

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 l'Univers

Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

Évaluation de la qualité de l'eau et du peuplement de cyanobactéries dans le réservoir de Zit Emba (W-de SKIKDA) à l'aide d'une analyse statistique multivariée.

Présenté par :

GHALOUM Imane Yassamine

SAIDI Souha

Devant le jury :

Président :	Pr. HOUHAMDI Moussa (Pr)	Université de 8 Mai 1945 Guelma
Examineur :	M. ROUABHIA Kamel (MAA)	Université de 8 Mai 1945 Guelma
Promoteur :	Dr. TOUATI Hassen (MCB)	Université de 8 Mai 1945 Guelma

Juin 2024



Remerciements

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux membres de notre jury.

À notre Président de mémoire, le Professeur HOUHAMDI Moussa, nous exprimons notre profonde gratitude pour l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de présider notre jury. Nous sommes reconnaissants pour les enseignements clairs et précis que nous avons reçus de vous tout au long de nos études. Votre gentillesse, vos qualités humaines, et votre compétence sont incomparables. Veuillez trouver ici, Professeur, l'expression de nos sincères remerciements.

À notre examinateur, Monsieur ROUABHIA Kamel, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude pour avoir accepté d'examiner notre travail. Votre intérêt pour notre travail et votre enseignement ont été d'une importance capitale pour nous. Vos compétences pédagogiques, votre gentillesse et votre modestie sont tout aussi remarquables que votre expertise. Veuillez accepter, cher Maître, dans ce travail, l'assurance de notre estime et notre profond respect.

À notre promoteur, Docteur TOUATI Hassen, nous vous remercions de nous avoir confié ce travail. Votre patience, votre disponibilité, vos encouragements et vos précieux conseils ont été d'une aide inestimable dans la réalisation de cette mémoire. Votre compétence, votre dynamisme et votre rigueur suscitent une grande admiration et un profond respect. Vos qualités professionnelles et humaines nous servent d'exemple. Veuillez croire en l'expression de notre profonde reconnaissance et de notre grand respect.

Nous tenons également à remercier l'ensemble du personnel du laboratoire de prévention de DSP Guelma, notamment Monsieur Djiradi, Madame SOUDANI Sofia, Madame Djahida, et Madame Radja pour leur amabilité, leur coopération, et leur aide précieuse. Leur accueil chaleureux et leur ouverture d'esprit ont grandement contribué à rendre notre travail agréable et enrichissant.

Merci à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

إهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ الحمد لله الذي ما نجحنا وما علونا وما تفوقنا إلا برضاه الحمد لله الذي ما اجتزنا درياً
ولا تخطينا جهداً إلا بفضلته وإليه ينسب الفضل والكمال والإكمال

(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

ها أنا اليوم أتممت أول ثمرات نجاحاتي بفضل من الله عز وجل، فالحمد لله على ما وهبني، وأسأله أن
يعينني ويجعلني مباركة أينما كنت

أهدي ثمرة عملي إلى من قال فيهما الله عز وجل " وَأَخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا
كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا " الإسراء 24

إلى من أحمل اسمه بكل فخر إلى من دعمني منذ الصغر وأثار دربي لتحقيق حلمي إلى من نال منه التعب
وتحمل قساوة الحياة لأجلنا إلى الذي قال لي يوماً لن تشقي ما دمت حياً إلى سندي وقوتي أمني ومأمني أبي
الغالي زهر الدين أطل الله في عمره

إلى نبراس أيامي ووهج حياتي إلى التي ظلت دعواتها تضم اسمي دائماً إلى من أفنت عمرها في سبيل أن أحقق
طموحي قدوتي ومعلمتي الأولى التي منها تعرفت على القوة والثقة بالنفس لمن رضاها يخلق لي التوفيق أي
زهية أطل الله في عمرها بالصحة والعافية

إلى الذين قال فيهم الله عز وجل " سَنَشُدُّ عَضُدَكَ بِأَخِيكَ " إلى مصدر قوتي، الداعمين الساندين، أرضي
الصلبة وجداري المتين إلى الشموع التي تنير لي الطريق إلى قرة عيني إخواني عبد الجليل واحمد صلاح الدين
إلى فقيدي من رحلت تاركة في قلبي غصة لا تزول لآخر العمر جدتي رحمها الله وجعل الجنة دارها وقرارها
إلى الذين أخرجوا أجمل ما في داخلي وشجعوني دائماً للوصول إلى طموحاتي، من دعمني بلا حدود وأعطاني
بلا مقابل رفقاء السنين وأصحاب الشدائد الذين غيروا مفاهيم الحب والصدقة والسند في حياتي صديقاتي
ميساء ويسرى وسيرين

وإلى كل عائلي خاصة رونق وهدى واية وكل من ساندي ولو بكلمة وإلى كل من نسيهم قلبي وتذكرهم قلبي

إلى أساتذتي الكرام ممن لم يتوانوا في مد يد العون لي منذ بداية المسيرة إلى نهايتها خاصة مشرفي الدكتور
حسن تواتي الذي منحني من وقته الثمين ومن بحر معلوماته، خبراته وتوجيهاته التي كانت المنة التي
استعنت فيها في كامل بحثي العلمي جزاهم الله كل الخير في الدنيا والآخرة.

إيمان ياسمين



إهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ الذي وهبني التوفيق والسداد ومنحني الثبات وأعانني على إتمام هذا العمل، والحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا محمد رسوله الأمين أما بعد

أهدي ثمرة جهدي المتواضع إلى

الذي وهبني كل ما يملك ولم يبخل علي طيلة حياته، إلى من كان يدفعني قُدما نحو الأمام لنيل المبتغى، إلى الذي سهر على تعليمي بتضحيات جسام مترجمة في تقديسه للعلم ودعمي في كل صغيرة وكبيرة، سعيا منه لراحتي وسعادتي، صاحب السيرة العطرة والوجه البشوش والأفعال الحسنة، الذي رحل قبل أن يقطف ثمار زرعه ويعانق هذا النجاح الذي لولاه لم يكن. إلى أعظم وأعزُّ رجل على قلبي، أبي الغالي رحمه الله، أدعوا الله ان يُسعدك بالجنة كما أسعدتني

إلى التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء والحنان، إلى التي صبرت على كل شيء ورعتني حق الرعاية وكانت سندي في الشدائد، وكانت دعواها لي بالتوفيق، تتبعتني خطوة خطوة في عملي، إلى من علمتني الصمود والأمل إلى أجمل ابتسامة في حياتي، أمي الحبيبة جزاها الله عني خير الجزاء في الدارين

إلى أخوي ياسر وعبد الرحمان اللذين هما ملاذي ورمز فخري واعتزازي فأنا منهما وهما مئّي

كما أتوجّه بالشكر الجزيل إلى من شرفنا بإشرافه على مذكرة بحثنا الأستاذ الدكتور " تواتي حسن " الذي كلما تظلمت الطريق أمامنا لجأنا إليه فأناورها وكلما سألنا عن معرفة زودنا بها، وكانت لتوجيهاته العلمية أعظم الأثر في تسيير سفينة البحث حتى ترسو على هذه الصورة

إلى من كاتفتني و نحن نشق الطريق معًا نحو إكمال هذا العمل، إلى زميلتي: " غلوم ياسمين " حفظها الله و سدّد خطاها.

وأخيرا إلى الأهل والأصدقاء الذين رافقوني وشجّعوا خطوتي عندما غالبتها الأيام، كثر أنتم لكم مني حُبي وامتناني، وكل من ساعدني من قريب أو من بعيد على إنجاز هذه الدراسة. سائلة المولى عزّ وجلّ أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة. ثم إلى كل طالب علم سعى بعلمه، ليفيد الإسلام والمسلمين بكل ما أعطاه الله من علم ومعرفة

رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ {

} وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ

سعيد سبي



Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction..... 1

Chapitre 1 : Généralité

1.1. Généralité sur la qualité et la pollution de l'eau.....	3
1.1.1. La qualité de l'eau.....	3
1.1.2. Etude globale de la qualité de l'eau.....	3
1.1.3. La surveillance de la qualité de l'eau.....	4
1.1.4. La pollution de l'eau.....	5
1.2. Généralité sur les cyanobactéries.....	7
1.2.1. Classification.....	7
1.2.2. Diversité morphologique.....	8
1.2.3. Les genres les plus connus de cyanobactéries.....	10
1.2.4. Proliférations massives de Cyanobactéries.....	12
1.2.5. Les facteurs de la prolifération des cyanobactéries.....	13
1.2.6. Les cyanotoxines.....	14
1.2.7. Toxicologie des cyanotoxines.....	16
1.2.7.1. Raisons de la Production de Toxines par les Cyanobactéries.....	16
1.2.7.2. La toxicité sur la santé humaine.....	17
1.2.7.3. La toxicité sur écosystèmes aquatiques.....	17

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

2.1. Description du site d'étude.....	18
2.2. Élaboration de la stratégie de prélèvement – Stations de prélèvements.....	19
2.3. Stratégie d'échantillonnage.....	20
2.4. Analyse physico-chimique de l'eau.....	22
2.4.1. Dosage des sels nutritifs.....	22
2.4.2. Dosage de l'azote nitreux (les nitrites NO ₂ ⁻).....	22
2.4.3. Dosage de l'azote nitrique (les nitrates NO ₃ ⁻).....	23
2.4.4. Dosage de l'azote ammoniacal total (N-NH ₃ + N-NH ₄ ⁺).....	24
2.4.5. Dosage des Ortho phosphates (PO ₄ 3 ⁻).....	24
2.4.6. Dosage de la Chlorophylle a dans l'eau.....	25
2.4.7. Dosage de la matière en suspension (MES).....	26
2.5. Étude des cyanobactéries du barrage Zit-Emba.....	27
2.5.1. Identification.....	27
2.5.2. Dénombrement.....	27
2.6. Analyse statistique.....	29

Chapitre 3 : Résultats

2.7. Paramètres physico-chimiques des eaux de barrage de zit emba.....	30
2.7.1. Potentiel Hydrogène (pH).....	30
2.7.2. Température.....	30
2.7.3. Oxygène dissous.....	31
2.7.4. Conductivité.....	32
2.7.5. Chlorophylle a.....	32
2.7.6. Matière en suspension.....	33
2.7.7. Nitrites.....	34
2.7.8. Nitrates.....	34
2.7.9. Azote ammoniacal.....	35
2.7.10. Orthophosphates.....	36
2.8. Étude qualitative des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Zit-Emba.....	37
2.8.1. Identifications génériques des cyanobactéries.....	37
2.8.2. Distribution spatiale des cyanobactéries.....	39
2.8.3. Variation saisonnière des cyanobactéries.....	39

2.8.4. Distribution spatio-temporelle des peuplements Cyanobactéries.....	40
2.8.5. Densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés.....	41
2.8.6. Distribution spatio-temporelle de <i>Dolichospermum</i>	41
2.8.7. Distribution spatio-temporelle du genre <i>Planktothrix</i>	42
2.8.8. Distribution spatio-temporelle du genre <i>Wornichinia</i>	43
2.8.9. Distribution spatio-temporelle du genre <i>Microcystis</i>	43
2.8.10. Distribution spatio-temporelle du genre <i>Oscillatoria</i>	44
2.9. Interprétations des statistiques.....	45
2.9.1. Analyses descriptives.....	45
2.9.2. Analyse en composantes principales (ACP).....	45
2.9.3. Étude de la corrélation linéaire simple entre les variables biotiques et abiotiques.	47

Chapitre 4 : Discussion

3.1. Discussion.....	49
Conclusion et perspectives.....	53

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Cette étude évalue la qualité physicochimique et la présence de populations de cyanobactéries dans les eaux superficielles du réservoir de Zit-Emba (Skikda). L'échantillonnage a été réalisé pendant quatre saisons (de l'été 2023 au printemps 2024) au niveau des quatre stations dans le barrage.

Les résultats révèlent des variations saisonnières significatives, influencées par des facteurs abiotiques tels que la température. De plus, la chlorophylle (a) a été identifiée comme un indicateur pertinent du niveau d'eutrophisation. Ces observations ont été renforcées par des corrélations positives et significatives entre la densité des cyanobactéries et les facteurs abiotiques étudiés.

L'étude qualitative des cyanobactéries dans le barrage de Zit-Emba a identifié cinq genres toxiques : *Dolichospermum* (prédominant), *Planktothrix*, *Woronichinia*, *Microcystis*, et *Oscillatoria*.

La présence de ces cyanobactéries toxiques altère la qualité de l'eau de réservoir Zit-Emba, notamment en raison des polluants anthropiques qui favorisent leur prolifération, ce qui a des répercussions négatives sur les niveaux trophiques supérieurs, les risques pour la santé humaine et les maladies et la mortalité animales.

Il est recommandé de procéder à une surveillance régulière et des mesures correctives afin de réduire la présence de ces organismes dans l'eau, assurant ainsi la protection de la santé des consommateurs.

Les mots clés : qualité de l'eau, cyanobactéries, paramètres physicochimiques, barrage, Zit-Emba, pollution d'eau, cyanotoxines.

Abstract

This study assesses the physicochemical quality and the presence of cyanobacteria populations in the surface waters of the Zit-Emba reservoir (Skikda). Sampling was carried out over four seasons (from summer 2023 to spring 2024) at four stations in the dam.

The results reveal significant seasonal variations, influenced by abiotic factors such as temperature. In addition, chlorophyll (a) was identified as a relevant indicator of the level of eutrophication. These observations were reinforced by positive and significant correlations between the density of cyanobacteria and the abiotic factors studied.

The qualitative study of cyanobacteria in the Zit-Emba dam identified five toxic genera : *Dolichospermum* (predominant), *Planktothrix*, *Woronichinia*, *Microcystis* and *Oscillatoria*.

The presence of these toxic cyanobacteria alters the quality of the water in the Zit-Emba reservoir, particularly due to the anthropogenic pollutants that favour their proliferation, which has negative repercussions on higher trophic levels, risks to human health and animal disease and mortality.

Regular monitoring and corrective measures are recommended to reduce the presence of these organisms in the water, thereby protecting consumer health.

Key words: water quality, cyanobacteria, physicochemical parameters, dam, Zit-Emba, water pollution, cyanotoxins.

تقيّم هذه الدراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية ووجود تجمعات البكتيريا الزرقاء في المياه السطحية لخزان زيت العنبة (سكيكة). تم أخذ العينات على مدى أربعة مواسم (من صيف 2023 إلى ربيع 2024) في أربع محطات في السد.

كشفت النتائج عن اختلافات موسمية كبيرة تتأثر بالعوامل اللاحيوية مثل درجة الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك، تم تحديد الكلوروفيل (أ) كمؤشر ذي صلة بمستوى التخثث. وقد تعززت هذه الملاحظات من خلال الارتباطات الإيجابية والدالة بين كثافة البكتيريا الزرقاء والعوامل اللاحيوية المدروسة.

وقد حددت الدراسة النوعية للبكتيريا الزرقاء في سد زيت-العنبة خمسة أجناس سامة هي:

Dolichospermum (السائدة), *Planktothrix*, *Woronichinia*, *Microcystis*, et *Oscillatoria*.

ويؤدي وجود هذه البكتيريا الزرقاء السامة إلى تغيير نوعية المياه في خزان زيت-العنبة، لا سيما بسبب الملوثات البشرية التي تساعد على انتشارها، مما يؤدي إلى تداعيات سلبية على المستويات الغذائية الأعلى، والمخاطر على صحة الإنسان وأمراض الحيوانات .

يوصى بالمراقبة المنتظمة والتدابير التصحيحية للحد من وجود هذه الكائنات في المياه، وبالتالي حماية صحة المستهلك.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه، البكتيريا الزرقاء، البارامترات الفيزيائية والكيميائية، السد، زيت-العنبة، تلوث المياه، السموم الزرقاء.

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Morphotypes de Cyanobactéries. Collection de Cyanobactéries	9
2	la structure des akinètes et des hétérocystes	10
3	Image de l'espèce <i>Microcystis aeruginosa</i>	11
4	Image de l'espèce <i>Planktothrix</i>	11
5	Image de l'espèce <i>Dolichospermum</i>	12
6	Prolifération de Cyanobactéries (Bloom)	13
7	des cyanobactéries potentiellement toxiques les plus fréquemment rencontrées	16
8	Images satellitaires (Google Earth, 2024) montrant la localisation géographique du barrage de Zit Emba	18
9	Localisation des points de prélèvement	19
10	Photographie du dispositif de filtration	21
11	Photographie du multi paramètre	22
12	Image d'une cellule Nageotte	28
13	Variations spatio-temporelles du potentiel hydrogène des eaux du barrage de Zit Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	29
14	Variations spatio-temporelles de la température des eaux du barrage de Zit Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	30
15	Variations spatio-temporelles de la teneur en oxygène dissous des eaux du barrage de zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	30
16	Variations spatio-temporelles de la conductivité des eaux du barrage de zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	31
17	Variations spatio-temporelles de la teneur en chlorophylle a des eaux du barrage de zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	32
18	Variations spatio-temporelles de la teneur en MES des eaux du barrage de Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	32

Liste des figures

19	Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrites enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	33
20	Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrates enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (été 2023 – printemps 2024)	34
21	Variations spatio-temporelles des teneurs en azote ammoniacal enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	34
22	Variations spatio-temporelles des teneurs en orthophosphates enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	35
23	Inventaire des cyanobactéries dans le barrage Zit-Emba	36
24	Les caractéristiques des genres identifiés	37
25	Distribution spatiale des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	38
26	Distribution spatiale des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	39
27	Distribution spatio-temporelle des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	39
28	Densités moyennes des genres de cyanobactéries collectées à partir des eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	40
29	Distribution spatio-temporelle des densités du genre Dolichospermum dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	41
30	Distribution spatio-temporelle des densités du genre Planktothrix dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	41
31	Distribution spatio-temporelle des densités du genre Wornichinia dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	42
32	Distribution spatio-temporelle des densités du genre Microcystis dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	43
33	Distribution spatio-temporelle des densités du genre Oscillatoria dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)	43
34	Cercle de corrélations des variables environnementales avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales standardisée au niveau des eaux de surface du Barrage Zit-Emba	45

35	Corrélogramme (corrplot) présentant les corrélations entre les 11 paramètres biotiques et abiotiques. Couleur bleue : corrélation positive ; couleur rouge : corrélation négative ; absence de couleur : corrélation non significative	46
-----------	--	-----------

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Caractéristiques d'une eau de bonne qualité	4
2	Classification des paramètres de surveillance	5
3	Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries, I.C.B.N. et I.C.N.B.	8
4	Classement des cyanotoxines (mode d'action)	15
5	Présentation des points de prélèvement (Zit-Emba, été 2023 printemps 2024).	19
6	Description statistique des variables environnementales enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba	44

Liste des abréviations

µl : microlitre

cm : centimètre

µm : Micromètre

mg : milligrammes

ml : millilitre

nm : nanomètre

min : Minutes

L : Litre

A : Absorbance.

λ : longueur d'onde

V : volume

Moy : Moyenne

Km² : kilomètre carré

°C : degré Celsius

ACP : Analyse en composantes principales.

max : Maximum

min : Minimum

r : Coefficients de corrélation linéaire simple

N : nord

E : Est

St : Station.

OMS : Organisation Mondiale de Santé

Introduction

Introduction

L'eau est essentielle à la vie humaine, nécessitant une qualité et des quantités suffisante pour garantir une existence saine et sécurisée à long terme. Protéger l'environnement passe par la préservation des ressources en eau contre toutes formes de pollution (**Haddad & Ghoualem, 2014**).

La dégradation de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau est principalement due aux polluants issus des activités humaines, tels que les rejets industriels, agricoles, d'élevage et domestiques. Ces rejets conduisent à l'eutrophisation de nombreux écosystèmes aquatiques, favorisant la prolifération d'algues comme les cyanobactéries. Ce phénomène rend l'eau plus vulnérable, notamment lorsqu'elle est destinée à la consommation humaine ou à l'irrigation (**Briand et al., 2003**).

Les cyanobactéries, procaryotes uniques dans le phytoplancton, peuvent proliférer massivement dans les eaux douces en réponse aux conditions environnementales, créant des efflorescences ou « blooms ». Ces phénomènes, de plus en plus fréquents à travers le monde, posent de nombreux problèmes (**Paerl et al., 2014**).

Certaines espèces de cyanobactéries produisent des cyanotoxines préoccupantes, telles que les microcystines (hépatotoxiques), les anatoxines et saxitoxines (neurotoxiques), la cylindrospermopsine (cytotoxique) et les dermatotoxines (**Chorus, 2001**). Les cyanotoxines affectent la qualité de l'eau, impactent les niveaux trophiques supérieurs (**Ferrão-Filho et al., 2009**), représentent des risques pour la santé humaine (**Paerl, 2008**) et causent des maladies et des mortalités animales (**Nasri et al., 2008**).

En Algérie, le changement climatique et la dégradation de la qualité de l'eau ont favorisé la prolifération des cyanobactéries dans de nombreux écosystèmes aquatiques. Plusieurs réservoirs et lacs d'eau douce ont été étudiés pour suivre les conditions environnementales et les assemblages de phytoplancton, révélant des problèmes d'eutrophisation et de prolifération d'algues nuisibles (**Ouartsy et al., 2011 ; Boussadia et al., 2015 ; Guellati et al., 2017**).

Notre travail vise à évaluer la qualité physico-chimique des eaux de surface du barrage Zit-Emba et à analyser la population des cyanobactéries présentes. Cet intérêt est motivé par la pollution multiple provenant des rejets industriels de la conserverie de Bouati, du complexe thermal El Baraka Hammam Ouled Ali et des eaux usées de l'agglomération de Bouati.

Les objectifs de ce travail sont :

- Le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau du barrage.
- L'étude qualitative et quantitative des cyanobactéries de ce plan d'eau.
- L'analyse de l'influence de certains paramètres environnementaux (biotiques et abiotiques) sur la croissance des cyanobactéries, grâce à une analyse statistique multivariée.

Après cette introduction générale, le manuscrit se structurera en trois chapitres :

- **Chapitre 1 : Synthèse bibliographique** – Présentation des connaissances actuelles sur la qualité de l'eau et la pollution, avec un accent particulier sur les cyanobactéries et les cyanotoxines.
- **Chapitre 2 : Matériel et Méthodes** – Description détaillée de la zone d'étude, des stratégies d'échantillonnage, du matériel utilisé et des méthodes pour la caractérisation physico-chimique des eaux, ainsi que les procédures d'identification et de dénombrement des cyanobactéries.
- **Chapitre 3 : Résultats et Discussion** – Présentation des résultats obtenus, leur interprétation et discussion des paramètres physico-chimiques, la dynamique spatio-temporelle des cyanobactéries et l'analyse statistique des données, pour évaluer la qualité des eaux et l'efficacité des traitements de potabilisation.

Ces chapitres seront suivis d'une conclusion générale, et la bibliographie rassemblera toutes les publications consultées pour la réalisation et la rédaction de ce mémoire de fin d'étude.

Chapitre 1 :

Synthèse

Bibliographique

1.1. Généralité sur la qualité et la pollution de l'eau

L'eau représente un élément vital pour la survie de tous les êtres vivants, notamment pour l'homme. En effet, elle constitue la composante la plus abondante dans les organismes vivants : les humains en renferment 60% de leur poids, tandis que chez les végétaux, ce pourcentage peut atteindre jusqu'à 95%. Les graminées des prairies, quant à elles, en recèlent environ 79% (**Duvignaud, 1980**).

Au-delà de son rôle fondamental en tant que source et milieu de vie, l'eau agit comme un solvant pour le nettoyage et le transport de minéraux, tout en exerçant une fonction de régulateur thermique. Elle présente des propriétés singulières et cruciales pour tous les organismes vivants, ainsi que pour le maintien des équilibres environnementaux de notre planète Terre (**Ngô et Régent, 2004**).

La surveillance de la qualité de l'eau revêt une importance capitale pour la santé publique, car la pollution peut engendrer des répercussions désastreuses sur le sol, les êtres vivants et la santé globale d'une population entière (**Chibani, 2009**).

1.1.1. La qualité de l'eau

La qualité de l'eau se réfère aux caractéristiques chimiques, physiques, biologiques et radiologiques de divers types d'eau, y compris les eaux de surface, les eaux profondes et les eaux souterraines. Elle est évaluée en fonction des besoins des espèces biotiques et d'autres exigences spécifiques. Les normes utilisées pour évaluer la qualité de l'eau sont basées sur la santé des écosystèmes, la sécurité des contacts humains et l'aptitude à la consommation. Elle est déterminée par des paramètres physicochimiques et microbiologiques, influencée par des processus naturels et les activités humaines, et peut varier en fonction des usages prévus pour cette eau (1).

1.1.2. Etude globale de la qualité de l'eau

Pour évaluer la qualité de l'eau dans sa globalité, il est nécessaire de prendre en compte les critères énumérés dans le tableau ci-dessous

Tableau 1. Caractéristiques d'une eau de bonne qualité (Zurluthe et Gienger, 2006)

Qualité chimique de l'eau	Qualité bactériologique de l'eau	Qualité physique de l'eau
Produits chimiques ▼	Bactéries ▼	Surface interne ▲
Minéraux ▼	Virus ▼	Taille des gouttes ▼
Calcaires ▼	Parasites ▼	Energie, forces attractives ▲
Oxygène ▲	Spoires de champignons ▼	Structure ▲
Acide carbonique * ▼	Les cyanobactéries et les	Pénétration de la lumière, activité
Composants odorants ▼	cyanotoxines ▼	bio photonique ▲
Matière en suspension ▼		Informations extérieures ▼
Rouille ▼		Forces contractives ▼
Substances radioactives ▼		
Valeur du pH ♦		

▼ Le plus faible possible ▲ Autant que possible ♦ Aussi équilibré que possible

1.1.3. La surveillance de la qualité de l'eau

Surveiller la qualité de l'eau et l'état des sources, des puits, des installations hydrauliques et des réseaux de distribution est une activité fondamentale de prévention.

La qualité de l'eau est une préoccupation mondiale majeure, ce qui a conduit à la création en 1977 d'un réseau de surveillance international dans le cadre du Système mondial de surveillance continue de l'environnement (CEMS). Le CEMS/water, développé par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) en collaboration avec l'OMS, l'UNESCO et l'Organisation météorologique mondiale, évalue plus de 50 paramètres pour surveiller la qualité de l'eau destinée à la consommation, à l'agriculture et à l'industrie (Tabet-Helal et Ghellal, 2004).

Le ministère des ressources hydriques en Algérie a mis en place dans chaque région du pays un organisme appelé "Agence Nationale des Ressources Hydrauliques" (A.N.R.H) chargé de surveiller les eaux de surface et les eaux souterraines. L'une de ses fonctions principales est de réaliser régulièrement des contrôles sur les qualités physico-chimiques et

bactériologiques de l'eau, ainsi que de détecter tout phénomène accidentel de pollution (Tabet-Helal et Ghellal, 2004).

D'un point de vue analytique, les paramètres de surveillance sont groupés comme suit (tab2) :

Tableau 2. Classification des paramètres de surveillance (Porst et Murau, 1996 in Chaib, 2002)

Groupe de paramètres	Importance pour le contrôle de qualité	Exemple
Paramètres microbiologiques	Caractérisation de la qualité sanitaire de l'eau en matière d'épidémies	Coliformes, E. coli, dénombrement des germes totaux
Paramètres par totalisation	Paramètres qui regroupent, par totalisation, les propriétés d'une ou de plusieurs classes de substances.	Valeur de pH, oxydabilité, DCO,
Paramètres de groupes	Paramètre qui, par renoncement à une subdivision en substances semblables du fait de leur constitution ou de leur effet chimique.	Hydrocarbures, Halogènes, hydrocarbures polycycliques aromatiques, ...
Paramètres indicateurs	Substances qui en raison de leurs chemins d'entrée préférés dans les eaux souterraines (et aussi en partie dans les eaux de surface) et en relation avec la concentration mesurée peuvent signaler une influence indésirable sur l'eau brute.	Nitrates, ammonium, sulfates, chlorures, phosphates, etc...
Paramètres de substances indésirables	Evaluation selon l'importance médicotoxicologique pour le consommateur.	Métaux lourds, cyanures, fluorures,

1.1.4. La pollution de l'eau

La pollution des eaux, dans son sens le plus large, est définie comme tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement liées aux activités humaines (Ramade, 2002).

En raison du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques. En fonction de l'origine des substances polluantes, on peut distinguer :

➤ **La pollution domestique**

Les eaux usées domestiques se caractérisent par des concentrations élevées en matières organiques, en composés minéraux tels que NH_4^+ et PO_4^{3-} , en détergents et en germes fécaux. En milieu urbain, les eaux de ruissellement pluvial transportent des matières minérales en suspension, des hydrocarbures et divers détritiques solides (Gaujous, 1995).

➤ **La pollution industrielle**

La pollution industrielle est très diversifiée. Selon le type d'activité concernée, les rejets peuvent être composés de matières organiques, d'hydrocarbures et de diverses substances chimiques. Les polluants toxiques affectent directement les organismes, tandis que les polluants trophiques perturbent le fonctionnement de l'écosystème (Chagner, 2013).

➤ **La pollution agricole**

La pollution agricole provient des effluents d'élevage ainsi que de l'utilisation de pesticides et d'engrais, qu'ils soient organiques ou minéraux, pour la fertilisation des terres. Ces substances peuvent être lessivées lors des précipitations et se retrouver ainsi dans les milieux aquatiques (Eckenfeld, 1982).

➤ **La pollution naturelle**

Certains estiment que divers phénomènes naturels peuvent également être à l'origine de la pollution. Par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques contenant des métaux ou de l'arsenic, ou encore une source thermo minérale (Grossclaude, 1999).

1.2. Généralité sur les cyanobactéries

Les cyanobactéries sont des micro-organismes procaryotes photosynthétiques anciens, aussi connus sous le nom de cyanophytes ou cyanophycées. Bien qu'elles soient souvent appelées à tort "algues bleu-vert" ou "algues bleues", elles sont en fait des bactéries Gram-négatives qui ont produit l'oxygène que nous respirons sur Terre et permis la formation de la couche d'ozone protectrice, il y a plus de 2 milliards d'années. Elles sont considérées comme les ancêtres de toutes les plantes. Malgré leur nature bactérienne, les cyanobactéries partagent les mêmes habitats aquatiques que les véritables algues et contribuent à la production primaire dans ces écosystèmes. On dénombre environ 2 000 espèces de cyanobactéries réparties en 150 genres, présentant une grande diversité morphologique développée au fil du temps (**Duy et al., 2000**).

Bien qu'étant des bactéries procaryotes sans noyau distinct, les cyanobactéries partagent des caractéristiques avec les algues. La plupart contiennent la chlorophylle a et d'autres pigments photosynthétiques. Tout comme les algues, elles réalisent une photosynthèse oxygénique en utilisant l'eau. C'est pourquoi elles ont longtemps été classées dans le règne végétal (**Afssa&Afsset, 2006**).

1.2.1. Classification

Les cyanobactéries sont reconnues par deux systèmes de classification : le Code International de Nomenclature Botanique (I.C.B.N.) (**Greuter et al., 2000**) et le Code International de Nomenclature Bactériologique (I.C.N.B.) (**Lapage et al., 1992**). L'approche botanique se fonde sur des critères morphologiques et physiologiques. Tandis que l'approche bactériologique repose quant à elle sur les caractères physiologiques et génotypiques de cultures pures

Les ordres de la classification botanique correspondent aux sections définies dans la classification bactériologique (Tableau 3).

Tableau 3. Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries, I.C.B.N. et I.C.N.B (Rippka et al., 1979)

Classification bacterienne (I.C.N.B.)	Classification botanique (I.C.B.N.)	Description
Section I	Chroococcales	Individus unicellulaires ou coloniaux, à multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores.
Section II	Pleurocapsales	Individus coloniaux (protothalles) à multiplication par fissions multiples donnant des baeocytes
Section III	Oscillatoriales	Formes filamenteuses unisériées, non hétérocystées, sans ramification, à divisions cellulaires perpendiculaires à l'axe du trichome
Section IV	Nostocales	Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocystes, akinètes) et à divisions cellulaires dans un seul plan.
Section V	Stigonematales	Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocystes, akinètes) présentant des ramifications (vraies ou fausses), à divisions cellulaires dans plusieurs plans

1.2.2. Diversité morphologique

Les cyanobactéries exhibent une remarquable diversité morphologique, se présentant sous formes unicellulaires variées (sphériques, ellipsoïdales, cylindriques, ovoïdes ou piriformes) isolées ou en colonies, ou sous formes filamenteuses pluricellulaires unisériées avec une file unique de cellules accolées ou plurisériées comprenant plusieurs rangées de cellules jointives. Ces filaments présentent ou non une gaine englobante, et certains exhibent des ramifications. Un autre trait distinctif réside dans l'enveloppe cellulaire fréquemment recouverte d'une matrice mucilagineuse (Sabart, 2009). Certaines sont mobiles ou s'associent en colonies. Leur taille microscopique varie de 3 à 10 µm de diamètre.

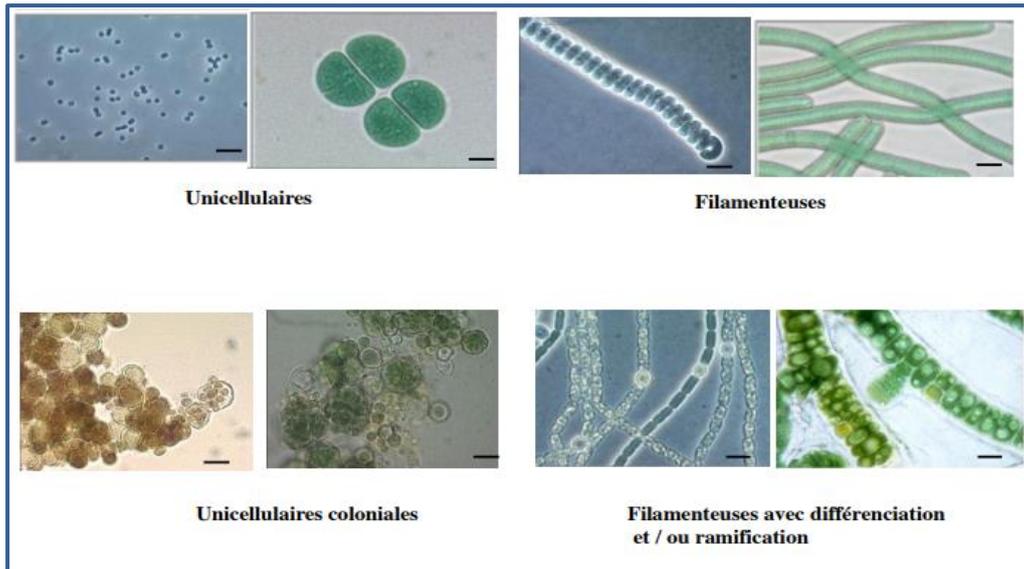


Figure 1. Morphotypes de Cyanobactéries. Collection de Cyanobactéries (**Institut Pasteur**)

Parmi les cyanobactéries, on distingue deux types particuliers de cellules différenciées aux rôles spécifiques :

✓ **Les akinètes**

Ce sont des cellules de grande taille, dotées d'une paroi épaisse et riches en réserves nutritives. Elles constituent des formes de résistance permettant la survie des cyanobactéries dans les sédiments lorsque les conditions environnementales dans la colonne d'eau sont défavorables.

✓ **Les hétérocystes**

Ces cellules possèdent une paroi cellulaire épaissie et sont spécialisées dans la fixation de l'azote atmosphérique. Les espèces de cyanobactéries produisant ces structures sont capables d'une autotrophie vis-à-vis de l'azote, c'est-à-dire de synthétiser leurs propres composés azotés à partir de l'azote gazeux.

L'existence de ces cellules différenciées, akinètes et hétérocystes, procure donc aux cyanobactéries des atouts majeurs : une meilleure tolérance aux stress environnementaux

grâce aux akinètes, et une autonomie nutritionnelle vis-à-vis de l'azote via les hétérocystes. (AFSSA-A00FSSAT, 2006).

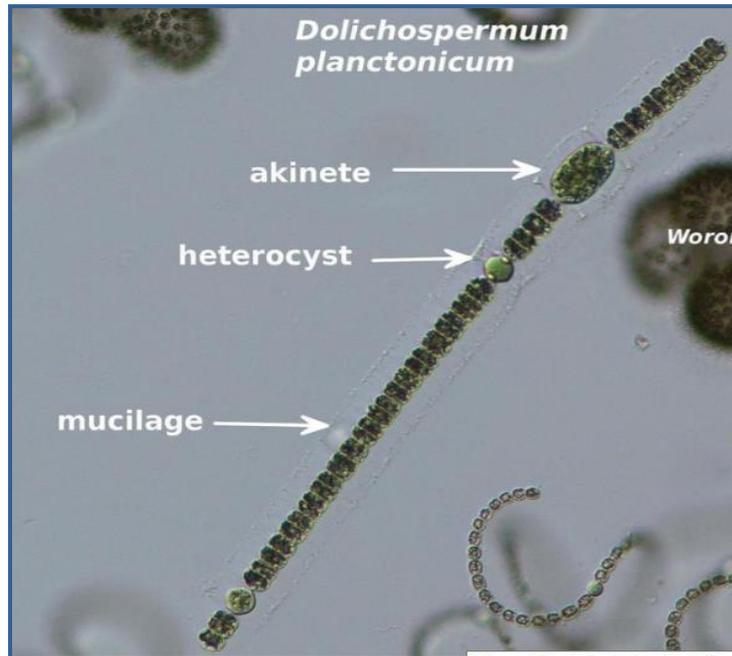


Figure2. La structure des akinètes et des hétérocystes (2)

1.2.3. Les genres les plus connus de cyanobactéries

✓ Genre *Microcystis*

Le genre *Microcystis* comprend des cyanobactéries dont les cellules sphériques, de 0,8 à 7 μm de diamètre et pourvues de vésicules gazeuses, forment des colonies enrobées d'un mucilage transparent. Ce genre est présent dans le monde entier, des zones les plus froides aux régions tropicales, témoignant de son ubiquité (Misson, 2011 ; Meissner *et al.*, 2014).

Parmi les espèces du genre *Microcystis* les plus fréquemment rencontrées, on trouve *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. viridis* et *M. wesenbergii*.

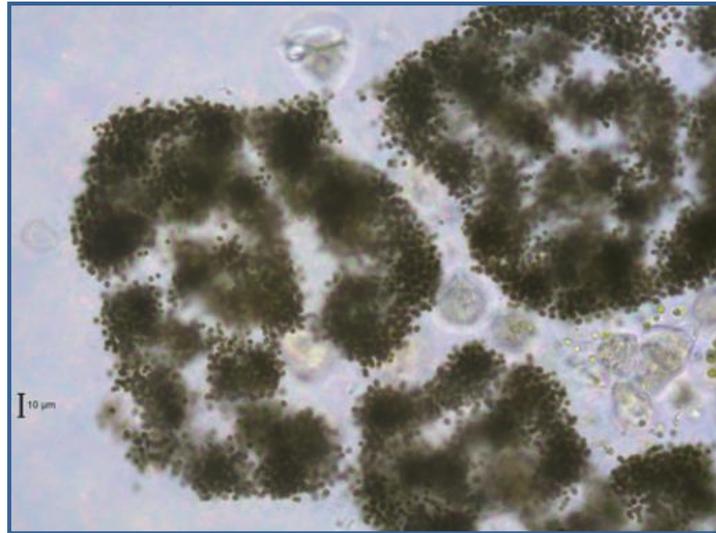


Figure 3. Image de l'espèce *Microcystis aeruginosa* (3)

✓ **Genre *Planktothrix***

Le genre *Planktothrix* est composé d'organismes filamenteux non ramifiés, formés de cellules végétatives alignées sans gaine mucilagineuse. Ses filaments rectilignes ont de nombreuses vésicules à gaz. Les cellules sont cylindriques et courtes, avec un diamètre de 3,5 à 10 µm. La distinction des espèces est basée sur la couleur, le diamètre et d'autres caractéristiques (Strunecky *et al.*, 2013).

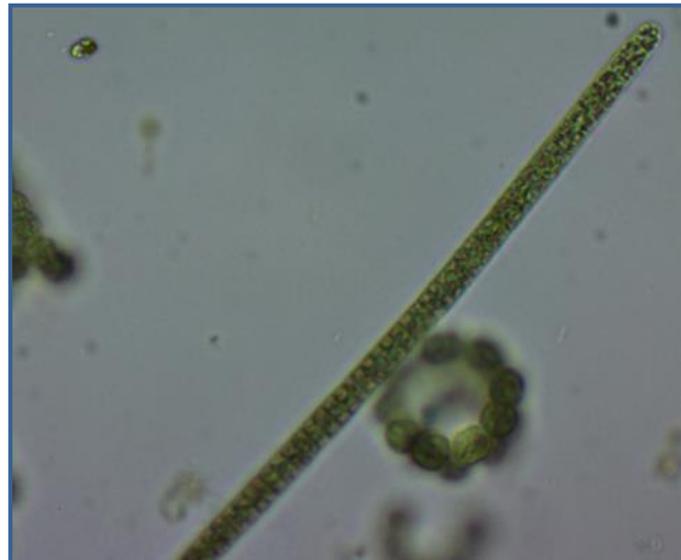


Figure 4. Image de l'espèce *Planktothrix* (4)

✓ Genre *Dolichospermum*

Dolichospermum, anciennement connu sous le nom d'*Anabaena*, est un genre de cyanobactéries filamenteuses qui forme des colonies visibles à l'œil nu. Ces colonies sont généralement de forme cylindrique ou en forme de filaments, et peuvent varier en taille de quelques millimètres à plusieurs centimètres. Les cellules de ce genre sont souvent disposées en chaînes à l'intérieur des filaments, et chaque cellule peut être légèrement aplatie ou cylindrique (Harke *et al.*, 2016).

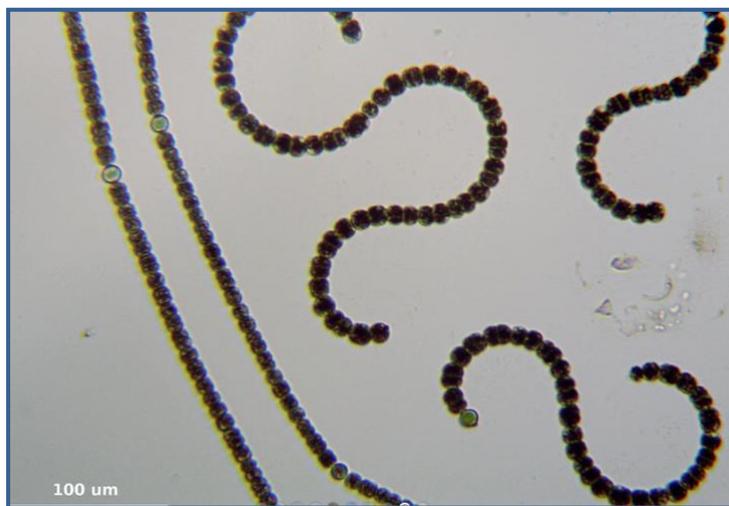


Figure 5. Image de l'espèce *Dolichospermum* (2)

1.2.4. Proliférations massives de Cyanobactéries

Les Cyanobactéries, qui existent naturellement, peuvent se propager rapidement sous des conditions qui leur sont favorables ; un phénomène connu sous le nom d'efflorescence aquatique, également appelé fleur d'eau ou "bloom". Même si ces blooms peuvent se produire de manière naturelle et constituent une partie normale du cycle de vie annuel des espèces de phytoplancton, il arrive que certains soient préjudiciables. En effet, les Cyanobactéries sont capables de créer des amas et des mousses vertes toxiques qui flottent à la surface de l'eau, pouvant former des couches de plusieurs centimètres d'épaisseur le long des rivages. (Havens *et al.*, 2008). À mesure que les nutriments, notamment le phosphore, s'accumulent dans les eaux douces, les Cyanobactéries tendent à devenir dominantes au sein de la communauté phytoplanctonique (Guellati, 2018).



Figure 6. Prolifération de Cyanobactéries (Bloom) (5)

1.2.5. Les facteurs de la prolifération des cyanobactéries

➤ La température

La prolifération est optimale à des températures comprises entre 20 et 25 °C, mais elles peuvent croître jusqu'à 35 °C. Dans les régions tempérées, on observe souvent une saisonnalité dans le développement des cyanobactéries, avec une période propice s'étendant de mai à septembre (**Robarts et Zohary, 1987**).

➤ Les éléments nutritifs

Les cyanobactéries se développent en présence de concentrations élevées de phosphore sous forme d'orthophosphates, d'azote et de fer. Elles montrent une plus grande affinité pour le phosphore que les autres algues (**Chorus et Mur, 1999**).

➤ Luminosité modérée

Les cyanobactéries possèdent un système de capture de la lumière hautement efficace. Comme les algues eucaryotes, elles renferment de la chlorophylle a dans leurs thylacoïdes, leur permettant ainsi d'effectuer la photosynthèse, qui constitue leur principal mode de

métabolisme énergétique. Ces organismes renferment également d'autres pigments, tels que les caroténoïdes et les phycobiliprotéines. En cas d'exposition à des niveaux élevés de lumière, les caroténoïdes, sécrétés en plus grande quantité, protègent les cellules de la photoinhibition, tandis que les pigments accessoires permettent aux cyanobactéries de maintenir leur rythme de croissance (Paerl *et al.*, 1983).

➤ Le PH

Le pH du milieu joue un rôle important dans la prolifération des cyanobactéries, qui préfèrent les milieux alcalins avec un pH compris entre 7 et 10 (Rippka, 1988).

1.2.6. Les cyanotoxines

Les cyanotoxines, produites par les cyanobactéries, recouvrent une grande variété de structures chimiques et de mécanismes de toxicité. Elles sont généralement classées selon leurs effets physiologiques, en trois grandes catégories : les hépatotoxines, les neurotoxines et les dermatotoxines (DUMONT, 2006).

Au moins 46 espèces de cyanobactéries peuvent produire des toxines (Ernst *et al.*, 2005). Le potentiel de toxicité d'une souche de cyanobactéries dépend principalement de la présence des gènes responsables de la production de toxines (Haider *et al.*, 2003).

Lors de la croissance des cyanobactéries, les cyanotoxines sont principalement produites et concentrées à l'intérieur des cellules. Seule une faible partie, de 10 à 20%, se retrouve sous forme extracellulaire (Jones et Orr, 1994). Dans certains cas, comme pour la *cylindrospermopsine*, une part importante de la toxine peut être libérée dans le milieu par les cellules en croissance (Chiswell *et al.*, 1999). Cette libération des cyanotoxines sous forme dissoute intervient surtout lors des phases de sénescence et de lyse cellulaire, qui peuvent être causées par l'action de virus (cyanophages ou cyanovirus) naturellement présents ou par l'utilisation d'algicides.

Le rôle métabolique des cyanotoxines pour les cyanobactéries reste incertain, bien que deux hypothèses soient envisagées pour expliquer leur production par certaines espèces :

- Les cyanotoxines sont des métabolites secondaires chez les cyanobactéries, leur production étant régulée au niveau cellulaire en réponse aux variations de facteurs environnementaux. Des études sur *Microcystis* ont notamment montré que la

température, la lumière, le pH, les nutriments et la salinité peuvent moduler cette production de cyanotoxines, bien que les résultats puissent parfois être contradictoires.

- Les cyanotoxines, métabolites primaires, voient leur production influencée indirectement par l'environnement via la croissance cellulaire (Briand *et al.*, 2005). Leur teneur et composition intracellulaires fluctuent en fonction des phases de croissance (Watanabe *et al.*, 1989 ; Kaya et Watanabe, 1990 ; Song *et al.*, 1998 ; Kameyama *et al.*, 2002), avec des niveaux plus élevés durant la phase exponentielle de *Microcystis*, suivis d'une baisse.

Tableau 4. Classement des cyanotoxines (mode d'action) (Afsat et Afsset, 2006)

Cyanotoxines	Mode d'action	Cyanobactéries pouvant sécréter la cyanotoxine (genre)
Microcystines (Plus de 70 variants de microcystines)	Hépatotoxine	Anabaena (Dolichospermum), Hapalosiphon Microcystis, Nostoc Planktothrix
Nodularines (9 variants de Peptides la nodularine)		Nodularia
Cylindrospermopsine (2 variants de la cylindrospermopsine)		Aphanizomenon, Cylindrospermopsis Plankthotrix, Umezakia
Saxitoxines (27 variants de la saxitoxine)	Neurotoxine	Anabaena (Dolichospermum), Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Lyngbya
Anatoxine-a (2 variants de l'anatoxine-a)		Anabaena (Dolichospermum), Aphanizomenon, Cylindrospermum, Microcystis, Oscillatoria, Planktothrix, Phormidium, Woronichinia
Aplysiatoxine	Dermatotoxine	Schizothrix, Symploca
Debromoaplysiatoxine		Lyngbya
lyngbyatoxine-a		Lyngbya

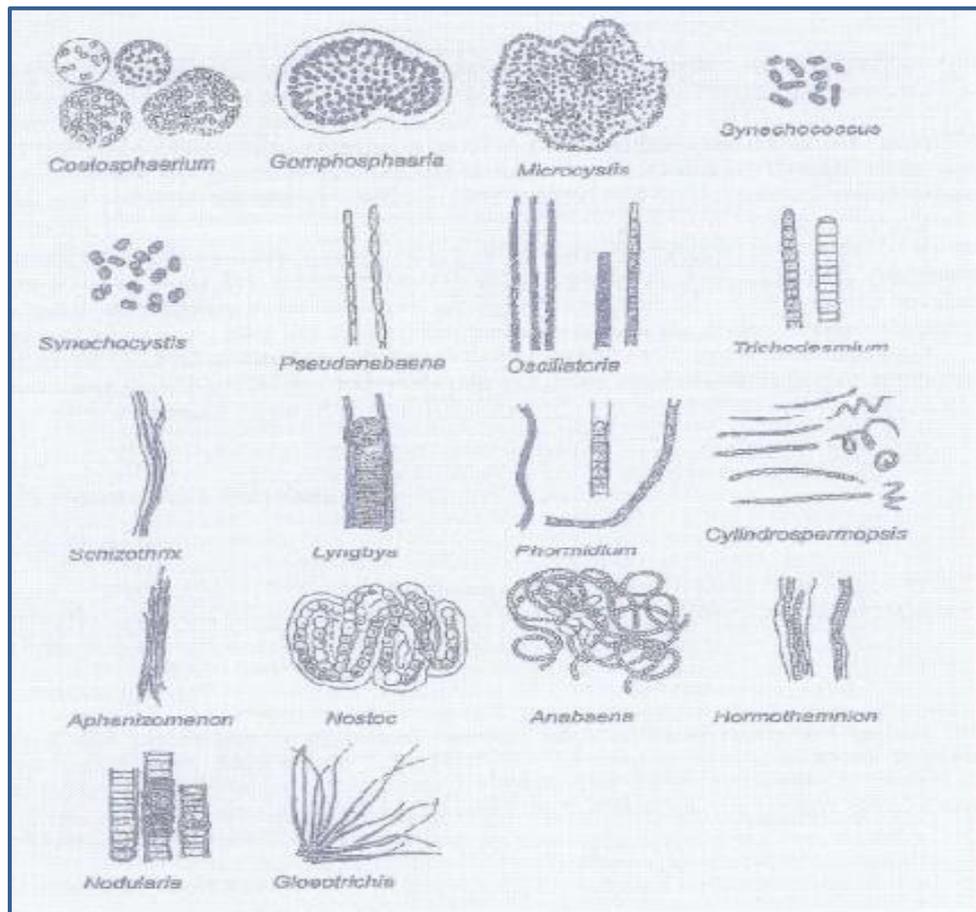


Figure 7. Des cyanobactéries potentiellement toxiques les plus fréquemment rencontrées (SILVANO, 2005)

1.2.7. Toxicologie des cyanotoxines

La toxicologie des cyanotoxines reste limitée, principalement à cause du manque d'accès aux cyanotoxines purifiées, qui sont coûteuses ou indisponibles. De plus, les expériences sur des extraits de cyanobactéries peuvent induire des différences de toxicité.

Parmi les cyanotoxines, la microcystine-LR est la mieux connue sur le plan toxicologique, car elle est la plus fréquente. Elle est identifiée comme un promoteur tumoral, tout comme la nodularine et les dermatotoxines (Fujiki *et al.*, 1990).

1.2.7.1. Raisons de la Production de Toxines par les Cyanobactéries

Plusieurs théories sont actuellement débattues quant à la raison de la production de toxines par les cyanobactéries. Il est suggéré que cette production pourrait contribuer à accroître l'avantage compétitif des cyanobactéries pour atteindre la dominance dans les environnements

aquatiques. Ces toxines pourraient être produites dans le but d'éliminer des compétiteurs potentiels pour les ressources ainsi que des prédateurs. Par exemple, la microcystine protégerait les cyanobactéries contre la prédation par le zooplancton. De plus, les toxines pourraient avoir des fonctions régulatrices du métabolisme cellulaire et intervenir dans la croissance cellulaire. Il semble en effet que leur production soit liée au métabolisme primaire, qui est directement corrélé à la croissance cellulaire (**Lavoie et al., 2007**).

1.2.7.2. La toxicité sur la santé humaine

- **Les dermatotoxines**

Provoquer des irritations de la peau et des réactions allergiques (**Briand, 2008**). Au contact de la peau, elles peuvent causer des brûlures, des démangeaisons, des rougeurs et des boursoufflures (**Dumont, 2006**).

- **Les hépatotoxines**

Favorisent l'apparition de troubles chroniques du foie (**Sivonen et Jones, 1999**) et peuvent altérer d'autres organes tels que les reins et les intestins (**Briand, 2008**).

- **Les neurotoxines**

Peuvent affecter le fonctionnement du système nerveux en stimulant constamment les muscles, ce qui peut entraîner des crampes, une fatigue intense et même une paralysie (**Briand, 2008**).

1.2.7.3. La toxicité sur écosystèmes aquatiques

Les cyanotoxines ont des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques. Elles se manifestent par des signes visibles tels que la coloration inhabituelle de l'eau, les irisations en surface et la présence d'écumes, accompagnées de nuisances olfactives. Ces toxines entraînent une diminution de la biodiversité, des perturbations des réseaux trophiques et une compétition accrue avec le phytoplancton. Elles provoquent également une mortalité chez les poissons et les oiseaux aquatiques, ainsi que des risques pour les animaux domestiques ou sauvages qui s'abreuvent dans ces eaux contaminées. De plus, elles rendent l'eau impropre à la baignade en raison de son aspect et de ses odeurs désagréables (**Afsat et Afsset, 2006**).

Chapitre 2 :

Matériel

Et

Méthodes

2.1. Description du site d'étude

Le bassin versant de Zit Emba est situé dans la région nord-est de l'Algérie, entre les wilayas de Skikda et Guelma, sur la frange tellienne de l'est du pays. Le bassin versant s'étend sur une superficie de 485 km², avec des altitudes variant de 50 à 1200 mètres et une altitude moyenne de 376 mètres. Il reçoit en moyenne 700 mm de précipitations annuelles et a un apport moyen annuel de 500 millions de mètres cubes d'eau (**Fiche technique du barrage Zit Emba ANBT**).

Le barrage de Zit Emba est situé à l'exutoire de ce bassin, sur le territoire de la commune de Bekkouche Lakhdar, à la convergence de l'oued El Hammam et de l'oued Moudjer, dans la daïra de Ben Azzouz. Sa capacité totale est de 120 millions de mètres cubes. Il fournit de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable de la commune d'Azzaba, l'irrigation d'un périmètre de 6500 hectares situé sur la plaine de Ben Azzouz, ainsi, il assure une quantité de 8106 m³ pour l'alimentation de la ville de Skikda (**Belhadj et al., 2011**).

Le climat de la wilaya de Skikda, où se trouve le bassin versant du barrage de Zit Emba, est de type méditerranéen, avec un hiver doux et pluvieux et un été chaud et sec. La région est également caractérisée par une importante activité minière et un réseau hydrographique bien développé, le cours d'eau, l'oued El-Hammam (**Belhadj et al., 2011**).



Figure 08 : Images satellitaires (**Google Earth, 2024**) montrant la localisation géographique du barrage de Zit Emba

2.2.Élaboration de la stratégie de prélèvement – Stations de prélèvements

Notre travail porte sur l'étude de l'évaluation des paramètres physico-chimiques et de la population des cyanobactéries dans le réservoir de Zit-Emba (Wilaya de Skikda). À cet effet, des prélèvements saisonniers ont été réalisés sur une période s'étendant d'été 2023 au printemps 2024. Ces prélèvements ont concerné les eaux brutes (St1, St2, St3) ainsi que les eaux traitées (échantillon prélevé chez un consommateur, St4), comme présenté dans le tableau.

Tableau 5. Présentation des points de prélèvement (Zit-Emba, été 2023-printemps 2024).

Points de Prélèvement	Coordonnées GPS		Caractéristiques	Exposition En vents
	Latitude	Longitude		
Station 1	36°40'54.37"N	7°17'59.14"E	Localisée sur la digue	Oui
Station 2	36°40'59.69"N	7°18'16.19"E	Proximité de la tour du barrage	Oui
Station 3	//	//	Eau récupérée de la station avant traitement	//
Station 4	//	//	Eau récupérée d'un consommateur après traitement	//



Figure 09. Localisation des points de prélèvement (Google earth, 2024)

2.3.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 des bouteilles en matière plastiques en raison des facilités qu'elles présentent pour le transport et leur faible coût.
- Sur chaque bouteille des étiquettes comportant la codification suivante, ex : Zit Emba_20/02/2024_ (numéro de station) _ ID (identification et comptage) (**Silvano, 2005**).
- Pour chaque site d'étude nous avons préparé une fiche signalétique rassemblant les renseignements utiles relevées au cours des opérations (observations météorologiques, paramètres physico-chimiques de l'eau, surveillance des fleurs d'eau, etc.)
- Les échantillons sont transportés jusqu'au laboratoire dans une glacière (ce qui permet une conservation satisfaisante).

❖ Sur terrain

Tous les échantillons ont été traités de façon à pouvoir situer les sites par rapport aux recommandations de l'OMS. C'est pourquoi nous avons réalisé notre prélèvement à partir la disponibilité d'une barque ; Pour chaque site deux types de prélèvements ont été réalisés :

- Un tube mesurant 1 m de long et 5 cm de diamètre immergé dans la colonne d'eau permet de récolter environ 1 litre et demi d'eau brute. Cet échantillon "cumulé" permet de considérer le phytoplancton de la surface à un mètre de profondeur. Le prélèvement obtenu sert aux dosages de la chlorophylle a et dosage des éléments nutritifs ainsi qu'au comptage des cellules de cyanobactéries.
- Un prélèvement au filet à plancton (maillage 20 µm) permet de filtrer l'eau brute et de concentrer le phytoplancton. L'échantillon sert à la détermination du phytoplancton. Un dosage de chlorophylle a sur l'échantillon concentré comparé à celui de l'eau brute permet une estimation du volume d'eau filtré.
- Échantillons pour l'identification et le dénombrement : la moitié du filtrat est transféré dans un flacon en matière plastique contenant un conservateur (0.5 ml de formaldéhyde à 37 %) (**Brient, 2001 ; Leitão & Couté, 2005 ; Treyture et al., 2007**).

- Échantillons pour le dosage des paramètres physico-chimique : Les prélèvements d'eau destinés à l'analyse des éléments nutritifs (nitrites, nitrates, et orthophosphates), ainsi que la chlorophylle a et la matière en suspension ont été effectués à l'aide d'une bouteille d'échantillonnage de 1.5 litres, conservées à l'abri de la lumière et maintenues à basse température dans une glacière. En ce qui concerne l'azote ammoniacal : un volume d'eau de surface est prélevé dans un flacon ombré auquel on rajoute les deux réactifs R1 et R2

❖ 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 à est réparti comme suit :
 - 250 ml réservés au dosage de la chlorophylle (a) sont filtrés sous vide à travers un filtre en microfibrilles de verre Whatman GF/C (0.45 µm).
 - 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.

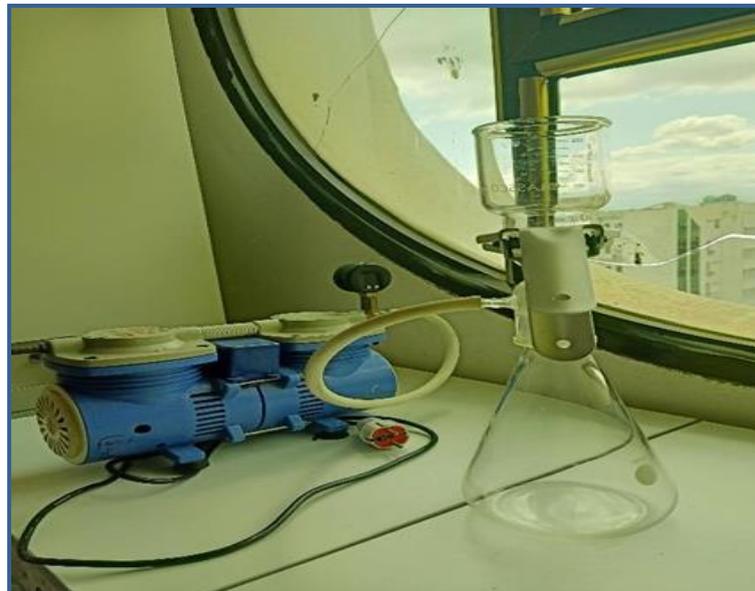


Figure 10. Photographie du dispositif de filtration

2.4. Analyse physico-chimique de l'eau

Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : la température, le pH, l'oxygène dissous, les formes azotées (nitrites, les nitrates et l'azote ammoniacal), les orthophosphates, ainsi que la matière en suspension et la chlorophylle a.

Les mesures de la température (T°C), le pH, la conductivité (mV/cm²) et l'oxygène dissous (O₂ en mg/l) ont été réalisées « in situ » à l'aide de multi paramètres.



Figure 11. Photographie du multi paramètre

2.4.1. Dosage des sels nutritifs

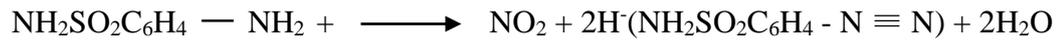
Les sels nutritifs ont été quantifiés en utilisant les méthodes suivantes : **Aminot et Kérouel (2004)** pour les nitrites et l'azote ammoniacal. Pour ce qui est de la chlorophylle a, des matières en suspension (MES) et des orthophosphates, les mesures ont été réalisées conformément aux protocoles **d'Aminot et Chaussepied (1983)**. Quant aux nitrates, ils ont été évalués selon les normes de l'ISO (1994).

2.4.2. Dosage de l'azote nitreux (les nitrites NO₂⁻)

▪ Principe

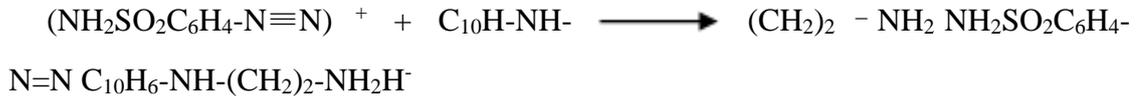
Cette technique, réalisée par **Bendschneider et Robinson (1952)**, est une des plus sensibles et des plus spécifiques pour l'analyse des eaux naturelles.

Elle est basée sur la formation d'un diazoïque après réaction des ions nitrites avec la sulfanilamide en milieu acide (pH<2) selon la réaction :



Sulfanilamide

Le diazoïque obtenu, réagit avec le N-naphtyl-éthylènediamine pour former le colorant :



▪ Mode opératoire

- ✓ Rincer le récipient de dosage avec l'eau à analyser.
- ✓ Prélever 50 ml de l'échantillon, et le transférer au récipient.
- ✓ Ajouter 1ml de la solution de sulfanilamide, mélanger puis attendre 2 à 5 minutes.
- ✓ Ajouter 1ml de la solution de NES, mélanger.
- ✓ Laisser agir au moins 10 minutes, mais pas plus de 1 heure.
- ✓ Mesurer l'absorbance de l'échantillon Abrut, à $\lambda = 543 \text{ nm}$.
- ✓ La concentration des nitrites a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

2.4.3. Dosage de l'azote nitrique (les nitrates NO_3^-)

La présente norme internationale spécifie une méthode par spectrométrie pour le dosage des nitrates dans les eaux potables, brute.

▪ Principe

Réaction des nitrates avec le diméthyl-2.6 phénol en présence des acides sulfurique et orthophosphorique, avec production du nitro-4 diméthyl-2.6 phénol. La présente norme internationale spécifie une méthode par spectrométrie pour le dosage des nitrates dans les eaux potables, brute.

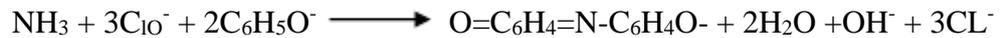
▪ Mode opératoire

- ✓ Dans une fiole de 50 ml introduire : 2 ml d'échantillon, 14 ml du mélange acides, 2 ml de diméthyl-2.6 phénol.
- ✓ Laisser reposer 10 à 60 mn.
- ✓ Mesurer l'absorbance de l'échantillon, à $\lambda = 324 \text{ nm}$. La concentration des nitrates a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

2.4.4. Dosage de l'azote ammoniacal total ($\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$)

▪ Principe

Le principe de base est la réaction de Berthelot où l'ammoniac, en milieu basique, réagit tout d'abord avec l'hypochlorite pour former une monochloramine, puis successivement avec deux molécules de phénol pour former le bleu d'indophénol selon la réaction suivante :



▪ Mode opératoire

Le traitement décrit s'applique directement aux échantillons pré-filtrés sur terrain, ainsi qu'aux étalons.

- ✓ Rincer le récipient de dosage avec de l'eau à analyser. Introduire 100 ml d'échantillon.
- ✓ Ajouter 5 ml de la solution de phénol- nitroprussiate, boucher et bien mélanger.
- ✓ Ajouter sans attendre 5 ml de la solution complexante au chlore, boucher et mélanger à nouveau.
- ✓ Placer le flacon immédiatement à l'abri de la lumière, à T° ambiante, pendant au moins 6 heures.
- ✓ Si les échantillons sont visiblement turbides, centrifuger l'échantillon avant la mesure colorimétrique.
- ✓ Mesurer l'absorbance de l'échantillon A brut, à $\lambda = 630 \text{ nm}$.

La concentration de l'azote ammoniacal a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

2.4.5. Dosage des Ortho phosphates (PO_4^{3-})

Le dosage des orthophosphates a été réalisé selon la méthode de Murphy et Riley

(1962) ; cette dernière reste jusqu'à présent une des méthodes les plus rapides et les plus simples pour le dosage des orthophosphates dans l'eau.

▪ Principe

Cette technique est basée sur la réaction des ions phosphates avec le molybdate d'ammonium, en présence d'antimoine III ; cette réaction aboutit à la formation d'un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique ; cette réduction mène à la formation

d'une solution de coloration bleue dont le maximum d'absorbance a lieu à une longueur d'onde égale à 885 nm.

▪ **Mode opératoire**

- ✓ Prendre 100 ml de l'échantillon, y ajouter 10 ml du mélange réactifs.
- ✓ Attendre 5 mn et lire l'absorbance à $\lambda = 885$ nm.

La concentration des orthophosphates a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

2.4.6. 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**

a) Filtration

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

b) 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.

c) Centrifugation et transfert de l'extrait préalable à la mesure Spectroscopique

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

- ✓ Centrifuger les tubes durant une minute à 3000 - 4000 tours, faire tomber les fibres de verre qui adhèrent la paroi Centrifuger à nouveau 5 à 10 mn à 3000 - 4000 tours. Transférer le surnageant de centrifugation dans la cuve de mesure (par aspiration).

d) Mesure des absorbances selon la méthode trichromatique

- ✓ Laisser revenir à température ambiante les extraits s'ils sont froids.
- ✓ Rincer 2 fois la cuve avec un peu d'extrait à analyser.
- ✓ Transférer dans la cuve assez de volume pour faire la mesure. Veiller à ne pas entraîner des fibres.
- ✓ Vérifier la propreté des faces de la cuve et la positionner correctement sur le portoir.
- ✓ Mesurer les absorbances brutes de l'extrait à 630, 647, 664 et 750 nm : A630 brut, A647 brut, A664brut et B brut

e) Calculs des concentrations de pigments selon la méthode trichromatique

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

Calculer les chlorophylles a, b et e selon :

$$[\text{Chl a}] \mu\text{g/l} = (11,85 \times A_{664} - 1.54 \times A_{647} - 0.08 \times A_{630}) \times v / V_{xl}$$

2.4.7. Dosage de la matière en suspension (MES)

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

Principe

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

Le filtre a été pesé avant et après filtration. La différence de poids permet de

Connaître le poids sec total de la matière en suspension dans le volume filtré correspondant (Aminot et Chaussepied., 1983).

P1-P2	P1 = poids du filtre avant filtration (mg).
MES= $\frac{\text{---}}{\text{V}}$	P2 = poids du filtre après filtration (mg).
V	V = volume d'eau filtrée (litre).

2.5. Étude des cyanobactéries du barrage Zit-Emba

2.5.1. Identification

La détermination des genres récoltés est réalisée par l'observation microscopique des caractères morpho-anatomiques selon les clés d'identification universellement acceptées

(Bourrelly, 1985).

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

2.5.2.

Le comptage des cyanobactéries est réalisé à l'aide de la cellule hématimétrique « Nageotte ». Il s'agit d'une lame spéciale formée de 40 bandes correspondant à une surface donnée et un volume de 50µl.

Le dénombrement des cellules des cyanobactéries présentes sur un certain nombre de bandes, correspond donc à un certain volume permet une estimation par millilitre (Brient et al, 2001). La méthode consiste à :

- ✓ Prendre un sous échantillon de 1ml.
- ✓ Prélever 50µl du sous l'échantillon à l'aide d'une micropipette.
- ✓ Injecter l'échantillon sous la lamelle fixée préalablement sur la cellule de comptage après humidification des surfaces rodées,
- ✓ Observation (sous les objectifs : 10x, 40x) et comptage des cyanobactéries rencontrées sur les 20 bandes horizontales de la cellule Nageotte., cette opération est répétée plusieurs fois (3 à 5 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 (µL).

V : volume du sous échantillon (1ml).



Figure12. Image d'une cellule Nageotte (photo personnel prise par yassamine)

2.6. Analyse statistique

La statistique trouve son application dans presque tous les domaines sans exception, facilitant l'exploration et l'analyse de grands ensembles de données. Dans le cadre de cette étude, toutes les analyses ont été menées avec le logiciel R (R Développement Core Team, 2014 ; version 3.1.2), développé par Ross Ihaka et Robert Gentleman.

Les corrélations entre les séries des paramètres ont été déterminées en utilisant le coefficient de corrélation non paramétrique de Spearman (r).

L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée comme méthode descriptive et exploratoire pour caractériser la structure multivariée des stations au barrage Zit-Emba.

Chapitre 3 :

Resultats

3.1. Paramètres physico-chimiques des eaux de barrage de zit emba

3.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)

La figure 13 ci-dessous illustre la variation spatiotemporelle des valeurs de pH dans les eaux du barrage de Zit Emba. Les mesures de pH réalisées lors des différentes campagnes de prélèvement révèlent une évolution similaire, oscillant entre 7,5 et 8,9. La valeur maximale est enregistrée en été à la station 1, tandis que la plus basse est observée au printemps à la station 4. Globalement, ces données indiquent que les eaux du barrage ont un caractère légèrement alcalin.

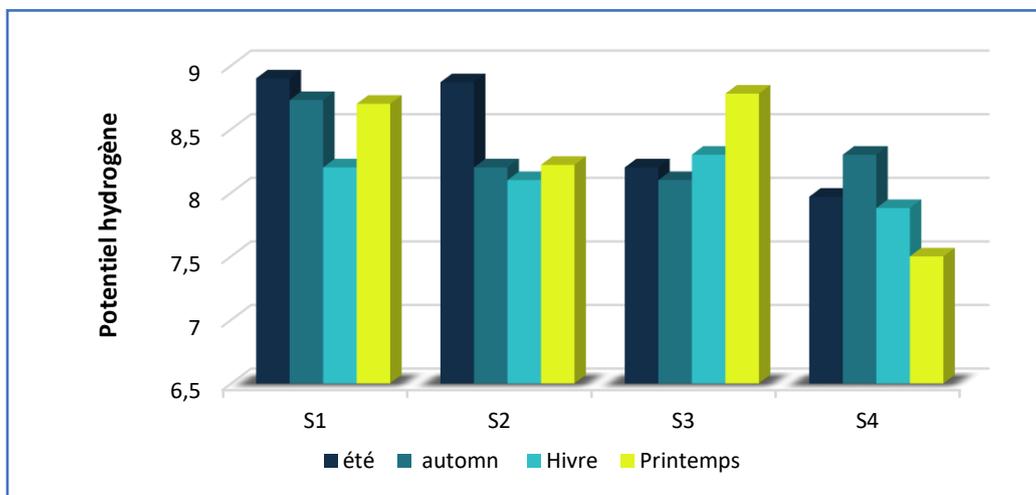


Figure 13. Variations spatiotemporelles du potentiel hydrogène des eaux du barrage de Zit Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.2. Température

La figure 14 présente la variation spatiotemporelle de la température dans les eaux du barrage de Zit Emba. Les températures varient significativement d'une saison à l'autre et d'une station à l'autre. Les données montrent des températures minimales d'environ 9 °C à la station 4 pendant l'hiver, et des températures maximales d'environ 26,2 °C à la station 2 pendant l'été. On note également que les températures dépassent les 20 °C dans les quatre stations en été et au printemps, tandis qu'elles restent en dessous de 15 °C en hiver et en automne.

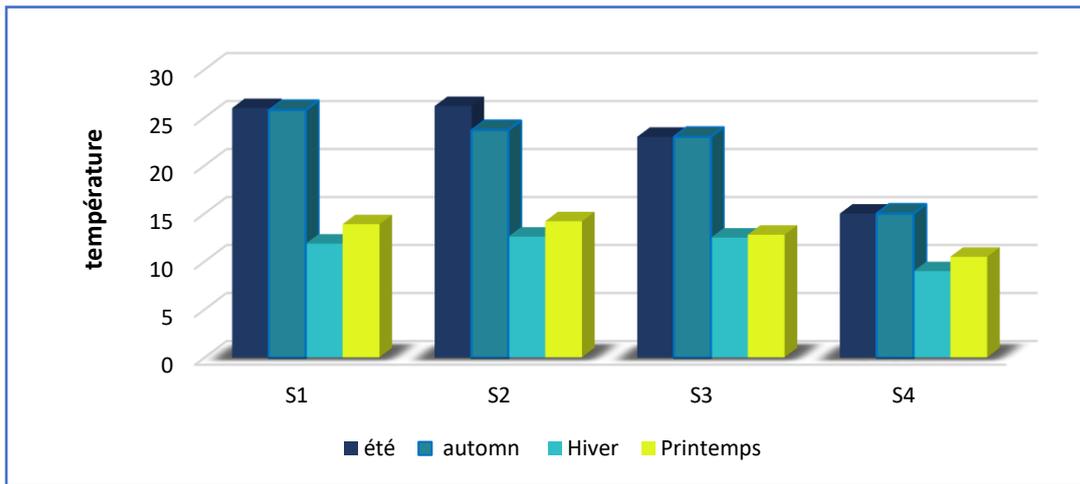


Figure 14. Variations spatiotemporelles de la température des eaux du barrage de Zit Emba (été 2023/printemps 2024)

3.1.3. Oxygène dissous

L'étude de la variation spatiotemporelle de l'oxygène dissous dans les eaux du barrage de Zit Emba (figure 15) montre des valeurs similaires, comprises entre 7,24 et 10,9 mg/L. La teneur maximale en oxygène est observée au printemps à la station 1, tandis que la teneur minimale est enregistrée en automne à la station 2.

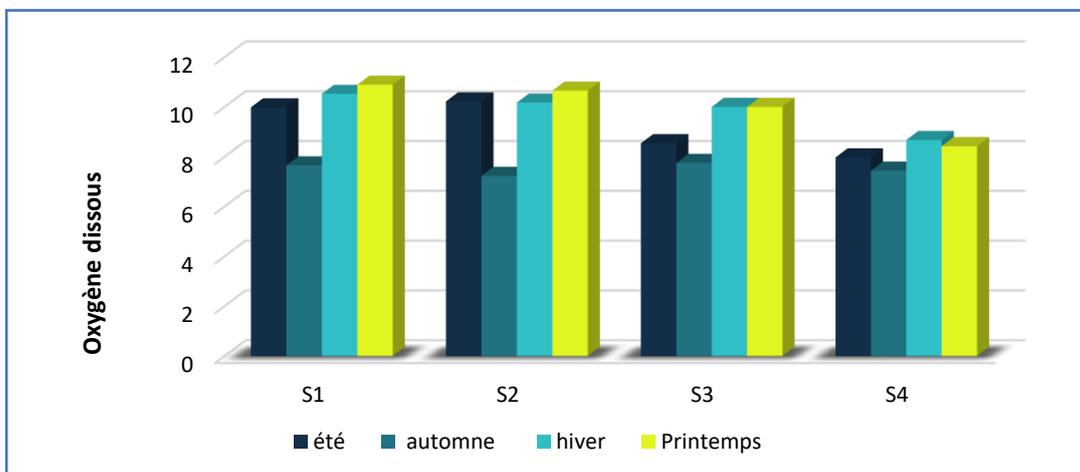


Figure 15. Variations spatiotemporelles de la teneur en oxygène dissous des eaux du barrage de zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.4. Conductivité

La figure 16 illustre les variations de la conductivité électrique dans les eaux du barrage Zit Emba. Les données montrent des fluctuations similaires, avec des valeurs comprises entre 511 et 676 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La valeur maximale est observée à la station 2 en automne, tandis que la valeur minimale est enregistrée à la station 4, également en automne.

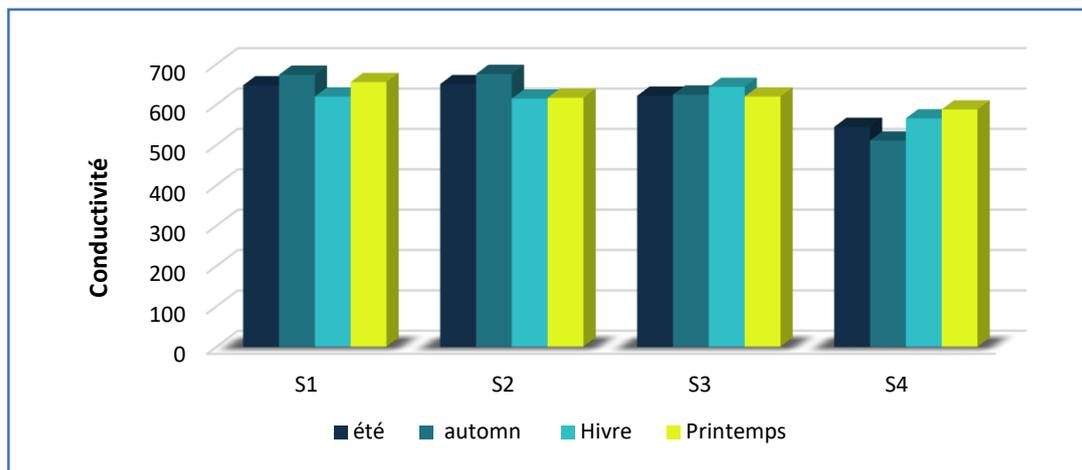


Figure16. Variations spatio-temporelles de la conductivité des eaux du barrage de zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

Chlorophylle a

Les résultats de la chlorophylle a dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (figure 17) montrent des variations importantes, allant de 0,1 à 19,66 mg/l. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées aux stations 1 et 2 en été et en automne, tandis que les plus faibles sont observées à la station 4 tout au long de l'année.

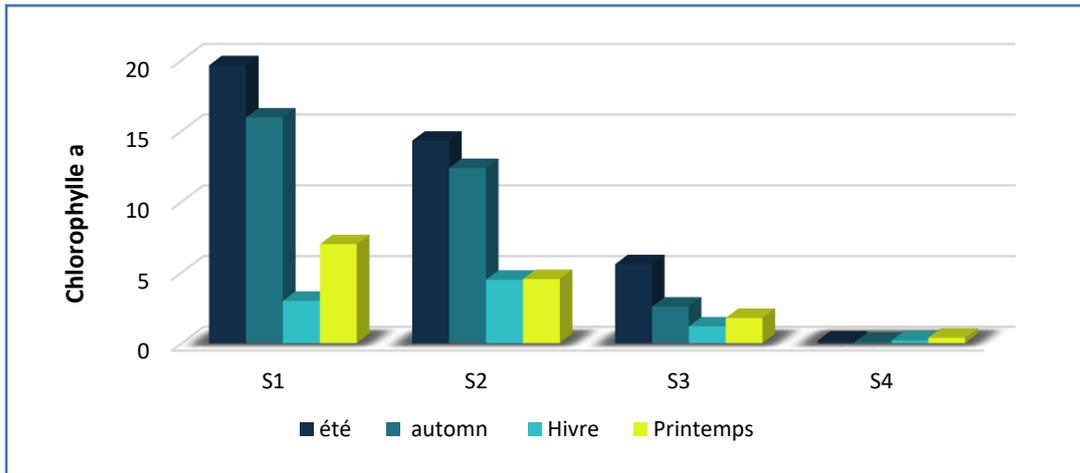


Figure 17. Variations spatio-temporelles de la teneur en chlorophylle a des eaux du barrage de zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.5. Matière en suspension

Les données sur la teneur en matière en suspension (MES) des eaux superficielles du barrage Zit-Emba (figure 18) varient significativement selon les saisons et les stations, avec des valeurs minimales d'environ 3 mg/l à la station 4 pendant l'hiver et des valeurs maximales d'environ 28 mg/l à la station 1 pendant l'automne

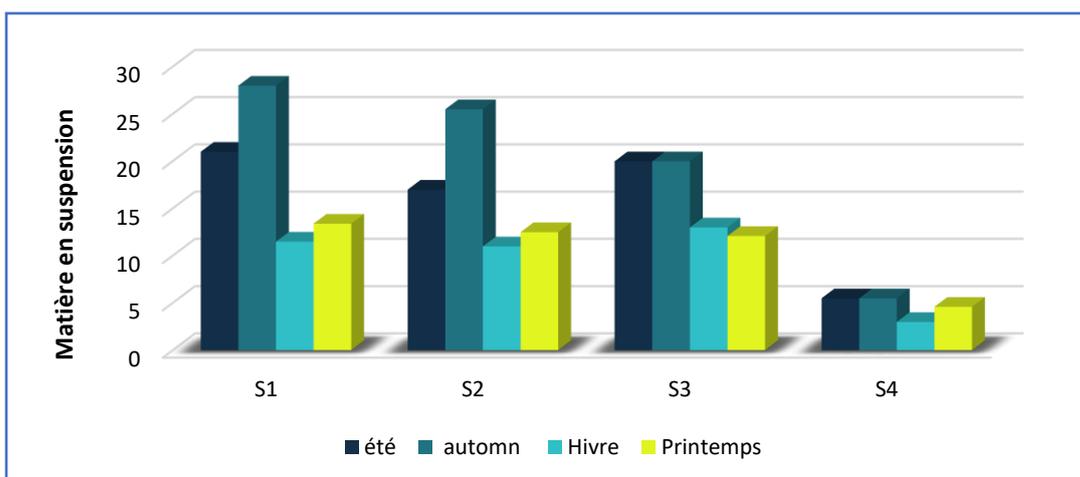


Figure 18. Variations spatio-temporelles de la teneur en MES des eaux du barrage de Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.6. Nitrites

La figure 19 montre la variation spatiotemporelle des teneurs en nitrites dans les eaux du barrage Zit-Emba. Ces teneurs présentent des variations significatives selon les stations et les saisons, avec des valeurs minimales en automne et des valeurs maximales en été, notamment à la station 1.

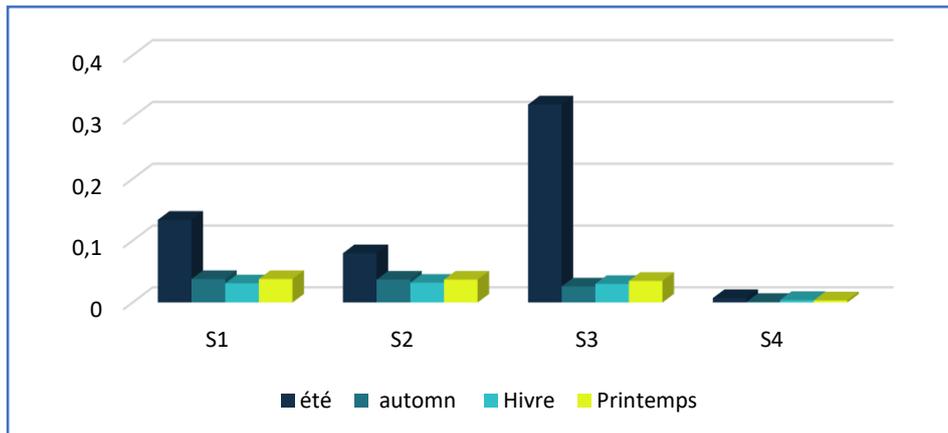


Figure 19. Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrites enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.7. Nitrates

La figure 20 illustre les fluctuations saisonnières et spatiales des nitrates dans les eaux du barrage Zit-Emba. Les concentrations maximales sont enregistrées en été à la station 3 et les concentrations minimales en hiver à la station 4.

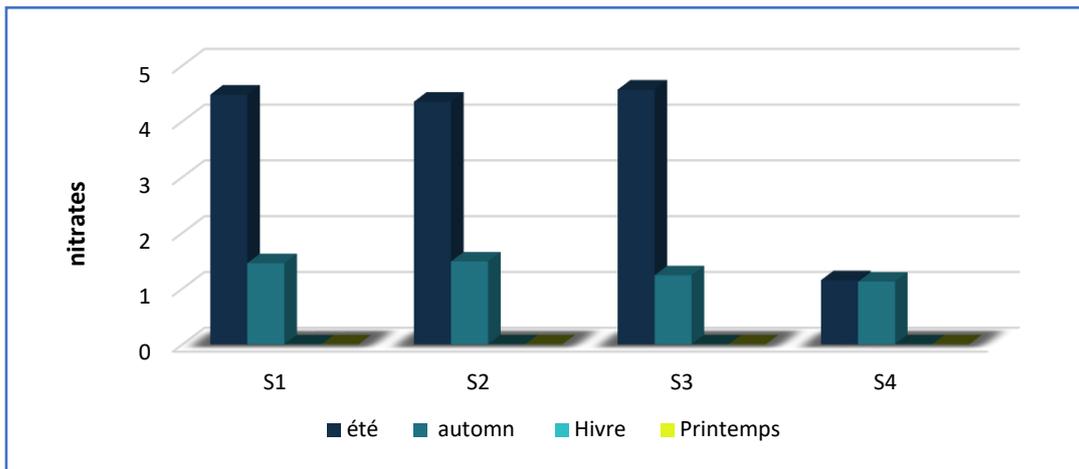


Figure 20. Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrates enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.8. Azote ammoniacal

Les teneurs en azote ammoniacal dans les eaux du barrage Zit-Emba (figure 21) présentent des variations saisonnières et spatiales importantes, avec des niveaux plus élevés en été et des niveaux plus faibles en automne et en hiver.

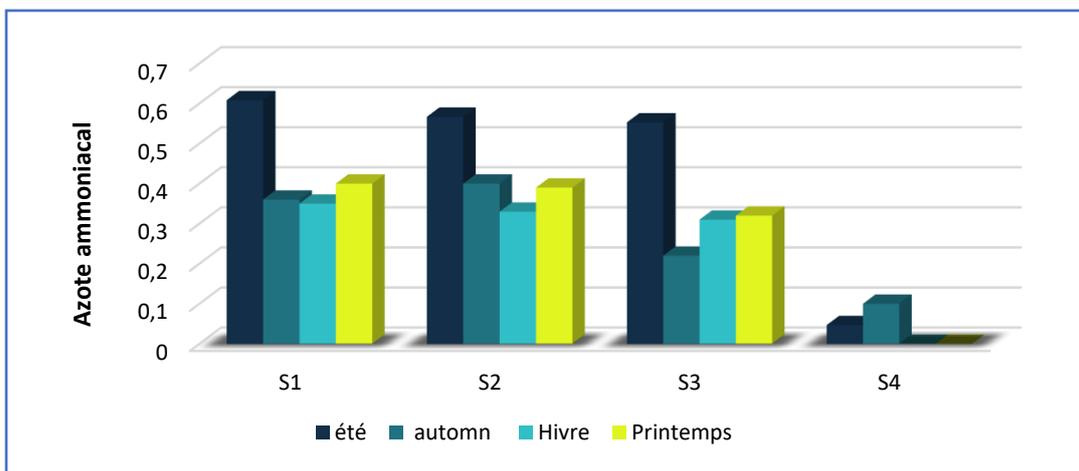


Figure 21. Variations spatio-temporelles des teneurs en azote ammoniacal enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.1.9. Orthophosphates

La figure 22 représente les teneurs en orthophosphates dans les eaux du barrage Zit-Emba, montrant des écarts saisonniers et spatiaux importants. Les concentrations les plus élevées sont observées en été aux stations 1 et 2, tandis que les concentrations les plus basses sont relevées en hiver, en particulier à la station 4.

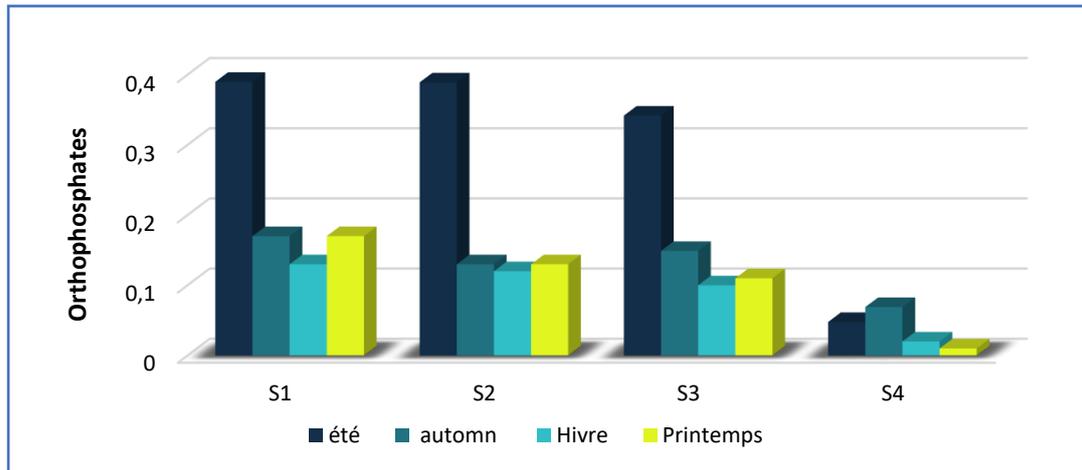


Figure 22. Variations spatio-temporelles des teneurs en orthophosphates enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2. Étude qualitative des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Zit-Emba

3.2.1. Identifications génériques des cyanobactéries

L'étude des caractéristiques morphologiques et anatomiques des cyanobactéries prélevées dans le barrage de Zit-Emba a révélé la présence de 5 genres distincts : *Dolichospermum*, *Plankthotrix*, *Woronichinia*, *Microcystis* et *Oscillatoria*.

Pour identifier les différents genres de cyanobactéries, on s'est basé sur les critères morphologiques suivants :

- La forme des cellules (largeur, longueur, organisation en filaments ou en colonies)
- La présence éventuelle d'enveloppes mucilagineuses entourant les cellules
- Leur coloration et leur pigmentation
- L'observation de structures cellulaires caractéristiques comme les akinètes, les hétérocystes et les vacuoles gazeuses lorsqu'elles étaient présentes.

<p><u>En été :</u> <i>Microcystis sp</i> <i>Wornichinia Sp</i> <i>Dolichospermum</i> <i>Plankthotrix SP</i></p>	<p><u>En automne :</u> <i>Oscillatoria sp</i> <i>Microcystis sp</i> <i>Wornichinia Sp</i> <i>Dolichospermum</i> <i>Plankthotrix SP</i></p>
<p><u>En hiver :</u> <i>Microcystis sp</i> <i>Wornichinia Sp</i> <i>Oscillatoria sp</i> <i>Plankthotrix SP</i></p>	<p><u>En printemps :</u> <i>Microcystis sp</i> <i>Wornichinia Sp</i> <i>Oscillatoria sp</i> <i>PLankthotrix SP</i></p>

Figure 23. Inventaire des cyanobactéries dans le barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

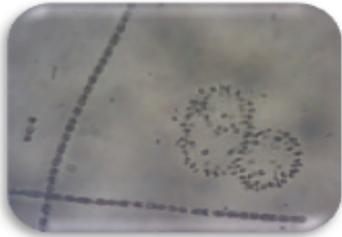
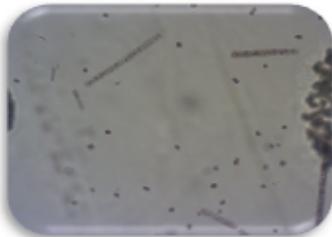
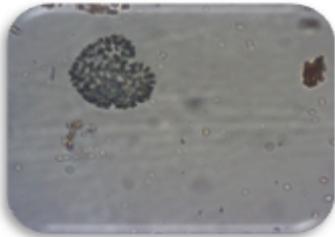
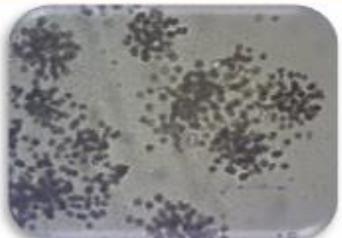
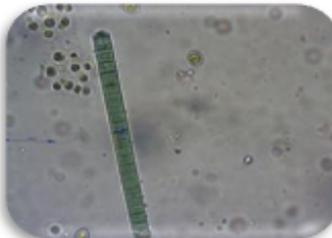
Dolichospermum	Planktothrix	Woronichinia
 <p>Organisme filamenteux sans gaine mucilagineuse, avec trichomes solitaires droits ou enroulés. Cellules sphériques ou cylindriques avec constriction marquée au niveau des cloisons, de dimensions L : 1-33 μm x l : 2-15 μm. Hétérocytes intercalaires présents parfois en série, jamais terminaux. Akinètes contigus ou éloignés des hétérocytes, parfois en série.</p>	 <p>Organisme filamenteux, non ramifié, avec des trichomes généralement droits, solitaires, munis de nombreuses pseudovacuoles. Les cellules sont cylindriques, courtes, avec un diamètre compris entre 3,5 et 10 μm. La distinction entre les espèces peut être difficile en fonction de critères tels que la couleur, le diamètre, le degré de constriction entre les cellules et la forme de la cellule apicale</p>	 <p>Organisme colonial irrégulier, composé de cellules ovales à piriformes, avec un pôle large orienté vers l'extérieur de la colonie. Les cellules mesurent jusqu'à 6 à 7 μm de longueur et sont disposées en périphérie, maintenues par du mucilage incolore, visible après coloration. Dans les colonies âgées, les cellules sont très serrées, parfois regroupées en deux à trois sous-colonies.</p>
Microcystis	Oscillatoria	
 <p>Colonies de formes variées, à mucilage incolore. Cellules sphériques (diamètre : 0.8-10 μm) munies de pseudovacuoles, sans disposition particulière au sein de la colonie. Une dizaine d'espèces en Europe, se différenciant par la taille des cellules, leur espacement, la forme de la colonie, l'importance et la consistance du mucilage</p>	 <p>Organisme filamenteux non ramifié, sans gaine mucilagineuse. Trichomes généralement droits mais avec des mouvements d'ondulation. Cellules végétatives discoïdes à cylindriques, sans pseudovacuoles, souvent courtes. Certains présentent des constriction marquées au niveau des cloisons. Présence parfois de granules précisément positionnés dans le cytoplasme.</p>	

Figure 24. Les caractéristiques des genres identifiés

3.2.2. Distribution spatiale des cyanobactéries

La répartition des cyanobactéries recensées dans les eaux superficielles du barrage Zit Emba varie d'une station à l'autre, comme illustré dans la Figure 25. On observe que les stations 1 et 2 présentent la densité la plus élevée de cyanobactéries, atteignant respectivement 51% et 43,34%. En revanche, les stations 3 et 4 affichent la densité la plus basse, avec des pourcentages de 5,1% et 0,56% respectivement.

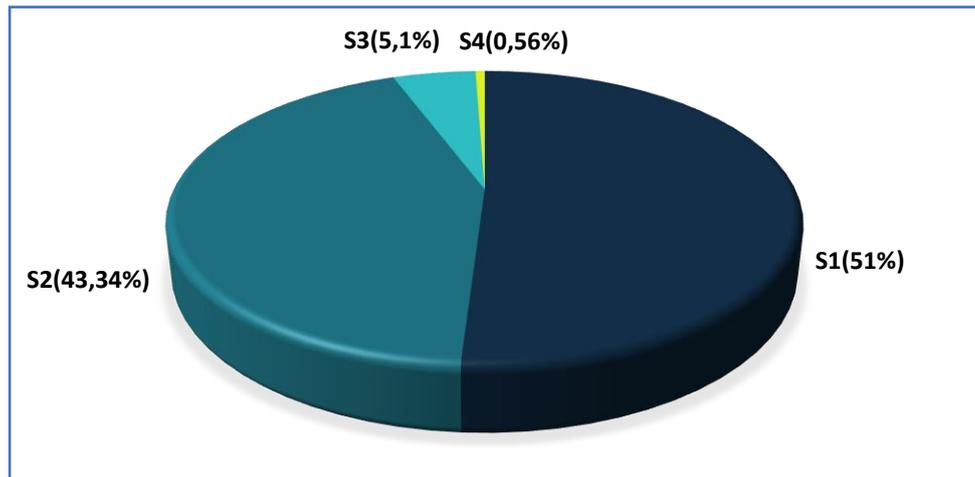


Figure 25. Distribution spatiale des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.3. Variation saisonnière des cyanobactéries

La variation saisonnière des densités totales de cyanobactéries observées au niveau du barrage Zit Emba, comme illustré dans la Figure 26, révèle des fluctuations significatives. Les densités les plus élevées sont enregistrées pendant les saisons estivales et automnales, représentant respectivement 47,96% et 42,83%. En revanche, les densités les plus basses sont observées au printemps et en hiver, avec des pourcentages de 5,46% et 3,73%.

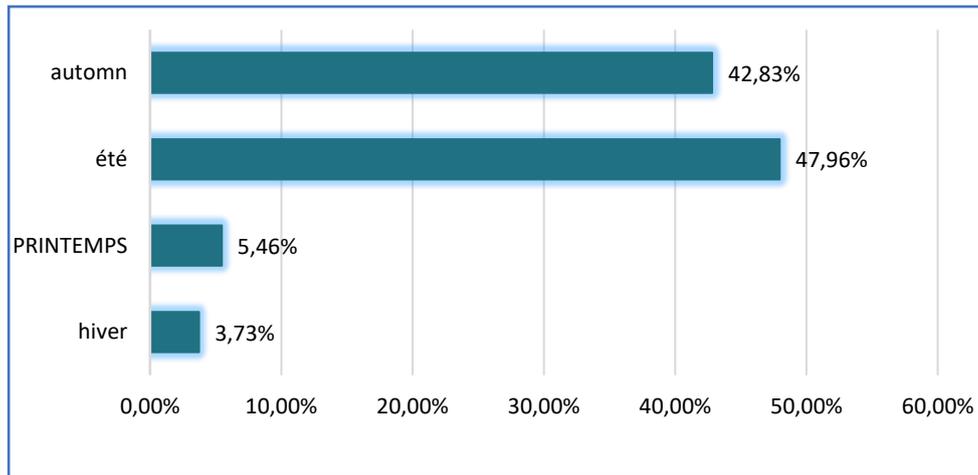


Figure 26. Distribution saisonnière des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.4. Distribution spatio-temporelle des peuplements Cyanobactéries

Les concentrations de cyanobactéries dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba, comme le montre la Figure 27, varient considérablement d'une saison à l'autre et d'une station à l'autre, avec des densités allant de 25 933 à 33 296 cellules/ml (respectivement aux stations 1 et 2 en été et en automne). De plus, des densités inférieures à 3 200 cellules/ml sont observées dans les stations 1 et 2 pendant l'hiver et le printemps, ainsi que dans les stations 3 et 4 pendant toutes les saisons.

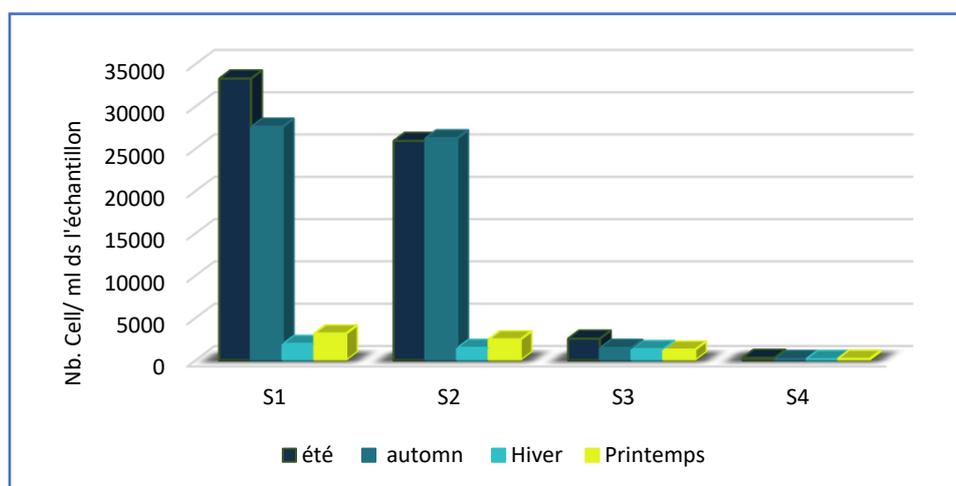


Figure 27. Distribution spatio-temporelle des peuplements de cyanobactéries dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.5. Densité moyenne des genres de cyanobactéries recensés

Les densités globales des genres recensés dans les eaux du barrage de Zit-Emba, telles qu'illustrées dans la Figure 28, varient d'un genre à l'autre. Une forte présence est observée pour les genres *Dolichospermum*, *Plankthotrix*, *Wornichinia* et *Microcystis*, enregistrant respectivement des densités de l'ordre de 44 291 cellules/ml, 30 479 cellules/ml, 29 328 cellules/ml et 22 116 cellules/ml. En revanche, le genre *Oscillatoria* est présent avec une densité de 3 180 cellules/ml.

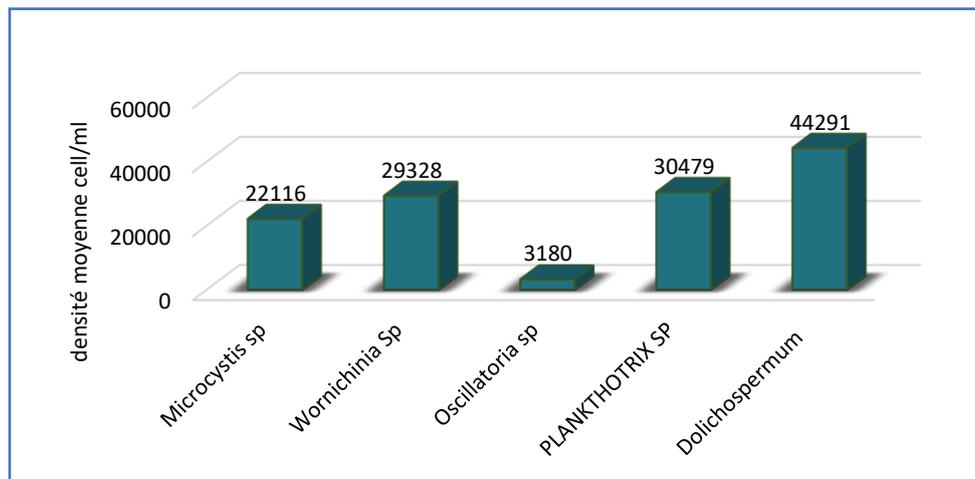


Figure 28. Densités moyennes des genres de cyanobactéries collectées à partir des eaux superficielles du barrage Zit-Emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.6. Distribution spatio-temporelle de *Dolichospermum*

La distribution spatio-temporelle du genre *Dolichospermum* au barrage Zit Emba montre sa présence exclusivement en été et en automne dans les quatre stations, avec des concentrations allant de 17 à 20 552 cellules/ml. Les densités les plus élevées sont observées en été, notamment à la station 1 (20 552 cellules/ml) et à la station 2 (11 904 cellules/ml), tandis que les densités les plus faibles sont enregistrées à la station 4 pendant ces mêmes saisons (17 et 20 cellules/ml). Le genre *Dolichospermum* est totalement absent pendant les saisons hivernales et printanières.

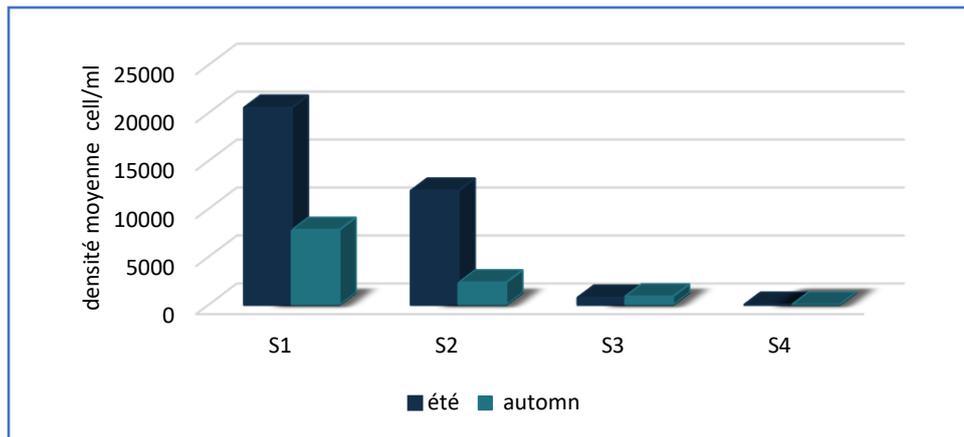


Figure 29. Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Dolichospermum* dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.7. Distribution spatio-temporelle du genre *Planktothrix*

La figure 30 présente la répartition spatiotemporelle des densités de *Planktothrix* dans diverses stations du barrage de Zit-Emba. Pendant l'été, les stations 1 et 2 affichent les densités les plus élevées, avec des pics respectifs de 10 257 cellules/ml et 12 024 cellules/ml. En revanche, les densités aux stations 3 et 4 sont nettement plus faibles tout au long de l'année, atteignant au maximum 1 045 cellules/ml à la station 3 en été et un minimum de 4 cellules/ml à la station 4 en hiver. La station 4 enregistre les densités les plus basses tout au long de l'année, toujours inférieures à 20 cellules/ml.

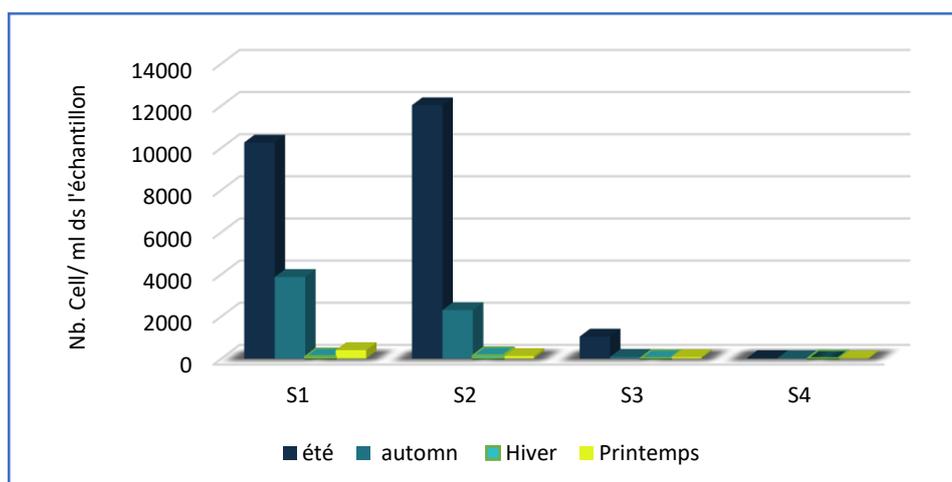


Figure 30. Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Planktothrix* dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.8. Distribution spatio-temporelle du genre *Wornichinia*

Le genre *Wornichinia* présente une répartition complexe spatio-temporelle dans les eaux du barrage de Zit-Emba, comme illustré dans la figure 31. En automne, les densités les plus élevées sont observées à la station 2, avec 11 730 cellules/mL, tandis que la station 1 enregistre 7 253 cellules/mL. Les densités maximales à la station 3 sont observées en hiver, atteignant 1 200 cellules/mL, et au printemps, avec 1 066 cellules/mL. En revanche, la station 4 présente les densités les plus faibles, avec un pic de seulement 90 cellules/mL au printemps.

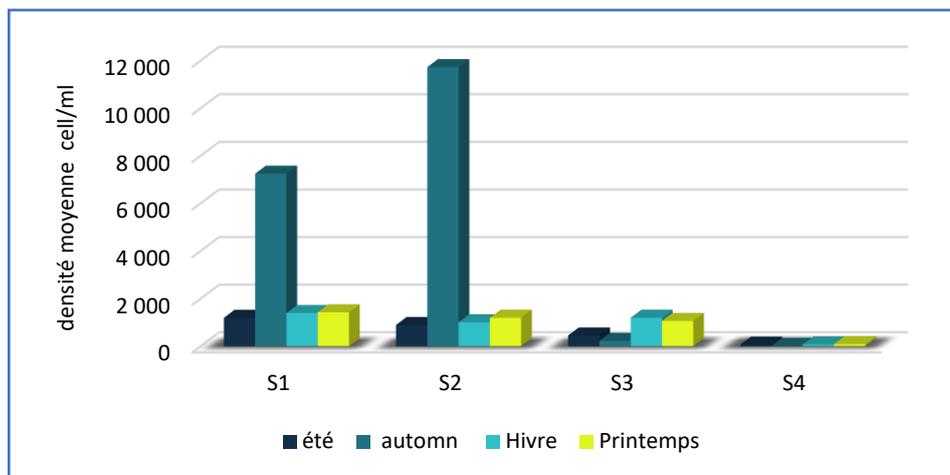


Figure 31. Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Wornichinia* dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.9. Distribution spatio-temporelle du genre *Microcystis*

Les densités du genre *Microcystis* varient selon les stations et les saisons dans le barrage représenté dans la figure 32. Les densités les plus élevées sont observées aux stations 2 et 1 pendant l'automne, atteignant respectivement 8616 et 7458 cellules/mL. En revanche, les stations 3 et 4 affichent des densités nettement plus faibles, avec des pics de 298 cellules/mL en été pour la station 3 et de 180 cellules/mL en été pour la station 4.

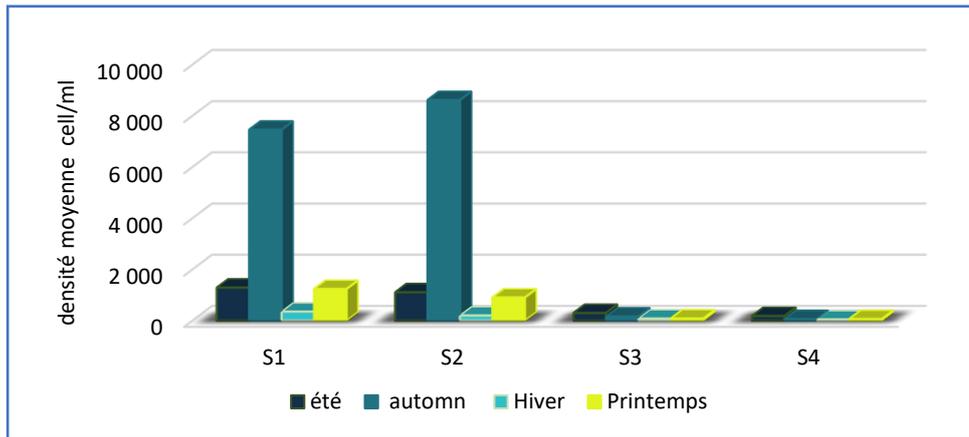


Figure 32. Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Microcystis* dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.2.10. Distribution spatio-temporelle du genre *Oscillatoria*.

La figure 33 présente la distribution spatio-temporelle des densités du genre *Oscillatoria*. Les densités maximales sont observées aux stations 1 et 2 en automne, atteignant respectivement environ 1200 et 1230 cellules/mL. À la station 3, un pic modéré de 118 cellules/mL est enregistré également en automne. En revanche, la station 4 présente les densités les plus faibles tout au long de l'année, avec un minimum observé de 6 cellules/mL en hiver. Aucune présence de ce genre n'est constatée durant l'été.

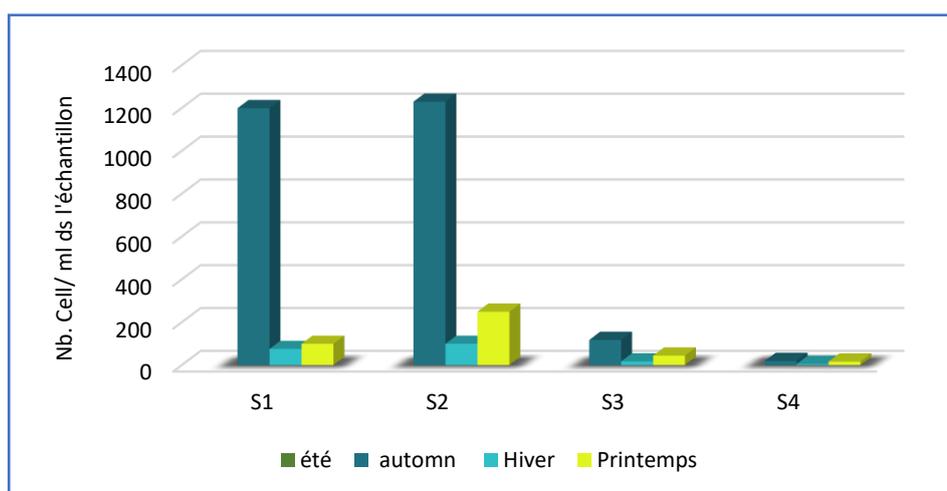


Figure 33. Distribution spatio-temporelle des densités du genre *Oscillatoria* dans les eaux du barrage zit emba (de l'été 2023 au printemps 2024)

3.3. Interprétations des statistiques

3.3.1. Analyses descriptives

Les résultats des analyses descriptives (moyenne, médiane, valeur minimale, valeur maximale) propre à 11 variables biotiques et abiotiques dans les quatre stations (S1, S2, S3 et S4) durant quatre saisons sont portés dans le tableau.

Tableau 6. Description statistique des variables environnementales enregistrées dans les eaux superficielles du barrage Zit-Emba

	Moyenne \pm sd	Min	Médiane	Max
T (°C)	17.19 \pm 6.18	9.00	14.60	26.20
Ph	8.30 \pm 0.39	7.50	8.21	8.90
DO (mg/L)	9.14 \pm 1.28	7.24	9.33	10.90
Cond (μ S/cm)	617.4 \pm 45.51	511.0	621.0	676.0
NH ₄ -N (mg/L)	0.31 \pm 0.19	0.00	0.34	0.61
NO ₂ -N (mg/L)	0.05 \pm 0.07	0.00	0.03	0.32
NO ₃ -N (mg/L)	1.24 \pm 1.70	0.00	0.56	4.57
PO ₄ -P (mg/L)	0.15 \pm 0.11	0.01	0.13	0.39
MES (mg/L)	13.97 \pm 7.45	3.00	12.75	28.00
Chl-a (μ g/L)	5.84 \pm 6.30	0.10	3.75	19.66
DC (cells/mL)	8087 \pm 12160.91	135	1694	33296

3.3.2. Analyse en composantes principales (ACP)

En utilisant l'analyse en composantes principales (ACP) comme une méthode descriptive préliminaire et exploratoire, il a été possible de représenter visuellement la structure de la variation spatio-temporelle de barrage Zit-Emba en fonction des onze variables biotiques et abiotiques observées. (pH, l'oxygène dissous (DO), la matière en suspension (MES), chlorophylle-a (Chl a), conductivité (cond), température de l'eau (T), les orthophosphates (PO₄-P), ammonium (NH₄-N), les nitrates (NO₃-N), les nitrites (NO₂-N), et la densité des cyanobacteries.

On a employé l'ACP comme un moyen de représenter les relations linéaires entre les variables biotiques et abiotiques pour évaluer la qualité des eaux du barrage Zit-Emba.

À noter que les variables de densité des cyanobactéries ont été employées comme variable quantitative additionnelle dans la mise en œuvre de l'ACP.

Le plan factoriel des deux premiers axes principaux présente clairement une variation inter-saisons, dont les deux axes expliquent ensemble 77,33% de cette variation totale.

Le premier axe explique 61,34% de la variation totale ; il est corrélé positivement avec les variables pH ($r = 0.735$; $\cos^2 = 0.541$), MES ($r = 0.846$; $\cos^2 = 0.715$), Chl a ($r = 0.882$; $\cos^2 = 0.778$), Cond ($r = 0.728$; $\cos^2 = 0.530$), T ($r = 0.872$; $\cos^2 = 0.760$), PO4 ($r = 0.931$; $\cos^2 = 0.866$), NH4 ($r = 0.923$; $\cos^2 = 0.852$), NO3 ($r = 0.799$; $\cos^2 = 0.638$), NO2 ($r = 0.656$; $\cos^2 = 0.430$) et DC ($r = 0.789$; $\cos^2 = 0.622$).

Le deuxième axe explique 15.99% de la variation totale ; cet axe est corrélé positivement avec la variable DO ($r = 0.931$; $\cos^2 = 0.867$).

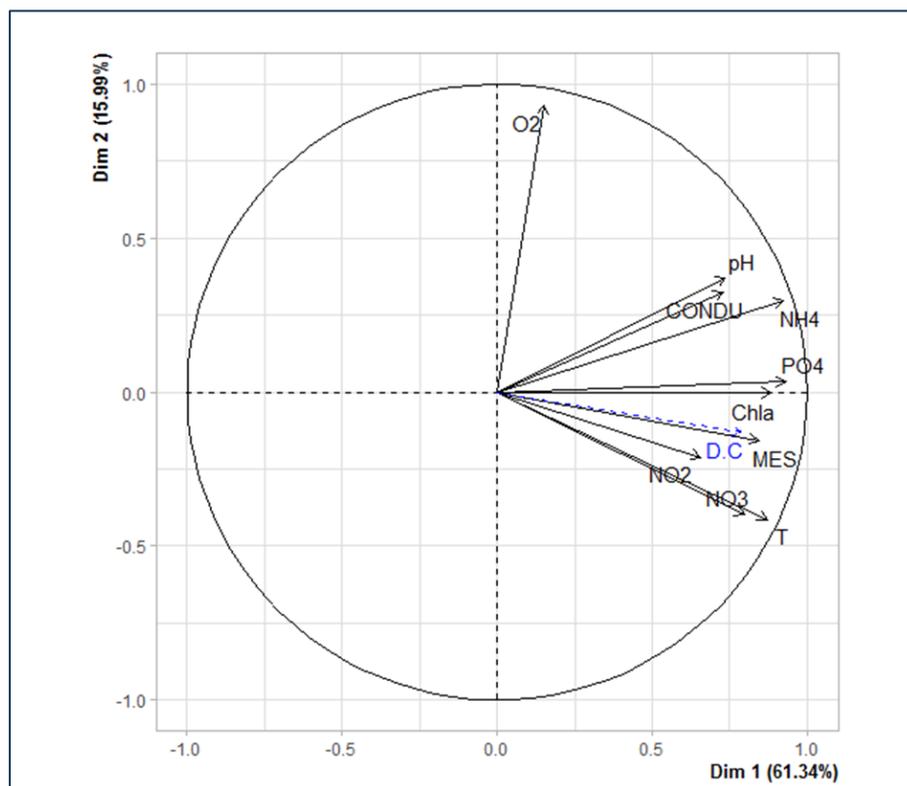


Figure 34. Cercle de corrélations des variables environnementales avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales standardisée au niveau des eaux de surface du Barrage Zit-Emba

3.3.3 Étude de la corrélation linéaire simple entre les variables biotiques et abiotiques

Les résultats du calcul des coefficients de corrélation linéaire simple entre les onze variables biotiques et abiotiques prises deux à deux dans les eaux du barrage ; durant quatre saisons sont illustrés dans la figure ci-dessous.

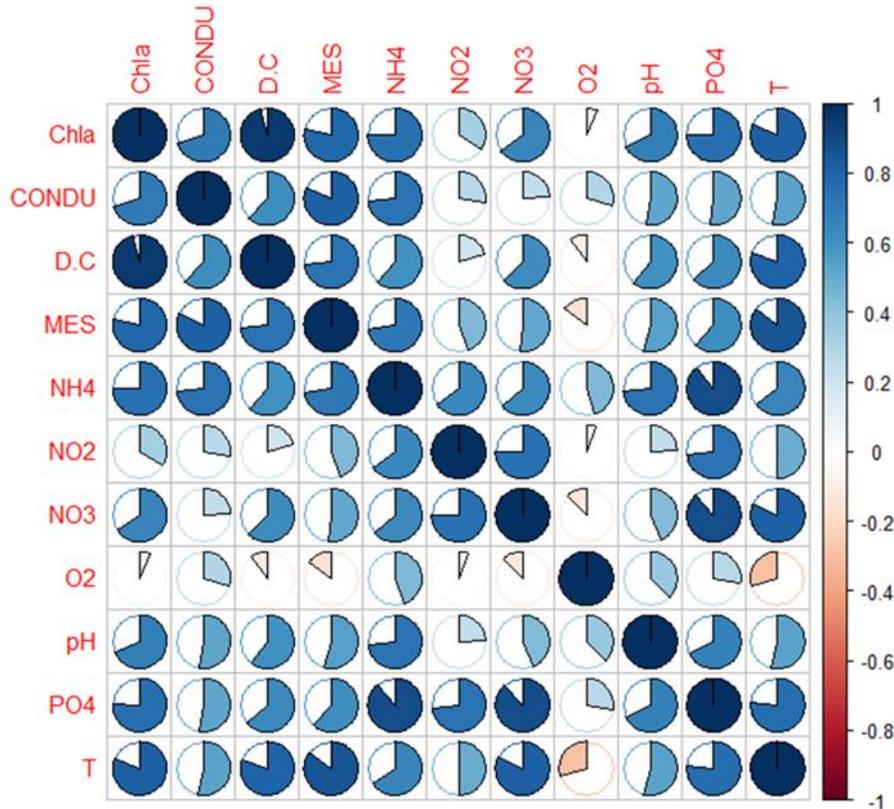


Figure 35. Corrélogramme (corrplot) présentant les corrélations entre les 11 paramètres biotiques et abiotiques. Couleur bleue : corrélation positive ; couleur rouge : corrélation négative ; absence de couleur : corrélation non significative

La figure illustre que :

- La teneur en chlorophylle a montre des corrélations positives significatives avec la densité des cyanobacteries ($r= 0.95$), température de l'eau ($r= 0.81$), la matière en suspension ($r= 0.78$), les orthophosphates ($r= 0.75$), ammonium ($r= 0.74$), Conductivité ($r= 0.70$), pH ($r= 0.68$), les nitrates ($r= 0.65$), les nitrites ($r= 0.33$), et l'oxygène dissous ($r= 0.06$).
- La conductivité montre des corrélations positives significative avec la matière en suspension ($r= 0.81$), ammonium ($r= 0.73$), la densité des cyanobacteries ($r= 0.61$), température de l'eau ($r= 0.53$), pH ($r= 0.52$), les orthophosphates ($r= 0.52$), l'oxygène dissous ($r=0.29$), les nitrites ($r= 0.27$), les nitrates ($r= 0.24$).

- La densité des cyanobactéries montre des corrélations positives significatives avec température de l'eau ($r=0.80$), la matière en suspension ($r=0.73$), les orthophosphates ($r=0.63$), les nitrates ($r=0.62$), pH ($r=0.60$), ammonium ($r=0.60$), les nitrites ($r=0.20$) et montre une corrélation négative significative avec les teneurs en oxygène dissous ($r= -0.09$).
- Les teneurs en MES montre des corrélations positives significatives avec température de l'eau ($r=0.85$), ammonium ($r=0.71$), les orthophosphates ($r=0.61$), pH ($r=0.54$), les nitrates ($r=0.51$), les nitrites ($r=0.44$). Par ailleurs, la matière en suspension montre des corrélations négatives significatives avec l'oxygène dissous ($r= -0.15$).
- L'oxygène dissous montre des corrélations positives significatives avec ammonium ($r=0.44$), pH ($r=0.37$), les orthophosphates ($r=0.27$), les nitrites ($r=0.05$). Ce paramètre montre une corrélation négative significative avec la température de l'eau ($r= -0.29$) et les nitrates ($r= -0.12$).
- Le pH montre des corrélations positives significatives avec ammonium ($r=0.73$), les orthophosphates ($r=0.67$), température de l'eau ($r=0.53$), nitrates ($r=0.43$), les nitrites ($r=0.24$).
- La température montre des corrélations positives significatives avec les nitrates ($r=0.81$), les orthophosphates ($r=0.76$), ammonium ($r=0.65$), les nitrites ($r=0.49$),
- Les éléments nutritifs montrent des corrélations positive significative entre eux (r entre 0.63 et 0.74) et avec orthophosphates (r entre 0.49 et 0.81).

Chapitre 4 :

Discussion

Discussion

La température joue un rôle essentiel dans la régulation de nombreux processus biologiques qui se produisent dans l'eau. (**Djabourabi et al., 2014**). Les mesures de température de l'eau du barrage Zit emba montrent des variations saisonnières marquées, typiques du climat méditerranéen de la région, avec des hivers froids et des étés chauds. Cette caractéristique, soulignée par **Saoudi et al., (2015)** au barrage Mexa et **Guellati et al., (2017)** au barrage Bouhamdane.

La majorité des processus chimiques et biologiques des écosystèmes aquatiques sont influencés par le Ph. (**Djabourabi et al., 2014**). Le pH de l'eau du barrage Zit emba est alcalin, les valeurs élevées observées pendant la période peut être attribué à la densité élevée de phytoplancton, notamment de cyanobactéries. Ces organismes, en photosynthétisant, libèrent de l'oxygène et consomment du CO₂, ce qui élève le pH. Des observations similaires ont été faites par **Nasri et al., (2007)** au barrage Cheffia et **Touati (2019)** dans le réservoir Zit-Emba.

La concentration en oxygène dissous est un indicateur crucial de la qualité de l'eau. Sa présence dans les eaux de surface est essentielle pour l'autoépuration et le maintien de la vie aquatique. **McBride et Rutherford (1983)**. Les mesures au barrage Zit Emba indiquent une bonne oxygénation pendant les saisons estivale, printanière et hivernale, mais une baisse en automne. Cette bonne oxygénation est probablement due aux températures basses de l'eau. Les niveaux plus bas d'oxygène dissous en période chaude s'expliquent par la limitation de la solubilité de l'oxygène à des températures élevées et par la forte consommation d'oxygène par les organismes aquatiques. (**Touati, 2019**).

Les eaux superficielles de Zit-Emba sont moyennement minéralisées. Sa conductivité est comprise entre 511 et 676 $\mu\text{S/cm}$. Ce paramètre témoigne de la minéralisation globale de l'eau. Elle est influencée par la quantité d'ions dans l'environnement et par la présence des espèces ioniques en solution. Elle augmente avec la concentration en sels dissous (**Gueroui, 2015**).

Selon **Izaguirre (2001)**, les concentrations de chlorophylle (a) sont perçus comme des indicateurs de la biomasse algale globale et sont impactés par les températures élevées et les intensités lumineuses élevées. Les teneurs en chlorophylle a dans les eaux de surface du barrage Zit-Emba, montrent ses valeurs minimales en hiver et au printemps, et des pics en été

et en automne. Cette variation reflète grossièrement les changements de densité du phytoplancton au cours de la période étudiée. Par ailleurs, les eaux traitées (ST4) présentent des concentrations en chlorophylle a presque nulles, ce qui indique l'efficacité du traitement. Globalement, les eaux de réservoir Zit-Emba sont mésotrophes selon les critères de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 1982).

Les concentrations et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux varient considérablement en fonction des cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc.). Ces variations sont influencées par la nature des terrains traversés, la saison, la pluviométrie, les travaux, les rejets, etc (Rodier *et al.*, 2009). La concentration en MES de notre barrage varie de 3 à 28 mg/L ; cependant, les valeurs maximales sont observées pendant les périodes estivale et automnale. Ces charges importantes pourraient être attribuées à la croissance micro-algale observée à cette période en réaction aux éléments environnementaux (Touati, 2019).

Les éléments nutritifs tels que l'ammonium (NH₄), les nitrates (NO₃), les nitrites (NO₂) et l'orthophosphate (PO₄ 3-) sont des facteurs déterminants de l'eutrophisation des eaux, et ils ont un impact significatif sur la croissance des algues (Howarth & Marino, 2006 ; Seyni, 2006).

Les nitrites présents dans les eaux superficielles de Zit Emba sont généralement inférieurs à 0,1 mg/L, à l'exception de l'été (près de 0,33 mg/L). Les faibles concentrations de nitrites observées à Zit Emba pourraient être liées aux concentrations élevées d'oxygène dissous et au pH alcalin de ses eaux (Touati, 2019).

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. Ils sont rencontrés dans les eaux naturelles et leur teneur varie en fonction de la saison et de l'origine des eaux (Dussart, 1992). Le dosage de nitrates dans les eaux de notre barrage varie entre 1,1 et 4,5 mg/L pendant l'été et l'automne, tandis qu'en hiver et au printemps, les valeurs ne dépassent pas 0,0013 mg/L. Ces teneurs relativement élevées s'expliqueraient par la bonne oxygénation des eaux superficielles du plan d'eau (Touati, 2019). De plus, il est possible que la diminution des nitrates d'hiver et de printemps soit également due à la mise en œuvre du processus de dénitrification, qui entraîne la transformation des nitrates en azote gazeux qui s'échappent alors vers l'atmosphère (Purvina *et al.*, 2010). Les teneurs en nitrates relevées dans les eaux superficielles de Zit Emba sont proches aux valeurs enregistrées dans la retenue Ain Zada (0,56-4,87 mg/L) par Charifi *et al.*, (2019).

Les concentrations en orthophosphates dans les eaux de Zit-Emba varient de 0,0 à 0,6 mg/L. Elles sont inférieures à 0,1 mg/L au niveau de S4 (eaux traitées), ce qui témoigne de l'efficacité du traitement. Les valeurs intermédiaires sont influencées par les apports exogènes (ruissellement des eaux sur le sol) et endogènes (minéralisation de la matière organique provenant des algues et des macrophytes aquatiques morts) (**Goldsbrough & Robinson, 1996 ; Thomas, 2000**), ainsi que par les sédiments fins, dont la concentration est régulée par la température de l'eau pour les variations saisonnières et par le temps de séjour pour les variations annuelles (**Despreaux, 1990**).

L'observation des caractéristiques morpho-anatomiques des cyanobactéries collectées dans l'eau du barrage Zit-Emba a révélé la présence de cinq genres communs : *Dolichospermum*, *Planktothrix*, *Woronichinia*, *Microcystis* et *Oscillatoria*. Ces cyanobactéries sont considérées comme potentiellement toxiques. Les valeurs de la densité mensuelle moyenne de l'ensemble de ses cyanobactéries montrent des proportions donnant des taux de 48,01 et 42,47 % en été et en automne respectivement et seulement 5,86 %. Et 3,74 %, respectivement au printemps et en hiver, cette observation de pics en été et en automne a été rapportée dans la région de Guelma, au niveau du barrage du lac Oubeira (**Djabourabi et al., 2014 ; Boussadia et al., 2015**) et de Hammam Debagh (**Guellati et al., 2017**).

Ses variations saisonnières de densité des cyanobactéries, avec des augmentations observées en été et en automne, sont étroitement liées à l'élévation de la température. Celle-ci est un facteur clé dans le contrôle de la dominance de ces organismes. La température permet à une espèce donnée de se développer et d'atteindre son maximum avant de décliner à des moments spécifiques de l'année. (**Gayral, 1975**).

Plusieurs études (**Weyhenmeyer, 2001 ; Blenckner et al., 2002**) ont souligné que le réchauffement climatique pourrait favoriser la croissance des cyanobactéries et augmenter la fréquence de leurs floraisons. Ce phénomène est lié à l'augmentation de la stabilité de la colonne d'eau, de la teneur en nutriments et de l'anoxie induite par le réchauffement. En revanche, durant les périodes froides, la croissance des micro-algues est ralentie en raison de facteurs tels que les basses températures, le faible ensoleillement, les précipitations et l'agitation de l'eau par le vent. Dans les eaux de Zit-Emba, la densité des cyanobactéries montre des corrélations positives significatives avec la température de l'eau ($r=0.80$), matière en suspension ($r= 0.73$), les orthophosphates ($r=0.63$), les nitrates ($r=0.62$), ammonium ($r=0.60$), pH ($r=0.60$) et les nitrites ($r=0.20$).

Selon les normes de l'OMS (**Chorus et Bartram, 1999**), les densités de cyanobactéries enregistrées dans les eaux de la retenue Zit-Emba pendant notre période d'étude dépassent largement le niveau de vigilance. Cette situation a également été signalée par **Touati et al., (2019)** dans le même réservoir, où les auteurs ont noté des densités dépassant le niveau de vigilance.

Conclusion et perspectives

Conclusion

Terme de notre investigation sur la qualité de l'eau et la dynamique des populations de cyanobactéries dans le barrage de Zit-Emba, situé dans la Wilaya de Skikda, sur une période couvrant quatre saisons (de l'été 2023 au printemps 2024), nous avons mis en évidence des variations saisonnières significatives. Ces variations sont principalement influencées par des facteurs abiotiques tels que la température de l'eau, les régimes de vent, les précipitations et l'ensoleillement, qui suivent un rythme saisonnier bien défini. En outre, la mesure des concentrations en chlorophylle (*a*) s'est avérée être un indicateur pertinent du niveau d'eutrophisation, corroboré par les corrélations positives et significatives entre la densité des cyanobactéries et les facteurs abiotiques étudiés.

L'étude qualitative des cyanobactéries présentes dans le barrage de Zit-Emba a révélé la présence de cinq genres toxiques : *Dolichospermum*, *Planktothrix*, *Woronichinia*, *Microcystis* et *Oscillatoria*, avec une prédominance marquée du genre *Dolichospermum*. Par ailleurs, les analyses ont montré une très faible présence de cyanobactéries dans les eaux traitées, ce qui est rassurant en termes de qualité de l'eau potable.

Sur la base de ces observations, nous proposons la mise en œuvre d'un programme de surveillance rigoureux et continu de ce plan d'eau, articulé autour des actions suivantes :

1. **Surveillance continue des paramètres physicochimiques de l'eau** : Il est crucial de maintenir une surveillance constante des paramètres tels que la température, le pH, la conductivité, et la concentration en nutriments pour anticiper les conditions favorables à la prolifération des cyanobactéries.
2. **Étude approfondie des populations de cyanobactéries à différentes profondeurs et sur plusieurs cycles saisonniers** : Cette approche permettra de mieux comprendre les dynamiques verticales et temporelles des populations de cyanobactéries.
3. **Gestion proactive des risques associés aux cyanobactéries et aux cyanotoxines dans l'eau potable** : Il est impératif de développer et d'appliquer des procédés de traitement appropriés pour minimiser les risques sanitaires liés à la présence de cyanotoxines.
4. **Cultures monospécifiques des cyanobactéries recensées pour l'identification des souches toxiques et le dosage des toxines** : Utilisation de techniques analytiques avancées telles que l'ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) et la

chromatographie liquide haute performance (HPLC) pour identifier les toxines et quantifier leur concentration.

5. **Identification moléculaire complémentaire des cyanobactéries** : Pour une classification taxonomique plus précise, il est recommandé de compléter l'analyse morphologique par des techniques d'identification moléculaire, telles que le séquençage de l'ADN, afin de déterminer avec exactitude les espèces présentes.

Ces recommandations visent à instaurer une gestion intégrée et efficace du barrage de Zit-Emba, garantissant ainsi une qualité optimale de l'eau et une protection durable de l'écosystème aquatique.

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

Aminot A. & R. Kérouel., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, 336 p.

Aminot A. et Chaussepied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO (édit). Brest. P : 395.

B

Belhadj, Z. Boudoukha, A et Mezedjri,L. (2011). Qualité Des Eaux De Surface et Leur Impact Sur L'environnement Dans la Wilaya de Skikda (Nord-est de l'Algérie). (Contamination Naturelle Par le Mercure). Vol.56 No.2, pp.204-211.

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

Bourrelly, P., 1985. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III : Les algues bleues et rouges. Eugléniens, Péridiniens et cryptomonadines. Société. Nouvelle des Editions Boubée, pp : 606-607.

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.

Briand E., 2008 Contribution à la compréhension du déterminisme de la mise en place des proliférations de Cyanobactéries et de leur production de toxines. Thèse de doctorat du Museum national d'histoire naturelle, Paris, 270p.

Briand J.F., Jacquet S., Flinois C., Avois-Jacquet C., Maisonnette C., Leberre B. et Humbert J.F., 2005. Variations in the microcystin production of *Planktothrix rubescens* (Cyanobacteria) assessed from a four-year survey of Lac du Bourget (France) and from laboratory experiments. *Microbial Ecology*. Volume 50, n°3, Pages 418-428.

Briand, J. F., Jacquet, S., Bernard, C., & Humbert, J. F. (2003). Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. *Veterinary research*, 34(4), 361-377.

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.

C

Chaguer, M. (2013). Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière, Cas de l'Oued Essouk. Thèse doctorat science en chimie, Université Constantine I, 130 p.

Chaib N. (2002). Contribution à l'étude écologique et hydro chimique de quelques hydro systèmes de la Numidie (Région d'El Kala et de Guerbes-Sanhadja). Mémoire de Magister. Université Badji Mokhtar, Annaba. 118 p.

Charifi, S., Merad, T., Guellati, F. Z., Touati, H & Bensouilah, M. (2019). Dynamic of Filamentous Cyanobacteria in the Dam Ain Zada (North of Algeria). *Journal of Ecological Engineering*, 20(5), 97-110.

Chiswell R.K., Shaw G.R., Eaglesham G., Smith M.J., Norris R.L., Seawright A.A. et Moore M.R., 1999. Stability of cylindrospermopsin, the toxin from the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii*: Effect of pH, temperature and sunlight on decomposition. *Environmental Toxicology*. Volume 14, n°1, Pages 155-161.

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

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

Despreaux, M. (1990). Le phosphore et l'azote dans les sédiments du fleuve Charente (France) : variations saisonnières et mobilité potentielle (Doctoral dissertation, Lyon 1).

D

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.

DUMONT V., 2006 : Etude des cyanobactéries dans la riviere Tarn-Toulouse, Centre de Ressources Technologiques en Biotechnologie, 20p.

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

Duvigneaud P. (1980). La synthèse écologique, 2èmeédition, Doin éditeurs, Paris. 380p.

DUY, T.N., P.K. LAM, G.R. SHAW et D.W. CONNELL, 2000. « Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water », *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 163, p. 113-185.

E

Eckenfelder. (1982). Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Edition Lavoisier. Paris, 503 p.

Ernst B., Dietz L., Hoeger S.J. et Dietrich D.R., 2005. Recovery of MC-LR in FishLiver Tissue. *Environmental Toxicology*. Volume 20, n°4, Pages 449-458.

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,

Fiche technique du barrage Zit Emba (ANBT).

Fujiki H., Suganuma M., Suguri H., Yoshizawa S., Takagi K., Nakayasu M., Ojika M., Yamada K., Yasumoto T., Moore R.E. et Sugimura T., 1990. New tumor promoters from marine natural products. In *Marine Toxins: origin, structure and molecular pharmacology*.

G

Gaujous, D. (1995). La pollution des milieux aquatique « aide mémoire ». 2^{ème} Ed, Edition : Technique & Documentation, Lavoisier. Paris, 271 p.

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

Goldsborough, L. G. & Robinson, G. C. (1996). Pattern in wetlands. In Stevenson, R. J., M. L. Bothwell & R. L. Lowe (eds), *Algal Ecology : Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, California : 77–117.

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.

Grosclaude G. 1999. L'eau usages et polluants, Tome I. Ed : INRA, Paris, 204p.

Guellati F Z., 2018.- Diversité, dynamique spatiotemporelle et toxicité potentielle des cyanobactéries dans deux plans d'eau (Réservoir Hammam Debagh et lac Oubeira). Thèse de Doctorat de l'Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 165 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., (2015). Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de L'aquifère Superficiel de la Plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat, Université 8 Mai 1945, p200. GUELMA.

H

Haddad, H., Ghoualem, H. (2014). Caractérisation physico-chimique des eaux du bassin hydrographique côtier Algérois. n° 18, 155-167 p. (ISSN1112-3680).

Haider S., Naithani V., Viswanathan P.N. et Kakkar P., 2003. Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern. *Chemosphere*. Volume 52, Pages 1–21.

Harke, M.J., Steffen, M.M., Gobler, C.J., Otten, T.G., Wilhelm, S.W., Wood, S.A. and Paerl, H.W., 2016. A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. *Harmful Algae*, 54, pp.4-20.

Havens K E., 2008.- Cyanobacteria blooms : Effects on aquatic ecosystems. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 619 : 733 – 747

Howarth R.W., & Marino R. (2006). Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems : evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 364-376.

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.

J

Jones G.J. et Orr P.T., 1994. Release and degradation of microcystin following algicide treatment of a *Microcystis aeruginosa* bloom in a recreational lake, as determined by HPLC and protein phosphatase inhibition assay. *Water Research*. Volume 28, n°4, Pages 871-876.

K

Kameyama K., Sugiura N., Isoda H. et Maekawa T., 2002. Effect of nitrate and phosphate concentration on production of microcystins by *Microcystis viridis* NIES-102. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*. Volume 5, Pages 443-449.

Kaya K. et Watanabe M.M., 1990. Microcystin composition of an axenic clonal strain of *Microcystis viridis* and *Microcystis viridis*–containing waterblooms in Japanese freshwaters. *Journal of Applied Phycology* . Volume 2, Pages 173-178.

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.

Leitão M, A Couté. Avril 2005. Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France. Ed AESN. Honfleur. 64p.

M

MC Bride G.B. et Rutherford J.C. (1983): Handbook on estimating dissolved oxygen depletion in polluted rivers. Water and Soil Misc Publ, Wellington 51 :1-69

Meissner S., Steinhauser D. & Dittmann E., 2014.- Metabolomic analysis indicates a pivotal role of the hepatotoxin microcystin in high light adaptation of *Microcystis*. *Environmental Microbiology*, 17: 1497 - 1509.

Misson B., 2011.- Potentiel toxique et structure génétique de population de *Microcystis* en lien avec les différentes phases de son cycle de vie. Thèse de Doctorat de l'Université Clermont-Ferrand II Blaise Pascal, France, 246 p.

N

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

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

Ngô C. et Regent A. (2004). Déchets et pollution, impact sur l'environnement et la santé. Dunod, Paris. 134

O

Organisation économique de la coopération et du développement. 1982. Eutrophisation of waters : monitoring and control. Environment Directorate. O.E.C.D. Paris. Pp : 156.

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.

Paerl, H. W., Meeks, J. C., & Haselkorn, R. (2014). Mitigating Harmful Cyanobacterial Blooms in a Human-and Climatically Impacted World. *Life*, 4, 988–1012.

Paerl, H. W., Tucker, J. et Bland, P. T. 1983. Carotenoid enhancement and its role in maintaining blue-green (*Microcystis aeruginosa*) surface blooms. *Oceanography*. 28:847-857.

Purvina, S., Béchemin, C., Balode, M., Verite, C., Arnaud, C., & Maestrini, S. Y. (2010). Release of available nitrogen from river-discharged dissolved organic matter by heterotrophic bacteria associated with the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Estonian Journal of Ecology*, 59(3), 184.

R

RAMADE F., 2002.Dictionnaire encyclopédique d'écologie et de science de l'environnement; 2eme édition DUNOD.

Rippka, R., 1988. Recognition and identification of cyanobacteria. In: *Methods in Enzymology* 167: 28-67.

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

Robarts, R. S. et Zohary, T. 1987. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater*

Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. *L'analyse de l'eau*, Ed. Dunod, 78-1368.

Sabart M., 2009. Variations spatiotemporelles dans la dynamique, la diversité génétique et le potentiel toxique de populations de *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) dans plusieurs écosystèmes aquatiques du centre de la France. These de doctorat de l'université de Savoie. Mention : « Biodiversité, écologie, environnement ». 10 pp.

S

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.

Seyni S. (2006). Contrôle environnemental de la production primaire du lac de Guiers au Nord du Sénégal. (Thèse de Doctorat de 3ème cycle de Biologie Végétale). Univ Cheik Anta Diop

Silvano J. 2005. Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages. Thèse de doctorat. Ecole nationale vétérinaire de Lyon, Lyon ,116p.

Sivonen K. & Jones G., 1999. Cyanobacterial toxins. In : Toxic cyanobacteria in water Chorus I & Bartram J (eds.), E & FN Spon, London, United Kingdom, pp 41-111.

Song L., Tomoharu S., Watanabe M., Liu Y. et Kaya K., 1998. Microcystin production of *Microcystis viridis* (cyanobacteria) under different culture conditions. Phycological Research. Volume 46, Pages 19-23.

Strunecký O., Komárek J., Johansen J., Lukešová A. & Elster J., 2013.- Molecular and morphological criteria for revision of the genus *Microcoleus* (Oscillatoriales, Cyanobacteria). *Journal of Phycology*, 49 : 1167 - 1180.

T

Tabet Hellal M.A. et Ghellal N. (2004). Caractérisation des eaux de barrage "Hamam Boughrara" (Algérie nord occidentale) destinées à la consommation humaine et à l'irrigation. Pp : 260-270.

Thomas, S. (2000). Les différents producteurs primaires d'un petit barrage tropical africain : dynamiques et interactions (Brobo, Côte d'Ivoire). (Thèse de Doctorat d'Etat), Université Paris 6.

Touati, H. (2019). Eutrophisation, cyanobactéries et cyanotoxines : identification des risques et gestion du plan d'eau Zit-Emba (Wilaya de Skikda), (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar. Annaba.

Touati, H., Guellati, F. Z., Arif, S., & Bensouilah, M. (2019). Cyanobacteria dynamics in a Mediterranean reservoir of the north east of Algeria : vertical and seasonal variability. *Journal of Ecological Engineering*, 20(1).

Treyture C.L, Jacques Barbe J., Dutartre A., 2007. Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation et d'observation du phytoplancton en plan d'eau.

Cemagref. Département milieux Aquatiques. Unité Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux, groupement de Bordeaux, pp

W

Watanabe M.F., Harada K.I., Matsuura K., Watanabe M. et Suzuki M., 1989. Heptapeptide toxin production during the batch culture of two *Microcystis* species. *Journal of Applied Phycology* . Volume 1, Pages 161-165.

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.

Z

Zerluth J. et Gienger M. (2006). L'eau et ses secrets; Nature et action de l'eau pour une eau de bonne qualité. DérIris, France. 221 p.

Les site web

1. https://www.notre-planete.info/environnement/eau/eau_qualite.php
2. https://www.inaturalist.org/guide_taxa/707293
3. <https://www.inaturalist.org/photos/4294345>
4. https://www.inaturalist.org/taxa/345787-Planktothrix/browse_photos
5. <https://seagrant.umn.edu/research/harmful-algal-blooms>

Annexes

Tableau 2: Valeurs guides retenues par l’OMS (OMS, 2003) pour la qualité des eaux de baignades

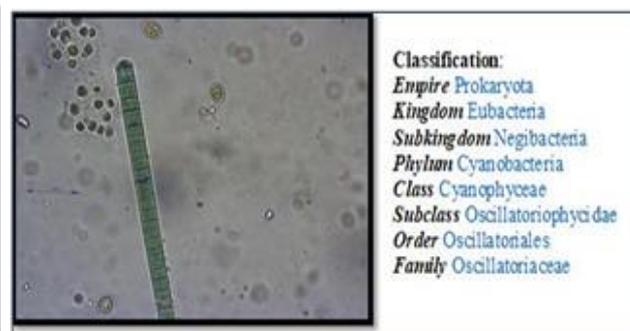
	Valeur limite Eaux superficielles	Valeur limite Eau potable
T (°C)	25	25
Ph	9	9
DO (mg/L)	8	8
Cond (µS/cm)	3000	3000
NH4-N (mg/L)	4	0.5
NO2-N (mg/L)	0,2	0,2
NO3-N (mg/L)	50	50
PO4-P (mg/L)	10	5
MES (mg/L)	25	25
Chl-a (µg/L)	50	10
DC (cells/mL)	200-20000-100000	200- 2000



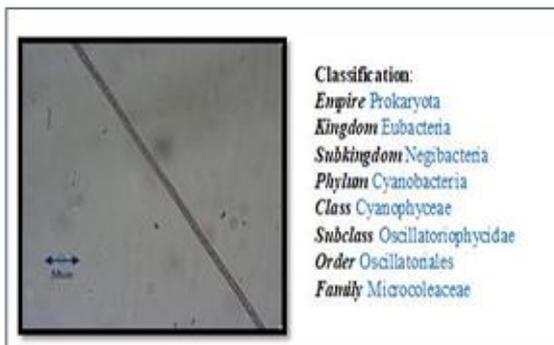
Le genre Dolichospermum (Algabase, 2014)



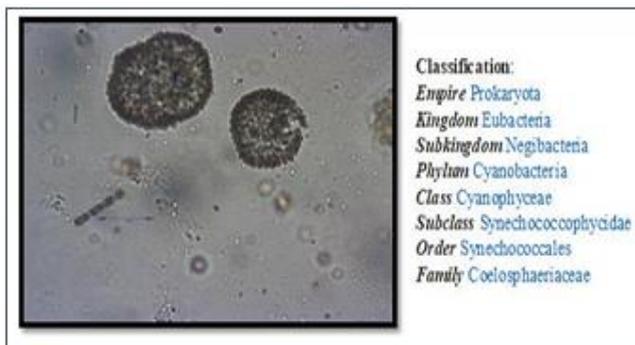
Le genre Planktothrix (Algabase, 2014)



Le genre Woronichinia (Algabase, 2014)



Le genre Microcystis (Algabase, 2014)



Le genre Oscillatoria (Algabase, 2014)

