptage "Nageotte" (**Fig. 12**). Il s'agit d'une lame spéciale qui, lorsqu'elle est observée au microscope optique (Carl Zeiss, Axiostar plus), présente une grille de 40 bandes correspondant à une surface donnée et un volume de 50 $\mu$ l. Le comptage des cellules des cyanobactéries présentes sur un certain nombre de bandes, correspond donc à un certain volume, ce qui permet une estimation par millilitre (**Brient *et al.*, 2001**).

La méthode est la suivante :

- Ajouter la solution de lugol (1% v/v) au 100 ml d'eau filtrée. Le fixateur tue les algues, les alourdit, facilite leur sédimentation et permet leur conservation pendant plusieurs semaines.
- Homogénéiser l'échantillon.
- prélever rapidement avec une pipette 1 ml (sous échantillon) et injecter dans les puits de la lame de Nageotte en maintenant le doigt sur la lame plane spécifique jusqu'à remplir l'ensemble des 2 puits.
- observer à l'aide d'un microscope optique à l'objectif x10 puis x 40.
- Compter les cyanobactéries rencontrées sur le nombre des bandes de la cellule Nageotte sur lequel on rencontre 30 individus.

Cette opération est répétée plusieurs fois (3 observations). La détermination de la densité algale de l'échantillon s'effectue selon la formule suivante :

$$\text{Nombre de cellules /50}\mu\text{L} = \frac{[(\text{Moy des cellules dénombrées /20}) \times 40]}{50}$$

$$\text{Nombre de cellules /ml} = \frac{\text{Nombre de cellules / 50}\mu\text{L}}{V}$$

Moy : la moyenne des cellules dénombrées.

20 : les 20 bandes sur lesquelles on a effectué le dénombrement

40 : les 40 bandes qui correspondent à la grille de la cellule de comptage.

50 : volume de la cellule de Nageotte ( $\mu\text{L}$ ).

V : volume du sous échantillon (1ml).

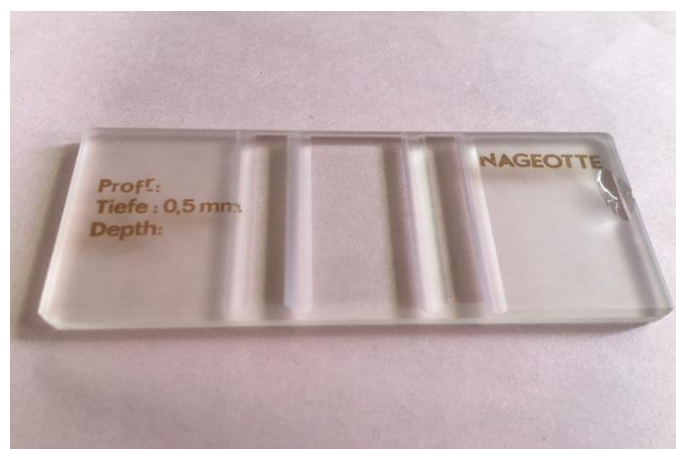


Figure 12. Image d'une cellule Nageotte

*Chapitre 03*

*résultats et*

*discussions*

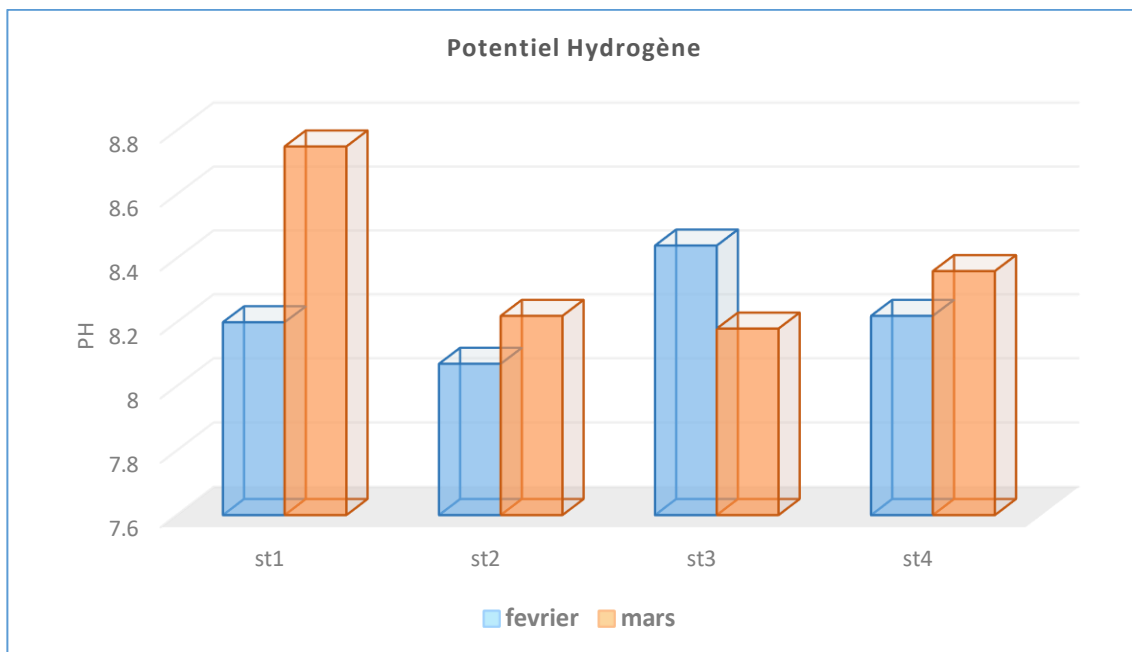


### 3.1. Paramètres physico-chimiques des eaux de barrage de Bouhamdane

#### 3.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH est un indice qui permet de mesurer de l'acidité ou l'alcalinité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>), il dépend de plusieurs facteurs, dont la nature géologique du bassin versant et hydrochimie de l'eau (Gaagai, 2017).

Le pH de L'eau du barrage de Bouhamdane est alcalin (varie de 8,07 à 8,75), l'évolution est similaire dans l'ensemble des stations, la valeur du pH la plus basse est enregistrée en mois de février dans la station 2, par contre la plus élevée est enregistrée en mars dans la station 1 (Fig. 13).



**Figure 13.** Variations spatiotemporelles du pH des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)

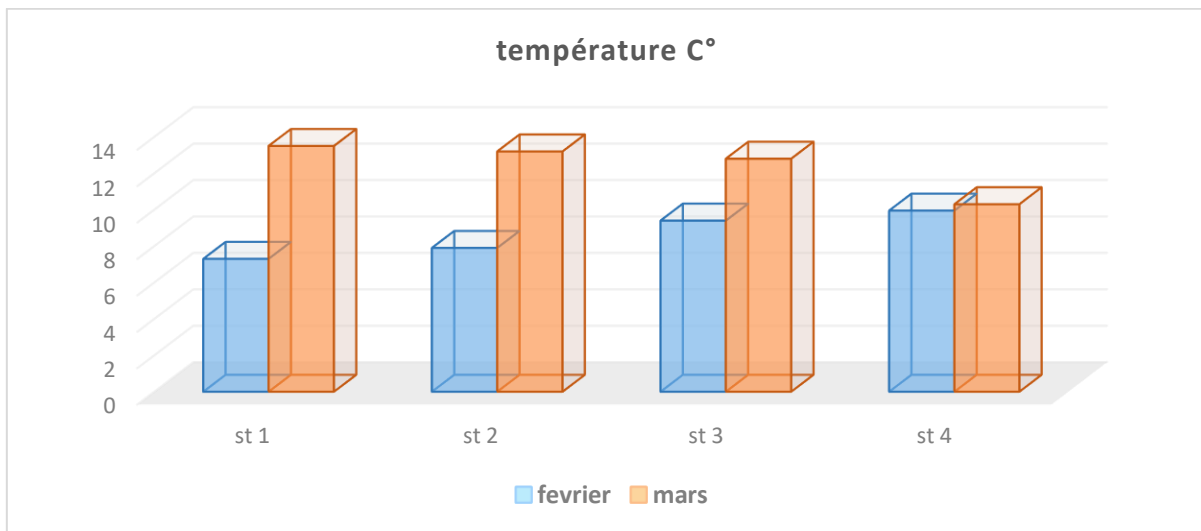
L'alcalinité des eaux du barrage Bouhamdane est expliquée par la ventilation du milieu comme cela a été suggéré par Hamaidi *et al.*, (2009) Saoudi *et al.*, (2015) et Touati *et al.*, (2019) lors de leurs études sur les barrages Ghrib (W. Ain Defla), Mexa (W. EL-TARF) et Zit-Emba (W. Skikda) respectivement.

Selon les normes algériennes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine, le pH est neutre et dans les normes de potabilité JORA, (2014) ; (2011), l'OMS, (1999).

### 3.1.2. Température

La température de l'eau est un paramètre clé dans l'environnement et qui joue un rôle important dans l'augmentation des activités biotique et abiotique et surtout bactériennes (Belhadj, 2006).

La température des eaux superficielles de Bouhamdane présente des variations similaires dans l'ensemble des stations. Elle varie de 9.4°C (en février) à 12.8°C (en mars) et l'écart entre elles est de l'ordre de 3.4°C (Fig. 14). Nous notons, par ailleurs, des températures de plus de 12°C dans les stations 1, 2 et 3 (en mars) et celles en dessous de 10°C dans les 4 stations (en février)



**Figure 14.** Variations spatiotemporelles de la température des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

Les fluctuations de ce paramètre physique enregistrées dans les eaux de notre barrage sont en relation avec les conditions climatiques locales et plus particulièrement avec la température de l'air. Des observations similaires concernant le réservoir Bouhamdane ont été rapportées par de nombreux auteurs (Guellati, 2018 ; Zeghaba, 2018).

Les températures enregistrées durant la période d'étude indiquent que les eaux de barrage bouhamdane inférieures aux normes de potabilité JORA, (2014) ; (2011), l'OMS, (1999).

### 3.1.3. Teneurs en oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre très important pour la vie aquatique et il est considéré comme un bon indicateur sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de

l'autoépuration d'un cours d'eau (Mekaoussi, 2014). La concentration d'oxygène dissous est contrôlée par plusieurs facteurs environnementaux varient spatialement et temporellement tels que (la température, la photosynthèse, l'échange avec l'atmosphère et la charge des eaux en matière organique) (Gaagai, 2017).

Les teneurs en oxygène dissous des eaux du barrage bouhamdane montrent des variations similaires dans l'ensemble des stations ; elles sont comprises dans l'intervalle 9.02-10.01 mg/L. (Fig. 15).

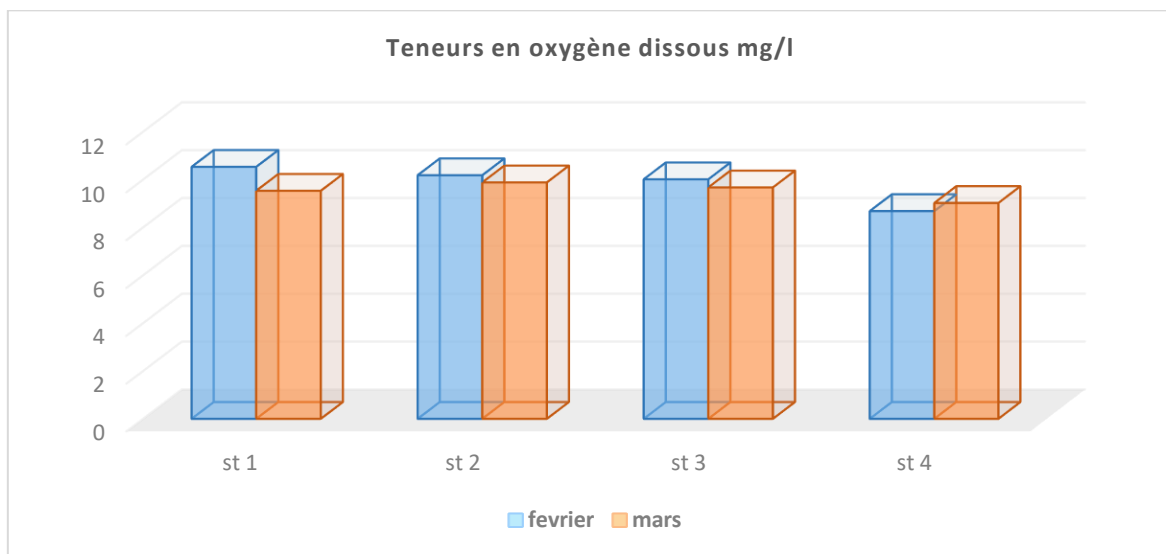


Figure 15. Variations spatiotemporelles de la teneur en oxygène dissous des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

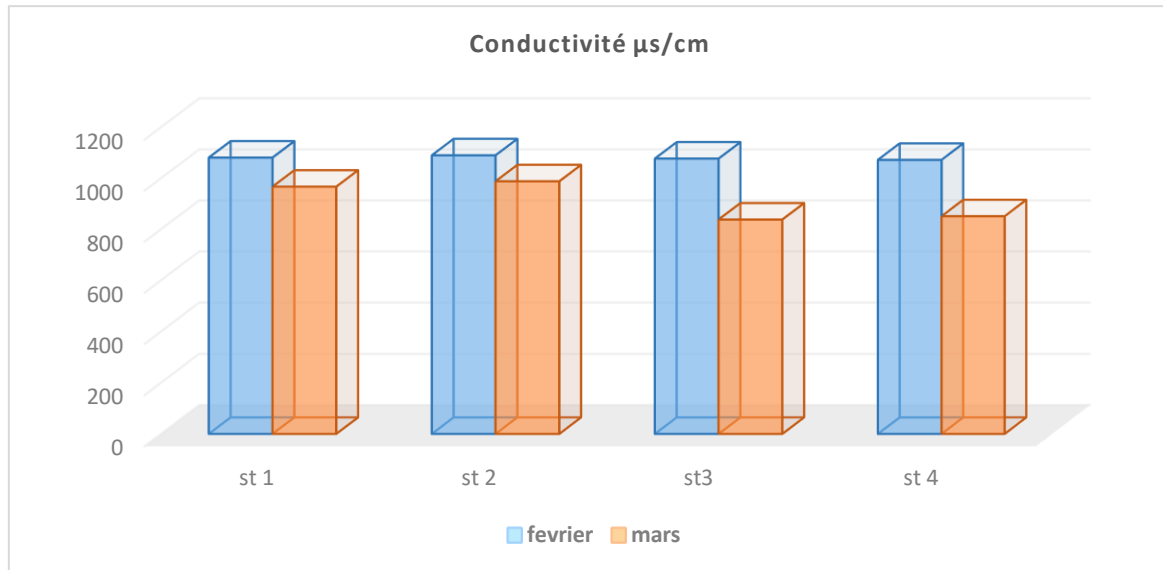
Ces valeurs enregistrées durant la période d'étude indiquent que les eaux de barrage Bouhamdane dépassent les limites de la norme de potabilité, JORA, (2011) ;(2014), l'OMS, (1999)

La bonne oxygénation des eaux de ce barrage seraient liées aux basses températures des eaux ainsi que leur brassage par les vents (Millet, 1989 ; Schlumberger, 2002).

#### 3.1.4. Conductivité

La conductivité de l'eau dénote de l'importance de la minéralisation des eaux ; elle dépend essentiellement des terrains traversés par les cours d'eau (Nisbet & Vernaux, 1970).

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la conductivité varient entre un minimum de 838  $\mu\text{s}/\text{cm}$  enregistrée dans la station 03 pendant le mois de mars et un maximum de 1090  $\mu\text{s}/\text{cm}$  notée dans la station 02 pendant le mois de février (Fig. 16).



**Figure 16.** Variations spatio-temporelles de la conductivité des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)

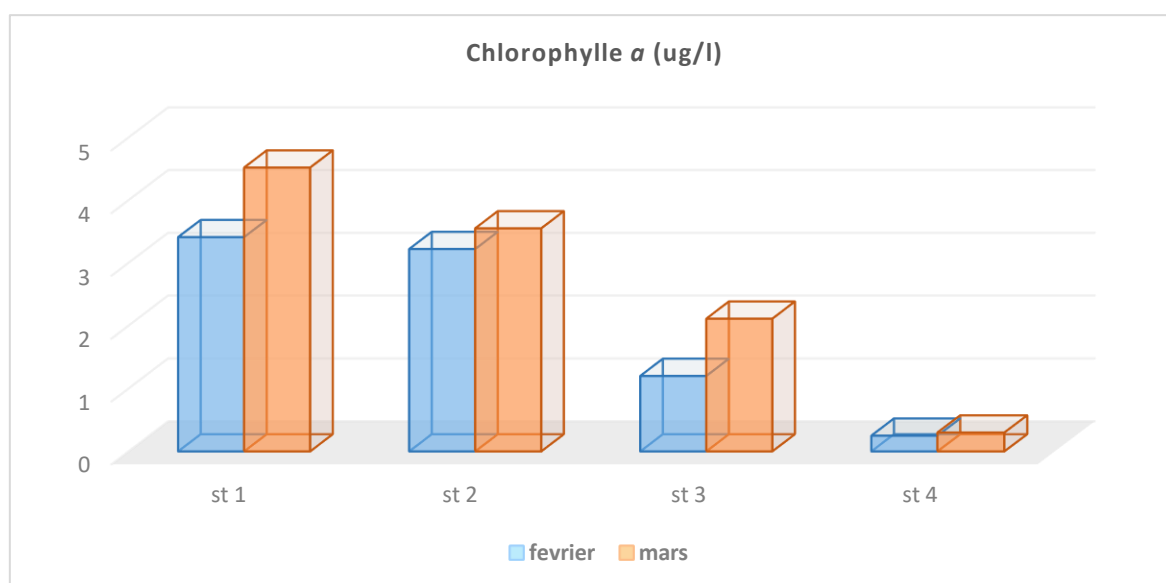
En effet, les résultats obtenus au mois de février sont légèrement supérieurs aux résultats enregistrés au mois de mars. La diminution de cette mesure lors du deuxième prélèvement (mois de mars), est probablement due aux températures élevées qui agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels (**Dussart, 1992**).

Ces résultats sont inférieurs aux normes recommandées par l'OMS, donc il semble que l'eau du barrage Bouhamdane ne contient pas assez des ions, **JORA, (2011) ;(2014), l'OMS, (1999)**

### 3.1.5. Chlorophylle a

Les teneurs en chlorophylle (a) sont des pigments considérés comme des indices de biomasse algale globale, elles sont influencées par les températures très élevées et les fortes intensités lumineuses (**Izaguirre,2001**).

D'après les résultats relevés dans les quatre stations des eaux du barrage Bouhamdane montrent que la teneur en chlorophylle a la plus basse (0,25 mg/l) est enregistrée dans le mois de Février et la plus élevée (4,52 mg/l) est enregistrée en mois de Mars dans les stations 4 et 1 par ordre (**Fig. 17**).



**Figure 17.** Variations spatio-temporelles de la teneur en chlorophylle a des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)

Les faibles teneurs relevées dans les eaux brutes du barrage Bouhamdane durant notre période d'études sont liées aux faibles densités en Cyanobactéries enregistrées dans cette retenue.

Selon l'**P.O.C.D.E. (1982)**, les eaux de réservoir Bouhamdane sont placées dans la catégorie mésotrophe. Par ailleurs, les concentrations observées sont presque nulles dans les eaux traitées (S4), ce qui explique l'efficacité du traitement.

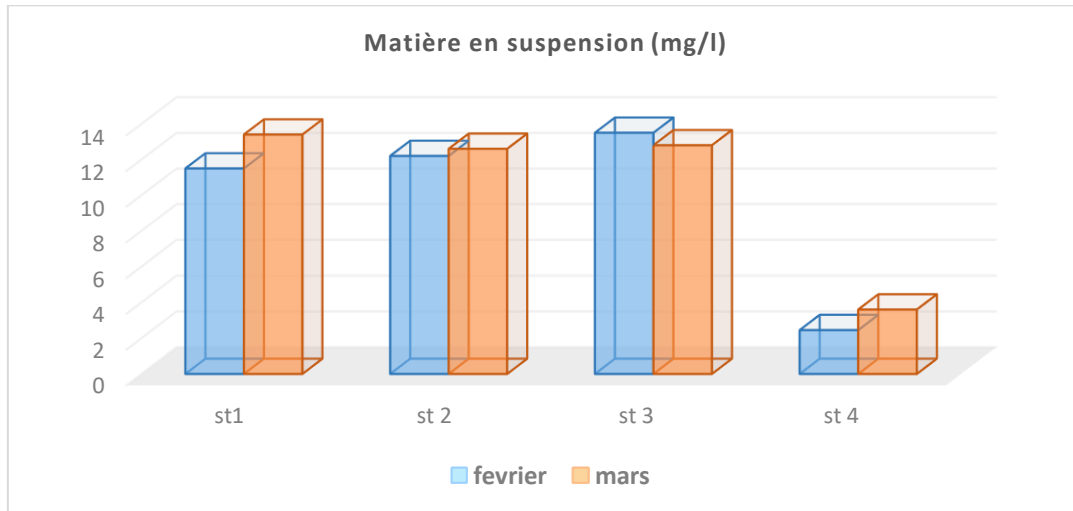
Ces résultats sont inférieurs aux normes recommandées par **JORA, (2011) ;(2014) ; l'OMS, (1999)**.

### 3.1.6. Matière en suspension

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. Elle est en fonction de la nature des terrains traversés, de la pluviosité ainsi que des rejets liquides (**Bouzidi and Chelhi, 2017**).

Les résultats enregistrés dans les quatre stations des eaux du barrage Bouhamdane montrent que la teneur des matières en suspension la plus basse (2,45mg/l) et la teneur en matière en suspension la plus élevée (13,5mg/l) sont relevées au mois de Février dans les station 4 et 3 par ordre (**Fig. 18**).

Nous constatons que la teneur des matières en suspension est instable dans le mois de février et décroissante au mois de mars dans toutes les stations. Nous remarquons aussi une faible teneur en matière en suspension dans la station 4 dans les deux dosages du mois de février et de Mars.



**Figure 18.** Variations spatio-temporelles de la teneur en MES des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

Les matières en suspension enregistrées dans les eaux de notre barrage peuvent s'expliquer par le facteur de charriage des matériaux et des matières en suspension portée par les oueds.

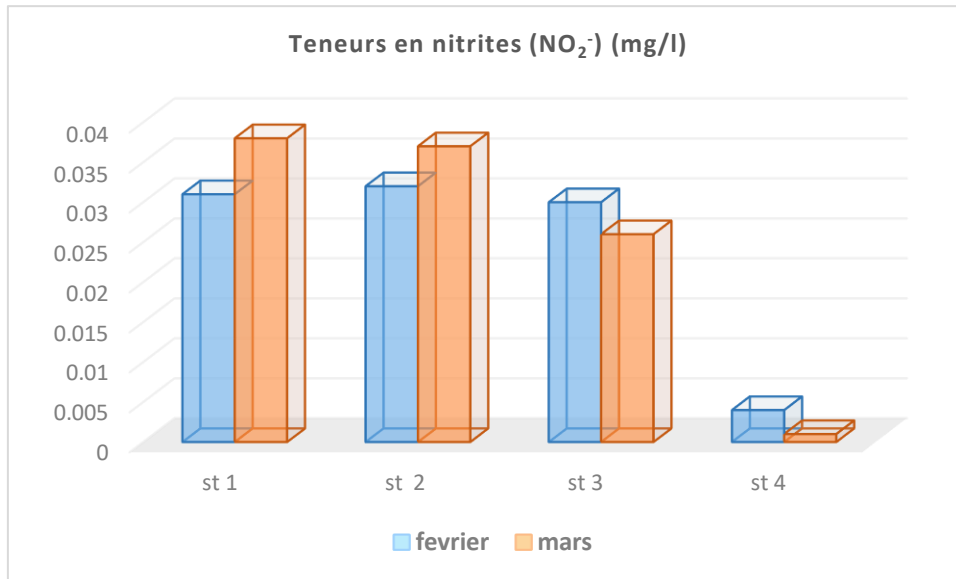
Par ailleurs, elles sont basses dans les eaux traitées ce qui explique l'efficacité du traitement et le bon rendement du processus.

Ces résultats enregistrés durant la période d'étude indiquent que les eaux de barrage Bouhamdane inférieurs aux normes de potabilité **JORA, (2011) ;(2014), l'OMS (1999).**

### 3.1.7. Teneurs en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont les formes les plus toxiques dans le cycle d'azote, elles sont moins oxygénées et moins stables, en plus elles représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. (**Gueroui, 2015**).

Les résultats obtenus dans l'ensemble des stations des eaux du barrage Bouhamdane montre que la teneur en nitrite la plus basse (0,001 mg/l) et la teneur la plus élevée (0,038mg/l) sont enregistrées au mois de Mars dans la station 4 et 1 Par ordre.



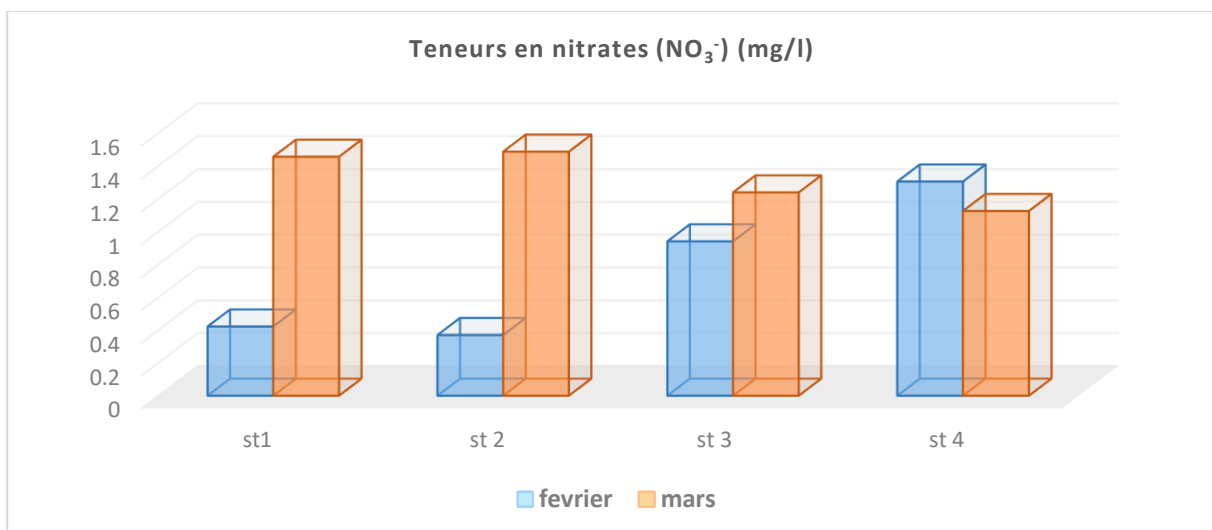
**Figure 19.** Variations spatio-temporelles de la teneur en nitrites des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023)

### 3.1.8. Teneurs en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les nitrates constituent la forme oxydée finale de l'azote. Leur présence dans l'eau atteste d'une bonne récupération en cas de pollution organique. (Gueroui, 2015).

Nous avons enregistré des teneurs en nitrates qui varient entre 0,37 et 1,487; la teneur minimale (0,37 mg/l) est relevée au mois de Février dans la station 2. Par contre, la valeur maximale(1,487mg/l) est observée en mois de Mars dans la station 02.

Nous constatons que la teneur en nitrate est décroissante du mois de mars et instable au mois de février.



**Figure 20.** Variations spatio-temporelles de la teneur en nitrates des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

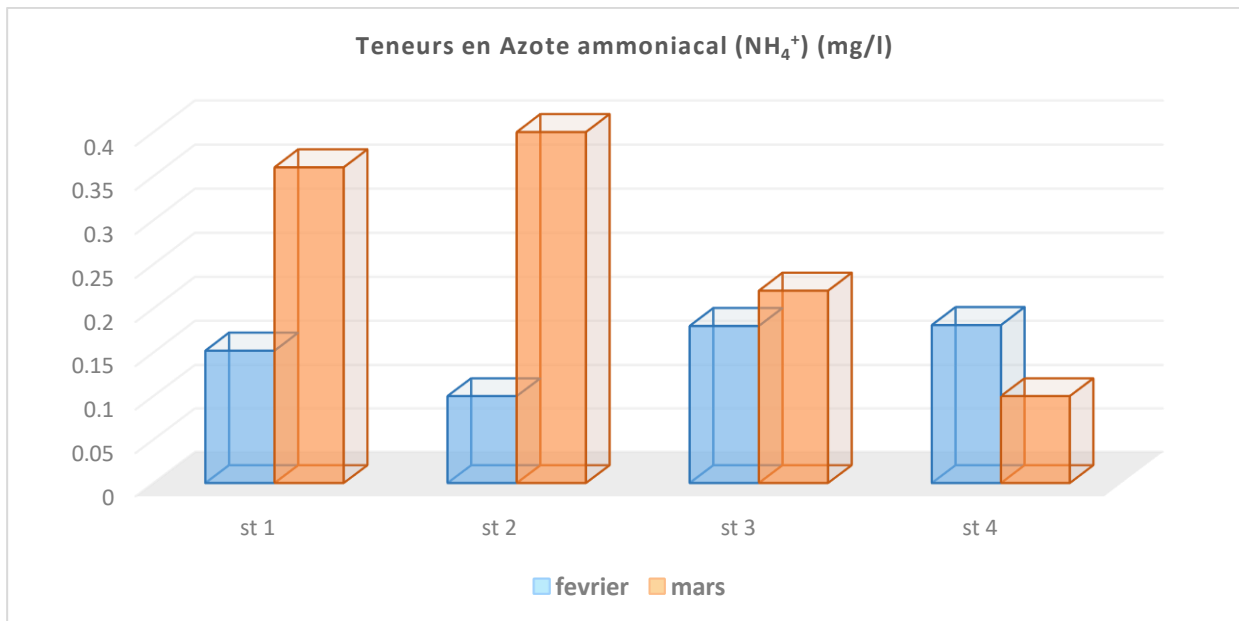
Les concentrations en nitrates sont très faibles pour l'eau brute et traitée, elles varient de 0,973 à 1,89 mg/l (**Fig. 20**). Ces valeurs trouvées sont dans les limites de potabilité. Cependant, Leur présence dans l'eau atteste d'une bonne récupération en cas de pollution organique (J.O.R.A, 2014, 2011).

Ces résultats sont inférieurs aux normes recommandées par l'OMS **JORA, (2011) ;(2014), l'OMS, (1999)**.

### 3.1.9. Teneurs en Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

L'ammonium est l'élément le plus avantageux énergétiquement pour le phytoplancton qui l'utilise comme source d'azote. Il provient essentiellement de l'excrément azoté dû au métabolisme du zooplancton et du poisson (Ammoniotélique) et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés (**Bougis, 1974**).

Les teneurs de l'azote ammoniacal enregistrées dans les eaux du barrage Bouhamdane varient de 0,1 à 0,4 mg/L. Des teneurs de plus de 0,181 mg/L sont relevées de mars dans les stations S1, S2, S3 ; la valeur maximale étant notée dans la station S2 en mars.



**Figure 21.** Variations spatio-temporelles de la teneur en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

Les faibles teneurs constatées dans l'eau du réservoir de Bouhamdane sont probablement liées, d'une part, à la nitrification par une action bactérienne "Nitrosomonas et Nitrobacter" (**Dajoz, 1985**) et, d'autre part, à son assimilation par les microalgues, qui l'absorbent préférentiellement pendant leur période de croissance.



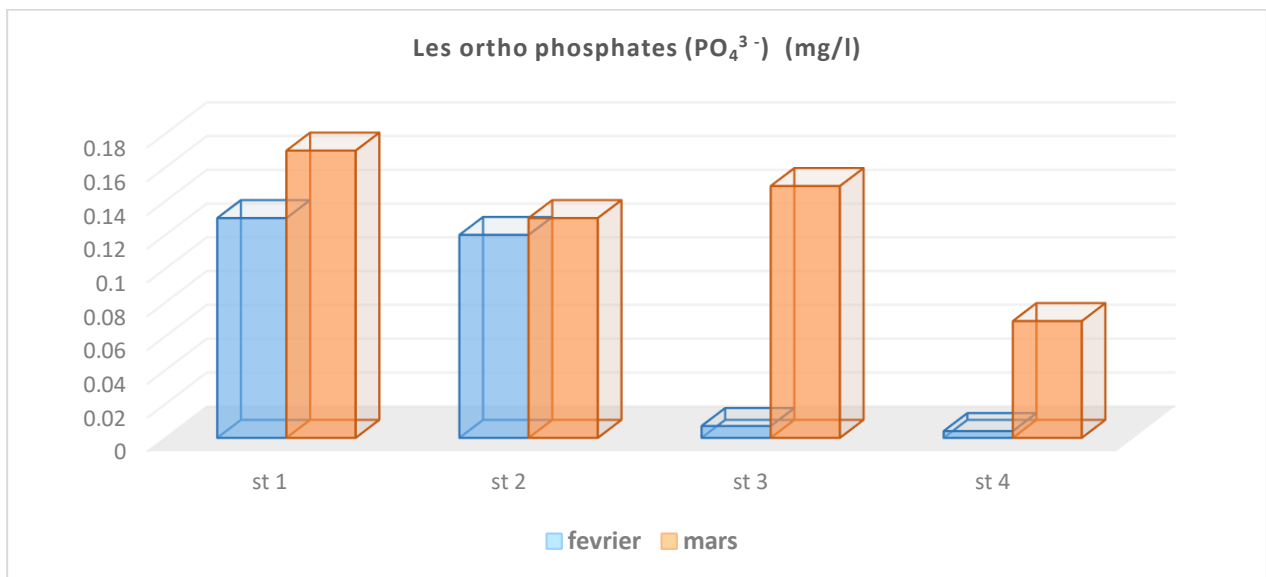
Ces concentrations sont dans les normes de potabilité algériennes. **JORA, (2011) ;(2014), l’OMS, (1999).**

### 3.1.10. Les ortho phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Le phosphore est un élément essentiel à la vie aquatique, fait partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature géologique et chimique des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (**Beaudry et Henry, 1984**).

Les résultats obtenus dans les quatre stations des eaux du barrage Bouhamdane montrent que la teneur en ortho phosphates la plus basse (0,004 mg/l) est enregistrée en mois de Février dans la station 4, Par contre, la teneur en ortho phosphates la plus élevée (0,17 mg/l) est enregistrée en mois de Mars dans la station 1.

Nous constatons que la teneur en ortho phosphates est décroissante au mois de Février et instable dans le mois de Mars.



**Figure 22.** Variations spatio-temporelles de la teneur en ortho phosphates des eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

Les teneurs en phosphate enregistrées dans les eaux du barrage Bouhamdane sont proches de celles fixées par l'agence algérienne des bassins versants (0,2 à 0,5 mg/l) attestant ainsi que l'eau est de bonne qualité. Selon **Gachter & Muller, (2003)** ces faibles teneurs en phosphore qui s'articulent autour de la valeur de 1  $\mu\text{mol/l}$  observées durant notre période d'étude est expliquée par le recyclage de cet élément à partir des sédiments et de la matière morte et ceci dépend de plusieurs mécanismes physiques (température élevée...), chimiques et biologiques.

### 3.2. Étude qualitative des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Bouhamdane

#### 3.2.1. Identifications génériques des cyanobactéries

L'observation des caractères morfo- anatomiques des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Bouhamdane nous a permis d'identifier 4 genres de cyanobactéries : *Microcystis*, *Planktothrix*, *Chroococciopsis*, *Oscillatoria*.

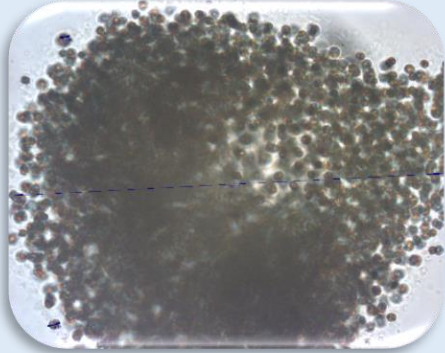

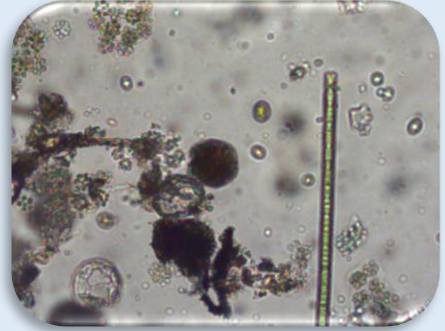
L'identification a été basée sur des critères morphologiques tels que :

- La forme des cellules (largeur, longueur, filamenteuse, coloniale).
- Leurs enveloppes mucilagineuses.
- Coloration, pigmentation.
- La présence ou non de structures cellulaires caractéristiques « Akinètes, Hétérocystes et Vacuoles gazeuses ».

**Tableau 02** : Inventaire des cyanobactéries dans le barrage de Bouhmdane (Février 2023-Mars 2023).

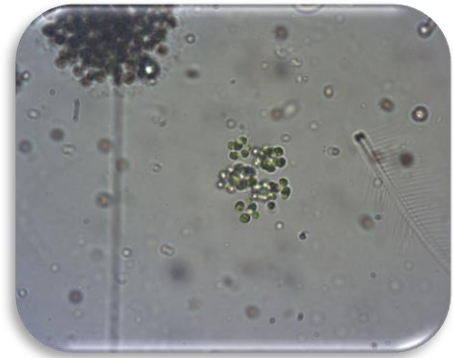
Mois / Station	Février	Mars
<b><u>Station 01</u></b>	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .
<b><u>Station 02</u></b>	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .
<b><u>Station 03</u></b>	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .
<b><u>Station 04</u></b>	<i>Microcystis</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>chroococciopsis</i> , <i>Oscillatoria</i> .

**Tableau 03** : Les caractéristiques des genres identifiés dans les eaux du barrage de Bouhamdane (Février 2023-Mars 2023).

Caractéristiques	Genres
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colonies de formes variées, à mucilage incolore.</li> <li>- Cellules sphériques (diamètre : 0.8-10µm) munies pseudo- vacuoles, sans disposition particulière au sein de la colonie.</li> </ul>	 <p style="text-align: center;"><i>Microcystis</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organisme filamenteux, unisériel, non ramifié, constitué exclusivement de cellules végétatives et dépourvu de gaine mucilagineuse.</li> <li>- Trichomes en général rectilignes, solitaires munis de nombreuses pseudovacuoles.</li> <li>- Cellules de forme cylindrique et plutôt courtes ; diamètre en général compris entre 3.5 et 10 µm (limites du genre L : 2-6 µm x l : 2.2-11.5 µm).</li> </ul> <p>Distinction des espèces parfois difficile, en fonction de la couleur, du diamètre, du degré de constriction entre les cellules, de la forme de la cellule apicale et de son apex.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Planktothrix</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organisme filamenteux, unisériel, non ramifié et sans gaine mucilagineuse.</li> <li>- Trichomes généralement droits mais capables de mouvements d'ondulation (D'où le nom), faits exclusivement de cellules végétatives.</li> </ul> <p>Cellules discoïdes à cylindriques sans Pseudovacuoles, courtes dans la plupart des espèces ( L : 0.8-26 µm x l : 0.6-60 µm).</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Oscillatoria</i></p>

*Chroococidiopsis* est une cyanobactérie primitive unicellulaire. Elle peut survivre dans un large éventail de conditions difficiles

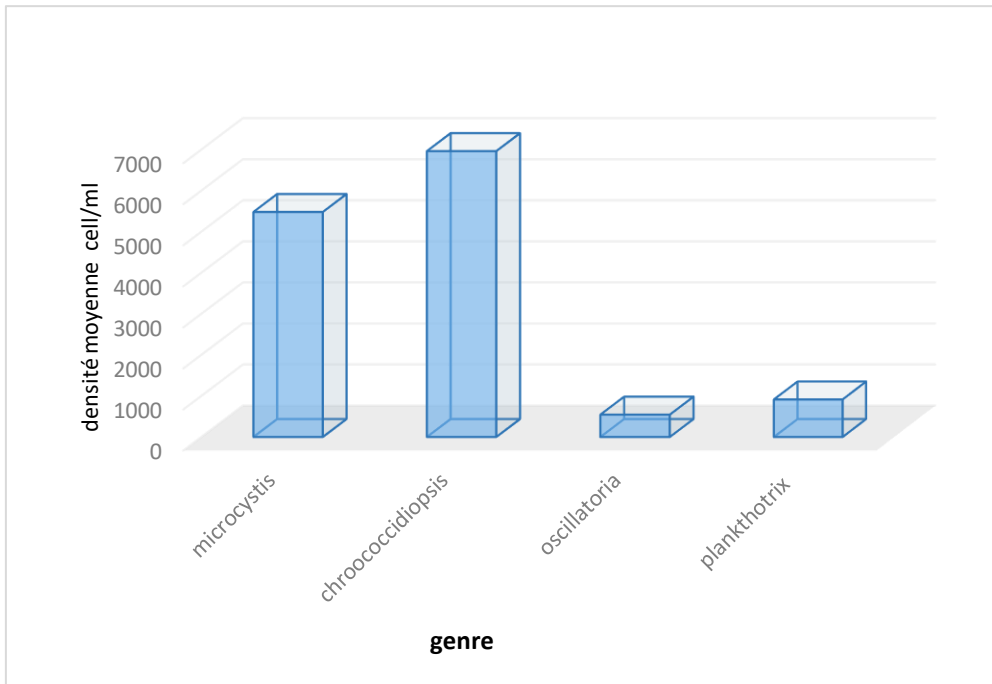
*Chroococidiopsis* est une cyanobactérie sphérique à Gram négatif. Elle est procaryote, *Chroococidiopsis* réalise la photosynthèse oxygénique. La cellule moyenne a un diamètre de 2 à 6 µm et est entourée de gaines polysaccharidiques extracellulaires minces et incolores. On les trouve rarement solitaires, elles vivent généralement en colonies moins sphériques, mais occasionnellement les cellules sont rassemblées en agglomérations libres. La division cellulaire peut se faire de deux manières. La première est la division binaire successive dans différents plans ou la division cellulaire irrégulière par fissions multiples.



*Chroococidiopsis*

### 3.2.2. Densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés

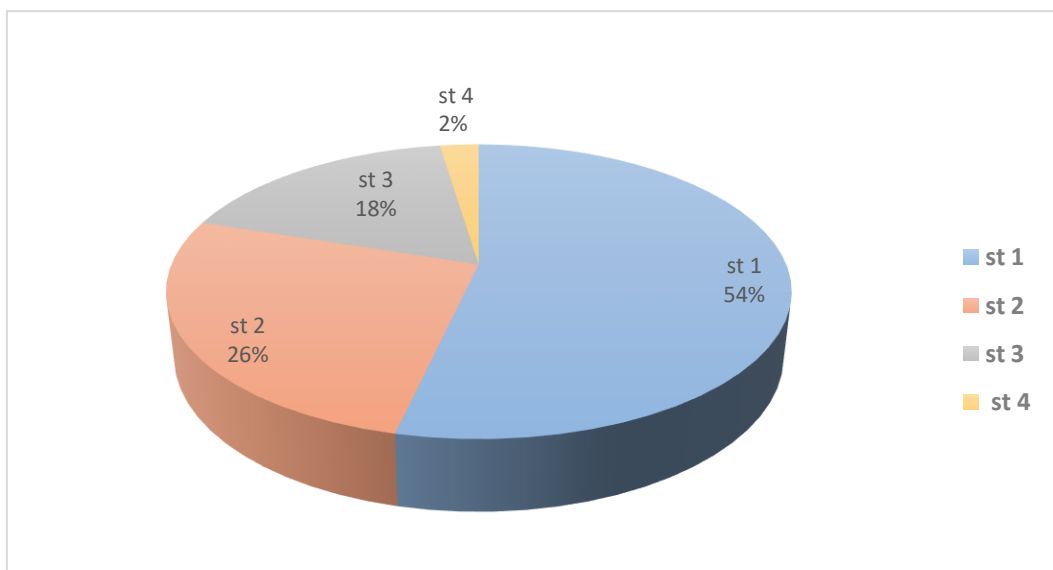
Les densités globales des genres recensés dans les eaux du barrage de Bouhamdane diffèrent d'un genre à l'autre. Nous notons une forte présence des genres *Microcystis* et *Chroococidiopsis*, avec des densités de l'ordre de 5480 et 6970 cell/ml respectivement ; Ces derniers sont suivis des genres *Planktothrix* et *Oscillatoria* qui enregistrent respectivement des densités de l'ordre 919 et 544cell/ml).



**Figure 23.** Distribution des densités globales des genres recensés dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).

### 3.2.3. Distribution spatiale des peuplements des cyanobactéries

Les résultats du comptage des genres recensés dans le barrage de Bouhamdane au cours de la période d'étude révèlent que la station 1 présente la densité la plus élevée avec 53,58% et ce par rapport aux stations : 2 et 3, avec respectivement 26,44% et 17,59% et la densité la plus faible est relevée dans la station 4 avec un pourcentage égale à 2,39%.

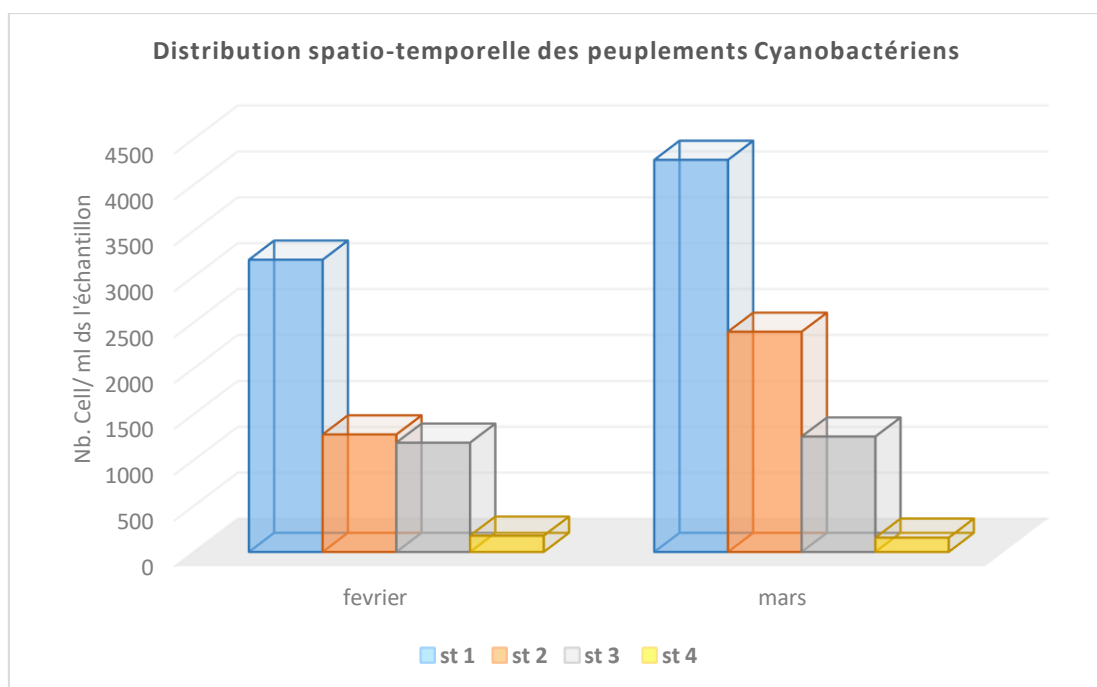


**Figure 24.** Distribution spatiale des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).

### 3.2.4. Distribution spatio-temporelle des peuplements Cyanobactéries

Le suivi spatio-temporel des densités globales des cyanobactéries dénombrées au niveau du barrage Bouhamdane montre une variation de la distribution de ces dernières au cours de la période d'étude ; les densités les plus élevées sont observées au mois de Mars avec une concentration de 4272 cellules/ml, 2399 cell/ml et 1257 au niveau de la station 01,02 et 03 respectivement.

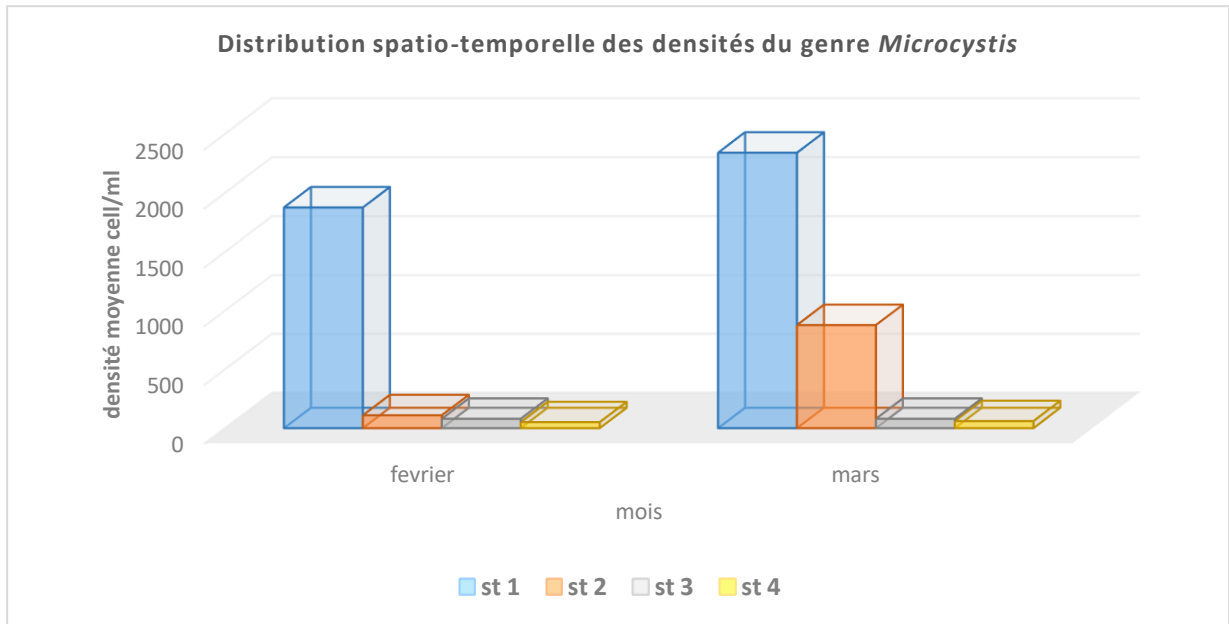
Le suivi spatio-temporel de ces micro-algues fait apparaître leur présence même dans les eaux traitées (Station 04) en mois de Février et Mars avec une densité de 177 cell/ml et 155 cell/ml par ordre.



**Figure 25.** Distribution spatio-temporelle des peuplements de *Cyanobactéries* dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).

### 3.2.5. Distribution spatio-temporelle du genre *Microcystis*

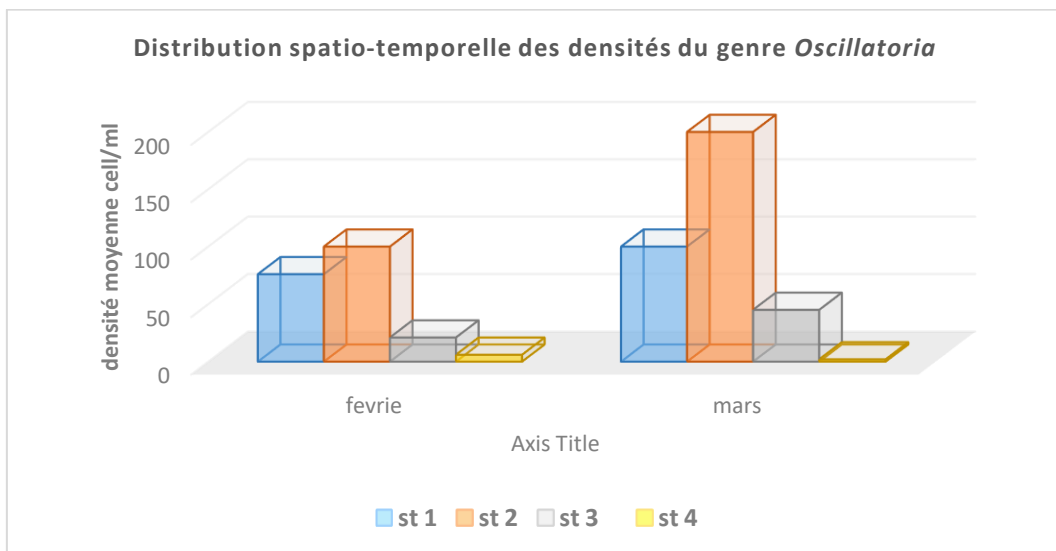
La densité globale du genre *Microcystis* peuplant le Barrage de Bouhamdane montre une variation spatio-temporelle au cours de la période d'étude varient de 51 à 2342 cell/ml, les densités les plus élevées (2342 et 1878 cell/ml) sont enregistrées dans la station 01 pour les prélèvements du mois de mars et février, par contre les densités les plus basses (51,60) sont enregistrées en mois de mars dans la station 04. La figure suivante, donne un aperçu graphique de cette distribution (**Fig. 26**).



**Figure 26.** Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Microcystis* dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).

### 3.2.6. Distribution spatio-temporelle du genre *Oscillatoria*

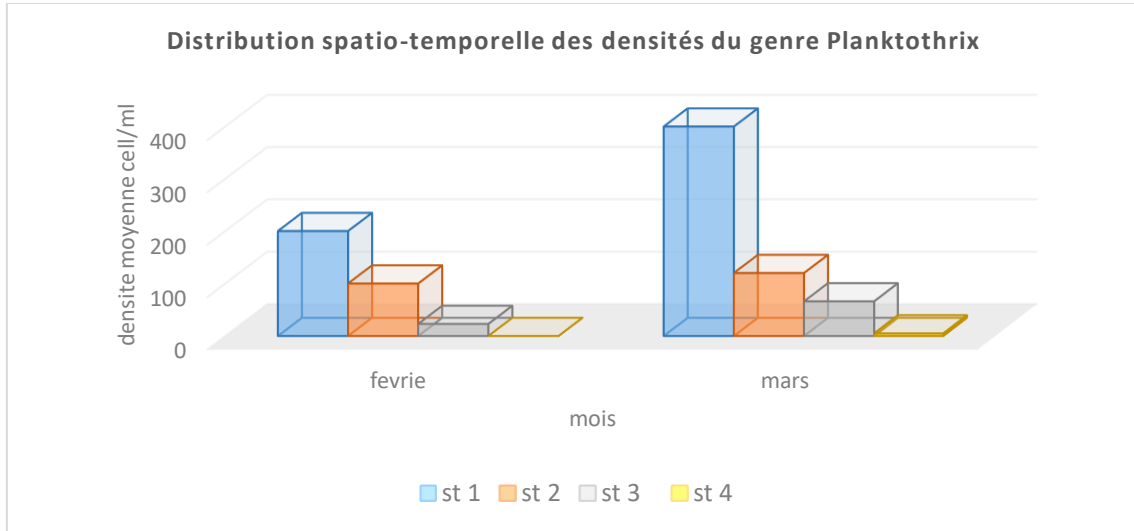
Le genre *Oscillatoria* montre des faibles densités qui ne dépassant pas 100 cell/ml, excepté au mois de mars au niveau de la station 02 avec une densité 200 cell/ml (**Fig. 27**).



**Figure 27.** Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Oscillatoria* dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).

### 3.2.7. Distribution spatio-temporelle du genre *Planktothrix*

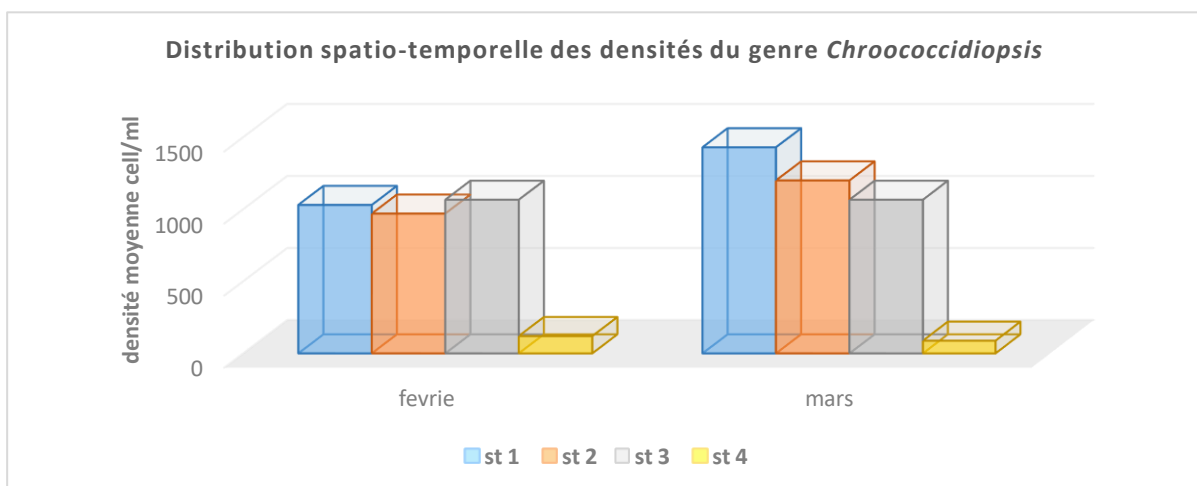
La densité la plus élevée est relevée dans la station 01 du mois de mars avec une densité de 400 cell/ml, en revanche *Planktothrix* il n'est pas signalé dans l'eau traitée (Fig. 28).



**Figure 28.** Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Planktothrix* dans les eaux du barrage Bouhamdane (février- mars 2023).

### 3.2.8. Distribution spatio-temporelle du genre *Chroococidiopsis*

La densité la plus élevée du genre *Chroococidiopsis* (1430 cell/ml) est observée au mois de mars au niveau de la station 01, en revanche la densité la plus faible (88 cell/ml) est observé au niveau de la station 04 du même mois, En ce qui concerne les stations 01, 03 du mois de février et 02, 03 du mois de mars, nous avons noté des densités comprises entre 1030 et 1200 cell/ml) (Fig.29).



**Figure 29.** Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Chroococidiopsis* dans les eaux du barrage Bouhaphmdane (février- mars 2023).



L'observation des caractères morpho-anatomiques des cyanobactéries récoltées dans l'eau de barrage Bouhamdane nous a permis d'identifier 04 genres communs au plan d'eau : *Microcystis*, *Planktothrix*, *Oscillatoria* et *Chroococciopsis*, elles sont considérées comme potentiellement toxique.

Nos données sont confortées par celles **Gueulati et al., (2017)**, **Saoudi et al., (2015, 2017)**, **Touati., et al., (2019)** qui signalent la dominance de *Microcystis* dans les barrages Bouhamdane (W. Guelma), Mexa (W. El teref), Ain-Zada (W. Borj Bou Arreridj) et Zit-Emba (W. Skikda)

En été, les cyanobactéries se caractérisent par leur forte densité et leur grande adaptation aux conditions environnementales de cette saison. Leur abondance dépend d'un ensemble de facteurs tels que la stabilité hydrodynamique de la colonne d'eau, les sels nutritifs et la compétition avec d'autres organismes. Le réchauffement climatique, en favorisant la stabilité de la colonne d'eau, l'anoxie et la libération d'éléments nutritifs, pourrait stimuler la croissance des cyanobactéries et augmenter la fréquence de leurs floraisons, comme l'ont montré plusieurs études (**Weyhenmeyer, 2001 ; Blenckner et al., 2002**). En revanche, pendant les périodes froides, la croissance des micro-algues est ralentie en raison des basses températures, des faibles niveaux d'éclairement, des précipitations et du brassage par le vent.

Donc les accroissements des densités enregistrées durant le mois de mars sont en relation étroite avec l'augmentation de la température ; car la température est considérée comme l'un des facteurs les plus importants pour le contrôle de la dominance des Cyanobactéries permettant à une espèce donnée d'apparaître, d'atteindre un développement maximal pour enfin disparaître à des époques de l'année bien déterminées (**Gayral, 1975**).

En référence aux valeurs guides admises par l'OMS (**Chorus et Bartram, 1999**), les eaux de la retenue Hammam Debagh abritent des densités qui dépassent largement le niveau de vigilance. Pareille situation est rapportée par **Guellati et al., (2017)** dans le même réservoir ou les auteurs signalent, des densités dépassant le niveau de vigilance.

*Conclusion ET*

*Perspectives*

## **Conclusion**

Après deux mois d'enquête menée au barrage de Bouhamdane (W. Guelma) à partir de données collectées dans quatre stations, nos résultats ont montré que :

- La température est le facteur déterminant dans les variations des paramètres biotiques et abiotiques.
- L'étude qualitative des cyanobactéries dans le barrage de Bouhamdane a également révélé la présence de quatre genres toxiques (*Microcystis*, *Planktothrix*, *Oscillatoria* et *Chroococciopsis*), avec une prédominance du genre *Microcystis*.
- Les densités de cyanobactéries détectées au cours des deux mois ont entraîné la classification des eaux au niveau d'alerte 1, ce qui représente un risque élevé pour les consommateurs.
- Les eaux traitées montrent une faible présence de cyanobactéries.

## **Perspectives**

Suite à toutes ces observations, voici quelques actions recommandées pour élaborer un programme de surveillance continu du plan d'eau :

- Effectuer une analyse continue des paramètres physico-chimiques de l'eau.
- Étudier les peuplements de cyanobactéries à différentes profondeurs durant plusieurs cycles.
- Réaliser des cultures mono-spécifiques des cyanobactéries identifiées pour identifier les souches toxiques et doser les toxines à l'aide de techniques sophistiquées telles que l'ELISA ou HPLC.
- Compléter l'étude morphologique par une identification moléculaire, plus fiable pour déterminer l'espèce.

*Références*

*Bibliographiques*

**A**

**Afssa & Afsset., (2006).** « Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives », pp : 232.

**ANBT, 2022.** Agence Nationale des Barrages et des Transformation, Guelma

**B**

**Bahl, J., Lau, M. C., Smith, G. J., Vijaykrishna, D., Cary, S.C., Lacap, D. C., ... & McKay, C. P. (2011).** Ancient origins determine global biogeography of hot and cold desert cyanobacteria. *Nature communications*, 2, 163.

**Beaudry, T., & Henry, T. M., 1984.** Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1 ère, édition. INC Canada.

**Belhadj M.Z, 2006.** Etude de la pollution du Barrage de Zit-Emba commune de bekkouchelakhdar Wilaya de Skikda Thèse de magister. Université de Batna.

**Berkner, L. V., & Marshall, L. C. (1965).** On the Origin and Rise of Oxygen Concentration in the Earth's Atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 22(3), 225-261.

**Bidi-Akli, S., Hacene, H., Arab, A. (2017).** Impact of abiotic factors on the spatio-temporal distribution of cyanobacteria in the Zeralda's dam (Algeria). *Revue d'Ecologie (la Terre et la Vie)*, 72(2), 159–167.

**Blenckner, T., & Hillebrand, H. (2002).** North Atlantic Oscillation signatures in aquatic and terrestrial ecosystems—a meta-analysis. *Global Change Biology*, 8(3), 203-212.

**Bougis, P. (1974).** *Ecologie du plancton marin*

**Bornet, E., Flahaut, C., 1886-1888.** Révision des Nostocacées hétérocystées. *Ann. Sci. Bot.* ser.7. 3, 323-381, 4, 343-373, 5, 51-129, 7, 177-262.

**Bouaïcha, N., & Nasri, A. B. (2004).** First report of cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Algerian freshwaters. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 19(5), 541-543.

**Boussadia, M. I., Sehli N., Bousbia, A., Ouzrout, R., & Bensouilah, M. (2015).** The effect of environmental factors on cyanobacteria abundance in Oubeira lake (Northeast Algeria). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 10(14), 157–168.

**Bourlange, S., 2000.** Modélisation hydraulique et écologique d'une rivière amont : Le Grand Morin. DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie. Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts. Pp : 48.

**Bouzidi, S., Chelhi, Z., 2017.** Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Geulma.

**Briand, E., Quiblier, C., & Humbert, J.F. 2008.** Etude spatio-temporelle de la dynamique des cyanobactéries dans la retenue de bort les orgues. Epidor 06227. P 94.

**Brient L., Vezie C., Bertru G. 2001.** Evaluation des efflorescences à cyanobactéries dans des eaux de cours d'eau et plans d'eau breton. Université de Rennes 1. Pp 80.

**Brient, L., Vézic, C., & Bertru, G. (2001).** Évaluation des efflorescences à cyanobactéries dans des eaux de cours d'eau et plans d'eau bretons. *Rapport DIREN Bretagne (Ministère de l'Environnement)*.

## C

**Chorus, I. and Mur, L. (1999)** Preventative measures. In Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Chorus I. & Bartram J. (eds). London, Spon, E. & F.N. p. 235-273.

**Chorus, I., & Bartram, J. (1999).** Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. CRC Press.

**Chorus I. 2001.** *Cyanotoxins: Occurrence, Causes, Consequences.* Springer-Verlag KG, Berlin.

**Codd, G. A., Morrison, L. F., & Metcalf, J. S. (2005).** Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. *Toxicology and applied pharmacology*, 203(3), 264-272.

## D

**Dajoz R. 1985.** Précis d'écologie. 5ème édition, pp : 7- 318.

**Djabourabi, A., Sehili, N., Boussadia, M., Samar, F., & Bensouilah, M. (2014).** Fluctuations des Paramètres Physico Chimiques et des Communautés Phytoplanctoniques dans le lac Oubeira (Nord-Est Algérien). *European Journal of Scientific Research*, 118(2), 183-196.

**Dupraz, C., & Visscher, P. T. (2005).** Microbial lithification in marine stromatolites and hypersaline mats. *Trends in microbiology*, 13(9), 429-438

**Dumont, V. 2006.** Etudes des cyanobactéries dans la rivière du Tran. CRITT Bio-Industries et INSA, Toulouse, Référence : 05150VD13, pp40, pp109.

**Duy, T.N., Lam, P.K.S., Shaw, G.R., Connell, D.W. (2000)** Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water. *Rev. Environ. Contam.* T.163:113-185

**Dussart, B. (1992).** *Limnologie-l'étude des eaux continentales*. 2ed édition. Ed. Boubée et Cie : 670p.

### E

**Elenkin, A.A., 1936-1949.** Monographia Algarum Cyanophycearum aquidulcium et terrstrium in finibus URSS inventarum. I et II. Izd Akad Nauk SSSR, Moskva-Leningrad, I: 684 p, II: 1908 p.

**Elliott J.A. 2012.** Predicting the impact of changing nutrient load and temperature on the phytoplankton of England's largest lake, Windermere. *Freshwater Biol*, 57, 400–413

### F

**Ferrão-Filho A.S., Soares M.C.S., de Freitas Magalhães V., Azevedo S.M.F.O. 2009.** Biomonitoring of cyanotoxins in two tropical reservoirs by cladoceran toxicity bioassays. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 72, 479–489, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.002>.

### G

**Gayral P., 1975.** Les algues : Morphologies, Cytologie, Reproduction, Ecologie-ed : DOIN, Paris, p.12, 49, 52.

**Gaagai 1. (2017).** Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Mémoire de doctorat en hydraulique. Université Mostefa Benboulaïd -Batna.

**Gachter, R., and Muller, B. (2003).** Why the phosphorus retention of lakes does not necessarily depend on the oxygen supply to their sediment surface. *Limnology and Oceanography*, 48, 929-933.

**Ger K.A., Teh S.J., Baxa D.V., Lesmeister S., Goldman, C.R. (2010).** The effects of dietary *Microcystis aeruginosa* and microcystin on the copepods of the upper San Francisco Estuary. *Freshwater Biology*, 55(7), 1548–1559

**Greuter, W., Mc Neil, J., Barrie, F.R., Burdet, H.M., Demoulin, V., Filgueiras, T.S., Nicolson, D.H., Silva, P.C., Skog, J.E., Trehane, P., Turland, N.J., Hawksworth, D.L., 2000.** International Code of Botanical nomenclature (Saint Louis Code). 138, Koeltz scientific Books, 474 p.

**Guellati, F. Z., Touati, H., Tambosco, K., Quiblier, C., Humbert, J. F., & Bensouilah, M. (2017).** Unusual cohabitation and competition between *Planktothrix rubescens* and *Microcystis* sp.(cyanobacteria) in a subtropical reservoir (Hammam Debagh) located in Algeria. *PloS one*, 12(8), e0183540

**Gueroui, Y., Maoui, A., & Touati, AS (2015).** Enquête hydrochimique et bactériologique dans les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka, au nord-est de l'Algérie. *Journal arabe des géosciences*, 8, 2417-2432.

## H

**Hamaidi ms, hamaidi f, zoubiri a, benouaklil f, dhan y., 2009.** Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques et résultats préliminaires sur les blooms toxiques a cyanobacteries dans le barrage de ghrib (ain defla-algérie). *European journal of scientific research*, 32 (3): 372

## J

**Jacoby J.M., Kann J. 2007.** The occurrence and response to toxic cyanobacteria in the Pacific Northwest, North America.

**Joung S.H., Oh H.M., Ko S.R., Ahn C.Y. 2011.** Correlations between environmental factors and toxic and non-toxic *Microcystis* dynamics during bloom in Daechung Reservoir, Korea. *Harmful Algae*, 10,188–193.



**JORA, 2011. Journal Officiel de la République Algérienne** : Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

**J.O.R.A (Journal Officiel de la République Algérienne). (2014).** Décret exécutif n° 11-220 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 fixant les modalités de la concession D'utilisation des ressources en eau pour l'Etablissement d'installations de dessalement d'eau de

**I**

**Izaguirre, I., O'Farrell, I., & Tell, G. (2001).** Variation in phytoplankton composition and limnological features in a water–water ecotone of the Lower Paraná Basin (Argentina). *Freshwater Biology*, 46(1), 63-74.

**K**

**Kardish, N., Kessel, M., & Galun, M. (1989).** Characterization of symbiotic and cultured Nostoc of the lichen *Nephroma laevigatum* Ach. *Symbiosis* (USA).

**Komarek, J. and Anagnostidis, K. (1986)** Modern approach to the classification system of cyanophytes 2-Chroococcales. *Algological Studies* 43: 157-226.

**Komarek, J. and Anagnostidis, K. (1989)** Modern approach to the classification system of cyanophytes 2-Nostocales. *Algological Studies* 56: 247-345.

**Komárek, J., Komárková, J., Kling, H., 2003.** Filamentous cyanobacteria. In: Freshwater algae of North America, *Elsevier (Ed)*, USA, 117-196

**Komárek, J., & Anagnostidis, K. (1999).** *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales.*

**Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2005).** *Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales.* Fischer.

**Komarek, J., & Hauer, T. (2011).** CyanoDB. cz-On-line database of cyanobacterial genera. *Word-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR.*

**Komárek, J., Kaštovský, J., Mareš, J., & Johansen, J. R. (2014).** Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*, 86(4), 295-335.

**L**

**Lavoie, I., I., Laurion & W.F. Vincent, (2007).** «Les fleurs d'eau de cyanobactéries» ,Document d'information vulgarisée. INRS rapport no 917, 25 Département de Biologie, Université Laval, Québec, G1K 7P4.

**Lapage, S. P, Sneath, P.H.A., Lessel, E.F., Skerman, V.B.D., See Liger, H.P.R., Clark, W.A., 1992.** International Code of Nomenclature of Bacteria (1990 revision). American society of Microbiology, Washington D. C. 199 p.

**Levi Y., Harvey M., Cervantes P., 2006.** Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau : évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives. AFSSA/AFSSET.pp232

**M**

**Mekaoussi, N. (2014).** Comportement des elements chimiques dans les eaux de surface de hammam debagh (est algerien) (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

**Miller, S. R., & Castenholz, R. W. (2000).** The evolution of thermotolerance in hot spring cyanobacteria of the genus *Synechococcus*. *Journal of Phycology*, 36, 48-48.

**Millet, B. (1989).** Fonctionnement hydrodynamique du I 'bassin de Thau. Validation écologique d'un modèle. *Oceanol. Acta*, 12(1), 37-46.

**Mur, L.R., Skulberg, O.M. and Utkilen, H. (1999)** Cyanobacteria in the environment. In Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Chorus I. & Bartram J. (eds). London and New York, Spon, E. & F.N. p. 15-40.

**Mur L, Skulberg OM and Utkilen H. 1999.** Cyanobacteria in the environment. 13-43. In water: A guide to Natural toxins from Cyanobacteria public health significance, consequences, monitoring and management. 1st ed E & FN Spon.

N

**Nasri, H., El Herry, S., & Bouaïcha, N. (2008).** First reported case of turtle deaths during a toxic *Microcystis* spp. bloom in Lake Oubeira, Algeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(2), 535-544

**Nasri, A. B., Bouaïcha, N., & Fastner, J. (2004).** First report of a microcystin-containing bloom of the cyanobacteria *Microcystis* spp. in Lake Oubeira, Eastern Algeria. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 46(2), 197-202.

**Nasri, H., Bouaïcha, N., & Harche, M. K. (2007).** A new morphospecies of *Microcystis* sp. forming bloom in the Cheffia dam (Algeria): Seasonal variation of microcystin concentrations in raw water and their removal in a full-scale treatment plant. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 22(4), 347-356.

**Neustupa, J., & Škaloud, P. (2008).** Diversity of subaerial algae and cyanobacteria on tree bark in tropical mountain habitats. *Biologia*, 63(6), 806-812

**Nisbet, M., & Verneaux, J. (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 6, No. 2, pp. 161-190). EDP Sciences.

O

**Oliver R.L. & Ganf G.G., 2000.** Freshwater blooms, p. 149-194. In Whitton B. A. & Potts M. [eds.], *The Ecology of Cyanobacteria—Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic; Publishers

**Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (1999).** *Recommandations*, additif au Volume 1. Dans Directives de qualité pour l'eau de boisson. Deuxième édition. OMS, Genève, Suisse.

**Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2003).** Directive pour la Qualité des eaux de baignades ; Volume 2 (Critères D'hygiène). *Organisation Mondiale De La Santé*. 2ième édition. 189p.

**Ouartsi A., Saoudi A., Chekireb D. 2011.** Etude des efflorescences toxiques à cyanobactéries dans le barrage de Mexa, Algérie. *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*, 5(1), 81–100. [In French]

**P**

**Paerl, H. W., & Huisman, J. (2008).** Blooms like it hot. *Science*, 320(5872), 57-58.

**Post, F. J. (1977).** The microbial ecology of the Great Salt Lake. *Microbial ecology*, 3(2), 143-165.

**Q**

**Quiblier C., Leboulanger C., Sané S., Dufour P. 2008.** Phytoplankton growth control and risk of cyanobacterial blooms in the lower Senegal River delta region. *Water research*, 42(4-5), 1023-1034.

**R**

**Renaud S.L.B., Pick F.R., Fortin N. 2011.** Effect of light intensity on the relative dominance of toxigenic and nontoxigenic strains of *Microcystis aeruginosa*. *Applied and environmental microbiology*, AEM-05246.

**(Rippka et al., 1979) Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J.B., Herdman, M., Stanier, R.Y., 1979.** Generic assignments, strains histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 111, 1-61.

**Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J., Leroy, P., Houssin, M., Lavison, G., Bechemin, C., Vincent, M., 2009.** L'analyse de l'eau-9e éd. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 564-571

**Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., & Rodi L. (2009).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, 9ème Edition, Paris.

**S**

**Sánchez-Carrillo S., Alatorre L. C., Sánchez-An drés R., Garatuza-Payán J. 2007.** Eutrophication and sedimentation patterns in complete exploitation of water resources scenarios: an example from northwestern semi-arid Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132, 377-393.

**Saoudi, A., Barour, C., Brient, L., Ouzrout, R., & Bensouilah, M. (2015).** Environmental parameters and spatio-temporal dynamics of Cyanobacteria in the reservoir of Mexa (Extreme North-East of Algeria). *Adv Environ Biol*, 9, 109-121.

**Saoudi, A., Brient, L., Boucetta, S., Ouzrout, R., Bormans, M., & Bensouilah, M. (2017).** Management of toxic cyanobacteria for drinking water production of Ain Zada Dam. *Environmental monitoring and assessment*, 189(7), 361.

**Schopf, J. W. (2002).** The Fossil Record: Tracing the Roots of the Cyanobacterial Lineage. In B. Whitton & M. Potts (Eds.), *The Ecology of Cyanobacteria* (pp. 13-35): Springer Netherlands.

**Schlumberger, O. (2002).** *Mémento de pisciculture d'étang*. Éditions Quæ.

**Sivonen, K. and Jones, G. (1999)** Cyanobacterial toxins. In *Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. Chorus I. & Bartram J. (eds). London & New-York, Spon, E. & F.N. p. 41-111.

**Silvano, J. (2005).** *Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Ecole nationale vétérinaire de Lyon).

**Sotton, B., 2012.** Mise en évidence des voies de transfert des cyanotoxines dans les lacs périalpins et implications dans les réponses physiologiques des poissons exposés. Thèse Biodiversité, Ecologie, Environnement. Université de Grenoble. 187 p.

**Stanier, R. Y. & Cohen-Bazire, G., 1977.** Phototrophic prokaryotes: the cyanobacteria. *Annual review of microbiology* 31: 225–74

## T

**Touati, H., Guellati, FZ, Arif, S., & Bensouilah, M. (2019).** Dynamique des cyanobactéries dans un réservoir méditerranéen du nord-est de l'Algérie : variabilité verticale et saisonnière. *Journal d'ingénierie écologique*, 20 (1).

## V

**Visser, P., Ibelings, B., Van der Veer, B., Koedood, J. and Mur R. (1996)** Artificial Mixing prevents nuisance blooms of the cyanobacterium *Microcystis* in lake Nieuwe Meer, the Netherlands. *Freshwater Biol.* 36 (2): 435-450.

**Vincent, M. (2007).** **Spain, 1833-2002: people and state.** Oxford University Press. Vivier, P. (1934). Les principes de la limnologie. In *Bulletin Français de Pisciculture* (pp. 212–223).

**W**

**Walsby A., Schanz F., Schmid M. 2005.** The Burgundy-blood phenomenon: a model of buoyancy change explains autumnal water blooms by *Planktothrix rubescens* in Lake Zurich. *New Phytol*, 169 (1), 109–122

**Weyhenmeyer, G. A. (2001).** Warmer winters: are planktonic algal populations in Sweden's largest lakes affected? *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30(8), 565-571.

**Whitton B.A., and Potts M. 2000.** Introduction to the cyanobacteria. In: Whitton B.A and Potts M (eds) *Ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 1–11, 689 pp.

**Woese, C.R., 1987.** *Bacterial evolution*. *Microbiol Rev.* 51, 221-271.

**Z**

**Zeghaba, N., Laraba, A., & Mahia, M. (2018).** Qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, Wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien). *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie*, 37, 113-121.

**Zohra, M. G. F. (2018).** *Diversité, dynamique spatiotemporelle et toxicité potentielle des cyanobactéries dans deux plans d'eau (Réservoir Hammam Debagh et lac Oubeira)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA).

**Les site web :**

[https://www.researchgate.net/figure/Microcystis-sp-from-cyanobacterial-bloom-at-Lake-Avernus\\_fig2\\_353086672](https://www.researchgate.net/figure/Microcystis-sp-from-cyanobacterial-bloom-at-Lake-Avernus_fig2_353086672)

<https://www.atlasofcyanobacteria.com/index.php?path=../Cyanobacteria/Synechococcales/Coleosphaeriaceae/Woronichinia>

<http://cfb.unh.edu/CyanoKey/Oscillatoria.html>

<https://www.montclair.edu/water-science/wp-content/uploads/sites/73/2021/05/dolichospermum-1.jpg?>

<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-algues-surprenants-vegetaux-aquatiques-523/page/2/>

[https://www.google.com/search?q=multiplication+des+cyanobacterie&tbm=isch&ved=2ahUKEwjWu\\_yxOv9AhWumicCHUk8Dt4Q2-a](https://www.google.com/search?q=multiplication+des+cyanobacterie&tbm=isch&ved=2ahUKEwjWu_yxOv9AhWumicCHUk8Dt4Q2-a)

[http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano\\_unicells/SYNECHOCOCCUS/Synechococcus\\_Image\\_page.htm](http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano_unicells/SYNECHOCOCCUS/Synechococcus_Image_page.htm)

<https://www.dbg-phykologie.de/en/more-images-of-the-blue-green-rock-dweller-chroococciopsis>

# *ANNEXES*



**Tableau 1.** Classification des cyanobactéries et correspondance entre le Code international de nomenclature botanique et le Code international de nomenclature des procaryotes (Rippka, 1979)

Niveau	Valeur guide	Risques sanitaires	Actio
<b>Niveau 1 : Seuil à faible risque sanitaire</b>	20 000 cell/mL ou 10 µg/L de chlorophylle-a	- Risques à court terme faibles : irritations cutanées, oculaires, nasales, gastro-entérite - Risques à long terme : improbables	- Pas de restriction d'usage de l'eau - Information du public - Information des autorités
<b>Niveau 2 : Seuil à risque sanitaire modéré</b>	100 000 cell/mL ou 50 µg/L de chlorophylle-a	- Risques à court terme élevés : irritations cutanées, oculaires, nasales, gastro-entérite - Risques modérés à long terme dus à l'ingestion accidentelle de cyanotoxines	- Contrôle quotidien de la présence d'écume - Limitation de la baignade et des activités nautiques - Information du public - Information des autorités
<b>Niveau 3 : Seuil à haut risque sanitaire</b>	Présence d'écume	Risques d'empoisonnements sévères - Risques à long terme dus à l'ingestion accidentelle de cyanotoxines - Risques à court terme élevés : irritations cutanées, oculaires, nasales, gastro-entérite	- Contrôle quotidien de la présence d'écume - Interdiction de la baignade et des activités nautiques - Etablissement d'un suivi sanitaire - Information du public - Information des autorités

**Tableau 2.** Valeurs guides retenues par l'OMS (OMS, 2003) pour la qualité des eaux de baignades

	Valeur limite Eaux superficielles	Valeur limite Eau potable	Référence
T (°C)	25	25	(J.O.R.A, 2014, 2011)
pH	9	9	(J.O.R.A, 2014, 2011)
DO (mg/L)	8	8	(J.O.R.A, 2014, 2011)
Cond (µS/cm)	<b>3000</b>	<b>3000</b>	(J.O.R.A, 2014, 2011)
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	4	0.5	(J.O.R.A, 2014, 2011)
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0,2	0,2	(J.O.R.A, 2014, 2011)
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	50	50	(J.O.R.A, 2014, 2011)
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	10	5	(J.O.R.A, 2014, 2011)
MES (mg/L)	25	25	(J.O.R.A, 2014, 2011)
Chl-a (µg/L)	50	10	(l'OMS, 1999)
DC (cells/mL)	200-20000-100000	200- 2000	(l'OMS, 1999)
Mc-LR (ug/L)	1	0,1	(l'OMS, 1999)

**Tableau.3** Valeurs limites du système de classification trophique des eaux (selon l'O.C.D.E. (1982)).

Degré de trophie	P total µg/L	Chlorophylle a moy (µg/L)	Chlorophylle a max (µg/L)	Secchi moy (m)	Secchi min (m)
<b>Ultra-oligotrophe</b>	< 4	< 1	< 2.5	> 12	<b>&gt; 6</b>
<b>Oligotrophe</b>	< 10	< 2.5	2.5 - 8	> 6	<b>&gt; 3</b>
<b>Mésotrophe</b>	10 - 35	2.5 - 8	8 - 25	6 - 3	<b>3 – 1.5</b>
<b>Eutrophe</b>	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 – 1.5	<b>1.5 – 0.7</b>
<b>Hypereutrophe</b>	> 100	> 25	> 75	< 1.5	<b>&lt; 0.7</b>

