



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 الشاذلي بن جديد - الطارف
Université Chadli Bendjedid – El Tarf

كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الكيمياء
Département de Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie Analytique

Comportement de certains polluants organiques dans les eaux du lac des Oiseaux, région d'El Tarf (Nord-Est algérien)

Présenté par :

BERREDJEM Lina

Devant le Jury :

Dr OTMANE RACHEDI Khadidja	MCB	Univ Chadli Bendjedid El Tarf	Président
Dr SASSANE Amina	MCA	Univ Chadli Bendjedid El Tarf	Encadrant
Dr AITE BARA Adel	MCA	Univ Chadli Bendjedid El Tarf	Examineur
Dr BELIDI Wafa	MCB	Univ Chadli Bendjedid El Tarf	Co-encadreur

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer tout particulièrement mes sincères remerciements à Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance à :

***Mon encadrante, Dr. SASSANE Amina** pour son apport considérable, sa disponibilité, sa patience ainsi que pour ses précieuses orientations scientifiques tout au long de la réalisation de ce travail.*

***ET Dr. Mme BILIDI Wafa co-encadrante.**, pour ses conseils avisés et ses encouragements permanents.*

*Remerciements et profonde gratitude vont également aux membres du jury. J'exprime ainsi toute ma reconnaissance au **Dr. AITBARA Adel**, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury et au **Dr. OTMANE RACHEDI Khadidja**, qui a également accepté d'examiner ce mémoire. Veuillez trouver ici le témoignage de tout mon respect et de ma sincère reconnaissance.*

***Tous les enseignants du département de chimie**, pour les efforts remarquables qu'ils ont déployés durant notre formation.*

*J'adresse mes sincères remerciements au **Pr. TLAILIA Salah** et **Dr. ZAIDI Rauf BOUDINA**, et **Dr. TOUMI Abir** qui, par leur aide, leur soutien et leur gentillesse lors de la réalisation de la partie pratique au Laboratoire, d'Agronomie et Fonctionnement des écosystèmes (Université Chadli Bendjedid-El Tarf) ont contribué au bon déroulement de la partie pratique de ce travail tout au long de mon stage.*

Un grand merci à ma chère mère, à mon père, à mes frères et à mes sœurs pour leur soutien inconditionnel, leur confiance et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

Je remercie également mes amies pour leur soutien moral, leur présence et leurs remarques constructives qui ont enrichi ma réflexion.

Enfin, j'adresse ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration et à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Avec joie et plaisir, fierté et respect, je dédie ce travail

A Ma Mère pour son amour et son soutien chaleureux dont elle m'a entouré, son sacrifice, pour l'éducation qu'elle m'a donnée

A mon père pour son courage dont il m'a comblé durant mes études et que dieux les bénisse et les garde sous sa miséricorde

A Mes chers frère et sœurs

A Mes chers nièces et neveux

Pour leurs soutiens et leurs sacrifices que dieux les garde pour nous

A Mon cher mari

Pour ses encouragements, son soutien et ses conseils précieux tout au long de mes études

A toute la famille chaque son nom

A tous mes amies et mes collègues de cette promotion

A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail, a tous ceux que j'ai omis de citer

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite

RESUME

Les zones humides constituent des écosystèmes d'une grande importance écologique en raison de leur rôle dans le maintien de la biodiversité et la régulation des équilibres environnementaux. Cependant, ces milieux sont de plus en plus exposés aux pressions anthropiques susceptibles d'altérer la qualité de leurs eaux. Dans ce contexte, la présente étude a été réalisée au niveau du Lac des Oiseaux, site Ramsar situé dans la région d'El Tarf (Nord-Est algérien), dans le but d'évaluer le comportement de certains polluants organiques dans les eaux du lac. Pour ce faire, plusieurs campagnes d'échantillonnage ont été effectuées entre mars et mai au niveau de différentes stations. Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques, les éléments nutritifs, certains métaux lourds ainsi que les indicateurs microbiologiques. Les résultats obtenus ont mis en évidence une variabilité spatiale et temporelle des paramètres étudiés. Les teneurs enregistrées en nitrates, nitrites, ammonium et phosphates traduisent un enrichissement nutritif du milieu pouvant favoriser les phénomènes d'eutrophisation. Les analyses microbiologiques ont révélé la présence d'*Escherichia coli* dans certaines stations, indiquant une contamination fécale localisée. L'analyse en composantes principales (ACP), réalisée à l'aide du logiciel R, a permis de mettre en évidence les principaux facteurs contrôlant la qualité des eaux, notamment l'eutrophisation et la minéralisation. Les résultats montrent que le Lac des Oiseaux demeure un écosystème sensible soumis à l'influence des activités humaines environnantes, ce qui nécessite un suivi régulier afin d'assurer sa préservation et la protection de sa biodiversité.

Mots-clés : Lac des Oiseaux, qualité des eaux, zone humide, paramètres physico-chimiques, éléments nutritifs, ACP, Eutrophisation.

ABSTRACT

Wetlands are ecosystems of great ecological importance due to their role in maintaining biodiversity and regulating environmental balance. However, these environments are increasingly exposed to anthropogenic pressures that may affect water quality. In this context, the present study was conducted at **Lake of Birds (Lac des Oiseaux)**, a Ramsar site located in the El Tarf region (Northeastern Algeria), with the aim of evaluating the behavior of certain organic pollutants in the lake waters. To achieve this objective, several sampling campaigns were carried out between March and May at different monitoring stations. The analyses focused on physicochemical parameters, nutrients, selected heavy metals, and microbiological indicators. The results revealed both spatial and temporal variability in the studied parameters. The recorded concentrations of nitrates, nitrites, ammonium, and phosphates indicate nutrient enrichment of the environment, which may promote eutrophication processes. Microbiological analyses detected the presence of *Escherichia coli* at certain stations, indicating localized fecal contamination. Principal Component Analysis (PCA), performed using R software, highlighted the main factors controlling water quality, particularly eutrophication and mineralization processes. The findings show that Lake of Birds remains a sensitive ecosystem influenced by surrounding human activities, emphasizing the need for regular monitoring to ensure its conservation and the protection of its biodiversity.

Keywords: Lake of Birds (Lac des Oiseaux), water quality, wetland, physicochemical parameters, nutrients, PCA, eutrophication.

الملخص

تُعدّ المناطق الرطبة من النظم البيئية ذات الأهمية الإيكولوجية الكبيرة نظرًا لدورها في الحفاظ على التنوع البيولوجي وتنظيم التوازنات البيئية. غير أن هذه الأوساط أصبحت تتعرض بشكل متزايد للضغوط البشرية التي قد تؤثر سلبًا في جودة مياهها. وفي هذا السياق، أنجزت هذه الدراسة على مستوى بحيرة الطيور (Lac des Oiseaux) ، وهي موقع مصنف ضمن اتفاقية اتفاقية رامسار، وتقع في منطقة الطارف (شمال شرق الجزائر)، بهدف تقييم سلوك بعض الملوثات العضوية في مياه البحيرة. ولتحقيق هذا الهدف، أُجريت عدة حملات لأخذ العينات خلال الفترة الممتدة من شهر مارس إلى شهر مايو على مستوى محطات مختلفة. وشملت التحاليل دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، والعناصر الغذائية، وبعض المعادن الثقيلة، إضافة إلى المؤشرات الميكروبيولوجية. أظهرت النتائج وجود تباين مكاني وزماني في المعايير المدروسة. كما بينت تراكيز النترات والنترت والأمونيوم والفوسفات وجود إثراء غذائي للوسط المائي، وهو ما قد يساهم في حدوث ظاهرة التخثث (الإثراء الغذائي المفرط). وكشفت التحاليل الميكروبيولوجية عن وجود بكتيريا *Escherichia coli* في بعض المحطات، مما يدل على وجود تلوث برازي موضعي. كما سمح تحليل المكونات الرئيسية (PCA) ، المنجز باستعمال برنامج R ، بإبراز العوامل الرئيسية المتحكم في جودة المياه، ولا سيما ظاهرتي التخثث والتمعدن. وتُظهر النتائج أن بحيرة الطيور ما تزال نظامًا بيئيًا حساسًا يتأثر بالأنشطة البشرية المحيطة، الأمر الذي يستدعي المراقبة الدورية والمستمرة لضمان المحافظة عليها وحماية تنوعها البيولوجي.

الكلمات المفتاحية : بحيرة الطيور، جودة المياه، منطقة رطبة، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، العناصر الغذائية، تحليل المكونات الرئيسية (PCA) ، التخثث.

Liste des Abréviations

mg/l: milligramme par litre

µg/l: microgramme par litre

>: Supérieur

= : égal

°C : degré Celsius

T : Température

pH : potentiel d'hydrogène

CE : conductivité électrique

OS : Oxygène dissout

NO₃⁻ : Nitrate

NO₂⁻ : Nitrite

NH₄⁺ : Ammonium

PO₄³⁺ : Phosphate

Pb: Plomb

Cu: Cuivre

PNEK: Parc National d'EL kala

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Le complexe de zones humides de la Numidie orientale (Houhamdi, 2002).	15
02	Situation géographique de la commune Lac des Oiseaux (DSA El-Tarf, 2010)	17
03	Situation géographique de la réserve naturelle « Lac des Oiseaux »	19
04	Carte d'occupation des sols de la willaya d'El-Tarf (DIAF I, 2019)	22
05	Pollution observée au niveau du Lac des Oiseaux (photographie personnelle, mai 2026).	23
06	Situation géographique du Lac des Oiseaux et localisation des stations d'échantillonnage	25
07	Multi-paramètre HQ4300 (Photos personnelle, 2026).	27
08	Mesure par le multi-paramètre du terrain (Photos personnelle, 2026).	27
09	Auto-analyseur SAN++ System utilisé pour les analyses chimiques (Photo personnelle, 2026).	28
10	Spectrophotomètre BK-UV1600G/V1600G utilisé pour le dosage de l'ammonium (Photo personnelle, 2026).	29
11	Spectromètre d'absorption atomique à flamme SHIMADZU AA-6200 (Photo personnelle, 2026).	29
12	Technique de filtration sur membrane (Photos personnelle, 2026).	30
13	Variation spatiale et temporelle du pH des eaux du Lac des Oiseaux.	33
14	Variation spatiale et temporelle de la température des eaux du Lac des Oiseaux	34

15	Variation spatiale et temporelle de la conductivité électrique des eaux du Lac des Oiseaux	34
16	Variation spatiale et temporelle de la turbidité des eaux du Lac des Oiseaux	35
17	Variation spatiale et temporelle de la salinité des eaux du Lac des Oiseaux	36
18	Variation spatiale et temporelle de l'oxygène dissous des eaux du Lac des Oiseaux	36
19	Variation spatiale et temporelle des concentrations en nitrates (NO_3^-) dans les eaux du Lac des Oiseaux.	37
20	Variation spatiale et temporelle des concentrations en nitrites (NO_2^-) dans les eaux du Lac des Oiseaux	38
21	Variation spatiale et temporelle des concentrations en phosphates (PO_4^{3-}) dans les eaux du Lac des Oiseaux	38
22	Variation spatiale et temporelle des concentrations en ammonium (NH_4^+) dans les eaux du Lac des Oiseaux.	39
23	Variation spatiale et temporelle des concentrations en cuivre (Cu) dans les eaux du Lac des Oiseaux	40
24	Variation spatiale et temporelle des concentrations en plomb (Pb) dans les eaux du Lac des Oiseaux	40
25	Les variations de profondeur	41
26	Isolement sur milieu Chapman (<i>Staphylococcus spp.</i>)	42
27	Isolement sur milieu TTC-Tergitol (<i>Escherichia coli</i>)	42
28	Biplot ACP montrant la distribution des stations d'échantillonnage et des paramètres physico-chimiques sur les axes F1 et F2.	43
29	Cercle des corrélations des paramètres physico-chimiques et nutritifs sur le plan factoriel F1–F2 de l'ACP	45

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Critères d'interprétation des principaux paramètres physico-chimiques des eaux de surface (adapté de Rodier et <i>al.</i> , 2009 ; Wetzel, 2001 ; Chapman, 1996).	31
2	Valeurs guides des concentrations en métaux lourds dans les eaux de surface selon la Directive européenne (Débièche, 2002).	32

Sommaire

Remerciements	I
Dedicace.....	II
Resume.....	III
Abstract.....	IV
المخلص.....	V
Liste des abreviations.....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	VIII

Partie Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur l'eau et la pollution des milieux aquatiques

I.1. L'eau	03
I.2. Les différents états de l'eau	03
I.2.1. État solide.....	03
I.2.2. État liquide	04
I.2.3. État gazeux.....	04
I.3. Cycle de l'eau	05
I.4. Les différents types d'eaux.....	05
I.4.1. Les eaux souterraines.....	05
I.4.2. Les eaux de surface.....	06
I.4.2.1. Types des eaux de surface.....	06
I.4.2.1.1. Le ruisseau.....	06
I.4.2.1.2. L'oued.....	06
I.4.2.1.3. Le fleuve.....	06
I.4.2.1.5. Le lac.....	07
I.4.2.2. Caractéristiques des eaux de surface.....	07
I.5. Pollution de l'eau.....	07
I.6. Modes de pollution.....	08
I.6.1. Pollution ponctuelle.....	08

I.6.2. Pollution diffuse.....	08
I.7. Types de pollution des eaux.....	08
I.7.1. Pollution organique.....	08
I.7.2. Pollution chimique.....	08
I.7.3. Pollution physique.....	09
I.7.4. Pollution biologique.....	09
I.8. Polluants organiques dans les milieux aquatiques.....	09
I.8.1. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	09
I.8.2. Les polychlorobiphényles (PCB).....	10
I.8.3. Les pesticides organiques.....	10
I.9. Comportement des polluants organiques dans les milieux aquatiques.....	10
I.10. Impacts de la pollution sur l'environnement et la santé humaine.....	11
I.10.1. Impacts sur la santé humaine.....	11
I.10.2. Impacts sur l'environnement.....	11
I.10.3. Impacts sur la biodiversité.....	11

Chapitre II : Présentation générale de la zone d'étude : le Lac des Oiseaux

II. Introduction.....	12
II.1. Contexte géographique et écologique de la Numidie orientale.....	12
II.2. Les zones humides.....	13
II.2.1. Définition.....	13
II.2 .2. Importance écologique et fonctions des zones humides.....	14
II.2 .2.1. Fonction hydrologique.....	14
II.2.2.2. Epuration naturelle.....	14
II.2.2.3. Biodiversité.....	14
II.2.2.4. Les fonctions climatiques.....	14
II.2.2.5. Stabilisation et protection des sols.....	15
II.2.2.6. Aspects paysagers et touristiques	15
II3 .Les principaux sites humides de la Numidie oriental.....	15
II.3.1. Marais de la Mékhada.....	15
II.3.2. Le Marais de Bourdim.....	16
II.3.3. Lac Oubeïra	16
II.3.4. Lac Tonga	16

II.3.5. Lac Mellah	16
II.4. Présentation de la zone d'étude « Lac des Oiseaux ».....	17
II.4.1. Situation géographique de la commune du Lac des Oiseaux.....	17
II.4.2. Relief général de la commune.....	18
II.4.3. Caractéristiques climatiques de la région.....	18
II.4.4. Activités anthropiques.....	18
II.4.5. Le Lac des Oiseaux (Site Ramsar 1999).....	18
II.5. Caractéristiques climatiques de la région.....	19
II.5.1. Flore remarquable.....	19
II.5.2. Faune remarquable.....	20
II.5.2.1. L'avifaune.....	20
II.5.2.2. Vertébrés.....	21
II.5.2.3. L'entomofaune.....	21
II.6. L'agrosystème Lac des Oiseaux.....	21
II.6.1. Le pâturage.....	21
II.6.2. Le développement urbain.....	22
II.7. Potentiel de pollution du Lac des Oiseaux.....	23
Conclusion	24

Partie Expérimentale

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction.....	25
III.1. Échantillonnage.....	25
III.1.1. Stations de prélèvement.....	25
III.1.2. Matériels d'échantillonnages.....	25
III.1.3. Mode de prélèvement.....	26
III.2. Analyses physico-chimiques.....	26
III.2.1. Paramètres mesurés in situ.....	26
III.2.2. Paramètres analysés au laboratoire.....	28
A. Dosage des nitrates, nitrites et phosphates.....	28
B. Dosage de l'ammonium.....	28
III.3. Dosage des métaux lourds.....	29
III.3.1. Appareillage.....	29

III.4. Analyses microbiologiques.....	30
III.4.1 Dénombrement des germes totaux (ISO 6222).....	30
III.4.2 Recherche de coliformes totaux et thermotolérants (ISO 9308).....	31
III.5. Référentiels et normes d'évaluation de la qualité des eaux.....	31
Conclusion	32

IV. Résultats et Discussion

Introduction.....	33
IV.1. Paramètres physico-chimiques.....	33
A. Le PH.....	33
B. Température	33
C. La conductivité électrique.....	34
D. Turidité (FNU).....	35
E. La salinité.....	35
F. L'oxygène dissous	36
IV.2. Dynamique des nutriments dans les eaux du Lac des Oiseaux.....	37
A. Nitrates (NO_3^-).....	37
B. Nitrites (NO_2^-).....	37
C. Phosphates (PO_4^{3-}).....	38
D. Ammonium (NH_4^+).....	39
IV.3. Contamination métallique des eaux.....	39
A. Cuivre (Cu).....	39
B. Plomb (Pb).....	40
IV.4. Profondeur.....	41
F. Résultats des analyses microbiologiques.....	41
IV.5. Analyse multivariée des paramètres physico-chimiques par ACP.....	42
Conclusion.....	46
Conclusion générale et Perspectives	47
Référence bibliographique.....	
Annexe.....	

Introduction

Introduction générale

L'altération des milieux naturels, en particulier les écosystèmes aquatiques de surface, constitue aujourd'hui une préoccupation majeure à l'échelle mondiale. La dégradation de la qualité des eaux, liée à l'intensification des activités humaines, représente un risque croissant pour la disponibilité et la durabilité des ressources en eau, notamment dans les régions soumises à une forte pression anthropique (**UNESCO., 2023**).

En Algérie, la croissance démographique et le développement des activités agricoles et urbaines ont entraîné une augmentation significative des rejets de différentes natures dans les milieux aquatiques. Ces apports, souvent non traités ou insuffisamment contrôlés, contribuent à la pollution progressive des eaux de surface et à la perturbation des équilibres écologiques des écosystèmes aquatiques (**Kherici & Remini, 2007 ; UNESCO, 2023**).

Dans ce contexte, les zones humides jouent un rôle écologique fondamental en assurant des fonctions hydrologiques, biologiques et épuratrices. Le Lac des Oiseaux, situé dans le Nord-Est algérien et classé site **Ramsar**, constitue un écosystème fragile soumis à diverses pressions d'origine naturelle et anthropique. Ce milieu reçoit directement les apports du bassin versant, notamment les rejets agricoles, domestiques et les activités d'élevage, ce qui peut influencer la qualité de ses eaux. (**Convention de Ramsar, 2016 ; Samraoui & De Belair, 1998**).

La présente étude s'inscrit dans cette problématique et vise à évaluer la qualité des eaux du Lac des Oiseaux à travers l'analyse de paramètres physico-chimiques, chimiques et microbiologiques. Elle a également pour objectif d'identifier les principales sources de pollution et de comprendre le comportement de certains éléments nutritifs et polluants au sein de cet écosystème.

Afin d'atteindre ces objectifs, une approche méthodologique combinant échantillonnage sur plusieurs stations, analyses de laboratoire et traitement statistique des données a été adoptée. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel R, utilisé pour la réalisation des analyses exploratoires, notamment les **boxplots**, ainsi que pour l'analyse multivariée par Analyse en Composantes Principales (**ACP**). Par ailleurs, l'utilisation d'outils géomatiques tels que les systèmes d'information géographique (**SIG**) a permis d'améliorer la représentation spatiale des stations d'échantillonnage.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- ✚ Le premier chapitre présent des généralités sur l'eau et la pollution des milieux aquatiques ;
- ✚ Le deuxième chapitre est présentation générale de la zone d'étude le Lac des Oiseaux ;
- ✚ Le troisième chapitre décrit les matériels et méthodes utilisés dans le cadre de cette étude ;
- ✚ Le quatrième chapitre est consacré aux résultats et à leur discussion ;
- ✚ Enfin, une conclusion générale synthétise les principaux résultats et perspectives.

Partie

Bibliographique

Chapitre I
Généralités sur l'eau et la
pollution des milieux
aquatiques

Chapitre I : Généralités sur l'eau et la pollution des milieux aquatiques**I.1. L'eau**

L'eau est une molécule chimique constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, de formule chimique H_2O . Elle représente une ressource naturelle indispensable à la vie et constitue l'un des principaux composants des écosystèmes terrestres et aquatiques. À température ambiante, l'eau est un liquide incolore, inodore et insipide possédant des propriétés physicochimiques particulières telles qu'un fort pouvoir dissolvant, une grande capacité thermique et une tension superficielle élevée (**Chaplin, M. 2023**).

L'eau joue un rôle fondamental dans de nombreux processus biologiques, chimiques et géologiques. Elle intervient dans le transport des nutriments, la régulation thermique des organismes vivants ainsi que dans le maintien des équilibres écologiques. Elle constitue également une ressource essentielle pour les activités humaines telles que l'alimentation, l'agriculture, l'industrie et la production énergétique (**McDonald, 1988**).

Par ailleurs, l'eau agit comme un vecteur de transport des substances polluantes. Les contaminants peuvent être dissous dans l'eau, adsorbés sur les particules en suspension ou accumulés dans les sédiments et les organismes aquatiques. Les ressources hydriques représentent ainsi des milieux particulièrement sensibles aux différentes formes de pollution.

I.2. Les différents états de l'eau

L'eau existe naturellement sous trois états physiques : solide, liquide et gazeux. Les changements d'état dépendent principalement de la température et de la pression atmosphérique. Cette capacité de transition joue un rôle essentiel dans le cycle hydrologique et dans la régulation climatique (**Dingman, 2015**).

I.2.1. État solide

L'eau se présente à l'état solide lorsque la température devient inférieure à 0 °C sous pression atmosphérique normale. Elle forme alors la glace, la neige, le givre ainsi que les glaciers et les calottes polaires. Ces réservoirs représentent une importante réserve d'eau douce à l'échelle mondiale (**Shiklomanov, 1993**).

Les glaciers et les calottes glaciaires jouent un rôle majeur dans la régulation du climat et dans l'alimentation de certains cours d'eau. Ils constituent également des indicateurs sensibles des changements climatiques **(Merouani et Bouguedah, 2013)**.

La fonte accélérée des glaciers liée au réchauffement climatique peut entraîner des modifications importantes du cycle de l'eau et perturber les équilibres écologiques.

I.2.2. État liquide

L'état liquide représente la forme la plus abondante de l'eau à la surface de la Terre. Les océans et les mers constituent les principaux réservoirs d'eau liquide et renferment environ 97 % des ressources hydriques mondiales sous forme d'eau salée **(Shiklomanov, 1993)**. .

Les eaux douces se trouvent principalement dans les lacs, les rivières, les barrages et les nappes souterraines. Bien qu'elles représentent une faible proportion de l'eau totale disponible sur Terre, elles constituent la principale source d'approvisionnement pour les besoins humains et les activités biologiques **(Graini, 2011)**.

Les eaux de surface, notamment les lacs, sont particulièrement vulnérables à la contamination par les polluants organiques provenant des activités domestiques, industrielles et agricoles.

I.2.3. État gazeux

Dans l'atmosphère, l'eau est présente sous forme de vapeur d'eau. Cette vapeur résulte principalement de l'évaporation des océans, des mers, des lacs et de la transpiration des végétaux **(Gleick, Shiklomanov, 1993)**.

Bien que la quantité d'eau présente dans l'atmosphère soit relativement faible, elle joue un rôle essentiel dans la formation des nuages, les précipitations et les phénomènes météorologiques **(Merouani et Bouguedah, 2013)**.

La vapeur d'eau participe également au transport atmosphérique de certains polluants volatils.

I.3. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau, également appelé cycle hydrologique, correspond à la circulation continue de l'eau entre les océans, l'atmosphère, les continents et les organismes vivants. Ce phénomène naturel est assuré par plusieurs processus tels que l'évaporation, la condensation, les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration (**Dingman, 2015**).

- Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau des mers, des océans, des lacs et des rivières s'évapore vers l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Cette vapeur se condense ensuite pour former des nuages, puis retombe sous forme de précipitations.

Une partie des eaux de pluie ruisselle à la surface du sol et alimente les cours d'eau et les lacs, tandis qu'une autre partie s'infiltré dans le sol afin d'alimenter les nappes souterraines. La végétation participe également au cycle hydrologique par le phénomène d'évapotranspiration.

Le cycle hydrologique assure le renouvellement des ressources en eau et participe au transport naturel de différentes substances chimiques dans l'environnement (**Maiga Fatoumat Sokona, 2002**).

Le cycle de l'eau intervient également dans la dispersion des polluants organiques entre les sols, les eaux de surface, les eaux souterraines et l'atmosphère

I.4. Les différents types d'eaux

Les ressources en eau naturelles se répartissent principalement en deux grandes catégories : les eaux souterraines et les eaux de surface (**Freeze & Cherry, 1979 ; Chow et al., 1988**).

I.4.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent principalement de l'infiltration des eaux de pluie à travers les couches du sol et des roches perméables. Elles s'accumulent dans des réservoirs naturels appelés nappes phréatiques (**Freeze & Cherry, 1979 ; Chow et al., 1988**).

Ces eaux sont généralement plus minéralisées et moins exposées aux contaminations directes que les eaux de surface. Cependant, elles peuvent être affectées par certaines

pollutions d'origine agricole, industrielle ou domestique. Les eaux souterraines constituent une importante source d'approvisionnement en eau potable et jouent un rôle majeur dans l'alimentation des sources et des cours d'eau (**Freeze & Cherry, 1979 ; Chow et al., 1988**).

I.4.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface correspondent aux eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles comprennent les rivières, les fleuves, les lacs, les barrages, les oueds et les zones humides.

Ces eaux proviennent soit des précipitations et du ruissellement, soit des émergences des nappes souterraines. Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et en matière organique.

Les eaux de surface sont particulièrement sensibles aux différentes formes de pollution, notamment les nitrates, les pesticides, les hydrocarbures et les rejets domestiques et industriels (**Cadot, 1990**).

I.4.2.1. Types des eaux de surface

I.4.2.1.1. Le ruisseau

Le ruisseau est un petit cours d'eau peu profond alimenté principalement par les eaux de ruissellement et les sources.

I.4.2.1.2. L'oued

L'oued est un cours d'eau temporaire caractéristique des régions arides et semi-arides. Son écoulement dépend généralement des précipitations saisonnières.

I.4.2.1.3. Le fleuve

Le fleuve est un cours d'eau important qui se jette dans la mer ou l'océan.

I.4.2.1.4. La rivière

La rivière est un cours d'eau qui se jette dans un autre cours d'eau appelé fleuve ou rivière principale. (**Meybeck, et al ., 1998**).

I.4.2.1.5. Le lac

Le lac est une étendue naturelle d'eau douce ou salée située à l'intérieur des terres. Les lacs représentent des écosystèmes aquatiques sensibles aux perturbations environnementales et à l'accumulation des polluants.

I.4.2.2. Caractéristiques des eaux de surface

Les eaux de surface se caractérisent par une teneur variable en matières en suspension d'origine :

- minérale (argiles, limons) ;
- végétale (algues, phytoplancton, débris végétaux) ;
- animale (zooplancton) ;
- anthropique (déchets solides, plastiques).

Elles sont particulièrement exposées à différentes sources de pollution telles que :

- les rejets domestiques ;
- les effluents industriels ;
- les activités agricoles ;
- les eaux de ruissellement ;
- les décharges sauvages.

Les eaux de surface peuvent également présenter des modifications de goût, d'odeur et de couleur liées à la présence d'algues, de matières organiques ou de particules minérales (Daoudi et *al.*, 2020).

I.5. Pollution de l'eau

La pollution de l'eau correspond à toute modification physique, chimique, biologique ou bactériologique des caractéristiques naturelles de l'eau provoquée principalement par les activités humaines.

Cette pollution perturbe les équilibres écologiques des milieux aquatiques, affecte la qualité des ressources hydriques et représente un danger pour la santé humaine et la biodiversité (Mekakia, 2001).

Les principales sources de pollution des eaux sont les rejets domestiques, industriels, agricoles ainsi que certaines activités urbaines.

I.6. Modes de pollution

Selon l'origine et le mode de transfert des contaminants vers les milieux aquatiques, deux principaux types de pollution peuvent être distingués.

I.6.1. Pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle résulte de rejets localisés et facilement identifiables. Elle peut être chronique ou accidentelle et provient généralement des rejets industriels, urbains ou domestiques.

I.6.2. Pollution diffuse

La pollution diffuse est liée principalement au lessivage des sols et au ruissellement des eaux de pluie transportant divers contaminants tels que les pesticides, les hydrocarbures, les métaux lourds et les engrais agricoles.

Ce type de pollution peut affecter de vastes surfaces et demeure difficile à identifier et à maîtriser.

I.7. Types de pollution des eaux

I.7.1. Pollution organique

La pollution organique provient principalement des déchets domestiques, agricoles et industriels riches en matières organiques biodégradables.

Cette pollution entraîne une consommation importante de l'oxygène dissous nécessaire à la survie des organismes aquatiques.

I.7.2. Pollution chimique

La pollution chimique est causée par la présence de substances chimiques organiques et minérales dans les milieux aquatiques.

Elle regroupe notamment :

- les métaux lourds ;
- les solvants ;
- les pesticides ;
- les hydrocarbures ;
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- les polychlorobiphényles (PCB) ;
- les produits pharmaceutiques.

I.7.3. Pollution physique

La pollution physique résulte principalement de l'introduction de matières solides, de variations thermiques ou de substances radioactives dans les milieux aquatiques.

I.7.4. Pollution biologique

La pollution biologique est liée à la présence de microorganismes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les parasites provenant principalement des eaux usées et des rejets hospitaliers.

I.8. Polluants organiques dans les milieux aquatiques

Les polluants organiques constituent une catégorie importante de contaminants présents dans les milieux aquatiques. Ils proviennent principalement des activités industrielles, agricoles et urbaines.

Certains polluants organiques sont caractérisés par leur toxicité, leur persistance et leur capacité de bioaccumulation dans les organismes vivants.

I.8.1. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAP proviennent principalement de la combustion incomplète des matières organiques, des activités industrielles et des produits pétroliers.

Ces composés présentent une forte toxicité et certains possèdent des propriétés cancérogènes.

I.8.2. Les polychlorobiphényles (PCB)

Les PCB sont des composés organiques chlorés utilisés autrefois dans les transformateurs électriques et certaines applications industrielles.

Malgré leur interdiction dans plusieurs pays, ces substances persistent longtemps dans l'environnement en raison de leur grande stabilité chimique.

I.8.3. Les pesticides organiques

Les pesticides organiques sont largement utilisés dans les activités agricoles afin de lutter contre les ravageurs et les mauvaises herbes.

Le lessivage des sols agricoles favorise leur transfert vers les eaux de surface et les nappes souterraines.

I.9. Comportement des polluants organiques dans les milieux aquatiques

Dans les milieux aquatiques, les polluants organiques peuvent subir différents phénomènes physicochimiques et biologiques.

Ils peuvent être :

- dissous dans l'eau
- adsorbés sur les matières en suspension
- accumulés dans les sédiments
- dégradés par des microorganismes
- transférés vers les organismes aquatiques.

Certains polluants présentent une forte persistance environnementale et une capacité importante de bioaccumulation dans les chaînes trophiques.

Le comportement des polluants organiques dépend de plusieurs facteurs tels que :

- la température ;
- le pH ;
- la teneur en matière organique ;

- la salinité ;
- les caractéristiques physicochimiques des contaminants.

Ces phénomènes influencent directement la dispersion, la toxicité et l'impact écologique des polluants dans les écosystèmes aquatiques.

I.10. Impacts de la pollution sur l'environnement et la santé humaine

I.10.1. Impacts sur la santé humaine

La mauvaise qualité de l'eau est responsable de nombreuses maladies hydriques telles que le choléra, la typhoïde, la dysenterie et les gastroentérites.

La contamination des ressources hydriques par des substances chimiques ou biologiques représente un risque majeur pour la santé humaine, notamment dans les pays en développement.

I.10.2. Impacts sur l'environnement

La pollution des eaux peut entraîner plusieurs perturbations environnementales telles que :

- la diminution de l'oxygène dissous ;
- la prolifération des algues ;
- l'eutrophisation des milieux aquatiques ;
- la mortalité des organismes aquatiques ;
- la modification des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau.

I.10.3. Impacts sur la biodiversité

La contamination des milieux aquatiques provoque une diminution de la biodiversité et menace de nombreuses espèces animales et végétales.

Les polluants organiques persistants peuvent s'accumuler dans les chaînes alimentaires et perturber durablement les écosystèmes aquatiques. **(Ashraf, 2017 ; Li et al., 2019)**

Chapitre II
Présentation générale de la
zone d'étude : le Lac des
Oiseaux

Chapitre II : Présentation générale de la zone d'étude : le Lac des Oiseaux**II. Introduction**

Le Lac des Oiseaux constitue un écosystème humide d'intérêt écologique majeur dans la région d'El-Tarf. Cette partie est consacrée à la présentation de ses caractéristiques générales, notamment son cadre géographique, climatique, biotique et socio-économique. Elle permet de décrire les principaux facteurs naturels et anthropiques influençant le fonctionnement de ce milieu, en vue de mieux appréhender le comportement des polluants organiques dans ses eaux.

II.1. Contexte géographique et écologique de la Numidie orientale

La position géographique de l'Algérie, sa configuration physique et la diversité de son climat lui confèrent une importante richesse de zones humides (**Metallaoui, 2010**). La Numidie du Nord-Est algérien, est divisée en deux grands complexes séparés par l'Oued Seybouse :

La Numidie occidentale représentée par le complexe des zones humides de la plaine de Guerbes-Sanhadja. Ce complexe est une grande plaine littorale d'une superficie de 42100 ha bordée à l'ouest par les collines côtières de Skikda et à l'Est par le massif forestier côtier de Chetaïbi. Le massif dunaire continental de la plaine de Gerbes-Sanhadja est le réservoir hydrique d'environ 40 hectomètres cubes, qui génère une multitude de dépressions et de vallées formant lacs et Garaet (**Joleaud, 1936**), de quelques hectares de superficie à plusieurs dizaines d'hectares.

Le caractère remarquable de la flore et de la faune de cette région a pour origine : la diversité géomorphologique et son emplacement en un carrefour climatique, entraînant une richesse élevée de la biodiversité (**DGF, 2004**).

La Numidie orientale composée des complexes d'Annaba et d'El Kala est délimitée à l'Est par les frontières algéro-tunisiennes et par l'Oued Seybouse dans sa partie occidentale ayant comme limite septentrionale la Méditerranée et comme limite méridionale les collines de l'Atlas tellien (**Samraoui et De Belair, 1997**). Cette région de l'Algérie renferme un grand nombre de sites humides exceptionnels possédant une grande diversité des écosystèmes marins, lacustre et forestières caractérisés par une richesse animal et végétale élevée.

Cette région de l'Algérie renferme un grand nombre de sites humides exceptionnels au Maghreb par leurs dimensions et notamment par leur diversité (**profondeur et salinité**) (**Van**

Dijk et Ledant, 1980). Cette diversité des écosystèmes marins, lacustre et forestiers renferme une richesse animale et végétale élevée. La superficie de 76438 ha de cette région jouit d'une protection légale (décret N° 83458) et depuis le 23 juillet 1983 sous le nom de parc national d'EL-Kala (**PNEK**). Le Lac des Oiseaux et le Marais de la Mékhada ont été érigés d'un classement **Ramsar en avril 1999**.

Les zones humides de la Numidie orientale occupent une superficie de 156000 ha et constituent le complexe humide le plus diversifié de l'Algérie (Figure 1). Elles sont constitué principalement de :

- Deux marais, le marais de Mekhada (10000 ha) et le marais de Bourdim (25 ha).
- Un lac endoréique ouvert le Lac Oubeira (2600 ha).
- Un lac exoréique assimilable à un écosystème palustre, le Lac Tonga (2400 ha).
- Une lagune, le Lac Mellah (873 ha). Trois petits lacs, le Lac des Oiseaux (70ha), la Lac Noir et le Lac Bleu (2 ha) (**Morgan, 1982 ; Samraoui et De Belair, 1998**).

II.2. Les zones humides

II.2.1. Définition

Au niveau international, la convention de Ramsar du 2 février 1971, considère comme zones humides : « Les étendues de marais, de fagnes, de tourbière ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, ou l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau mari ne dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètre » (**Boumezbeur, 2001**).

La définition adoptée par l'union Européenne en **1992 (de la loi sur l'eau française)** est plus restrictive et permet une différenciation plus nette vis-à-vis des écosystèmes marins et fluviaux : « On entend par zone humide les terrains exploités ou non, habituellement inondée ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hydrophiles pendant au moins une partie de l'année ». Une autre notion a été ajoutée par **Barnaud (1991)**, il s'agit de la biodiversité : « Les zones humides se caractérisent par la présence, permanente ou temporaire, en surface ou à la faible profondeur dans le sol, d'eau disponible douce, saumâtre ou salée. Souvent en position d'interface, de transition, entre milieu terrestre et milieu aquatique proprement dit, elles se distinguent par une faible profondeur d'eau. Des soles hydromorphes ou non évoluées, et / ou une végétation dominante composée de plantes hydrophiles au moins pendant une partie de l'année. En

fin, elles nourrissent et /ou abritent de façon continue ou momentanée des espèces animales inféodées à ces espaces ».

II.2 .2. Importance écologique et fonctions des zones humides

II.2 .2.1. Fonction hydrologique

Les zones humides jouent un rôle capital dans le maintien des réseaux hydrologiques où elles :

- Participent au fonctionnement hydrologique du bassin versant par le jeu de la zone humide.
- Permettent un étalement des crues et donc un contrôle des inondations.
- Maintenir le niveau des nappes souterraines de lutter contre les crues, de piéger les sédiments, de purifier l'eau, de recycler les nutriments et de réguler le microclimat.
- Les zones humides contribuent à l'épuration naturelle des eaux par différents processus physiques, chimiques et biologiques.

II.2.2.2. Epuration naturelle

Les flux polluants transportés par la nappe et les cours d'eau ont été réduits par les zones humides selon les processus suivants :

- Sédimentation
- Dénitrification
- Absorption

Ainsi, elles jouent le rôle tampon d'interception et de rétention pour le phosphore, et les métaux, et le rôle épurateur vis-à-vis de l'azote (**Sayad, 2008**).

II.2.2.3. Biodiversité

Les zones humides sont des écosystèmes qui intègrent une diversité et une richesse spécifique maximales. Ce sont des zones de refuges, d'habitats et de lieux de reproduction pour de nombreuses espèces animales et végétales.

II.2.2.4. Les fonctions climatiques

Les zones humides jouent un rôle important dans la régulation des microclimats locaux grâce aux phénomènes d'évapotranspiration. Ces écosystèmes influencent localement l'humidité de l'air, les précipitations et la température atmosphérique. (**Toumi, 2012**).

II.2.2.5. Stabilisation et protection des sols

La végétation des zones humides participent à la fixation et la protection des terres contre l'érosion.

II.2.2.6. Aspects paysagers et touristiques

Les fonctions écologiques et les valeurs économiques des zones humides sont intimement liée que l'on touche à l'une des composantes, et c'est le rôle de l'ensemble qui risque d'être perturbé. De ce fait, leur gestion doit être conçue de manière intégrée dans le cadre de projets de développement durable et d'aménagement raisonné.

II.3 .Les principaux sites humides de la Numidie oriental

II.3.1. Marais de la Mékhada

Le Marais de la Mékhada (10 000 ha) est un important site humide de la Numidie orientale (**De Belair et Bencheikh Lehocine, 1987**). Il est peu profond (~1 m), faiblement salé et alimenté par plusieurs oueds.

Il possède une végétation dominée par les roseaux et constitue un habitat majeur pour les oiseaux d'eau, dont certaines espèces rares comme l'Erismature à tête blanche (**Morgan, 1982 ; Houhamdi, 2002**).

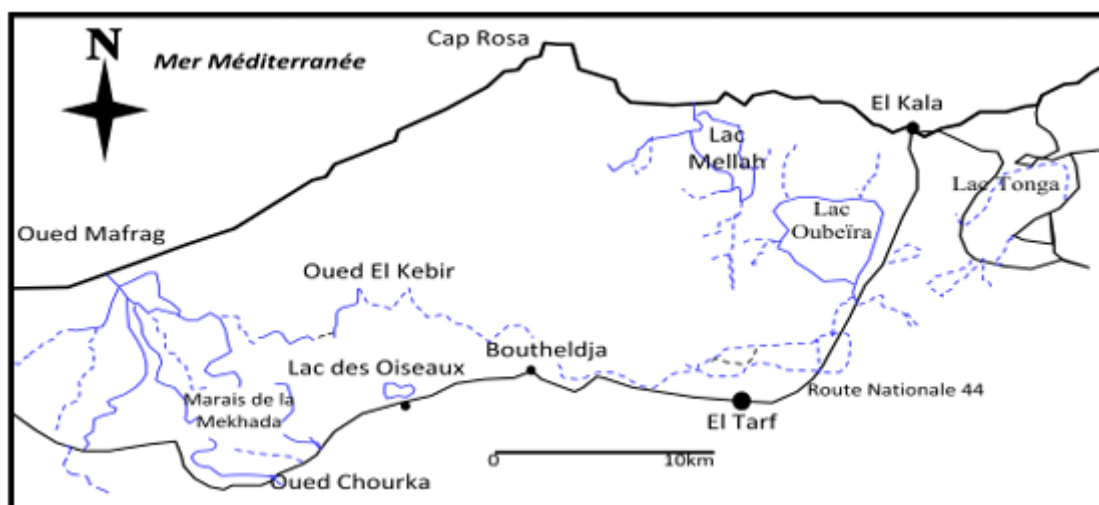


Figure 1. Le complexe de zones humides de la Numidie orientale (**Houhamdi, 2002**).

II.3.2. Le Marais de Bourdim

Cette étendue d'eau est entièrement encerclée d'une frênaie mélangée avec des aulnes et des saules. Elle s'étale sur une superficie de 25 ha dont la partie centrale est dominée par des nénuphars blancs *Numphaea alba*, de franges de renouées d'eau avec des touradons de laïches. Ce marais est surtout réputé pour sa héronnière à Héron garde bœuf sur les aulnes et les saules (**Darmellah, 1989**).

II.3.3. Lac Oubeïra

Le Lac Oubeïra (2600 ha, profondeur max 2 m) est un site **Ramsar du Parc National d'El-Kala (Morgan, 1982)**. Il est entouré d'une végétation dense dominée par les arbres riverains et les plantes aquatiques comme les potamots et les scirpes.

Il constitue un site majeur pour l'avifaune avec plusieurs espèces d'oiseaux d'eau (*Fuligule morillon*, *Canard chipeau*, *Foulque macroule*). Le lac abrite aussi des poissons autochtones et allochtones ainsi que des cyanobactéries potentiellement toxiques, indiquant une sensibilité écologique importante. (**Morgan, 1982 ; Samraoui & de Bélair, 1997**).

II.3.4. Lac Tonga

Le Lac Tonga (2400 ha, profondeur ~2,8 m) est alimenté par plusieurs oueds et possède une forte diversité écologique (**Abbaci, 1999**).

Il est caractérisé par une végétation riche (roseaux, typha, scirpes) et une grande diversité d'oiseaux aquatiques. C'est un site important de nidification et d'hivernage pour de nombreuses espèces, dont le *Fuligule milouin* et l'*Erismature à tête blanche*.

II.3.5. Lac Mellah

Le Lac Mellah (873 ha) est une lagune côtière à forte influence marine et climatique (**Morgan, 1982**).

Sa végétation est peu diversifiée et dominée par *Juncus* et *Carex*. Malgré cela, il abrite une faune aquatique et des poissons diversifiés, ce qui lui confère un intérêt écologique notable.

II.4. Présentation de la zone d'étude « Lac des Oiseaux »

II.4.1. Situation géographique de la commune du Lac des Oiseaux

La commune « Lac des Oiseaux » est rattachée administrativement à la wilaya d'El-Tarf dont elle est distante de 25 Km du chef-lieu. Elle se trouve sur les bords de la route nationale 44 (RN44) à 45 km à l'Est de la ville d'Annaba et à 45 Km à l'Ouest de la ville d'El-Kala (**Figure 2**). Elle est limitée :

- Au Nord par la commune de Berrihane
- Au Sud par la commune de Cheffia
- A l'Est par la commune de Bouteldja
- A l'Ouest par la commune de Ben M'hidi

Comme toute la région d'El-Kala, la commune « Lac des Oiseaux » présente la particularité d'être insérée dans une rupture nette entre deux entités naturelles, autrement dit présente un relief de montagnes et de basses plaines marécageuses (**Houhamdi, 2002**).

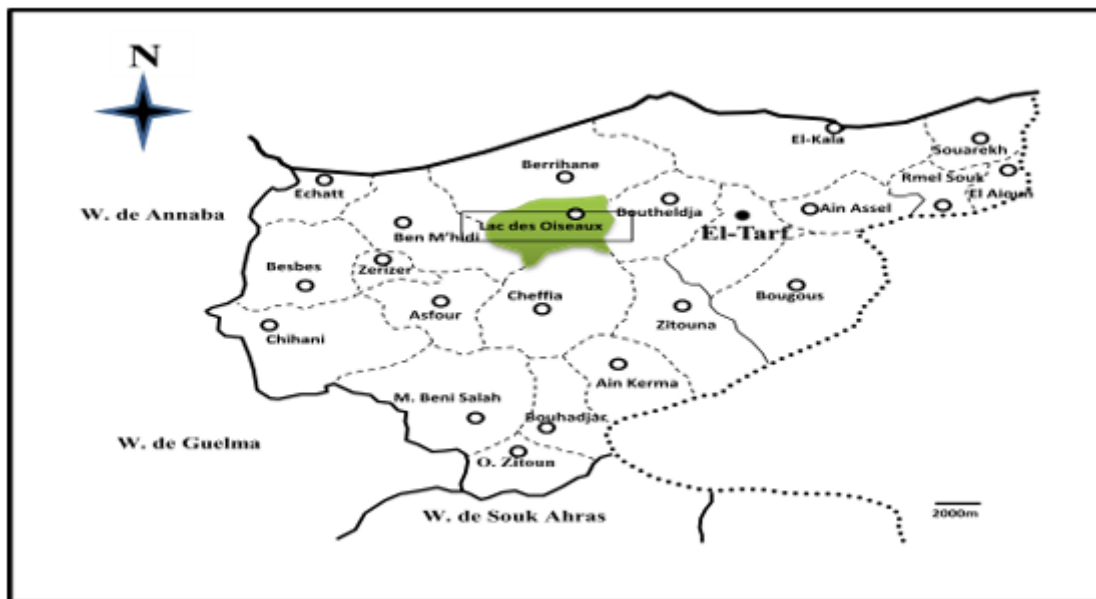


Figure 2. Situation géographique de la commune Lac des Oiseaux (DSA El-Tarf, 2010)

II.4.2. Relief général de la commune

Le relief de la commune se structure en plusieurs unités morphologiques distinctes :

- **La partie montagneuses « Argilo- gréseuses »**

Djebel Hammoun (352 m) se prolonge au sud par une série de crêtes gagnant progressivement de l'altitude pour atteindre en fin 484 m (Djebel Mekefel) à l'Est. Le massif montagneux s'achève brusquement par la dépression de la Vallée de l'Oued Bou Lathan. La série de lignes des crêtes d'orientation Sud-Ouest, Nord-Est représente la limite territoriale de la commune et le début du bassin versant qui alimente toute la plaine.

- **Les Collines**

Représentées surtout par le mont Nemlia (98 m) qu'est situé dans la partie nord-est de la commune et qui s'apparente à un îlot dans la plaine.

- **La plaine**

Elle est considérée comme rassemblant les terrains les plus bas après les eaux de marécages. Elle est de formation Argilo-gréseuse au sud (**Djebel Hammoun**) et de type dynamique de marais au Nord (**Sebâa**).

- **Le territoire marécageux**

Les eaux stagnantes s'étendent sur une surface globale de 1068 ha cette surface n'est qu'une partie de la Mékhada qui s'étend sur plusieurs kilomètres. Les surfaces inondables peuvent s'étendre jusqu'aux terrains destinés à l'agriculture (**Houhamdi, 2002**).

II.4.3. Caractéristiques climatiques de la région

Le climat qui règne dans la région est un climat méditerranéen avec un hiver doux et pluvieux et été chaud et humide (**AGID, 1992**).

II.4.4. Activités anthropiques

Avec une population de 10766 habitants et une densité 125 habitants/km² et un taux d'accroissement 1,9 % (**DPAT EL-Tarf 2006**), la commune « Lac des Oiseaux » est une région à vocation strictement agricole. L'agriculture pratiquée est essentiellement de nature vivrière à l'exception de sa partie Sud où se développent les terrains agricoles morcelés. La topographie du lac et l'utilisation d'engrais chimique entraînent sa contamination par le biais des eaux de ruissellement et de lessivages.

II.4.5. Le Lac des Oiseaux (Site Ramsar 1999)

Le Lac des Oiseaux ou Garâat Ettouyour (36°47'N 08°7'E), doit son nom à sa richesse ornithologique, surtout en hiver (**Maazi, 1992**). Ce plan d'eau est un lac d'eau douce permanente, qui présente une forme plus ou moins ovale, étirée vers le Nord-Est par une

queue d'étang très caractéristique (**Arrignon, 1962 ; Houhamdi 1998, 2002**). Il s'étale sur une superficie de 150 ha avec une profondeur maximale voisine de 2.5m et un dépôt de matière organique allant de 1 à 3 cm (**Joleaud, 1936**). Il est en plan incliné vers Koudiat Nemlia au Nord et au Nord-Est et djebel Bouabed au Sud et au Sud-Est. A l'Ouest, il s'ouvre sur la plaine alluviale de la Mékhada. Il occupe actuellement une superficie de 70 ha en période de pluie et 40 ha au maximum en période sèche (**Samraoui et al., 1992**).

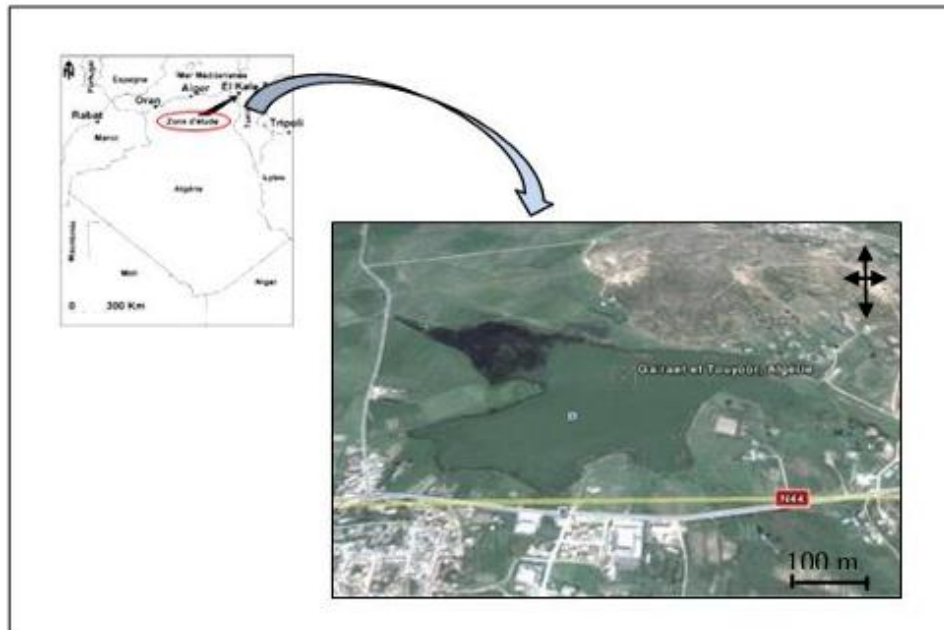


Figure 3. Situation géographique de la réserve naturelle « Lac des Oiseaux » (**TOUMI,2016**)

II.5. Caractéristiques climatiques de la région

De nombreux auteurs (**Blondel ,1975 ; Morgan 1982 ; Samraoui et al., 1992**) confèrent au Lac des Oiseaux le statut de rare en raison de sa richesse en végétations en avifaunes et la présence de nombreux insectes. Il représente le tiers de toutes les espèces d'Odonates rencontré en Algérie, parmi ces espèces 5 d'origine afrotropicale. De nombreuses espèces de poisson peuplent le lac, notamment l'anguille, le barbeau et le mulot (**Blondel, 1967**).

II.5.1. Flore remarquable

Les végétaux créent un véritable bouclier anti-polluant et empêche le réchauffement de l'eau. Plus il y a de végétation autour de lac, plus celui-ci sera susceptible d'être en bonne santé. Les espèces végétales du lac présentent des ressemblances morphologiques bien qu'elles appartiennent à différentes genres et familles.

Le Lac des Oiseaux est caractérisé par une végétation variée, très liée au substrat pédologique qui diffère du Nord-Ouest au Sud-Est (**Samraoui et al., 1992**). Le plan d'eau est composé essentiellement par les formations suivantes : *Typha angustifolia*, *Ranunculus baudotii*, *Nymphaea alba*, *S. maritimus* et *Myriophyllum spicatum* avec quelque tache de *Cyperus aristatus*, *C. fuscus*, *Callitriche sp.* *Rumex algeriensis* et *R. pulcher* (**Houhamdi, 1998**). Le lac est entièrement délimité par une ceinture de *Juncus acutus* montrant la limite des hautes eaux (**Houhamdi, 1998**).

La couverture végétale et le cortège floristique diffèrent d'une saison à une autre et au total 187 espèces appartenant à 47 familles ont été recensés en 1997. Cependant deux d'entre elles sont nouvelles pour la région *Cotula coronopifolia* (Composées) et *Asparagus officinalis* (Liliacées) et une autre à ajouter à la flore algérienne *Cyperus aristatus* (Cypéracées) (**Houhamdi, 1998**).

Les unités végétales les plus importantes sont représentées par une grande ceinture de *Scirpus lacustris* s'étalant tout au long des rives Nord et Nord-Ouest ; une grande plage de *Typha angustifolia* couvrant la totalité de la pointe Sud-Ouest du lac ; des îlots de *Typha angustifolia* mélangée au *Scirpus lacustris* le long des rives Nord-Est et Sud-Est (**DGF, 2003**).

II.5.2. Faune remarquable

II.5.2.1. L'avifaune

Mise à part la richesse aviaire qui constitue la principale caractéristique du Lac des Oiseaux, comme son nom l'indique, il est aussi un refuge pour de nombreux oiseaux d'eau et rapaces hivernant ou de transit (**Chalabi et al., 1985 ; Skinner et Smart in Stevenssen et al., 1988**). Plus de 10 000 oiseaux d'eau y hivernent chaque année et sa richesse spécifique est supérieure à 69 (**Houhamdi, 2002**).

Il est aussi le site de nidification privilégié de l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala* et des Fuligules *Nyroca Aythya Nyroca* (**Boumezbeur, 1990 ; 1993 et Samraoui et al., 1992**). Le Lac des Oiseaux est occupé par deux peuplements différents durant deux périodes très distincts ; les Anatidés et les Rallidés en hiver et par les Laro limicoles et Echassiers en été (**Houhamdi, 1998 ; Houhamdi et Samraoui, 2002 ; 2003 ; 2008**), d'autre part par la présence de deux espèces nouvelles pour le site le pélican blanc *Pelecanus onocrotalus* et la Tadorne casarca *Tadorna ferruginea* (**houhamdi 1998**) et une espèce nouvelle pour l'Algérie l'Erismature rousse *Oxyura jamaicensis* (**Samraoui et Houhamdi, 2001**).

II.5.2.2. Vertébrés

La périphérie du Lac des Oiseaux, grâce à une végétation luxuriante, est largement fréquentée par de nombreux animaux. Grâce à des observations ou aux indices de présence (fèces, traces), la présence du Chacal *Canis aurius*, du renard *Vulpus*, de la mangouste *Herpestes ichneumon*, de le hérisson *Erinaceus algirus*. Malgré ça pollution le « Lac des Oiseaux » abrite toujours l'Anguille *Anguila anguila*, des carpes *Cyprinus carpio*, des barbeaux *Barbus callensis* et de nombreuses tortues *Mauremys leprosa* (Maazi, 1992).

II.5.2.3. L'entomofaune

Le Lac des Oiseaux abrite de nombreux insectes surtout les Ephéméroptères, les Trichoptères et les Odonates dont 23 espèces ont été signalées. Il abrite 21 espèces d'Odonates dont 07 Zygoptères et 14 Anisoptères (Houhamdi et Samraoui, 2002).

II.6. L'agrosystème Lac des Oiseaux

La région du Lac des Oiseaux est dominée par une agriculture extensive, dans laquelle le maraîchage occupe une place prépondérante. L'eau du lac est régulièrement mobilisée pour l'irrigation des cultures environnantes, bien que les prélèvements restent relativement limités. Cependant, l'intensification des pratiques agricoles, notamment l'usage d'engrais et de produits phytosanitaires, contribue à la perturbation de l'équilibre physico-chimique du milieu aquatique, favorisant le transfert de nutriments vers le lac. Par ailleurs, cet espace est soumis à diverses activités anthropiques exercées par les populations riveraines, telles que l'élevage extensif, la collecte de ressources végétales et certaines pratiques de braconnage, ce qui accentue les pressions exercées sur l'écosystème (Vila, 1980).

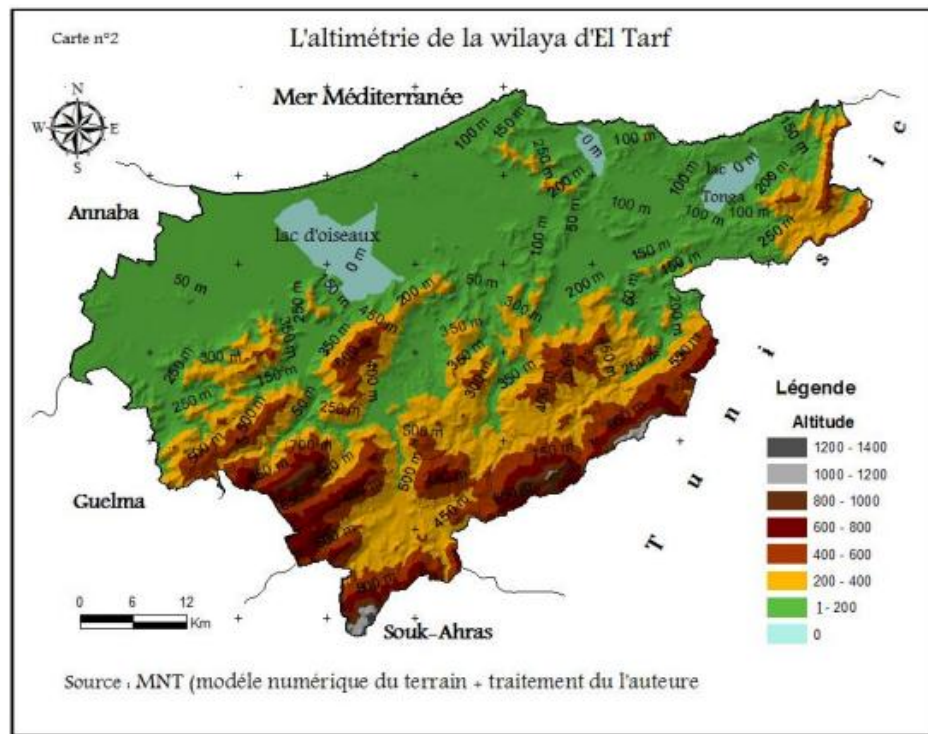


Figure 4. Carte d'occupation des sols de la wilaya d'El-Tarf(**DIAF I, 2019**)

II.6.1. Le pâturage

Toutes les formations végétales de la région sont soumises à un pâturage extensif non contrôlé. Les troupeaux de bovins fréquentent les bords du lac pendant toute l'année sans surveillance, empêchant les jeunes pousses de se développer. C'est l'une des plus grandes menaces régnant sur le lac, provoque la destruction des plantes qui sont souvent difficilement identifiable surtout pendant l'été (**Houhamdi, 1998**).

La présence continue des ruminants perturbe les oiseaux d'eau, ce manque de quiétude semble être particulièrement marqué au printemps et représente un facteur limitant sérieux à l'installation et la réussite des oiseaux nicheurs (**Maazi, 1992**).

II.6.2. Le développement urbain

Le village est en pleine expansion surtout du côté de la sortie vers Bouteldja occupant toute la région méridionale du lac par la construction des habitats. L'aménagement d'un terrain de football sur les rives sud du lac, utilisé par les jeunes pendant toute l'année et les dérangements importants pour l'avifaune aquatique. Actuellement les travaux d'aménagement occupent tout le sous-bassin versant du lac, suite à l'extension de la route nationale RN 44 dans le cadre de l'autoroute « Est-Ouest ».

II.7. Potentiel de pollution du Lac des Oiseaux

Le Lac des Oiseaux est soumis à diverses pressions anthropiques susceptibles d'altérer la qualité de ses eaux et de perturber son équilibre écologique. Parmi les principales sources potentielles de pollution figurent les rejets domestiques du village, les eaux usées non traitées ainsi que les activités agricoles pratiquées dans le bassin versant. L'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires favorise le transfert de nitrates, de phosphates et d'autres contaminants vers le lac par ruissellement et lessivage des sols.

Par ailleurs, le pompage parfois excessif de l'eau destinée à l'irrigation peut modifier le fonctionnement hydrologique du lac. Les activités humaines telles que le pâturage, la pêche, la chasse et l'urbanisation croissante des zones riveraines constituent également des facteurs de dégradation du milieu naturel. À cela s'ajoutent les effets du trafic routier lié à la proximité de la RN44 ainsi que les dysfonctionnements de certains aménagements hydrauliques, pouvant influencer le régime des eaux du lac (DGF, 2003).

Ces différentes pressions peuvent entraîner une dégradation progressive de la qualité de l'eau, favoriser l'enrichissement du milieu en nutriments (notamment les nitrates) et affecter la biodiversité remarquable du site, en particulier les espèces d'oiseaux nicheurs telles que l'Erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*), le Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) et la Poule sultane (*Porphyrio porphyrio*) (Houhamdi, 2002).



Figure 5. Pollution observée au niveau du Lac des Oiseaux (photographie personnelle, mai 2026).

Conclusion

Le Lac des Oiseaux est situé dans la région d'El Tarf, au Nord-Est de l'Algérie. Il fait partie des zones humides importantes de cette région caractérisée par une richesse écologique remarquable. Ce lac représente un habitat naturel pour de nombreuses espèces animales et végétales, notamment les oiseaux migrateurs. Il joue également un rôle écologique important dans le maintien de la biodiversité régionale. Cependant, les activités agricoles, urbaines et anthropiques exercées autour du lac peuvent contribuer à la contamination des eaux par différents polluants, notamment les polluants organiques. L'étude du comportement de ces contaminants dans les eaux du Lac des Oiseaux présente ainsi un intérêt environnemental et écologique important.

Partie

Expérimentale

Chapitre III

Matériels et méthodes

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction

Cette étude a été réalisée afin d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux du Lac des Oiseaux et d'identifier les principales sources de contamination susceptibles d'affecter cet écosystème lacustre. Les prélèvements ont été effectués au cours de trois campagnes d'échantillonnage réalisées durant les mois de mars, avril et mai 2026.

III.1. Échantillonnage

III.1.1. Stations de prélèvement

Afin d'évaluer la variabilité spatiale de la qualité des eaux du Lac des Oiseaux, sept stations de prélèvement ont été sélectionnées en tenant compte des apports hydriques, des activités anthropiques et de l'accessibilité du site.

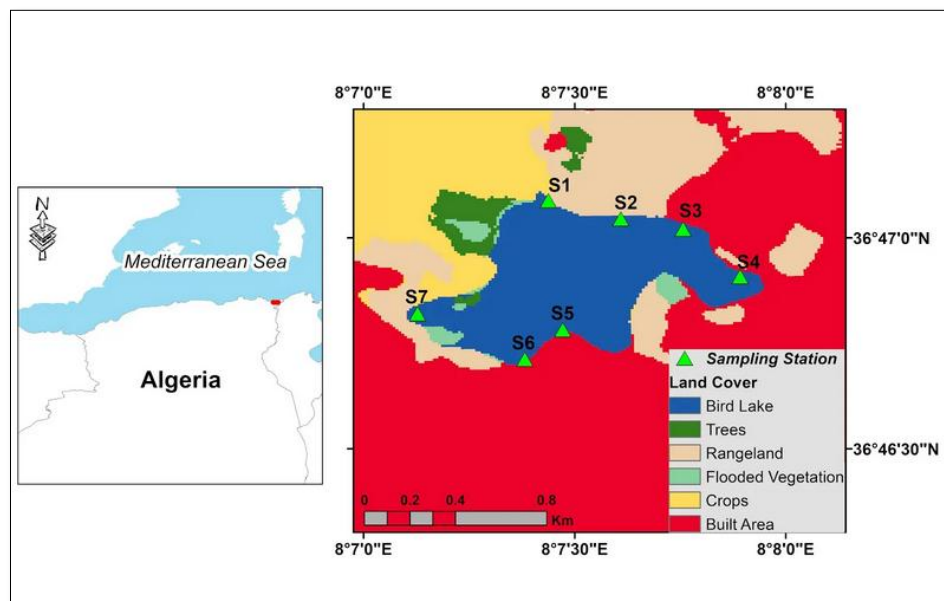


Figure 6. Situation géographique du Lac des Oiseaux et localisation des stations d'échantillonnage.

III.1.2. Matériels d'échantillonnages

Le matériel utilisé lors des campagnes de terrain comprend :

- Un GPS pour la localisation des stations ;
- Une glacière pour le transport des échantillons ;
- Des flacons en polyéthylène de 1,5 L pour les analyses physico-chimiques ;

- Des flacons stériles de 250 mL pour les analyses microbiologiques ;
- Un multiparamètre portable HQ4300 (HACH) ;
- Un appareil photographique pour la documentation du site.

III.1.3. Mode de prélèvement

Les prélèvements ont été réalisés manuellement au niveau des différentes stations. Les flacons destinés aux analyses physico-chimiques ont été rincés avec l'eau du site avant prélèvement. Les échantillons microbiologiques ont été recueillis dans des flacons stériles afin d'éviter toute contamination externe.

Les échantillons ont été prélevés à faible profondeur, en orientant le goulot du flacon à contre-courant. Après prélèvement, les flacons ont été fermés hermétiquement et conservés dans une glacière à une température voisine de 4 °C jusqu'à leur analyse.

Nature du prélèvement	Période	Analyses réalisées
Eau du lac	Mars 2026	Physico-chimiques et microbiologiques
Eau du lac	Avril 2026	Physico-chimiques et microbiologiques
Eau du lac	Mai 2026	Physico-chimiques et microbiologiques

III.2. Analyses physico-chimiques

III.2.1. Paramètres mesurés in situ

Les paramètres physico-chimiques suivants ont été mesurés directement sur le terrain à l'aide d'un multiparamètre portable HQ4300 :

- Température (°C)
- pH
- Conductivité électrique (µS/cm)
- Salinité (g/L)
- Oxygène dissous (mg/L)
- Turbidité (NTU)



Figure 7. Multi-paramètre HQ4300 (Photos personnelle, 2026).

A. Température : La température de l'eau a été mesurée directement au niveau de chaque station à l'aide du multiparamètre HQ4300. Les résultats sont exprimés en degrés Celsius (°C).

B. pH : Le pH a été mesuré in situ à l'aide du multiparamètre HQ4300 afin d'évaluer le caractère acide, neutre ou alcalin des eaux étudiées.

C. Conductivité électrique : La conductivité électrique a été déterminée directement sur le terrain. Les valeurs obtenues permettent d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau.

D. Salinité : La salinité a été mesurée simultanément avec le multiparamètre et exprimée en grammes par litre (g/L).

E. Turbidité : La turbidité a été déterminée sur le terrain afin d'évaluer la présence de particules en suspension dans l'eau.

F. Oxygène dissous : La concentration en oxygène dissous a été mesurée directement sur le terrain et exprimée en mg/L.



Figure 8. Mesure par le multi-paramètre du terrain (Photos personnelle, 2026).

III.2.2. Paramètres analysés au laboratoire

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire d'Agronomie et Fonctionnement des Écosystèmes de l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf.

Les paramètres analysés sont :

- Nitrates (NO_3^-)
- Nitrites (NO_2^-)
- Phosphates (PO_4^{3-})
- Ammonium (NH_4^+)

A. Dosage des nitrates, nitrites et phosphates

Les concentrations en nitrates, nitrites et phosphates ont été déterminées à l'aide d'un auto-analyseur à flux continu SAN++ System (Skalar, Pays-Bas).



Figure 9. Auto-analyseur SAN++ System utilisé pour les analyses chimiques (Photo personnelle, 2026).

B. Dosage de l'ammonium

La concentration en ammonium a été déterminée par méthode spectrophotométrique à une longueur d'onde de 655 nm.

- Prendre 40ml l'eau à analyse dans une fiole jaugée de 50ml,
- Ajouter 4ml du réactif coloré,
- Homogénéiser bien la solution,
- Ajouter 4ml de la solution de dichloroisocyanurate de Na,
- Homogénéiser bien la solution,
- Compléter jusqu'à 50 ml avec de l'eau distillée,

- Laisser reposer pendant au moins 1 heure,
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 655nm BK-UV1600G/V1600G Manuel (**figure 10**). Les résultats sont exprimés en mg/l.



Figure 10. Spectrophotomètre BK-UV1600G/V1600G utilisé pour le dosage de l'ammonium
(Photo personnelle, 2026).

III.3. Dosage des métaux lourds

III.3.1. Appareillage

Les concentrations des métaux lourds ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique à flamme à l'aide d'un appareil SHIMADZU AA-6200.



Figure 11. Spectromètre d'absorption atomique à flamme SHIMADZU AA-6200 (**Photo personnelle, 2026**).

En spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme, la solution analysée est aspirée dans un nébuliseur qui la transforme en brouillard fin.

C'est ensuite aspirée vers le bruleur, où la flamme évapore l'eau et casse les molécules en atomes isolés.

L'instrument utilisé dans cette expérience fonctionne sur le principe du double faisceau, ce qui permet d'éviter de subir les fluctuations de la lampe.

III.4. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été effectuées au laboratoire d'Hygiène de l'EPSP de la wilaya d'El Tarf selon la méthode de filtration sur membrane (0,45 μm) (**Figure 12**).

Les paramètres microbiologiques recherchés sont :

- Germes totaux ;
- Coliformes totaux ;
- Coliformes thermotolérants ;
- Bactéries sulfito-réductrices ;
- *Pseudomonas aeruginosa*.



Figure 12. Technique de filtration sur membrane (**Photos personnelle, 2026**).

Cette méthode consiste à faire passer un volume déterminé d'échantillon à travers d'une membrane filtrante de porosité 0,45 μm). Après filtration, la membrane est alors déposée sur la surface d'un milieu gélosé spécifique du germe à rechercher (face portant les microorganismes vers le haut). Après incubation, comme dans le cas de la numération en milieu gélosé, on compte les colonies formées à la surface du filtre (**Cuq, 2007**).

III.4.1 Dénombrement des germes totaux (ISO 6222)

✓ Mode opératoire

- Mettre 10 ml de la gélose slanetz en surfusion dans une boîte pétrie ;
- Filtrer un volume de 250 ml d'eau à analyser ;
- Après solidification, faire déposer la membrane filtrante ;

- Lecture de la boîte après 24h d'incubation à 37°C.

III.4.2 Recherche de coliformes totaux et thermotolérants (ISO 9308)

✓ Mode opératoire

- Mettre 10 ml de la gélose TTC au Tergitol en surfusion dans une boîte pétrie ;
- Filtrer un volume de 250 ml d'eau à analyser ;
- Après solidification, faire déposer la membrane filtrante ;
- Lecture de la boîte après 24h d'incubation à 37°C (coliformes totaux) et à 44°C (coliformes thermotolérants).

III.5. Référentiels et normes d'évaluation de la qualité des eaux

Afin d'interpréter les résultats obtenus et d'évaluer l'état de qualité des eaux du Lac des Oiseaux, les valeurs mesurées ont été comparées à des critères de référence couramment utilisés dans les études limnologiques et les travaux consacrés aux eaux de surface. Ces seuils d'interprétation, issus de la littérature scientifique spécialisée, permettent d'apprécier le degré de minéralisation, d'enrichissement nutritif et de pollution du milieu aquatique. Ils constituent ainsi un outil d'aide à l'évaluation de l'état écologique du lac et à l'identification des principales pressions environnementales susceptibles d'affecter son fonctionnement.

Les concentrations en métaux lourds ont, quant à elles, été comparées aux valeurs guides recommandées par la Directive européenne relative à la qualité des eaux de surface, afin d'estimer le niveau de contamination métallique et les risques potentiels pour l'écosystème aquatique.

Tableau 1. Critères d'interprétation des principaux paramètres physico-chimiques des eaux de surface (**adapté de Rodier et al., 2009 ; Wetzel, 2001 ; Chapman, 1996**).

Paramètre	Interprétation bibliographique
pH	Eau acide (< 6,5) ; neutre (6,5-7,5) ; alcaline (> 7,5)
Conductivité	Faible minéralisation (< 500 µS/cm) ; moyenne (500-1500 µS/cm) ; forte (> 1500 µS/cm)
Oxygène dissous	Bonne qualité (> 5 mg/L) ; qualité moyenne (3-5 mg/L) ; mauvaise qualité (< 3 mg/L)
Turbidité	Faible (< 25 NTU) ; moyenne (25-50 NTU) ; forte (> 50 NTU)
Nitrates	Faible enrichissement (< 10 mg/L) ; enrichissement modéré (10-25 mg/L) ; fort enrichissement (> 25 mg/L)
Phosphates	Faible (< 0,1 mg/L) ; modéré (0,1-0,5 mg/L) ; élevé (> 0,5 mg/L)
Ammonium	Bonne qualité (< 0,5 mg/L) ; pollution modérée (0,5-2 mg/L) ; pollution

Paramètre	Interprétation bibliographique
	importante (> 2 mg/L)

Tableau 2. Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans les eaux de surface en ppm

Directive de la CE pour les eaux de surfaces (in Débièche, 2002).

Eléments	Valeurs guides (mg / l)
Fer	0 .2
Cuivre	1
Zinc	5
Manganèse	0.05
Plomb	0.05
Nickel	0.05
Chrome	0.05

Conclusion

La méthodologie adoptée repose sur un échantillonnage représentatif des eaux du Lac des Oiseaux, complété par des analyses physico-chimiques, chimiques et microbiologiques réalisées selon des protocoles normalisés. Les données obtenues ont ensuite été traitées à l'aide d'outils statistiques et cartographiques afin d'évaluer la qualité des eaux et de mieux comprendre le fonctionnement de cet écosystème aquatique.

Chapitre IV

Résultats

et

Discussion

IV.1. Introduction

Cette partie présente les résultats des analyses physico-chimiques et métalliques des eaux du Lac des Oiseaux durant la période d'étude (mars, avril et mai 2026). Les variations spatio-temporelles des paramètres environnementaux sont analysées à l'aide de représentations graphiques (**boxplots**), afin de mettre en évidence les tendances générales et les variations saisonnières. Une analyse multivariée (ACP) est ensuite utilisée pour identifier les relations entre les paramètres et les stations d'échantillonnage.

IV.1. Paramètres physico-chimiques

A. Le PH

Les valeurs de pH enregistrées traduisent une bonne stabilité chimique des eaux du Lac des Oiseaux. L'absence de valeurs fortement acides indique que le milieu reste favorable au développement des organismes aquatiques. Toutefois, les valeurs les plus élevées observées dans certaines stations témoignent d'une légère alcalinisation du milieu, probablement liée à une activité photosynthétique importante et à l'influence des caractéristiques naturelles du lac.

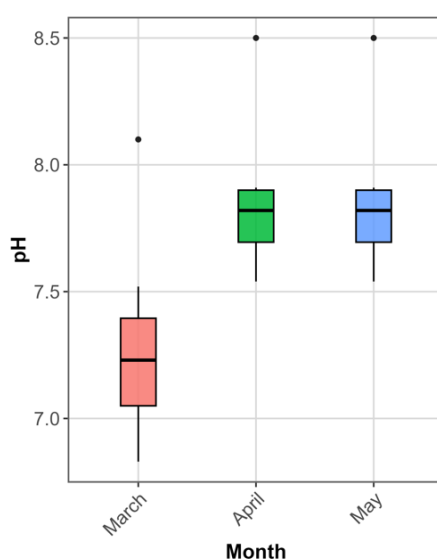


Figure13. Variation spatiale et temporelle du pH des eaux du Lac des Oiseaux.

B. Température

La température montre une évolution nette au cours des mois étudiés. Les valeurs les plus élevées sont relevées en avril et mai, alors que mars présente des températures plus basses. Cette dynamique s'explique par la saisonnalité du climat méditerranéen, marquée par un réchauffement progressif de l'air au printemps. Les différences observées entre les

stations et les mois traduisent à la fois l'influence des conditions météorologiques locales et la faible profondeur du lac. Ces variations thermiques ont un impact direct sur l'activité biologique ainsi que sur la solubilité des gaz dissous dans l'eau.

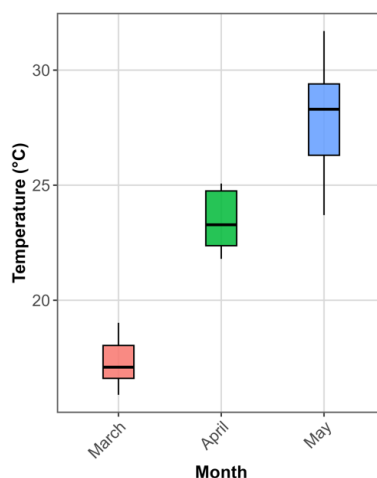


Figure 14. Variation spatiale et temporelle de la température des eaux du Lac des Oiseaux.

C. La conductivité électrique

La conductivité électrique du Lac des Oiseaux a varié entre 848 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mars et 1805 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mai, indiquant une augmentation progressive du degré de minéralisation des eaux au cours de la période étudiée. La valeur relativement faible observée en mars peut être attribuée à un effet de dilution lié aux précipitations saisonnières, tandis que l'augmentation en mai s'explique principalement par la hausse des températures et l'intensification de l'évaporation, favorisant la concentration des sels dissous. Dans l'ensemble, ces résultats traduisent une minéralisation moyenne à élever des eaux du lac, influencée par les conditions climatiques saisonnières, les processus d'évaporation ainsi que les apports en sels minéraux issus du bassin versant.

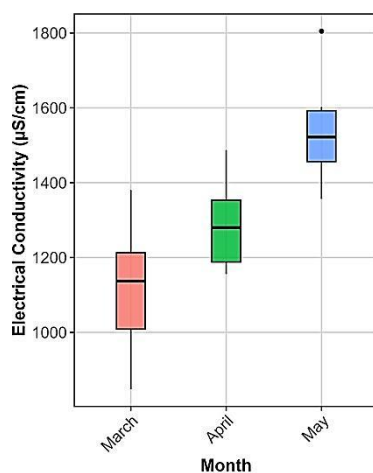


Figure15. Variation spatiale et temporelle de la conductivité électrique des eaux du Lac des Oiseaux.

D. Turbidité (FNU)

La turbidité du Lac des Oiseaux varie entre 39,1 et 81,2 NTU, avec des valeurs plus faibles en mars et plus élevées en mai, montrant une augmentation progressive au cours de la période d'étude. Cette hausse est principalement liée à la remise en suspension des particules fines, aux apports de matières organiques et à la dynamique de la végétation aquatique. Ceci peut être lié au ruissellement, à l'érosion des sols agricoles et à l'activité anthropique autour du lac.

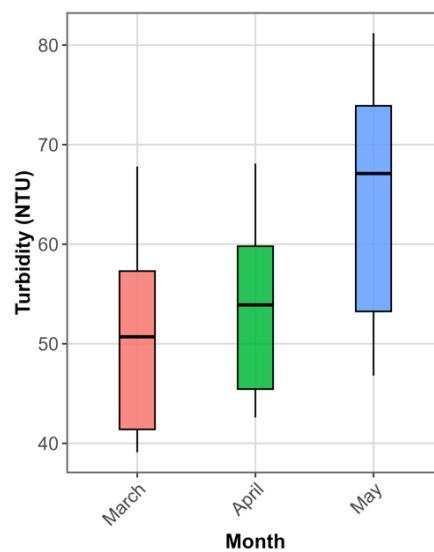


Figure 16. Variation spatiale et temporelle de la turbidité des eaux du Lac des Oiseaux.

E. La salinité

La salinité du Lac des Oiseaux varie entre 0,58 et 2,07 PSU, avec des valeurs plus faibles en mars et plus élevées en mai. Cette augmentation traduit une intensification de l'évaporation et une concentration progressive des sels dissous. Elle suit la même tendance que la conductivité, indiquant une hausse de la minéralisation des eaux au cours de la période étudiée.

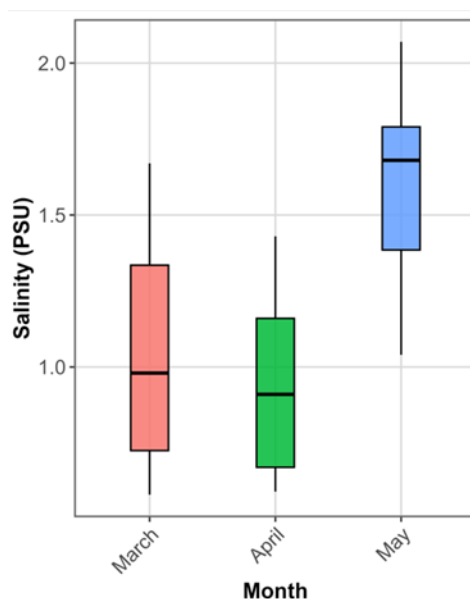


Figure17. Variation spatiale et temporelle de la salinité des eaux du Lac des Oiseaux.

F. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un indicateur important de la qualité des eaux. Les valeurs enregistrées au Lac des Oiseaux varient entre 29,5 % et 45,1 %, avec une diminution progressive de mars à mai. Cette baisse peut être liée à l'augmentation de la température, à la dégradation de la matière organique et aux apports provenant des activités agricoles, du pâturage, des oiseaux et des rejets domestiques. Ces résultats traduisent l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur l'équilibre écologique du lac.

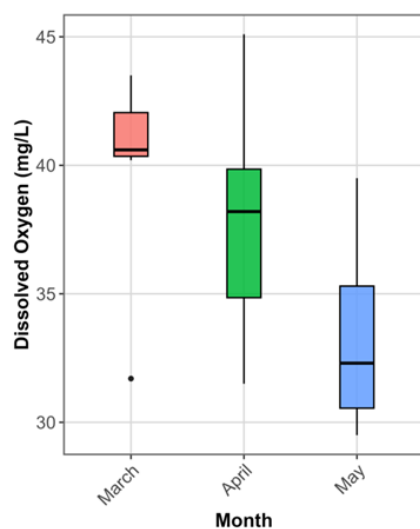


Figure18. Variation spatiale et temporelle de l'oxygène dissous des eaux du Lac des Oiseaux.

IV.2. Dynamique des nutriments dans les eaux du Lac des Oiseaux

A. Nitrates (NO_3^-)

Les concentrations en nitrates présentent une variabilité modérée entre les stations et les mois d'étude. Les valeurs observées demeurent inférieures à la limite recommandée pour les eaux destinées à la consommation humaine (50 mg/L). La présence de nitrates dans les eaux du Lac des Oiseaux pourrait être liée principalement au lessivage des sols agricoles, à l'utilisation d'engrais azotés ainsi qu'aux apports organiques provenant des activités humaines et de l'avifaune. Cette situation traduit une influence modérée des activités anthropiques sur le fonctionnement du lac.

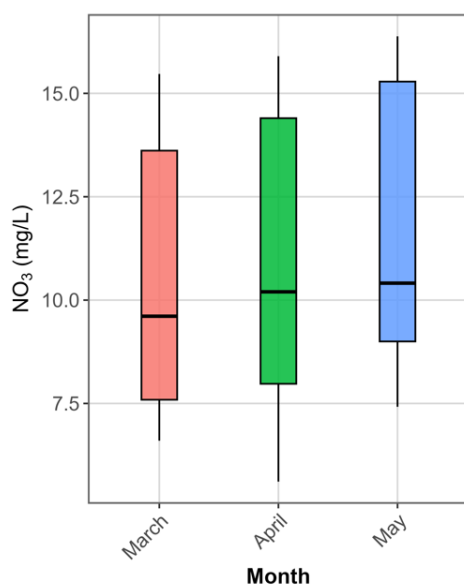


Figure19. Variation spatiale et temporelle des concentrations en nitrates (NO_3^-) dans les eaux du Lac des Oiseaux.

B. Nitrites (NO_2^-)

Les teneurs en nitrites montrent des variations spatiales et temporelles relativement importantes. La présence de ce composé intermédiaire de l'azote peut indiquer des apports récents de matière organique et une activité bactérienne intense. Les concentrations observées pourraient être associées aux rejets domestiques, aux déjections des oiseaux et aux activités d'élevage pratiquées autour du lac.

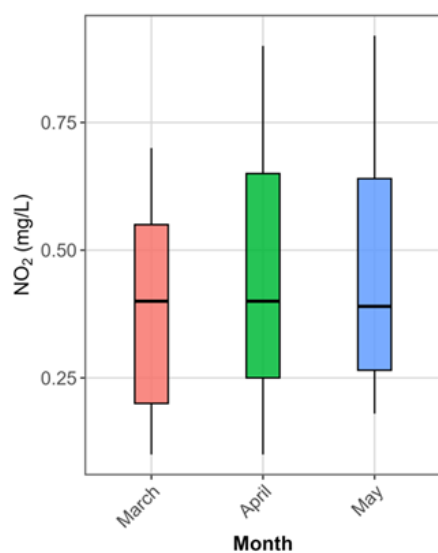


Figure20. Variation spatiale et temporelle des concentrations en nitrites (NO_2^-) dans les eaux du Lac des Oiseaux.

C. Phosphates (PO_4^{3-})

Les concentrations en phosphates témoignent d'un enrichissement nutritif des eaux du lac. Cette situation peut être attribuée aux apports agricoles, aux eaux usées domestiques et à la décomposition de la matière organique. L'association des phosphates avec les nitrates favorise le développement de la végétation aquatique et constitue un facteur potentiel d'eutrophisation du milieu.

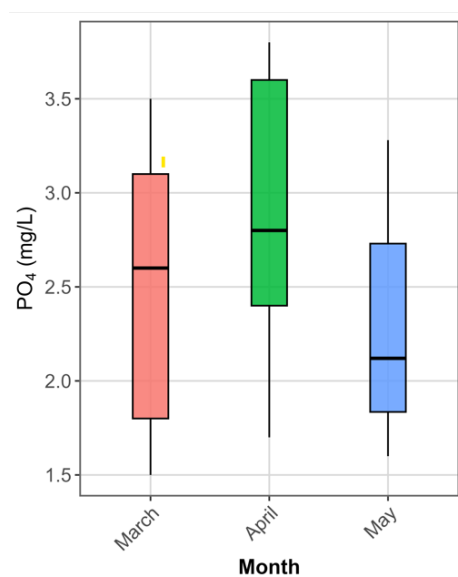


Figure.21. Variation spatiale et temporelle des concentrations en phosphates (PO_4^{3-}) dans les eaux du Lac des Oiseaux.

D. Ammonium (NH_4^+)

Les teneurs en ammonium enregistrées indiquent une influence de la pollution organique récente. Les valeurs observées pourraient être liées aux déjections animales, aux rejets domestiques et à la dégradation de la matière organique accumulée dans le lac. Cette situation est favorisée par la faible profondeur du Lac des Oiseaux et le renouvellement relativement limité de ses eaux.

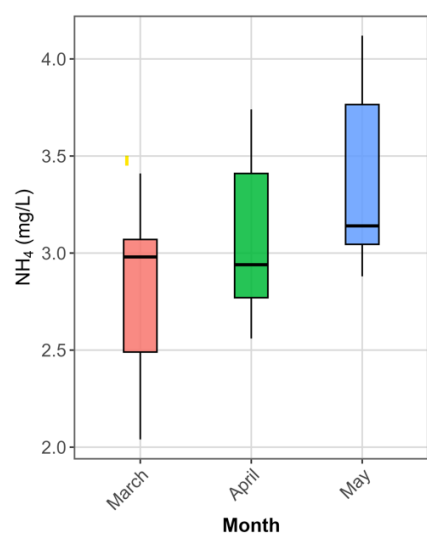


Figure22. Variation spatiale et temporelle des concentrations en ammonium (NH_4^+) dans les eaux du Lac des Oiseaux.

IV3. Contamination métallique des eaux

A. Cuivre (Cu)

Les concentrations en cuivre demeurent faibles et largement inférieures aux valeurs guides internationales. Ces résultats suggèrent une faible contamination du lac par cet élément. Sa présence pourrait être associée aux eaux de ruissellement agricoles et aux activités humaines exercées dans le bassin versant.

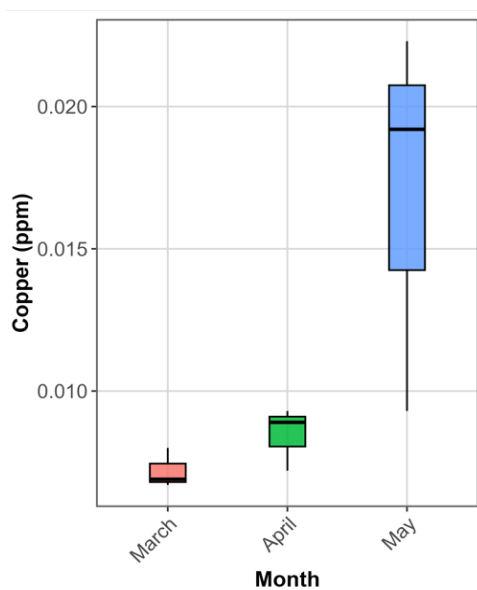


Figure23. Variation spatiale et temporelle des concentrations en cuivre (Cu) dans les eaux du Lac des Oiseaux.

B. Plomb (Pb)

Les concentrations en plomb révèlent une contamination plus marquée du milieu aquatique. Cette pollution pourrait être liée aux activités routières, aux rejets domestiques, au ruissellement urbain ainsi qu'à la proximité d'infrastructures anthropiques autour du lac. Les teneurs observées traduisent une pression environnementale susceptible d'affecter la qualité écologique de cet écosystème humide.

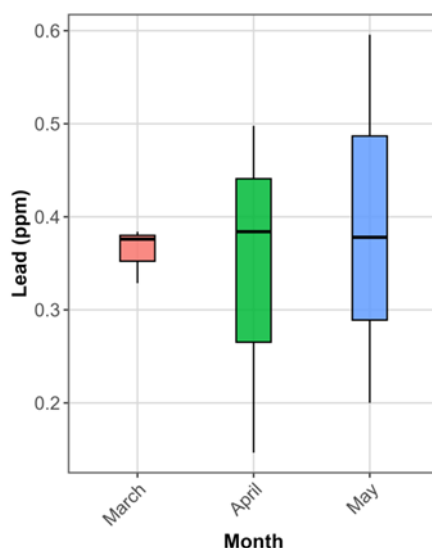


Figure 24. Variation spatiale et temporelle des concentrations en plomb (Pb) dans les eaux du Lac des Oiseaux.

IV.4. Profondeur

La faible variation de la profondeur observée entre les stations et les mois de suivi reflète les fluctuations naturelles du niveau d'eau du Lac des Oiseaux. Ces variations peuvent être influencées par les précipitations printanières, l'évaporation progressive liée à l'augmentation des températures ainsi que par les prélèvements d'eau destinés à l'irrigation des terres agricoles environnantes. La faible profondeur du lac favorise également le réchauffement rapide des eaux, la remise en suspension des sédiments sous l'effet du vent et l'accumulation des éléments nutritifs, ce qui peut contribuer à la dégradation de la qualité de l'eau et au développement de phénomènes d'eutrophisation.

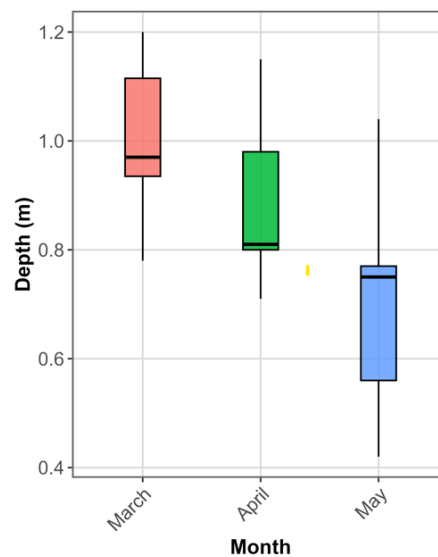


Figure 25. Les variations de profondeur

F. Résultats des analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques des eaux du Lac des Oiseaux ont été réalisées par la méthode de filtration sur membrane (0,45 μm), suivie d'une incubation sur milieux sélectifs adaptés à la recherche de bactéries indicatrices de contamination fécale.

Les résultats montrent une **absence totale de *Staphylococcus* spp.** sur l'ensemble des stations étudiées. Aucune colonie typique n'a été détectée après incubation sur milieu Chapman, indiquant l'absence de contamination associée à ce groupe bactérien au moment du prélèvement. (Figure 26)

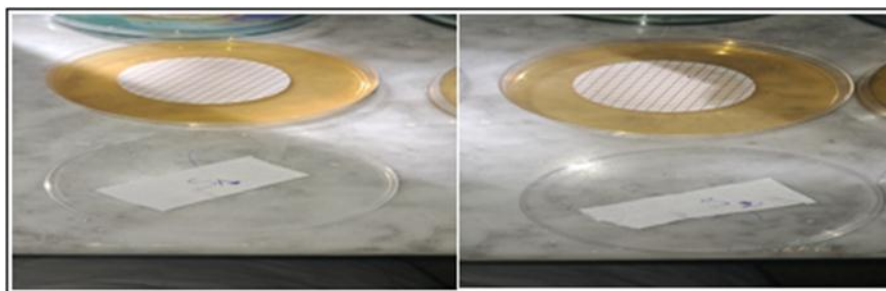


Figure 26. Isolement sur milieu Chapman (*Staphylococcus* spp.)

La culture sur milieu TTC-Tergitol a mis en évidence la présence d'*Escherichia coli* dans plusieurs stations. Cette espèce bactérienne est un indicateur spécifique de contamination fécale récente, selon les normes microbiologiques établies (**Rodier et al., 2009**). Sa présence traduit une introduction de matières fécales d'origine humaine et/ou animale dans le milieu aquatique.

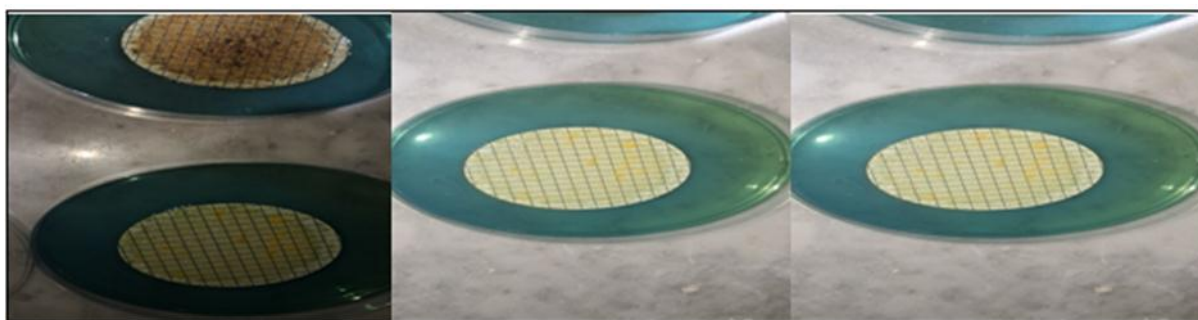


Figure 27. Isolement sur milieu TTC-Tergitol (*Escherichia coli*)

La présence d'*Escherichia coli* dans certaines stations indique une contamination fécale d'origine probablement anthropique et animale. Cette contamination pourrait être liée aux rejets domestiques, aux activités d'élevage et aux déjections des oiseaux migrateurs. Ces résultats traduisent une altération de la qualité microbiologique des eaux du Lac des Oiseaux et justifient la mise en place d'un suivi régulier de cet écosystème.

IV.5. Analyse multivariée des paramètres physico-chimiques par ACP

Cette approche statistique permet de réduire la complexité des données et d'identifier les principaux gradients environnementaux contrôlant la qualité des eaux du lac. Elle met également en évidence les corrélations entre les différentes variables physico-chimiques et chimiques, ainsi que leur contribution respective à la structuration globale du milieu aquatique.

L'ACP permet ainsi d'intégrer l'ensemble des paramètres étudiés dans une vision globale et synthétique, facilitant l'interprétation des processus de pollution et de minéralisation (**Jolliffe, 2002**). Elle constitue une étape essentielle pour distinguer les principaux facteurs responsables des variations observées et pour mieux caractériser le

fonctionnement hydro-écologique du Lac des Oiseaux. Afin d'approfondir cette analyse et de mieux comprendre les relations entre les paramètres, une analyse multivariée par ACP a été réalisée.

Dans cette étude, l'ACP a été appliquée aux paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux du Lac des Oiseaux afin d'identifier les principaux facteurs contrôlant la qualité de l'eau et de déterminer les relations existant entre les stations d'échantillonnage et les variables analysées.

Les résultats montrent que les deux premiers axes factoriels expliquent 68,1 % de la variance totale des données, dont 45,7 % pour l'axe F1 (Dim1) et 22,4 % pour l'axe F2 (Dim2). Cette proportion est suffisante pour fournir une représentation fiable de la structure des données.

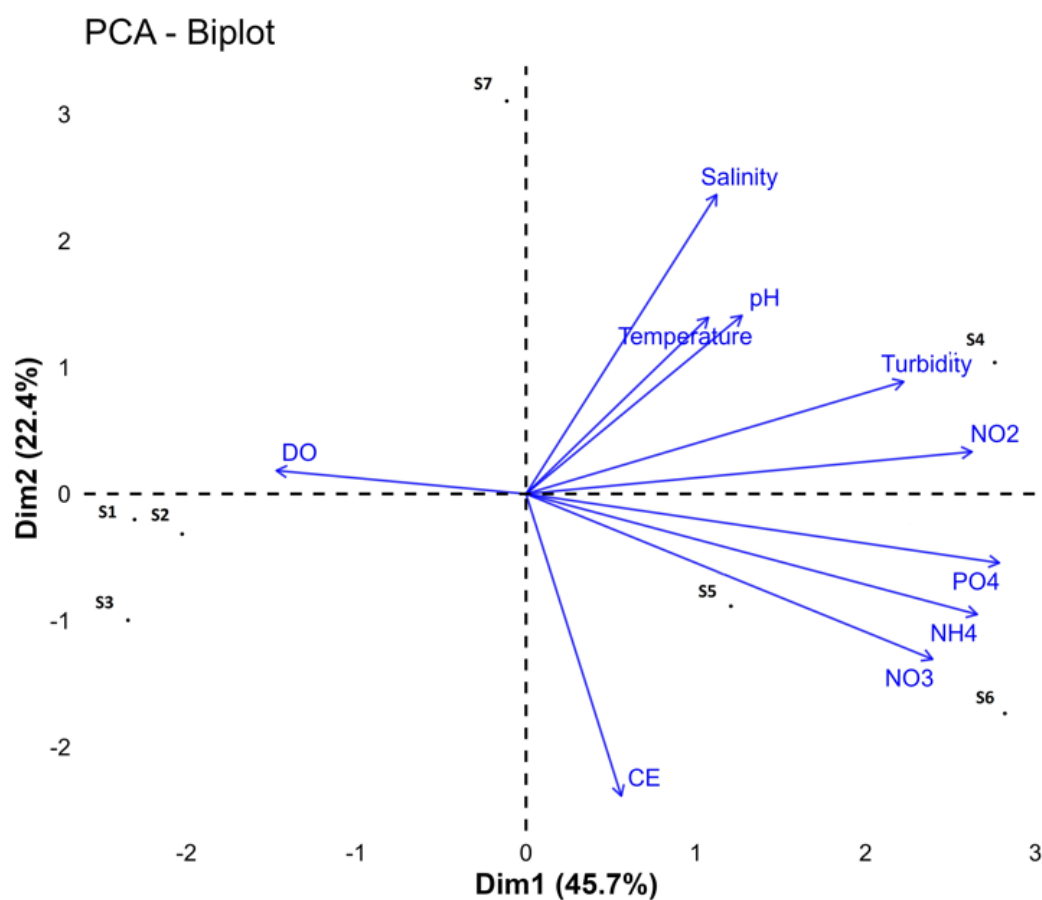


Figure 28. Biplot ACP montrant la distribution des stations d'échantillonnage et des paramètres physico-chimiques sur les axes F1 et F2.

La Figure 28 représente simultanément les variables physico-chimiques et les stations d'échantillonnage sur le plan factoriel défini par les axes F1 et F2.

L'axe F1 (45,7 %) oppose les stations S1, S2 et S3 aux stations S4, S5 et S6. Les stations S1, S2 et S3 sont localisées du côté de l'oxygène dissous (DO), indiquant des eaux relativement bien oxygénées et moins chargées en nutriments. À l'inverse, les stations S4, S5

et S6 sont associées aux nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+) et phosphates (PO_4^{3-}), traduisant un enrichissement en nutriments et une qualité d'eau plus affectée par les apports nutritifs.

La station S6 apparaît comme la plus fortement associée aux composés azotés et phosphorés, ce qui suggère une influence importante des phénomènes d'eutrophisation. La station S5 présente également une forte relation avec ces paramètres, tandis que S4 est davantage associée à la turbidité et aux nitrites.

L'axe F2 (22,4 %) est principalement lié à la salinité, à la température et au pH. La station S7 est située dans la partie supérieure du plan factoriel, à proximité de ces variables, ce qui indique que ses caractéristiques sont davantage influencées par les conditions physico-chimiques naturelles du milieu. Cette station se distingue ainsi des autres stations par son comportement particulier.

L'ACP met donc en évidence trois groupes de stations : un premier groupe composé de S1, S2 et S3 caractérisé par une meilleure oxygénation ; un deuxième groupe formé de S5 et S6 marqué par des concentrations élevées en nutriments ; et un troisième groupe représenté par S7, influencé principalement par la salinité, le pH et la température. La station S4 occupe une position intermédiaire caractérisée par une turbidité relativement importante.

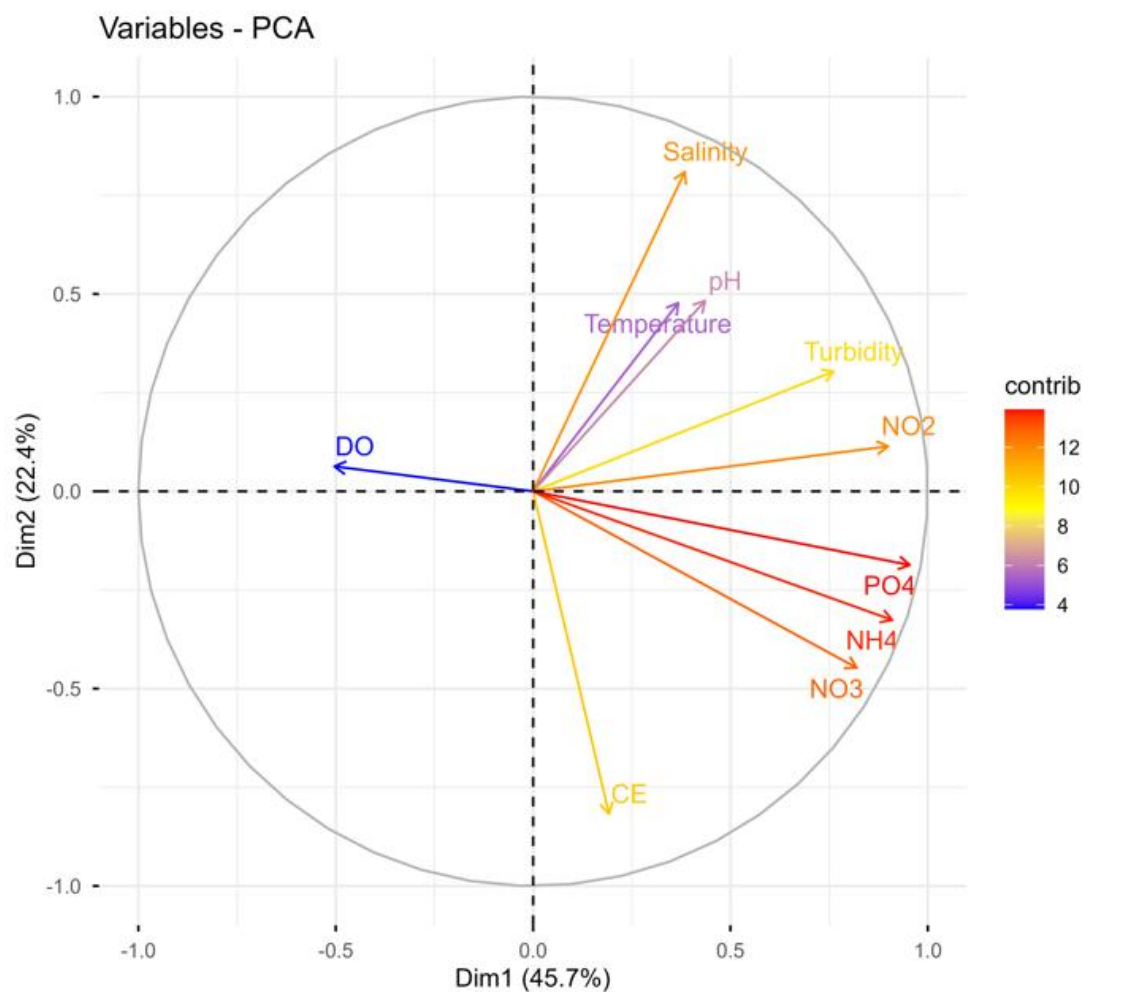


Figure 29. Cercle des corrélations des paramètres physico-chimiques et nutritifs sur le plan factoriel F1–F2 de l’ACP.

La Figure 29 présente le cercle des corrélations des variables ainsi que leur contribution à la construction des axes principaux. Les variables NO₃[–], NH₄⁺, PO₄^{3–} et NO₂[–] sont regroupées dans la même direction, indiquant une forte corrélation positive entre elles. Cette relation suggère une origine commune de ces éléments, probablement liée aux apports nutritifs provenant du bassin versant ou aux processus de minéralisation de la matière organique.

À l’opposé, l’oxygène dissous (DO) présente une orientation inverse, traduisant une corrélation négative avec les nutriments. Cette opposition indique qu’une augmentation des concentrations en composés azotés et phosphorés s’accompagne généralement d’une diminution de l’oxygène dissous, phénomène fréquemment observé dans les milieux soumis à l’eutrophisation.

La salinité, la température et le pH sont corrélés positivement entre eux et caractérisent principalement l'axe F2. Leur regroupement suggère une influence commune liée aux variations naturelles des conditions environnementales.

L'analyse des contributions montre que les variables PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et la turbidité contribuent fortement à la formation de l'axe F1, tandis que la conductivité électrique (CE) et la salinité sont les variables les plus influentes sur l'axe F2. Ces résultats indiquent que la variabilité de la qualité des eaux du Lac des Oiseaux est principalement contrôlée par deux gradients : un gradient d'enrichissement en nutriments et un gradient de minéralisation associé à la salinité et à la conductivité électrique.

Dans l'ensemble, l'ACP met en évidence l'existence de différences spatiales entre les stations et souligne le rôle majeur des nutriments, de la salinité et de la conductivité dans la structuration de la qualité des eaux du Lac des Oiseaux.

Conclusion

L'étude de la qualité des eaux du Lac des Oiseaux a mis en évidence une variabilité spatiale et temporelle des paramètres physico-chimiques, chimiques et microbiologiques. Les résultats obtenus révèlent l'influence des conditions naturelles du milieu ainsi que de diverses pressions anthropiques, notamment les activités agricoles, les rejets domestiques et les déjections animales. L'analyse statistique par ACP a permis d'identifier les principaux facteurs contrôlant la qualité des eaux, notamment l'enrichissement en éléments nutritifs et la minéralisation. Par ailleurs, la présence d'*Escherichia coli* dans certaines stations témoigne d'une contamination fécale localisée. Dans l'ensemble, les résultats montrent que le Lac des Oiseaux demeure un écosystème sensible nécessitant une surveillance régulière afin de préserver son équilibre écologique et sa biodiversité.

Conclusion

Conclusion générale et Perspectives

Cette étude a permis d'évaluer la qualité des eaux du Lac des Oiseaux à partir d'une approche intégrée combinant analyses physico-chimiques, chimiques et microbiologiques, ainsi que le traitement statistique des données. L'ensemble des résultats met en évidence un écosystème aquatique soumis à diverses pressions naturelles et anthropiques.

Les analyses montrent une variabilité spatiale et temporelle des paramètres étudiés, traduisant l'influence des conditions environnementales locales ainsi que des activités humaines environnantes telles que l'agriculture, l'élevage et les rejets domestiques. L'enrichissement en éléments nutritifs (nitrates, nitrites, ammonium et phosphates) suggère une tendance à l'eutrophisation du milieu, tandis que les analyses microbiologiques révèlent la présence d'*Escherichia coli*, indicateur d'une contamination fécale localisée.

L'analyse multivariée par ACP a permis de structurer les données et d'identifier les principaux gradients responsables de la variation de la qualité des eaux, notamment le gradient d'eutrophisation et celui de minéralisation. Ces résultats confirment la complexité des interactions entre les paramètres physico-chimiques et les sources de pollution.

Dans l'ensemble, le Lac des Oiseaux apparaît comme un milieu fragile, dont l'équilibre écologique peut être facilement perturbé par les apports externes. Cette situation nécessite une attention particulière et un suivi régulier afin de préserver la qualité de ses eaux et sa biodiversité.

Perspectives

Afin de compléter et d'approfondir cette étude, plusieurs perspectives peuvent être envisagées. Il serait pertinent d'élargir la période d'échantillonnage afin d'intégrer l'ensemble des saisons et de mieux comprendre les variations saisonnières des paramètres étudiés. L'augmentation du nombre de stations permettrait également une meilleure représentativité spatiale de la qualité des eaux.

Par ailleurs, l'intégration d'autres contaminants tels que les pesticides, les hydrocarbures ou les métaux traces pourrait apporter une vision plus complète de la pollution du lac. L'utilisation d'approches complémentaires, notamment des indices de qualité écologique et des modèles de dispersion, pourrait également renforcer l'interprétation des résultats.

Enfin, la mise en place de mesures de gestion environnementale et de sensibilisation des populations locales est essentielle pour limiter les impacts des activités anthropiques et assurer la durabilité de cet écosystème classé site Ramsar.

Références

Bibliographiques

Référence bibliographique

A

- A. Bengherbia, F. Hamaidi, R. Zahraoui, M. S. Hamaidi, S. Megateli, *Lebanese Science Journal*, 15, No. 2, (2014) 39-51.
- A. Brahimi, A. Chafi, *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) (2014) 1671-1682 .
- A. Chaouay, R. Okhrib, M. Hilali, L. Bazzi, A. Chahid, F. Khiri, *J. Mater. Environ. Sci.* 7(8) (2016) 2748 2759.
- Adjagodo A. Kelomè NC, Vissan EW, et al. Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal*, ESJ. (2017) 13.
- Afnor, (1992) Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). *Association française de normalisation* , NF ,T 90-350, 12p.
- Aminot, A., & Chaussepied, M. (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Paris : CNEXO, Éditions Jouve.
- Ashraf, M. A. (2017). *Persistent organic pollutants (POPs): a global issue, a global challenge*. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 4223–4227.
- AYAD-W, 2016, Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-Harrouch (wilaya de Skikda). Thèse P1 9 42

B

- Belghiti, M. L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D. et El Moustaine, R., (2013). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, 14, 21–36.
- Boumezbeur A. (1993) Ecologie et biologie de la reproduction de l'Erismature à tête blanche (*Oxyra leucocephala*) et du fuligule nyroca (*Fuligula nyroca*) sur le Lac Tonga et le Lac des Oiseaux) Est algérien. Thèse doctorat USTL. Montpellier. 250p.
- C.M. Bourgeois, J. F. Mescle, J. Zucca, Microbiologie alimentaire: aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Tome 1. Edition: Lavoisier. Tec et Doc,(1991) P, 260- 261.

C

- Cadot C., 1990. Les traitements de l'eau. Edition. Ellipses, Paris, 247 p
-

- Cairncross, S. (2019). *Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: an updated analysis*. International Journal of Hygiene and Environmental Health.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. Ecological Applications.
- Chaplin, M. (2023). *Water Structure and Science*. London South Bank University.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Convention de Ramsar. (2016). *Les zones humides et leurs services écosystémiques*. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.

D

- Débièche, T. H., (2002). *Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : application à la basse plaine de la Seybouse (Nord-Est algérien)*. (Thèse de Doctorat), Université de Franche-Comté, Besançon, France.
- Development Report (2023). *Partnerships and Cooperation for Water*. Paris .UNESCO Publishing.
- Diaf, I., Touati, B. et Pech, P., (2019). *What strategies make compatible the stakes of nature conservation and the stakes of economic growth in protected area Example of El Kala National Park, Algeria*. Geographia Polonica, 92(2), 233–248.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical Hydrology* (3rd ed.). Waveland Press.
- DRE d'EL Tarf, Etude d'aménagement du complexe humide de la zone nord-est de la wilaya d'EL -Tarf (Lac Tonga, Lac Oubeira, Lac des Oiseaux et marais de Mekhada). Volume 1 (2012) 64p.
- DSA El-Tarf, (2010). *Monographie agricole et environnementale de la Wilaya d'El-Tarf*. Direction des Services Agricoles de la Wilaya d'El-Tarf, Algérie.

E

- E. Geldreich, A. Kenner, *Applied Microbiologies*. 512 (1) (1964) 63-69.
-

F

- F. Lakhili, M. Benabdelhadi, N. Bouderkha, H. Lahrach, A. Lahrach, *European Scientific Journal april 2015 edition vol.11, No.11. 11* ISSN: 1857 – 7881 (Printe) - ISSN 1857-7431.
- Food and Agriculture Organization (2017). *Water pollution from agriculture: a global review*. Rome: FAO.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.

H

- Houhamdi M ; et Samraoui B. (2002) Occupation spatio-temporelle par l'avifaune aquatique du Lac des Oiseaux (Algérie). *Alauda* 70 : 301-310.
- Houhamdi M. (1998) Ecologie du lac des Oiseaux, Cartographie, Palynothèque et utilisation de l'espace par l'avifaune aquatique. Thèse de Magister. Univ. Badji Mokhtar, Annaba.198p.
- Houhamdi M. (2002) Ecologie des peuplements aviens du Lac Des Oiseaux : Numidie orientale. Thèse de doctorat d'état en Ecologie et environnement. Univ. Badji Mokhtar, Annaba. 146p.

I

- ISO 6222,(1999). *Qualité de l'eau — Dénombrement des micro-organismes revivifiables — Comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé*. Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Genève, Suisse
- ISO 7890-3, (1988). *Qualité de l'eau — Dosage des nitrates — Partie 3 : Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique*. Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Genève, Suisse.
- ISO 9308-1, 2014. *Qualité de l'eau — Dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes — Partie 1 : Méthode par filtration sur membrane pour les eaux à faible teneur en bactéries*. Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Genève, Suisse.

J

- J. C. Lacaze, L'eutrophisation des eaux Marines et Continentales. *Edition marketing S. A.* ISBN: 2-7298-4670 0, (1996) 167.
-

- J. Rodier, B. Legube, N. Merlet, L'analyse de l'eau, 9ème édition. Ed. Dunod Paris. (2009). 13. S. Bahroun, H. Kherici bousnoubra, *Larhyss Journal*, 09 (2011) 171-178.
- Jean Baudrillard - 1929-2007 - La Société de consommation - Denoël – (1970), 284p
- Joleud L. (1936) Etude géologique de la région de Bone et la calle. 2ème série, 185p

K

- Kherici, N., & Remini, B. (2007). *Les ressources en eau en Algérie : situation, problématiques et perspectives*.

L

- L. Audoin, *Rev. Sci. Tech .Off. int. Epiz.* 10(3) (1991) 629-654.
- L. Sayad, M. Houhamdi, N. Drouiche, N. Mouchara, *Proceeding. CIGRE. ENSH. Blida.* (2009) 36-41.
- Li, C., Yang, L., Shi, M., & Liu, G. (2019). *Persistent organic pollutants in typical lake ecosystems*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 668–678.
- Lounnas A. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi Kroma de Skikda. Mémoire de Magister, Université de Skikda (Algérie), 2009, 120 p.
- Loup, J. (1974). *Les eaux terrestres : hydrologie continentale*. Paris : Masson.

M

- M. Djidel, Pollution minérale et organique dans les eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). *Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar –Annaba Algérie* (2008) 164p.
 - M. Patoine, *Revue des sciences de l'eau*. 24 (4) (2011) 421-435.
 - MAAZI M.C. (1992) Contribution de l'estimation qualitative et quantitative des Anatidés et foulques hivernants et nicheurs au Lac des Oiseaux (W :El-Taref). Thèse ingénieur agronome INA.Alger. 68p.
 - Maiga Fatoumata Sokona, (2002). Manuel du cour d'hygiène du milieu, F.M.P.O.S.
 - Meybeck, M., de Marsily, G., & Fustec, E. (1998). *La Seine en son bassin : fonctionnement écologique d'un système fluvial*. Elsevier. Cet ouvrage présente les différents
 - Morgan, N. C. (1982). An ecological survey of standing waters in north-east Algeria. *Biological Conservation*, 24(4), 299–318.
-

N

- N. Nouayti, D. Khattach, M. Hilal, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015) 1068-1081.
- N.H. Tran, K.Y.H Gin, H.H. Ngo, *Science of The Total Environment*. Volume 538, (2015) 38-57.

O

- OMS 1994. Directives de qualité pour les eaux de boisson; Volume 1- Recommandation. Organisation mondiale de la santé 2e édition.

R

- Reggam, H. Bouchelaghem, M. Houhamdi, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (5) (2015) 1417-1425.
- Rodier et all. (2009). L'analyse de l'eau. 9ieme édition dunod. 35, 40, 78p.

S

- Samraoui Boudjéma & De Belair Gérard (1998). *Les zones humides de l'Afrique du Nord : valeur écologique et conservation*. (Référence fréquemment citée dans les études sur les zones humides algériennes).
- Samraoui Boudjéma & Samraoui, F. (2008). Études sur les zones humides et l'avifaune en Algérie, notamment les sites Ramsar de l'Est algérien.
- Samraoui, B., & de Bélair, G. (1997). The Guerbes-Senhadja wetlands (north-east Algeria). Part I: An overview. *Ecologie*, 28(4), 233–250.
- Sayad L. (2008). Qualité physicochimique et bactériologique des eaux de l'écosystème lacustre Lac des Oiseaux. Mémoire due Magistère. Université d'Annaba. 118p.
- Shiklomanov, I. A. (1993). World Fresh Water Resources. In P. H. Gleick (Ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (pp. 13–24). Oxford University Press.

T

- Toumi, A., Reggam, A., Alayat, H., & Houhamdi, M. (2016). *Caractérisation physico-chimique des eaux de l'écosystème lacustre : cas du Lac des Oiseaux (Extrême Nord-Est algérien)*. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(1), 139–147.

U

- UNESCO. (2023). *United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water*. Paris: UNESCO Publishing.

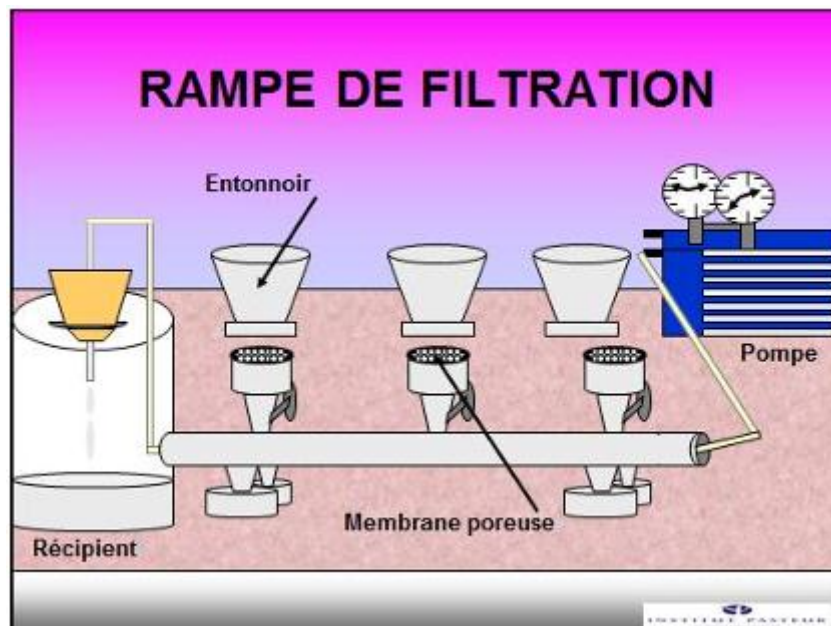
V

- V.O.Gaëtan, Comparaison de la potentialité et de la vulnérabilité de plusieurs sources dans le bassin du Viroi. *Mémoire de fin d'études, université libre de Bruxelles*. (2008) 43 p.
- VALIRON, F., 1994. *Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement. Tome 1 : L'eau dans la ville, alimentation en eau*. Paris : Tec & Doc – Lavoisier, 435 p.

W

- World Health Organization. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed., incorporating the first and second addenda). Geneva: WHO

Annexes

Annexe 01 : Paramètres microbiologiques Annexes**1. Rampe de filtration**

Rampe de filtration

L'eau qu'on veut analyser doit être filtrée sur une membrane en nitrate de cellulose de porosité bien définie ($0.45\ \mu\text{m}$) capable de retenir les bactéries.

✓ Mode opératoire

- Flamber la face supérieure de l'appareil ;
- Poser les membranes filtrants entre l'entonnoir et la pince : le côté poreux au-dessous
- Installer le dispositif d'assemblage ;
- Agiter bien le flacon d'eau à analyser et le verser dans l'entonnoir jusqu'à son remplissage ;
- Ouvrir le robinet du support entièrement afin de laisser l'eau s'écouler sous l'action d'aspiration d'eau.
- Après l'aspiration de toute la quantité d'eau, fermer les robinets puis enlever les dispositifs d'assemblage et avec une pince flambée prélever les membranes saisies par leur extrémité ;
- Transporter chaque membrane de filtration soigneusement sur un milieu de culture solide additionné de Tergitol 7 et TTC puis faire incubation à 37 C° pendant 24 h.

2. Milieux de culture

✓ Gélose TTC et au Tergitol 7

- **Domaine d'utilisation** : permet d'effectuer la recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes dans les eaux, notamment celles destinées à la consommation humaine, par la méthode des membranes filtrantes.

- **Composition (pour un litre de milieu)**

Peptone pancréatique de viande	10,0 g
Extrait de viande	5,0 g
Extrait autolytique de levure.....	6,0 g
Lactose	20,0 g
Tergitol 7	0,1 g
Bleu de bromothymol	50,0 mg
Chlorure de 2, 3, 5 triphényltétrazolium	25,0 mg
Agar agar bactériologique.....	10,0 g
pH : 7,2 ± 0,2, Autoclavage 20 mn à 121°C.	

✓ Gélose slanetz et Bartly

- **Domaine d'utilisation** : milieu sélectif utilisé pour le dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux d'alimentation par la technique de filtration sur membrane.

- **Composition (pour un litre de milieu)**

Tryptose	20,0 g
Extrait autolytique de levure.....	5,0g
Glucose.....	2,0 g
Phosphate dipotassique.....	4,0 g
Azide de sodium	0,4 g
Chlorure de 2, 3, 5 triphényltétrazolium	0,1 g
Agar agar bactériologique.....	10,0 g