



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية

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

## PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master

Domaine : Sciences de la matière

Spécialité: Chimie Analytique

### THEME

Estimation de la qualité physico-chimique des  
eaux du lac Tonga

Présenté par : Ramoul Raounek

Soutenu le : 26/06/2023

Devant le Jury :

Dr. Klai N.	MCB	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Présidente
Dr. Khaled-khodja S.	MCA	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Encadrante
Dr. Ait Bara A.	MCA	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Co-Encadrant
Dr. Ferdjeni S.	MCB	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Examineur

Année Universitaire : 2022-2023

# Dédicace

---

## Dédicace

A mes chers parents Naouri et Souhaila. Aucune dédicace ne peut exprimer mon amour, mon respect, et ma gratitude pour eux. Rien au monde ne vaut les efforts qu'ils ont fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bonheur.

A ma sœur Yousra et mon frère Youssef Esedik qui m'ont guidé, soutenu et encouragé depuis l'enfance jusqu'à ce jour.

A mes chères amies surtout ; Linna, Rayene, Meriem, aya, et Khadija avec qui j'ai passé des bons moments.

A toute les personnes, qui m'ont aidé et encouragé de près ou de loin.

Ramoul raounek

# Remerciements

---

## Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force et les moyens pour accomplir ce modeste travail.

Mes remerciements et mes profondes gratitude s'adressent en premier lieu à ma famille.

Je tiens à remercier vivement *Dr. Khaled-khodja Soumeya*, mon encadreur, qui a donné un sens à mon travail grâce à ses conseils et ses orientations significatives.

Je remercie chaleureusement le *Dr. Klai Nadia*, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi aux *Dr. Ferdjeni Salim*, pour avoir accepté de faire partie du jury.

J'exprime ma profonde gratitude à tous mes **enseignants** qui ont participé à ma formation pendant toutes mes années d'étude.

Je remercie aussi l'équipe du laboratoire (Algérienne des eaux el-taraf « Bouteldja » pour qu'ils nous aident à la réalisation de mon travail.

Mes remerciements à l'ensemble de mes **amies et camarades**, étudiantes de la promotion master 2 chimie analytique, pour leurs aides et leurs encouragements.

Et enfin je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	II
Liste des photos .....	III
Liste des abréviations .....	IV
1. Introduction.....	1
2. Matériel et méthode.....	4
2.1. Présentation du Parc National d’El-Kala (PNEK).....	4
2.2. Description du site d’étude : lac Tonga.....	5
2.3. Situation géographique.....	6
2.4. Situation administrative et Situation socio-économique.....	6
2. 5. Caractéristiques physiques .....	8
2.5.1. Géologie.....	8
2. 5. 2. Pédologie.....	8
2.6. Caractéristiques écologiques .....	9
2.6.1. Cadre floristique.....	9
2.6.2. Cadre faunistique.....	10
2.7. Réseau hydrographique du lac Tonga.....	10
3.8. Profondeur, volume et débit .....	12
2. 9. Climatologie de la zone d’étude.....	12
2. 9. 1. La température.....	12
2. 9. 2. Les précipitations.....	13
2. 9. 3. L’humidité.....	13
2. 9. 4. Les vents.....	14
2. 9. 5. L’évaporation.....	14
2. 9. 6. Diagramme ombrothermique.....	14
2. 10. Choix des stations de prélèvement.....	15
2. 11. Échantillonnage.....	16
2. 11. 1.Préparation du matériel.....	16
2. 11. 2. Techniques de prélèvement.....	17
2. 11. 3. Conservation des échantillons avant analyse.....	17
2. 12. Justification du choix des descripteurs étudiés.....	17
3. Résultat et discussion .....	21
3. 1. Dispersion spatio-temporelle des descripteurs physico- chimiques .....	21

3. 1. 1. Température.....	21
3. 2. 2. pH.....	22
3 .2. 3. Turbidité.....	23
3.2. 4. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) .....	23
3.2. 5. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) .....	24
3.2. 6. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	24
3.2.7. Ortho phosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) .....	25
3.2.8. Matière Organique .....	25
4.Conclusion générale .....	26
Référence bibliographique.....	28
Résumé	

Figure 1. Localisation du Parc National d'El Kala ..... 5

Figure 2 . Carte du réseau hydrographique de la région d'étude ..... 11

Figure 3. Diagramme ombrothermique de Gaussen..... 15

Figure 4. Variations moyennes des températures dans les trois stations..... 21

Figure 5. Valeurs moyennes du pH dans les trois stations ..... 22

Figure 6. Valeurs moyennes de la CE dans les trois stations ..... 22

Figure 7. Valeurs moyennes de la turbidité dans les trois stations..... 23

Figure 8 . Concentrations moyennes de l'ammonium dans les trois stations ..... 23

Figure 9. Concentrations moyennes des nitrites dans les trois stations ..... 24

Figure 10. Concentrations des nitrates dans les trois stations ..... 24

Figure 11. Concentrations moyennes des ortho phosphates dans les trois stations ..... 25

Figure 12. Concentrations moyennes des M. O. dans les trois stations.....25

Tableau 1. Classification des sols de la région du lac Tonga .....	8
Tableau 2. Moyennes mensuelles des températures [1996-2005].....	12
Tableau 3. Moyennes mensuelles des précipitations [1996-2005]. .....	12
Tableau 4. Moyennes mensuelles d'humidités [1996-2005] .....	12
Tableau 5. Vitesses moyennes du vent [1996-2005] .....	13
Tableau 6. Evaporation totales mensuelle [1996-2005] .....	13

Photo 1. Lac Tonga .....6

Photo 2. Elevage du bovin autour du lac Tonga.....7

Photo 3. Le Nénuphar blanc (*Nymphaea alba*).....10

Photo 4. Le Scribe (*Scripus lacustris*).....10

Photo 5. Oie cendrée (*Anser Anser*).....10

Photo 6. Station située sur la berge (TB1) .....15

Photo 7. Station avale du lac (Tav).....16

Photo 8. Station amont du lac (Tam).....16

Photo 9. Le prélèvement des eaux du lac .....17

PNEK : Parc National d'EI-Kala.

DGF : Direction générale des forêts

DCO : Demande chimique en oxygène.

DBO<sub>5</sub> : Demande biochimique en oxygène pendant une incubation de 5 jours.

CE : Conductivité électrique.

TDS : Total Dissolved Solids (total des solides dissous)

μS/cm : Micro siemens par centimètre.

P : Précipitation.

H : Humidités

MO : Matière Organique.

SEQ-Eau : Système d'Evaluation de Qualité de l'Eau des cours d'Eau.

Norme –Alg : Norme Algérienne.

ADE : Algérienne Des Eau.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

### 1. Introduction

De nombreuses définitions ont été proposées au sujet des zones humides, elles se focalisant toutes sur l'élément essentiel de leur fonctionnement qui est l'eau. Selon la convention de Ramsar : « Les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur ne dépasse pas les six mètres » [1].

Les Zones humides sont des écosystèmes très productifs qui recèlent des richesses faunistiques et floristiques exceptionnelles d'où leur importance à l'échelle mondiale, régionale et locale. En effet elles abritent des dizaines de milliers d'espèces animales et végétales et par conséquent elles sont considérées comme de grands réservoirs de la biodiversité. L'être humain bénéficie non seulement de l'utilisation directe des ressources des zones humides mais aussi de leurs fonctions et de leurs services éco systémiques, qu'elles offrent au quotidien et gratuitement [2].

Pour protéger et préserver les zones humides et profiter des services précieux et utiles qu'elles fournissent aux humains et à l'environnement, plusieurs pays se sont mobilisés pour leur protection et leur utilisation de manière rationnelle et durable. Cette prise de conscience internationale de leur importance et de la nécessité de leur préservation, a conduit à la Convention de Ramsar (nom de la ville iranienne où la convention a été adoptée) qui est entrée en vigueur en 1975. Cette convention sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle et durable des zones humides [3]. Actuellement, 159 pays ont signé cette convention, contre 119 en 2000 et 18 en 1971. En 2009, la liste des zones humides d'importance internationale compte 1828 sites représentant une superficie de plus de 1,6 million de Km<sup>2</sup> [4].

L'Algérie fait partie des signataires de la convention Ramsar. Cette dernière est entrée en vigueur au mois de novembre 1983, avec l'inscription du lac Tonga, lac Obeira et le lac des oiseaux sur la liste des zones humides d'importance internationale. Ces lacs appartiennent au complexe de zones humides d'El-Kala (wilaya d'Al Taraf) et sont localisés dans le Parc National d'El Kala (PNEK).

La situation géographique, la composition physique et la diversité climatique de l'Algérie lui confèrent une grande richesse en zones humides. Sa configuration physique s'est traduite globalement par une zone latitudinale caractérisée par l'existence de plusieurs types

de climats sur lesquels l'influence méditerranéenne s'atténue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer. Cette diversité de climat a engendré une grande diversité de zones humides. Ainsi dans la partie Nord-Est de l'Algérie, qui constitue la région la plus arrosée du pays, se localise un complexe lacustre particulièrement important, le complexe d'El Kala. La frange Nord-Ouest soumise à un régime pluviométrique moins important se caractérise surtout par des plans d'eau salés tels que ; les marais de la Macta et la sebkha d'Oran. Dans les hautes plaines steppiques on rencontre principalement des chotts et des sebkhas. Ce sont des lacs continentaux salés de très faible profondeur qui se sont formés au pléistocène et s'étendent sur de très grandes superficies en millions de km<sup>2</sup>, tel que Chott El Hodna, Chott chergui et Chott Melghir [5].

Selon les dernières statistiques diffusées par la Direction générale des forêts (DGF), l'Algérie compte 1.451 zones humides s'étendant sur 3 millions d'hectares dont une cinquantaine est classée site Ramsar, renfermant 762 zones naturelles et 689 d'origine artificielle [6].

Partout dans le monde, les zones humides sont soumises à une pression humaine sans précédent. Les cours d'eau sont souillés par de nombreuses sources de pollution : pollution accidentelle, rejets d'eaux usées et de déchets ménagers riches en nutriments et en matières organiques fermentescibles, effluents liquides industriels contenant souvent des composés xénobiotiques extrêmement toxiques tels que : les micropolluants minéraux (éléments traces métalliques) et les micropolluants organiques (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, PolyChloroBiphényles, etc.), les effluents liquides agricoles riches en sels minéraux (nitrate et orthophosphates à l'origine de l'eutrophisation des eaux) et en multi résidus de pesticides. Les déchets liquides d'élevage pouvant entraîner une dégradation de la qualité de l'eau [3]

Dans un esprit d'investigation, de protection et de préservation des sites Ramsar dont le lac Tonga, cette étude a pour objet de faire une première estimation de la qualité physico-chimique des eaux du lac. Le maintien du site et de ses ressources faunistiques et floristiques est tributaire de la qualité de l'eau.

Pour se faire, nous avons ciblé quelques descripteurs représentatifs de l'état chimique de l'eau : le phosphore, l'azote (à l'origine du phénomène d'eutrophisation), la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène après 5 jours d'incubation (DBO<sub>5</sub>).

Le manuscrit est scindé en trois chapitres : Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique. Le second chapitre se rapporte au matériel et aux méthodes utilisées. Le troisième chapitre expose et discute les résultats obtenus durant les campagnes d'échantillonnage. Pour finir, une conclusion générale et quelques perspectives futures seront apportés.

## 2. Matériel et méthodes

### 2. 1. Présentation du Parc National d'El-Kala (PNEK)

El-Kala (ex-La Calle), très jolie ville côtière, nommée encore ville du corail suite à sa grande richesse en récifs corallien, est une commune de la wilaya d'El Tarf. Localisée à la frontière Algéro-tunisienne, est ensorcelante avec ses lacs, ses lagunes, ses forêts et ses marécages classés réserve nationale [7].

Le Parc National d'El Kala est l'un des plus grands parcs nationaux d'Algérie (Fig. 1). Il est situé au nord-est du pays, distant de 70 km de la ville d'Annaba et est limitrophe avec la frontière de la Tunisie [8]. Il a été créé par le décret du 23 juillet 1983. En 1990, le PNEK est classé comme Réserve de la Biosphère, dans le réseau des réserves du programme MAB (Man And Biosphère) de l'UNESCO. Avec une de superficie de 76 438 ha, le parc représente un des plus grands parcs nationaux d'Algérie. Le PNEK s'étend sur une grande façade maritime, et recèle plusieurs sites naturels très diversifiés, tels que les lacs, les marécages, les montagnes, les rivières, etc. [8].

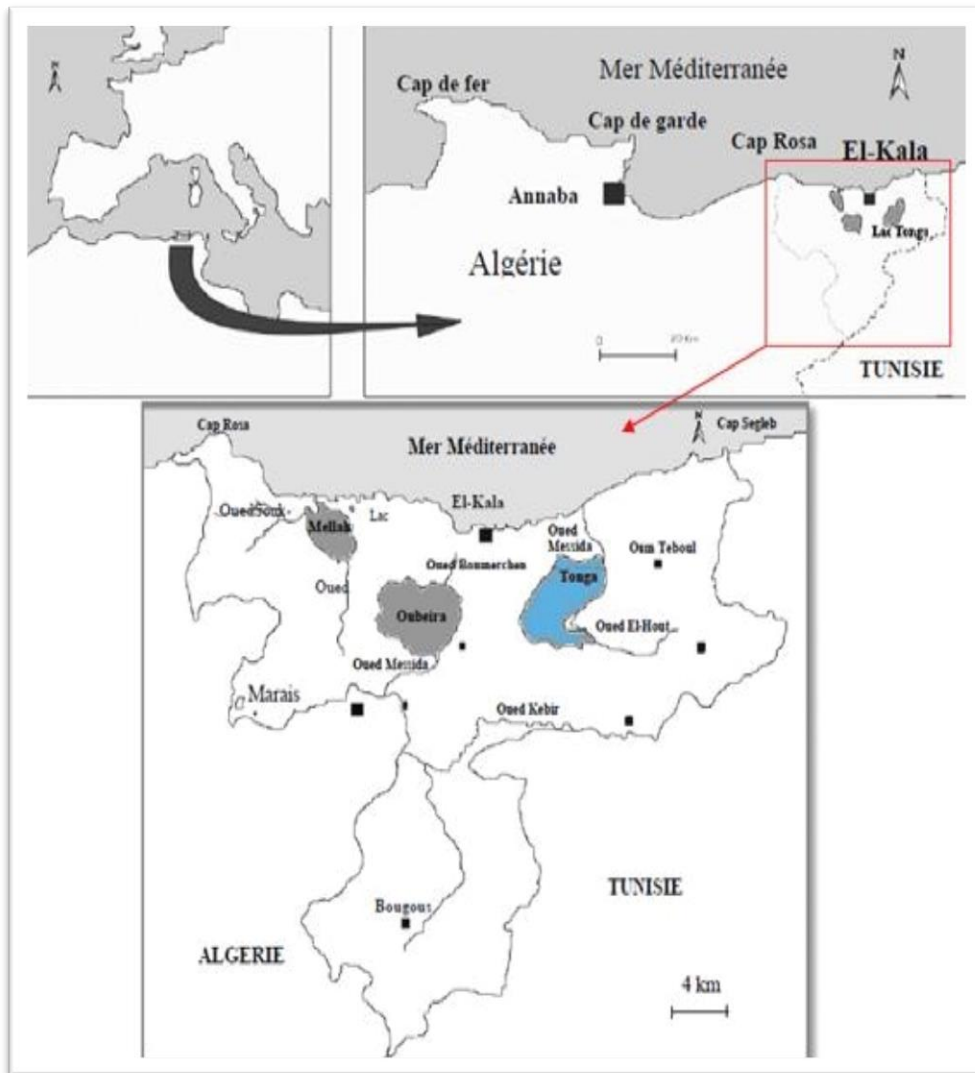


Figure 1. Localisation du Parc National d'El Kala [9]

## 2.2. Description du site d'étude : lac Tonga

Le lac Tonga est un plan d'eau douce d'une superficie de 2 400 à 2 600 ha selon les saisons des pluies (ou des hautes eaux) (Photo 1). Sa profondeur moyenne est de 1,80 m. Il fût inscrit sur la liste des sites Ramsar depuis 1982 et il est considéré comme l'une des plus importantes zones humides de l'Afrique du Nord. En sus, il est classé comme l'une des aires protégées de la région méditerranéenne, ce qui lui a valu sa nomenclature de réserve de la biosphère [10]



Photo 1. Lac Tonga

### 2. 3. Situation géographique

Le lac Tonga est localisé dans le PNEK, à l'extrémité Nord-est de l'Algérie. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 36°53' de latitude N et 08°31' de longitude E. Il débouche dans la mer par le biais d'un canal artificiel, le canal de Messida [10].

Il est distant de 3 km de la frontière Algéro-tunisienne à l'Est. Du côté Nord, il est séparé de la mer par les dunes maritimes formées essentiellement par un maquis dense de Chêne Kermès. Au Nord-Ouest par des collines sableuses, qui le séparent au lac Oubeira. Il est limité sur toute la partie Ouest, Sud et Est par les derniers contreforts des montagnes de la Kroumirie couverte de montagnes plus ou moins dégradées de chêne liège [11].

### 2. 4. Situation administrative et socio-économique

Le lac Tonga, site d'importance internationale est géré administrativement par la direction du PNEK où il est soumis à une législation nationale relative à certaines conventions et protocoles internationaux :

- Décret n° 82-440 du 11/12/1982, portant ratification de la convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles, signée à Alger le 15/09/1968.
- Décret n° 82-498 du 25/12/1982 portant adhésion à la convention sur le commerce international des espèces de la faune et de la flore sauvage menacée d'extinction signée à Washington le 03/03/1973.
- Décret n° 85-01 du 05/01/1985, portant ratification du protocole relatif aux aires spécialement protégées de la Méditerranée, signé à Genève le 03/04/1982 [10].

Les activités économiques dans la région sont essentiellement :

➤ **L'agriculture**

Elle est peu développée au tour du lac et se caractérise par de petites exploitations familiales tournées vers une agriculture traditionnelle. Le rendement est souvent faible à moyen, ceci dû au sol ingrat de nature sableuse.

➤ **Le tourisme**

Surtout durant la période estivale, le tourisme balnéaire est pratiqué loin du site sur le littoral (plage Messida qui accueille chaque année un nombre croissant d'estivants). L'écotourisme y est pratiquement absent et peu de routiers, de passants, font une halte au niveau du site.

➤ **La chasse et le braconnage**

Les oies et les canards sont les gibiers d'eau les plus recherchés par les chasseurs. La saison de la chasse n'est jamais respectée surtout sur le côté Ouest du lac (Oued El-Hout) où la chasse des canards est pratiquée tout le long de l'année même en période de nidification. Durant la période de nidification, certains riverains, surtout les enfants, s'adonnent au braconnage. La partie Sud-ouest (Fedj El-Alleg) et Sud-est (coté d'Oued El-Hout) abrite un grand nombre d'oiseaux d'eau.

➤ **La pêche**

La seule activité de pêche pratiquée concerne surtout l'Anguille (*Anguilla anguilla*) abondante au niveau du lac. Autre espèces de poissons : *Gambuses*, *Carpes*... vivent également dans ces eaux riches en phytoplancton et zooplancton. Nous n'avons pas noté une pression de pêche importante dans ce lac.

➤ **Le pâturage et l'élevage**

Les prairies et les forêts entourant le lac sont des zones de pâturage surtout pour les vaches dont le nombre est relativement élevé (Photo 2). Cette activité est caractérisée par une pratique d'élevage traditionnelle incontrôlée [12].



Photo 2. Élevage de bovin autour du lac Tonga

## 2. 5. Caractéristiques physiques

### 2.5.1. Géologie

D'après la carte géologique de Joleaud (1935), les différentes formations géologiques rencontrées dans le bassin du lac Tonga sont :

- Les alluvions lacustres couvertes d'eau l'hiver, formées d'argiles de Numidie imperméables.
- Les alluvions limoneuses au fond des vallées du Pléistocène, formées de sable et limon.
- Les grés à hélices qui par désagrégation ont donné les dunes.
- Les formations du Pontien qui présentent deux faciès argiles sableuses grises, jaunes ou rouges; conglomérats et sables rouges ou jaunes à *Archaelix solignaci* et des argiles marneuses, salifères et argiles rouges gypseuses; dans le bassin du lac Tonga c'est le premier faciès qui domine.
- Les grés de Numidie, quartzeux, souvent blanchâtres, parfois assez friables, transgressifs sur les argiles de Numidie et formant des reliefs abrupts. Ils recouvrent 33 % de la superficie du bassin versant.
- Les marnes argilo-schisteuses de couleurs variées avec intercalation de petits bancs de grés quartzeux développés surtout sur les pentes des vallées et groupées sous le nom d'argiles de Numidie.
- Les argiles, grés et calcaires noirs à nummulites de l'Éocène moyen.

Enfin, le bassin versant du Lac Tonga présente diverses formations géologiques :

- Sols de marécages : formés de limons de bas-fonds.
- Alluvions limoneuses : formées de sable et limons récents.
- Des argiles, grés et calcaires noirs de l'éocène moyen qui constituent les contreforts entourant le lac [13].

### 2. 5. 2. Pédologie

Les précieux travaux de Durand (1954) ont contribué considérablement à la connaissance de la pédologie de la région (Tableau 1). Il distingua dix (10) types de sols qu'il classa en deux grandes catégories. Les sols zonaux (dépendant surtout du climat) et les sols azonaux (dépendants d'un facteur autre que le climat) [14].

Tableau 1. Classification des sols de la région du lac Tonga

Sols zonaux	Sols azonaux
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podzols ferrugineux</li> <li>- Sols oxyhumiques.</li> <li>- Sols insaturés acides</li> <li>- Sols décalcifiés</li> <li>- Sols insaturés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sols des marais</li> <li>- Sols de prairies marécageuses</li> <li>- Sols tourbeux non inondés</li> <li>- Sols alluviaux</li> <li>- Sols dunaires</li> </ul>

## 2.6. Caractéristiques écologiques

### 2.6.1. Cadre floristique

La surface du lac est recouverte à 90 % d'une végétation émergente, on y recense 82 espèce dont 32 sont classées assez rares à très rares. Néanmoins cette végétation tend à démontrer son état d'eutrophie avancée [15].

Au Nord du lac se trouve une aulnaie de 57 ha, dotée d'une richesse floristique spécifique remarquable. 142 espèces végétales d'origine biogéographique tropicale sont recensées. Le climat quasi tropical de la région est particulièrement favorable au Cyprès chauve (*Taxodium disticum*), à l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), à l'Orne champêtre (*Ulmus minor*), et à l'Acacia à bois noir (*Acacia melanoxylon*). La physionomie de la végétation est déterminée par la dominance apparente du *Nymphaea alba* qui occupe le centre du lac, *Scirpus lacustris*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis* et l'*Iris pseudo acorus*. Dans la partie Sud-ouest, le *Scirpus maritimus* [8]. Les communautés végétales du lac se présentent sous forme d'une mosaïque d'hydrophytes et d'hélophytes (ceinture de végétation et zone d'eau libre). D'une manière générale, la physionomie dominante du lac est celle d'une roselière qui abrite la plupart des hélophytes. Durant les périodes printanières et estivales, le Nénuphar blanc vient couvrir en grande partie sa surface, lui conférant ainsi un aspect bien particulier [15].



Photo 3. Le Nénuphar blanc (*Nymphaea alba*)



Photo 4. Le Scirpe (*Scirpus lacustris*)

### 2.6.2. Cadre faunistique

Le complexe des zones humides du Nord-Est Algérien est connu à l'échelle internationale comme un important quartier d'hivernage et de reproduction pour les oiseaux d'eau (avifaune). Le Lac Tonga constitue le plus important site de reproduction dans l'Est Algérien [14].

Le nombre d'espèces d'oiseaux d'eau au niveau du lac est généralement de 170 (12 rapaces, 69 espèces protégées par le décret présidentiel du 20/08/83 complété le 17/01/95). Certaines d'entre ces espèces protégées sont des migratrices strictes à savoir : oie cendrée (*Anser anser*), grue cendrée (*Grus grus*), Tadorne de belon (*Tadornata dorna*), grande aigrette (*Egretta alba*), et ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) [13].

Le Lac Tonga recense de nombreuses espèces d'insectes : 28 espèces d'odonates qui appartiennent à quatre familles taxonomiques: Lestidae, Coenagrionidae, Aeshnidae et Libellulidae, et 14 espèces d'hémiptères avec une espèce d'origine afrotropicale: *Hydrocyrius columbiae* Spinola [16].



Photo 5. Oie cendrée (*Anser anser*)

### 2.7. Réseau hydrographique du lac Tonga

Le réseau hydrographique du bassin du lac Tonga présente une densité peu commune. Le plan d'eau reçoit ses eaux de deux principaux oueds : oued El Hout, long de 14 km, et oued El Eurg qui fait 10 km de long (Fig. 2).

En période estivale le débit du lac se réduit considérablement par les effets conjugués de l'étiage et des nombreux prélèvements qui sont effectués le long de leur parcours, notamment en franges alluviales et dans les deltas au Nord d'Oued El Hout et à l'Ouest d'Oum Teboul.

L'oued El Eurg draine la zone montagneuse au Nord et Nord-est du bassin et oued El Hout, qui prend sa source dans les massifs d'El Aïoun, draine la partie montagneuse du Sud du bassin. Une tentative d'assèchement du lac Tonga à la fin du 19ème siècle a modifié et rectifié le lit de l'oued pour canaliser les eaux directement vers la mer. Une multitude de cours d'eau temporaires qui coulent dans les thalwegs, à l'Ouest et au Sud-Ouest du bassin versant, contribuent temporairement, lors des crues, à l'alimentation du plan d'eau. L'existence d'une importante aulnaie et la présence de l'eau très près de la surface à la limite entre le lac et les dunes littorales qui le bordent au Nord indique une alimentation par voie souterraine à partir de la nappe des dunes. Le canal de la Messida qui se jette dans la mer est l'exutoire du lac Tonga. Il longe la digue qui sépare le plan d'eau de la plaine d'Oum Teboul puis s'enfile entre les dunes en suivant le tracé de ce qui a dû être l'exutoire naturel du lac avant les tentatives d'assèchement [17].

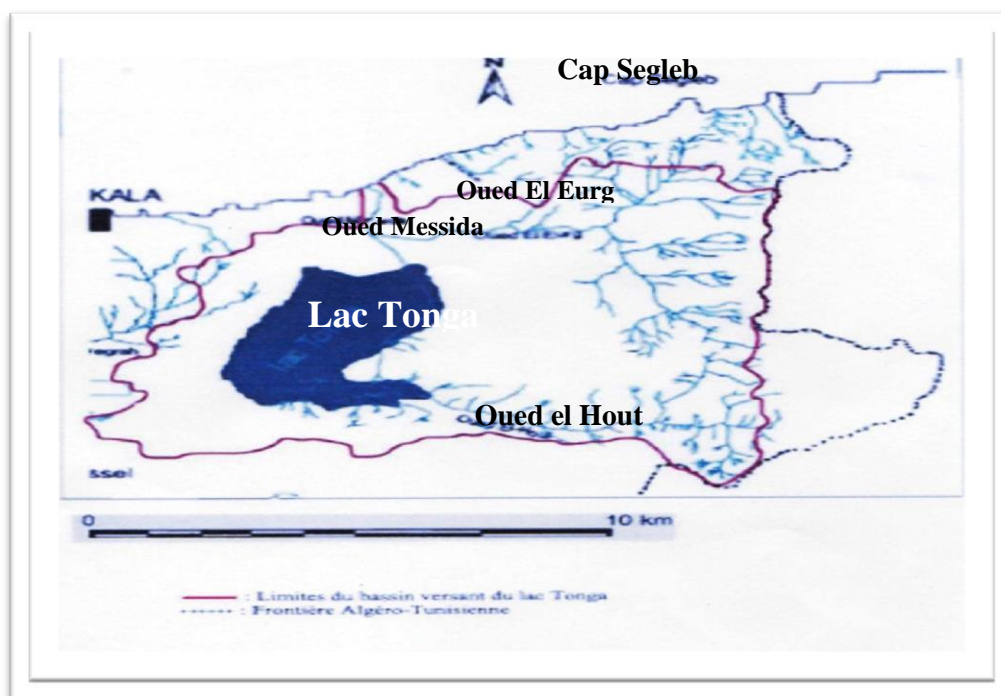


Figure 2. Carte du réseau hydrographique de la région d'étude [9]

## 2.8. Profondeur, volume et débit

Le lac Tonga se caractérise par une variation relativement faible de la profondeur, sauf au niveau de la digue. C'est un plan d'eau peu profond, la profondeur maximale mesurée en période estivale de 1,80 m, la profondeur moyenne est de 1,20 m. Dans sa majeure partie, la topographie du fond du lac peut être considérée comme très homogène.

Le volume du Lac Tonga est d'environ  $28.10^6 \text{ m}^3$  en période de pré étiage [18]. Cette valeur doit être sensiblement supérieure en période de pleine eau. Le caractère endoréique (l'eau ne se déverse pas dans une mer, le lac est *clos*, retenant ses eaux, superficielles ou non, dans une cuvette fermée. Les pluies ou autres formes de précipitations qui l'alimentent le quittent uniquement par évaporation ou infiltration) du lac Tonga l'expose à des variations sensibles de son volume et de sa surface. L'intense évaporation estivale peut retirer un volume d'eau important, supérieur à 50% du volume maximum [19].

Ce lac se vidange dans la mer par l'intermédiaire de l'Oued Messida selon un débit d'étiage de l'ordre de 132 litres par seconde soit  $3,96 \text{ Hm}^3/\text{an}$ . L'apport moyen annuel en eau vers le lac à partir de son bassin versant est de l'ordre de  $46,2 \text{ Hm}^3/\text{an}$ . L'apport annuel moyen en eau de précipitation directement sur le plan d'eau et de l'ordre de  $17 \text{ Hm}^3/\text{an}$ . L'évaporation au-dessus du plan d'eau avec sa végétation aquatique avoisine les  $700 \text{ mm}/\text{an}$  soit une perte de  $20 \text{ Hm}^3/\text{an}$  [20].

## 2.9. Climatologie de la zone d'étude

Le climat est un facteur clé dans la répartition et la régulation des êtres vivants et dans l'évolution des écosystèmes. Les éléments les plus importants du climat sont : la température, les précipitations, l'humidité de l'air et le vent [21]. La relation Climat-Eau est évidente, et les interrelations entre le système climatique et le cycle de l'eau sont nombreuses et d'une grande complexité.

Pour caractériser le climat de la région d'étude, nous avons utilisé les données météorologiques disponibles au niveau de la station météorologique d'Annaba. Les données utilisées s'étalent de l'année 1996 à l'année 2005.

### 2.9.1. La température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire et influence significativement le bilan hydrologique [22]. Des températures élevées transforment l'eau de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur d'eau), que ce soit à la surface ou

dans le sous-sol. De ce fait, elle influence le degré d'évaporation, d'évapotranspiration et le taux de salinité des eaux.

Tableau 1. Moyennes mensuelles des températures [1996-2005].

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
T°C	16.6	16.6	19.3	21.2	24.3	28.7	31.0	31.9	28.9	26.5	20.9	17.5

T°C : Moyennes mensuelles des températures en °C.

Le tableau 2 résume les variations de la température durant la période s'étalant de 1996 à 2005. Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont observées durant la saison estivale (les mois de juillet et août) et sont respectivement de 31.0°C à 31.9°C. Tandis que les moyennes les plus basses sont relevées au cours de la saison hivernale, durant les mois de Janvier et de Février (16.6°C).

### 2. 9. 2. Les précipitations

Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit, les matières en suspension et les phénomènes de dilution [23].

Tableau 2. Moyennes mensuelles des précipitations [1996-2005].

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
P (mm)	101.0	88.9	42.3	70.2	40.7	11.2	3.6	16.3	49.8	49.2	114.0	127.3

P : Moyennes mensuelles des précipitations en mm

Le tableau 3 résume les moyennes mensuelles des précipitations et montre que les quantités de pluies se répartissent de manière irrégulière le long de l'année. Les mois les plus pluvieux sont respectivement : novembre, décembre, janvier alors que les mois les plus secs sont juin, juillet et août.

### 2. 9. 3. L'humidité

L'humidité relative de l'air correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression. [23]

Tableau 3. Moyennes mensuelles d'humidités [1996-2005].

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
H(%)	78	78	75	75	76	72	71	71	74	74	76	77

H : Humidités moyennes mensuelles en (%).

Les valeurs moyennes mensuelles d'humidité sont relativement homogènes (Tableau 4) et généralement, élevées toute l'année. Un maximum de 78% enregistré durant le mois de janvier et un minimum de 71% enregistré au cours du mois de juillet et août.

### 2. 9. 4. Les vents

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force [23].

Tableau 4. Vitesses moyennes du vent [1996-2005].

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
V (m/s)	3.9	4.1	3.8	3.8	3.6	3.8	4.1	3.9	3.7	3.5	4.0	4.2

Vitesse moyenne du vent en (m/s)

La vitesse du vent la plus élevée est de l'ordre de 4.1 m/s enregistrée aux mois de février et de juillet, Par contre la vitesse du vent la plus faible (3.5m/s) est enregistrée durant le mois d'octobre.

### 2. 9. 5. L'évaporation

L'évaporation est le processus par lequel l'eau se transforme en vapeur. L'estimation de ce paramètre est cruciale pour le calcul du bilan d'eau, le calcul de l'irrigation et dans la gestion des ressources hydriques [22].

Tableau 5. Evaporation totales mensuelle

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
E (mm)	65,6	69,1	91,1	86	101	134	154	146	119	102	76,4	67

Evaporation totale mensuelle en (mm).

La zone d'étude se caractérise par une forte évaporation enregistrée durant le mois de juillet avec une valeur de 154 mm « Période des basses eaux ». Une faible évaporation est enregistrée durant le mois de janvier avec une valeur de 65.6 mm « période des hautes eaux ».

### 2. 9. 6. Diagramme ombrothermique

Afin, de caractériser le climat d'une région donnée, nous avons toujours recours au diagramme de Bagnouls et Gaussen (1953). Ce dernier consiste en une représentation sur un même graphique des précipitations moyennes mensuelles exprimées en mm, et des températures moyennes mensuelles, exprimées en °C, avec en abscisse les mois. Cette présentation nous permet une visualisation immédiate de la durée et de l'intensité de la saison sèche, à condition bien sûr de respecter les échelles (P=2T), prises en ordonnées [24].

Le diagramme est constitué donc, de deux courbes : une courbe des précipitations et celle des températures qui se croissent. L'intersection entre les deux courbes nous permet de distinguer la période (ou saison) sèche de la période humide.

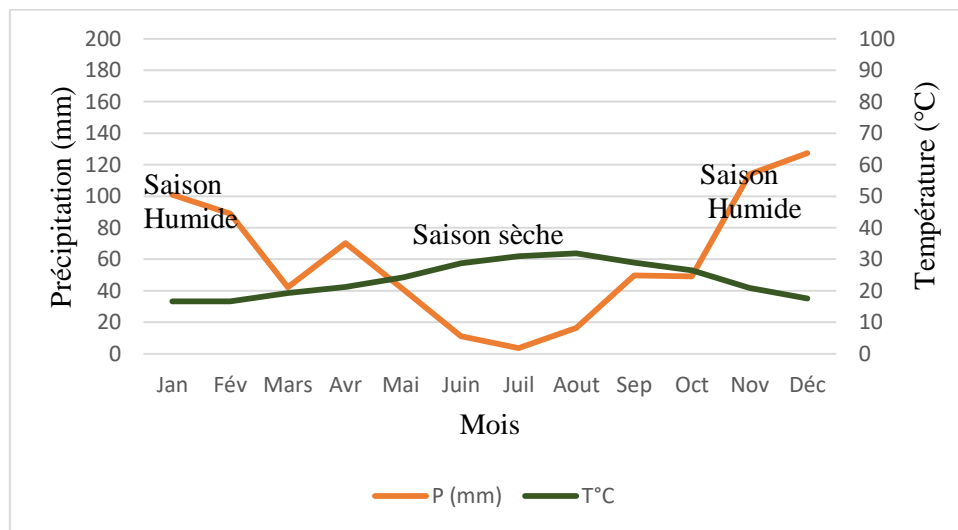


Figure 3. Diagramme ombrothermique de Gaussen

D'après le diagramme ombrothermique, nous constatons que la période humide s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril et que la période sèche débute du mois de mai jusqu'au début du mois d'octobre.

## 2. 10. Choix des stations de prélèvement

Trois stations accessibles du lac Tonga ont été choisies

- La station 01 : située sur la berge du lac, symbolisée par Tb1
- La station 02: est localisée à l'aval du lac (Tav)
- La station 03 : est localisée à l'amont du lac (Tam)

Située sur la berge du lac. Cette station est proche des habitations. Les eaux sont turbides avec un débit lent.



Photo 6. Station située sur la berge (Tb1)

La station est située en aval du lac, nommée « dar Chadli ». Elle est caractérisée par une végétation dense et un débit lent.



Photo 7. Station avale du lac (Tav)

La station est située en amont du lac dans la région d'oued el Hout. Cette station lentique est proche des habitations.



Photo 8. Station amont du lac (Tam)

## 2. 11. Échantillonnage

Un suivi hebdomadaire des divers descripteurs physico-chimiques des eaux a été effectué pendant 3 mois. Cinq campagnes d'échantillonnage ont été réalisées, du 3 mars au 11 mai 2023.

La 1<sup>ère</sup> campagne: le 02 mars 2023.

La 2<sup>ème</sup> campagne: le 11 avril 2023.

La 3<sup>ème</sup> campagne: le 25 avril 2023.

La 4<sup>ème</sup> campagne: le 04 mai 2023.

La 5<sup>ème</sup> campagne: le 11 mai 2023.

### 2. 11. 1. Préparation du matériel

La préparation du matériel est une étape qui doit être planifiée plusieurs jours avant la campagne d'échantillonnage. Le matériel utilisé sur terrain consiste en une série de bouteilles d'échantillonnage, préalablement nettoyées, une glacière, de la glace, et un seau lié à une corde.

## 2. 11. 2. Techniques de prélèvement

Dans chaque station, nous avons prélevé deux bouteilles d'eau. Les bouteilles ainsi que le matériel utilisé ont été rincées au moins trois fois avec de l'eau à analyser afin d'éviter toute contamination de l'échantillon.

Le prélèvement de l'eau est réalisé à l'aide d'un seau lié à une corde et le plus loin possible des bords du lac afin qu'il soit représentatif de la station. Une fois le seau rempli, les bouteilles sont remplies à ras bord, puis fermées immédiatement de façon à limiter le plus possible les bulles d'air. Ensuite, les bouteilles sont étiquetées pour éviter tout risque de confusion entre les échantillons (nom de station, date, etc.).



Photo 9. Le prélèvement des eaux du lac

## 2. 11. 3. Conservation des échantillons avant analyse

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse au laboratoire. Cette étape est primordiale car de nombreux paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient. Ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses qui représentent le plus fidèlement possible les conditions du cours d'eau, une conservation physique ou chimique des échantillons doit être effectuée [25].

Les échantillons d'eau prélevés ont été acheminés vers le laboratoire, conservés dans une glacière à l'abri de la lumière. Au laboratoire, les échantillons sont déposés dans le réfrigérateur à une température de 4°C. Après filtration, les échantillons d'eau sont congelés à -20 °C jusqu'à analyse.

## 2. 12. Justification du choix des descripteurs étudiés

L'intérêt croissant porté à la qualité de l'eau et à ses nombreuses utilisations ont conduits les professionnels de l'eau à établir, pour les eaux de surfaces et souterraines un certain nombre de descripteurs physico-chimiques qui la caractérisent et nous permettent

d'apprécier sa qualité. Les descripteurs physico-chimiques les plus couramment utilisés sont : température, conductivité, pH, turbidité, DBO<sub>5</sub>, DCO, les sels nutritifs (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

Sachant, également que toute pollution aigue est une source potentielle d'eutrophisation ou dystrophisation. Cette dernière constitue une véritable menace pour tout l'écosystème aquatique. Elle est causée prioritairement par des teneurs élevées en nutriments, en particulier les ortho phosphates, et les nitrates en présence de température élevée.

En vue d'évaluer la qualité des eaux du lac Tonga, nous avons ciblé quelques paramètres qui mettent en évidence le phénomène d'eutrophisation, présentés comme suit :

### ➤ Température

La température est l'un des facteurs environnementaux les plus importants qui affecte les organismes aquatiques [26]. C'est un descripteur important pour l'étude et la surveillance de l'eau, qu'elle soit souterraine ou superficielle [27]. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O<sub>2</sub>) dans l'eau ainsi que, la variation du pH et la vitesse des réactions chimiques [28]. La température agit également comme un facteur physiologique dans le métabolisme de croissance des micro-organismes [29].

### ➤ Sels nutritifs

Les ortho phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) représentent la principale forme minérale du phosphore soluble dans l'eau [40]. Ils sont présents naturellement dans les eaux de surface en faibles concentrations. Le phosphore est un facteur limitant pour la productivité primaire des écosystèmes aquatiques et constitue par conséquent, le principal élément précurseur de l'eutrophisation. Il provient naturellement, des produits de décomposition de la matière organique, du lessivage de minéraux contenant du phosphore. Cependant, de nos jours, leur présence dans les eaux est particulièrement associée à des apports anthropiques (engrais, déjections animales, stations d'épuration, industrie chimique, etc.) [30].

L'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dans les eaux de surface provient essentiellement de la matière organique en décomposition (débris de végétaux, excréta des animaux, rejets domestiques, agricoles et industriels) [31]. L'ammoniaque se transformant rapidement en nitrites ensuite en nitrates par oxydation [28]. Des teneurs très élevées en azote ammoniacal dans l'eau peuvent être attribuées à une dégradation incomplète de la matière organique suite à un manque d'oxygène dans l'eau. Ce déficit en oxygène révèle la présence d'une pollution organique importante du milieu et *ipso facto* la dystrophisation du milieu limnique [32, 33].

Les nitrites  $\text{NO}_2^-$ , ou l'azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable (phase transitoire). Ils se dispersent dans les eaux en quantité relativement faible car l'ion nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) est facilement oxydé en ion nitrate dans les conditions naturelles (processus de nitrification dans le cycle de l'azote) [24]. Des concentrations élevées en nitrites traduisent des conditions réductrices du milieu limnique [35]. La présence des nitrites peut être due à une oxydation incomplète de l'ammonium, la nitrification n'étant pas conduite à son terme ou d'une réduction des nitrates sous l'influence des bactéries dénitrifiantes [28].

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ou sels minéraux de l'acide nitrique, sont des nutriments minéraux très important pour les organismes autotrophes terrestres et aquatiques [35]. Ils se trouvent naturellement dans le sol, les eaux tant de surface que souterraines et dans toutes les matières végétales. L'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est la principale forme d'azote inorganique trouvée dans les eaux naturelles. Il provient de l'oxydation de l'ammonium en nitrites qui est oxydé, à son tour, en nitrates, c'est la dernière étape de l'oxydation de l'azote [34]. Représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est la forme la plus soluble et la plus assimilée par les végétaux, lors de la photosynthèse. Ils proviennent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, des matières organiques azotées, telles que les protéines des végétaux, des animaux et des excréta d'animaux [33]. Cependant, un excès en nitrates peut être dû à l'utilisation abusive des engrais chimiques qui sont à l'origine de l'eutrophisation des eaux.

### ➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre parmi les plus importants de la qualité de l'eau [28]. Des pH compris entre 5 et 9 constituent les limites dans lesquelles se déroule un développement normal de la flore et de la faune aquatique [26]. La détermination du pH constitue une mesure de la concentration en ions ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) [36]. Il correspond, pour une solution diluée, à la concentration en ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité de l'eau. Il peut aussi être influencé d'autres facteurs tels que : les conditions climatiques. Une température élevée conduit indirectement au déplacement de l'équilibre calco-carbonique vers la formation de carbonates sous l'effet de la photosynthèse qui provoque une élévation du pH [37].

### ➤ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique de l'eau est la conduction d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques d'une surface de  $1 \text{ cm}^2$  et séparées de 1 cm. C'est un descripteur important de la qualité de l'eau et est proportionnelle à la concentration des ions dissous [38].

Généralement l'on considère que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et une Conductivité de l'eau supérieure à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  l'eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées [38].

### ► Turbidité

La turbidité d'une eau reflète la présence des matières en suspension (MES). Ces dernières comprennent toutes les matières fines minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau (argiles, microorganismes, etc.). Ce paramètre est très important pour l'écologie aquatique car les MES affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent la photosynthèse [39].

### ► Demande chimique en oxygène (DCO)

C'est l'une des principales méthodes d'identification de la contamination organique globale des déchets ou des eaux naturelles [40]. La DCO correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation des matières organiques oxydables (réductrices) présentes dans l'eau quelle que soit son origine, organique ou minérale, biodégradable ou non [41].

### ► Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries aérobies dans les conditions de l'essai (incubation pendant 5 jours à 20 °C et à l'obscurité). Elle assure l'oxydation ou la dégradation des matières organiques biodégradables, essentiellement le carbone [42].

### ► Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau est un paramètre très important pour les organismes aquatiques. Sa solubilité dépend de plusieurs facteurs spécifiques : la température, la pression atmosphérique, la salinité et l'origine de l'eau. Le faciès lentique ou lotique de l'eau influe énormément sur la disponibilité de l'oxygène dissous dans l'eau. Les eaux de surface peuvent contenir des quantités relativement importantes d'eau proche de la saturation. L'eau profonde n'en contient généralement que quelques milligrammes par litre [43].

### 3. Résultat et discussion

L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux est basée, essentiellement, sur les normes préconisées par les normes algériennes, recueillies auprès de l'ADE d'El Taraf, et le Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau, recommandée par l'Agence française de l'eau (2003).

Dix descripteurs ont été suivis : température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique, la salinité, la turbidité, la matière organique, les éléments nutritifs ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

#### 3. 1. Dispersion spatio-temporelle des descripteurs physico- chimiques

Les résultats physico-chimiques des eaux du la Tonga sont représentés comme suit :

##### 3. 1. 1. Température

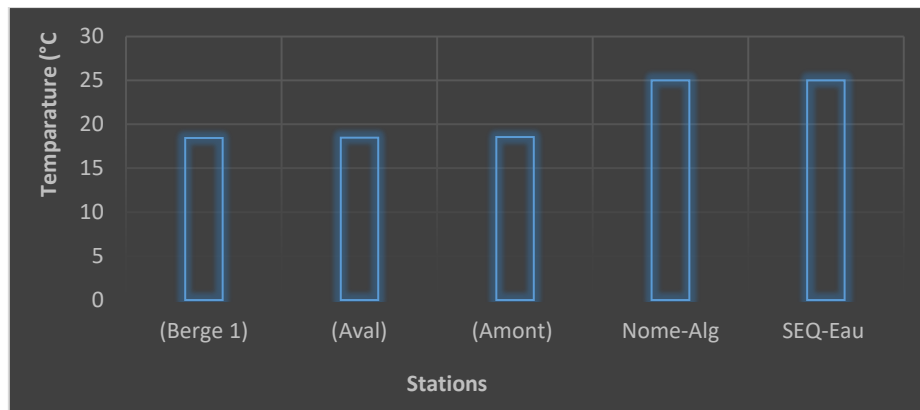


Figure 4. Variations moyennes des températures dans les trois stations

Les valeurs des températures dans toutes les stations semblent être constantes et n'excèdent pas 20°C (Fig. 4). La température reste donc en dessous de la norme algérienne et celle du SEQ-Eau (25 °C). L'eau du lac présente une très bonne aptitude à la biologie vis-à-vis de ce paramètre.

### 3. 2. 2. pH

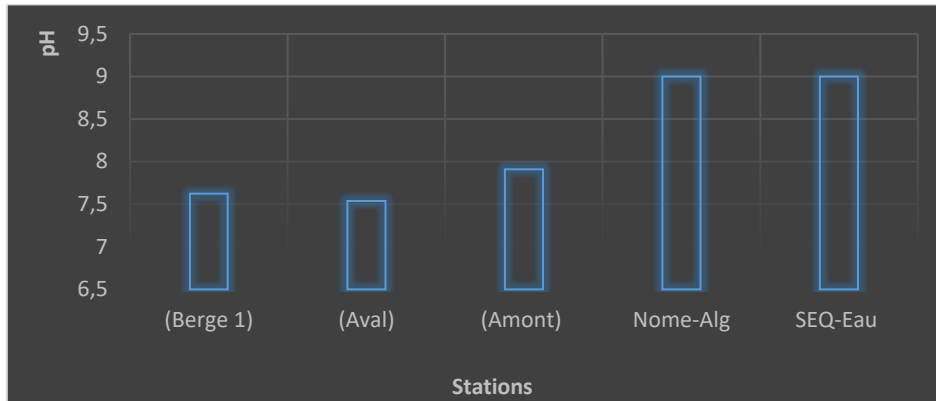


Figure 5. Valeurs moyennes du pH dans les trois stations

La figure 5 montre une variation notable du pH d'une station à l'autre. La valeur maximale (7.62) est trouvée dans la station amont du lac et la valeur minimale (7.53) est observée dans la station avale. Cependant ces valeurs restent dans les limites des normes algériennes et françaises (6.5 - 9). Les eaux du lac sont de très bonne aptitude à la vie biologique eu égard de ce descripteur.

### 3. 2. 3. Conductivité électrique

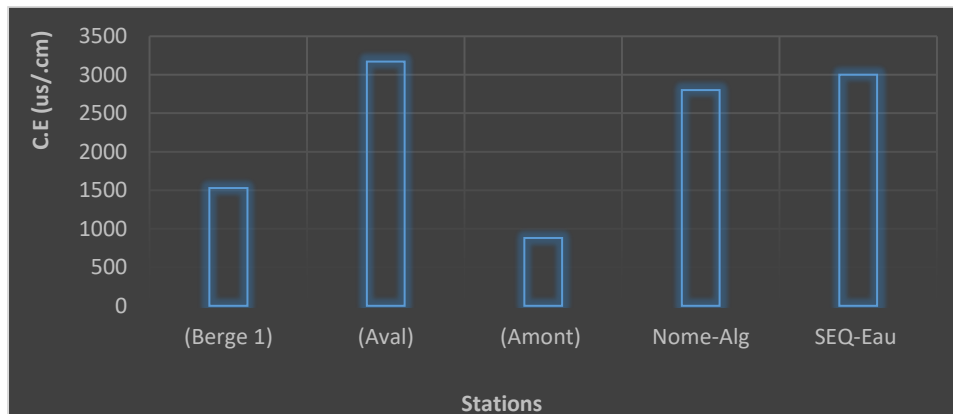


Figure 6. Valeurs moyennes de la CE dans les trois stations

La valeur la plus élevée de la CE (3172 µS/cm) a été trouvée dans la station avale du lac et la plus basse (882 µS/cm) dans la station amont (Fig. 6). La CE de la station avale dépasse la norme algérienne (2800 µS/cm) et la norme du SEQ-Eau fixée à 3000 µS/cm. L'eau du lac présente une aptitude passable par rapport à ce paramètre

### 3.2.4. Turbidité

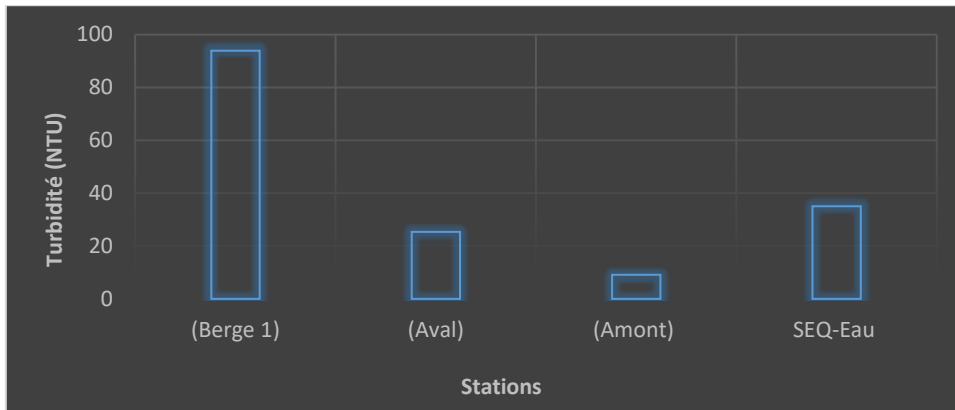


Figure 7. Valeurs moyennes de la turbidité dans les trois stations

Selon la figure 7, nous remarquons que les valeurs de la turbidité fluctuent de manière notable d'une station à l'autre. La turbidité la plus élevée (94 NTU) est trouvée dans la station localisée sur la berge du lac. La station amont a enregistré la valeur la plus faible (9,12 NTU). Les eaux du lac présentent une turbidité très élevée (94 NTU) par rapport à la limite préconisée par le SQE-Eau (35 NTU). L'eau est de mauvaise aptitude à la biologie eu égard de ce descripteur.

### 3.2.5. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

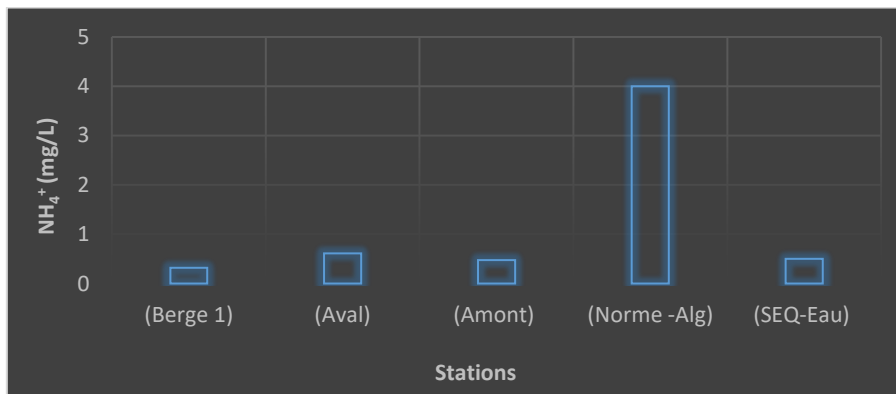


Figure 8. Concentrations moyennes de l'ammonium dans les trois stations

Les concentrations moyennes en ammonium fluctuent de (0,32 mg/L), dans la station (Berge 1), à (0,61 mg/L) dans la station aval (Fig. 8). Ces concentrations restent en dessous de la limite algérienne (4mg/l). Cependant la limite du SEQ-Eau (0,5 mg/L) est dépassée. L'eau présente une aptitude passable à la vie biologique par rapport à ce paramètre.

### 3. 2. 6. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

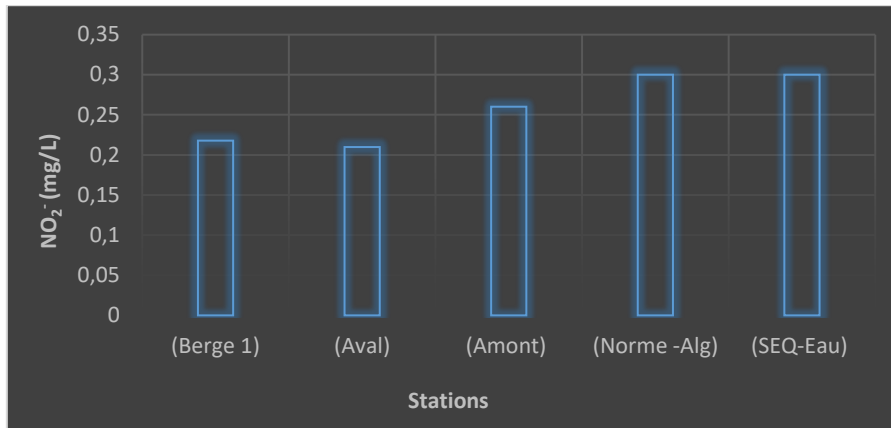


Figure 9. Concentrations moyennes des nitrites dans les trois stations

Selon la figure 9, nous observons une variation des concentrations en nitrites d'une station à l'autre. La concentration la plus élevée est obtenue dans la station amont (0,26) tandis que la concentration la plus faibles (0,21) est obtenue à la station avale. Ces concentrations restent dans la limite (0.3 mg/L) préconisée par la norme algérienne et le SEQ-Eau. L'eau est de bonne aptitude à la biologie par rapport à ce paramètre.

### 3. 2. 7. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

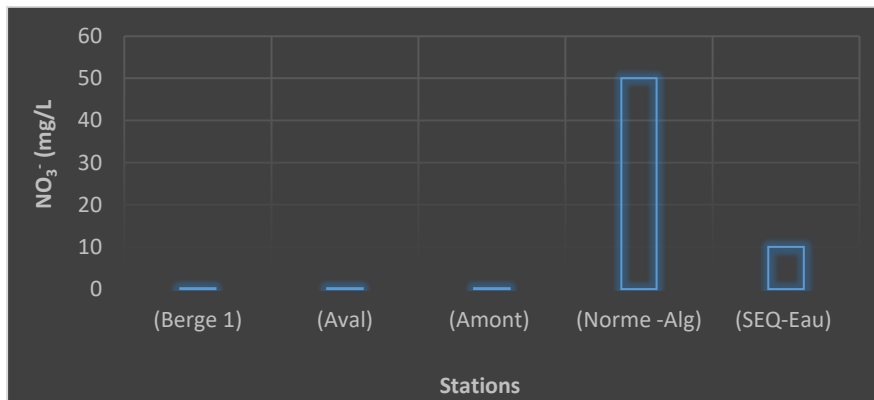


Figure 10. Concentrations des nitrates dans les trois stations

D'après la figure 10 nous remarquons que les concentrations en nitrates sont très faibles et varient de (0,18 à 0,217 mg/l). Ces teneurs restent bien en dessous des normes préconisées par le SEQ-Eau (10 mg/l) et la norme algérienne (50 mg. /l). L'eau présente donc, une très bonne aptitude à la biologie vis-à-vis à ce paramètre.

### 3.2.8. Ortho phosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

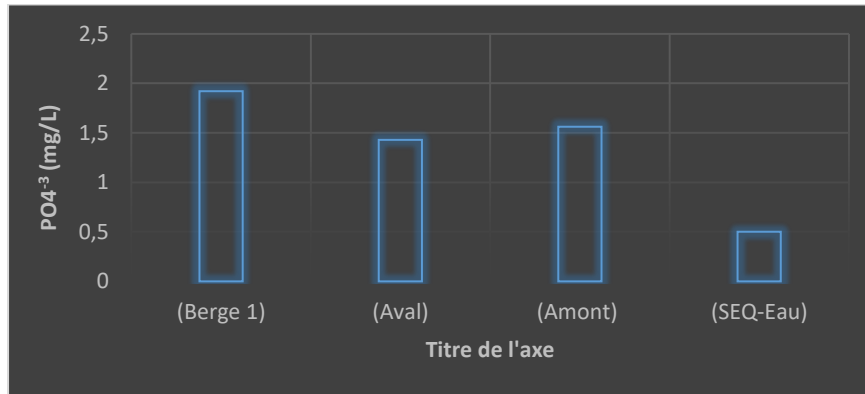


Figure 11. Concentrations moyennes des ortho phosphates dans les trois stations

Les concentrations moyennent en ortho phosphates sont relativement constantes d'une Station à l'autre. La valeur minimale de valeur (1,428 mg/L) a été trouvée dans la station avale tandis que la valeur maximale de valeur (1,92 mg/L) est obtenue dans la station Berge 1. Les teneurs en ortho phosphates dépassent la limite de (0.5 mg/L) recommandée par le SEQ-Eau. L'eau présente une mauvaise aptitude à la vie biologique vis-à-vis des ortho phosphates.

### 3.2.9. Matière Organique

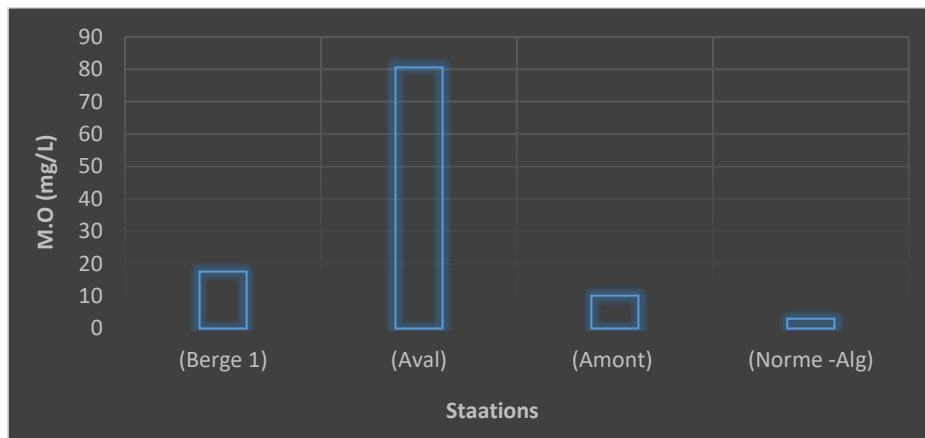


Figure 12. Concentrations moyennes des M. O. dans les trois stations

Nous observons une fluctuation importante des teneurs en matières organiques de l'amont du lac vers l'aval. Les concentrations oscillent d'une valeur maximale de valeur en (80,553 mg/L) dans la station avale à une valeur minimale de valeur en (10,096 mg/L) dans la station amont. Toutes les concentrations sont au-dessus de la limite algérienne (3 mg/L). L'eau du lac présente un excès de matières organiques.

### 4. Conclusion générale

En se basant sur les résultats analytiques obtenus et les normes préconisées par l'ADE et le SEQ-Eau, nous pouvons dire à prioritairement que les eaux du lac Tonga présentent une très bonne aptitude à la vie biologique et donc aux usages, par rapport à la température, le pH, les nitrites et les nitrates.

Néanmoins, les eaux du lac sont sujettes à une altération par la conductivité électrique, la turbidité, l'ammonium, les ortho phosphates et les matières organiques.

Des concentrations élevées en ammonium reflètent une mauvaise dégradation de la matière organique, grande consommatrice d'oxygène. L'excès de matières organiques peut traduire un développement important des algues éphémères à la surface de l'eau. Cette croissance démesurée des algues est stimulée par la présence de sels dissous ou sels nutritifs et principalement les ortho phosphates, qui stimulent la production primaire de l'écosystème aquatique. La décomposition des algues aura pour conséquence une coloration de l'eau et une augmentation des matières en suspension, ce qui justifie la turbidité élevée des eaux du lac. Cette dernière aura pour effet de diminuer la transparence de l'eau et *ipso facto* la pénétration de la lumière d'où la diminution de l'activité photosynthétique, productrice d'oxygène dans l'eau.

A priori, tous les précurseurs du phénomène d'eutrophisation ou dystrophisation sont présents dans le lac. Cependant, à ce stade, le phénomène peut être réversible d'autant plus que les concentrations faibles en nitrites et la présence de nitrates montrent une oxygénation des eaux. Cette dernière peut être due à un apport en pluie ou au faciès lotique (eau courante) du lac.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que le lac Tonga est un site Ramsar protégé d'importance internationale. Il est aussi une ressource hydrique très précieuse, dans un pays comme le nôtre où la croissance démographique et économique fait que la demande en eau devient de plus en plus accrue. En sus, la mauvaise gestion, le gaspillage et la sécheresse récurrente due au changement climatique aggravent la situation.

C'est pourquoi, il est impératif de conserver cette ressource vitale. Pour se faire quelques recommandations doivent être respectées :

- ▣ Sensibiliser toute la population de l'importance de l'eau qui devient une denrée de plus en plus rare ...
- ▣ Utiliser et gérer les ressources en eau de manière rationnelle et équitable.
- ▣ Contrôler les activités agricoles, surtout l'utilisation des produits phytosanitaires et les Fertilisants qui sont à l'origine de l'eutrophisation des eaux.

■ Un assainissement adéquat doit être assuré à tous les citoyens en vue de préserver la santé publique et préserver les eaux superficielles et par conséquent les eaux souterraines de la pollution.

## Références bibliographiques

- [1] Observatoire De L'eau Des Pays De l'Adour., (2005). Les zones humides bassin de l'adour, Phase 1 Données et sources d'informations.
- [2] Houhamdi M., et Samraoui B. (2008). Diurnal and nocturnal time budget of wintering Ferruginous Duck (*Aythya nyroca*) at lac of birds. Northeast Algeria. *Ardeola*.55 (1): 59-69.
- [3] UNESCO., (2017). Organisation des nations unies pour l'éducation, La science et la culture. Kit pédagogique sur la biodiversité. Vol. 1. UNESCO, Paris. 192 P. W.
- [4] Ramsar. (2016) Manuel Ramsar. 6ème édition, Introduction à la convention sur les zones humides, Sous-série I : Manuel 1. Coopération internationale pour les zones humides, 120p.
- [5] Bousid A., Annab S..2022, Evaluation temporelle de la qualité physico-chimique et biologique des zones humides d'Oum el Bouaghi, mémoire de master 2. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi ,6p
- [6] Homci I et Hamidani S. (2019) Analyse de la biodiversité de l'avifaune aquatique du lac Ayata entre 2013 et 2018. Thèse de master académique en science biologique. Université Echahid Hamma Lakhder, El-Oued ,63p.
- [7] <https://www.tsa-algerie.com/visas-voyages/lieu/11-bonnes-raisons-de-visiter-el-kala>
- [8] Ghaoui S, Meftah A 2019. Approche qualitative et quantitative du phytoplancton de la lagune Mellah (PNEK), Mémoire de Master 2. Université de Guelma.
- [9] Landscape Aménagement Co. 1998. Plan directeur de gestion du Parc National d'El Kala et du complexe des zones humides + 16 cartes au 1/25 000. Agence nationale pour conservation de la nature. Algérie 234 p.
- [10] Soumia Djamai Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthiques dans le lac Tonga (El-Kala – Wilaya El-Tarf). Thèse de doctorat. Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2020.
- [11] Chalabi, B., 1990. Contribution à l'étude de l'importance des zones humides algériennes pour la protection de l'avifaune : cas du lac Tonga (parc national d'El-Kala). Thèse de Magister.INA. 133p.

- [12] Maghni S, Davidson A. 2013. Contribution à l'étude de l'écologie de la reproduction de l'Erisimure à tête blanche (*oxyura leucocephala*) au niveau du lac Tonga. Mémoire de master 2. Université 8 mai 1945 Guelma.
- [13] Raachi ML. 2007. Etude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du Lac Tonga au Nord-Est Algérien. Mémoire de la maîtrise en géographie. Université Québec, Montréal.
- [14] Cheriet. S. 2016. Ecologie de la reproduction du Grèbe huppé *Podiceps cristatus* au Lac Tonga. Thèse de doctorat. Université 8 mai 1945-Guelma.
- [15] Kadid Y, Thébaud G, Pétel G & Abdelkrim H. 2007. Les communautés végétales aquatiques de la classe des Potametea du Lac Tonga, El- Kala, Algérie. *Acta Botanica Gallica* 154: 597- 618.
- [16] Annani F, Al- Farhan AH & Samraoui B. 2012. Aquatic Hemiptera of Northeastern Algeria; Distribution, phenology and conservation. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 67: 423-435.).
- [17] Hadjadji S ;2011. Budget d'activités hivernal de la Foulque macroule *Fulica atra* en Numidie. Mémoire de magister. Université 08 mai 1945 de Guelma.
- [18] Messikh S., 2016. Étude Bio-écologique des Hydracariens de la région d'Elkala. Thèse de Doctorat. Université Baji Mokhtar Annaba. P 27.
- [19] MPRH/ONDPA., 2004. Fonctionnement des lacs Mellah, Oubeira, Tonga et des oiseaux. P 173-250.
- [20] Djabourabi A., 2014. Impact de facteurs environnementaux et de micro algues toxiques sur certains organismes aquatiques (bivalves). Thèse de doctorat. Université BadjiMokhtar-Annaba.p24, 36.
- [21] Djelailia A ; 2017. Ecologie de la reproduction du Fuligule nyroca *Aythya nyroca* au niveau du lac Tonga, Nord-est de l'Algérie. Thèse de doctorat. Université 8 mai 1945-guelma.
- [22] Gouaidia L (2008). Influence de la lithologie des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.

- [23] Bendjma.A.2014. Variations de la qualité des eaux et son impact sur le sol des zones humides du PNEK. Thèse de doctorat. Université Badji -Mokhtar- Annaba.
- [24] Bouldjedri M., 2012. Contribution à l'Etude Ecologique d'un Hydro-système de la région de Jijel : cas de la zone humide de Beni-Bélaïd (Algérie), Thèse de Doctorat Université de Badji Mokhtar – Annaba.
- [25] World Wildlife Fund ,2011. L'eau toujours sources de vie: l'état réel des eaux et des données sur l'eau, 51 p. WWF, 2011.
- [26] Emilian. K, 2009. Traitement des pollutions industrielles: Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, 2ème édition, Éd. Dunod, Paris.
- [27] Lounnas A., 2009. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda, (Mémoire de Magister en Pollutions Chimiques et Environnement). Université 20 Aout 1955- Skikda.
- [28] (Rodier J., Lègue B., Merle N., Coll., (2009). L'analyse de l'eau. 9è édition. Dunod : Paris. 1579 p. Université du 20 Août 1955 – Skikda.
- [29] Mekhalif F., 2009. Réutilisation des Eaux Résiduaires Industrielles Epurées Comme Eau d'appoint dans un Circuit de Refroidissement, (Mémoire de Magister en Pollution Chimique et Environnement). Université du 20 Août 1955 - Skikda, Algérie.
- [30] Barbier J., Cherry L., Rupert N., 2000. Le phosphore dans les eaux souterraines en France: Etat des connaissances, Année 1, Rapport BRGM/RP 40875-FR, France, 63p.
- [31] Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau: Eaux Naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer, 8ème édition, Éd. Dunod, Paris.
- [32] Nisbet M., Vemeaux J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes : Discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses, Ann. De limnologie.Tome 6, n°2, 161-190p.
- [33] Melghit M., 2012. Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau/ Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouzet Beni Haroun, (Mémoire de Magister en Ecologie). Université Mentouri de Constantine, Algérie,141 p.

- [34] Hébert, S., Légaré S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, rapport n° QE-123,48p.
- [35] Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 2ème édition, Éd. Dunod, Paris, 1075p.
- [36] Michelot J. L., 2006. Donnée sur l'eau dans les milieux naturels, réserves naturelles de France, 84p.
- [37] Rejeseck F., 2005. Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques, Éd. CRDB, Paris, 785p.
- [38] Boyd, C. E. (2019). Water quality: an introduction. Springer Nature. Livre de 71 pages ISBN 0-7923-7853-9 (alk paper).
- [39] A. Al-Sarawi (04/04/2016) livre : Chimie de l'environnement Ouvrage ou source page 226.
- [40] Thomas, O., & Mazas, N. (1986). La mesure de la demande chimique en oxygène dans les milieux faiblement pollués. Article analisis, 14(6), 300-302.).
- [41] Claude Cardot, (2013). Les Traitement de l'eau ; Procédés physico-chimiques et biologiques, Cours et problèmes résolus -p \_11. Livre de 320 pages, nouvelle édition.
- [42] Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau: Eaux Naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer, Édition 08. Dunod, Paris.
- [43]. Rodier J, (1984). « L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. » Édition 07. Dunod. Paris.

### ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه بحيرة تونغنا، أحد مواقع رامسار ذات الأهمية الدولية. هذه الأراضي الرطبة هي جزء من الحوضيرة الوطنية القالة الواقعة في شمال شرق الجزائر. تم اختيار ثلاث محطات يمكن الوصول إليها وتمثل البحيرة. تم إجراء مراقبة أسبوعية للوصفات الفيزيائية والكيميائية تظهر النتائج الأولية تلوث مياه. للمياه. تم تنفيذ خمس حملات لأخذ العينات على مدى 4 أشهر (من 2 مارس إلى 11 مايو) البحيرة بالمركبات الفوسفاتية والأمونيوم والمواد العضوية. بالإضافة إلى ذلك، تم العثور على قيم عالية نسبيًا للعكارة والتوصيل الكهربائي. يبدو أن هذه المعلمات تسلط الضوء على الاثراء الغذائي أو ضمور مياه البحيرة. يتميز الأخير بتكاثر الطحالب (مادة عضوية)، يحفز وجود مركبات الفوسفات. ومع ذلك، فإن إغناء البحيرة بالمغذيات يمر بمرحلة عكسية بعد وجود الأكسجين

الكلمات المفتاحية : بحيرة تونغنا الحوضيرة الوطنية القالة الجزائر الوصفات الفيزيائية وكيميائية الاثراء الغذائي

### Résumé

Ce travail a pour objet l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux du lac Tonga, site Ramsar d'importance internationale. Cette zone humide fait partie du Parc National d'El Kala (PNEK) situé au Nord Est de l'Algérie.

Trois stations accessibles et représentatives du lac ont été choisies. Un suivi hebdomadaire, des descripteurs physico-chimiques de l'eau, a été réalisé. Cinq campagnes d'échantillonnage ont été effectuées durant 4 mois (du 2 mars jusqu'au 11 mai).

Les résultats préliminaires montrent une contamination des eaux du lac par les orthophosphates, l'ammonium, les matières organiques. En sus, des valeurs relativement élevées de la turbidité et de la conductivité électrique ont été trouvées. Ces paramètres paraissent mettre en relief l'eutrophisation ou la dystrophisation des eaux du lac. Cette dernière est caractérisée par une prolifération d'algue (matière organique), stimulée par la présence des orthophosphates. Cependant, l'eutrophisation du lac est à un stade réversible suite à la présence d'oxygène et aussi au faciès lotique des eaux.

**Mots clés :** lac Tonga, Algérie, parc national d'El Kala, descripteurs physico-chimiques, eutrophisation des eaux.

### Abstract

This work aims to assess the physico-chemical quality of the waters of Lake Tonga, a Ramsar site of international importance. This wetland is part of the El Kala National Park (PNEK) located in the North East of Algeria. Three stations that are accessible and representative of

the lake have been chosen. Weekly monitoring of the physico-chemical descriptors of the water was carried out. Five sampling campaigns were carried out over 4 months (from March 2 to May 11). Preliminary results show contamination of the lake waters by orthophosphates, ammonium and organic matter. In addition, relatively high values of turbidity and electrical conductivity were found. These parameters seem to highlight the eutrophication or dystrophication of the waters of the lake. The latter is characterized by a proliferation of algae (organic matter), stimulated by the presence of orthophosphates. However, the eutrophication of the lake is at a reversible stage following the presence of oxygen and also the lotic facies of the waters.

**Keywords:** Lake Tonga, Algeria, El Kala National Park, physico-chemical descriptors, water eutrophication