

# Université Mohamed Boudiaf - M'sila

FACULTÉ DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Numéro de série :.....

Numéro d'inscription :.....

## Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT 3ème cycle (LMD)**

**Spécialité:** Sciences Biologiques

**Option:** Biodiversité et Ressources naturelles

THEME

**Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthiques  
dans le lac Tonga (El-Kala – Wilaya El-Tarf).**

**Présenté Par**

**M<sup>lle</sup> Soumia DJAMAI**

**Soutenu le : 23-janvier-2020**

**Devant le jury composé de:**

<b><u>Nom &amp; Prénom</u></b>	<b><u>Grade</u></b>	<b><u>Etablissement</u></b>	<b><u>Qualité</u></b>
NOUIDJEM Yassine	MCA	Univ. de M'sila	Président
MIMECHE Fateh	MCA	Univ. de M'sila	Encadreur
Oliva Paterna.Francisco J.	Professeur	Univ. de Murcia (Espagne)	Co-Encadreur
BOUNAR Rabah	MCA	Univ. de M'sila	Examinateur
GUERGUEB El-Yamine	MCA	Univ. de Ghardaia	Examinateur
MEZERDI Farid	MCA	Univ. de Biskra	Examinateur

Année Universitaire: **2019/2020**

## ***Remerciements***

En terminant ce travail, il m'est un agréable devoir de saluer et de remercier sincèrement tous ceux qui, de près ou de loin, ont permis la réalisation de ce travail en apportant une contribution sous une forme ou une autre.

Je remercie en premier lieu mes **chers parents** car ce travail représente le fruit de leur souffrance et qui sans eux je ne peux traverser ces longues années d'études. Je les remercie pour leur soutien, leur dévouement et leurs encouragements depuis le début.

Mes remerciements sont adressés tout d'abord au **Docteur Fateh Mimeche**, Maître de Conférences au département des Sciences Agronomiques, pour avoir voulu accepter de diriger ce travail. Sa disponibilité constante associée à son esprit critique et ses directives objectives, ont largement contribué à l'orientation et à la réalisation du contenu de ce manuscrit. Je lui en garde une profonde gratitude.

Je tiens à remercier aussi le **Professeur Francisco J. Oliva-Paterna** (département de Zoologie et Anthropologie, Université de Murcia, Murcia, Espagne) pour avoir accepté de codiriger ce travail.

J'exprime toute ma profonde gratitude au **Docteur Yassine Nouidjem**; Maître de Conférences au département de Sciences de la nature et de la vie; de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma thèse. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma plus haute considération.

Un remerciement particulier au **Docteur Rabah Bounar** Maître de Conférences et chef du département de Sciences de la nature et de la vie, le **Docteur El-Yamine Guergueb** Maître de Conférences au département de Sciences de la nature et de la vie (Université de Ghardaia) et le **Docteur Farid Mezerdi**, Maître de Conférences au département de Sciences Agronomiques (Université de Biskra), qui ont bien voulu accepter d'être membres de mon jury et de juger mon travail.

Ma profonde gratitude va de même au **Dr. Abdelghani Zedam** pour ses jugements et orientation très pertinents sur mon manuscrit.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les ingénieurs du laboratoire du département des Sciences Agronomiques : **M. Radouane Alouani**, **M. Hadj Aroussi Yacine** et **M. Bahache Hicham** pour m'avoir accueillie dans les laboratoires et pour leurs encouragements lors des longues journées de tri, d'identification et de reconnaissances des taxons.

Je ne saurai remercier autant ma sœur **Ahlem Chettibi** pour le soutien et toutes les bonnes paroles pendant ces longues années d'études.

*Soumia Djamai*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01:</b> Principaux cours d'eau du pnek.....	21
<b>Tableau 02:</b> Principaux lacs et zones marecageuses.....	22
<b>Tableau 03 :</b> Les precipitations moyennes mensuelles de la region d'etude.....	29
<b>Tableau 04 :</b> Repartition des precipitations par saisons de la region d'etude.....	31
<b>Tableau 05 :</b> Moyennes mensuelles et extremes des temperatures enregistrees dans la region d'etude.....	32
<b>Tableau 06 :</b> Moyennes mensuelles de l'humidite relative de la region d'etude.....	33
<b>Tableau 07 :</b> Valeurs du quotient pluviothermique d'emberger de la region d'etude.....	36
<b>Tableau 8 :</b> Facteurs de ponderation des parametres de qualite de l'eau.....	49
<b>Tableau 9 :</b> Qualite de l'eau associee a l'indice d'hilsenhoff : FBI (Hilsenhoff, 1988).....	51
<b>Tableau 10 :</b> Qualite de l'eau associee a l'indice ASPT.....	52
<b>Tableau 11:</b> Grille d'appréciation de la qualite de l'eau.....	52
<b>Tableau 12 :</b> Qualite physico-chimiques de l'eau des sept stations dans le lac Tonga.....	57
<b>Tableau 13 :</b> Relation existante entre la mineralisation et la conductivite mesuree.....	62
<b>Tableau 14 :</b> L'abondance des macro-invertebres trouvee au niveau du lac Tonga.....	74
<b>Tableau 15 :</b> Frequences d'occurrence des taxons recoltés au niveau du lac Tonga.....	80
<b>Tableau 16 :</b> La qualite de l'eau basee sur l'indice de la qualite d'eau IQE.....	102
<b>Tableau 17 :</b> Resultats de l'evaluation de la qualite biologique du lac Tonga en utilisant l'indice FBI.....	104
<b>Tableau 18 :</b> Qualite de l'eau associee a l'indice BMWP.....	105
<b>Tableau 19 :</b> Resultats de l'evaluation de la qualite biologique du lac Tonga en utilisant l'indice BMWP.....	106
<b>Tableau 20 :</b> Resultats de l'evaluation de la qualite biologique du lac Tonga en utilisant l'indice ASPT.....	107
<b>Tableau 21 :</b> Valeurs moyennes de l'indice biologique global normalise au niveau des stations.....	108
<b>Tableau 22 :</b> Matrice de correlation des differents parametres etudies au niveau des sept stations.....	110
<b>Tableau 23 :</b> Valeurs propres des differents axes.....	111
<b>Tableau 24 :</b> Valeurs propres des differents axes.....	116

## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Principaux types d'échantillonneurs des invertébrés .....	9
<b>Figure 02:</b> Carte de situation géographique du parc national d'El Kala .....	19
<b>Figure 03:</b> Carte situation et limites administratives du PNEK. ....	20
<b>Figure 04:</b> Carte de delimitation territoriale des secteurs de gestion du PNEK. ....	21
<b>Figure 05 :</b> Localisation et delimitation du bassin versant du lac Tonga. ....	24
<b>Figure 06 :</b> Carte géologique du bassin versant du lac Tonga. ....	25
<b>Figure 07 :</b> Carte pédologique montrant les différents types de sol du lac Tonga. ....	27
<b>Figure 08 :</b> Carte du réseau hydrographique de la région d'étude. ....	28
<b>Figure 09 :</b> Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude. ....	30
<b>Figure 10 :</b> Régime saisonnier de la région d'étude. ....	31
<b>Figure 11 :</b> Diagramme ombrothermique de la région d'étude. ....	35
<b>Figure 12 :</b> Positionnement dans la région d'étude dans le climagramme d'emberger. ....	36
<b>Figure 13 :</b> Vue par satellite du lac Tonga. ....	39
<b>Figure 14 :</b> Situation des stations d'échantillonnage. ....	41
<b>Figure 15 :</b> Variations moyennes de la température de l'eau (A) et de l'air (B) du lac Tonga. ....	59
<b>Figure 16 :</b> Variation moyenne de pH de l'eau de l'eau du lac Tonga. ....	61
<b>Figure 17 :</b> Variation moyenne de la conductivité électrique de l'eau des sept stations dans lac Tonga. ....	62
<b>Figure 18 :</b> Les variations de la salinité moyenne des sept stations dans lac Tonga. ....	63
<b>Figure 19 :</b> Les variations moyennes de l'oxygénation de l'eau des sept stations dans lac tonga. .	65
<b>Figure 20 :</b> Les variations moyennes des nitrates de l'eau des sept stations dans lac Tonga. ....	66
<b>Figure 21 :</b> Les variations moyennes des nitrites de l'eau des sept stations dans lac Tonga. ....	67
<b>Figure 22 :</b> Les variations moyennes de l'ammonium de l'eau des sept stations dans lac Tonga. .	68
<b>Figure 23 :</b> Les variations moyennes des phosphores de l'eau des sept stations dans lac Tonga ...	69
<b>Figure 24 :</b> Les variations moyennes de DBO5 de l'eau des sept stations dans lac Tonga. ....	71
<b>Figure 25 :</b> Les variations moyennes de DCO de l'eau des sept stations dans lac Tonga. ....	72
<b>Figure 26 :</b> L'abondance relative des ordres récoltés dans les sept stations du lac Tonga. ....	77
<b>Figure 27 :</b> Richesse taxonomique des différentes stations étudiées. ....	78
<b>Figure 28 :</b> La distribution d'abondance par ordre de la faune benthique au niveau des sept stations. ....	79
<b>Figure 29 :</b> La proportion de chaque ordre au niveau des sept stations .....	79
<b>Figure 30 :</b> les indices de diversité ; indice de Schannon, Equitabilité, l'indice de Margalef et l'indice de Simpson. ....	82
<b>Figure 31 :</b> La distribution des Hétéroptères au niveau des sept stations. ....	84
<b>Figure 32 :</b> L'abondance (a) et la répartition (b) des Hétéroptères dans les sept stations d'étude. .	85
<b>Figure 33 :</b> La distribution des Diptères au niveau des sept stations .....	88
<b>Figure 34 :</b> L'abondance (a) et la répartition (b) des Diptères dans les sept stations d'étude. ....	89
<b>Figure 35:</b> La distribution des Coleoptères au niveau des sept stations. ....	91
<b>Figure 36 :</b> L'abondance (a) et la répartition (b) des Coleoptères dans les sept stations d'étude. .	92
<b>Figure 37 :</b> La distribution des Ephemeroptères au niveau des sept stations. ....	94
<b>Figure 38 :</b> L'abondance (a) et la répartition (b) des Ephemeroptères dans les sept stations d'étude. .....	95
<b>Figure 39 :</b> La distribution des Odonates au niveau des sept stations. ....	96
<b>Figure 40 :</b> L'abondance (a) et la répartition (b) des Odonates dans les sept stations d'étude. ....	97
<b>Figure 41:</b> La distribution des Acariens au niveau des sept stations. ....	99
<b>Figure 42 :</b> La distribution des Basommatophora au niveau des sept stations. ....	100

<b>Figure 43</b> : L'abondance (a) et la repartition (b) des Basommatophora dans les sept stations d'etude.....	101
<b>Figure 44</b> : Les quatre indices utilises pour evaluer la qualite biologique du lac Tonga. ....	109
<b>Figure 45</b> : <b>A</b> : Projection des parametres physico-chimiques analyses dans l'eau des 7 stations etudiees, sur le plan des deux premiers axes factoriels de L'ACP d'une matrice stations / parametres physico-chimiques ; <b>B</b> : projection des 7 stations, qu'ils se repartisse.....	112
<b>Figure 46</b> : Dendrogramme issu de la cah de la matrice (7 stations x 51taxon).....	114
<b>Figure 47</b> : Analyse factorielle des correspondances realisee sur les 7 stations et 51taxon .....	115
<b>Figure 48</b> : L'analyse des correlations canoniques des 51 macroinvertebres benthiques et de 12 variables physico-chimiques des sept stations. ....	117

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralité sur les macroinvertébrés</b>	
I-1-Les macroinvertébrés benthiques dulcicole .....	7
I-2-Leur Habitat .....	7
I-3- Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse.....	8
I-3-1-Protocole d'échantillonnage d'invertébrés dans les cours d'eau.....	8
I-3-2-Protocole d'échantillonnage d'invertébrés au moyen de la technique botte-filet mobile en lacs.....	9
I-4-Valeur des invertébrés.....	10
I-4-1-Le domaine culturel .....	10
I-4-2-Le domaine économique .....	11
I-4-3-Le domaine écologique .....	12
I-5-Ce qui affecte les macroinvertébrés .....	12
I-5-1-Les perturbations physiques.....	13
I-5-2-Les perturbations chimiques .....	14
I-6-La bioindication .....	14
I-7-Les invertébrés d'eau douce comme bioindicateurs de pollution .....	15
I-8-Les indices biotiques.....	16
<b>Chapitre II: Description de la zone d'étude</b>	
II-1-Le Parc National d'El Kala (PNEK).....	18
II-1-1-Historique et législations du Parc National d'El Kala (PNEK) .....	18
II-1-2-Limites géographiques et administratives.....	19
II-1-3-Organisation territoriale du Parc National d'El-Kala .....	20
II-1-4-Hydrographie .....	21
II-1-5-Principaux Lacs et zones marécageuses .....	22
II-1-6- La flore et la végétation .....	22
II-1-7-La faune .....	23
II-2-Le bassin versant du Lac Tonga .....	24
II-2-1-Localisation.....	24
II-2-2-Délimitation .....	25
II-3-Caractéristiques physiques.....	25
II-3-1-Géologie.....	25
II-3-2-Pédologie .....	26
II-3-3-Hydrologie, volume et profondeur.....	28

II-4-Climat .....	28
II-4-1-Les données climatiques de la zone d'étude .....	29
II-4-1-1-Précipitations .....	29
a- Précipitations mensuelles et annuelles .....	29
b- Le régime saisonnier : Répartition saisonnière des précipitations .....	30
II-4-1-2-Températures .....	32
a- Températures extrêmes .....	32
b- Températures moyennes mensuelles .....	32
II-4-1-3-Vent .....	33
II-4-1-4-Humidité relative .....	33
II-4-2-Synthèse climatique .....	34
II-4-2-1-Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen .....	34
II-4-2-2-Climagramme d'EMBERGER .....	35
II-5-La faune .....	37
II-5-1-Les oiseaux d'eau .....	37
II-5-2-Amphibiens et herpétofaune .....	37
II-5-3-L'ichtyofaune .....	37
II-5-4-Les Mammifères .....	38
II-6- La flore et la végétation .....	38

### **Chapitre III: Matériel et Méthode**

III-1-Présentation du site d'étude «Le Lac Tonga» .....	39
III-1-1-Situation géographique du Lac Tonga .....	39
III-1-2-Délimitation .....	40
III-1-3-Situation administrative .....	40
III-2-Prospection et choix des stations de prélèvement .....	40
III-3-Caractérisation des sites d'études .....	41
III-3-1-Analyse physico-chimique de l'eau .....	41
III-3-1-1-Mesure <i>in situ</i> .....	42
III-3-1-2-Mesure <i>ex situ</i> .....	42
III-4-Technique d'échantillonnage .....	43
III-5-Technique de tri et de détermination .....	43
III-6-Méthodes d'analyse des peuplements benthiques .....	44
III-6-1-Les indices de diversité .....	44
III-6-1-1-Indices écologiques de composition .....	44
• Richesse spécifique (total) .....	44
• Abondance des espèces .....	45
• Abondance relative ou Fréquence relative .....	45

• Fréquence d'occurrence ou constance.....	45
III-6-1-2-Les indices écologiques de structure.....	46
• Indice de diversité de Schannon $H'$ .....	46
• Indice d'équitabilité (E).....	47
• Indice de Margalef.....	47
• Indice de Simpson.....	47
III-6-2-Evaluation de la qualité hydrobiologique du lac Tonga.....	48
III-6-2-1-L'indice de qualité de l'eau (IQE).....	48
III-6-2-2-Les indices de tolérance à la pollution.....	50
III-6-2-2-1-L'indice d'Hilsenhoff ou Indice biotique des Familles (FBI).....	51
III-6-2-2-2- L'indice anglais BMWP ( Biological Monitoring Working Party ).....	51
III-6-2-2-3- L'indice multimétrique ASPT( Average score per taxon).....	52
III-6-2-2-4-L'indice biologique globale normalisé (IBGN).....	52
III-6-3-Traitement statistique des données.....	53
III-6-3-1-Analyse en Composantes Principales (ACP).....	53
III-6-3-2-Corrélation de Pearson.....	54
III-6-3-3-Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	54
III-6-3-4-Analyse factorielle des correspondances (AFC).....	55
III-6-3-5-L'analyse des corrélations canoniques (ACC).....	55
III-6-4-Spatialisation hydrogéochimique.....	55
<b>Chapitre IV: Résultats et Discussion</b>	
IV- Synthèse des résultats et interprétations.....	57
IV-1-Variation spatiale des éléments physico-chimiques de l'eau.....	57
IV-1-1-Température.....	58
IV-1-2-Le potentiel hydrogène de l'eau (pH).....	60
IV-1-3-La conductivité électrique.....	61
IV-1-4-La salinité.....	63
IV-1-5-L'oxygène dissous.....	64
IV-1-6- Les Nitrates.....	65
IV-1-7-Les nitrites.....	67
IV-1-8-L'ammonium ( $NH_4^+$ ).....	68
IV-1-9-Les phosphores ( $PO_4^{-3}$ ).....	69
IV-1-10- $DBO_5$ .....	70
IV-1-11-La DCO.....	71
IV-2-L'analyse des peuplements benthiques.....	73
IV-2-1-Les indices de diversité.....	77
IV-2-1-1-Indices écologiques de composition.....	77

• Richesse taxonomique.....	77
• Abondance.....	78
• Fréquence d'occurrence des taxons.....	80
IV-2-1-2-Les indices écologiques de structure .....	81
• Indices de diversité de Schannon $H'$ , l'équitabilité, l'indice de Margalef et l'indice de Simpson .....	81
IV-2-2-Analyse qualitative et quantitative de la faune benthique.....	83
IV-2-2-1-Classe des Insectes.....	83
IV-2-2-1-1-Hétéroptères .....	83
a- Naucoridae.....	85
b- Corixidae .....	86
c- Pleidae .....	86
d- Notonectidae.....	87
IV-2-2-1-2-Diptères .....	87
a- Culicidae.....	88
b- Chironomidae .....	89
IV-2-2-1-3-Coléoptères .....	90
a- Hydrophilidae .....	91
b- Dytiscidae.....	92
c- Hydraenidae.....	93
d- Les autres familles.....	93
IV-2-2-1-4-Ephéméroptères.....	94
IV-2-2-1-5-Odonates .....	96
a- Les Zygoptères .....	98
b- Les Anisoptères .....	98
IV-2-2-2-Classe des Arachnida .....	99
• Acariens.....	99
IV-2-2-3-Classe des Gastropodes.....	100
• Basommatophora.....	100
IV-3-Evaluation de la qualité hydrobiologique du lac Tonga.....	102
IV-3-1-L'indice de qualité de l'eau(IQE).....	102
IV-3-2-Les indices de tolérance à la pollution .....	103
IV-3-2-1-Indice d'Hilsenhoff ou Indice biotique des Familles (FBI).....	103
IV-3-2-2-L'indice anglais BMWP ( Biological Monitoring Working Party ) .....	104
IV-3-2-3- L'indice multimétrique ASPT( Average score per taxon) .....	107
IV-3-2-4-L'indice biologique globale normalisé (IBGN).....	108
IV-4-Traitement statistique des données.....	110

IV-4-1-Matrice de corrélation .....	110
IV-4-2-ACP .....	111
IV-4-3-Classification ascendante hiérarchique (CAH) .....	113
IV-4-4-Analyse factorielle des correspondances (AFC) .....	114
IV-4-5-L'analyse des corrélations canoniques (ACC).....	116
<b>Conclusion</b> .....	119
<b>Références bibliographiques</b> .....	123
<b>الملخص</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Abstract</b>	

## **Introduction**

Les zones humides sont des milieux situés entre terre et eau (Skinner et Zalewski, 1995) où des variables spatiales et temporelles d'inondation existent. 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 marines dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (Convention de Ramsar, 2013).

Les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau, retiennent les excédents d'eau et amortissent l'écoulement en aval. Les eaux ainsi retenues peuvent alors s'infiltrer et recharger les nappes souterraines, l'ensemble des zones humides d'un bassin agit comme une éponge, absorbe les écoulements et les pluies pour les restituer en période de sécheresse. Elles sont des filtres naturels qui participent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau, elles retiennent ou éliminent les matières en suspension, les polluants tels que les résidus toxiques ou les produits phytosanitaires. L'abondance des formes de vie dans les zones humides est étonnante : bactéries, plantes, insectes, crustacés, mollusques, amphibiens, poissons, oiseaux, mammifères... ce qui les rend un fabuleux réservoir de biodiversité. Elles offrent aux organismes qui y sont inféodés les facteurs essentiels à leur vie: l'alimentation - la présence de ressources alimentaires variées avec une richesse et une concentration en éléments nutritifs dans ces zones assurent la disponibilité de ressources alimentaires pour de nombreuses espèces- et la diversité des habitats constituent des éléments essentiels conditionnant la répartition et la reproduction de ces organismes.

Les zones humides sont des milieux complexes, fragiles et divers. Sur les plans de diversité biologique et de productivité naturelle, elles font partie des écosystèmes les plus riches de la planète après les forêts tropicales (Pearce et Crivelli, 1994).

Elles sont un entrepôt important de matériel génétique végétal. Le riz, plante commune des zones humides, constitue le régime de base de plus de la moitié de la population mondiale. Sur les 20 000 espèces de poissons du monde, plus de 40% (environ 8500 espèces) vivent en eau douce (Parish et Looi, 1999). Les zones humides sont réputées pour leurs niveaux élevés d'espèces endémiques, en particulier de poissons et d'invertébrés.

Les zones humides fournissent de multiples services qui contribuent au bien-être de l'humanité et à la réduction de la pauvreté (Brink *et al.*, 2013). Dès 1971, la communauté internationale a reconnu leur importance en signant la Convention sur les zones humides

d'importance internationale, communément appelée Convention de Ramsar. D'après la sixième édition du manuel de la Convention de Ramsar en janvier 2013, 163 pays étaient partis contractants à la Convention et plus de 2060 zones humides, couvrant plus de 197 millions d'hectares figuraient sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale.

D'après un recensement effectué en 2006, l'Algérie dispose de 1451 zones humides dont 762 sont naturelles et 689 sont artificielles (Fekir, 2010). 50 sites parmi les 1451 sont classés sur la liste de la Convention de Ramsar des zones humides d'importance internationale, avec une superficie de près de 3 millions d'hectares, soit 50% de la surface totale estimée des zones humides en Algérie. C'est le troisième pays en Afrique, après le Botswana (6,8 millions d'ha) et la Tanzanie (3,5 millions d'ha) et sur le plan international, notre pays se classe huitième après le Canada (13 millions d'ha), la Russie (10,3 millions d'ha), l'Australie (5,2 millions d'ha), le Brésil (4,5 millions d'ha) et le Pérou (2,9 millions d'ha) (Annani, 2013).

Les zones humides en Algérie occupent des superficies plus ou moins importantes concentrées surtout à l'Est du pays. Ce complexe humide est surtout composé de lacs, de marais, de chotts, de sebkhas et de Gueltas, qui ils font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle (Boukli, 2012).

Le complexe des zones humides d'El Kala est situé à l'extrême Est algérien. Il constitue l'une des régions les plus humides de l'Algérie où il est aussi l'un des principaux réservoirs de la biodiversité du bassin méditerranéen qui fût classé réserve de la Biosphère en Novembre 1990 par le programme M.A.B (Man and the Biosphere) de l'UNESCO. C'est d'ailleurs, quelques-uns des lacs et marécages d'El Kala qui ont permis à l'Algérie d'adhérer à la Convention de Ramsar, en 1982, en inscrivant les deux premiers sites lacs Tonga et Oubeira, sur la liste des zones humides d'importance internationale.

Le lac Tonga faisant l'objet de cette étude est situé au Nord Est algérien. Ce lac, unique en Algérie et en Afrique du Nord, est le site d'hivernage et de nidification le plus important pour l'avifaune aquatique de ces régions. Ainsi, il est classé site Ramsar, comme zone humide d'importance internationale, et constitue une réserve intégrale au sein du Parc national d'El-Kala.

Malgré les énormes services écologiques et économiques qu'elles procurent, les zones humides continuent malheureusement toujours à se dégrader ou à disparaître au niveau du bassin méditerranéen (Chazée, 2012). Les principaux facteurs de dégradation et de destruction sont la conversion des terres, les prélèvements d'eau, le développement des

infrastructures, la pollution, la surexploitation et l'introduction d'espèces invasives. Les enjeux ne sont pas les mêmes dans les pays développés et dans les pays en voie de développement. Dans les premiers, les zones humides ont principalement été affectées par le déploiement d'infrastructures; dans les pays moins industrialisés ce sont en priorité les populations avoisinantes des zones humides qui exploitent ces écosystèmes.

Aujourd'hui, l'Algérie connaît de graves problèmes de dégradation de ces zones naturelles. Les principales menaces de la santé de notre zone d'étude augmentent avec le drainage pour l'agriculture, de l'aquaculture, l'approvisionnement en eau potable, les aménagements, l'urbanisation et la pollution.

L'étude des variables physico-chimiques soit largement utilisée pour diagnostiquer les problèmes de pollution de l'eau et de dégradation des habitats, mais elle présente des limites car elle ne donne que l'image du milieu à l'instant du prélèvement (Hébert, 1997). Le recours aux indicateurs biologiques constitue une méthode d'évaluation plus complète et plus informative puisqu'ils permettent également aux gestionnaires d'évaluer les impacts de ses différentes perturbations sur la faune et la flore aquatique (Griba *et al.*, 2017). Grâce à l'application de bioindicateurs, nous pouvons prédire l'état naturel d'une région donnée ou le niveau / degré de contamination (Khatri et Tyagi, 2015).

L'utilisation des indicateurs biologiques présente plusieurs avantages, d'abord, l'utilisation des bioindicateurs est financièrement plus économique puisqu'elle permet généralement d'éviter d'employer du matériel technologique coûteux (Markert *et al.*, 2003) et d'économiser du temps (Carignan et Villard, 2002). De plus, grâce à leur capacité de bioaccumulation, certains bioindicateurs permettent une détection précoce des polluants ou des perturbations (Kaiser, 2001). Par ailleurs, les bioindicateurs renseignent sur la biodisponibilité des polluants plutôt que sur leur concentration totale dans le milieu (Markert *et al.*, 2003). Cette distinction est non négligeable lorsqu'on s'intéresse aux effets des polluants sur les organismes (Kerckhove, 2012). Enfin, ils fournissent une indication intégrée des effets spatiotemporels des polluants sur le biote puisqu'ils reflètent le temps total d'exposition au polluant, contrairement aux mesures des variables physico-chimiques qui prennent les valeurs des paramètres de façon instantanée et localisée (Benoit-Chabot, 2014).

Dans les écosystèmes aquatiques, quatre compartiments biologiques sont aujourd'hui réglementairement requis pour l'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau: les diatomées, les macrophytes, les macroinvertébrés benthiques et les poissons. Parmi ces communautés, les macroinvertébrés ont été largement étudiés et ils sont reconnus pour être

de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques (Resh, 1995 ; Tachet *et al.*, 2006 ; Moisan et Pelletier, 2008; Tchatcho, 2014 ). Les macroinvertébrés forment un groupe possédant des caractéristiques les rendant particulièrement intéressants en bioévaluation. Ils constituent un groupe taxonomique très hétérogène regroupant plusieurs phylums d'organismes avec au moins 150 familles, 700 genres et 4400 espèces. Cette grande diversité de formes confère à ce groupe une grande diversité de réponses potentielles aux perturbations, ce qui rend ce groupe particulièrement intéressant en tant que bioindicateurs de la qualité écologique des cours d'eau (Rosenberg et Resh, 1993). Ces organismes ont une durée de vie relativement longue et ils sont de plus relativement sédentaires. Ses caractéristiques leur confèrent donc un bon potentiel intégrateur de la qualité de leur habitat à moyen terme (Charvet, 1999). Ils sont un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Lakhdara *et al.*, 2014). Ce compartiment de l'écosystème aquatique présente le caractère ubiquiste de la répartition des invertébrés à différentes échelles spatiales et temporelles. Ils sont abondants dans la plupart des milieux aquatiques en plus d'être faciles à identifier et à échantillonner (Vindimian et Garric, 1993). De plus, leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résident (Barbour *et al.*, 1999). L'échantillonnage de macroinvertébrés benthiques peut aider à déterminer la santé d'un cours d'eau en calculant la richesse en espèces (nombre d'espèces), la composition, les niveaux de tolérance (c'est-à-dire sensibles ou tolérants à la pollution). Ses caractéristiques ont fait les invertébrés un groupe taxonomique utilisé très tôt en bioévaluation (Kolkwitz et Marsson, 1902) et qui a maintenant une longue et riche histoire dans cette discipline (Rosenberg et Resh 1993 ; Bonada *et al.*, 2006), devenant le groupe d'organismes les plus utilisés pour l'évaluation des effets des pressions anthropiques sur la qualité des cours d'eau (Norris, 1995; Hering *et al.*, 2006 ).

Ses connaissances sont nécessaires pour évaluer avec succès les modalités de la Variation des communautés de macroinvertébrés le long des gradients de perturbations naturelles et anthropiques. De plus, la législation environnementale relative à la surveillance, à la gestion et à la protection des écosystèmes d'eau douce repose sur des indicateurs biologiques permettant d'évaluer la santé de ces écosystèmes (Stoddard *et al.*, 2008; Dos Santos *et al.*, 2011). La surveillance des cours d'eau par les organisations nationales et régionales fournit une grande masse de données spécifiques aux communautés biologiques et caractéristiques physico-chimiques de l'environnement associé (Paulsen *et al.*, 2008 ; Mondy *et al.*, 2012).

Les premières recherches en limnologie en Afrique du Nord remontent au 19<sup>ème</sup> siècle, et elles sont limitées le plus souvent à des notes zoologiques, l'écologie n'étant que sommairement abordée: Edwards (1923), Lestage (1925), Gauthier (1928), Navas (1929), Thomas et Dakki (1979).

La recherche en écologie sur les invertébrés dans les écosystèmes aquatiques continentaux de l'Algérie était rare et incomplète jusqu'aux années 1980 (Benzina, 2018). Ce n'est qu'après les années 1980 que plusieurs travaux ont été réalisés dans différentes parties du pays. Les principaux travaux connus sont ceux de Gagneur *et al.*, (1986) sur les Oligochètes d'Algérie, Lounaci (1987) sur la faune des cours d'eau d'Oued Aissi, Gagneur et Clergue-Gazeau (1988) sur les Diptères Simuliidae d'Algérie, Gagneur et Thomas (1988) sur les Ephéméroptères d'Algérie, Arab (1989) sur les macroinvertébrés d'Oued Chiffa et Mouzaia, Gagneur et Aliane (1991) sur les Plécoptères de la Tafna, Moubayed *et al.*, (1992) sur les Diptères Chironomidae d'Algérie, Lounaci Daoudi (1996) sur les macroinvertébrés du réseau hydrographique du Sébaou, Thomas (1998) sur les Ephéméroptères d'Algérie, du Maroc et de Tunisie, Samraoui et Menai (1999) sur les Odonates d'Algérie, Lounaci *et al.*, (2000) sur la faune benthique du bassin d'Oued Sébaou, Mebarki (2001) sur la faune benthique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie, Arab (2004) sur la faune benthique des réseaux hydrographiques du Chéelif et du Mazafran, Lounaci et Vinçon (2005) sur les Plécoptères de Kabylie, Moubayed *et al.*, (2007) sur les Diptères Chironomides d'Algérie, Yasri (2009), sur l'hydrobiologie du réseau hydrographique du Mazafran, Hamzaoui (2009), sur la macrofaune benthique de l'Oued Saoura (wilaya de Bechar), Sekhi (2010) sur les macroinvertébrés des cours d'eau Tiout, Hadjadj et Moghrar (wilaya de Naâma), Haouchine (2011) sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie, Djellab *et al.*, (2013) sur les Diptères : Syrphidae du Nord Est de l'Algérie, Fergani et Arab (2013) sur l'utilisation des macroinvertébrés benthiques comme bioindicateurs de pollution d'Oued El-Harrach, Lakhdara *et al.*, (2014) sur la Caractérisation des macro invertébrés et les Amphibiens dans différents plans d'eau de l'extrême Nord-est Algérien, Cherairia *et al.*, (2014) sur la biodiversité des Diptères: Simuliidae du Nord Est de l'Algérie, Zougaghe *et al.*, (2014) sur la qualité biologique du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam (nord de l'Algérie), Bebba *et al.*, (2015) sur le peuplement d' Ephéméroptères de l'oued Abdi, Bouchelouche *et al.*, (2015) sur la déterminants du statut et de l'environnement de la distribution des Odonates de Wadi Isser (Kabylie, Algérie ), Sellam *et al.*, (2016) sur l'utilisation des Coleoptera, Ephemeroptera et Diptera comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques Oueds en Algérie, Belhaouari *et al.*, (2017) sur l'utilisation des

macroinvertébrés benthiques et des macrophytes pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau de l'Oued Chlef, Benzina, Si Bachir *et al.*,(2018), sur les Diptères: Chironomides du Nord Est d'Algérie.

Les études au niveau du lac Tonga sont réalisées beaucoup plus sur les oiseaux, la végétation mais pour les macroinvertébrés les recherches sont limitées. Cette recherche résume les données sur les macroinvertébrés benthiques recueillies à partir de 7 sites dans la zone humide du lac Tonga au niveau du Parc National d'El Kala. Les objectifs visés dans cette étude sont:

- Caractérisation des types d'habitats et la qualité physico-chimique de l'eau du lac Tonga(Nord-Est, Algérie), à l'aide d'une multitude de paramètres mesurés *in-situ* et *ex situ*.
- Fourniture d'informations sur la richesse et l'abondance des macroinvertébrés du lieu d'étude.
- Étude de la répartition de la faune recensée en relation avec l'habitat pour une meilleure connaissance de l'écologie des espèces et leur distribution.
- Détermination de l'organisation spatiale et de la structure des macroinvertébrés benthiques en fonction des caractéristiques environnementales du lieu d'étude.
- Évaluation de la qualité hydrobiologique de l'eau et du milieu par les voies biologique.

## Chapitre I : Généralité sur les macroinvertébrés

### I-1-Les macroinvertébrés benthiques dulcicole

Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes visibles à l'œil nu tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs (Tachet *et al.*, 2006). Les insectes représentent une bonne partie des macroinvertébrés benthiques. Certains, tel que les éphéméroptères, habitent le cours d'eau pendant leur vie larvaire, d'autres comme des coléoptères de la famille des Haliplidae, passent toute leur vie larvaire et adulte en milieu aquatique. Enfin, une bonne partie de cette faune appartient à d'autres groupes qu'à celui des insectes comme c'est le cas de mollusques gastéropodes. Cummins (1975) considère que les macroinvertébrés ont au moins 3-5 mm au dernier stade de leur développement, ce qui implique un recouvrement des tailles entre les stades jeunes de macroinvertébrés et les derniers stades de développement chez les microinvertébrés. Ces petits animaux forment des maillons importants de la chaîne alimentaire et sont d'excellents bioindicateurs (Tenkiano, 2017).

### I-2-Leur Habitat

L'habitat des macroinvertébrés benthiques est très varié. Ces organismes se retrouvent dans différents milieux aquatiques, telles les rivières, les marais au fond boueux, les lacs, les cours d'eau au fond rocheux ou vaseux... Ils recherchent des endroits où ils peuvent s'agripper, se nourrir, se cacher et dans certains cas se reproduire.

**En écosystème lotique**, on retrouve des organismes capables de s'agripper à l'aide de crochets spéciaux ou de structures de type succion. Ces animaux ne bougent pas beaucoup; ils rampent sur le substrat (les surfaces solides). Certains, comme les phryganes, construisent des structures pour se maintenir en place: on peut les comparer à des maisons portatives appelées «fourreaux». D'autres sont très plats et de forme hydrodynamique pour éviter de se faire emporter par le courant. Ils se nourrissent en filtrant l'eau ou en attrapant leurs proies au passage. Ces macroinvertébrés de courant rapide possèdent souvent des pattes et des pièces buccales spécialisées.

**En écosystème lentique**, comme dans les bassins des lacs, on retrouve des organismes qui ont moins besoin de s'agripper. Ces macroinvertébrés vont chercher leur nourriture en se

déplaçant, contrairement à ceux des eaux plus rapides où la nourriture se rend à eux. Ils sont donc adaptés à bouger, pour vivre à la surface, sur le fond ou dans les sédiments mous (comme la boue). On retrouve souvent de plus grandes différences quant à la grosseur des organismes des eaux lentes. Ils sont moins hydrodynamiques car le courant est faible ou nul.

### **I-3- Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse**

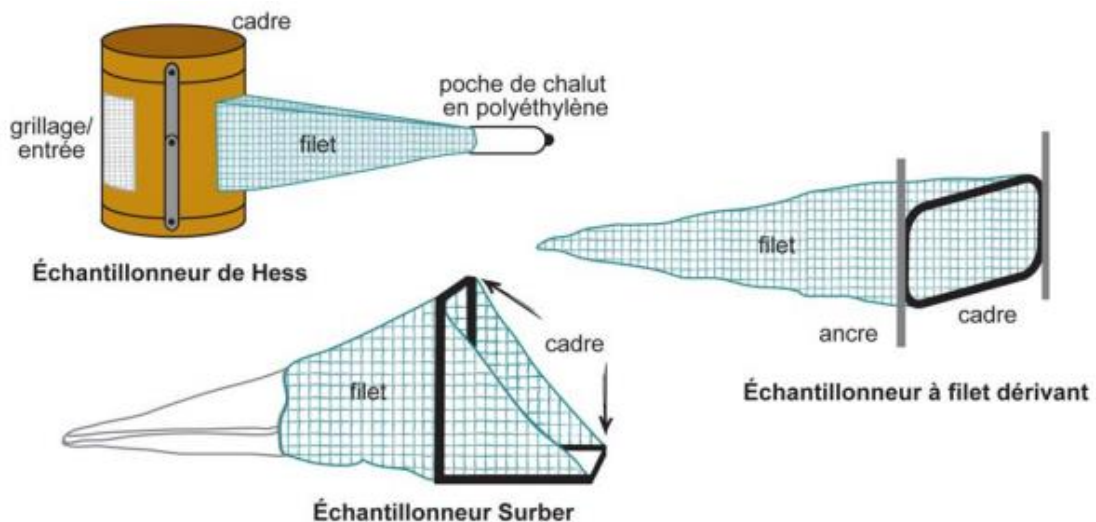
L'évaluation des écosystèmes aquatiques à partir des invertébrés benthiques est affectée par les techniques d'échantillonnage. Chacune des techniques est quelque peu sélective et favorise des composantes spécifiques de la communauté benthique qui consistent en différents mélanges d'espèces qui varient en fonction de leur sensibilité à la pollution de l'eau (Barton et Metcalf-Smith, 1992). On retrouve dans la littérature des études comparatives qui ont pour but d'évaluer la performance des techniques d'échantillonnage. Les études obtiennent des résultats contradictoires. Par exemple, Modde et Dodds (1990) concluent que les substrats artificiels permettent une meilleure évaluation de la qualité de l'eau dans les petits ruisseaux que les échantillons prélevés sur substrats naturels. Inversement, Casey et Kendall (1996) remarquent que l'échantillonnage, pour un petit ruisseau à fond dur, sur substrats naturels est plus efficace que celui sur substrats artificiels pour l'évaluation des communautés d'invertébrés benthiques (Boissonneault, 2006).

#### **I-3-1-Protocole d'échantillonnage d'invertébrés dans les cours d'eau**

De façon générale, les macroinvertébrés benthiques sont récoltés selon des protocoles d'échantillonnage standardisés. Les différentes techniques de prélèvement visent la capture de différents spécimens d'espèces et de tailles différentes. La méthode choisie dépend donc de l'objectif de l'étude. La dimension des mailles du filet utilisé pour prélever et traiter les échantillons d'invertébrés déterminera la composition des échantillons d'invertébrés benthiques prélevés. Dans les ruisseaux et les rivières, les invertébrés benthiques sont prélevés sur le substrat grossier (substrat d'érosion) ou meuble (substrat de sédimentation) au moyen de différents types d'échantillonneurs. Les programmes d'échantillonnage d'invertébrés benthiques en eau libre ont lieu habituellement au début du printemps ou de l'automne, où les communautés benthiques sont plus stables. De même, il est important d'assurer une stabilité du moment et des intervalles auxquels l'échantillonnage est effectué

d'une année à l'autre. Il existe différentes techniques d'échantillonnage qualitatif et quantitatif, chacune présentant des avantages et des inconvénients qui lui sont propres.

L'échantillonnage à l'aide de filets dérivants peut servir à prélever les invertébrés qui émergent et migrent, alors que le filet Surber sert pour les profondeurs de moins de 30 cm. L'échantillonneur cylindrique de Neill ou de Hess est l'un des échantillonneurs d'invertébrés benthiques les plus répandus pour prélever des échantillons de substrats d'érosion en ruisseaux et en rivières. Cet échantillonneur est idéal pour différents types de matériaux d'érosion comme le gravier, les galets, les petites roches et le sable. Bien qu'il ne puisse être utilisé qu'en eau peu profonde, une version modifiée du cylindre de Neill (maille de 210  $\mu\text{m}$ ; surface de contact des matériaux de 0,1  $\text{m}^2$ ) a été utilisée pour prélever des invertébrés benthiques dans des cours d'eau importants (CCME, 2011).



**Figure 01:** Principaux types d'échantillonneurs des invertébrés ( Le Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011).

### I-3-2-Protocole d'échantillonnage d'invertébrés au moyen de la technique botte-filet mobile en lacs

La technique botte-filet mobile constitue la méthode d'échantillonnage la plus répandue. On l'utilise habituellement en marchant le long de transects au travers des habitats visés, en donnant des coups de pied sur les substrats pour déloger le benthos et le prélever en balayant l'eau avec un filet à main. La plupart des suivis sur le benthos ont recours à des filets dont les mailles varient entre 250 micromètres ( $\mu\text{m}$ ) et 1 mm ; 500  $\mu\text{m}$  constituant la taille la plus courante. Les échantillons doivent être prélevés sur un site donné à la même

période de l'année (OME, 2015). Choisir une série de trois segments types d'un lac (idéalement de manière aléatoire), desquels une série de transects seront identifiés pour effectuer des prélèvements (en partant du bord de l'eau jusqu'à 1 m de profondeur). Ces segments de lac devraient se trouver dans une zone où la santé de l'écosystème aquatique est source de préoccupation. Utiliser un filet à maille de 500  $\mu\text{m}$  et préconiser la technique botte-filet mobile le long des transects pour prélever les échantillons. Botter vigoureusement le substrat pour le déplacer jusqu'à une profondeur d'environ 5 cm. Pour prélever le matériel délogé, on opère un mouvement de va-et vient à l'horizontale et à la verticale avec le filet pendant qu'on longe le transect. Allouer 10 minutes d'échantillonnage par réplicat ou jusqu'à ce qu'on soit sûr d'avoir 100 spécimens. Il faut procéder à l'échantillonnage d'au moins un (01) transect complet (du rivage à 1 m de profondeur). Tamiser l'échantillon recueilli dans le filet. Rincer et retirer les grosses pierres, les matières végétales, etc. Relâcher toute espèce non benthique. Transférer le contenu du filet dans un seau. On devra probablement transférer plusieurs fois les matériaux prélevés de chaque réplicat pour éviter l'engorgement du filet. Noter le temps consacré à l'échantillonnage (Sans la prise en compte du temps passé à transférer le contenu du filet dans le seau), la distance et tout autre renseignement demandé sur le registre de terrain. Répéter jusqu'à ce que trois réplicats soient prélevés (CCME, 2011).

Par la suite, le traitement des échantillons en laboratoire consiste à identifier les organismes à l'espèce, au genre, à la famille ou à l'ordre, selon le type de suivi effectué et le groupe de macroinvertébrés étudié. Puis, la composition des communautés est analysée et les résultats sont traduits en un calcul de différents indices selon la problématique à l'étude (Boissonneault, 2006).

#### **I-4-Valeur des invertébrés**

Les invertébrés sont bénéfiques aux activités humaines dans trois domaines à savoir : culturel, économique et écologique (Pyle *et al.*, 1981).

##### **I-4-1-Le domaine culturel**

Ces animaux minuscules sont une source fécondante pour l'esprit humain, ils contribuent par leur beauté, leur diversité, à agrémenter le monde dans lequel nous vivons (papillons, libellules). Ils constituent aussi des modèles d'inspiration en peinture et ont servi

à illustrer des pages célèbres de la littérature dans nos différentes sociétés et cultures (Pavan, 1986). Au point de vue de la science, les insectes et notamment des espèces de Diptères ont permis des études en génétique, en médecine et ainsi qu'en biologie évolutive. Ces dernières sciences ne seraient pas ce qu'elles sont sans les Drosophiles.

#### **I-4-2-Le domaine économique**

Lorsqu'on analyse l'importance des invertébrés dans le domaine économique, on s'aperçoit immédiatement qu'elle est très grande. Malheureusement l'image qui se présente immédiatement à l'esprit est celle des invertébrés ravageurs des cultures ou des denrées emmagasinées, des pestes des animaux domestiques et de l'homme et des agents vecteurs ou responsables de maladies. Remarquons de suite que les responsables de ces dommages ne représentent pas plus d'une centaine d'espèces et qu'ils peuvent être contrôlés par d'autres (rôle des coccinelles, des ichneumons, des calosomes) ou par des produits phytosanitaires, ces derniers étant plus dommageables pour l'environnement que les ravageurs ou vecteurs de maladies proprement dits. Cet aspect négatif est, sans doute, assez mineur si l'on considère les gains que les invertébrés nous procurent. En effet, il n'est pas nécessaire de démontrer l'importance économique du ver à soie (sériciculture) et des abeilles (apiculture) pour l'homme. Actuellement, les travaux de recherche développent des essais de pollinisation de légumineuses et d'arbres fruitiers par des abeilles solitaires ou des Diptères (espèces d'*Osmia*, de *Bombus*, de Syrphidés) (Gaspar, 1987).

Dans les écosystèmes, qu'ils soient terrestres ou aquatiques, les végétaux constituent les producteurs primaires ; les invertébrés peuvent constituer des consommateurs d'ordre I et II. Ces invertébrés sont consommés à leur tour par des poissons (consommateurs III), ceux-ci sont utilisés par des poissons carnivores (Cummins, 1975 ; Dejoux, 1981 ; Diomande, 2001 ; Gnohossou *et al.*, 2009). Servant de nourriture aux oiseaux d'eau qui sont à leur tour des bioindicateurs des différents changements environnementaux (Wangari, 1986), aussi les amphibiens, les reptiles et les mammifères, c'est le réseau trophique. Mais aussi pour l'homme en particulier sous les tropiques, où ils peuvent être une source non négligeable de protéines en période de disette (termites, sauterelles, chenilles, larves de coléoptère xylophage). Quant à nos pays, les crustacés d'eau douce et de mer, ainsi que les mollusques marins et terrestres sont exploités et procurent du travail dans les domaines de l'élevage et du commerce (homard, langouste, moule, huître, poulpe, écrevisse, escargot) (Gaspar, 1987).

### I-4-3-Le domaine écologique

Il n'est pas utile de rappeler le rôle non négligeable des vers de terre dans le processus de l'humification, Darwin l'avait déjà écrit en 1881. Signalons aussi l'action des insectes coprophages et saprophages qui contribuent à assainir, sans que nous nous en rendions compte, notre environnement. Etant donné l'action des invertébrés lors de la formation des sols et par leur influence sur la végétation, toutes les activités agricoles et forestières en tirent un profit non négligeable.

La seconde activité écologique importante des invertébrés est leur rôle dans le contrôle biologique des ravageurs et la place qu'ils occupent dans la méthode dite de lutte intégrée.

La troisième activité est le rôle joué par les insectes dans la pollinisation. Sous cet aspect, il ne faut pas oublier qu'ils interviennent pour polliniser des plantes économiquement importantes pour notre alimentation, mais aussi celles qui ont pour but d'embellir notre environnement. Les invertébrés aquatiques nous renseignent aussi sur la qualité des eaux (degré de pollution) et les terrestres comme indices biologiques de la qualité de l'air et du sol. Les invertébrés offrent donc à l'homme des sources non négligeables et irremplaçables de nourriture, de travail, de bien-être et l'exposé des avantages et dommages qu'ils nous procurent montre que le bilan leur est favorable. Pourtant, on observe partout dans le monde non seulement la disparition de plusieurs espèces d'invertébrés (Bernardi, 1986 ; Collins *et al.*, 1985, 1987) mais aussi une banalisation importante de la faune (Gaspar *et al.*, 1975).

### I-5-Ce qui affecte les macroinvertébrés

Les perturbations physiques (par exemple un barrage hydroélectrique ou l'érosion des berges) et chimiques (pollution) affectent le nombre et la diversité des macroinvertébrés. Les organismes qui habitent les cours d'eau ont des préférences quant à la température, l'oxygénation, le niveau de pH, etc. Les modifications chimiques ou physiques d'une rivière peuvent entraîner une variation du nombre d'organismes et la richesse spécifique. Une augmentation de la pollution peut entraîner une diminution des espèces sensibles et, par conséquent, limiter la diversité aux espèces qui tolèrent des conditions extrêmes. La pollution peut donc diminuer la diversité des espèces de macroinvertébrés dans une communauté. En éliminant certaines espèces, la compétition (la concurrence) pour la nourriture qui devient plus rare. De plus, la pollution peut éliminer des espèces de macroinvertébrés prédateurs. Comme conséquence on y assiste à la création de déséquilibres

dans la communauté de macroinvertébrés où tous les niveaux des chaînes alimentaires aquatiques se trouvent affectés.

### **I-5-1-Les perturbations physiques**

#### **-Les solides en suspension**

Ils favorisent une diminution de la pénétration de la lumière limitant la photosynthèse chez les plantes aquatiques. Cela peut provoquer une diminution de l'oxygène et, par le fait même, une diminution de la diversité des macroinvertébrés.

#### **-Les sédiments qui se déposent sur le fond**

Ils entraînent l'altération de l'habitat en rendant le lit de la rivière plus mou et en remplissant les trous et les espaces entre les roches. Nous retrouvons donc moins d'endroits disponibles pour que les organismes puissent s'agripper.

#### **-Enlever la végétation riveraine**

Ceci affecte les macroinvertébrés qui s'en nourrissent et augmente la quantité de lumière dans les parties plus profondes, causant la perte d'un habitat ombrageux pour les macroinvertébrés. De plus, une augmentation de la quantité de lumière entraîne l'augmentation de la productivité des algues, ce qui favorisera certaines espèces de macroinvertébrés aux dépens d'autres espèces. Finalement, l'augmentation de celle-ci entraîne aussi une augmentation de la température de l'eau, ce qui affecte la diversité et le nombre des macroinvertébrés.

#### **-Enlever les branches et les arbres tombés**

Cela provoque une diminution de la variété d'habitat et donc une diminution de la diversité des macroinvertébrés. Les débris de bois peuvent être encore plus importants si le fond est sablonneux. Ces débris offrent l'unique endroit où les macroinvertébrés peuvent s'accrocher et se reproduire. De plus, en retirant ces débris, nous déstabilisons leur habitat et nous perturbons, par la même occasion, les communautés d'organismes.

#### **-La construction de barrières**

Un barrage altère le régime naturel de la rivière (débit, niveau de l'eau, ...) de même que la température et la chimie de l'eau. Le barrage peut aussi perturber les couches plus froides du fond qui sont nécessaires aux stades de vie de certains macroinvertébrés et en conséquence, limiter la colonisation.

### **I-5-2-Les perturbations chimiques**

#### **-L'augmentation des nutriments (eaux de ruissellement des pluies, ...)**

Elle augmente la production des algues ainsi que le broutage des algues par certains macroinvertébrés, contribuant au déséquilibre des communautés.

#### **-Les effluents industriels (métaux lourds, pesticides, pollution organique...)**

Ils tuent les macroinvertébrés, augmentent la température de l'eau et diminuent l'oxygène. Le métabolisme des macroinvertébrés peut donc être perturbé. Une augmentation de la pollution organique entraînant une diminution d'oxygène peut tuer des macroinvertébrés, à l'exception des espèces comme les vers, les Chironomides qui peuvent tolérer des niveaux plus bas d'oxygène. Nous nous retrouvons donc avec une diminution de la diversité et une augmentation des espèces tolérantes.

### **I-6-La bioindication**

L'évaluation de la qualité de l'eau est souvent réalisée à l'aide de méthodes « classiques » de mesure d'une série de paramètres physico-chimiques que l'on compare par la suite à des normes ou des critères de qualité approuvées. Cette approche a ses limites, car elle peut prédire un impact alors qu'il n'y en a pas, ou bien ne pas prédire d'impact alors qu'il y a eu un. Selon une étude américaine (Thomas, 1993), cela peut se produire dans respectivement 36 % et 6 % des cas. L'approche traditionnelle peut être avantageusement complétée par un suivi biologique qui consiste à utiliser des organismes vivants, afin de mesurer les effets de la pollution de l'eau. Ainsi, le suivi biologique tient compte des effets combinés des produits chimiques, de l'effet des pics de contamination ainsi que de l'impact des perturbations écologiques comme l'eutrophisation, la présence d'espèces exotiques ou, encore, la dégradation des habitats.

La bioindication reposait au préalable sur la recherche de la présence/absence d'organismes et éventuellement leur abondance, ceci permettant d'apporter des informations précises sur la qualité du milieu (Blandin, 1986). Selon Bellan (1984), les indicateurs biologiques ou taxons indicateurs sont des détecteurs révélant l'existence de conditions complexes à interpréter et résultant le plus souvent d'un ensemble de facteurs biotiques ou abiotiques difficiles à mesurer directement. Blandin (1986), stipule que les bioindicateurs sont définis comme des espèces animales ou végétales permettant de donner une indication du niveau de dégradation d'un milieu par le biais de leurs caractéristiques physiologiques,

éthologiques ou écologiques. Ils mettent ainsi en évidence des modifications naturelles ou provoquées des milieux. Ces modifications peuvent faire diminuer ou augmenter le niveau de la population du bioindicateur selon qu'ils affectent positivement ou négativement différents paramètres de vie de ces organismes au niveau comportemental, morphologique, tissulaire ou physiologique. Par exemple, une altération de la physiologie de la reproduction d'un organisme choisi comme bioindicateur pourrait résulter en une diminution de sa population. Un bon bioindicateur doit avoir des exigences écologiques très spécifiques afin qu'on puisse faire un lien direct entre sa présence / absence et une particularité environnementale (Touzin, 2008).

Lors de l'utilisation des méthodes biologiques, on peut faire appel à plusieurs types de bioindicateurs comme les diatomées, les macrophytes, les macroinvertébrés benthiques et les poissons. Les diatomées sont des algues microscopiques pourvues d'un squelette siliceux sur lequel est basée leur identification. Elles forment une couche gélatineuse sur les roches immergées et on les retrouve dans tous les milieux, qu'ils soient sombres ou éclairés, propres ou pollués. De plus, elles sont très sensibles à la pollution azotée et phosphorée. Les macrophytes sont des végétaux de grande taille qui peuplent les écosystèmes aquatiques. La famille des salmonidés est un bon exemple de bio-indicateur puisque ces poissons (ex : truite mouchetée) sont sensibles au manque d'oxygène (Touzin, 2008).

### **I-7-Les invertébrés d'eau douce comme bioindicateurs de pollution**

Pour une gestion durable des perturbations des milieux aquatiques, des systèmes de surveillance de l'état d'intégrité sont élaborés à l'aide des organismes aquatiques (Hart *et al.*, 1999). En comparaison avec les données chimiques, le contrôle biologique offre un moyen relativement abordable de mesure environnementale pour l'évaluation de la dégradation des habitats aquatiques et de la perte de la diversité biologique induite par les perturbations anthropiques (Hynes, 1960; Hawkes, 1979; Karr, 1991). La surveillance biologique des communautés benthiques est aujourd'hui l'outil le plus sensible pour détecter de façon rapide et précise les perturbations dans les biocénoses aquatiques (Cairns et Pratt, 1993). Les macroinvertébrés constituent un groupe taxonomique très hétérogène regroupant plusieurs phylums. Cette grande diversité de formes confère à ce groupe une grande diversité de réponses potentielles aux perturbations (Rosenberg et Resh, 1993). Ce groupe biologique présente l'avantage d'être le plus souvent tributaire d'un milieu, de répondre rapidement aux stress et de constituer un des premiers maillons de la chaîne alimentaire des cours d'eau

(Barbour *et al.*, 1999). De plus, il existe une certaine rémanence chez ces organismes qui leur permettent de témoigner de pollutions plus ou moins anciennes (Friedrich *et al.*, 1992). Leur cycle de vie est aussi relativement long, de l'ordre d'une année (Marchant, 1986). D'après Charvet (1999), les organismes aquatiques de par leur diversité de formes taxonomiques, leur durée de vie, et leur large distribution dans l'ensemble des eaux courantes, constituent d'excellents bioindicateurs de l'état de santé des hydrosystèmes. Pour la plupart, dans des conditions normales, ils ont une mobilité réduite sur les supports aquatiques (quelques mètres). Certains compensent toutefois ce handicap par des capacités de dérive active (mise en suspension dans le courant), souvent rythmée, pour se disperser ou quitter un environnement qui ne répond plus à leurs besoins (respiration, nourriture, nymphose). Face à des perturbations ou des pollutions majeures, mis à part cette possibilité de dérive, ils ne peuvent que subir ou mourir. Ils sont donc représentatifs des conditions environnementales d'un milieu donné. Ils sont abondants et relativement faciles à collecter (Leunda, 2009) de plus, leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résident. Leur identification n'est pas aussi difficile que celle des micro-organismes et du plancton et de nombreux ouvrages de détermination sont disponibles.

Les macroinvertébrés les plus couramment utilisés comme bioindicateurs sont les insectes aquatiques (sous formes larvaires et parfois adultes), les acariens, les mollusques et les crustacés d'eau douce. Ces organismes sont récoltés pour être ensuite identifiés à l'espèce, au genre, à la famille ou à l'ordre selon le type de suivi choisi par l'instigateur (Boissonneault, 2006). La détérioration de ces communautés benthiques peut s'exprimer de différentes manières, soit par l'absence de taxons polluo-sensibles, par la dominance de certains taxons polluo-résistants comme les Chironomidae ou par les changements importants dans la composition relative dans la communauté benthique (Plafkin *et al.*, 1989).

Cet ensemble de caractéristiques font que les macro- invertébrés benthiques sont à l'origine de nombreux outils diagnostiques de la qualité des écosystèmes aquatiques.

L'analyse de la composition des communautés fournit une image d'ensemble de l'intensité des perturbations que subissent les cours d'eau qui sont, la plupart du temps, traduite par une valeur obtenue par le calcul de différents indices.

### **I-8-Les indices biotiques**

Depuis le début du siècle dernier la qualité biologique des cours d'eau est de plus en plus étudiée. Dès les années 1920, les caractéristiques biologiques des organismes

aquatiques ont été reliées à la variabilité spatiale des habitats, aux contraintes environnementales et aux perturbations anthropiques. Cependant, ce n'est vraiment que dans les années 1970- 1980 que les auteurs se sont intéressés à l'obtention d'une description écologique des conditions environnementales tenant compte des relations faune/ habitat, et en considérant que des relevés faunistiques pouvaient fournir des indications sur les caractéristiques d'organisation physiques et fonctionnelles de l'écosystème aquatique étudié. Ceci a donné lieu à la naissance de nombreux outils diagnostiques de la qualité des écosystèmes aquatiques basés sur les macroinvertébrés benthiques.

Un certain nombre d'études ont documenté la manière dont les assemblages de macroinvertébrés répondent aux variables environnementales et les variables qui expliquent le mieux leur distribution et leur abondance. Certaines études ont montré de bonnes relations entre les assemblages de macroinvertébrés, des variables chimiques et de la base d'énergie organique. Tandis que les facteurs physiques liés à l'habitat étaient largement mis en évidence comme contributeurs principaux tels que la composition du substrat, le débit et la vitesse du courant, la hauteur et la taille du cours d'eau ainsi que la température. La végétation, la géologie sont également importants pour leur distribution spatiale.

Une grande variété d'indices biotiques et de scores basés sur les macroinvertébrés à ont été développés et appliqués pour l'évaluation de la qualité de l'eau, tels que l'indice biotique étendu de Trent (the Extended Trent Biotic index (ETBi)) (Chandler, 1970), l'indice biotique belge (Belgian Biotic index (BBi)) (De Pauw et Vanhooren, 1983), protocoles de bioévaluation rapides (Rapid Bioassessment Protocols (RBPS)) (Barbour *et al.*, 1999), surveillance biologique de la qualité de l'eau (Biological Monitoring Water Quality (BMWQ)) (Camargo et Munoz, 1989 ), l'indice de macroinvertébrés multimétrique en Flandre (Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF)) (Gabriels *et al.*, 2010), l'indice biotique des familles (Family-level Biotic Index (FBI)) (Hilsenhoff, 1988), l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), Score moyen par taxon (ASPT), et le groupe de travail sur la surveillance biologique (the Biological Monitoring Working Party (BMWP)). D'autres méthodes peuvent consister à prédire la qualité de l'eau en utilisant un modèle de réseau neuronal de rétro proposition (BP-NN) ou à estimer les concentrations de métaux critiques pour une bonne qualité écologique de l'eau en utilisant un indice biotique basé sur les macroinvertébrés (Mutonkole, 2015).

## Chapitre II: Description de la zone d'étude

### II-1-Le Parc National d'El Kala (PNEK)

#### II-1-1-Historique et législations du Parc National d'El Kala (PNEK)

Le parc national d'El Kala (PNEK) a été créé le 23.07.1983 par le décret N° 83-462 émanant du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Sa création répondait à la nécessité d'un besoin de préserver un riche patrimoine écologique composé d'une mosaïque d'écosystèmes terrestres et lacustres d'une grande diversité faunistique et floristique.

Avant même sa création, en 1982 et pour marquer l'adhésion à la convention de Ramsar l'Algérie à faveur des instances internationales pour la protection des zones humides, deux sites lacustres de la région d'El Kala ont été inscrits sur la liste Ramsar relative aux zones humides d'importances internationales. Il s'agit des lacs Tonga et Oubeira.

En raison de la richesse de ses écosystèmes, il a été déclaré apte à servir de système de référence quant au suivi des modifications d'ordre naturel ou anthropique qui affectent les milieux naturels mondiaux et à ce titre, il a été classé par l'UNESCO le 17 décembre 1990 comme réserve de la biosphère, devenant par là même un site mondial d'observation et un patrimoine de l'humanité.

En Novembre 2002, deux autres sites ont fait l'objet d'inscription sur la liste Ramsar ; la tourbière du lac noir et les aulnaies de Ain-Khiar.

Une année après en 2003 et compte tenu des richesses halieutiques qui recèlent les biotopes marins du PNEK, celui-ci a bénéficié d'un financement étranger pour l'étude de création d'une réserve marine protégée dans le cadre du projet régional de développement des aires marines et côtières dans la région méditerranéenne (Projet Med MPA).

En 2004, c'était le tour de la lagune d'El Mellah et du lac Bleu de figurer sur la liste Ramsar.

En 2005, une première phase de l'étude a été réalisée et a permis l'élaboration d'un plan de gestion de la zone marine du Parc.

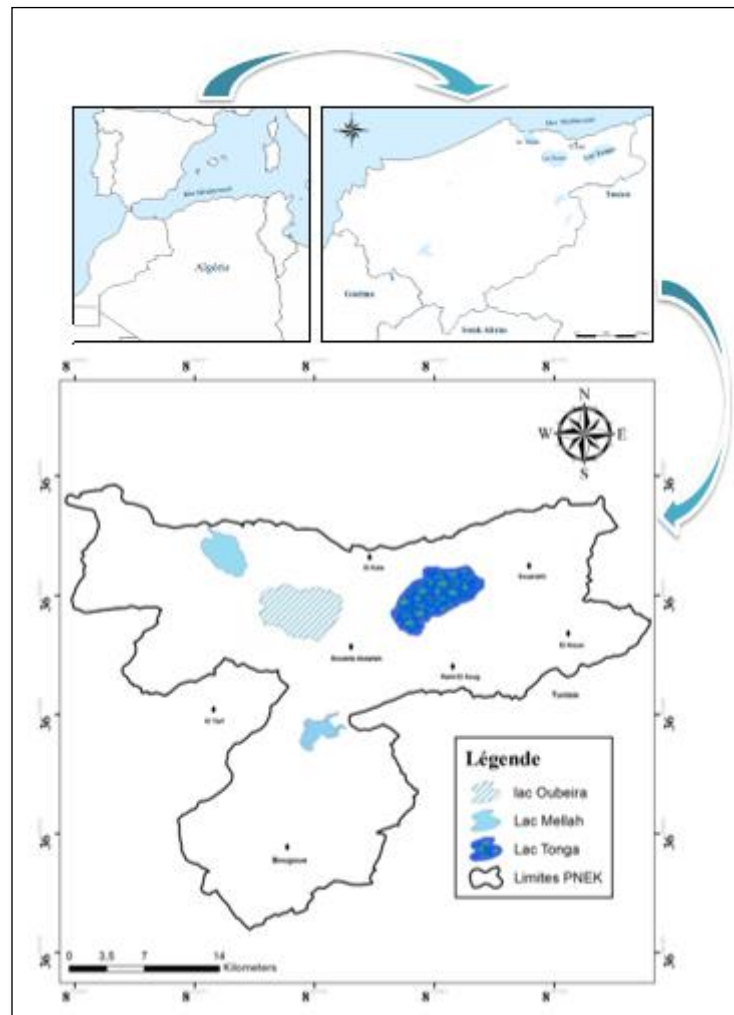
## II-1-2-Limites géographiques et administratives

Le parc national d'El Kala (PNEK) est le plus étendu des parcs du nord de l'Algérie avec une superficie de 76438 ha soit 26% de l'espace de la wilaya.

Il est situé à l'extrême Nord-Est algérien au niveau de la wilaya d'El-Tarf (Fig.2).

Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la frontière Algéro-tunisienne et au Sud par les monts de la Medjerda. La limite Ouest du Parc est tracée de façon à englober le bassin versant de l'Oued Bougous vers le sud et la ville d'El Tarf plus au nord, puis continue vers l'ouest parallèlement à la route N°44 jusqu'à la commune de Bouteldja, et se prolonge vers le nord jusqu'à l'ouest immédiat du Cap Rosa.

Le parc regroupe neuf communes : El Tarf, El Kala, Ain Assel, Souarekh, El Aioun, Berrihane, Ramel Souk, Bougous et Bouteldja (Fig.3).



**Figure 02:** Carte de situation géographique du Parc National d'El Kala (Originele)



**Figure 03:** Carte situation et limites administratives du PNEK (Originale).

### II-1-3-Organisation territoriale du Parc National d'El-Kala

Le Parc est représenté par trois (03) secteurs de gestion (Fig.4).

- **Secteur de gestion Brabtia**

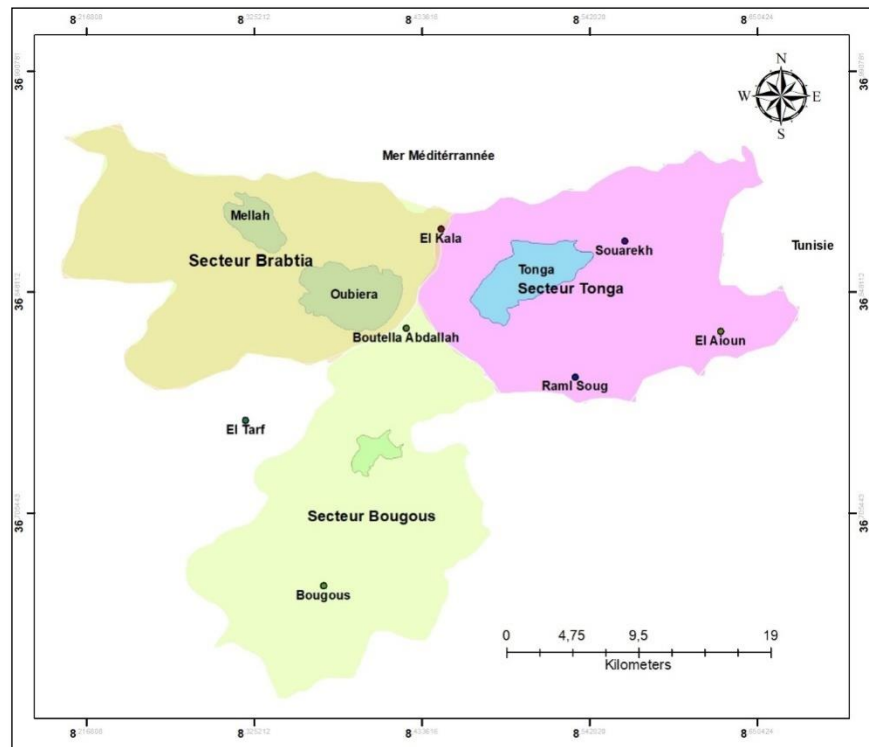
Il s'étend principalement sur les bassins versants du lac Mellah et du lac Oubeira. Il a pour vocation dominante la gestion des ressources naturelles autour des lacs d'intérêt économique.

- **Secteur de gestion Tonga**

Il s'étend principalement sur le bassin versant du lac Tonga. Il a pour vocation dominante la gestion des ressources naturelles en périphérie d'un lac protégé.

- **Secteur de gestion Bougous**

Il s'étend principalement sur la zone de Bougous, l'amont du bassin versant de l'Oued Bougous et l'affluent de l'Oued El Kébir. Il a pour vocation dominante la gestion d'une zone de montagne sylvopastorale.



**Figure 04:** Carte de délimitation territoriale des secteurs de gestion du PNEK (Originale).

### II-1-4-Hydrographie

Le réseau hydrographique du PNEK est composé de 14 Oueds dont principalement Oued El-Kebir, Oued El-Hout, Oued Bougous (Tab.1), et d'une quarantaine des sources réparties à travers le territoire du Parc ou sa périphérie parmi lesquelles nous citons : Bougles, Bouredim et El Bhaim.

**Tableau 01:** Principaux cours d'eau du PNEK (Benyacoub *et al.*, 1998).

Principaux Oueds	Longueur (km)	Exutoire
Oued Reguibet	8	Mellah
Oued Nhal	3,5	Plage Cap Rosa
Oued Mellah	7	Mellah
Oued El-Aroug	5	Mellah
Demat Rihane	1,5	Oubeira

Boumerchen	2	Oubeira
Dai El-Graa	5	Oubeira
El-Areug	10	Tonga
El-Hout	14	Tonga
Bougous	24	Mexa
Sbaa	4	Oued El-Kebir
Bouredim	5	Bouredim
Messida	10	Oubeira - El Kebir
El-Kebir	35	Mafrag

### II-1-5-Principaux Lacs et zones marécageuses

Les superficies des principaux lacs et zones marécageuses sont mentionnées dans le tableau 02.

**Tableau 02:** Principaux lacs et zones marécageuses.

Lacs et marécages	Superficie (ha)	% par rapport au P.N.E.K ( 76438 ha)
Lac Tonga	2600	3,40
Lac Oubeira	2200	2,87
Lac Mellah	860	1,12
Marécages de Bouredim	22	0,02
Lac Bleu	06	0,007

Source : PNEK

### II-1-6- La flore et la végétation

Le parc national d'El Kala abrite le tiers de l'ensemble de la flore d'Algérie. Elle se caractérise par un taux élevé des espèces endémiques, rares et très rares (Ouelmouhoub, 2005). Elle est représentée par les deux grands groupes du règne végétal qui sont les Cryptogames et les phanérogames. Le premier groupe est représenté par une trentaine de fougères, 98 espèces de champignons et 114 espèces lichéniques. Le deuxième groupe est représenté par 780 espèces soit environ 30% des spermaphytes de l'Algérie.

La végétation du PNEK est divisée en cinq séries principales réparties comme suit :

**1- La série du chêne liège:** c'est la série la plus importante du PNEK (48,75 % de sa surface forestière), elle s'étend du niveau de la mer jusqu'à 900m d'altitude sur les versants Nord et Nord-Est. La végétation qui l'accompagne est composée essentiellement du cortège suivant : *Erica arborea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Cytisus triflorus* et *Callycotome villosa*.

**2- La série du chêne zeen:** cette série est limitée au niveau des stations fraîches et humides. Elle se trouve entre 900 et 1202 m d'altitude. Rencontrée surtout dans le massif du Ghorra. Elle est essentiellement composée de : *Ilex aquifolium*, *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*, *Crateagus manogyna*, *Myrtus communis* et *Laurus nobilis*.

**3- La série du Chêne kermès:** cette série occupe surtout les dunes littorales qui s'étendent du Cap Rosa au Cap Segleb. Le chêne kermès joue un rôle important dans la fixation des dunes. Son cortège floristique est caractérisé par la présence de *Quercus coccifera*, *Pistacia Lentiscus*, *Halimium halimifolium* et *Chamaerops humilis*.

**4- La série du Pin maritime:** elle occupe les collines sub-littorales et les basses montagnes. Le Pin constitue une essence de reboisement de la région. Les incendies favorisent sa propagation par libération et dispersion des propagules. Il est souvent accompagné de *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia*, *Cistus salvifolius* et *Arbutus unedo*.

**5- La ripisylve:** elle s'étend le long des berges des lacs et des oueds. Elle est constituée par des aulnaies plus au moins riches en Saules, Frênes, Peupliers et Ormes (Brahmia, 2002).

### II-1-7-La faune

La faune du parc est assez riche et diversifiée, les études disponibles au niveau du Parc National d'El Kala révèlent que le Parc abrite 43 espèces de mammifères (90 pour l'Algérie), 204 espèces d'oiseaux nicheurs et de rapaces, inféodés au milieu aquatique et forestier (350 espèces pour l'Algérie), 24 espèces de reptiles et amphibiens (82 pour l'Algérie) 823 espèces d'invertébrés dont 523 espèces d'insectes.

Les espèces animales les plus emblématiques à la région sont le renard roux ou doré, le lynx caracal, la mangouste et l'hyène rayée. Quant au Cerf de Berberie, c'est le mammifère le plus imposant du point de vue taille.

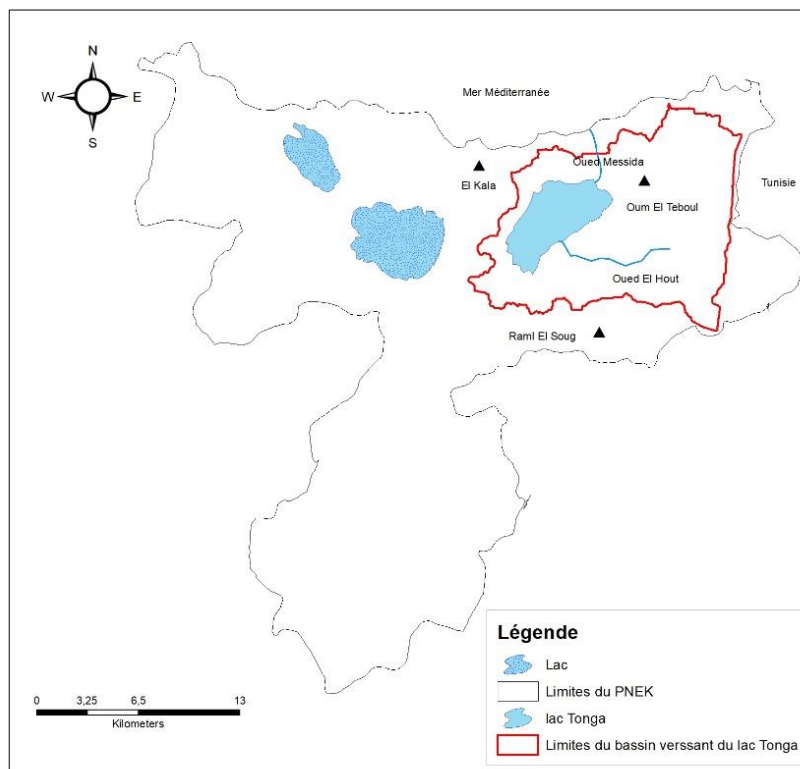
## II-2-Le bassin versant du Lac Tonga

### II-2-1-Localisation

Le bassin versant du lac Tonga est une partie intégrante du Parc National d'El Kala. Il est localisé à l'extrême Nord Est de l'Algérie à environ 3 km de la frontière Algéro-Tunisienne à l'Est et à l'Ouest d'environ 80 km des complexes industriels d'Annaba. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 08° 29' et 08°38'E et 36° 30' N (Fig.5).

Sa superficie totale représente environ 15 000 ha, il est constitué de trois sous-bassins:

- Le sous-bassin versant d'Oued El Eurg au Nord, beaucoup plus important, qui draine les eaux du Nord-Est et de l'Est, la route d'Oum Tebboul à El Aïoun délimitant la ligne de partage des eaux entre ces deux sous-bassins versants.
- Le sous-bassin versant d'Oued El Hout au Sud, limité au Nord par une série de Kefs (à altitude variant entre 209 et 513 m d'Ouest en Est. L'Est par la route d'El Aïoun à Ain Draham et au Sud par la route d'El Aïoun à la mechta Oued El Hout.
- La zone qui s'étend depuis la bordure Sud du massif dunaire de la rive gauche du canal de la Messida jusqu'à la rive Sud du lac (Raachi, 2007).



**Figure 05** : Localisation et délimitation du bassin versant du lac Tonga (Originale).

### II-2-2-Délimitation

Le bassin versant du lac Tonga est limité au Nord par des crêtes dunaires dont l'altitude varie entre 75 et 100 m séparant le lac Tonga de la mer. Au Nord-Ouest, il est séparé par Djbel Argoub Erched culminant à 167 m. Ses frontières Est et Sud sont bordées par la montagne de la Kroumirie. Enfin l'Ouest du Lac Tonga est limité par le bassin versant du Lac Oubeira (Fig.5).

### II-3- Caractéristiques physiques

#### II-3-1-Géologie

D'après la Carte géologique de Joleaud (1936), les différentes formations géologiques rencontrées dans le bassin du lac Tonga sont (Fig.06):

- Les alluvions lacustres couvertes d'eau l'hiver, formées d'argile ;

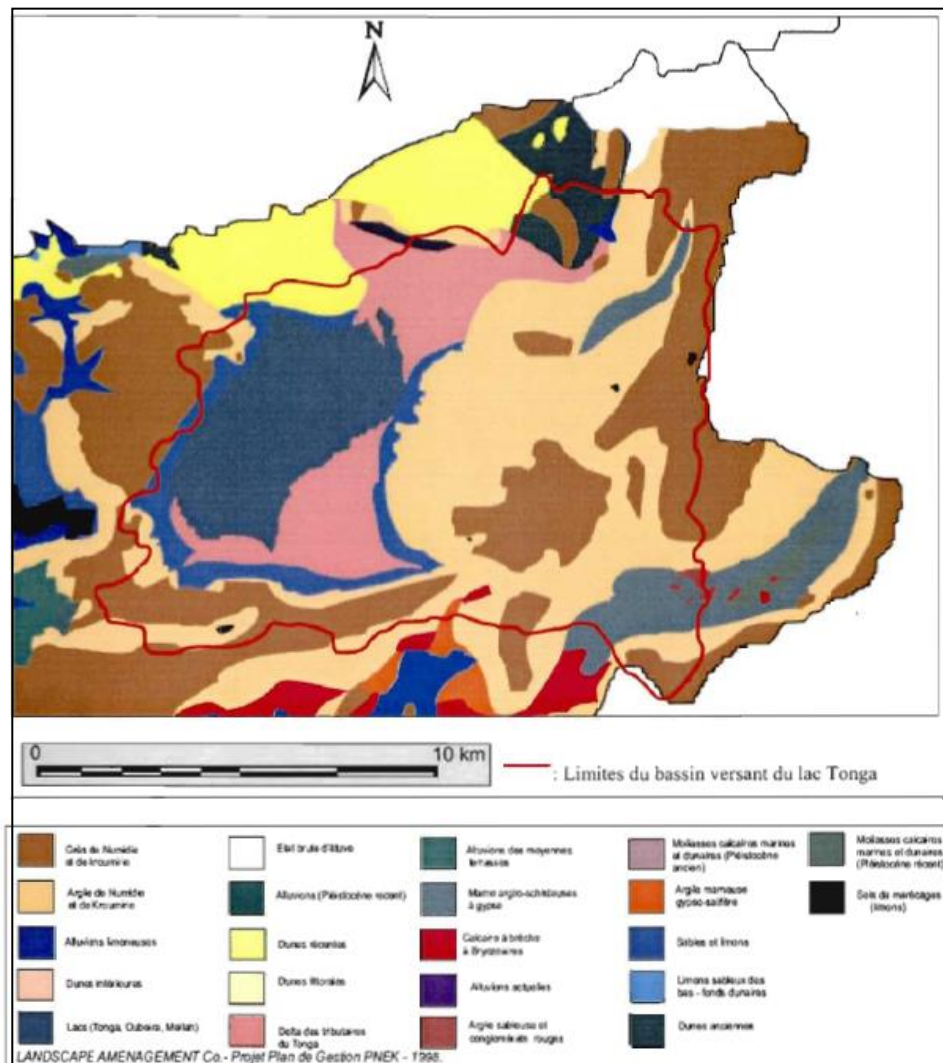


Figure 06 : Carte géologique du bassin versant du lac Tonga(Landscape Amenagement, 1998).

- 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 d'argiles sableuses grises, jaunes ou rouges ; des 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 durs. Ils couvrent 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 groupés sous le nom d'argiles de Numidie ;
- Les argiles, grés et calcaires noirs à nummulites de l'éocène moyen.

Donc le bassin versant du Lac Tonga présente diverses formations géologiques :

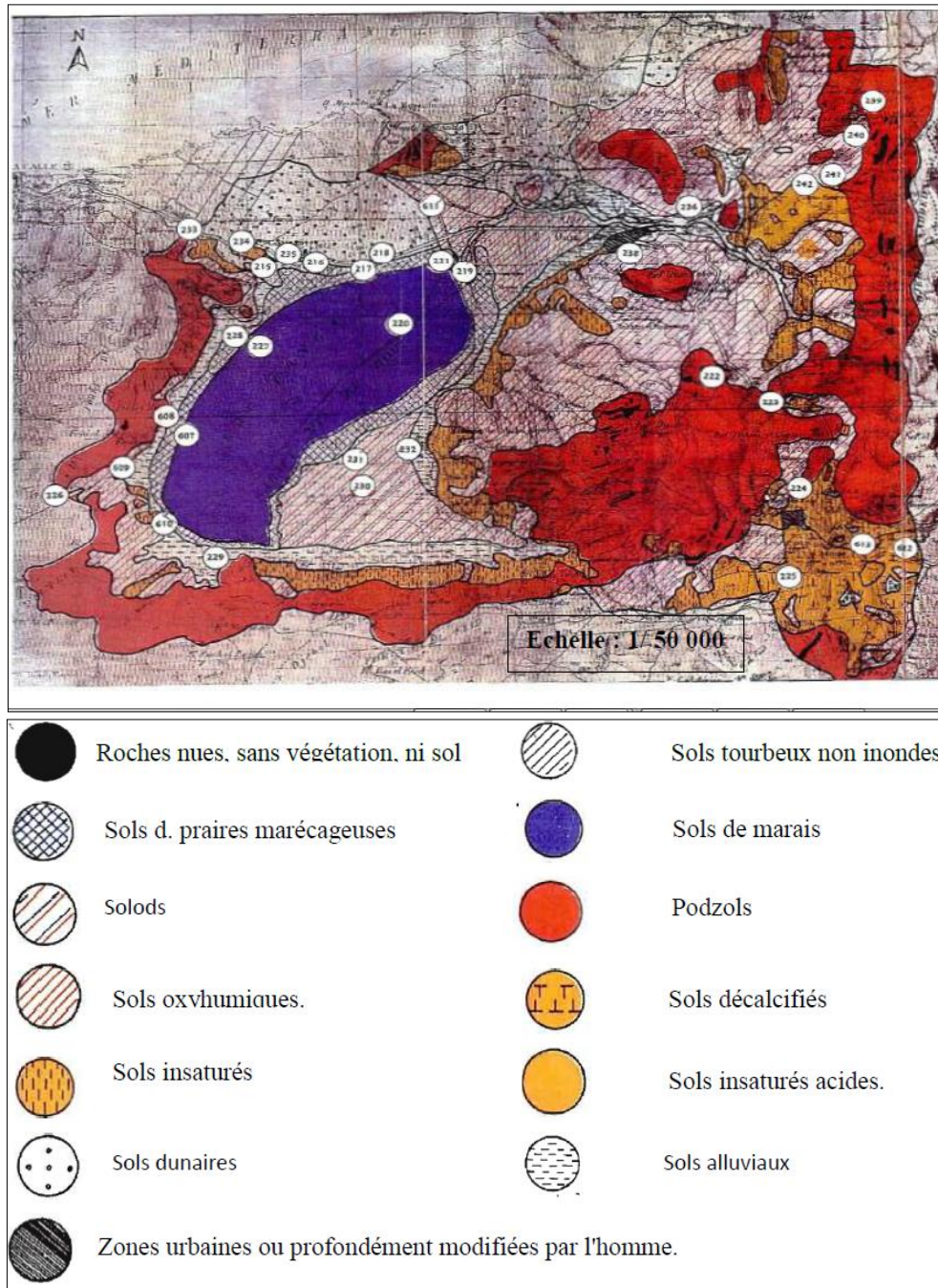
- Sols de marécages : formés de limons de bas-fonds.
- Alluvions limoneuses : formées de sable et limons récents.
- Des argiles, grés et calcaires noirs de l'éocène moyen qui constituent les contreforts entourant le lac.

### II-3-2-Pédologie

Durand en 1954 a déterminé deux types de sols (Fig.07):

- Sols zonaux ; dépendants surtout du climat. Ce groupe a une tendance évolutive est le lessivage quels que soient les caractères du produit final. Il comprenant cinq catégories :
  - Podzols ferrugineux
  - Sols oxyhumiques
  - Sols insaturés acides
  - Sols insaturés
  - Sols décalcifiés
- Sols azonaux ; indépendants du climat, ce groupe comprend les sols qui dépendent d'un autre facteur que le climat qui joue cependant un certain rôle constitué principalement de six catégories.
  - Sols des marais

- Sols de prairies marécageuses
- Sols tourbeux non inondés
- Solods
- Sols alluviaux
- Sols dunaires



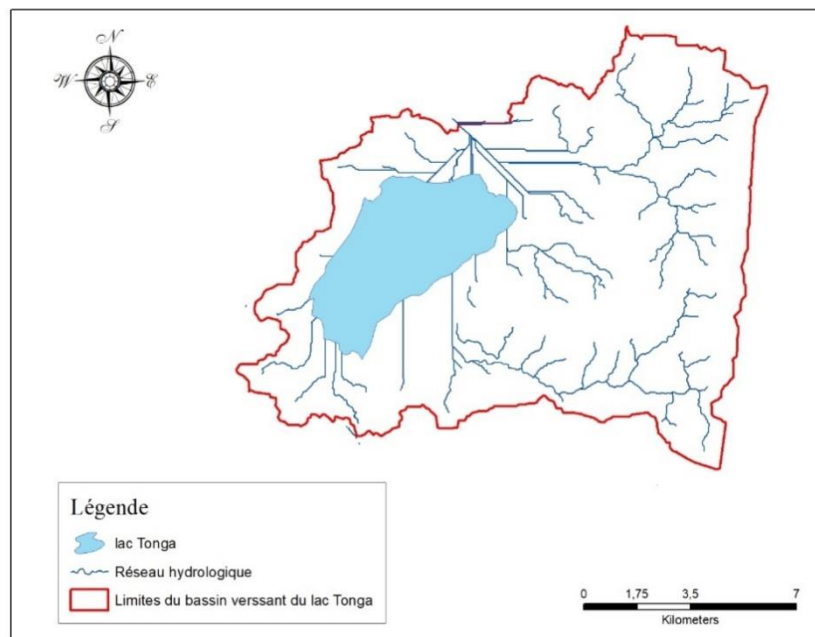
**Figure 07 :** Carte Pédologique montrant les différents types de sol du lac Tonga.

### II-3-3-Hydrologie, volume et profondeur

Le bassin versant du lac Tonga présente deux cours d'eaux majeures qui coulent toute l'année Oued El Hout, long de 14 km, et Oued El Eurg qui fait 10 km de longueur. L'exutoire de Tonga est l'Oued Messida (Fig.08).

Le volume du lac Tonga est d'environ 28.000.000 m<sup>3</sup> en période de pré-étiage, cette valeur doit être sensiblement supérieure en période de pleine eau. Le volume et la surface en eau sont sensiblement variables du fait de son caractère endoréique et l'intense évaporation estivale pouvant retirer un volume d'eau important, supérieur à 50% du volume maximum (Draïdi, 2014).

Les mesures bathymétriques font ressortir que le lac Tonga se caractérise par une Variation relativement faible de la profondeur. C'est un plan d'eau peu profond, la profondeur maximale mesurée en période estivale est de 1,80 m.



**Figure 08** : Carte du réseau hydrographique de la région d'étude (Originale).

### II-4-Climat

Dans la méditerranéenne, le climat reste un facteur clé à cause de son importance dans l'existence et l'évolution des écosystèmes (Aidoud, 1980). Il a une influence directe sur la faune et la flore (Samraoui et De Belaïre, 1997). C'est le climat qui régule la distribution des êtres vivants. Parmi ses composantes, il y a la température, les précipitations, l'humidité et

le vent (Faurie et *al.*, 2003). En général, les êtres vivants ne peuvent se maintenir en vie qu'entre certaines limites bien précises de température et de pluviométrie. En deçà ou au-delà de ses limites, les populations sont éliminées (Dajoz, 1971). De ce fait la température et les précipitations représentent les facteurs les plus déterminants du climat (Faurie et *al.*, 2003).

Afin de caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité une série de données climatiques sur une période allant de 1988 à 2018. Les facteurs climatiques nécessaires à notre étude sont recueillis auprès de la station météorologique du lac des oiseaux (Wilaya El-Tarf).

## II-4-1-Les données climatiques de la zone d'étude

### II-4-1-1-Précipitations

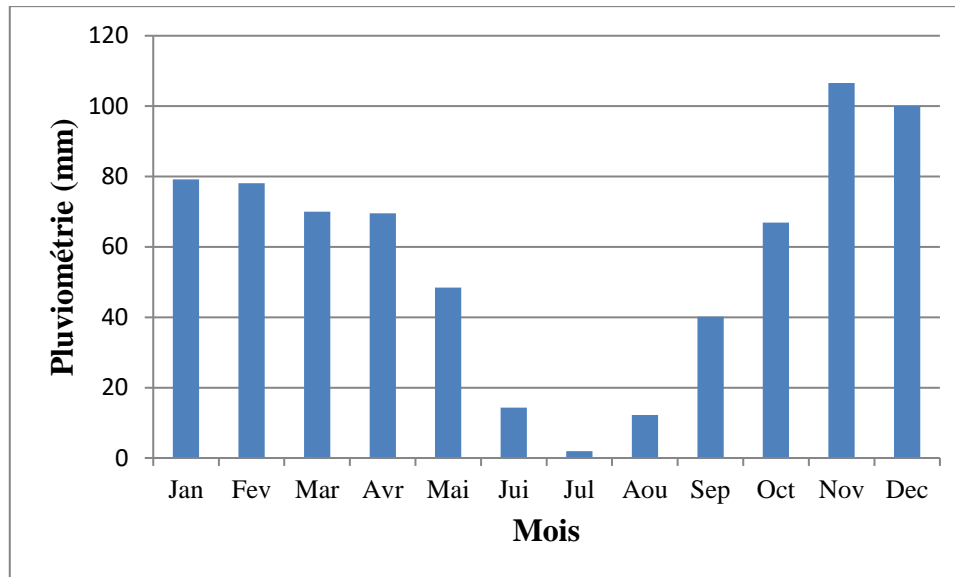
#### a- Précipitations mensuelles et annuelles

Elles constituent un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes limniques (Ramade, 2003) mais pour toute activité notamment photosynthétique des plantes, qui sont la composante biotique la plus importante de la biosphère (Ozenda, 1982). Les précipitations mensuelles enregistrées dans la station météorologique du Lac des Oiseaux (période 1988-2018) sont consignées dans le tableau 03.

**Tableau 03 :** Les précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (période 1988-2018) (La station météorologique du Lac des Oiseaux).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Cumul
P (mm)	79,2	78,1	70,0	69,5	48,4	14,3	1,9	12,2	40,2	66,9	106,6	100,0	723,0

La caractéristique du climat méditerranéen qui est « Chaud et sec en Été et froid et pluvieux en Hiver » (Halimi, 1980), laisse la distribution des précipitations mensuelles non uniforme (Fig.09) et montre un déficit remarquable pour les mois chauds notamment : Juin, Juillet et Août.



**Figure 09 :** Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (période 1988-2018)  
(La station météorologique du Lac des Oiseaux).

A partir du tableau 03 ci-dessus, les précipitations dans la zone d'étude sont variables d'un mois à une autre. Le mois le plus pluvieux c'est Novembre avec 106,60 mm tandis que le mois le moins pluvieux est celui de Juillet avec 1,90 mm.

Le cumul moyen des précipitations dans la zone d'étude est de 723,00 mm ce qui laisse la zone relativement arrosée par rapport à de nombreuses zones du pays.

#### **b- Le régime saisonnier : Répartition saisonnière des précipitations**

L'étude des précipitations saisonnières est importante car elle permet d'apprécier la Variation des précipitations et leur tendance vers telle ou telle période.

Sachant que les quatre saisons de l'année correspondent à :

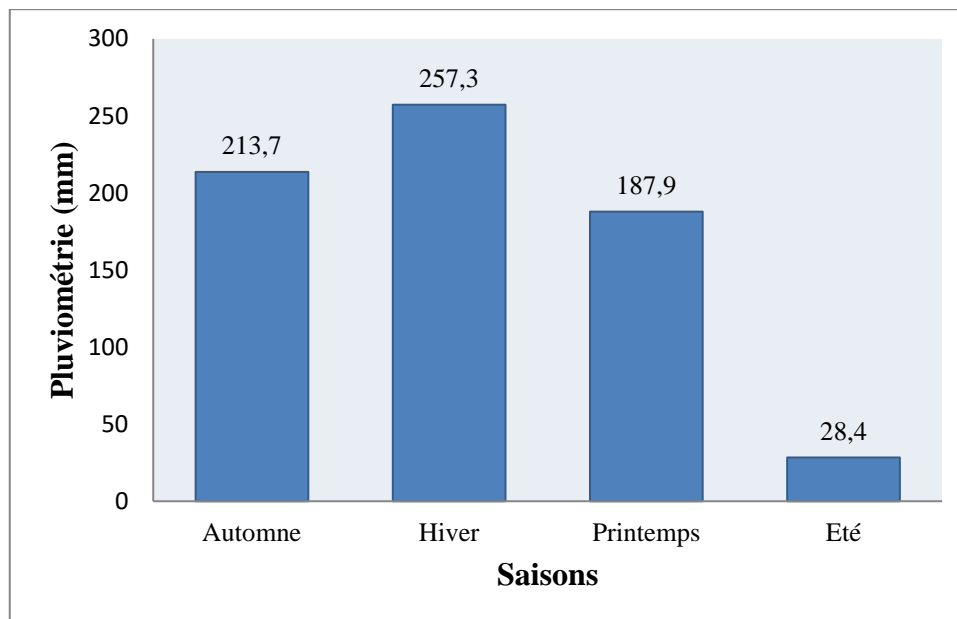
- Hiver : Décembre, Janvier, Février.
- Printemps : Mars, Avril, Mai.
- Eté : Juin, Juillet, Août.
- Automne : Septembre, Octobre, Novembre.

La répartition des précipitations par saison a abouti à ce qui est illustré au tableau 4 ci-dessous.

**Tableau 04 :** Répartition des précipitations par saisons de la région d'étude (période 1988-2018) (La station météorologique du Lac des Oiseaux).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Régime
P (mm)	213,70	257,30	187,90	28,40	HAPE

L'illustration de la distribution des précipitations par saison nous a permis d'aboutir à la figure 10 ci-dessous.



**Figure 10 :** Régime saisonnier de la région d'étude (période 1988-2018) (La station météorologique du Lac des Oiseaux).

Le tableau 04 et à la figure 10 permettent de caractériser le régime pluviométrique en fonction des saisons. Le régime saisonnier des précipitations de la région d'étude (période 1988-2018) est de type HAPE. En effet, l'hiver est la saison la plus arrosée avec un total de précipitations de 257,30 mm par contre l'Eté parait la saison la plus sèche avec un total de précipitations de 28,40 mm ce qui démontre le déficit hydrique associé aux fortes insulations, déshydratation et évaporation des surfaces aquatiques.

### II-4-1-2-Températures

La température est un facteur écologique important (Dajoz, 2006 ; Faurie *et al.*, 2003). Elle détermine les grandes régions climatiques terrestres, régule la vitesse des réactions cellulaires et intervient sur l'évaporation des plans d'eau et la transpiration des êtres vivants.

La température est un facteur fondamental du climat, sa Variation influe sur l'évaporation et l'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Ce paramètre est en fonction de l'altitude, de la distance par rapport à la mer et varie également en fonction des saisons (Toubal, 1986).

Le mois le plus froid est Janvier (7,2°C) et durant l'été, le mois d'Août représente le mois le plus chaud (32,5°C).

Les valeurs des températures moyennes mensuelles et extrêmes enregistrées dans la région d'étude pour la période de 1988 à 2018 sont regroupées dans le tableau 05.

**Tableau 05 :** Moyennes mensuelles et extrêmes des températures enregistrées dans la région d'étude (période 1988-2018) (La station météorologique du Lac des Oiseaux).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne annuelle
m (°C)	7,2	7,4	9,5	11,5	14,2	18,0	20,3	21,4	19,4	16,2	11,9	10,1	14,0
M (°C)	17,0	17,1	20,1	21,6	24,9	28,5	31,5	32,5	29,8	27,0	22,1	18,3	22,1
(M+m)/2 (°C)	11,5	12,1	13,9	16,4	19,9	23,8	26,7	27,3	24,7	21,5	16,8	13,3	17,1

- **m**: Moyennes des températures minimales;
- **M** : Moyennes des températures maximales;
- **(M+m) / 2** : Moyennes des températures.

#### a- Températures extrêmes

D'après les données des températures (Tab.05), il paraît que parmi les mois les plus chauds dans la région d'étude, Août occupe le premier rang avec une température moyenne maximale de 32,50 °C alors que le mois de Janvier enregistre la valeur la plus basse avec une température de 7,20 °C.

#### b- Températures moyennes mensuelles

Les valeurs des températures moyennes mensuelles enregistrées dans la région d'étude (Tab.05 ci-dessus) varient d'un maximum de 27,30°C pour le mois d'Aout alors que le mois de Janvier enregistre une valeur minimale de 11,50 °C.

### II-4-1-3-Vent

Dans notre région les vents sont généralement faibles ou modérés, ceci explique la présence d'une barrière naturelle constituée par les chaînes de montagnes littorales intérieures qui limitent la force du vent dominant Nord-est. Les vents sont caractérisés par deux régimes ;le vent du Nord-est est assez fréquent mais de faible force pendant la saison chaude ce qui assèche l'atmosphère et favorise avec les températures élevées les incendies de forêt et le vent du Nord-ouest souffle avec régularité pendant la saison froide.

### II-4-1-4-Humidité relative

L'humidité relative est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à la quantité maximale de vapeur d'eau que cet air peut contenir à température et pression constantes où elle s'exprime en pourcentage (Valle *et al.*, 1999).

Cette humidité relative présente un intérêt pour la végétation et autre lorsque les conditions hygrométriques sont défavorables pour les organismes vivants (Dajoz, 1971).

Dans la région d'El Kala, le degré d'hygrométrie est très élevé tout au long de l'année et il est presque constant durant toute l'année. Ceci est dû principalement à l'action modératrice de la mer et des plans d'eau ainsi que la richesse de la région en écosystèmes forestiers qui contribuent au maintien d'une hygrométrie élevée en été réduisant la durée et l'intensité de la sécheresse estivale.

Selon la station météorologique du Lac des Oiseaux, les valeurs les plus élevées ont été relevées au début de l'hiver (Décembre) et les valeurs les plus basses ont été relevées au début de l'été (Juin).

**Tableau 06 :** Moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région d'étude (période 1988-2018) (La station météorologique du Lac des Oiseaux).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy. annuelle
<b>Humidité</b> (%)	79,8	79,6	77,4	77,2	76,2	71,9	73,2	73,1	75,3	76,3	75,6	80,4	76,3

D'après le tableau 06, la valeur maximale de l'humidité relative moyenne est enregistrées au mois de Décembre soit 80,40% par contre la valeur minimale est notée pour le mois de Juin avec 71,90%. D'une manière générale l'humidité relative durant toute l'année demeure relativement élevée en raison de :

- La végétation relativement dense des alentours qui contribue dans la transpiration végétale.
- La proximité de la méditerranée.
- La présence de nombreux points d'eau et surfaces aquatiques qui participent par l'évaporation des eaux.

#### **II-4-2-Synthèse bioclimatique**

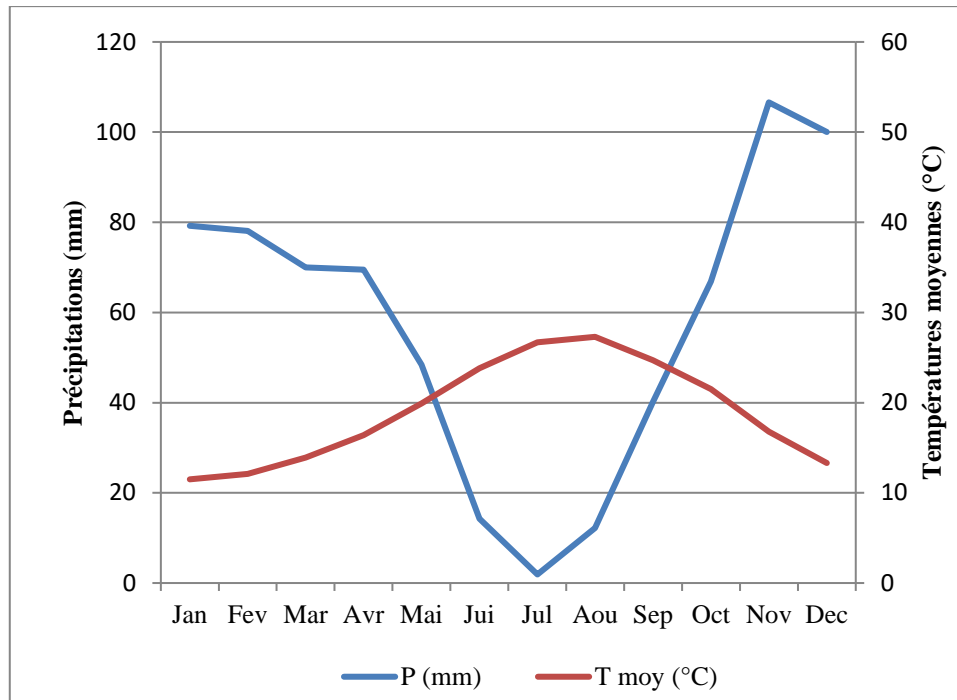
La synthèse climatique consiste, pour une station donnée, à déterminer les périodes sèches et humides par l'intermédiaire du diagramme ombrothermique de Gaussen ainsi que le positionnement de cette station dans le Climagramme d'Emberger pour repérer son étage bioclimatique.

##### **II-4-2-1-Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen**

Le diagramme permet de situer les périodes sèches et humides où un mois est considéré comme sec lorsque le total des précipitations  $P$ , exprimé en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne  $T$  du mois, exprimée en degré Celsius (Le Houerou, 1995).

La méthode de construction du diagramme consiste à porter les courbes représentant les précipitations mensuelles moyennes et les températures mensuelles moyennes  $(M+m)/2$ .

Pour un mois sec la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations. Pour un mois humide la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures.



**Figure 11** : Diagramme ombrothermique de la région d'étude.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen (Fig.11) pour la période (1988- 2018) montre que l'année est répartie en une saison sèche allant de mai à septembre et une saison humide le reste de l'année.

#### II-4-2-2-Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique d'Emberger ( $Q_2$ ), est un indice climatique qui traduit le du climat méditerranéen suivant un gradient du Nord au Sud (Emberger et Sauvage 1961, Djebaili, 1984). Il tient en compte des précipitations et des températures.

Il permet de délimiter les étages bioclimatiques et de situer une station dans l'un des étages d'Emberger et ce grâce au quotient pluviométrique, qui est une expression synthétique utilisable au climat méditerranéen et calculé par l'utilisation de la moyenne de la température minimale du mois le plus froid (m), la moyenne de la température maximale du mois le plus chaud (M) et de la pluviométrie annuelle (P).

Le quotient pluviométrique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante (Stewart, 1969).

$$Q_2 = 3,43 \left[ \frac{P}{(M-m)} \right]$$

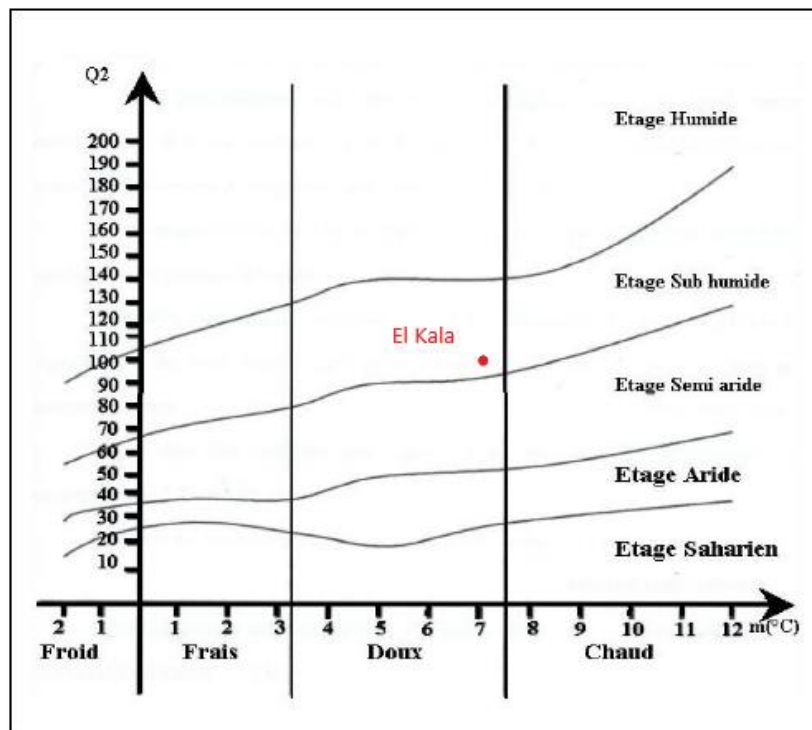
- $Q_2$  : quotient pluviométrique d'Emberger.
- P : exprime les précipitations moyennes annuelles (mm).
- M : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, exprimée en °C.
- m : la moyenne des températures minimales du mois le plus froid, exprimée en °C.

Les résultats de calcul de ce quotient en fonction des valeurs thermique et pluviométrique de la station sont indiqués dans le tableau 7.

**Tableau 07 :** Valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger de la région d'étude (période 1988-2018) (La station météorologique du Lac des Oiseaux).

Station	P (mm)	m (°C)	M (°C)	$Q_2$	Etage bioclimatique
Lac des Oiseaux	723,00	7,20	32,50	98,80	<b>Sub-humide à hiver doux</b>

D'après les données climatiques pour une période de 1988 à 2018 et après avoir porté « m » sur l'axe des abscisses et du quotient pluviométrique d'Emberger «  $Q_2$  » sur celui des ordonnées sur le climagramme d'Emberger (Fig.12), la station d'étude se situe dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver doux.



**Figure 12 :** Positionnement dans la région d'étude (période 1988-2018) dans le climagramme d'Emberger.

## II-5-La faune

### II-5-1-Les oiseaux d'eau

Le Lac Tonga est un site privilégié de nidification pour le Fuligule Milouin *Aythya ferrina*, la Poule sultane *Porphyrio*, Héron crabier *Ardea ralloides*, Héron bihoreau *Nycticorax*, Héron pourpré *Ardea purpurea*, Butor étoilé *Botaurus stellaris*, Le Fuligule nyroca *Aythya nyroca* et l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala* (Chalabi, 1990). Il est également le site de nidification pour le Busard harpaye *Circus aeruginosus*, la poule d'eau *Gallinula chloropus*, le râle d'eau *Rallus aquaticus*, les grèbes castagneux et huppé, le blongios nain *Ixobrychus minimus*, la guifette moustac *Chlidonias hybridus*, l'ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* et bien d'autres espèces. On y rencontre également la sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris* et la sarcelle d'été *Anas querquedula*. Le lac Tonga abrite habituellement plus de 20.000 oiseaux d'eau. Il abrite également 1% de la population mondiale pour plusieurs espèces comme l'Erismature à tête blanche *Oxuyura leucocephala* et le Fuligule nyroca *Aythya* (Boumezbeur, 1993 ; Lazli *et al.*, 2011).

### II-5-2-Amphibiens et herpétofaune

Plusieurs espèces de reptiles et d'amphibiens vivent dans le bassin versant du Tonga: *Emys orbicularis*, emyde lépreuse *Mauremys leprosa*, la grenouille verte *Rana saharica*, le discoglosse peint *Discoglossus pictus*, le crapaud de Mauritanie *Buto mauritanicus*, le triton de Poiret *Pleurodels poireti*, le psammodrome algiré *Psammodromus algeris*, le sep ocellé *Chalcides ocellatus*, le lézard ocellé *Lacerta pater* et la couleuvre vipérine *Natrix maura* *Testudo graeca* (Rouag, 1999).

### II-5-3-L'ichtyofaune

Les données dans ce domaine ne sont pas disponibles, car aucune étude n'a été entreprise dans ce sens, mais il reste que l'anguille *Anguilla Anguilla* est l'espèce migratrice par excellence qui peuple les eaux du lac Tonga et ses principaux cours d'eau (Rouag, 1999).

#### II-5-4-Les Mammifères

Les mammifères du bassin versant du Tonga, est représentée par 37 espèces. Certaines de ces espèces sont rares comme, la loutre *Lutra lutra* espèce rare et menacée d'extinction, confinée au lac Tonga reste tributaire de l'intégrité de son biotope (Ghalmi, 1997).

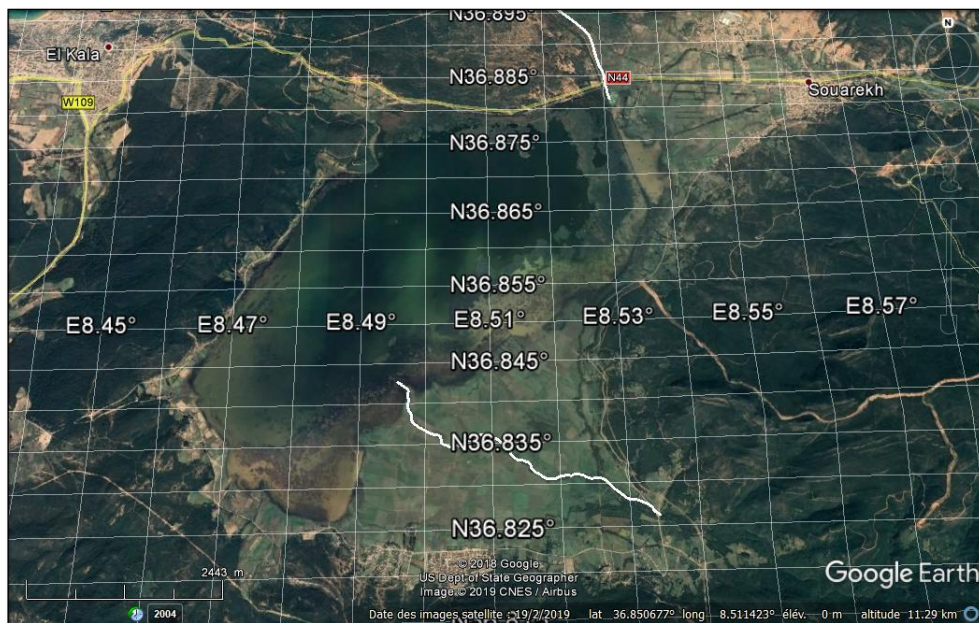
#### II-6- La flore et la végétation

Le plan d'eau est occupé par une végétation aquatique très diversifiée, et très variable selon les saisons et la situation géographique. La surface du lac est dominée par la présence de *Scirpus lacustris*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, *Nymphaea alba*, et *Iris pseudoacorus* (Kadid, 1989). Cette grande formation végétale subdivisée en 14 groupements dont dix associations. 82 espèces végétales ont été recensées et appartiennent à 31 familles botaniques, dont 32 d'entre elles (39% de l'ensemble) sont classées d'assez rares à rarissimes telles que *Marsilea diffusa*, *Nymphaea alba*, *Utricularia exoleta*, *Marsilea quadrifolia hydrocharis*, *Morsus ranae*, *Naja pectinata*, *Salvinia natans*, *Scirpus inclinatus*, *Scirpus supinus*, *Lemna trisulca*, *Ranunculus flammula*, *Utricularia exoleta* (Kadid, 1989).

## Chapitre III: Matériel et Méthode

### III-1-Présentation du site d'étude «Le Lac Tonga»

Le lac Tonga est un plan d'eau douce d'une superficie de 2 400 à 2600 ha selon les saisons des précipitations. Sa profondeur moyenne est de 1,80 m. Il fût inscrit sur la liste des sites Ramsar depuis 1982 (Draïdi, 2014), il est considéré comme l'une des plus importantes zones humides de l'Afrique du Nord où il est classé parmi les aires protégées de la région méditerranéenne ayant la nomenclature de réserve de la biosphère (Boumezbeur, 1993). C'est l'un des sites importants d'hivernage pour plus de 25000 anatidés et foulques et c'est également un site de nidification pour plusieurs espèces dont certaines sont très rares ou en recul dans leurs habitats comme l'Erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*), le Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*), la poule Sultane (*Porphyrio porphyrio*), la guifette moustac (*Chlidonia hybrida*) etc.



**Figure 13 :** Vue par satellite du Lac Tonga(Google Earth., 2019).

#### III-1-1-Situation géographique du Lac Tonga

Lac Tonga est localisé dans le parc national d'El-Kala (PNEK) à l'extrême Nord-est de l'Algérie à 3km à vol d'oiseau de la mer. Ses coordonnées géographiques sont comprises

entre 36°53' de latitude N et 08°31' de longitude E, à environ 3km de la frontière Algéro-Tunisienne à l'Est. Il se vidange dans la mer par l'intermédiaire d'un canal artificiel, le canal de Messida.

### **III-1-2-Délimitation**

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. Au Nord-Ouest par des collines sableuses qui le séparent au lac Oubeira, du côté Nord, il est séparé de la mer par les dunes maritimes formées essentiellement par un maquis dense de Chêne Kermès (Chalabi, 1990).

### **III-1-3-Situation administrative**

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

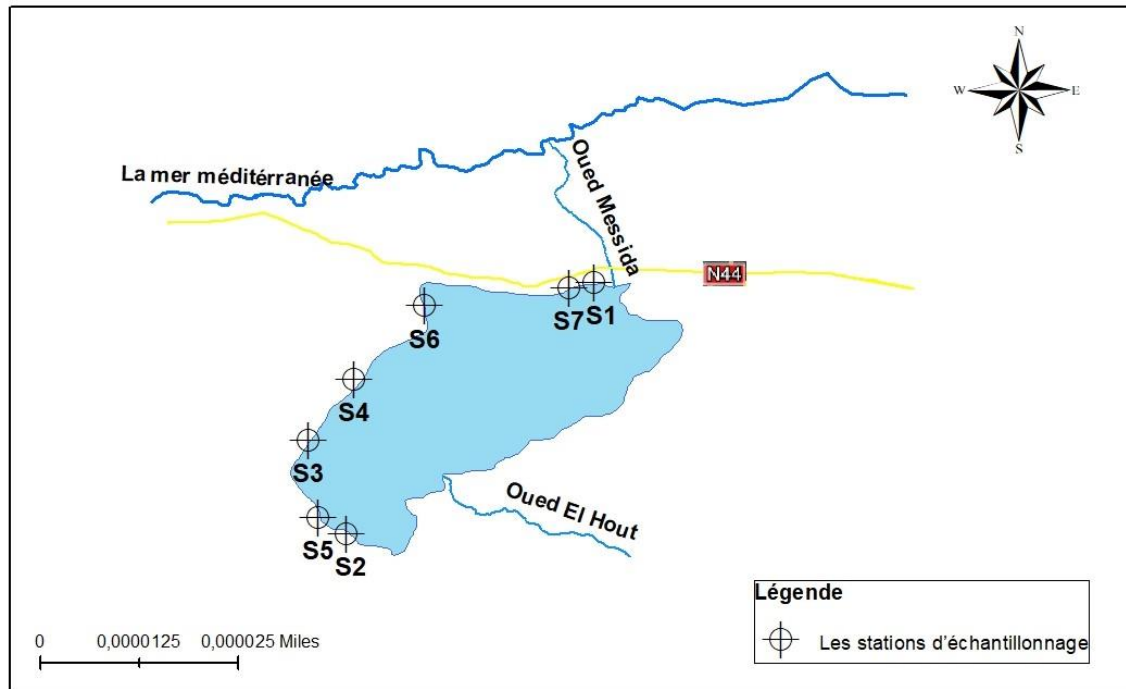
- Décret n° 82-440 du 11/12/1982, portant ratification de la convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles, signée à Alger le 15/09/1968.
- Décret n° 82-498 du 25/12/1982 portant adhésion à la convention internationale des espèces de la faune et de la flore sauvage 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.

### **III-2-Prospection et choix des stations de prélèvement**

Une observation de l'ensemble du site est réalisée pour définir le plan d'échantillonnage, cette opération permet de caractériser le site et les différents supports qui le composent.

Il faut choisir les sites d'échantillonnages puisque la faune varie en fonction de l'habitat dans lequel on la retrouve. À chaque site, il faut échantillonner plusieurs types d'habitats, puisque les perturbations ne se font pas sentir partout de la même façon. Par exemple, une pollution organique qui s'accompagne d'une accumulation de sédiments

affectera d'une façon plus importante la faune qui se trouve dans une zone à débit lent où les sédiments auront tendance à se déposer. Il faut donc pour chaque site, échantillonner tous les types d'habitats majeurs qu'on y retrouve et être constant pour toutes les stations (Touzin, 2008).



**Figure 14 :** Situation des stations d'échantillonnage.

### III-3-Caractérisation des sites d'études

#### III-3-1-Analyse physico-chimique de l'eau

Pour chaque station, la température de l'air et de l'eau de surface, le pH, la conductivité, la salinité et l'oxygène dissous dans l'eau ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un appareil multi-paramètres (CONSORT C535).

L'utilisation de cet appareil consiste à faire plonger la sonde appropriée dans l'eau après étalonnage, puis à attendre quelques secondes avant de lire le résultat de la mesure, après bien sûr la stabilisation de l'affichage de ce dernier sur l'écran.

Des prélèvements d'eau ont aussi été réalisés pour être analysés en laboratoire (06 paramètres ont été mesurés).

**III-3-1-1-Mesure *in situ***

- **La température:** La température de l'air et de l'eau de surface (1 mètre de profondeur) a été relevée à l'aide d'un thermomètre muni d'une sonde de CONSTORT C535 aux heures de plein éclairage.
- **Le potentiel hydrogène de l'eau (pH):** Mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre (CONSTORT C535)
- **La conductivité électrique:** Mesurée directement à l'aide d'un conductimètre (CONSTORT C535)
- **La salinité:** Mesurée directement par l'appareil CONSTORT C535.
- **L'oxygène dissous:** Mesurée directement par l'appareil CONSTORT C535 (exprimé en mg/l d'O<sub>2</sub>)

**II-1-1-2-Mesure *ex situ***

- **La DBO<sub>5</sub>:** La DBO est mesurée au bout de 5 jours (=DBO<sub>5</sub>), à 20°C (température favorable à l'activité des microorganismes consommateurs d'O<sub>2</sub>) et à l'obscurité (afin d'éviter toute influence de la photosynthèse). Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en O<sub>2</sub>, le second à la mesure de la concentration résiduaire. Le matériel utilisé se compose d'un oxymètre, d'un agitateur magnétique, d'un aérateur et de flacons. Les résultats sont calculés avec la formule suivante :  $DBO = F (T_0 - T_5)$  (exprimée en mg d'O<sub>2</sub>/l) (Rodier, 1996).
- **DCO:** La Demande Chimique en Oxygène correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader par voie chimique les composés organiques ou minéraux présents dans l'eau. Le dosage est effectué par une oxydation à l'aide du bichromate sulfurique. Méthode normalisée par AFNOR 1969 (exprimée en mg d'O<sub>2</sub>/l) (Michel, 1972).
- **Les formes azotées : Ammonium total (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>):** Tous sont mesurés à l'aide d'un Ionmètre (exprimé en mg/l).
- **Les orthophosphates PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>:** Ce sont les phosphates qui sont dosés par la méthode colorimétrique en présence de molybdate d'ammonium en milieu acide (exprimés en mg/l) (Rodier, 1996).

### III-4-Technique d'échantillonnage

Le prélèvement est une étape très importante, puisque toutes les étapes qui suivent reposent sur la fiabilité et la représentativité des échantillons recueillis. « Le but de l'échantillonnage est donc de rassembler la diversité la plus représentative de macroinvertébrés, et ce pour chaque station examinée » (De Pauw et Vanhooren, 1983).

Pour obtenir un bilan plus complet possible des taxons présents dans le lac nous avons choisi sept stations de façons à répondre aux exigences (l'accessibilité de site, présence ou absence d'agglomérations urbaines, zones incendiées, absence complète d'eau et existence d'activités agricoles (Fig.14). Le choix de l'emplacement des points de prélèvement est fait en fonction de l'objectif de l'étude. Pour cela, à chaque mois trois prélèvements sont réalisés pour chaque station de Mars 2017 à Février 2018 au niveau du littoral, le prélèvement se fait avec un nombre de coups de filet réguliers et avec une façon uniforme pour toutes les stations. On effectue les prélèvements à l'aide d'un filet Haveneau à vide de maille de 0,3 mm, utilisable généralement dans les milieux lenticules, en tenant compte des potentiels habitats, où ils ont été répartis équitablement entre la vase et la végétation. Le contenu du filet composé de parties de plantes, de macroinvertébrés et de boue est vidé dans un récipient, ensuite il est rincé à l'eau et filtré sur un tamis.

Les spécimens récoltés sont récupérés à l'aide d'une pince entomologique souple, puis recueillis dans des piluliers remplis d'éthanol à 90 %. Sur le lieu même du prélèvement l'étiquetage est indispensable où on mentionne la date de capture et la station de récolte. Les échantillons sont ramenés au laboratoire pour tri, détermination et analyse.

### III-5-Technique de tri et de détermination

L'identification se fait sous une loupe binoculaire pour les individus de grande taille et sous le microscope pour les parties d'organisme de petite taille. Le but de l'identification est de déterminer les taxons présents dans l'échantillon (diversité) et la présence des groupes taxonomique les plus sensibles à la pollution (De Pauw et Vanhooren, 1983). Les macroinvertébrés ont été déterminés au plus bas niveau taxonomique possible c'est-à-dire au genre ou à l'espèce en faisant appel à des ouvrages, collections et clés de détermination des macroinvertébrés suivants :

- Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie (Tachet *et al.*, 2010).

- Identification Guide of Freshwater Macro-invertebrates of Spain (Oscoz *et al.*, 2011).
- Freshwater Invertebrates in Central Europe (György, 2014).

### III-6-Méthodes d'analyse des peuplements benthiques

De façon à synthétiser les données sur l'état des écosystèmes aquatiques, de nombreux indices sont couramment utilisés pour les invertébrés benthiques. Ils permettent d'évaluer la qualité biologique des milieux aquatiques par l'expression d'une valeur simple et unique. (Boissonneault, 2006).

#### III-6-1-Les indices de diversité

Qu'est-ce que la diversité ? La meilleure définition de la diversité est donnée par Margalef (1958) : « la diversité spécifique est en fonction du nombre d'espèces présentes et de la régularité avec laquelle les individus sont distribués parmi ces espèces ». En d'autres termes, elle dépend du nombre d'espèce (S) et de l'abondance relative de chaque espèce (N). Cette diversité peut être appelée «Diversité écologique» ou «Diversité spécifique» (Washington, 1984). Pour la plupart des indices de diversité, la diversité maximale se rencontre lorsque chaque individu appartient à une espèce différente (Charvet, 1995), tandis que la diversité minimale est obtenue lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce (Charvet, 1995).

##### III-6-1-1-Indices écologiques de composition

Les indices écologiques de composition employés sont la richesse spécifique(S), Fréquence relative (F%) ou abondance relative (AR) et Fréquence d'occurrence (F<sub>i</sub>%).

- **Richesse spécifique (total)**

Selon Blondel (1979), la richesse est le nombre total d'espèces de peuplement considéré dans un écosystème donné. Elle représente un des paramètres fondamentaux caractéristiques d'un peuplement (Muller, 1985). Il s'agit de la mesure la plus fréquente dans la biodiversité (Ramade, 2003).

- **L'abondance des espèces**

L'abondance d'un organisme est le nombre total de cet organisme ou le nombre d'organismes par unité de surface ou de volume.

Face à une pollution, les espèces vont suivre trois types de réactions selon leur sensibilité :

- disparaître, pour les plus sensibles ;
- se maintenir, pour les indifférentes ;
- profiter des nouvelles conditions mises en place et se développer, pour les tolérantes et les opportunistes.

Ces différentes réponses vont se traduire au niveau de l'abondance des espèces. Les profils d'abondance dans le temps sont donc largement utilisés comme indicateurs des effets des polluants.

- **Abondance relative ou Fréquence relative**

L'abondance relative (AR) est une notion qui permet d'évaluer une espèce, une catégorie, une classe ou un ordre ( $n_i$ ) par rapport à l'ensemble des peuplements animaux présents confondus (N) dans un inventaire (Faurie *et al.*, 2003).

Elle se calcule comme suit :

$$F (\%) = (n_i / N) * 100$$

$n_i$  = nombre d'individus de l'espèce  $i$ .

N = nombre total d'individus.

- **Fréquence d'occurrence ou constance**

La constance est exprimée par le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée par rapport au nombre total des relevés (Dajoz, 1982). La constance est calculée par la formule suivante :

$$F_i (\%) = (P_i / P) * 100$$

$P_i$  = nombre de relevés contenant l'espèce étudiée.

$P$  = nombre total des relevés effectués.

Selon la valeur de  $F_i$ , on distingue les catégories suivantes :

- Si  $F_i = 100\%$  → l'espèce est omniprésente;
- Si  $75\% \leq F_i < 100\%$  → l'espèce est constante;
- Si  $50\% \leq F_i < 75\%$  → l'espèce est régulière;
- Si  $25\% \leq F_i < 50\%$  → l'espèce est accessoire;
- Si  $5\% \leq F_i < 25\%$  → l'espèce est accidentelle;
- Si  $F_i < 5\%$  → l'espèce est rare.

### III-6-1-2-Les indices écologiques de structure

- **Indice de diversité de Schannon  $H'$**

La diversité d'un peuplement exprime le degré de complexité de ce peuplement. Elle s'exprime par un indice qui intègre à la fois, la richesse du peuplement et les abondances spécifiques. Parmi les indices disponibles permettant d'exprimer la structure du peuplement et de caractériser l'équilibre du peuplement d'un écosystème, il y a celui de Shannon:

$$H' = - \sum P_i \text{Log}_2 P_i \quad \text{où} \quad P_i = n_i / N$$

$N_i$  = Effectif de l'espèce  $i$ .

$N$  = Effectif total du peuplement.

$\text{Log}_2$  = logarithme à base de 2

Cet indice, exprimé en Bit, mesure le degré de complexité d'un peuplement. Une valeur élevée de cet indice correspond à un peuplement riche en espèces dont la distribution d'abondance est équilibrée. A l'inverse, une valeur faible de cet indice correspond soit à un peuplement caractérisé par un petit nombre d'espèces pour un grand nombre d'individus, soit à un peuplement dans lequel il y a une espèce dominante. Sa valeur varie de 0 (une seule espèce) à  $\log S$  (lorsque toutes les espèces ont la même abondance).

- **Indice d'équitabilité (E)**

Des peuplements à physionomies très différentes peuvent ainsi avoir la même diversité. Il est donc nécessaire de calculer parallèlement à l'indice de diversité, l'équitabilité. Cet indice exprime la répartition des individus entre espèces d'un même milieu. L'indice de régularité fluctue entre 0 et 1. Si E tend vers 1, le peuplement est en équilibre, la distribution des individus entre les espèces est équitable. A l'inverse une équitabilité qui tend vers zéro caractérise un peuplement déséquilibré (Barbault, 1981).

$$E = H' / H' \text{ max} \quad \text{ou} \quad H' \text{ max} = \text{Log}_2 S$$

$H'$  = indice de Schannon-Weaver.

S = Richesse spécifique

- **Indice de Margalef (Margalef, 1951)**

Cet indice ne tient pas compte de l'abondance relative des taxons. Il est défini par la relation suivante :

$$\alpha = (n_i - 1) / \log N$$

$n_i$  = nombre d'individus de l'espèce de rang i

N = nombre total d'individus

La diversité est minimale quand  $\alpha$  tend vers zéro (0) et est maximale quand  $\alpha$  tend vers  $\infty$ .

- **Indice de Simpson**

Cet indice a été proposé par Simpson en 1965. Il mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce.

La diversité au sein de la communauté de macro-invertébrés benthique a été décrite en utilisant l'indice de Simpson, qui a été calculée comme suit:

$$D^{-1} = 1 - \sum_{i=1}^S (n_i)^2$$

$n_i$  = la proportion d'individus dans le taxon "i" de la communauté

S = le nombre total de taxons dans la communauté.

### III-6-2-Evaluation de la qualité hydrobiologique du lac Tonga

#### III-6-2-1-L'indice de qualité de l'eau (IQE)

Il exprime la qualité globale de l'eau d'une source particulière à un moment donné en utilisant une «valeur unique» basée sur des variables sélectionnées de la qualité de l'eau (Jahan et Strezov, 2017). L'IQE comprend neuf paramètres, y compris la température, oxygène dissous, pH, phosphate, nitrate, total des solides dissous, la turbidité demande biologique en oxygène (DBO) et coliformes fécaux (Al Mutairi *et al.*, 2014). Une fois les neuf tests terminés, les résultats sont enregistrés et transférés sur un graphique à courbes de pondération dans lequel une valeur numérique est obtenue pour chaque test, la valeur numérique ou la valeur Q est multipliée par un «facteur de pondération». Par exemple, l'oxygène dissous a un facteur de pondération relativement élevé (0,17); car il est plus important pour déterminer la qualité de l'eau que les autres tests. Les neuf valeurs résultantes sont ensuite ajoutées pour obtenir un indice de qualité de l'eau global (IQE). Le score le plus élevé qu'une eau puisse recevoir est de 100.

Le critère général de classement de la qualité de l'eau se répartit en cinq catégories (Wu *et al.*, 2018):

- très mauvais quand l'IQE est <25,
- mauvais quand l'IQE est égal à 25 - 50,
- moyen quand l'IQE est égal à 50 - 70,
- bon quand l'IQE est égal à 70– 90,
- très bon quand l'intervalle de 90 – 100.

Le résultat de l'indice représente le niveau de qualité de l'eau dans un bassin donné, tel qu'un lac, une rivière ou un cours d'eau. Il existe deux parties de l'indice de la qualité de l'eau :

- Valeur Q: indique le niveau de qualité de l'eau par rapport à un paramètre unique. Il est un moyen de normaliser tous les résultats des tests de qualité de l'eau afin qu'ils puissent être combinés et utilisés pour trouver une valeur de qualité globale de l'eau.
- Facteur de pondération (Wi): Il définit l'importance relative du paramètre pour la qualité globale de l'eau (Tab.08).

**Tableau 8 :** facteurs de pondération des paramètres de qualité de l'eau.

Paramètres	Facteur de pondération (Wi)
O <sub>2</sub>	0,17
Coliforme Fécal	0,16
DBO	0,11
pH	0,11
Nitrate	0,10
Phosphate	0,10
Température	0,10
Turbidité	0,08
Totale des solides dissous	0,07

La formule standard pour calculer l'indice de qualité de l'eau est la suivante:

$$WQI = \sum WiQi$$

$$WQI = W_{DBO}Q_{DBO} + W_{O_2}Q_{O_2} + W_{pH}Q_{pH} + W_{phosphate}Q_{phosphate} + W_{nitrate}Q_{nitrate} + W_{CF}Q_{CF} + W_{TSD}Q_{TSD} + W_{Temp.}Q_{Temp.} + W_{turbidité}Q_{turbidité}.$$

Wi = facteurs de pondération des paramètres de qualité de l'eau

Qi = q- valeur des paramètres de qualité de l'eau

i = paramètres de qualité de l'eau.

C'est la formule standard permettant de calculer l'indice de qualité de l'eau et qui donne les meilleurs résultats. Mais pour calculer l'indice de qualité de l'eau à l'aide de cette équation, nous devons connaître la concentration des neuf paramètres.

- **Calcul de WQI avec des paramètres manquants**

Bien que la formule standard pour calculer l'indice de qualité de l'eau donne le meilleur résultat, il est parfois difficile d'obtenir la concentration des neuf paramètres de qualité en raison du manque de temps ou d'échec des tests. Pour résoudre ce problème, nous pouvons calculer l'indice de qualité de l'eau sans avoir la concentration de tous les paramètres (Srivastava et Kumar, 2019).

Dans ce cas, lorsque les concentrations de certains paramètres ne sont pas disponibles, nous pouvons d'abord calculer les valeurs  $q$  de ces paramètres dont la concentration est disponible, puis ces valeurs  $q$  sont multipliées par leurs facteurs de pondération respectifs. Maintenant, la somme de ces valeurs est prise puis divisée par la somme des facteurs de pondération des paramètres disponibles. L'équation peut être donnée comme :

$$WQI = \frac{\sum WQy}{\sum Wy}$$

$Y$  = paramètres disponibles

$QY$  =  $q$ - valeurs des paramètres disponibles

$WY$  = facteurs de pondération des paramètres disponibles

Cette équation donnerait un résultat presque proche du résultat obtenu par l'équation standard. Cela signifie que si les neuf paramètres sont disponibles et que nous calculons l'indice de qualité de l'eau en utilisant une équation standard, le résultat sera presque identique à celui obtenu si nous calculons l'indice de qualité de l'eau en l'absence de certains paramètres en utilisant cette équation.

### III-6-2-2-Les indices de tolérance à la pollution

Les indices de tolérance à la pollution sont généralement calculés en tenant compte des valeurs de tolérance des taxons des invertébrés benthiques et leur abondance au sein de l'échantillon.

**III-6-2-2-1-L'indice d'Hilsenhoff ou Indice biotique des Familles (FBI)**

L'indice d'Hilsenhoff est largement utilisé pour évaluer l'intégrité biotique des communautés d'invertébrés benthiques (Hilsenhoff, 1982). La variante utilisée se base sur l'identification à la famille (FBI). Chaque famille est associée à un indice de tolérance à la pollution. Pour chacune des familles, le nombre d'individus échantillonnés est multiplié par son indice de tolérance. Les résultats par famille sont additionnés. Ce nombre est ensuite divisé par le nombre total d'organismes dans l'échantillon. La cote finale de l'indice (une par station) est alors rapportée à l'échelle d'Hilsenhoff (Tab.09) pour l'associer à une qualité d'eau.

$$\text{FBI} = \frac{\sum x_i * t_i}{n}$$

$x_i$  = Nombre d'individus d'un taxon identifié.

$t_i$  = tolérance de ce même taxon.

$n$  = nombre total d'individus dans l'échantillon.

**Tableau 9 :** Qualité de l'eau associée à l'indice d'Hilsenhoff : FBI (Hilsenhoff, 1988).

<b>FBI</b>	<b>Qualité de l'eau</b>	<b>Interprétation</b>
0 – 3,75	Excellente	sans pollution organique
3,76 – 4,25	Très bonne	légère pollution organique possible
4,26 – 5,00	Bonne	pollution organique probable
5,01 – 5,75	Moyenne	pollution organique assez substantielle
5,76 – 6,50	Plutôt mauvaise	pollution organique substantielle
6,51 – 7,25	Mauvaise	pollution organique très substantielle
7,26 – 10,00	Très mauvaise	pollution organique grave

**III-6-2-2-2- L'indice anglais BMWP ( Biological Monitoring Working Party )**

Il a été développé en Angleterre dans les années 1970 (Gonçalves, 2011). Il fournit des valeurs uniques, au niveau de la famille, représentatives de la tolérance de l'organisme à la pollution. Plus leur tolérance à la pollution est grande, plus le score BMWP est bas. Mackie en 2001 a modifié cet indice pour refléter les conditions en Amérique du Nord. Le BMWP

a été calculé en additionnant les scores individuels de toutes les familles et de l'ordre Oligochaeta (Friedrich *et al.*, 1996), représentés au sein de la communauté.

**III-6-2-2-3- L'indice multimétrique ASPT( Average score per taxon).**

Le score moyen par taxon (ASPT) représente le score de tolérance moyen de tous les taxons de la communauté. Il est calculé en divisant le BMWP par le nombre de familles représentées dans l'échantillon, à partir de cette valeur, la qualité de l'eau de chaque lac a été évaluée (Tab.10) (Mandaville, 2002).

**Tableau 10 :** Qualité de l'eau associée à l'indice ASPT.

Les valeurs d'ASPT	Évaluation de la qualité de l'eau
>6	Eau propre
5-6	Qualité douteuse
4-5	Probable pollution modérée
<4	Probable pollution grave

**III-6-2-2-4-L'indice biologique globale normalisé (IBGN)**

L'IBGN est un indice biologique du compartiment des invertébrés benthiques. Il évalue l'aptitude d'un milieu à héberger des êtres vivants en prenant en compte à la fois la richesse et la diversité des macroinvertébrés benthiques mais également la représentativité des habitats présents sur la station (Grandjean, 2003). Il permet d'attribuer une note de qualité biologique du milieu qui intègre l'influence de la qualité physico-chimique de l'eau et l'influence des caractéristiques morphologiques et hydrauliques du cours d'eau. Cette note varie de 0 (très mauvaise qualité) à 20 (excellente qualité) (Tab.11).

**Tableau 11:** Grille d'appréciation de la qualité de l'eau.

IBGN	>= 17	16 – 13	12 – 9	8 – 5	<= 4
Qualité	Très Bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très Mauvaise
Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge

Le calcul de l'indice se fait en 3 étapes :

- La détermination de la « classe de variété taxonomique » ( $\Sigma t$ ): qui est égale au nombre total de taxons récoltés même s'ils ne sont représentés que par 1 seul individu. Elle donne essentiellement des renseignements sur la variété des habitats présents dans les cours d'eau étudiés où 14 classes de variétés sont définies.
- Le groupe faunistique indicateur (GI) en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans l'échantillon par 3 individus ou 10 individus selon les taxons. La détermination du GI s'effectue en prospectant les colonnes du tableau de haut en bas et en sélectionnant le taxon qui représente le degré de polluo-sensibilité le plus élevé de l'échantillon intégral de la station étudiée.
- Le calcul de l'indice en lui-même :

$$\text{IBGN} = \text{Groupe faunistique indicateur} + (\text{classe de variété} - 1)$$

### III-6-3-Traitement statistique des données

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse multivariée de type Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), afin d'obtenir une ségrégation des principales familles observés au niveau des sept stations. La recherche de noyaux d'affinité est rendue possible grâce à la classification ascendante hiérarchique (CAH). L'analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour interpréter les données physico-chimiques des milieux d'investigations. Les interactions entre les familles avec les variables environnementales sont obtenues par analyse des corrélations canoniques (ACC). Les programmes XLSTAT 2014 et Past ont permis de réaliser et de dresser les représentations graphiques de ces analyses multivariées.

La présentation graphique des données s'est appuyée sur l'élaboration d'histogrammes et de courbes par Excel.

#### III-6-3-1-Analyse en Composantes Principales (ACP)

C'est une méthode d'analyse multivariée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions (Mouissi et Alayat, 2016). L'ACP traite les données numériques

contrairement à L'AFC qui peut traiter les données qualitatives (Bouroche et Saporta, 1980). C'est une méthode descriptive dont le but est de présenter un tableau de données quantitatives. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques (Abrid, 2015).

### III-6-3-2-Corrélation de Pearson

La corrélation de Pearson évalue la relation linéaire entre deux variables continues.

Une relation est dite linéaire lorsqu'une modification de l'une des variables est associée à une modification proportionnelle de l'autre variable.

Le coefficient de corrélation de Pearson indique le degré de relation linéaire entre deux séries de données, il peut prendre les valeurs ' - 1 ' à ' + 1 '(Chok, 2008) :

- une valeur de + 1 montre que les variables sont parfaitement linéaires liés par une relation de plus en plus croissante.
- une valeur de - 1 montre que les variables sont parfaitement linéaires liés par une relation décroissante.
- une valeur de 0 montre que les variables ne sont pas linéaires entre elles.

Il est considéré comme forte corrélation si le coefficient de corrélation est supérieur à 0,8 et une faible corrélation si le coefficient de corrélation est inférieur à 0,5 (Bolboaca et Jäntschi, 2006).

### III-6-3-3-Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Consiste à agréger progressivement les individus selon leur ressemblance, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilitude (Duchez et Loy, 2005). La CAH est destinée à reproduire des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères. L'algorithme commence par rassembler les couples d'individus les plus ressemblants, puis à agréger progressivement les autres individus ou groupes d'individus en fonction de leur ressemblance, jusqu'à ce que la totalité des individus ne forme plus qu'un seul groupe. La CAH produit un arbre binaire de classification (dendrogramme), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. L'ensemble des nœuds définit une «hiérarchie» sur l'ensemble d'objets.

#### III-6-3-4-Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'Analyse Factorielle des Correspondances (notée AFC) encore appelée Analyse des Correspondances Binaires, est un outil statistique dont l'objectif est de permettre de décrire la dépendance (ou la correspondance) pouvant exister entre deux ensembles.

L'AFC est une analyse destinée au traitement des tableaux de données où les valeurs sont positives et homogènes. Le tableau sur lequel s'applique l'AFC est un tableau de contingence, c'est-à-dire un tableau à double entrée avec des valeurs de comptage ou fréquence absolues dans les cellules (GlèlèKakaï *et al.*, 2016).

Elle a été utilisée pour évaluer les dissemblances ou les ressemblances entre les communautés biologiques des différentes stations (Legendre et Legendre, 1998 et 2012).

Son but est de donner la meilleure représentation simultanée des groupements de variables, et permet l'obtention d'une correspondance entre groupes d'espèces et groupes de stations par réduction de la dimension en effectuant la décomposition factorielle des nuages de points associés aux profils lignes et aux profils colonnes du tableau de contingence croisant les modalités des deux variables.

#### III-6-3-5-L'analyse des corrélations canoniques (ACC)

L'analyse canonique examine les relations entre les variables de deux ensembles distincts mais associés. Il recherche des combinaisons linéaires pour un ensemble (taxon) de variables dépendantes qui ont la corrélation maximale avec une combinaison linéaire d'un ensemble de variables indépendantes (variables environnementales) (Rossaro *et al.*, 2006). L'ACC est utilisée pour résumer les variations dans les communautés et pour relier ces variations à un gradient environnemental (Boissonneault, 2006). Elle a été développée dans le but de permettre aux écologues de relier les abondances d'espèces à des variables environnementales.

#### III-6-4-Spatialisation hydrogéochimique

Dans notre présente étude, nous avons utilisé une plateforme du SIG appelée ArcGIS®, un logiciel qui nous a permis à cartographier, collecter, analyser et traiter toutes les données sur la qualité des eaux que nous disposons. Les modules inclus dans l'Arc GIS®, tel que Spatial Analyst nous a permis de faire les interpolations spatiales de plusieurs

paramètres, une base de données a été créé sous l'Arc catalog. Les Cartes ont été générées par interpolation IDW- Pondération par l'inverse de distance.

## Chapitre IV: Résultats et Discussion

### IV- Synthèse des résultats et interprétations

#### IV-1-Variation spatiale des éléments physico-chimiques de l'eau

Dans le but de réaliser une étude des peuplements benthiques en relation avec leur habitat, il convient de décrire les conditions physico-chimiques du milieu d'étude. Les paramètres physico-chimiques fournissent des indications sur la qualité de l'eau et les conditions écologiques où vivent les communautés benthiques, mais elles sont sujettes à des variations souvent liées à des activités anthropiques qui modifient les caractéristiques d'une eau.

Les analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau ont été effectuées parallèlement avec les prélèvements de la faune benthique. 12 paramètres ont fait l'objet de notre étude ; les résultats des analyses obtenus durant la période d'étude sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 12 :** Qualité physico-chimiques de l'eau des sept stations dans le lac Tonga.

Variables	S1 Moy ± E.type (Min -Max)	S2 Moy±E.type (Min -Max)	S3 Moy ± E.type (Min -Max)	S4 Moy ± E.type (Min -Max)	S5 Moy ± E.type (Min -Max)	S6 Moy ± E.type (Min -Max)	S7 Moy ± E.type (Min -Max)
T°eau	24,5 ± 2,07 (21,9 ; 26,6)	29,72±6,51 (22,7;37,4)	26,2±3,38 (22,4;28,9)	23,77±1,53 (22,5;25,9)	23,18±1,92 (21,2;26)	28,25±0,35 (28;28,5)	25,84±5,60 (19,2;31)
T°air	20,3±7,18 (12,4 ; 28,7)	33,276±2,25 (30,9;35,88)	24,1±0,95 (23,5;25,2)	26,65±3,53 (23,6;30)	23,14±4,80 (17,8;32)	22,25±0,49 (21,9;22,6)	24,4±2,08 (21,4;26,9)
pH	8,26±0,65 (7,23; 8,8)	8,22±0,77 (7,2 ; 9,49)	7,6±0,71 (6,83 ; 8,39)	7,5±0,46 (7 ; 8,1)	8,14±1,02 (6,68 ; 9,19)	8,25±0,33 (7,87 ; 8,5)	7,44±0,74 (6,8 ; 8,88)
CE	509,2±245,06 (113;754)	690±346 (124; 974)	431±178 (225;535)	480± 333,43 (208;920)	410± 143 (231;590)	410± 427 (108;713)	514±219 (311;731)
S(mg/l)	3,15± 0,54 (0,6 ; 4,41)	3,47± 0,70 (0,66;5,19)	2,46± 0,42 (1,2;2,97)	1,74± 0,49 (0,49;2,96)	2,14±0,49 (1,25;3,01)	2,81± 1,12 (0,58;4,08)	2,79± 0,47 (1,67;4,08)
O <sub>2</sub>	8,50±0,61 (6,76; 13,02)	7,32±0,59 (5,43; 10,42)	8,71±0,69 (6,73; 13,22)	9,32±0,66 (7,40; 13,32)	6,89±0,21 (5,64; 7,70)	8,17±0,57 (6,37; 12,17)	7,74±0,46 (6,02; 10,36)
NO <sub>3</sub> (mg/l)	4±1,63 (0; 16)	1,25±0,4 (0; 4)	4,30±2,67 (0; 26)	4,73±2,09 (0; 18)	6,10±2,22 (0; 25)	6,55± 1,92 (2; 25)	5,60±0,58 (3; 8)
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,08±0,03 (0; 24)	0,05±0,02 (0; 20)	0,14±0,07 (0,01; 0,61)	0,06± 0,02 (0; 22)	0,08±0,02 (0,01; 0,23)	0,11±0,02 (0,01; 0,23)	0,03±0,01 (0 ; 0,09)
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,13±0,09 (0; 0,86)	0,12±0,04 (0; 0,36)	0,28±0,20 (0; 2,05)	0,30±0,20 (0; 1,94)	0,39±0,29 (0; 2,25)	0,40±0,25 (0; 2,25)	0,03±0 (0,02; 0,04)
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,01±0 (0; 0,03)	0,01±0,1 (0; 0,04)	0,06±0,05 (0; 0,46)	0,03±0,01 (0; 0,17)	0,05±0,05 (0; 0,53)	0,05±0,06 (0; 0,53)	0,01±0 (0; 0,02)
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	2,11±,054 (1; 6)	2,30±0,42 (1; 5)	2,90± 0,80 (1; 8)	2,27±0,59 (1; 7)	2,55±0,93 (1; 10)	3±0,90 (1; 10)	2,20±0,25 (1; 3)
DCO (mg/l)	25,44±2,63 (18; 35)	29,90±3,48 (18; 44)	28,10±3,40 (18; 53)	22,27±3,05 (10;44)	25,27±4,33 (10; 53)	31,18±3,81 (18; 53)	26,20± 1,79 (18; 35)

**Moy:** moyenne; **E.Type:** Ecart Type; **Max:** valeur Maximale; **Min:** valeur minimale; **T:** température; **CE:** conductivité électrique; **pH:** potentiel d'Hydrogène; **OD:** oxygène dissous; **NO<sub>3</sub>:** les nitrates; **NO<sub>2</sub>:** les nitrites; **NH<sub>4</sub>:** L'ammonium; **PO<sub>4</sub>:** les orthophosphates; **DBO<sub>5</sub>:** demande biochimique en oxygène, **DCO:** demande chimique en oxygène .

**IV-1-1-Température**

La température est un élément fondamental du climat, elle est liée à la radiation solaire. D'après Allan, (1995) la température des plans d'eau naturels subit des variations saisonnières et diurnes, de même qu'une stratification thermique verticale. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur. De ce fait, elle influe sur le degré d'évaporation et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux (Benchaaban, 2012). De plus, la Variation de la température a des effets sur tous les autres paramètres mesurés comme le pH, la conductivité électrique, le taux des sels dissous, comme elle a un effet sur toutes les réactions de dégradation, de minéralisation des matières organiques et le développement des micro-organismes responsables ou non de ces transformations. L'accroissement de la température favorise avec d'autres facteurs la productivité primaire et donc une augmentation de nourriture pour la faune aquatique (Bremond et Vuichard, 1973).

D'après les résultats obtenus nous constatons que la température de l'eau présente une Variation entre les stations d'étude, la température mensuelle d'eau varie entre 23°C dans la station 4 et 29°C dans la station 2, la température mensuelle de l'air varie entre 20°C dans la station 1 et 33,27°C dans la station 2 (Fig.15). D'une façon générale la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air (Bensaci, 2007). Cette hétérogénéité dans les températures est à mettre en relation avec l'heure des mesures, les caractéristiques des stations de prélèvement et ceci reflète aussi bien l'influence du climat de la région d'El Kala où les valeurs de la température des eaux sont maximales en été et minimales en hiver.

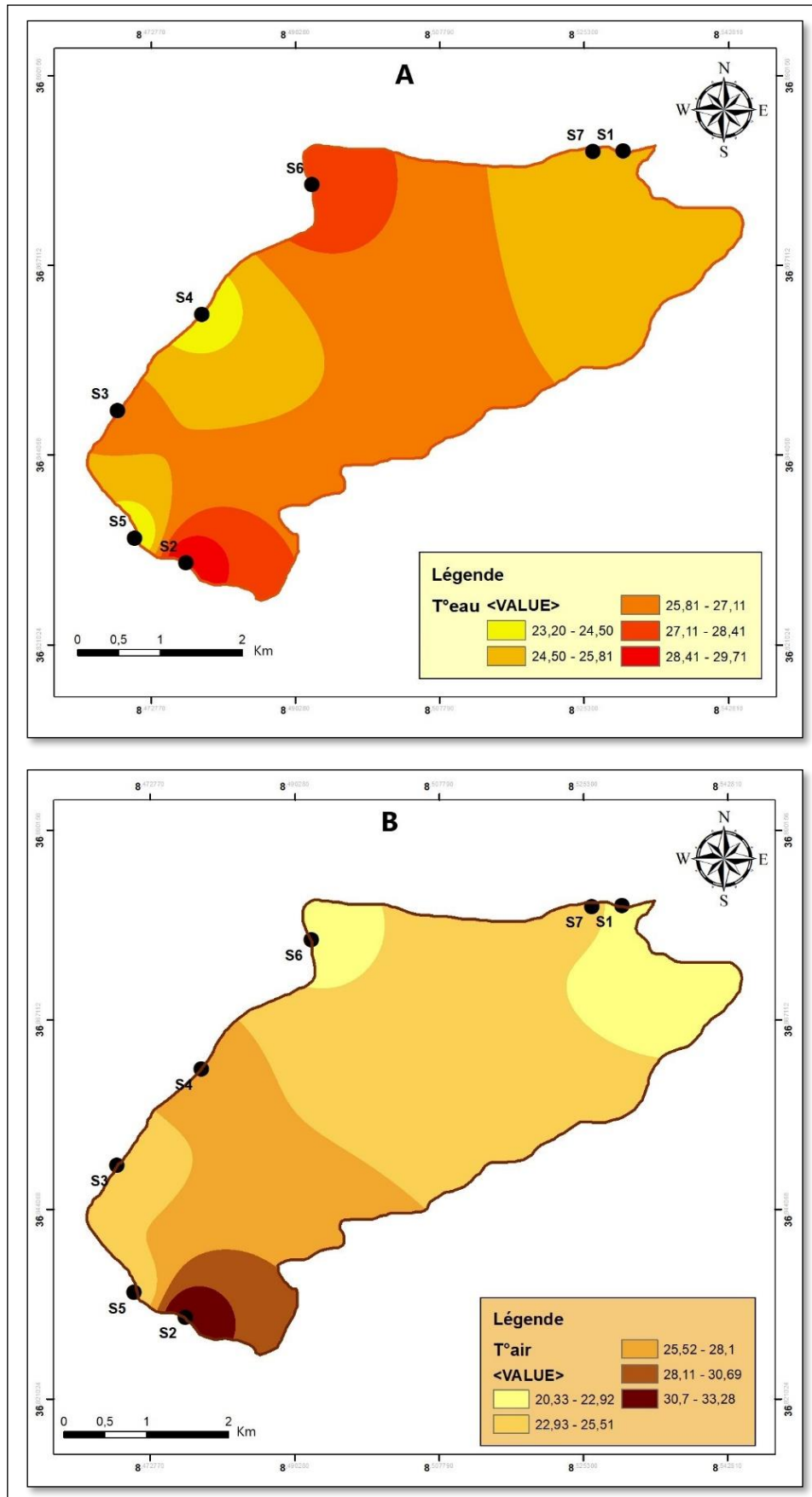


Figure 15 : Variations moyenne de la température de l'eau (A) et de l'air (B) du Lac Tonga.

La température de l'eau joue un rôle important sur l'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accéléré lorsque la température de l'air s'accroît (Mimeche, 2014). Certains insectes aquatiques supportent mal une température supérieure à 15°, d'autres au contraire s'en accommodent. Elle joue un rôle considérable dans l'évolution physico-chimique et biologique des eaux douces, en effet la solubilité des gaz dans l'eau diminue quand la température croît (Ramade, 2005).

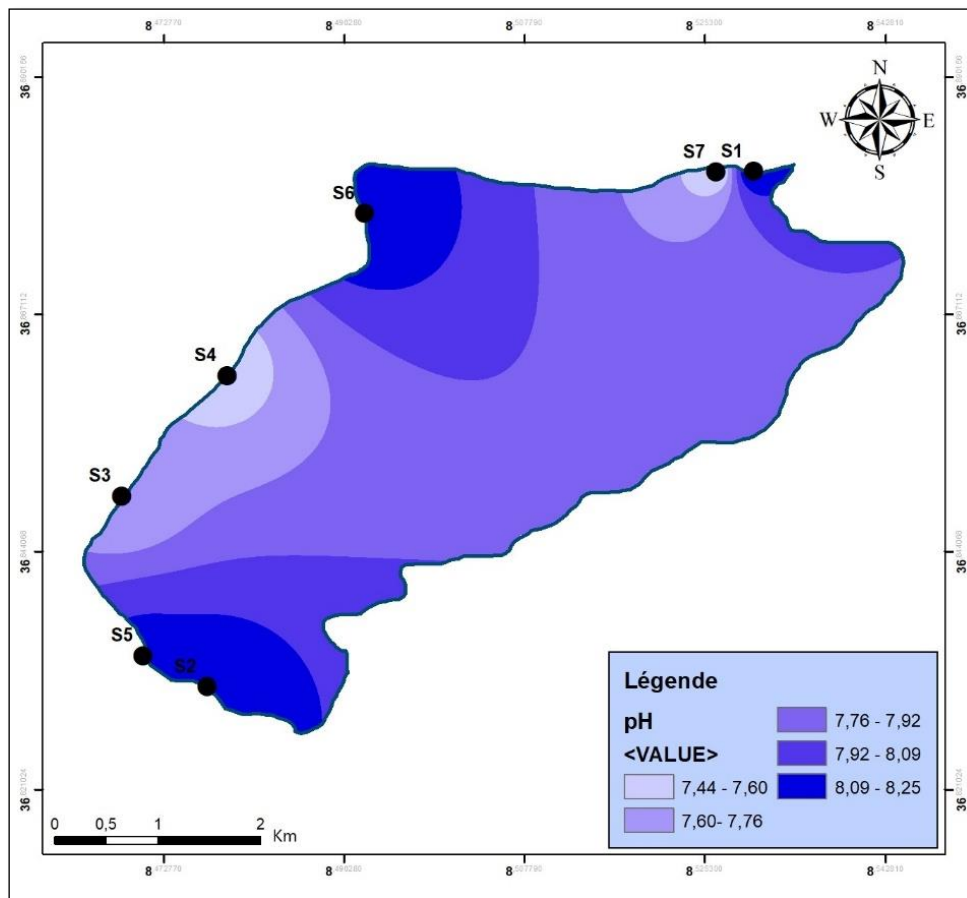
#### IV-1-2-Le potentiel hydrogène de l'eau (pH)

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenue dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (El Blidi *et al.*, 2003). Il dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère, du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques (Hutchinson, 1987). De ce fait la photosynthèse algale consomme beaucoup de  $CO_2$  et provoque ainsi une augmentation notable du pH des eaux. La respiration, au contraire, contribue à son abaissement par production de gaz carbonique. De même lors de la minéralisation de la matière organique, la production de  $CO_2$  entraîne une baisse du pH (Alayat, 2013). Il dépend aussi à les caractéristiques des plans d'eau et du bassin versant (Dussart, 1966) et dépend à les variations saisonniers (Dinon, 2008). Il est la valeur qui détermine si une substance est acide, neutre ou de base, il est calculé à partir du nombre d'ions hydrogène présent.

Les valeurs de pH enregistrées sont dans les normes. Des valeurs de pH au-dessous de 5,5 ou au-dessus de 9,5 indiquent un danger pour la faune et la flore (Belhaouari, 2017). Le pH de l'eau du lac Tonga est légèrement alcalin. Les valeurs du pH font apparaître des fluctuations très faibles, ils sont généralement variés entre 8,25 dans la station 1 et 7,44 dans la station 7 (Fig.16). Les mollusques possédant une coquille calcaire sont très sensibles à l'acidification des cours d'eau puisque celle-ci se dissout lorsque le pH de l'eau est inférieur à 7 (Noisette, 2013). La plupart des invertébrés d'eau douce préfèrent un pH compris entre 6,5 et 9,0, même si certains peuvent vivre dans des eaux dont le pH est en dehors de cet intervalle (Onyenwe, 2017). Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les espèces aquatiques (Abba, 2006).

Le pH ou l'expression de l'acidité du milieu, compte parmi les paramètres physicochimiques qui conditionne le milieu aquatique, et influence un grand nombre de

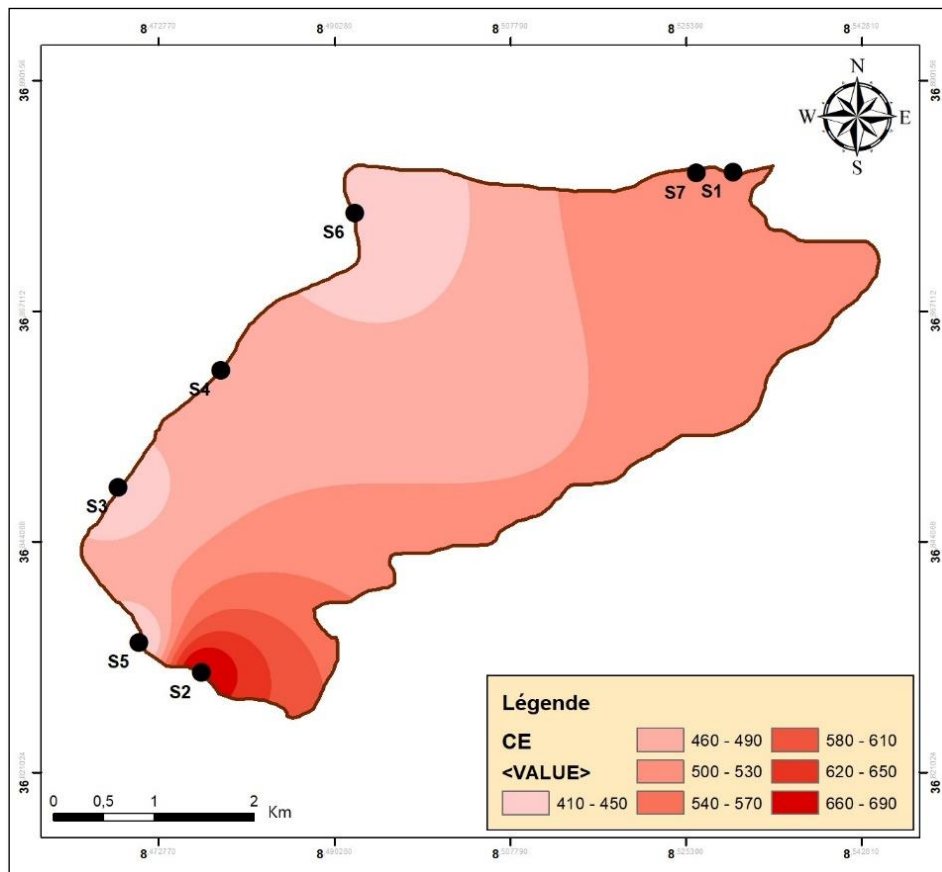
processus biologiques et chimiques (Meghlaoui, 2015). Il est lié aux Variations de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous, du taux de CO<sub>2</sub> (Ben Bouih, 2000).



**Figure 16 :** Variation moyenne de pH de l'eau de l'eau du Lac Tonga.

#### IV-1-3-La conductivité électrique

Les moyennes calculées montrent des conductivités de l'ordre de 492,4  $\mu\text{s}/\text{cm}$  oscillant entre des valeurs extrêmes allant de 690 à 410  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Une conductivité élevée traduit une minéralisation élevée qui peut être naturelle ou artificielle (Bouayed, 2011). Les plus fortes valeurs sont enregistrées dans la station 2 ; ceci est probablement dû à l'augmentation de la température dans cette station. Les valeurs diminuent jusqu'à 410  $\mu\text{s}/\text{cm}$  au niveau des stations 5 et 6 (Fig. 17). La conductivité électrique dépend des sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (Tab.13).



**Figure 17 :** Variation moyenne de la conductivité électrique de l’eau des sept stations dans lac Tonga.

L’eau par elle-même conduit mal l’électricité. Ce sont les sels dissous, qui lui donnent ses propriétés conductrices. Comme il n’est pas pratique d’analyser l’eau en termes de substances qu’elle contient, la conductivité électrique (facilité avec laquelle un courant électrique passe dans l’eau) est un bon indicateur de la teneur totale en impuretés, donc elle sert d’apprécier la quantité de sels dissous dans l’eau (Ghazali, 2013).

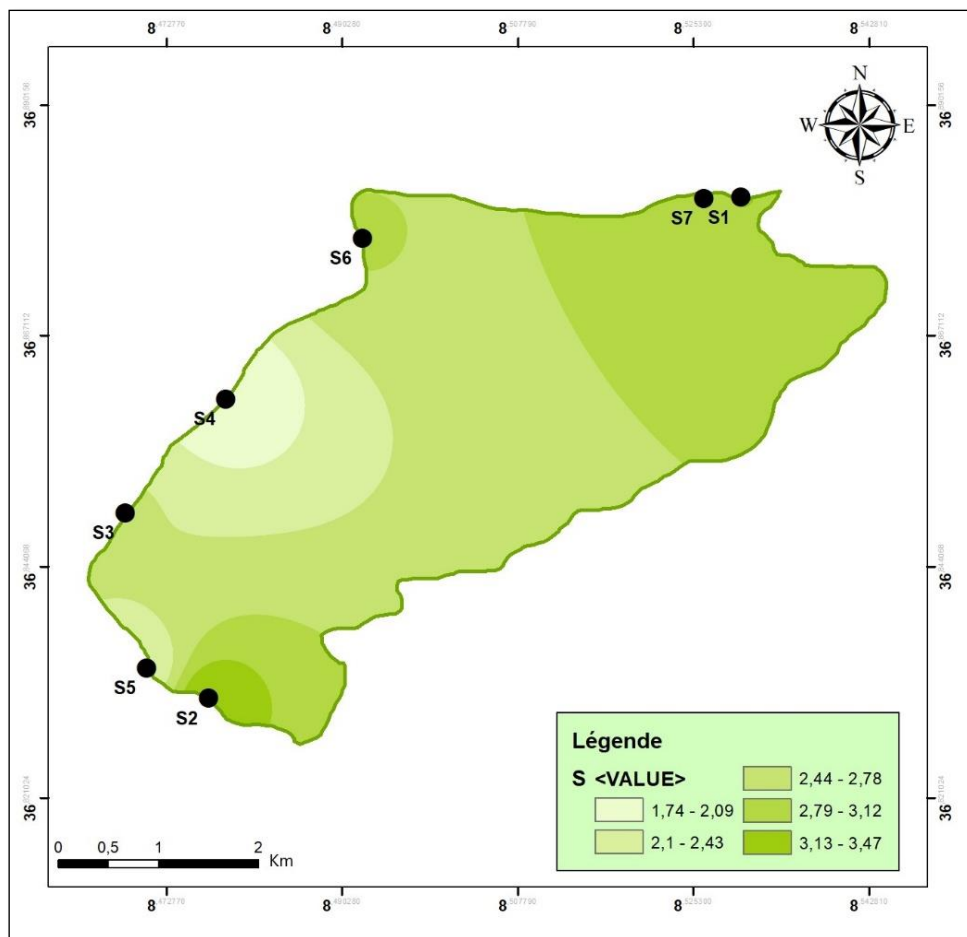
**Tableau 13 :** Relation existante entre la minéralisation et la conductivité mesurée (Rejsek, 2002)

Conductivité	Minéralisation de l’eau
<100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

## IV-1-4-La salinité

La salinité et la conductivité, étroitement corrélées. Elle dépend de la température, de la concentration et types d'ions présents. Les résultats obtenus montrent que les teneurs de salinité présentent des Variations, entre 1,74g/l (minimum au S4) et de 3,47g /l (maximum au S2) (Fig.18).

Ces résultats sont classés dans les catégories salées à très salées. L'augmentation progressive de la salinité dans toutes les stations est due principalement à l'augmentation de la température, cette dernière intervenant par le processus d'évapotranspiration qui peut favoriser la concentration des sels dans l'eau.



**Figure 18 :** Les variations de la salinité moyenne des sept stations dans lac Tonga.

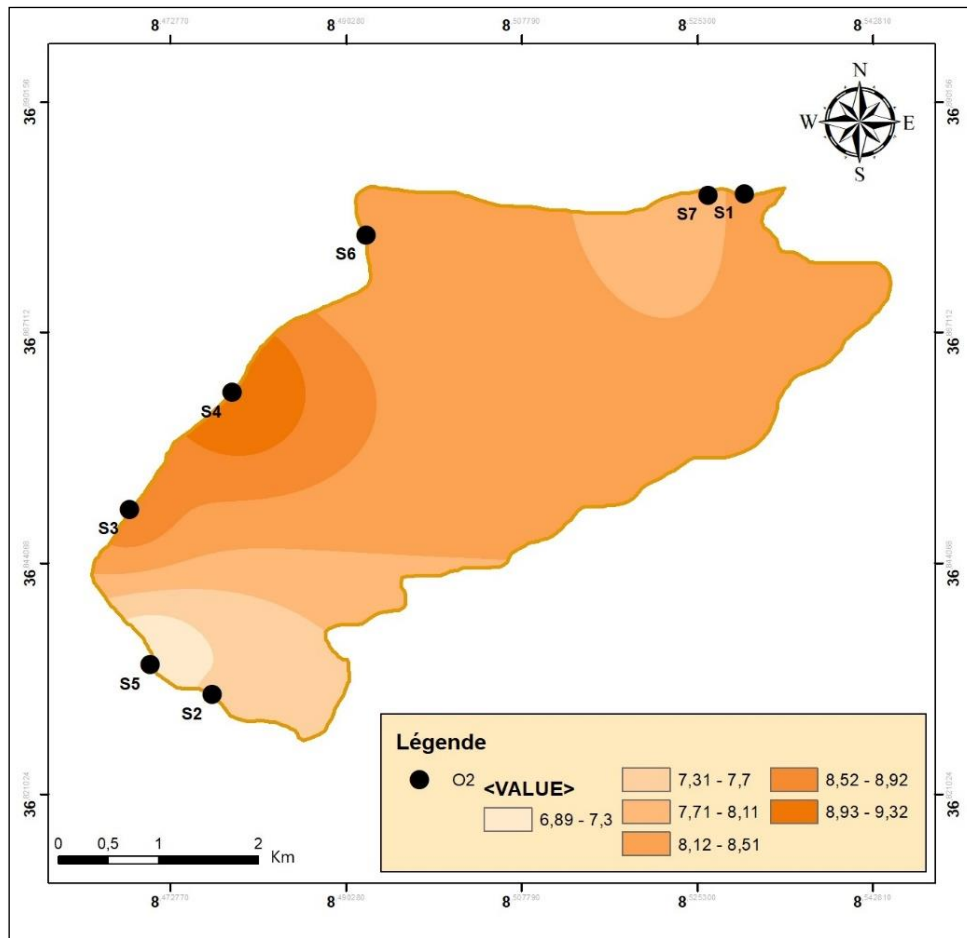
#### IV-1-5-L'oxygène dissous

C'est l'un des facteurs fondamentaux de la vie. L'oxygène dissous constitue un facteur limitant pour la plupart des organismes dans les eaux douces (Ramade, 1982). Sa présence dans les eaux joue un rôle primordial dans le maintien de la vie et dans le processus d'autoépuration. Certaines espèces exigent une teneur en oxygène importante alors que d'autres supportent de moindres quantités. La faiblesse du courant, la température élevée des eaux font une eau peu oxygénée, les espèces que l'on observera seront donc relativement peu exigeantes en ce qui concerne l'oxygénation de l'eau.

En moyenne, la station 5 présente la plus faible valeur en oxygène dissous avec 6,89 mg/l. Les valeurs en oxygène augmentent légèrement dans la station S2, avec une valeur de 7,32 et dans la station S7 avec 7,74 ; pour atteindre une valeur maximale de 9,32 dans la station S4 (Fig.19).

Les faibles valeurs ne peuvent s'expliquer que par l'abondance de la matière organique et la présence d'une activité bactérienne consommatrice de l'oxygène dissous et la diminution de la capacité d'autoépuration de ces eaux. Les rejets domestiques contribuent à la diminution de la teneur en O<sub>2</sub>, ce dernier étant consommé par les microorganismes pour dégrader la matière organique.

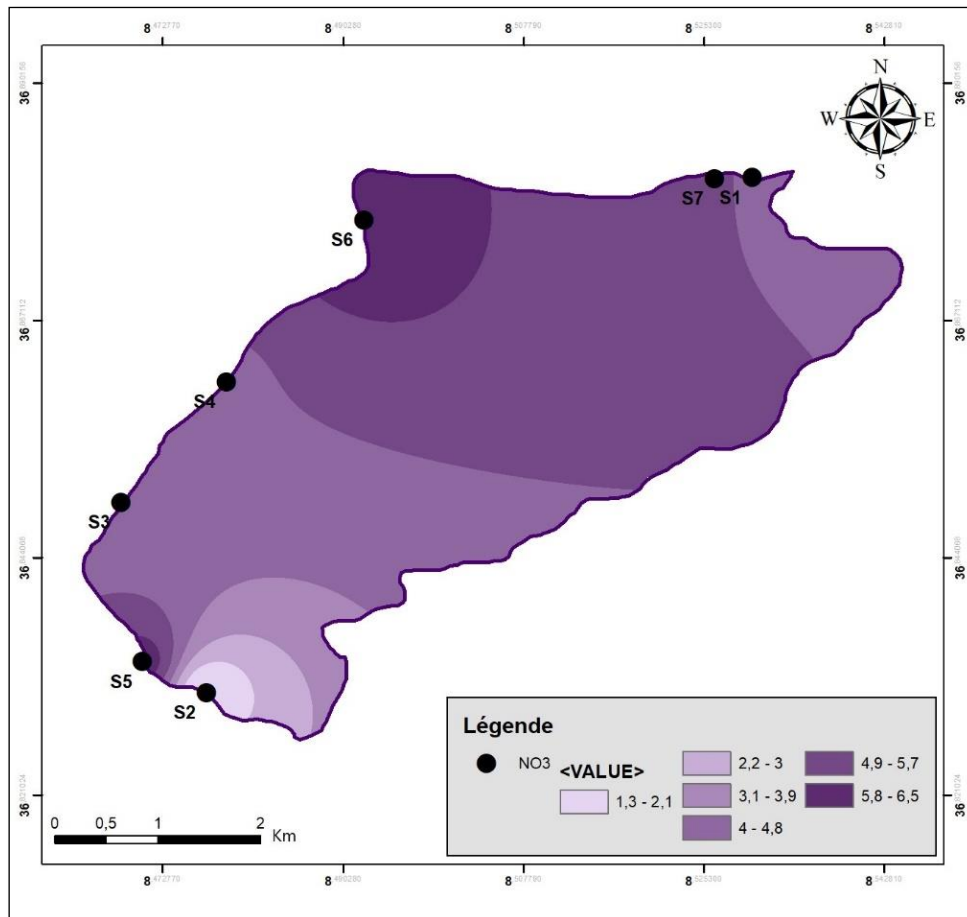
Lorsque l'oxygène dissous augmente ou diminue, il a un effet sur la qualité de l'eau et les macro-organismes benthiques présents. Si la concentration en oxygène dissous est inférieure à un certain niveau (1 à 2 mg / l), les organismes benthiques présentent un taux de croissance et de survie réduit (Akindele et Makali, 2001). Selon Bontoux (1993), une baisse du taux d'oxygène dissous dans le cours d'eau est souvent l'indice d'une pollution organique. Les invertébrés aquatiques qui utilisent l'oxygène dissous font face à de sérieuses limitations en raison de leur diminution. Plusieurs facteurs tels que la température, la salinité, la turbulence, la pollution déterminent la quantité d'oxygène dans l'eau. Plusieurs adaptations pour contrer ces contraintes environnementales ont été développées par les insectes aquatiques. Certains ont développé une tolérance élevée alors que d'autres restent sensibles (Kripa *et al.*, 2013).



**Figure 19 :** Les variations moyennes de l'oxygénation de l'eau des sept stations dans lac Tonga.

#### IV-1-6- Les Nitrates

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, ils se trouvent dans les couches superficielles du sol, la migration des nitrates augmente rapidement sur les surfaces cultivables laissées nues exposées pendant l'hiver (Benslimane, 2015). Les nitrates pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau (Abboudi *et al.*, 2014). Cependant, ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais (Chapman et Kimstach, 1996).



**Figure 20 :** Les variations moyennes des nitrates de l'eau des sept stations dans lac Tonga

Ils constituent l'un des facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau (Ghazali, 2013). Les nitrates proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification.

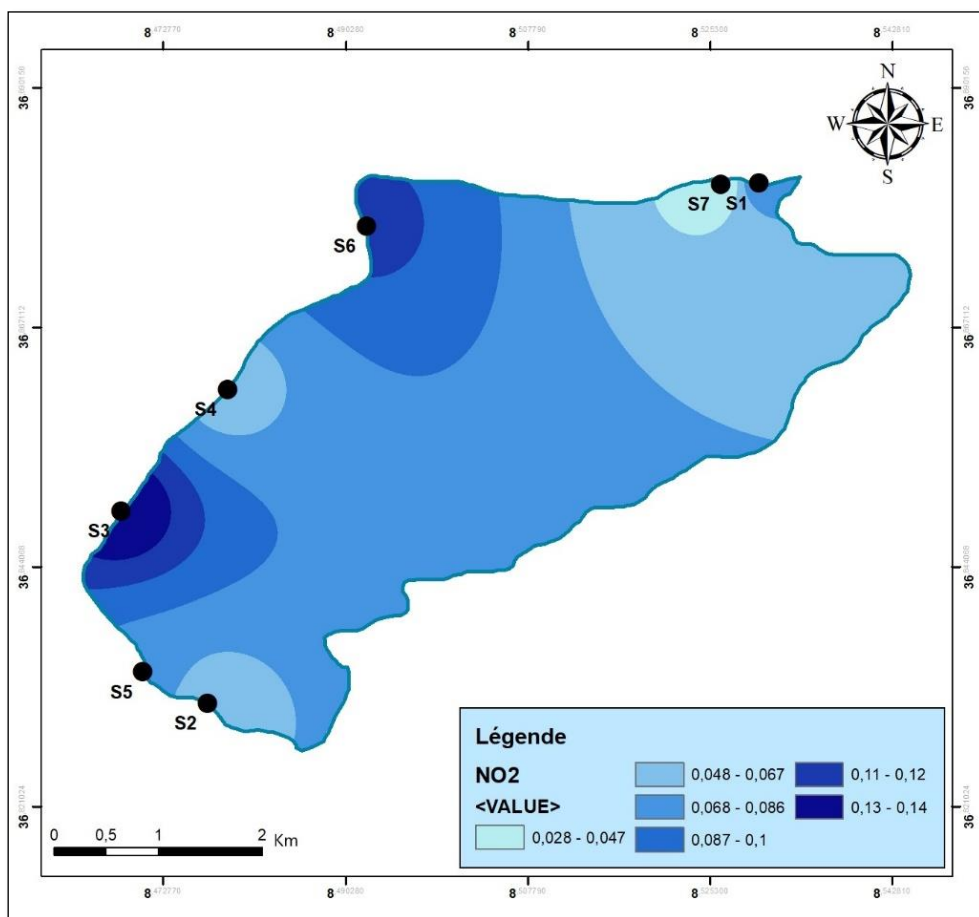
Le lac présente une légère variation des teneurs en nitrates entre les stations (Fig.20). Les teneurs en nitrates sont comprises entre la valeur minimale de 1,25 mg/l enregistrée à la station S2 et la valeur maximale trouvée au niveau de la station S6 avec 6,55 mg/l, mais qui restent inférieures à la valeur admissible par les normes Algériennes. De ce fait, les eaux étudiées ne sont pas sujettes à un risque de pollution par les nitrates. Selon Benslimane *et al.*, (2015) la concentration de contaminants inorganiques (en particulier de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dans l'eau de lac Tongane dépasse pas les limites standard acceptées, mais la situation présente toujours un risque.

#### IV-1-7-Les nitrites

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique.

Les résultats de notre étude révèlent que les concentrations en nitrates sont normales, c'est-à-dire conformes à la grille de qualité des eaux en azote (ANRH, 2013), sauf au niveau les deux stations S3, S6 avec des valeurs de 0,14 mg/l et 0,11 mg/l ; ce qu'ils illustrent une pollution notable dans ces stations (Fig.21).

Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car une détérioration de la qualité biologique lui est souvent associée (Labar *et al.*, 2013).

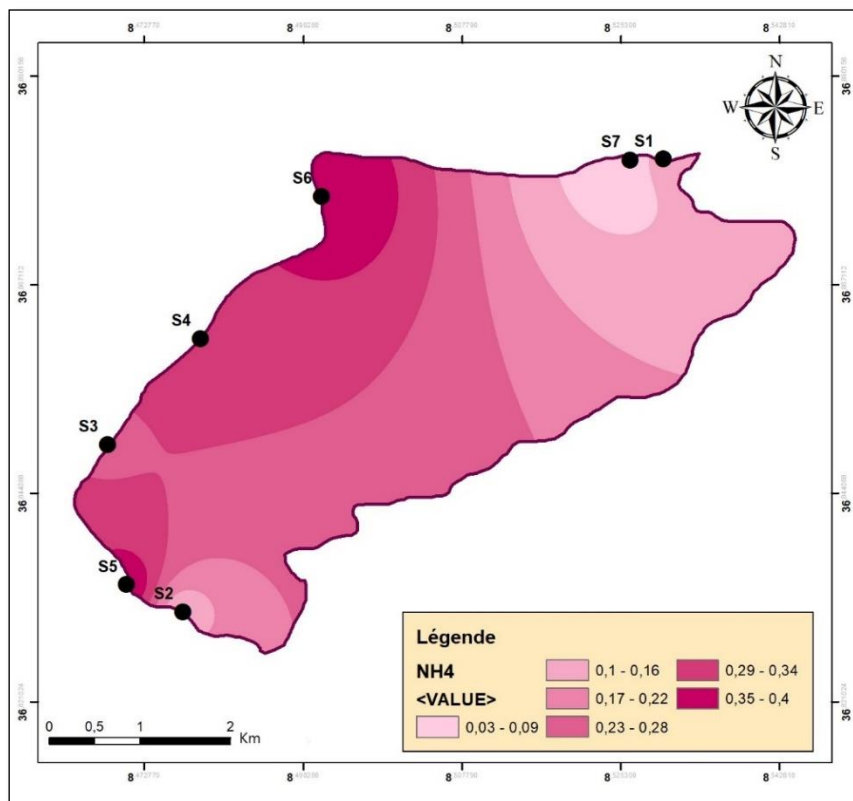


**Figure 21** : Les variations moyennes des nitrites de l'eau des sept stations dans lac Tonga.

#### IV-1-8-L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles.

L'analyse du profil de l'ammonium (Fig.22), montre que les teneurs en azote ammoniacal présentent une évolution presque similaire dans l'ensemble des stations, elles varient de 0,4 mg/l considéré comme valeur maximale enregistrée au niveau de la station S6 et de 0.03mg/l comme valeur minimale enregistrée au niveau de la station S7. Les valeurs de  $\text{NH}_4^+$  enregistrées dans toutes les stations sauf la station 7 illustrent une pollution notable conformément à la classification de (ANRH, 2013), indice d'une contamination par les rejets domestiques ou d'origine agricole (fertilisants organiques) mais au niveau de la station 7 montre une pollution modérée.



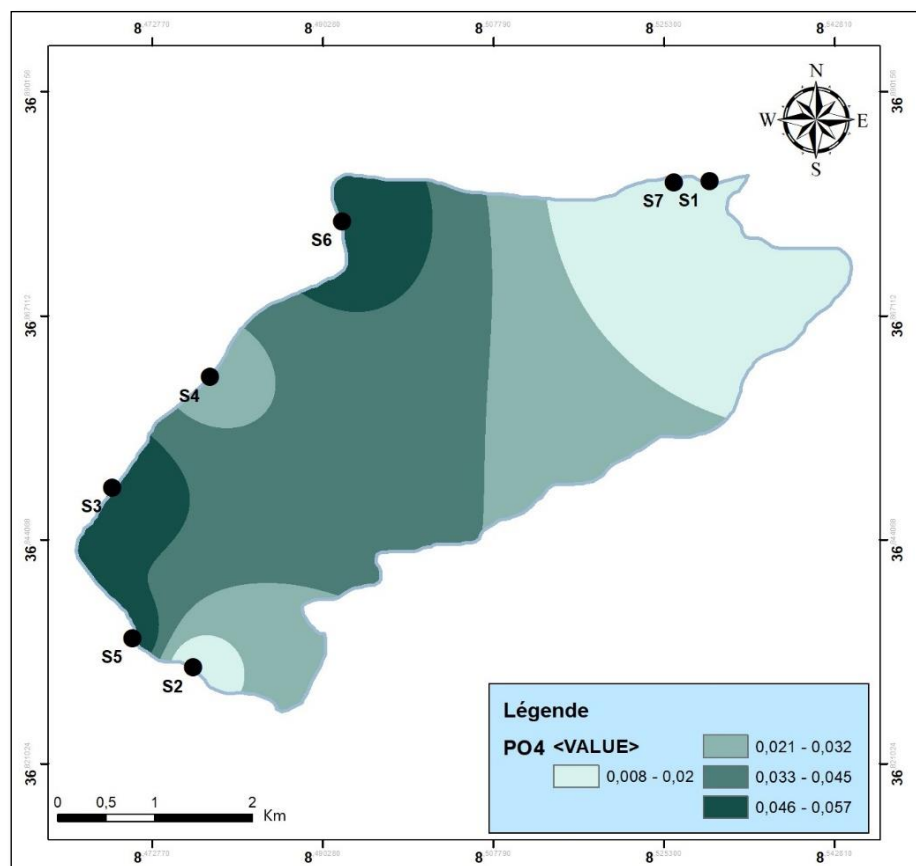
**Figure 22 :** Les variations moyennes de l'ammonium de l'eau des sept stations dans lac Tonga.

Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. L'ammonium des eaux superficielles peut avoir pour origine de la matière végétale des cours

d'eau; la matière organique animale ou humaine (l'homme élimine 15 à 30 g d'urée par jour) ; les rejets industriels; les engrais, etc. (Derradji *et al.*, 2007).

#### IV-1-9-Les phosphores ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Le phosphore est un élément nutritif qui peut être dissous ou associé à des particules, sa présence en excès dans le milieu récepteur peut se traduire par un développement important du phytoplancton et des macrophytes (Grady, 2003). Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface résulte de l'intensification de la pression démographique et des activités agricoles et qu'ils peuvent entraîner leur eutrophisation (Toumi, 2016). Le phosphore est un des éléments majeurs indispensables à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la photosynthèse et la reproduction du végétal.



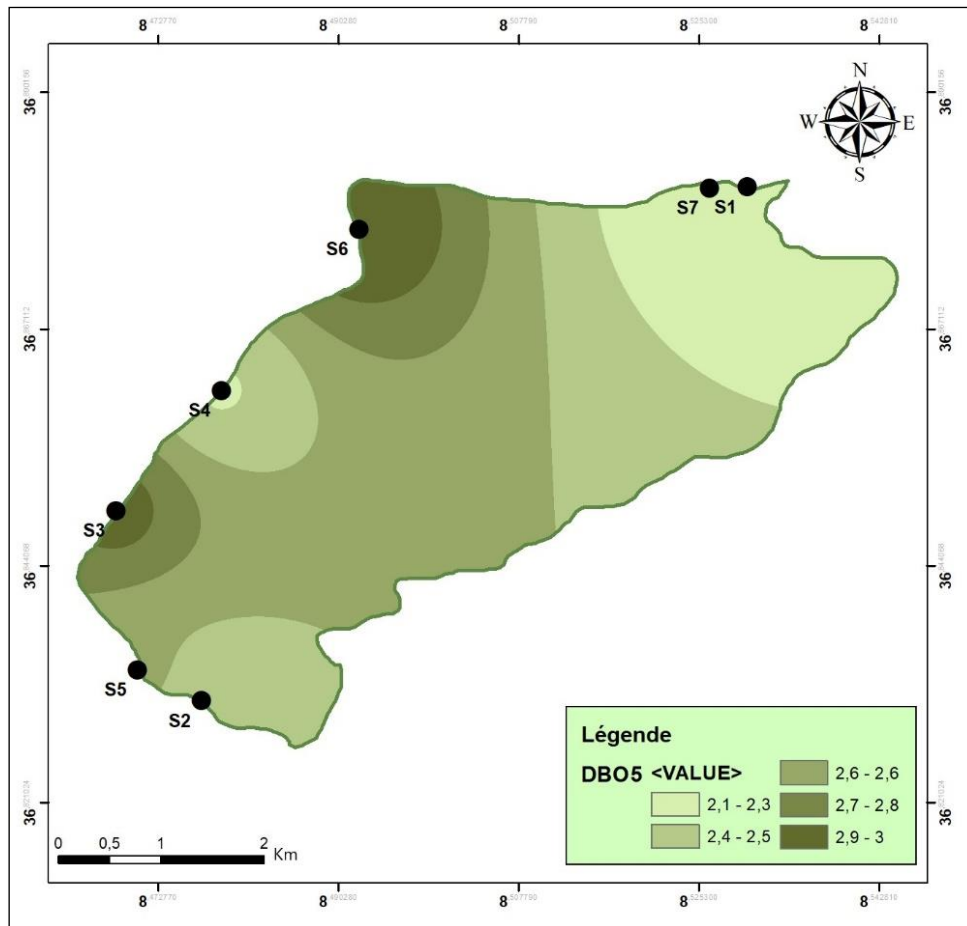
**Figure 23 :** Les variations moyennes des phosphores de l'eau des sept stations dans lac Tonga

L'analyse des résultats (Fig.23) montre que la concentration en phosphore dans les eaux des sept stations varie entre 0,01 mg/l dans les stations S1, S2, S7 et 0,03 mg/l dans les stations S4 ; 0,05 mg/l dans les stations S5, S6 et 0,06 mg/l dans la station S3. Ces résultats illustrent des eaux avec une pollution notable. En présence de phosphore les nitrates favorisent le phénomène d'eutrophisation. Ces produits sont généralement apportés par les eaux usées suite à une utilisation excessive des engrais azotés en agriculture (Toumi, 2016).

#### **IV-1-10-DBO5**

La DBO5 exprime la consommation naturelle d'oxygène en mg d'oxygène par litre, des corps contenus dans l'eau, dégradés par les bactéries du milieu par une oxydation. La DBO5 est sensiblement proportionnelle à la teneur de l'eau en matière organique biodégradable et donc à la quantité de micro-organismes et inversement proportionnelle à la teneur en oxygène dissous, c'est à dire, plus la DBO5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée et plus la concentration en oxygène dissous du milieu est faible (Bendjama, 2014).

Les concentrations de la DBO5 des sept stations prospectées montrent des valeurs variant entre 2,11 mg/l O<sub>2</sub> et 3 mg/l O<sub>2</sub> ce qui traduit la faible concentration en matières organiques présentes dans le milieu (Fig. 24). Selon la grille algérienne de la qualité des eaux de surface établie par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, ces concentrations ne dépassent pas les normes.



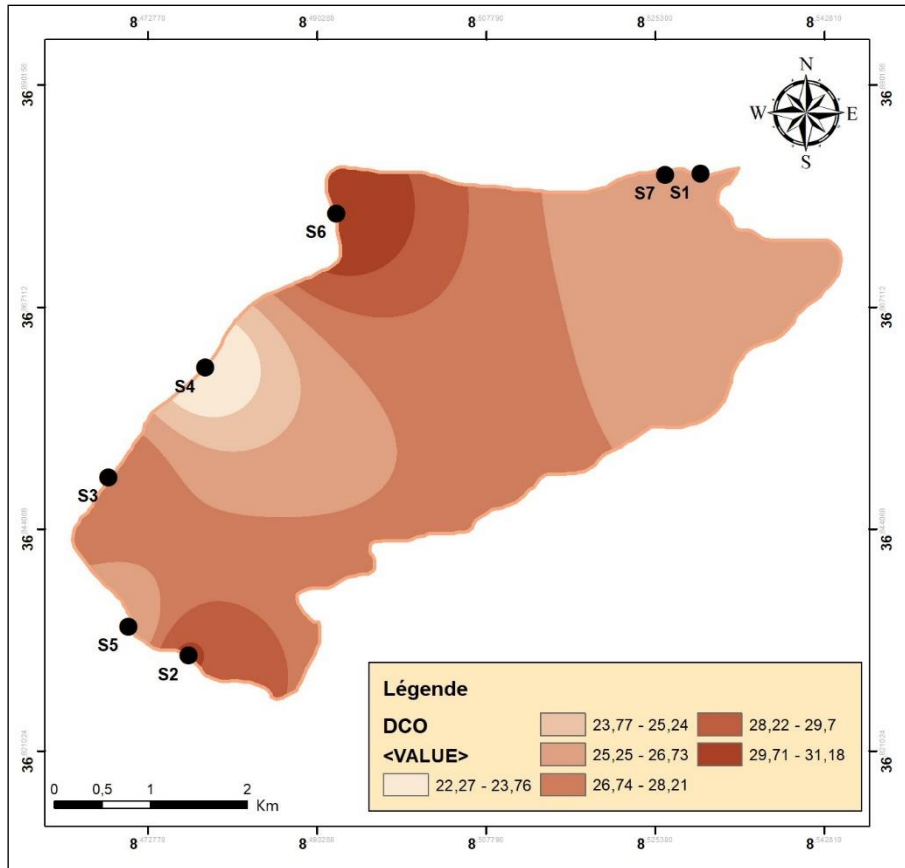
**Figure 24 :** Les variations moyennes de DBO5 de l'eau des sept stations dans lac Tonga.

#### IV-1-11-La DCO

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quel que soit leurs origines organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfure et chlorures). Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques.

En littérature, on a toujours une DCO supérieure à la DBO car les bactéries ne permettent pas d'oxyder les éléments organiques et chimiques les plus stables. En Algérie, le ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire caractérise la qualité de l'eau de surface à partir des seuils suivants : DCO inférieure à 20 mg/l O<sub>2</sub>: l'eau est de qualité excellente ; DCO comprise entre 20 mg/l O<sub>2</sub> et 25 mg/l O<sub>2</sub>: l'eau est de bonne qualité, DCO entre 25 mg/l O<sub>2</sub> à 40 mg/l O<sub>2</sub>, l'eau est de qualité passable ; DCO entre 40 mg/l et 80 mg/l O<sub>2</sub>, l'eau est de qualité médiocre, DCO supérieure à 80 mg/l O<sub>2</sub>, l'eau est très polluée. Si on se réfère à ces seuils, les

eaux des stations S1, S2, S3, S5, S6, S7 sont de qualité passable du fait que les valeurs de la DCO sont comprises entre 25,27-31,28 et la station 4 a une bonne qualité avec une valeur de 22,27 (Fig.25).



**Figure 25 :** Les variations moyennes de DCO de l'eau des sept stations dans lac Tonga.

#### IV-2-L'analyse des peuplements benthiques

Les macroinvertébrés sont ceux qui vivent habituellement à la surface ou dans les premiers centimètres des sédiments (Tachet *et al.*, 1980). Ces derniers se répartissent d'une manière hétérogène. Leur distribution dépend des conditions environnementales (nature du substrat, vitesse du courant, couverture végétale, etc.)

L'analyse des données de macroinvertébrés benthiques permet d'évaluer l'état de santé général des ruisseaux, des rivières et des lacs. De façon générale, les plans d'eau non dégradés supportent des communautés de macroinvertébrés diversifiées. Avec une augmentation des perturbations anthropiques, l'abondance des taxons les plus sensibles diminue alors que l'abondance des taxons tolérants à la pollution augmente. Ces changements amènent une instabilité dans la structure de la communauté, ce qui se traduit généralement par la réduction de l'intégrité de l'écosystème aquatique.

Suite à la détermination taxonomique réalisée au laboratoire, une liste faunistique des macroinvertébrés a pu être établie. Les résultats pour chaque station sont présentés sous forme d'un tableau, grâce à la réalisation de ce tableau, il a pu être analysé et comparé les différentes distributions des macroinvertébrés entre les stations (Tab.14).

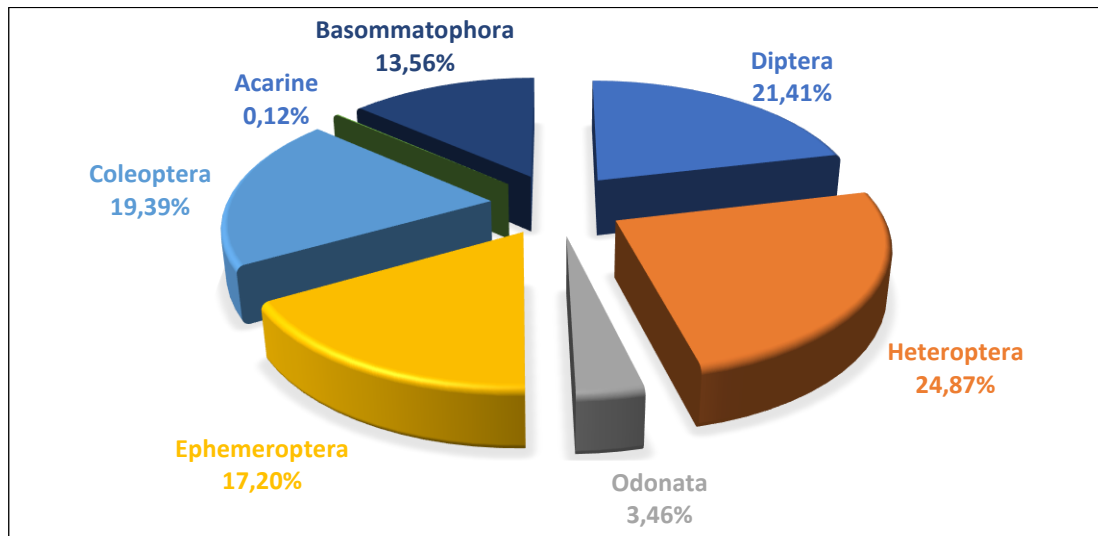
Tableau 14 : L'abondance des macro-invertébrés trouvée au niveau du Lac Tonga.

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-Famille	Taxon	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7		
Arthropodes	Insectes	Diptère	Culicidae		<i>Culex</i> Linnaeus, 1758	19	102	46	83	20	16	6		
				Culicinae	<i>Coquillettidia</i> Dyar, 1904					1	4			
			Chironomidae	Orthocladiinae				3						
				Chironominae	<i>Tr: Tanytarsini</i> Zavrel, 1917		17		2				2	
					<i>Chironomus</i> Meigen, 1803		34							
			Ephydriidae			1								
			Dixidae		<i>Dixella</i> Dyar et Shannon , 1924		4		1					
			Chaobridae		<i>Mochlonyx</i>		1	4					2	
			Hétéroptère	Pleidae		<i>Neoplea</i> Esaki et China, 1928			3				1	
						<i>Plea</i> Leach, 1817	14	16		3				8
				Corixidae	Corixinae	<i>Paracorixa concinna</i> Fieber, 1848		1						6
		<i>Corixa</i> Geoffroy, 1762					7			5	1	4		
					<i>Sigara</i> Fabricius, 1775				2					
		Micronectinae		<i>Micronecta</i> Kirkaldy, 1897		48	1							
		Notonectidae		Notonectinae	<i>Notonecta</i> Linnaeus, 1758		3		7					
		Naucoridae		Naucorinae	<i>Ilyocoris cimicoides</i> Linnaeus, 1758	64	24	21	24	105	9	35		
					<i>Naucoris maculatus</i> Fabricius, 1798		7		15					
		Odonate		Lestidae		<i>Lestes</i> Leach, 1815			1					1
			Libellulidae		<i>Sympetrum</i> Nweman, 1833				6	1				
			Coenagrionidae		<i>Ishnura</i> Charpentier, 1840		10							
					<i>Phyrrhosoma nymphula</i> Sulzer, 1779		5							
					<i>Coenagriides</i>				1		1		1	
			Aeshnidae		<i>Anax imperator mauriciannus</i> Rambur, 1842		3							26
					<i>Aeshna</i> Fabricius, 1775				1					

		Calopterygidae		<i>Calopteryx</i> Leach, 1815	3							
	Ephéméroptère	Baetidae		<i>Baetis</i> Leach, 1815	58	33		60	31	24	10	
		Siphonuridea		<i>Siphonurus</i> Eaton, 1868		66	1					
		Caenidae		<i>Caenis</i> Stephens, 1835	3				1	4	7	
		Coléoptère	Dytiscidae	Dytiscinae	<i>Dytiscus</i> Leach, 1815	7	6		2	28	3	6
	<i>Eretes</i> Castelnau, 1832					2						
	<i>Cybister</i> Curtis, 1827								1			2
	Colymbetinae				<i>Rhantus</i> Dejean, 1833	1		4		21		
	Laccophilinae				<i>Laccophilus</i> Leach, 1815		1			1		
	Hydroporinae				<i>Hydroporus</i> Schellenberg, 1806					3		
			<i>Hydroglyphus</i> Motschulsky, 1853						3			
	Agabinae			<i>Agabus</i> Leach, 1815		3			2			
	Hydrophilidae		Hydrophilinae	<i>Helochares tristis</i>		18	2		46			
				<i>Enochrus</i> Latreille, 1802				8				
				<i>paracymus</i> Thomson, 1867								2
				<i>Berosus Signaticollis</i> Charpentier, 1825			5		1	30	2	3
				<i>Laccobuis</i> Erichson, 1837			4		1			
				<i>Hydrobius</i> Leach, 1815						5	2	
	Hydrochidae	Hydrochinae		<i>Hydrochus</i> Leach, 1817	3		3	1	2		1	
	Hylophoridae			<i>Helophorus</i> Fabricius, 1775		4			11	4	2	
	Haliplidae			<i>Haliplus</i> Latreille, 1802					14			
	Elmidae	Elminae		<i>Limnius</i> Illiger, 1802			3		8	2	2	
	Hydraenidae	Ochthebiinae		<i>Ochthebius</i> Leach, 1815			1		1		2	
		Hydraeninae		<i>Hydraena</i> Kugelann, 1794		12			29	3		
	Gyrinidae	Gyrininae		<i>Gyrinus</i> Geoffroy, 1762					1			
	Hygrobidae			<i>Hygrobia</i> Latreille, 1802				2				
Arachnida	Acariens	Hydrachenellae						1		1		

Mollusque	Gastropode	Basommatophora	Physidae	<i>Physa fontinalis</i> Linnaeus, 1758	10	17	72	17	36	4	14
			Lymnaeidae	<i>Radix</i> Monfort, 1810	2			1			15
			Planorbidae	<i>Planorbis</i> O. F. Muller, 1773	8	1	5	16		2	15

L'analyse des macroinvertébrés capturés montre que seulement 0,12 % de la faune totale appartient à la classe des Arachnida, 13,56 % appartient à la classe des Gastropodes, quand la classe des insectes constituait 86,82%. L'ordre le plus abondant était les Hétéroptères 24,87%, les Diptères 21,41%, les Coléoptères 19,39%, les Ephéméroptères, Basommatophora, Odonates et Acarien respectivement 17,20%, 13,56%, 3,46% et 0,12% (Fig.26).



**Figure 26 :** L'abondance relative des ordres récoltés dans les sept stations du lac Tonga.

En fonction des stations d'études et l'abondance des macroinvertébrés, il existe une relation significative dans la distribution spatiales des espèces capturés, comme indiqué le test Kruskal-Wallis test  $H=12,22$ ;  $P < 0,05$ ).

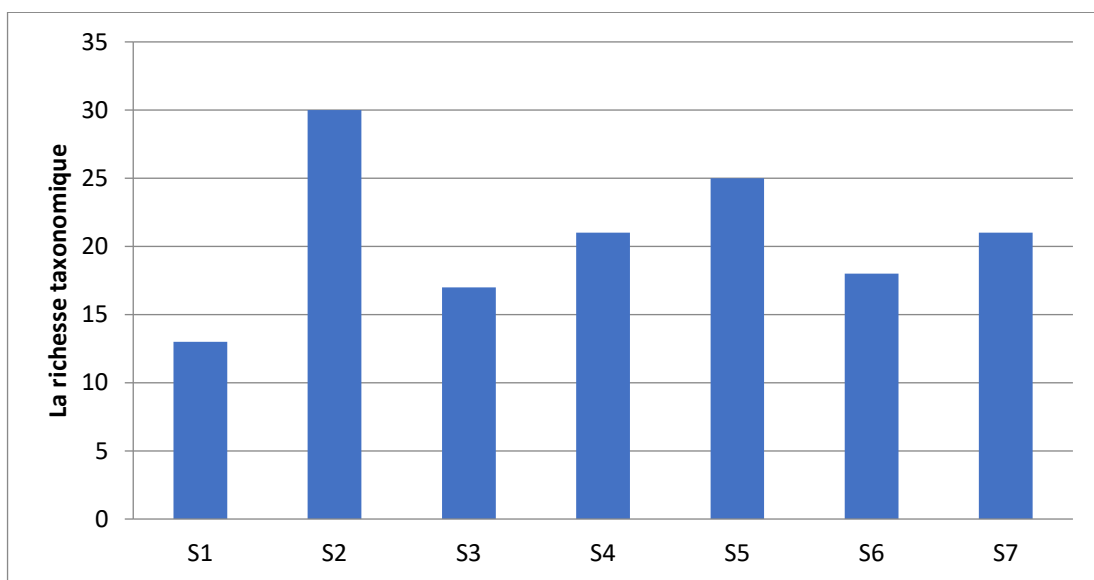
#### IV-2-1-Les indices de diversité

##### IV-2-1-1-Indices écologiques de composition

- **Richesse taxonomique**

Les échantillonnages effectués au niveau des sept stations au cours de la période de mars 2017 à février 2018, nous ont permis de recenser 1733 individus appartenant à 51 taxons. La lecture de la figure 27 relatif à la richesse taxonomique montre des fluctuations au long des stations étudiées. Le nombre des taxons varié d'une station à une autre, il fluctue entre un minimum de 12 taxons récoltés à la station 01 et un maximum de 30 taxons récoltés à la station 02.

Tous les macro-invertébrés collectés sont identifiés au niveau taxonomique le plus bas possible. Les macro-invertébrés benthiques de la station 01 constitués de 12 taxons (genres ou espèces), 11 familles, 06 ordres, alors que 30 taxons (genres ou espèces), 19 familles, 06 ordres ont été enregistrés à la station 02. La station 03 était représentée par 17 taxons (genres ou espèces), 16 familles et 06 ordres. 20 taxons (genres ou espèces), 17 familles, 07 ordres ont été trouvés à la station 04. Alors que la station 05 était composée de 25 taxons (genres ou espèces), 16 familles et 06 ordres. Les macro-invertébrés benthiques enregistrés à la station 06 étaient représentés par 18 taxons (genres ou espèces), 14 familles et 06 ordres. 21 taxons (genres ou espèces), familles et 06 ordres ont été rencontrés à la station 07.

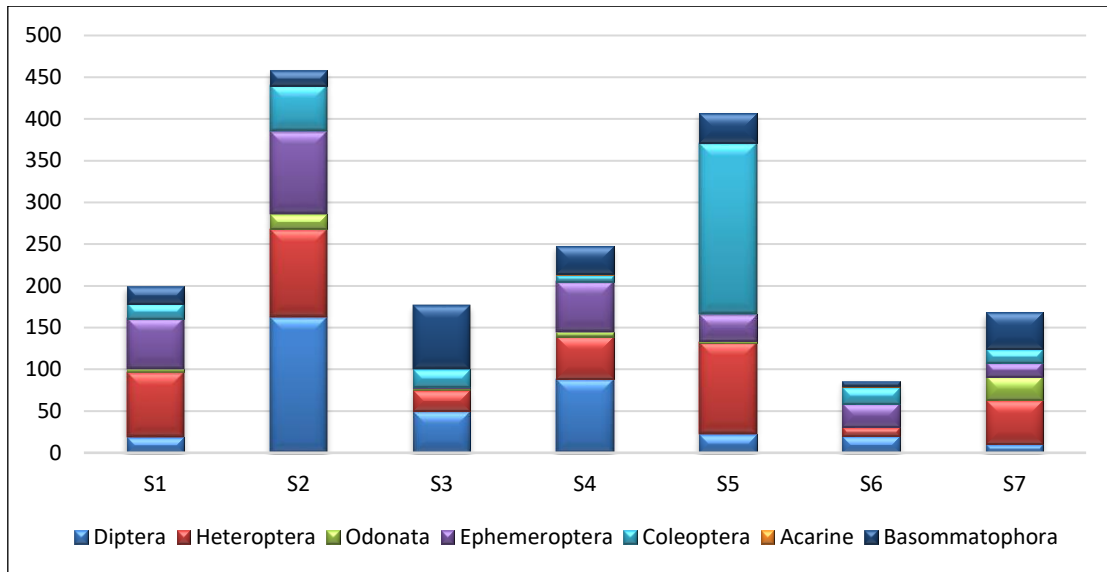


**Figure 27 :** Richesse taxonomique des différentes stations étudiées

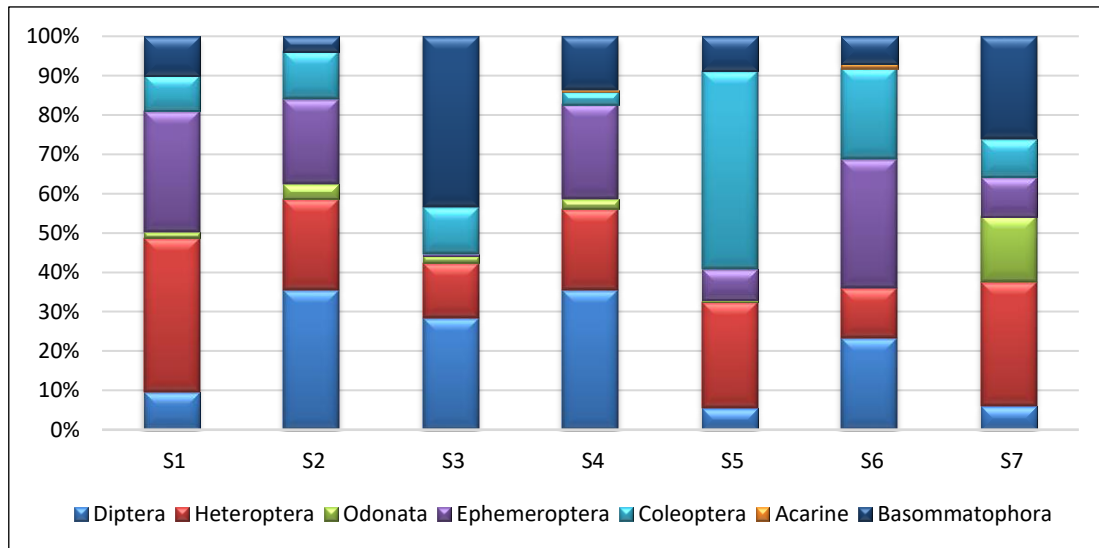
- **Abondance**

Un total de 1733 individus a été capturé au niveau du lac Tonga appartenant à 51 taxons (genre ou espèce), 30 familles, 7 ordres et 3 classes. Ils variaient entre 458 individus au niveau de la station 02, 406 individus au niveau la station 05. La station 04 compte 246 individus et 192 individus pour la station 01. Pour les stations restantes c'est-à-dire les stations 03, 07 et 06, il y a été trouvé respectivement 177, 168 et 86 individus.

Les figures 28 et 29 illustrent une représentation de la distribution des macro-invertébrés en fonction des stations. Le premier montre l'abondance par ordre et par station, alors que le second présente la proportion de ces ordres



**Figure 28 :** La distribution d’abondance par ordre de la faune benthique au niveau des sept stations.



**Figure 29 :** La proportion de chaque ordre au niveau des sept stations

Il est tout d’abord remarqué la différence dans la distribution de l’abondance de la faune benthique entre les stations étudiées où il y a une augmentation du nombre d’individus au niveau de la station 02 suivie par la station 05 par rapport aux autres stations, la diminution dans l’effectif des taxons peut interpeler et amener un certain nombre d’hypothèses (problème du prélèvement, la saison d’échantillonnage, les conditions physico-chimique etc.).

Le second diagramme montre que la distribution des taxons est répartie de façon hétérogène sur presque l’ensemble des stations. On s’aperçoit une domination taxonomique

principalement représentée par les coléoptères au niveau de la station 05 et par Basommatophora au niveau la station 03.

• **Fréquence d'occurrence des taxons**

Les fréquences d'occurrence estimés à partir de la totalité des prélèvements effectués dans les différents stations et au cours de toute la période d'étude donnent (Tab.15) :

- Quatre taxons omniprésents : les Culicidae, les Naucoridae, les Dytiscidae et les Physidae.
- Les Pleidae, les Corixidae, les Baetidae, les Hydrophilidae, les Hydrochidae, les Planorbidae et les Hydraenidae sont des taxons constants.
- Quatre taxons réguliers : les Caenidae, les Hylophoridae, les Elmidae et les Coenagrionidae.
- Le peuplement est constitué essentiellement de dix taxons accessoires : les Chironomidae, les Dixidae, les Chaobridae, les Notonectidae, les Lestidae, les Aeshnidae, les Siphonuridea, les Haliplidae, les Hydrachenellae et les Liminidi.
- Les taxons accidentels sont les Ephydridae, les Libellulidae, les Calopterygidae, les Gyrinidae et les Hygrobidae.

**Tableau 15 :** Fréquences d'occurrence des taxons récoltés au niveau du lac Tonga.

Familles	accidentelle 0-25	Accessoire 25≤F<50	Régulière 50≤F<75	Constante 75≤F<100	Omniprésente 100%
Culicidae					X
Chironomidae		X			
Ephydridae	X	X			
Dixidae		X			
Chaobridae		X			
Pleidae				X	
Corixidae				X	
Notonectidae		X			
Naucoridae					X
Lestidae		X			
Libellulidae	X				

Coenagrionidae			X		
Aeshnidae		X			
Calopterygidae	X				
Baetidae				X	
Siphonuridea		X			
Caenidae			X		
Dytiscidae					X
Hydrophilidae				X	
Hydrochidae				X	
Hylophoridae			X		
Haliplidae		X			
Elmidae			X		
Hydraenidae				X	
Gyrinidae	X				
Hygrobidae	X				
Hydrachenellae		X			
Physidae					X
Lymnaeidae		X			
Planorbidea				X	

#### IV-2-1-2-Les indices écologiques de structure

- **Indices de diversité de Schannon  $H'$ , l'équitabilité, l'indice de Margalef et l'indice de Simpson**

D'après Bournaud et Keck (1980), l'indice de Schannon présente l'intérêt écologique de fournir une 'indication globale de l'importance relative' des différents taxons. Nous avons calculé pour chaque station l'indice de diversité  $H'$  qui intègre la richesse taxonomique et l'abondance relative des différents taxons. L'équitabilité  $E$  qui correspond à l'indice de diversité relative est le rapport de  $H'/H_{max}$ ,  $H_{max}$  étant la valeur maximale théorique que  $H'$  peut atteindre. Elle renseigne sur la stabilité du milieu par la régularité du peuplement.

D'une manière générale,  $H'$  et  $E$  augmentent d'une part, avec le nombre d'espèces et, d'autre part, avec la régularité de leur distribution d'abondance, autrement dit, un indice faible est une conséquence d'un faible nombre de taxons et/ou de la dominance de quelques espèces.

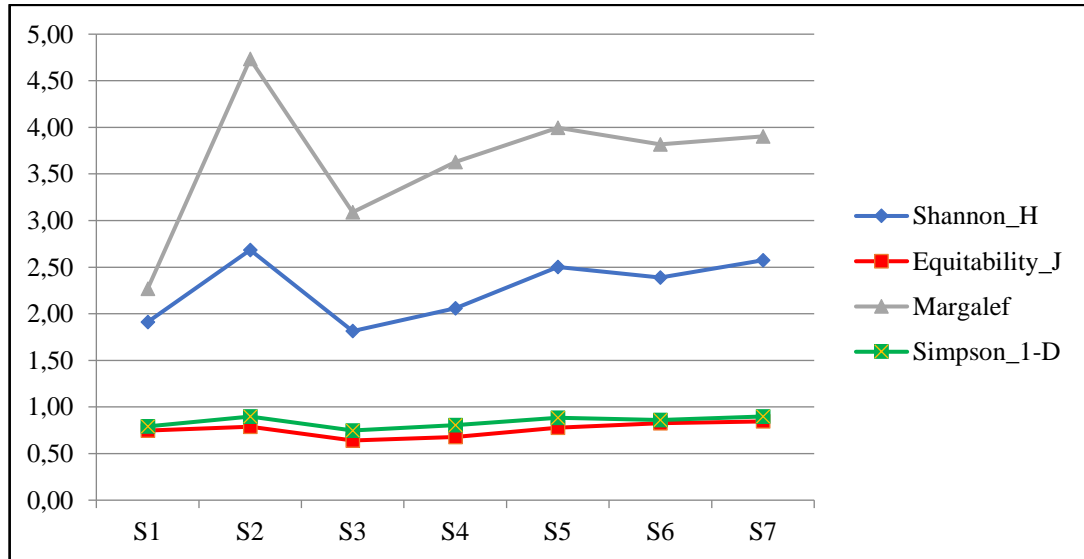
Quant à l'indice de Margalef, il ne tient pas compte de l'abondance relative des taxons. La diversité est considérée comme minimale quand l'indice tend vers zéro, et maximale quand l'indice tend vers  $\infty$ .

L'indice de Simpson varie de 0 (diversité minimum) à 1 (diversité maximum).

Concernant l'indice de Margalef, nous arrivons aux mêmes conclusions puisqu'il varie dans le même sens, En effet dans les différents peuplements, les profils de Variation des indices  $H'$ ,  $E$  et Margalef présentent la même allure (Fig.30).

Tout comme la richesse taxonomique et l'abondance,  $H'$ ,  $E$ , l'indice de Margalef et l'indice de Simpson aussi présentaient une forte variation en fonction des stations.

Ils varient entre un minimum de  $H'= 1,81$  ;  $E= 0,64$  ; Margalef = 3,09 et l'indice de Simpson= 0,75 ; présentées au niveau de la station 03 et un maximum enregistrées dans la station 02 avec  $H'= 2,69$  ;  $E= 0,79$  ; Margalef = 4,73 et l'indice de Simpson= 0,90.



**Figure 30 :** Les indices de diversité ; indice de Schannon, Equitabilité, l'indice de Margalef et l'indice de Simpson.

L'ensemble des peuplements récoltés présentent des fluctuations des indicateurs de diversité. Dans ce cas, les indicateurs de diversité des stations 02 ; 05 ; 06 ; 07 sont les plus

élevées, ce qu'ils signifient que ces stations présentent des peuplements bien diversifiés avec une distribution d'abondance régulière entre les stations.

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les stations 01 ; 03 ; 04 ; où il existe deux taxons dominants avec un faible nombre de taxons.

## **IV-2-2-Analyse qualitative et quantitative de la faune benthique**

### **IV-2-2-1-Classe des Insectes**

Chez la majorité des insectes aquatiques seuls les stades immatures vivent dans l'eau. Les adultes et dans certains groupes sont terrestres l'exception faite sur quelques Hémiptères et Coléoptères dont tout le développement des larves en adultes se fait dans l'eau (Dejoux *et al.*, 1968).

Les insectes et plus particulièrement leurs larves, constituent l'essentiel des macroinvertébrés aquatiques (Tachet *et al.*, 1980). Ils constituent aussi par le nombre d'individus et la diversité des taxons la classe la plus importante des Arthropodes et même de l'ensemble du règne animal (Beaumont et Cassier, 1983). Ils représentent le groupe le plus dominant dans l'inventaire global de la faune (86,32 %). Les principaux ordres récoltés sont présentés comme suit :

#### **IV-2-2-1-1-Hétéroptères**

Les Hétéroptères ont été les plus abondants soit 24,87% de la faune totale du lac Tonga, avec un effectif totale de 431 individus. La répartition des Hétéroptères dans nos zones d'étude révèle l'existence de ces invertébrés dans toutes les stations avec des proportions variables (Fig.31).

Toutefois, le nombre d'individus récoltés est plus importants dans les stations 02 et 05. Ils ont été représentés par huit taxons et quatre familles dont l'abondance diffère d'une famille à l'autre : Naucoridae (70,05%), Corixidae (17,28%), Pleidae (10,37%) et Notonectidae (2,3%).

De nombreux travaux ont été consacrés aux Hémiptères-Hétéroptères aquatiques de l'Afrique, notamment l'Afrique du Nord. Parmi les recherches effectuées en Algérie, nous pouvons citer celles de Poisson (1926), les nombreux travaux de Poisson (1926, 1928, 1929a, 1933a, 1938, 1939 et 1940), Eckerlein et Wagner (1965). Ils ont essentiellement travaillé au

niveau des eaux continentales du Nord du pays, autrement dit dans les rivières, mares, lacs, et barrages du littoral, des Aurès, de l'Ouarsenis, des Hauts-plateaux et de l'Atlas Saharien.

Selon Poisson tout milieu aquatique peut héberger des espèces d'Hétéroptères, du marécage, de la tourbière au plus petit ruisseau ou à la plus petite mare. Ce mode de vie leur confère un certain nombre d'adaptations comme les pelotes hydrofuges des pattes, les soies natatoires, les siphons respiratoires, les plastrons aérifères. Ces insectes reprennent plus ou moins leur activité en période hivernale dès que la température s'adoucit (Polhemus et Polhemus, 2008).

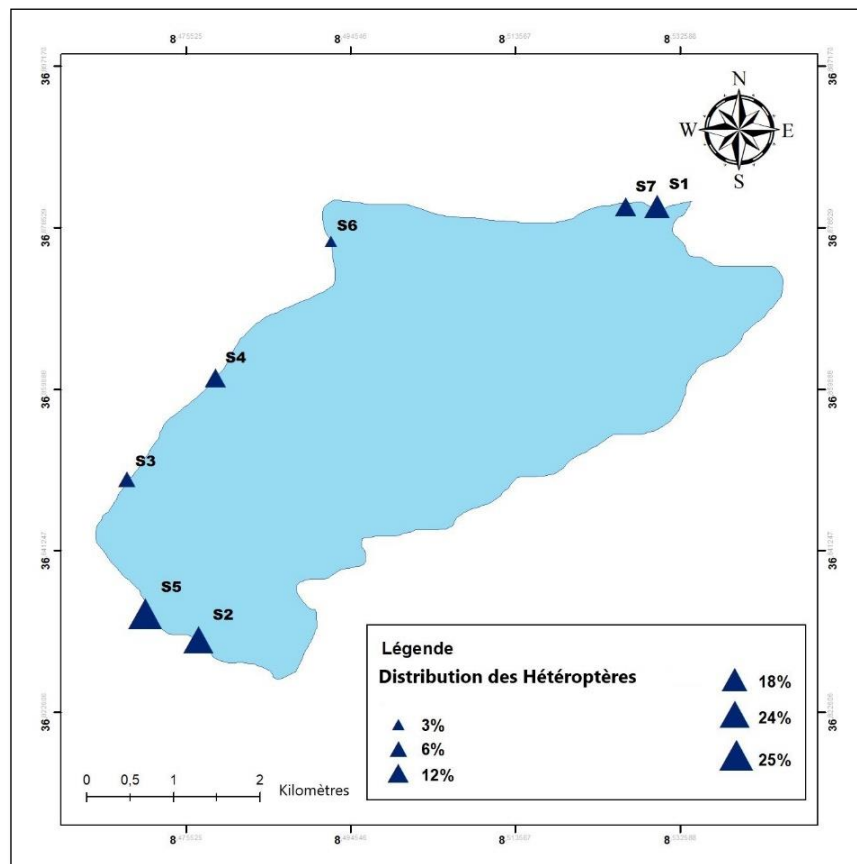


Figure 31 : La distribution des Hétéroptères au niveau des sept stations.

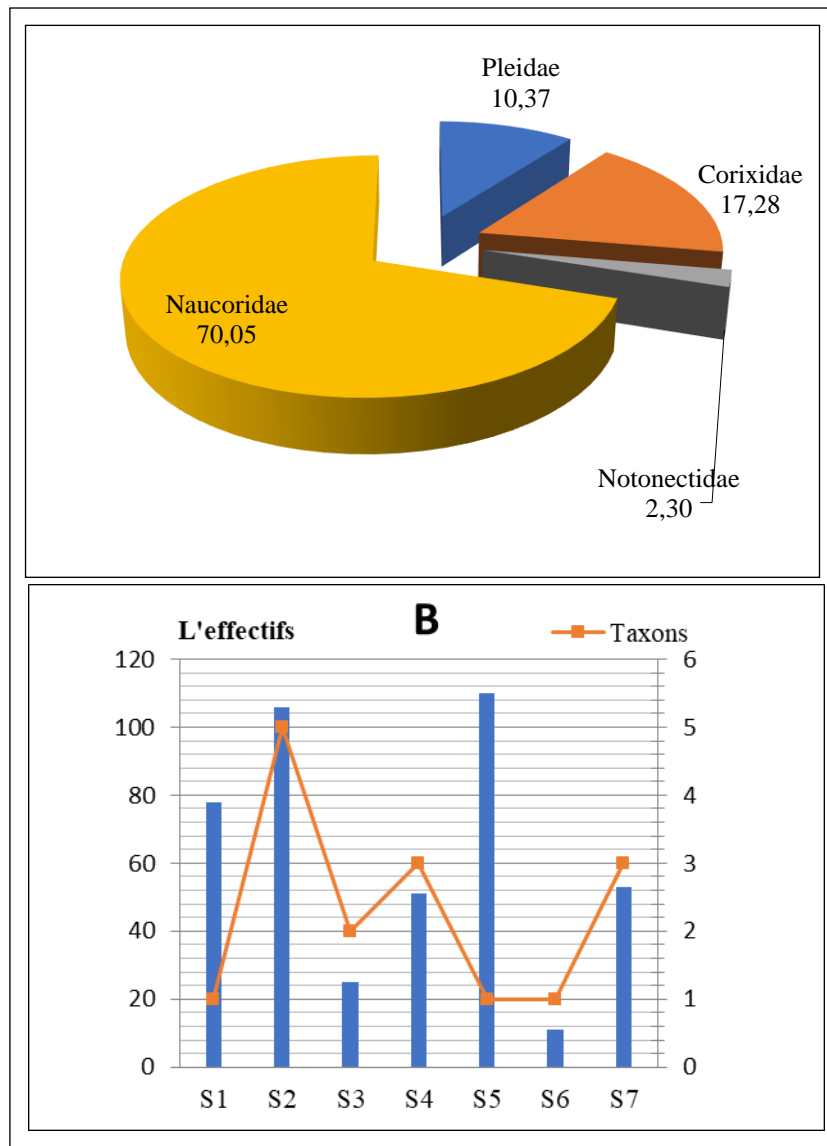
La majorité des espèces est prédatrice, certaines ont un régime détritophage ou phytophage (algues) et toutes sont sensibles aux caractéristiques des milieux aquatiques qui les hébergent (nature du substrat, structure et composition de la végétation fermeture des milieux, taux de minéralisation de la matière organique, taux d'oxygène dissout, pH, pollution (Elder, 2012). Ils constituent une ressource alimentaire pour divers organismes comme les amphibiens, les poissons, les oiseaux ; elles sont des maillons importants des

réseaux trophiques. Ils sont également de bons bioindicateurs, notamment pour les métaux lourds comme le mercure.

**a- Naucoridae**

Naucoridae était la famille la plus commune dans toutes les stations fournies par deux genres et deux espèces: *Naucoris maculatus* et *Ilyocoris cimicoides*.

La Super famille des Naucoroidea renferme une seule famille, les Naucoridae (Parsons, 1975). La famille est divisée en huit sous-familles (Miller, 1965) mais d'autres auteurs comme Hutchinson (1933) considèrent l'une d'entre elles, les Aphelocheiridae, comme une famille à part.



**Figure 32** : L'abondance (A) et la répartition (B) des Hétéroptères dans les sept stations d'étude.

Ils chassent en poursuivant activement leurs proies (larves d'autres insectes, larves d'amphibiens, alevins de poissons...). Les Naucoridae utilisent un plastron de poils ultramicroscopiques pour créer une forme physique de respiration branchiale, évitant ainsi le besoin de surface pour l'air et leur permettant de chasser les proies sous les pierres dans les cours d'eau (Polhemus et Polhemus, 2008)

#### **b- Corixidae** Leach, 1815

Dans nos récoltes la famille des Corixidae est représentée par 04 taxons *Paracorixa concinna*, *Corixa*, *Micronecta* et *Sigara*. Ils sont notés dans toutes les stations sauf à la station 01 et 04, mais à faible abondance.

Corixidae est l'une des familles qui renferme le plus grand nombre de genres et des espèces.

Les Corixidae fréquentent les mares, les étangs, la zone littorale des lacs, les cours d'eau, mais peu des espèces sont connues des eaux courantes rapides, la plupart cependant se contenant dans les eaux douces (Poisson, 1957). La plupart des Corixidae sont omnivores, avec un large éventail de préférences alimentaires.

Les Corixidae habitent des eaux de toute nature ; d'une façon générale, ils sont plutôt limnophiles, recherchant les eaux calmes et tranquilles. Comme l'ont constaté divers auteurs, notamment Poisson (1936) et Macan (1941), l'écologie varie d'une espèce à l'autre ; le premier de ces auteurs a fait diverses remarques sur la plus ou moins grande euryhalinité ; certaines espèces aussi, d'après Macan (1941), recherchent les eaux à végétation abondante, d'autres encore les tourbières, les mares sur sol calcaire, ou même les eaux polluées, souillées par les déjections de bétail.

#### **c- Pleidae** Fieber, 1851

Elle fréquente les eaux calmes, douces à saumâtres, où elle chasse les cladocères et autres animalcules qu'elle poursuit en nageant sur le dos.

Dans les stations étudiées la famille Pleidae est représentée par 02 taxons : *Neoplea* et *Plea*

**d- Notonectidae** Leach, 1815

La famille des Notonectidae est très rare dans nos prélèvements, elle est notée seulement dans deux stations ; S2 et S4.

Aucune description complète de la vie des insectes appartenant au genre *Notonecta* n'a été faite jusqu'au travail de Hungerford, sur l'histoire de *Notonecta undulata* paru en 1919. Brocher (1909) et d'autres ont écrit sur les aspects particuliers de la vie des Notonectidae, mais beaucoup de problèmes restent encore non résolus. Bueno (1905) a fait une courte étude sur la famille des Notonectidae, mais très peu de choses sont connues sur la distribution saisonnière des *Notonecta* (Hutchinson, 1993).

Ils sont des aquatiques de pleine d'eau, excellents nageurs, ils ne nagent toutefois pas sur de longues distances. Ces insectes dans les lacs, les étangs, les pièces d'eau de toutes sortes qu'ils colonisent, se localisent, selon les espèces, soit dans des zones ensoleillées, soit à l'ombre, soit parmi les plantes aquatiques (Poisson, 1957). Les Notonectidae sont à l'occasion, la proie d'autres prédateurs aquatiques comme les Népidés, les grosses larves d'Odonates et de certains oiseaux aquatiques, mais rarement semble-t-il, de poissons.

**IV-2-2-1-2-Diptères**

De point de vue abondance, les Diptères viennent en deuxième position après les Hétéroptères, par un effectif de 371 individus, soit 21,41 % de la faune totale collectée. Ils ont représentés dans toutes les stations avec des proportions variables (Fig.33, Fig.34). On a constaté 6 taxons et 5 familles dont la plus dominante est celle des Culicidae (80%), suivi par les Chironomidae (16,17%), Dixidae (1,35%), et Chaobridae (1,89%) et Ephydriidae (0,27%).

Les larves de Diptères constituent, en nombre et en diversité, un pourcentage important de la faune récoltée dans les eaux douces (Thomas, 1969). Les formes aquatiques sont par contre moins nombreuses que les formes terrestres mais bien souvent ils sont d'un intérêt économique et médical. Les éléments de ce groupe d'insectes possèdent une grande capacité de coloniser divers biotopes pollués ou non pollués.

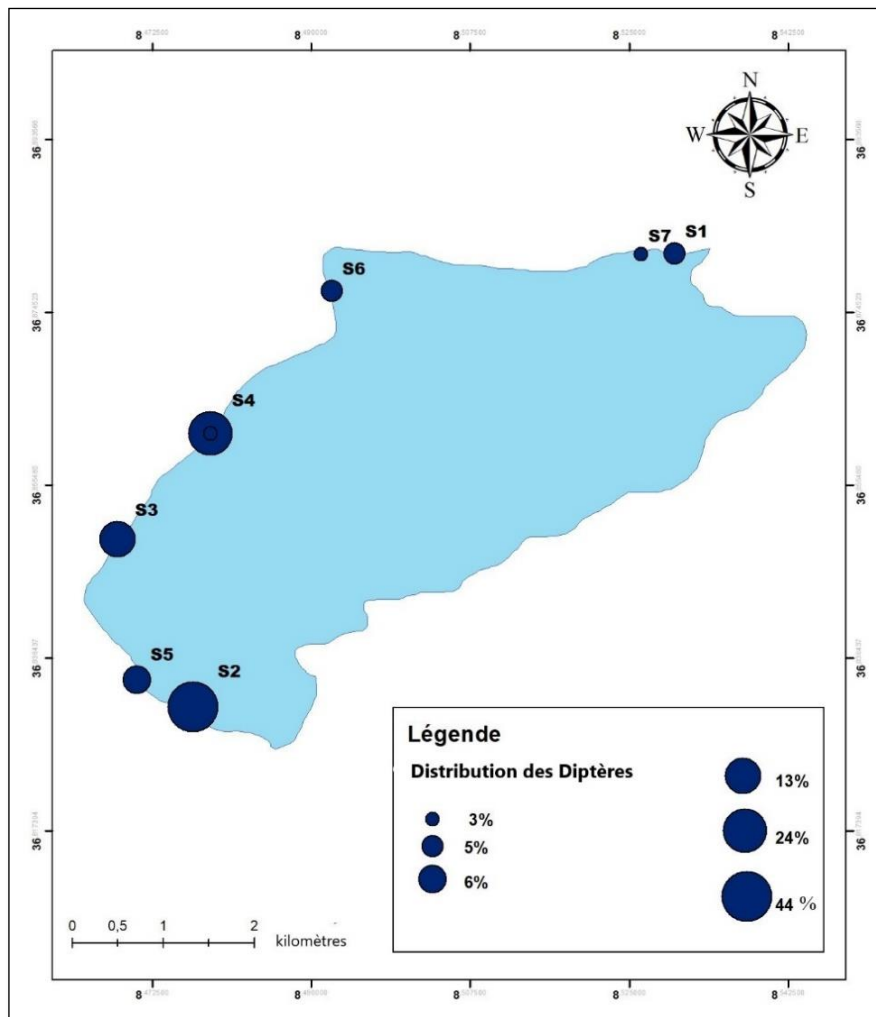


Figure 33 : La distribution des Diptères au niveau des sept stations

**a- Culicidae**

Les culicidés étaient les plus abondants de l'ordre des Diptères avec un effectif de 298 individus soit 80,32%, ils sont récoltés en grand nombre dans la station 2, ils étaient constitués de 02 taxons : *Culex* et *Coquillettidia*.

La famille des Culicidae est un groupe diversifié d'insectes largement hématophages. Un certain nombre d'espèces sont des vecteurs de virus, de nématodes et de protozoaires (Benmalek *et al.*, 2018). En raison de leur grande distribution géographique, de leur abondance et de leur nocivité, les moustiques ont transmis diverses maladies aux humains et aux animaux (Boudemagh *et al.*, 2013).

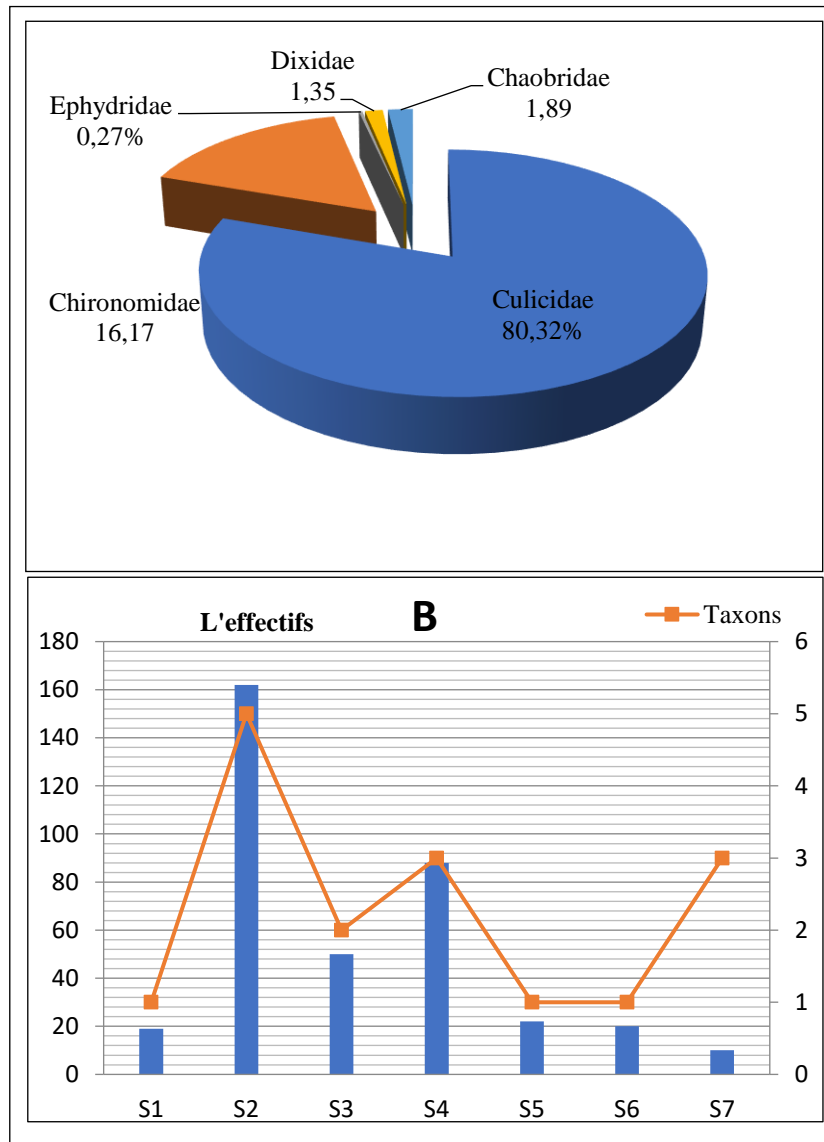


Figure 34 : L'abondance (A) et la répartition (B) des Diptères dans les sept stations d'étude.

**b- Chironomidae**

Les Chironomidae occupent la deuxième place dans l'ordre des Diptères (16,17%), la sous famille Chironominae, représentés par *Chironomus* et le tribu Tanytarsini .

Les autres familles de Dixidae, Chaobridae, Ephydriidae sont peu abondants, elles ne constituent que par 11 individus, soit 3,51% de l'ordre des Diptères.

Les Chironomidae sont une famille d'insectes d'eau douce, largement répandue et souvent la plus abondante dans les écosystèmes lenticules et lotiques (Zerguine *et al.*, 2018). Les Chironomidae constituent un groupe très diversifié d'insectes aquatiques (Chaïb *et al.*, 2013).

Certaines espèces de cette famille peuvent également tolérer et se développer dans les eaux polluées. Par conséquent, ils sont souvent utilisés comme indicateurs des conditions trophiques dans les lacs (Maiolini *et al.*, 2006). Ces espèces sont opportunistes, ils sont parmi les premiers invertébrés à coloniser le milieu aquatique durant les périodes d'eutrophisation ou d'enrichissement organique (Armitage *et al.*, 1995).

#### IV-2-2-1-3-Coléoptères

Ils constituent un groupe plus ou moins diversifié que les autres groupes. Ils sont représentés par 22 taxons et neuf familles. Si l'on considère la richesse taxonomique au niveau de chaque famille, les Hydrophilidae, les Dytiscidae et les Hydraenidae sont les mieux représentées.

En effet, la richesse taxonomique au niveau des familles des coléoptères collectés est composée de: Hydrophilidae (37,61%), Dytiscidae (30,03%), Hydraenidae (13,99%), Hylophoridae (6,12%), Haliplidae et Elmidae (4,37%), Hydrochidae (2,92%), Gyrinidae et Hygrobiidae (0,29%). Leur abondance est plus marquée au niveau de la station 5 par un effectif de 205 individus, avec une faible distribution dans les autres stations, en effet il est presque absent dans la station 4 par un effectif de seulement huit individus.

La région méditerranéenne est considérée comme un des hotspot de la biodiversité des coléoptères aquatiques en raison de la grande richesse des espèces dans la région (Jäch et Balke, 2008). D'après Bertrand les Coléoptères sont parmi les insectes les plus abondamment représentés dans les eaux douces, soit à l'état parfait, d'imago, soit à l'état larvaire.

D'après Angus (1973), Lounaci (1987) et Mebarki (2001), la végétation immergée, le substrat à granulométrie fine, la température de l'eau et les potentialités trophiques sont les facteurs de répartition les plus influents sur les éléments de ce groupe d'insectes. Leurs adaptations comportementales et morphologiques au milieu aquatique sont exceptionnellement diverses. Les plus petits coléoptères sont de moins de 1 mm, les plus grands d'environ 5 cm de long (Jäch et Balke, 2008).

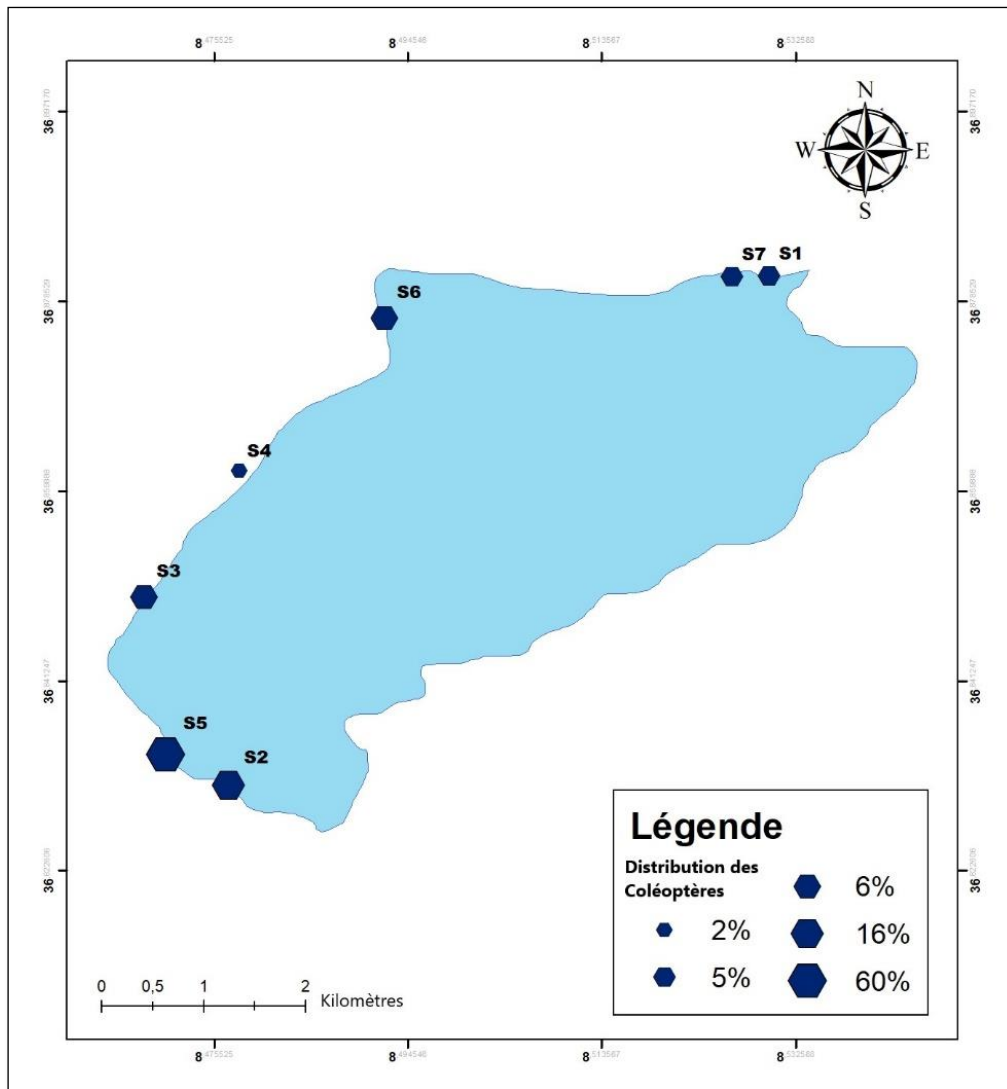
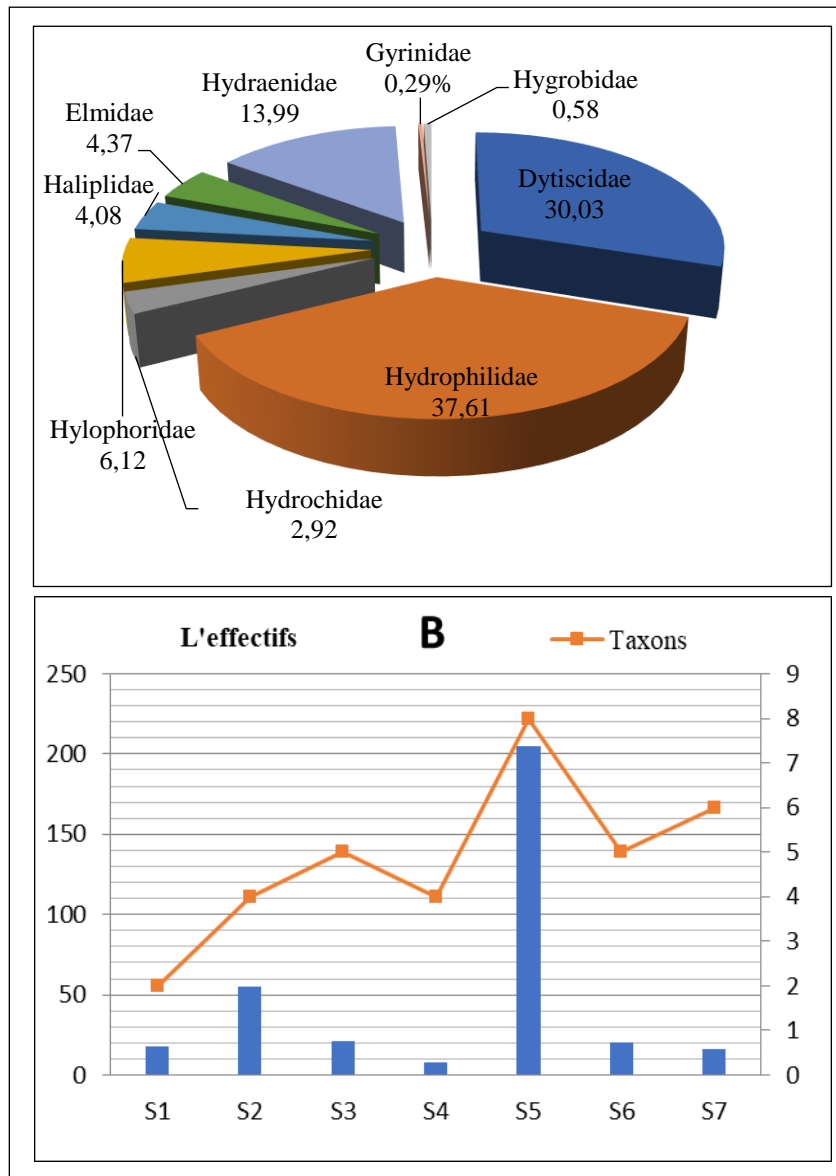


Figure 35: La distribution des Coléoptères au niveau des sept stations.

#### a- Hydrophilidae

La famille des Hydrophilidae était la plus importante numériquement et elle représente la seconde famille la plus diversifiée des Coléoptères récoltés. La répartition des Hydrophilidae dans nos stations d'étude révèle l'existence de ces invertébrés dans toutes les stations avec des proportions variables. Elle compte 129 individus et représente 37,61 % de l'ordre des Coléoptères. Elle compte six taxons: *Enochrus*, *Paracymus*, *Berosus Signaticollis*, *Laccobuis*, *Hydrobius* et *Helochaeres tristis*.



**Figure 36 :** L'abondance (A) et la répartition (B) des Coléoptères dans les sept stations d'étude.

La famille des Hydrophilidae est particulièrement bien connue en raison de ses espèces aquatiques qui habitent un large éventail d'habitat, y compris les bords des lacs et des ruisseaux et des marais ouverts (Fikáček *et al.*, 2014). Ils représentent environ les deux tiers de la famille, soit près de 2000 espèces (Fikáček *et al.*, 2015).

**b- Dytiscidae**

Dans les stations étudiées, les Dytiscidae avec 103 individus forment 30,03 % du peuplement des Coléoptères. Elle est la plus diversifiée et elle représente la seconde famille la plus importante numériquement des Coléoptères récoltés. Elle est composée de quatre sub-familles et neuf taxons :

- La sous-famille des Dytiscinae représente trois taxons *Dytiscus*, *Eretes* et *Cybister*.
- La sous -famille des Laccophilinae se compose par un seul taxon *Laccophilus*,
- La sous -famille des Hydroporinae par deux taxons *Hydroporus* et *Hydroglyphus*.
- La sous -famille des Agabinae avec un seul taxon: *Agabus*.
- La sous-famille des Colymbetinea avec un seul taxon: *Rhantus*.

Dytiscidae est la famille de coléoptères la plus diversifiée dans laquelle les adultes et les larves sont aquatiques avec des extrêmes adaptations morphologiques et écologiques (Ribera *et al.*, 2008). Les adultes et les larves sont prédateurs et s'attaquent à une grande variété d'organismes aquatiques. Les Dytiscidae sont présents pratiquement dans tous les écosystèmes aquatiques d'eau douce (Alarie, 2011).

#### c- Hydraenidae

Les Hydraenidae sont surtout aquatiques, mais certaines espèces sont terrestres tout au long du cycle de vie. Ils vivent dans divers habitats riverains et littoraux.

Dans les stations étudiées, la famille des Hydraenidae forme 13,99% de l'ordre des Coléoptères. Elle est moins abondante et moins fréquente. La famille des Hydraenidae est représentée par deux taxons ;

- *Ochtebius* : il représente le deuxième plus grand groupe de la famille des Hydraenidae avec presque 400 espèces (Sabatelli, 2013). Dans nos résultats il est moins fréquent et moins abondant où il colonise seulement les stations 3, 5 et 7.
- *Hydraena*: selon Lounaci (2005), les *Hydraena* sont eurythermes et à large valence écologique. Tous comme les *Ochtebius*, les *Hydraena* ont été moins fréquents et moins abondants, ils occupent les stations 2, 5 et 6.

#### d- Les autres familles

Les Familles des Hylophoridae, Elmidae, Haliplidae, Hygrobiidae et Gyrinidae sont représentés avec un seul taxon ; *Helophorus*, *Limnius*, *Halipilus*, *Hygrobia* et *Gyrinus* respectivement.

La plupart des taxons sont très peu fréquents et très peu abondants dans les stations étudiées. Leur répartition est certainement incomplète. Certains sont récoltés en de rares exemplaires dans une seule station comme le taxon *Hygrobia* était présent seulement dans la station 4.

IV-2-2-1-4-Ephéméroptères

La prospection de toutes les stations nous a permis de récolter 298 individus soit 17,20% de la faune totale. Elles sont l'ordre le moins diversifié dans ce travail. L'effectif important de ces organismes est collecté à la station 2 avec 99 individus.

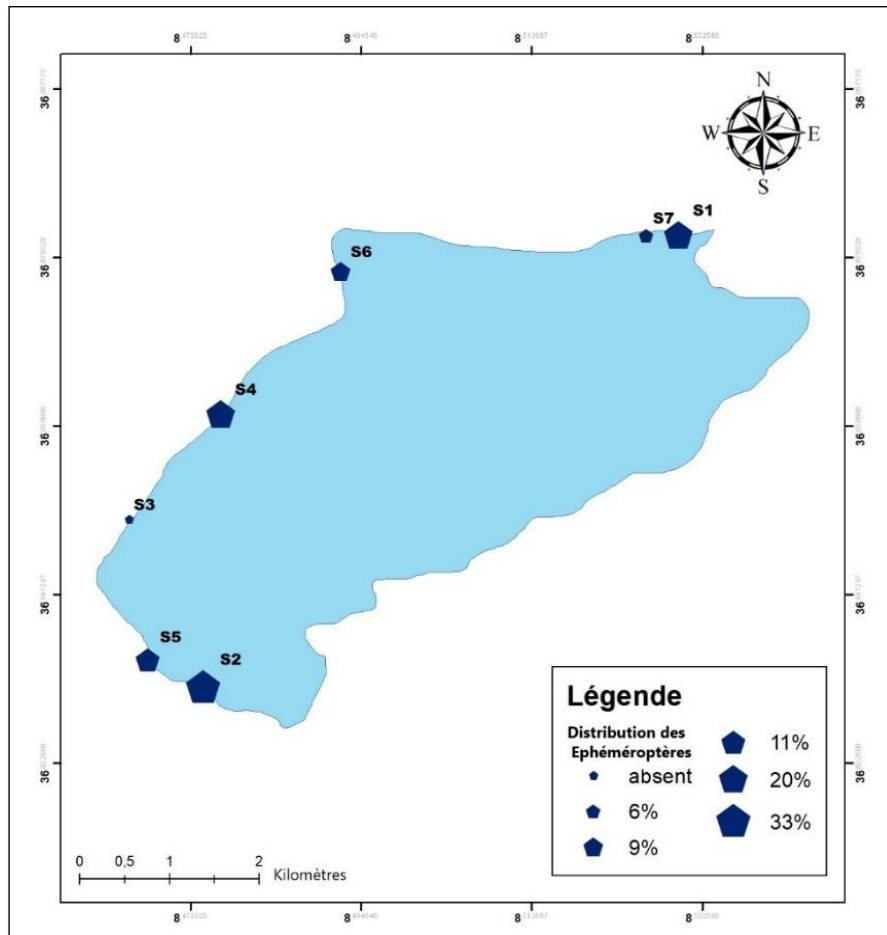
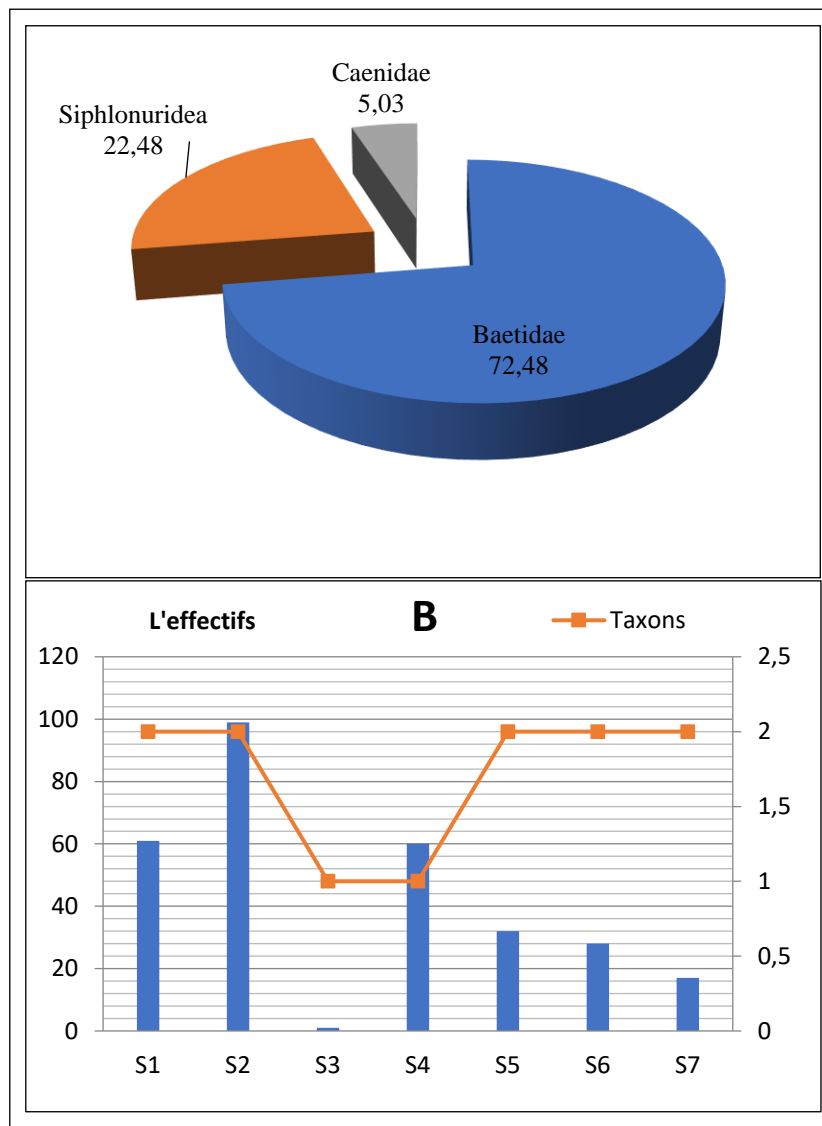


Figure 37 : La distribution des Ephéméroptères au niveau des sept stations.

Ce groupe se compose de trois familles dominées par celle des Baetidae (72,48%), elle est abondante et assez fréquente dans toutes les stations avec un effectif de 216 individus suivi par les Siphonuridea (22,48%) où elle colonise seulement les stations S2, S3 et Caenidae était la moins abondante forme (5,03%) de l'ordre des Ephéméroptères (Fig.37, Fig.38). Chaque famille était contribué par un seul taxon respectivement : *Baetis*, *Siphonurus* et *Caenis*.



**Figure 38** : L'abondance (A) et la répartition (B) des Ephemeroptères dans les sept stations d'étude.

Les éphémères constituent un ordre d'insectes intimement lié à la vie aquatique, elles sont des insectes très délicats reconnaissables à leurs deux ou trois cerques ou « queues » au bout de l'abdomen. Ces insectes sont très sensibles tant aux pollutions qu'aux modifications anthropiques des milieux. Diverses études ont montré que ce groupe est un matériel favorable dans les études écologiques, notamment dans l'estimation de la qualité biologique des eaux. Ils se caractérisent par leur grande valeur bio indicative vis-à-vis des nuisances subies par les cours d'eau, du fait que ce groupe contient une forte proportion d'espèces ayant des exigences écologiques strictes (Bebba, 2015).

IV-2-2-1-5-Odonates

Les Odonates sont représentés en faibles proportions comparées aux autres ordres avec seulement 60 individus, soit 3,46 % de la faune totale. Les effectifs et la diversité taxonomique sont plus importants à la station 7 par rapport aux autres stations où ils sont absents complètement dans la station 6 (Fig.35). Cet ordre est composé de huit taxons et cinq familles dont la plus importante est celle des Aeshnidae 50%, puis les Coenagrionidae (30%), Libellulidae (11,67%) Calopterygidae (5%) et Lestidae (3,33%) (Fig.36).

Avec 5680 espèces existantes, les Odonates constituent un nombre relativement faible d'insectes. D'après Aguesse (1968) la vie des larves de ces insectes est en effet aquatique, de même que la ponte des Imagos (à l'exception toutefois de certaines espèces, telles que les *Lestinae*.)

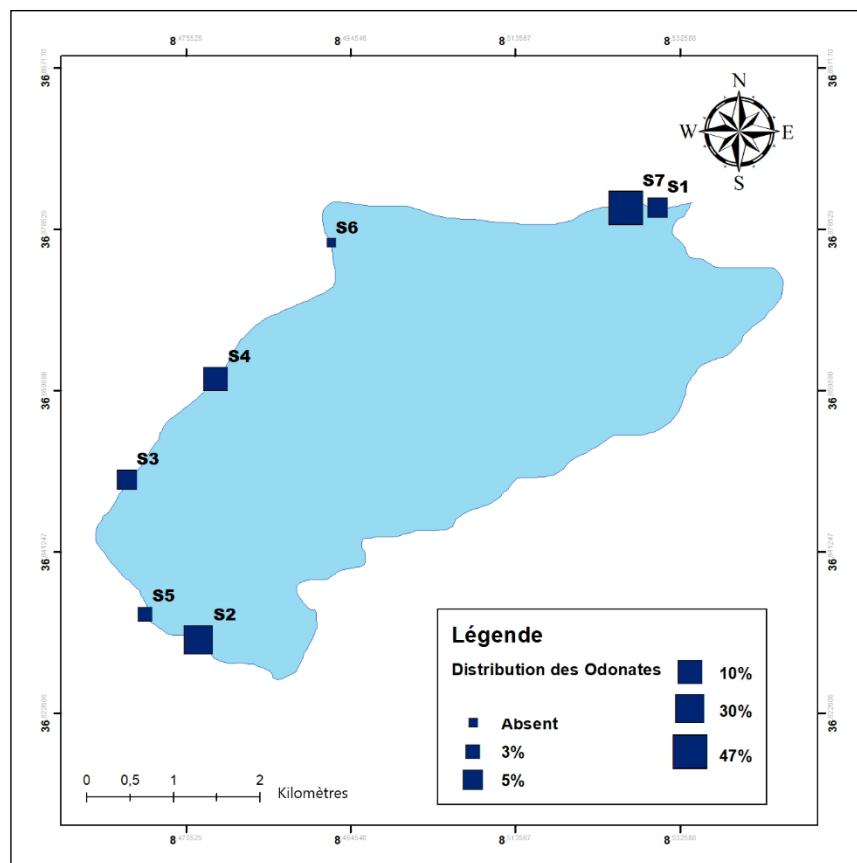
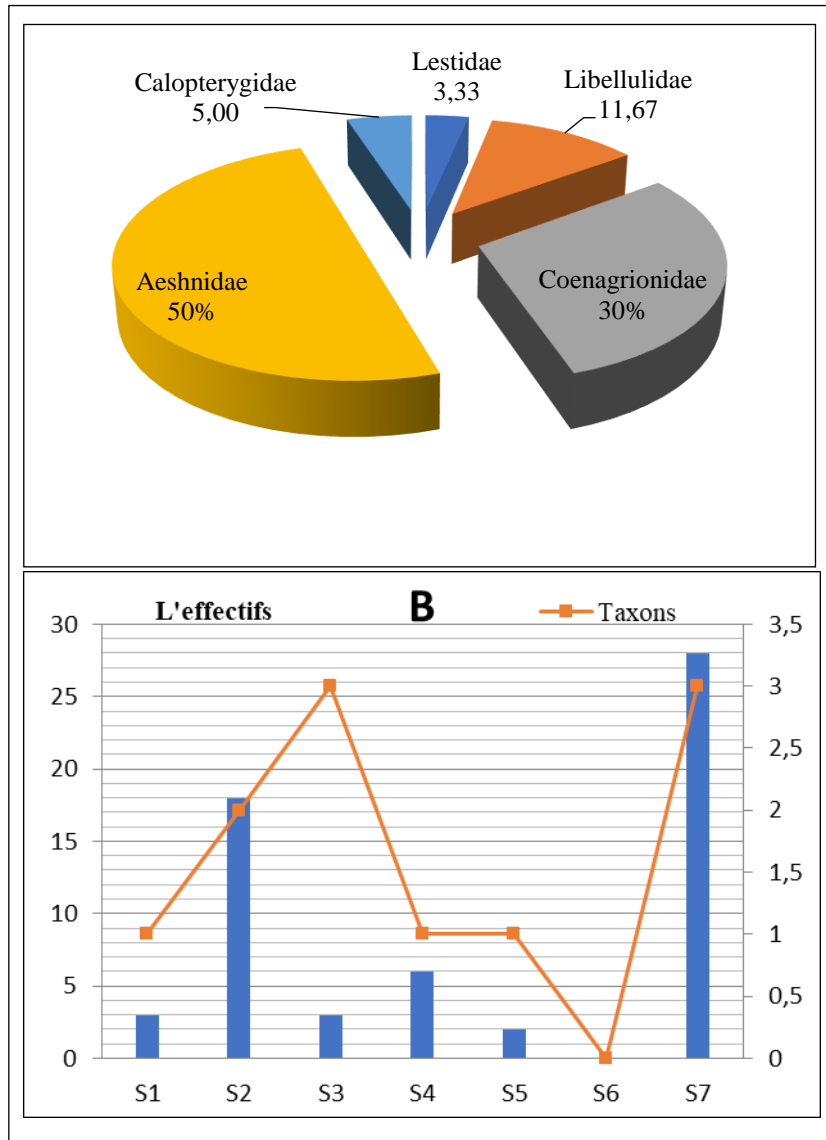


Figure 39 : La distribution des Odonates au niveau des sept stations.



**Figure 40 :** L'abondance (A) et la répartition (B) des Odonates dans les sept stations d'étude.

Leur taille et leur couleur et leur comportement diurne et souvent remarquable en font un groupe populaire pour les entomologistes professionnels et amateurs. Les Odonates sont reconnues par leur abdomen, grands yeux globulaires, qui constituent souvent une grande partie de la tête; antennes courtes et les ailes (Kalkman, 2008).

Jusqu'à très récemment, les odonates étaient composées de trois sous-ordres: les Anisoptères, aussi connus sous le nom de libellule; les Zygoptères, ou demoiselles et les Anisopzygoptères ou comme l'indique le nom, est un composite morphologique des deux sous-ordres précédents.

Ils sont devenus des outils essentiels pour l'évaluation écologique des écosystèmes aquatiques et la biosurveillance des zones humides (Bouchelouche *et al.*, 2015). La pollution

et d'autres impacts anthropiques affectent négativement les communautés d'odonates et réduisent la biodiversité des zones humides (Clark et Samways, 1996).

#### a- Les Zygoptères

Ce sont des Odonates aux formes grêles, le plus souvent de petite taille, aux yeux nettement séparés, rejetés aux extrémités latérales de la tête, à l'abdomen toujours mince, parfois extrêmement long, au vol lent et de faible puissance et portant leurs ailes accolées verticalement au repos.

Les larves de Zygoptères présentent une tête plus large que le corps. Ce dernier est allongé avec un abdomen étroit et cylindrique qui se termine par trois branchies en forme de feuille. Ce groupe se compose de trois familles :

- Coenagrionidae: Cette famille représente 30 % de l'ordre des Odonates, elles sont collectées au niveau de quatre stations ; S2 ; S3 ; S5 ; S7. La famille des Coenagrionidae est constitués par trois taxons ; *Ishnnura*, *Phyrrhosoma nymphula*, *Coenagriides*. Les larves aquatiques se nourrissent en capturant des larves et insectes aquatiques, sous sa forme larvaire. Elles passent l'hiver sous l'eau, jusqu'au printemps ou bien l'été suivant, la larve va grimper le long d'une tige pour sortir de l'eau, où elle va sécher. La peau se déchire, et l'insecte volant mature en sort pour s'envoler.
- Calopterygidae et Lestidae: ces familles constituent la fraction la plus restreinte de l'ordre des Odonates. Chaque famille se compose d'un seul taxon: *Calopteryx* et *Lestes* respectivement.

#### b- Les Anisoptères

Constituent le sous-ordre le plus spéciéux et sont plus faciles à observer. Regroupent les Odonates de taille moyenne et grande, à tête sphéroïde, aux yeux globuleux et massifs qui occupent presque toute la surface de la tête. A l'abdomen allongé et souvent élargi, au vol puissant et rapide dans la majorité des cas. Au repos, les Anisoptères maintiennent leurs ailes en position horizontale ou subhorizontale.

Les larves d'Anisoptères présentent une tête plus étroite que le corps avec un abdomen relativement massif et large qui se termine par cinq petites pointes triangulaires.

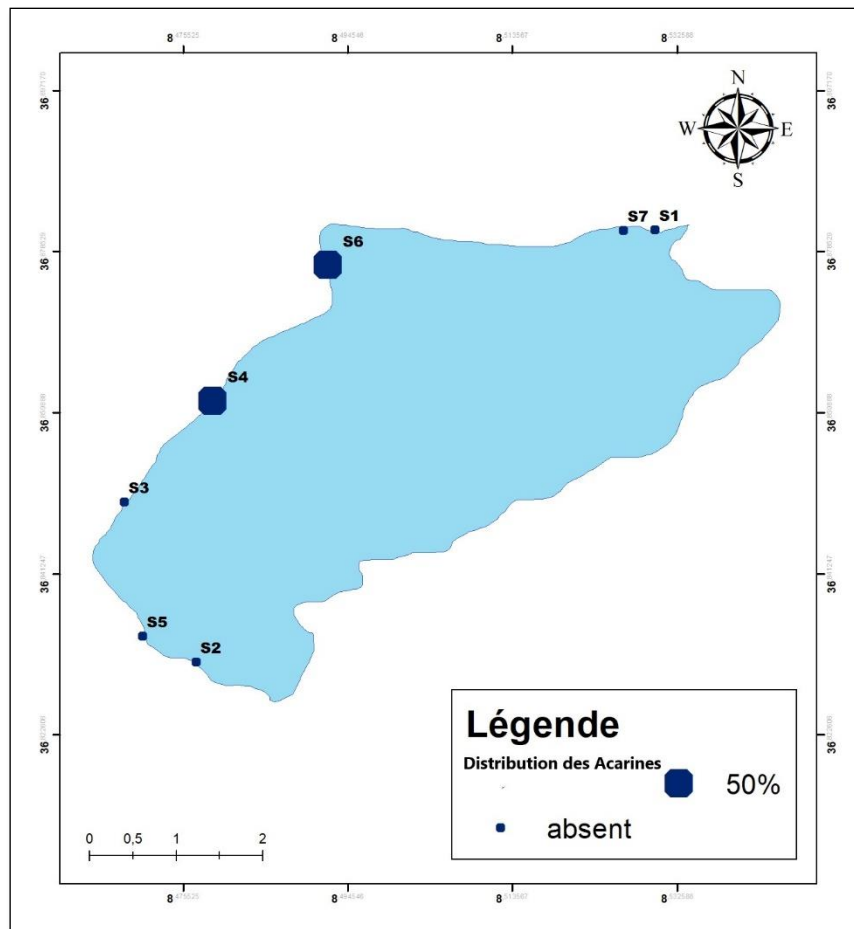
Ce groupe est constitué par deux familles :

- Aeshnidae: La famille Aeshnidae a été la plus abondante de l'ordre des Odonates, ce qui représente 50 %. Les effectifs importants sont collectés à la station 7 suivi par les stations 2 et 3 où elle est absente dans les autres stations. Cette famille est composée d'un taxon rare *Anax imperator mauriciannus* avec un autre taxon *Aeshna*.
- Libellulidae: ces Anisoptères sont collectés seulement aux stations 4 et 5, elle se compose d'un seul taxon *Sympetrum*.

#### IV-2-2-2-Classe des Arachnida

- **Acariens**

Les Acariens récoltés dans la présente étude sont représentés en très faibles proportions comparés aux autres ordres. Ces macroinvertébrés sont collectés seulement dans deux stations ; S4 et S6 cependant, ils sont absents aux autres stations. Les Acariens sont représentés par la seule famille des Hydrachenellae (Fig.41).



**Figure 41:** La distribution des Acariens au niveau des sept stations.

IV-2-2-3-Classe des Gastropodes

- **Basommatophora**

C'est un groupe peu diversifié dans cette étude. 235 individus soit 13,56% de la faune totale ont été inventoriés. Il est très réparti dans les stations étudiées, tant dans les stations 3 et 7.

Ce groupe d'invertébrés appartient à trois familles et trois taxons ; la famille des Physidae représente 72,34% de l'ordre Basommatophora, elle est la plus abondante et colonise toutes les stations d'études avec un seul taxon *Physa fontinalis*. La famille des Planorbidae est la deuxième famille en terme d'abondance après les Physidae avec 20% de ce groupe, elle est présente dans toutes les stations à l'exception de la station 5, elle était composée par un seul taxon *Planorbis*. La famille des Lymnaeidae constitue la faible fraction de ce groupe 7,66 % et faiblement représenté où elle peuple seulement trois stations 1, 4 et 7, elle était composée aussi par un seul taxon *Radix* (Fig.42, Fig.43).

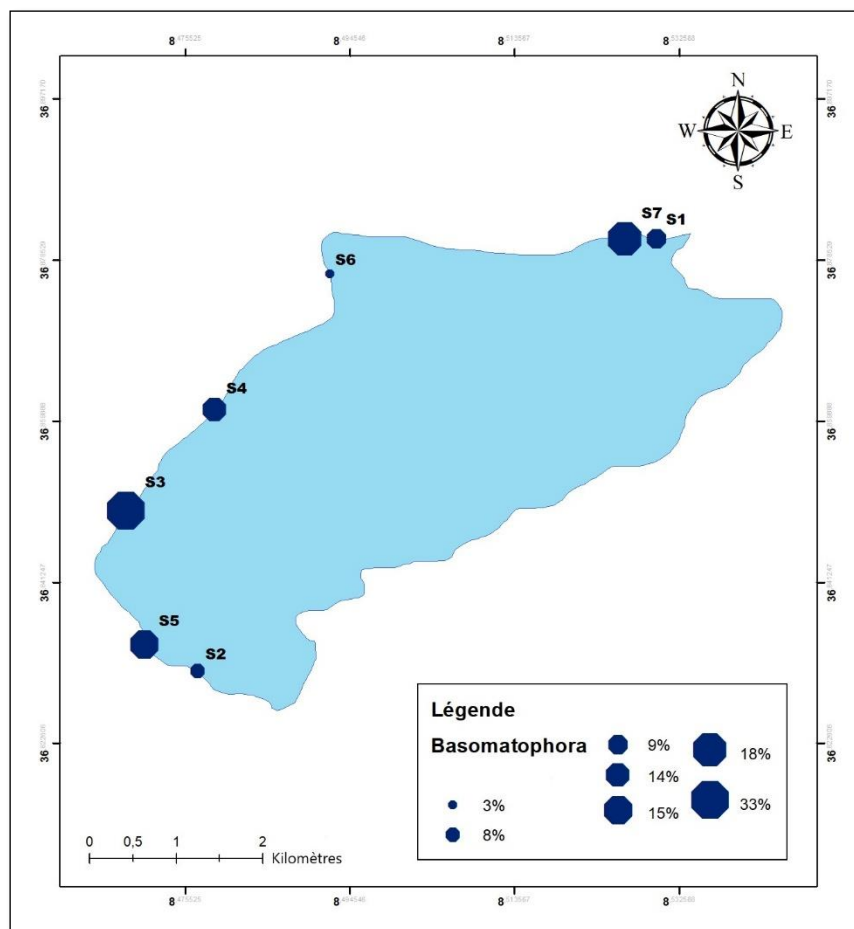
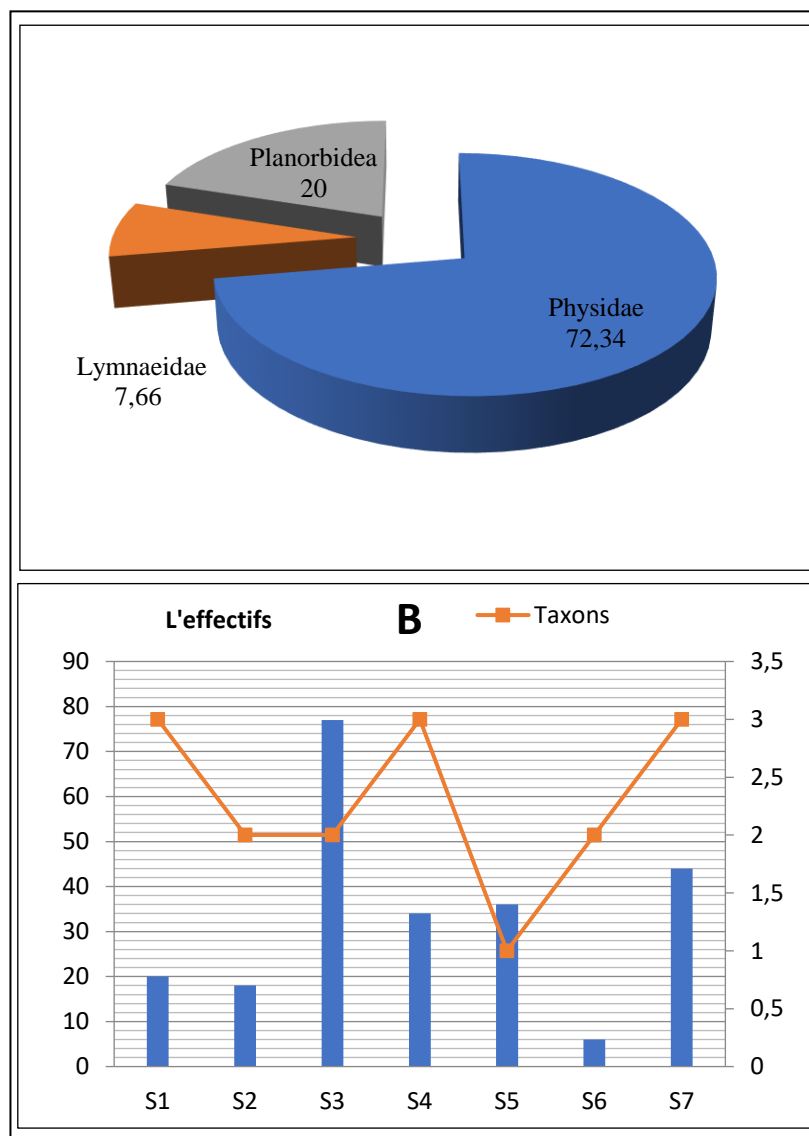


Figure 42 : La distribution des Basommatophora au niveau des sept stations.

Les mollusques d'eau douce se trouvent dans un large éventail d'habitats d'eau douce, ont des stratégies variées sur l'histoire de la vie et présentent des interactions écologiques complexes. Ces organismes présentent des degrés variables de susceptibilités aux changements des conditions du milieu (Legendr *et al.*, 1984). Les mollusques aquatiques sont exclusifs à ce milieu et, du fait de leur faible mobilité, reflètent les conditions qui les entourent. Shoup (1943) a observé que la distribution des gastéropodes d'eaux douces est reliée à l'alcalinité totale; des conditions de faible alcalinité constituent en effet un facteur défavorable puisque le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) est un élément essentiel à l'élaboration de la coquille.



**Figure 43 :** L'abondance (A) et la répartition (B) des Basommatophora dans les sept stations d'étude.

### IV-3-Evaluation de la qualité hydrobiologique du lac Tonga

#### IV-3-1-L'indice de qualité de l'eau(IQE)

L'IQE est basé sur une relation mathématique qui transforme plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eaux en un seul numéro, qui, à son tour, représente le niveau de qualité de l'eau (Guettaf *et al.*, 2017).

La qualité de l'eau du lac Tonga est calculé en utilisant six paramètres physico-chimiques : la température ; le pH ; le phosphore ; l'oxygène dissous ; les nitrates et la demande biologique en oxygène. Le tableau 16 indique la qualité de l'eau basée sur l'indice IQE.

**Tableau 16** : La qualité de l'eau basée sur l'indice de la qualité d'eau IQE.

Q value	T°C	pH	PO <sub>4</sub>	OD	NO <sub>3</sub>	DBO	Wi*Q	IQE
S1	16	74	98,9	90	70	79	50,62	73,36
S2	10	76	98,9	98	93	76	53,57	77,64
S3	14	91	97	94	69	67	51,36	74,43
S4	17	93	98,5	86	66	77	51,47	74,59
S5	17	80	98	80	63	73	48,23	69,89
S6	11	73	98	96	62	66	48,71	70,59
S7	15	91	98,9	91	64	78	51,85	75,14
<b>Tonga</b>	<b>73,66</b>							

Dans cette étude, les valeurs de l'IQE calculées varient de 69,89 à 77,64 et peuvent donc être classées en deux types de qualité d'eau, une qualité moyenne à bonne. La valeur minimum a été mentionnée au niveau S5 ce qui il indique une qualité moyenne et pour le reste des stations ont des valeurs entre 70,59 - 77,64 ce qui ils sont classés dans l'intervalle de bonne qualité.

Les indices de qualité de l'eau sont des outils efficaces et performants pour évaluer, organiser et communiquer des informations sur la qualité globale des plans d'eau (Krika et Krika, 2017). En Algérie, ou même l'Afrique, il n'existe pas d'indice spécifique d'évaluation de la qualité des eaux de surface. Par conséquent, le développement de modèles tels que l'IQE est nécessaire pour un contrôle efficace et rapide de la qualité de l'eau et pour une communication plus facile des résultats aux gestionnaires des ressources en eau (Guettaf, 2017).

### IV-3-2-Les indices de tolérance à la pollution

Les indices biotiques sont des outils d'évaluation de la qualité basés sur les différentes réactions des organismes aux changements environnementaux. Ils sont les plus utilisés car ils sont très robustes, sensibles, rentables, faciles à appliquer et faciles à interpréter (Chessman *et al.*, 1997). De nombreux indices biotiques basés sur les macroinvertébrés ont été établis car ils jouent un rôle central dans l'écosystème aquatique en participant à la décomposition de la matière organique et en constituant la principale source de nourriture pour d'autres invertébrés, poissons et certains oiseaux (Zeybek *et al.*, 2014). Dans la présente étude, nous avons établi quatre indices biotiques.

#### IV-3-2-1-Indice d'Hilsenhoff ou Indice biotique des Familles (FBI)

L'indice biotique a été initialement développé par Hilsenhoff (1982) pour fournir une seule « Valeur de tolérance », qui est la moyenne des valeurs de tolérance de toutes les espèces dans la communauté benthique des arthropodes. L'indice FBI est utilisé pour indiquer une perturbation dans l'écosystème aquatique sur une échelle de 1 à 10 basée sur les communautés de macroinvertébrés présentes et en fonction de leur tolérance à la pollution organique. Plus le score index est bas, plus l'eau est saine, une valeur du FBI de 5.01-5.75 indique une qualité d'eau moyenne ; une valeur de 5.76-6.50 indique une qualité plutôt mauvaise ; une valeur de 6.51-7.25 qualité d'eau Mauvaise et 7.26-10.00 indique très mauvaise qualité.

Dans la présente étude, une comparaison du FBI à travers les stations (Tab.17) a montré que la valeur plus élevée du FBI relevée à la station 3 indique une très mauvaise qualité d'eau, cette station avait également une valeur relativement faible de l'indice de diversité Schannon, suivi par station 4 et 6 avec une mauvaise qualité, due à la présence de taxons très tolérants tels que les Diptères, les Gastropodes. La pollution élevée dans ces stations était due aux impacts de l'activité anthropique, notamment l'application d'engrais synthétiques et de pesticides en agriculture et les déchets domestiques. FBI des autres stations variait entre 5,69- 6,63 ce qu'il indique une qualité moyenne à plutôt mauvaise.

La biodiversité des communautés d'insectes aquatiques dans un écosystème donné reflète souvent les conditions environnementales. Les espèces sensibles colonisant ces habitats en raison des conditions environnementales défavorables sont progressivement

éliminées et les espèces tolérantes établissent leurs colonies et se développent en abondance (Rosenberg et Resh, 1993).

**Tableau 17 :** Résultats de l'évaluation de la qualité biologique du lac Tonga en utilisant l'indice FBI

Les familles	FBI								Lac Tonga
	Valeur de tolérance	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Culicidae	8	1,29	2,08	2,47	3,14	0,68	2,35	0,4	6,53
Chironomidae	10	0	1,38	0	0,21	0	0	0,17	
Ephyridae	6	0	0,02	0	0	0	0	0	
Dixidae	1	0	0,01	0	0,01	0	0	0	
Chaobridae	8	0	0,02	0,21	0	0	0	0,13	
Corixidae	5	0	0,71	0,03	0,05	0,1	0,07	0,42	
Lestidae	6	0	0	0,04	0	0	0	0,05	
Libellulidae	9	0	0	0	0,28	0,03	0	0	
Coenagrionida	9	0	0,34	0,06	0	0,03	0	0,08	
Aeshnidae	3	0	0,02	0,02	0	0	0	0,65	
Calopterygidae	6	0	0	0	0	0	0	0	
Baetidae	6	2,95	0,51	0	1,85	0,72	2,12	0,5	
Siphonuridea	4	0	0,67	0,03	0	0	0	0	
Caenidae	7	0,18	0	0	0	0,03	0,41	0,41	
Dytiscidae	5	0,64	0,15	0,13	0,08	1,12	0,37	0,25	
Hydrophilidae	5	0	0,34	0,34	0,05	1,56	0,44	0,13	
Haliplidae	5	0	0	0	0	0,27	0	0	
Elmidae	5	0	0	0,1	0	0,15	0,15	0,08	
Gyrinidae	4	0	0	0	0	0,02	0	0	
Physidae	8	0,68	0,35	3,87	0,7	1,11	0,47	0,93	
Lymnaeidae	6	0,1	0	0	0,03	0	0	0,75	
Planorbidea	6	0,41	0,02	0,2	0,49	0	0,18	0,75	
<b>Total</b>		<b>6,39</b>	<b>6,63</b>	<b>7,5</b>	<b>7,14</b>	<b>5,83</b>	<b>6,56</b>	<b>5,69</b>	

#### IV-3-2-2-L'indice anglais BMWP ( Biological Monitoring Working Party )

Un certain nombre de méthodes ont été développées pour évaluer la qualité d'eau douce en fonction des espèces ou des taxons présents. La biosurveillance est considérée comme la méthode la plus appropriée pour les études environnementales et le contrôle de la qualité de l'eau, car les organismes vivants sont d'excellents biocapteurs des caractéristiques physicochimiques et biologiques de l'eau.

Le BMWP est l'un des indices de bioévaluation les plus utilisés pour l'évaluation de la qualité des écosystèmes aquatiques (Ruiz-Picos, 2017). Il s'agit d'une échelle de 1 à 10 suivant laquelle la sensibilité de différentes familles d'insectes et d'autres macroinvertébrés est notée, les scores les plus élevés étant attribués aux espèces les plus sensibles à la pollution organique (Gonçalves, 2011).

**Tableau 18** : Qualité de l'eau associée à l'indice BMWP.

<b>BMWP</b>	
<b>Les scores</b>	<b>La qualité biologique</b>
> 130	Très bonne qualité biologique
81-130	Bonne qualité biologique
51-80	Qualité biologique moyenne
11-50	Mauvaise qualité biologique
0-10	Très Mauvaise qualité biologique

La somme des scores des différents taxons trouvés sur un site donné donc un score total permettant de classer ce site d'échantillonnage dans l'une des cinq classes de qualité de l'eau (Tab.18) (Benetti *et al.*, 2012). En raison de sa facilité d'utilisation et de son faible coût, l'indice BMWP a été utilisé dans de nombreux pays d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et d'Amérique latine (Chang *et al.*, 2014). Les valeurs de l'indice utilisées sont mentionnées dans le tableau 19.

L'indice BMWP montré que les valeurs les plus élevées appartenaient à la troisième station avec un score de 75 tandis que les valeurs les plus bas appartenaient à la première station avec un score de 46, les stations S2, S4, S5, S6, S7 avec des scores de 71, 48, 57, 50, 73 respectivement. Lorsque l'indice biotique a été examiné en termes de classes de qualité de l'eau, les stations S1 et S4 ont été déterminées comme étant polluée avec une mauvaise qualité biologique, les stations S2, S3, S5, S6, S7 avec une qualité moyenne.

Les activités humaines peuvent influencer sur la distribution, la quantité et la qualité chimique des sources d'eau. Les activités humaines sont le principal contributeur à la charge de pollution dans les systèmes aquatiques. Les effluents industriels, commerciaux et domestiques qui sont directement rejetés dans les organismes aquatiques sont les principaux polluants des systèmes d'eau douce (Villaruel *et al.*, 2015).

**Tableau 19 :** Résultats de l'évaluation de la qualité biologique du lac Tonga en utilisant l'indice BMWP.

Les familles	Valeurs de tolérance	BMWP							Lac Tonga
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Culicidae	2	*	*	*	*	*	*	*	<b>60</b>
Dixidae	4		*		*				
Chironomidae	2		*		*			*	
Pleidae	5	*	*	*	*		*	*	
Corixidae	5		*	*	*	*	*	*	
Notonectidae	5		*		*				
Naucoridae	5	*	*	*	*	*	*	*	
Lestidae	8			*				*	
Libellulidae	6			*	*	*			
Coenagrionidae	6		*	*		*		*	
Aeshnidae	6		*	*				*	
Calopterygidae	8	*							
Baetidae	4	*	*		*	*	*	*	
Siphonuridea	10		*	*					
Caenidae	7	*				*	*	*	
Dytiscidae	3	*	*	*	*	*	*	*	
Hydraenidae	5		*	*		*	*	*	
Hydrophilidae	3	*	*	*	*	*	*	*	
Elmidae	5			*		*	*	*	
Gyrinidae	3					*			
Physidae	3	*	*	*	*	*	*	*	
Limnidi	3	*			*			*	
Planorbidea	3	*	*	*	*		*	*	
<b>BMWP</b>		<b>46</b>	<b>71</b>	<b>75</b>	<b>48</b>	<b>57</b>	<b>50</b>	<b>73</b>	

**IV-3-2-3- L'indice multimétrique ASPT( Average score per taxon)**

L'ASPT représente le score de tolérance moyen de tous les taxons de la communauté. Pour calculer l'ASPT, L'indice anglais BMWP a d'abord été déterminé. BMWP a été calculé en additionnant les scores individuels de toutes les familles et de l'ordre Oligochaeta au sein de la communauté. ASPT a ensuite été calculé en divisant le score BMWP par le nombre de taxons présents.

**Tableau 20** : Résultats de l'évaluation de la qualité biologique du lac Tonga en utilisant l'indice ASPT.

<b>Stations</b>	<b>ASPT</b>	<b>Qualité biologique</b>
<b>S1</b>	4,2	Mauvaise qualité biologique
<b>S2</b>	4,4	Mauvaise qualité biologique
<b>S3</b>	5,0	Qualité biologique moyenne
<b>S4</b>	3,4	Très mauvaise qualité biologique
<b>S5</b>	4,4	Mauvaise qualité biologique
<b>S6</b>	4,2	Mauvaise qualité biologique
<b>S7</b>	4,3	Mauvaise qualité biologique
<b>Tonga</b>	4,3	Mauvaise qualité biologique

Un score ASPT de 6 et plus indique une excellente qualité d'eau; le score ASPT de 5,00 à 5,99 indique une qualité d'eau moyenne; un score de 4,00 à 4,99 indique une pollution modérée présente sur le site, et un score inférieur à 3,99 indique que l'eau souffre d'une grave pollution.

On remarque que les valeurs du ASPT variait de 5 - 3,4 ; une comparaison à travers les stations a montré que le plus bas ASPT relevée au station 4 est 3,4 il indiquait une très mauvaise qualité d'eau et le plus élevée est 5 à la station 3 indiquait une qualité biologique moyenne, les stations S1,S6 avec un score de 4,2 ; la station 7 avec un score de 4,3 et les stations S2, S5 avec un score de 4,4 ce qu'il indiquait une mauvaise qualité biologique (Tab.20).

#### IV-3-2-4-L'indice biologique globale normalisé (IBGN)

L'IBGN est une méthode intéressante car c'est un outil permettant une représentation synthétique et rapide de l'écosystème étudié. Il prend en compte l'ensemble des invertébrés de la communauté et pas uniquement les groupes les plus sensibles. Il présente une certaine commodité de récolte, de manipulation et d'exploitation par rapport aux informations apportées. Par ailleurs, il présente de larges possibilités d'applications dans le cadre du suivi de la qualité écologique d'un cours d'eau. En effet, il peut être utilisé avec l'objectif de situer la qualité biologique d'un site considéré isolément, de suivre son évolution temporelle, ou encore de caractériser un gradient spatial (amont-aval perturbation).

**Tableau 21** : Valeurs moyennes de l'indice biologique global normalisé au niveau des stations.

Indices	IBGN						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
<b>Variétés Taxonomiques</b>	58	33	10	60	31	24	10
<b>Classe de variété</b>	14	10	4	14	9	7	4
<b>Groupes indicateurs</b>	2	2	2	2	2	2	2
<b>IBGN</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
<b>Couleur</b>	Vert	Jaune	Orange	Vert	Jaune	Orange	Orange
<b>Qualité eau</b>	Bonne	Moyenne	Médiocre	Bonne	Moyenne	Médiocre	Médiocre
<b>Pollution</b>	Faible	Modérée	Forte	Faible	Modérée	Forte	Forte

Les stations S1 et S4 présentent une bonne qualité avec un IBGN de 15 et un nombre d'individus assez importants (58 et 60). En effet l'existence des taxons polluo-sensibles (des Odonates et la famille des Siphonuridea) qu'on trouve que dans les eaux propres et disparaissent à la moindre perturbation. On obtient une qualité hydrobiologique moyenne pour les stations S2 et S5 avec un IBGN entre 11-10 et un nombre de taxon un peu plus élevées entre 33 et 31 et un groupe indicateur GI de 2 indiquant une légère dégradation de la qualité de l'eau et du milieu par rapport aux stations précédentes. Les familles présentes sont peu exigeantes vis-à-vis de la qualité de l'eau et du milieu, elles appartiennent à des groupes plus ou moins polluo-résistants tels que les Hétéroptères et les Coléoptères.

La qualité hydrobiologique de l'eau dans les stations S3, S6 et S7 est qualifiée de mauvaise, combinant une variété taxonomique faible comparé à les autres stations (10 et 24 taxons), ce qui entraînerait une limitation de la valeur de l'IBGN (entre 5 et 8) et la disparition

des taxons les plus polluo-sensibles et la dominance des espèces polluo-résistants qui indique une probable altération de la qualité de l'eau.

Pour vérifier l'évaluation de la qualité de l'eau du lac Tonga à l'aide de la FBI, l'indice biologique (BMWP), le score moyen par taxon (ASPT) et l'IBGN ont également été déterminés. Les indices présentent les mêmes fluctuations dans la même station mais malgré ça ils donnent des qualités différentes. L'écart entre les indices pourrait s'expliquer aux niveaux de classe de qualité et les systèmes de catégorisation ayant été limités par des valeurs différentes. Les classes de qualité d'ASPT ont à 4 niveaux ; les classes de qualité du BMWP et l'IBGN ont à 5 niveaux et les classes de qualité du FBI ont 7 niveaux. (Fig.44).

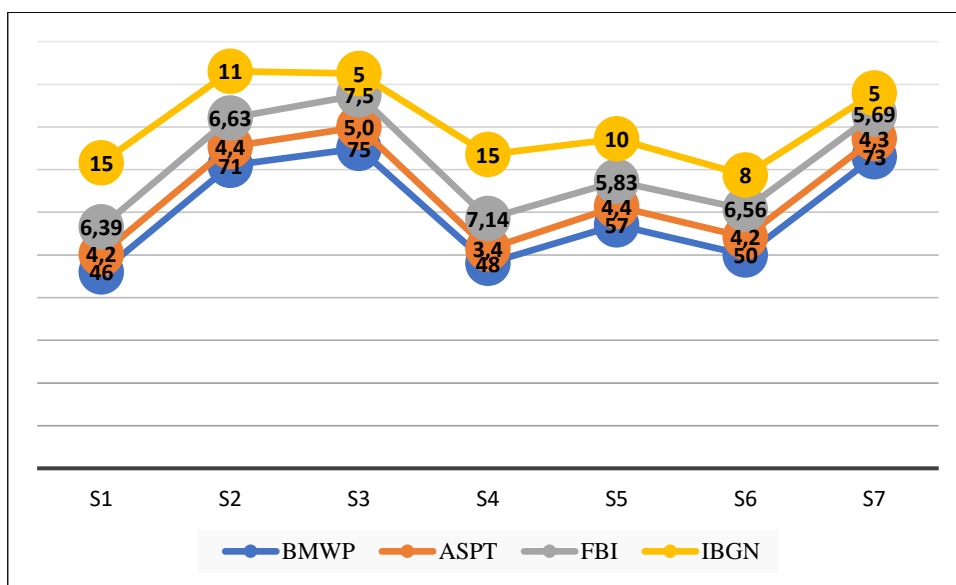


Figure 44 : Les quatre indices utilisés pour évaluer la qualité biologique du lac Tonga.

#### IV-4-Traitement statistique des données

##### IV-4-1-Matrice de corrélation

Le tableau 22 de corrélation récapitule les résultats de corrélation du test de Pearson pour les différents paramètres physicochimiques.

**Tableau 22 :** Matrice de corrélation des différents paramètres étudiés au niveau des sept stations.

Variables	T°eau	T°air	pH	CE	S (mg/l)	O2(mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DCO (mg/l)
T°eau	<b>1</b>											
T°air	<b>0,552</b>	<b>1</b>										
pH	0,307	-0,058	<b>1</b>									
CE	<b>0,550</b>	<b>0,797</b>	0,153	<b>1</b>								
S (mg/l)	0,349	<b>0,733</b>	0,082	<b>0,974</b>	<b>1</b>							
O <sub>2</sub> (mg/l)	-0,206	-0,218	-0,456	-0,231	-0,181	<b>1</b>						
NO <sub>3</sub> (mg/l)	-0,470	<b>-0,746</b>	-0,166	<b>-0,886</b>	<b>-0,863</b>	0,035	<b>1</b>					
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,037	-0,416	0,165	<b>-0,593</b>	<b>-0,680</b>	0,297	0,226	<b>1</b>				
NH <sub>4</sub> (mg/l)	-0,214	-0,280	0,229	<b>-0,699</b>	<b>-0,740</b>	0,072	<b>0,520</b>	0,626	<b>1</b>			
PO <sub>4</sub> (mg/l)	-0,146	-0,322	-0,035	<b>-0,766</b>	<b>-0,836</b>	0,094	<b>0,510</b>	<b>0,821</b>	<b>0,859</b>	<b>1</b>		
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	0,289	-0,211	0,118	<b>-0,580</b>	<b>-0,738</b>	0,025	0,405	<b>0,820</b>	<b>0,722</b>	<b>0,886</b>	<b>1</b>	
DCO (mg/l)	<b>0,880</b>	0,192	0,482	0,179	-0,040	-0,347	-0,153	0,351	0,060	0,180	<b>0,589</b>	<b>1</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

Les résultats de l'analyse montrent que :

La demande biologique en oxygène DBO<sub>5</sub> et la demande chimique en oxygène DCO sont corrélés entre eux . La DBO<sub>5</sub> est corrélé positivement avec les nitrites, l'ammonium et le phosphore ; et négativement avec la conductivité électrique et la salinité. L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes nécessite une consommation d'oxygène que l'on peut estimer par la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>). Ce processus s'accompagne également d'une augmentation des concentrations en azote ammoniacal, nitrites, de plus ces rejets sont souvent enrichis en phosphates. Ces variables physico-chimiques peuvent donc être considérées comme des indicateurs des pollutions organiques ou biodégradables. Toutefois, dans les situations les plus dégradées, cette charge organique s'accompagne probablement de la présence des toxines (Mouthona, 2001).

Il y a une corrélation positive entre la température de l'eau et la température de l'air, la conductivité électrique et la DCO. L'augmentation de la température de l'eau due

directement à l'augmentation de la température de l'air, qui peut être également la conséquence des courants d'air importants. Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique et la DCO par action sur la mobilité des sels et les mouvements des ions. Dussart (1966) a cité que la conductivité est en fonction de la température de l'eau, car elle est plus importante lorsque la température augmente.

Il y a une forte corrélation positive entre la conductivité et la salinité, selon Bremond et Perrodon (1979) une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée.

Il y a une corrélation négative entre la salinité et la conductivité d'une part et les formes azotées, les phosphates et la DBO<sub>5</sub>. Ces derniers sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses. Des concentrations élevées en formes azotées témoignent souvent de la présence des matières toxiques.

Il y a une corrélation positive entre les formes azotées, les phosphates et les DBO<sub>5</sub>, due probablement aux activités des microorganismes dans l'eau à travers les phénomènes des nitrifications et eutrophisations.

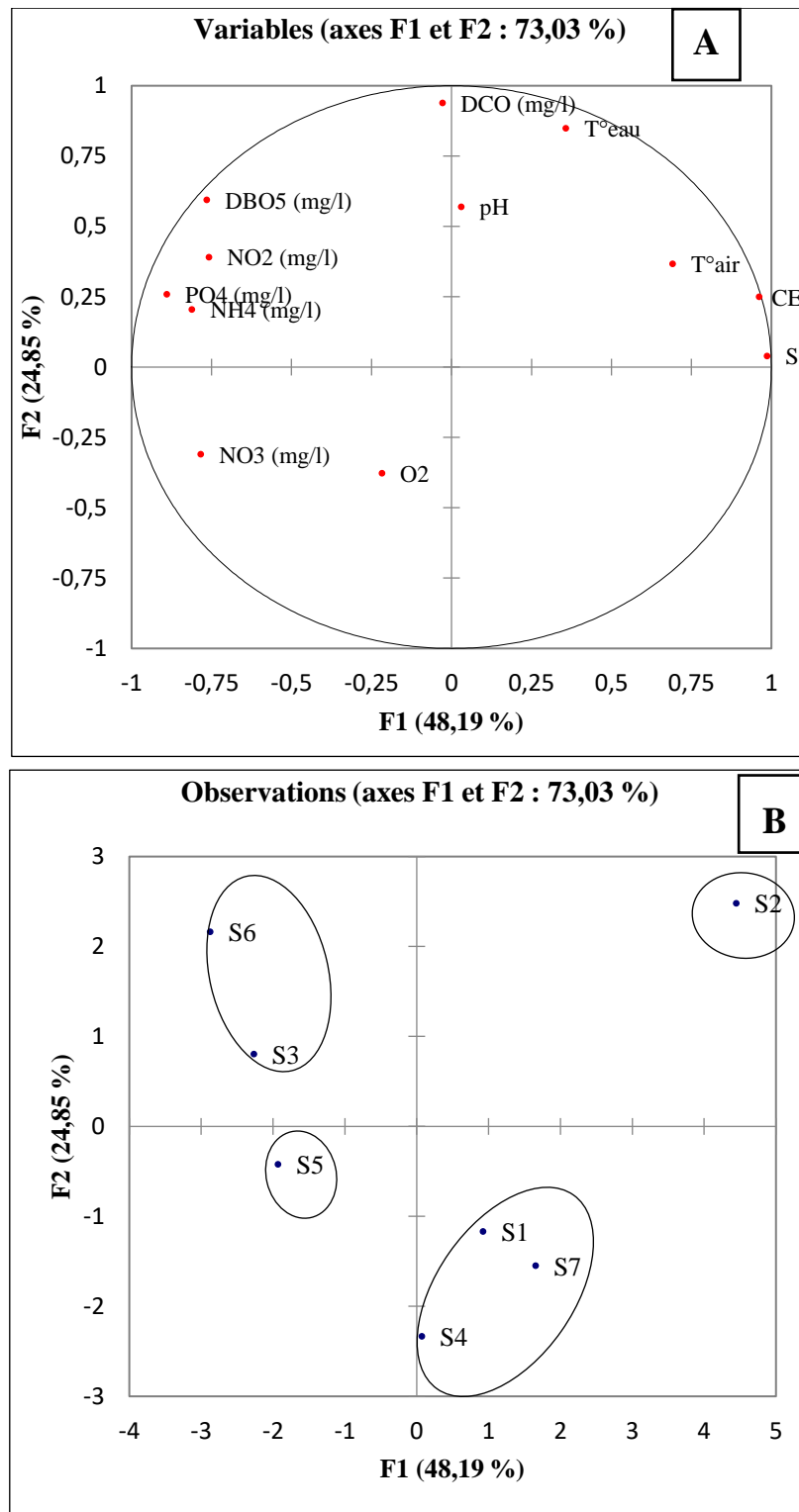
#### IV-4-2-ACP

La matrice des données utilisées est un tableau ternaire prenant en compte 12 facteurs du milieu et sept stations. Le Tableau 23 des valeurs propres montre que la majeure partie des informations est expliquée principalement par les deux premiers axes factoriels F1 et F2 qui représentent 73,03% de l'inertie totale.

**Tableau 23** : Valeurs propres des différents axes.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
<b>Valeur propre</b>	5,78	2,98	1,33	0,80	0,78	0,33
<b>Variabilité (%)</b>	48,19	24,85	11,06	6,67	6,49	2,74
<b>% cumulé</b>	48,19	73,03	84,09	90,77	97,26	100,00

Les graphiques issus de l'analyse factorielle, montre clairement que l'axe F1 exprime 48,19% et l'axe F2 exprime 24,85% (Fig.45).



**Figure 45 A :** Projection des paramètres physico-chimiques analysés dans l'eau des 7 stations étudiées, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP d'une matrice stations/paramètres physico-chimiques ; **B:** Projection des 7 stations, qu'ils se répartisse.

Sur le cercle de corrélation (Fig.45A) la conductivité ; la salinité et la température de l'air sont fortement et positivement corrélés à l'axe F1. Les nitrites ; l'ammonium ; le phosphate et la DBO<sub>5</sub> sont fortement et négativement corrélés à cet axe. Le pH ; la température de l'eau et la DCO sont positivement corrélés à l'axe F2 tandis que la teneur en oxygène et les nitrates sont négativement corrélés à cet axe.

La Carte factorielle (Fig.45B) présente une distribution des sept stations d'échantillonnage en quatre groupes selon leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Les stations 6 et 3 sont caractérisées par des valeurs élevées des éléments nutritifs par rapport aux autres stations et des concentrations faibles d'oxygène, c'est probablement dû aux activités agricoles et l'agglomération urbaine qu'ils caractérisent ces stations. La station 2 se caractérise par des valeurs élevées des paramètres liés à la minéralisation (la conductivité et la salinité) et des faibles valeurs des éléments nutritifs. Les stations 1, 4 et 7 sont caractérisées par des valeurs moins de la conductivité et la salinité ce qu'il traduit une minéralisation moyenne.

#### IV-4-3-Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique est réalisée à partir de la matrice stations x espèces (7 stations x 51 espèces), où l'élément de base est l'abondance des espèces récoltées (Fig.46).

Le dendrogramme obtenu montre trois groupes à répartition inégale des espèces.

Le groupe I est constituée de 28 espèces (862 individus) très abondantes, leur présence est principalement notée au niveau S2 et S5. Il s'agit de: *Siphonurus* ; *Micronecta* ; *Chironomus* ; *Ishnura* ; *Phyrrhosoma nymphula* ; *Eretes* ; *Tanytarsini* ; *Laccobuis* ; *Dixella* ; *Culex* ; *Agabus* ; *Laccophilus* ; *Corixa* ; *Hydraena* ; *Helophorus tristis* ; *Helophorus* ; *Hydroglyphus* ; *Hydroporus* ; *Halipus* ; *Gyrinus* ; *Berosus* ; *Signaticollis* ; *Rhantus* ; *Dytiscus* ; *Hydrobuis* ; *Limnius* ; *Ilyocoris cimicoides*.

Le groupe II regroupe 9 espèces (526 individus), particulièrement dominants dans les stations S1; S4 et S6. Il s'agit de *Sigara* ; *Hygrobia* ; *Sympetrum* ; *Naucoris* ; *Baetis* ; *Planorbis* ; *Cybister* ; *Paracymus* ; *Coquillettidia*.

Groupe III renferme 14 espèces avec 345 individus, il est le moins abondant comparant aux groupes précédents. Il peut être subdivisé en deux sous-groupes, le premier avec 2 espèces *Calopteryx* ; *Hydrochus* caractérisés par des très faibles effectifs et faibles occurrences. Le deuxième sous-groupe renferme 12 espèces : *Anax imperator mauriciannus* ; *Paracorixa*

*concinna*; *Radix*; *Caenis*; *Ochthebius*; *Coenagriides*; *Enochrus*; *Aeshna*; *Neoplea*; *Physa fontinalis*; *Lestes*; *Mochlonyx* dominants dans les stations 3 et 7.

La classification ascendante hiérarchique (CAH) donc regroupe les espèces en fonction de leur abondance et leur occurrence. Les espèces du groupe I sont caractérisés par des abondances très élevées et les moins fréquents, le groupe II regroupe les espèces les moins abondantes avec des occurrences moyennes, les espèces du groupe III sont caractérisées par de très faibles effectifs et très faibles occurrence.

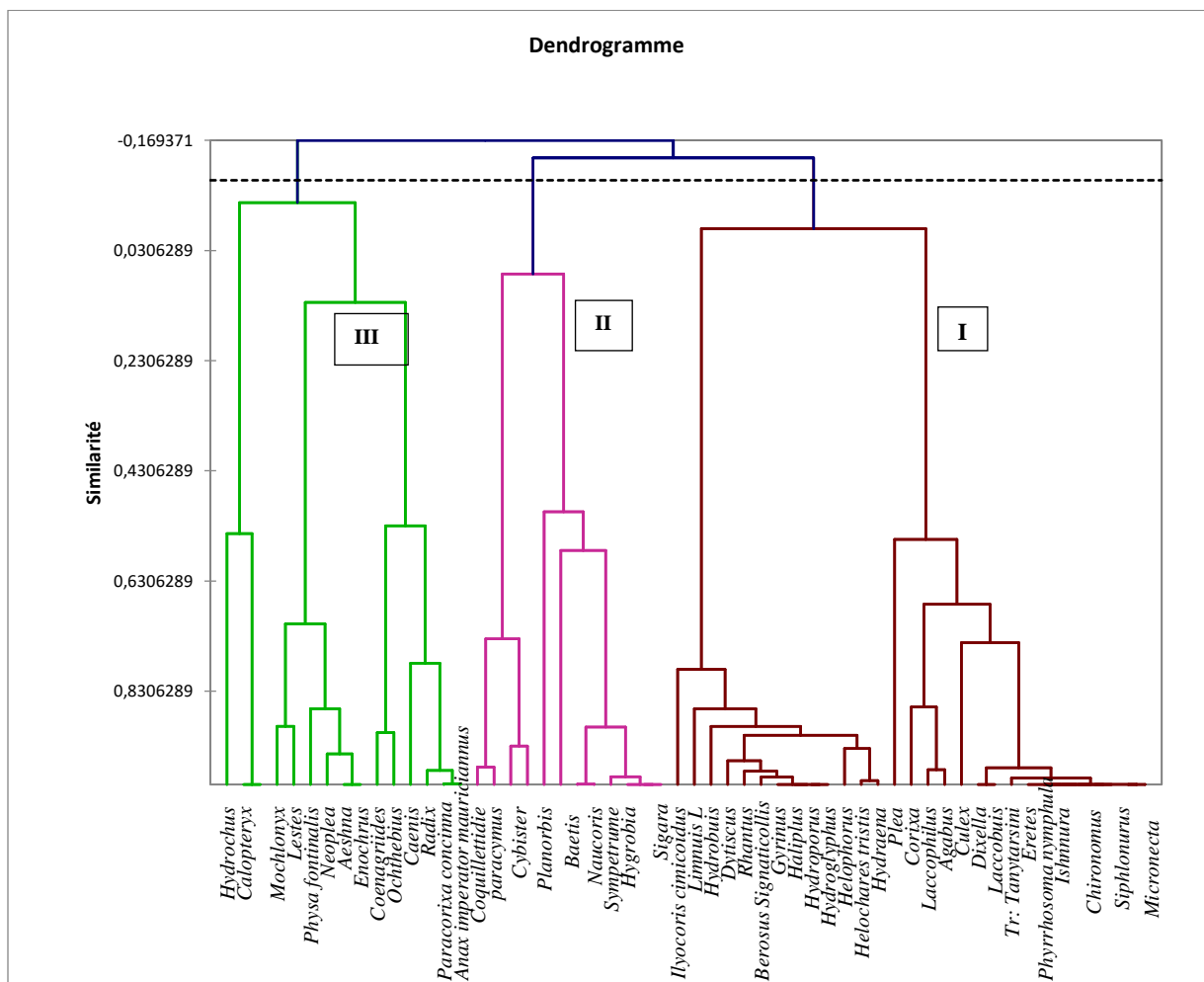


Figure 46 : Dendrogramme issu de la CAH de la matrice (7 stations x 51taxon).

#### IV-4-4-Analyse factorielle des correspondances (AFC)

La distribution spatiale des espèces est précisée grâce à une analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée sur la même matrice de 7 stations et 51 espèces. L'élément d'analyse dans notre cas est l'abondance des espèces dans chaque station.

Seule la distribution des points lignes et colonnes sur le plan F1x F2 est retenue, avec les deux axes qui concentrent le maximum d'information avec 29,17 % sur l'axe 1 et 21,59 % sur l'axe 2, soit une information totale de 50,76% (Fig.47).

L'axe 1 oppose deux groupes, le premier en position positive il correspond aux taxons inféodés à la station 2 avec 12 espèces à très fortes abondances il s'agit de: *Culex* ; *Tanytarsini* ; *Chironomus* ; *Dixella* ; *Corixa* ; *Micronecta* ; *Naucoris* ; *Ishnnura* ; *Phyrrhosoma nymphula* ; *Siphonurus* ; *Eretes* ; *Laccobuis*. Le deuxième groupe caractérisé par des espèces moins fréquents et moins abondants inféodés a l'ensemble des stations 1, 3, 6 et 7 sur le côté négative il s'agit de: *Coquillettidia* ; *Neoplea* ; *Ilyocoris cimicoidus* ; *Lestes* ; *Coenagriides* ; *Aeshna* ; *Calopteryx* ; *Dytiscus* ; *Enochrus* ; *Paracymus* ; *Hydrochus* ; *Limnius* ; *Ochthebius* ; *Physa fontinalis* .

L'axe 2 est caractérisé par deux groupes, le premier est en position positive, il est y compris 12 espèces notée au niveau la station 5: *Rhantus* ; *Laccophilus* ; *Hydroporus* ; *Hydroglyphus* ; *Agabus* ; *Helochares tristis* ; *Berosus Signaticollis* ; *Hydrobuis* ; *Helophorus* ; *Haliplus* ; *Hydraena* ; *Gyrinus*. Pour les coordonnées négative 12 espèces dominats la station 4: *Mochlonyx* ; *Plea* ; *Paracorixa concinna* ; *Sigara* ; *Sympetrume* ; *Anax imperator mauriciannus* ; *Baetis* ; *Caenis* ; *Cybister* ; *Radix* ; *Planorbis* ; *Hygrobia*.

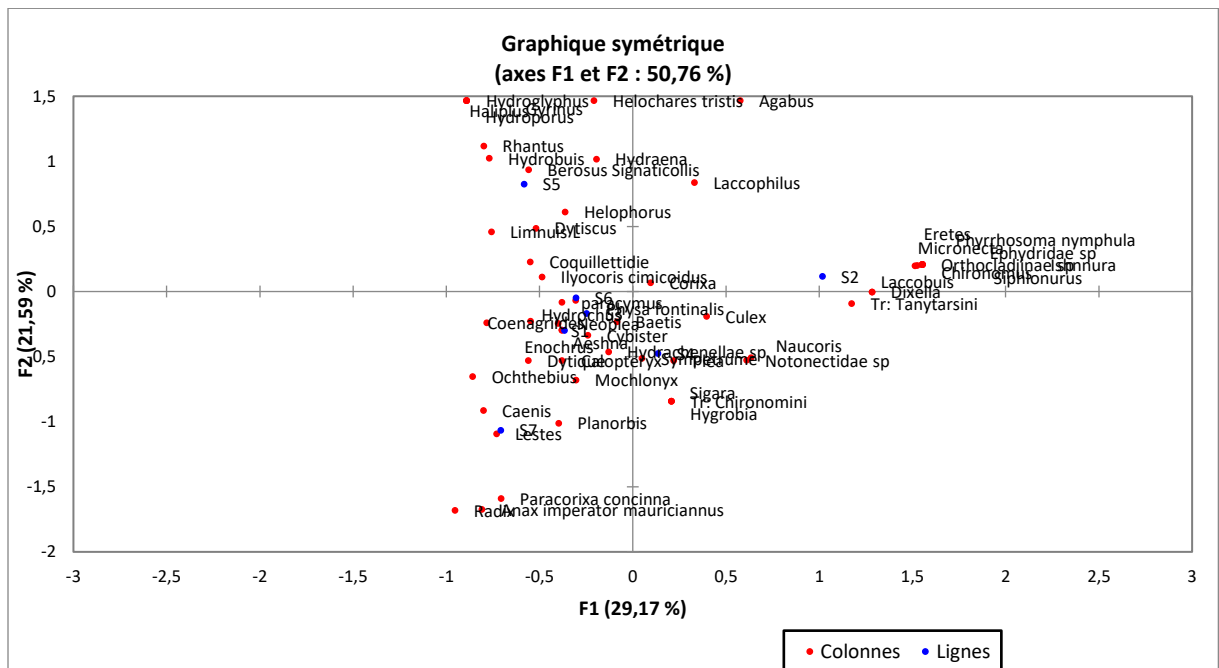


Figure 47 : Analyse Factorielle des Correspondances réalisée sur les 7 stations et 51 taxon .

#### IV-4-5-L'analyse des corrélations canoniques (ACC)

L'analyse canonique a été réalisée en utilisant la matrice d'abondance (au niveau des espèces) et la matrice des paramètres physicochimiques. Elle vise à mettre en évidence la relation entre les paramètres physicochimiques et les abondances des espèces ; alors comprendre comment les macroinvertébrés étaient répartis le long des stations.

D'après le tableau 24 L'axe I exprime 20,56% de l'information, l'axe II 19,86 % soit un total de 40,42% pour les deux axes.

**Tableau 24 :** Valeurs propres des différents axes

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	1,0355	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Variabilité (%)	20,5634	19,8592	19,8592	19,8592	19,8592
% cumulé	20,5634	40,4225	60,2817	80,1408	100,0000

Sur l'axe I et en position positive, on note une forte corrélation positive entre l'oxygène dissous et les Ephéméroptères (*Baetis*, *Siphonurus*) et les Odonates (*Ishnura*, *Lestes*, *Aeshna*), les Diptères (*Orthocladiinae*, *Tanytarsini*). On note, en outre, une association positive entre la teneur en nitrite, l'ammonium, le phosphore et, les Hétéroptères (*Neolea*) et les coléoptères (*Cybister*, *Enochrus*, *Hydrobuis*, *Hydrochus*, *Limnius*), mais cette association est corrélée négativement avec les Gastropodes, les Ephéméroptères et les Odonates (*Anax imperator mauriciannus*). En position négative on note que la température la conductivité la salinité et le DCO ont une forte corrélation positive avec les Diptères (*Chironomus*, *Ephydriidae*), les Hétéroptères (*Plea*, *Micronecta*, *Sigara*).

Sur l'axe II, les Hétéroptères (*Paracorixa concinna*, *Mochlonyx*), les Gastropodes (*Physa fontinalis*, *Radix*, *Planorbis*) ont une forte corrélation négative avec le pH. Les nitrates et la DBO<sub>5</sub> sont corrélées positivement avec les coléoptères (*Limnius*, *Hydrobuis*).



relations selon nos résultats montrer un accord avec ces travaux, les Ephéméroptères qui ont la réputation de vivre dans les milieux propres, bien oxygénés, peu pollués à une température assez fraîche ne pourraient se multiplier dans des milieux fortement pollués (Arimoro et Muller, 2010). Les Diptères sont des taxons à large valence écologique, elles sont polluorésistantes, eurytope, et supportent bien les élévations de températures (Sellam *et al.*, 2016). De la même manière, certaines études ont démontré que l'abondance relative des taxons tolérants tels que Chironomidae augmente avec la perturbation du milieu (Tampo *et al.*, 2015). Il a été considéré comme un important indicateur de la qualité de l'eau dans les lacs, de plus en plus utilisés comme bioindicateurs (Fonseca *et al.*, 2004). Au contraire les Tanytarsini et les Orthoclaadiinae recherchent les eaux plus oxygénées donc à courant plus rapide (Dejoux, 1968). Enfin, les mollusques possédant une coquille calcaire sont très sensibles à l'acidification des cours d'eau puisque celle-ci se dissout lorsque le pH de l'eau est inférieur à 7 (Noisette, 2013).

## **Conclusion**

Les travaux entrepris dans le cadre de ce travail, nous ont permis d'apporter quelques précisions quant à la caractérisation physico-chimique de l'eau du lac Tonga en tant que milieu écologique. L'étude des paramètres écologiques des macroinvertébrés benthiques d'une part et leurs distribution spatial d'une autre part.

Sept stations situées sur le littoral du lac Tonga ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques et de prélèvements des macroinvertébrés benthiques pendant la période 2017 - 2018.

La physico-chimie de l'eau révèle que les sept stations ont une hydrologie presque similaire, les échantillons ont été récoltés à une température entre un minimum de 23°C dans la station 4 et un maximum de 29°C dans la station 2.

L'eau du lac Tonga est légèrement alcaline. Les valeurs du pH font apparaître des fluctuations très faibles, ils sont généralement variés entre 8,25 dans la station 1 et 7,44 dans la station 7.

La conductivité oscille entre des valeurs extrêmes allant de 690  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 410  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les plus fortes valeurs sont enregistrées dans la station 2. La valeur minimale (410  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) fût enregistrée au niveau les stations 5 et 6.

La salinité présente des valeurs variant entre 3,47g /l et 1,74g/l ce qui les laisse situées dans les catégories salées à très salées.

Les taux en oxygène dissous varient entre un minimum de 6,89 mg/l au niveau la station 5 mais augmentant légèrement pour atteindre une valeur maximale de 9,32 mg/l dans la station S4.

Le lac présente une légère variation des teneurs en nitrates entre les stations, ils sont comprises entre la valeur minimale de 1,25 mg/l enregistrer à la station S2 et la valeur maximale trouvée au niveau de la station S6 avec 6,55 mg/l, mais qu' elle reste inférieure à la valeur admissible par les normes Algériennes. Ceci est de même pour les résultats concernant les nitrites sauf au niveau les deux stations S3 et S6 avec des valeurs supérieurs à ceux de la grille de qualité des eaux en azote ce qui illustre une pollution notable dans ces lieux.

L'évolution des teneurs en azote ammoniacal est presque similaire dans l'ensemble des stations. Selon la classification de l'ANRH (2000) les valeurs de  $\text{NH}_4^+$ , enregistrées dans toutes les stations sauf pour la station 7, montrent une pollution notable. Ce constat est

confirmé aussi par l'analyse de la concentration en phosphore où les eaux recèlent une pollution notable.

La faune benthique recensée dans ce travail se compose de 1733 individus répartis en 2 groupes zoologiques, 3 classes, 7 ordres et 30 familles englobant 51 taxons.

La composition globale des macroinvertébrés benthiques recensés se résume en des insectes, des Arachnides et des Gastéropodes avec respectivement des taux de 86,32%, 0,12% et 13,56% de la faune totale.

Les groupes prélevés présentent une variabilité en termes de richesse taxonomique. Les mieux représentés sont les Coléoptères avec 22 taxons et 9 familles, suivis par les Hétéroptères avec 9 taxons et 4 familles, les Odonates avec 8 taxons et 5 familles, les Diptères avec 6 taxons et 5 familles, puis les Ephémères et Basommatophora avec 3 taxons et 3 familles et enfin les Acariens avec une seule famille.

En termes d'effectif les Hétéroptères ont été les plus abondants soit 24,87 % de la faune totale. Leur effectif s'élève à 431 individus. Ils sont abondants dans toutes les stations. Les Diptères viennent en deuxième position avec un effectif de 371 individus, soit 21,41 % de la faune totale collectée. Les Coléoptères ont enregistré 19,39 % de la faune totale soit 336 individus. Les Ephémères et Basommatophora comptent respectivement 298 individus soit 17,20 % et 236 individus soit 13,56% de la faune totale. Les Odonates et les acariens ne constituent qu'une faible fraction de la faune récoltée. Pour les premiers il a été recensé 60 individus soit 3,46 % et pour le second deux individus ont été trouvés soit 0,12 % de l'effectif total.

La répartition des groupes zoologiques par station montre que la station 2 présente la plus grande diversité avec 30 taxons. Suivie par la station 5 avec 25 taxons. 21 et 20 taxons ont été trouvés à la station 07 et à la station 04. Les stations 6 et 3 sont représentées respectivement par 18 et 17 taxons alors que 12 taxons ont été enregistrés à la station 1.

Les indicateurs de diversité utilisés pour décrire la structure des peuplements benthiques et qui sont l'indice de diversité de Schannon  $H'$ , l'équitabilité, l'indice de Margalef et l'indice de Simpson, ont variés dans le même sens par des valeurs maximales enregistrées dans la station 02 avec  $H' = 2,69$  ;  $E = 0,79$  ; Margalef = 4,73 et l'indice de Simpson = 0,90 par contre des valeurs minimales de  $H' = 1,81$  ;  $E = 0,64$  ; Margalef = 3,09 et l'indice de Simpson = 0,75 sont trouvées au niveau de la station 03.

Dans ce cas, les indicateurs de diversité des stations 2; 5; 6; 7 sont les plus élevées, ce qui signifie que ces stations présentent des peuplements bien diversifiés avec une distribution d'abondance régulière entre les stations. Les valeurs les plus faibles sont

enregistrées dans les stations 1; 3; 4 où il existe deux taxons dominants, nous citons les Basommatophora et les Hétéroptères avec un faible nombre de taxons.

L'indice de qualité de l'eau (IQE) a montré que le lac présente une bonne qualité physico-chimique.

L'étude de la qualité hydrobiologique du lac Tonga a été appréciée par plusieurs indices biotiques. Ils sont des outils d'évaluation de la qualité de l'eau basés sur les différentes réactions des organismes aux changements environnementaux.

L'indice biotique des familles (FBI), l'indice multimétrique ASPT (Average Score Per Taxon), l'indice anglais BMWP (Biological Monitoring Working Party) et l'IBGN ont été déterminés pour vérifier l'évaluation de la qualité de l'eau du lac Tonga.

Le BMWP et l'ASPT calculés étaient respectivement de 60 et 4,3. Le score BMWP se situe dans la classe d'eau à une qualité moyenne, alors que le score ASPT suggère que le lac a une qualité d'eau mauvaise. Les résultats d'ASPT sauvegardent le résultat pour le FBI calculé. On en déduit maintenant que le lac Tonga aurait une qualité moyenne à mauvaise.

L'IBGN partage le même résultat avec l'indice BMWP. Il intègre le lac Tonga dans une qualité hydrobiologique moyenne.

Les résultats obtenus ont été soumis à plusieurs analyses multivariées, l'analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et la classification ascendante hiérarchique basée sur la même matrice a montré trois groupes à répartition inégale des espèces. Elle regroupe les espèces en fonction de leur abondance et leur occurrence.

Certaines caractéristiques chimiques et physiques des lacs affectent de manière significative l'abondance et la diversité des invertébrés en influant sur la qualité de l'habitat.

L'analyse canonique (ACC) a été réalisée pour mettre en évidence la relation entre les paramètres physicochimiques et les abondances des espèces. Les Ephéméroptères ont la réputation de vivre dans les milieux propres et bien oxygénés, ce résultat est confirmé par ACC où on note une forte corrélation positive entre l'oxygène dissous et les Ephéméroptères. Les Diptères sont des taxons polluo-résistants ce qui a expliqué leur forte corrélation positive avec la température.

Les macroinvertébrés constituent un groupe taxonomique très hétérogène, la surveillance biologique de ce groupe est aujourd'hui l'outil le plus sensible pour détecter de façon rapide et précise les perturbations dans les écosystèmes aquatiques.

Les résultats de cette étude contribueront à l'enrichissement des connaissances sur la biodiversité des invertébrés aquatiques du lac Tonga, qui est mal connu; et contribuera à

orienter les programmes de conservation et de gestion des espèces et des espaces protégés dans le lac Tonga.

## Références bibliographiques

- Abba, E., 2006.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux d'un écosystème aquatique du Moyen Atlas: Dayet Aoua. Mémoire d'Etudes Supérieures Approfondies. Université Ibn Tofail. 76 P
- Abboudi, A., Tabyaoui, H., El Hamichi, F., Benaabidate, L., Lahrach, A., 2014.** Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du Bassin Versant De Guigou, Maroc. European Scientific Journal, 1857 - 7881.
- Abrid, D., 2015.** Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. Thèse Doctorat, Univ. Moulaya Ismail, Maroc. 233p.
- Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.), 2013.** Rapport interne
- Aguesse, P., 1968.** Les Odonates. Masson. Paris, 255 p
- Aidoud, L., 1980.** Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Complexe Scientifique de Beaulieu. Ed. Université de Rennes. 50p.
- Akindele, E., Malaki, P., 2001.** Abundance and species richness of Mayfly Nymph in pools and streams within Kibale Forest, Uganda. Trop Biol. Ass. Project Rep. 01 (2):55-64.
- Al- Mutairi, N., Abahussain, A., Battay, A., 2014.** Application of water quality index to assess the environmental quality of Kuwait bay. International Conference on Advances in Agricultural, Biological & Environmental Sciences (AABES-2014) Oct 15-16, 2014 Dubai (UAE). <http://dx.doi.org/10.15242/IICBE.C1014140>.
- Alarie, Y., Michat, M., Miller, K.B., 2011.** Notation of primary setae and pores on larvae of Dytiscinae (Coleoptera: Dytiscidae), with phylogenetic considerations. Zootaxa 3087: 1–55.
- Alayat, H., El Khattabi, J., Lamouroux, C., 2013.** Evolution Spatiale Des Caractéristiques Physico-Chimiques Des Eaux Du Lac Oubeïra Imposé Par Les Conditions Sévères De La Sècheresse (Extrême Ne Algerien). European Scientific Journal, 9: 1857- 7431.
- Allan, J.D., 1995.** Stream Ecology – Structure and function of running waters. 1st edition Chapman and Hall. pp.388.
- Angus, R.B., 1973.** Pleistocene *Helophorus* ( Coleoptera, Hydrophilidae) from Borislav and Starunia in the western Ukraine, with a reinterpretation of Lomnick's species, description of a new Siberian species, and comparison with British Weichselian faunas. Phil. Trans. Roy. Soc., London, Biol. Sc., 265: 299-326.

- Annani, F., 2013.** Essai de biotypologie des zones humides du constantinois. Thèse de doctorat. Université de Annaba.
- Arab, A., 2004.** Recherche faunistique et écologique sur les réseaux hydrographiques du Chélif et du bassin du Mazafran. Thèse Doctorat. F.S.B/U.S.T.H.B. 164p
- Arab, A.,1989.** Etude des peuplements d'invertébrés et de poissons appliquée à l'évaluation de la qualité des eaux et des ressources piscicoles des oueds Mouzaia et Chiffa. Dissertation, USTHB University, Algiers, 139.
- Arimoro, F.O., Muller, W.J., 2010.** Mayfly (Insecta: Ephemeroptera) community structure as an indicator of the ecological status of a stream in the Niger Delta area of Nigeria. Environ. Monit. Assess. 166, 581–594,.
- Armitage, P.B., Pardo, I., Brown, A., 1995.** Temporal constancy of faunal assemblage in mesohabitats- application to management. Archive fur Hydrobiologie. 113 :367-387.
- Bae, M.J., Kwon, Y., Hwang, S.J., Con, T.S., Yang, H.J., Kwak, I.S., Park, J.H., Ham, S.A., Park, Y.S., 2011.** Relationships between three major stream assemblages and their environmental factors in multiple spatial scales. Ann. Limnol. Int. J. Limnol.,47, S91–S105.
- Barbault, R., 1981.** Ecologie des populations et des peuplements (Structure, dynamique et évolution). Ed. Masson, Paris, 200 p.
- Barbour, M.T., Gerritsen, B., Snyder, B., 1999.** “Benthic Macroinvertebrate Protocols,” in Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water EPA841- B-99-002,11 chapitres, 4 annexes, [<http://www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf>] .
- Barton, R.D., Metcalfe-Smith, J.L., 1992.** A comparison of sampling techniques and summary indices for assessment of water quality in the Yamaska river, Québec, based on benthic macroinvertebrates. Environmental Monitoring and Assessment, 21: 225-244.
- Beaumont, A., Cassier, P., 1983.** Biologie Animale des Protozoaires, Métazoaires, épithélioneuriens. Tam2 édition DUNOD, Paris. 254 p.
- Bebba, N., El Alami, M., Arigue, S.F., Arab, A., 2015.** Etude mésologique et Biotypologique du peuplement des Ephéméroptères de l'oued Abdi (Algerie). J. Mater. Environ. Sci. 1164-1177.

- Belhaouari, B., Achour, T., Mebarki, D., Branine, A., 2017.** L'utilisation des macroinvertébrés benthiques et des macrophytes pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau de l'oued Chlef, Benzina et Si Bachir. *Revue des BioRessources*, 91-98.
- Bellan, G., 1984.** Indicateurs et indices biologiques dans le domaine marin. *Bulletin d'Ecologie*, 15(1), pp. 13-20. Bernard,
- Ben Bouih, H., 2000.** Contribution à l'évaluation de la pollution métallique des zones humides de la région du Gharb, cas du lac Fouarat. Thèse de Doctorat, Université Ibn Tofaïl, kénitra, 200p.
- Benchaaban, S., 2012.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et faunistique de l'Oued de Meskiana Wilaya d'Oum El Bouaghi, Université Larbi Benm'hidi, Oum El-Bouaghi. 118p.
- Bendjama, A., 2014.** Variation de la qualité des eaux et son impact sur les sols des zones humides du PNEK. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar –Annaba. p81.
- Benetti, C., Pérez-bilbao, A., Garrido, J., 2012.** Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality in Running Waters : 10 Years of Research in Rivers with Different Degrees of Anthropogenic Impacts. *Ecological Water Quality - Water Treatment and Reuse*, Dr. Voudouris (Ed.), 978-953-51-0508- 4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/ecological-water-quality-water-treatment-andreuse/macroinvertebrates-as-indicators-of-water-quality-in-running-waters-10-years-of-research-in-rivers-w> .
- Benmalek, L., Bendali-Saoudi, F., Soltani, N., 2018.** Inventory and distribution of mosquitoes (Diptera; Culicidae) of the Burgas lakes (Northeast Algeria). *Journal of Entomology and Zoology Studies*; 6(1): 838-843.
- Benoit-Chabot, V., 2014.** Les facteurs de sélection des bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. Université De Sherbrooke, Québec .18p.
- Bensaci, E., 2007.** Détermination de la qualité des eaux de surface de la région des hautes plaines de l'Est : Cas du barrage de Koudi et Medaour (Timgad Wilaya de Batna) et la retenue collinaire d'Ourkis (Wilaya d'Oum El-Bouaghi). Thèse Magister. Univ Larbi Ben M'hidi. Oum El-Bouaghi. 143p.

- Benslimane, F., Labar, S., Djidel, M., Hamilton, C. M., Djemai, R., 2015.** Assessing of TongaLake water quality in the coastal basin of Northeastern Algeria. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2229-5518.
- Benyacoub, S., Louanchi, M., Baba Ahmed, R., Benhouhou, S., Boulahbal, R., Chalabi, B., Haou F., Rouag, R., Ziane N., 1998.** Plan directeur de gestion du Parc National d'El-Kala et du complexe des zones humides (Wilaya d'El Tarf), Projet Banque Mondiale 200p +28 Cartes.
- Benzina, I., 2018.** Diversity of benthic macroinvertebrates and streams quality in the national park of Belezma (Northern-East, Algeria). International Journal of Health and Life-Sciences 2454-5872.
- Bernardi, G., 1986.** Les papillons menacés: disparitions, responsabilités, protection. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 21: 221- 244.
- Bertrand, H., 1954.** Les insectes aquatiques d'Europe (genres: larves, nymphes, imagos). Ed. Paul Lechevalier, Paris, 556 pp . 557 pp.
- Blandin, P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin Ecologique 17, 215-307.
- Blondel, J., 1979.** Bibliographie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173 p.
- Boissonneault, Y., 2006.** Le suivi écologique des rivières au Québec: comparaison des bioindicateurs basés sur les invertébrés et les diatomées benthiques. Présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science de l'environnement. Université Du Québec À Trois-Rivières. P36.
- Bolboaca, S.D., Jantschi, I., 2006.** Pearson versus Spearman, Kendall's Tau Correlation Analysis on Structure Activity Relationships of Biologic Active Compounds. Leonardo Journal of Science, 9, 179-200.
- Bonada, N., Zamora-Muñoz, C., Rieradevall, M., Prat, N., 2004.** Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. Environmental Pollution, 132(3), 509–521.
- Bontoux, J., 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces naturelles eaux usées, eaux de boissons. Cebedoc, Liège, 169p
- Bouayed, S., 2011.** Dynamique spatio-temporelle du peuplement macrobenthique le long de Oued Chouly (Tlemcen).Diplôme de Magister. Université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen.

- Bouchelouche, D., Kherbouche-Abrous, O., Mebarki, M., Arab, A., Samraoui, B., 2015.** The Odonata of wadi Isser (Kabylia, Algeria): status and environmental determinants of their distribution. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 70 (3), 2015 : 248-260.
- Boudemagh, N., Bendali-Saoudi, F., Soltani, N., 2013.** Inventory of Culicidae (Diptera: Nematocera) in the region of Collo (North-East Algeria). *Annals of Biological Research*, 4 (2):94-99.
- Boukli Hacene, S., 2012.** Bioécologie des Coléoptères (Arthropodes- Insectes) du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Tlemcen). Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat, Université de Tlemcen.
- Boumezbeur, A., 1993.** Ecologie et biologie de la reproduction de l'Erismature à tête blanche (*Oxyuraleucocephala*) et du Fuligule nyroca (*Fuligulanyroca*) sur le lac Tongaet le lac des oiseaux. Thèse de doctorat. Université de Montpellier.
- Bournaud, M., Keck, G., 1980.** Diversité spécifique et structure des peuplements macroinvertébrés benthiques au long d'un cours d'eau : le Furans (Ain). *Acta Oecologica, Oecol. Gener*, vol. 1, n°2: 131-150.
- Bouroche, I.M., Saporta, G., 1980.** L'analyse des données. Presses universitaires de France, Paris Coll. «Que sais-je » n°1854,127p.
- Brahmia, Z., 2002.** Rôle fonctionnel du lac Oubeira et du lac Mellah (parc national d'El-Kala) pour les oiseaux marins. Présenté en vue de l'obtention du diplôme de magistère. Université Badji Mokhtar –Annaba.
- Bremond, R., Vuichard, R., 1973.** Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, 179 p.
- Bremond, R., Perrodon, C., 1979.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème éd : 259 p.
- Brink, P., Russi, D., Farmer, A., 2013.** The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands. Executive summary. Institute for European environmental policy (IEEP), Ramsar Secretariat. 16 p.
- Brocher, F., 1909.** Recherche sur la respiration des Insectes aquatiques, La Notonecte. *Ann. Biol. lacustre*, 4 :9-32.
- Cairns, J., Pratt, J. R., 1993.** A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. In D.

M. Rosenberg & V. H. Resh (Eds.), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates* (pp. 10–27). New York: Chapman and Hall.

**Camargo, J., Muñoz, M., 1989.** “A biological index to assess freshwater quality in the Iberian Peninsula, related to the continental fish production,” in *Proceedings of the International Symposiums of Inland Aquaculture*, Madrid (Spain), Madrid Complutense University, Spain,.

**Carignan, V., Villard, M., 2002.** Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 78, no 1, p. 45-61.

**Casey, R., Kendall, S. A., 1996.** Sample number and colonization patterns of benthic macroinvertebrates and organic material on artificial and natural substrata. *Alberta Research Council*, Canada. pp. 577-584.

**CCME., 2011.** Manuel Des Protocoles D'échantillonnage Pour L'analyse De La Qualité De L'eau Au Canada PN 1462 ISBN 978-1-896997-79-7 PDF. 140 p.

**Chaib, N., Fouzari, A., Bouhala, Z., Samraoui, B., Rossaro, B., 2013.** Chironomidae (Diptera, Chironomidae) species assemblages in northeastern Algerian hydrosystèmes. *Journal of Entomological and Acarological Research*; 45:e2.

**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.

**Chandler, J., 1970.** “A biological approach to water quality management,” *Water Pollution Control*, vol. 69, no. 2, pp. 415–422.

**Chang, F., Lawrence, J.E., Ríos-Touma, B., Resh, V.H., 2014.** Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide. *Environmental Monitoring and Assessment.*; 2135–2149.

**Chapman, D., Kimstach, V., 1996.** Selection of water quality variables. *Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon.

**Charvet, S. 1999.** Intégration des acquis théoriques récents dans le diagnostic de la qualité écologique des cours d'eau à l'aide des bioindicateurs invertébrés. Thèse doctorale université Claude Bernard Lyon I. 77 p.

- Chazée, L., 2012.** L'observatoire des zones humides Méditerranéennes un outil de gestion pour les zones humides méditerranéennes. Options méditerranéennes, B 68, 2012 – Surveillance environnementale et développement.
- Cherairia, M., Adler, P., Samraoui, B., 2014.** Biodiversity and bionomics of the black flies (Diptera: Simuliidae) of Northeastern Algeria. Zootaxa 0000 (0): 000–000.
- Chessman, B.C., Gowns, J.E., Kotlash, A.R., 1997.** Objective derivation of macroinvertebrate family sensitivity grade numbers for the SIGNAL biotic index: application to the Hunter River system, New South Wales. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 48, 159–172.
- Chok, S.N., 2008.** Pearson's versus spearman's and kendall's correlation coefficients for continuous data. University of Pittsburgh. p14.
- Clark, T.E., Samways, M.J., 1996.** Dragonflies (Odonata) as indicators of biotope quality in the Kruger National Park, South Africa. J. Appl. Ecol., 5: 1001-1012
- Collins, N.M., Morris, M.G., 1985.** Threatened swallowtail butterflies of the world. international Linion for conservation of nature and natural resources, 401 pp.
- Collins, N.M., Wells, S.M., 1987.** Invertebrates in need of special protection in Europe. Nature and Environment series n° 35. Council of Europe, 162 pp.
- Cummins, K. W., 1975.** Macroinvertebrates, dans Witthon, B.A. (eds), River Ecology, Studies in Ecology volume 2, Berkeley (Californie), University of California Press, p. 170-198.
- Diomandé, D., Gourène, G., Tito de Morais, L., 2001.** Stratégies alimentaires de *Synodontis bastiani* (Siluriformes: Mochokidae) dans le complexe fluvio-lacustre de la Bia, Côte d'Ivoire. Cybium 25 (1) : 7-21.
- Eckerlein, H., Wagner, E., 1969.** Die Heteropterenfauna Lybiens. Act. ent. Mus nat. Prague, 38 : 155-194.
- Edwards, F.W., 1923.** On some Algerian species of *Simulium*. Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie, 1: 647-653.
- Fekir, M., 2010.** Les zones humides en Algérie. Articles : Ecologie, Vitamine DZ. Source d'énergie locale. Alger. Algérie.
- Fikáček, M., Prokin, A., Yan, E., Yue, Y., Wang, B., Ren, D., Beattie, R., 2014.** Hydrophilid clades present and widespread in the Late Jurassic and Early Cretaceous (Coleoptera: Hydrophiloidea: Hydrophilidae). Zoological Journal of the Linnean Society. 710–734.

- Fonseca, J., Esteves, F., Callisto, M., 2004.** Distribution of Chironomidae larvae in an Amazonian flood-plain lake impacted bauxite tailings (Brazil). *Amazoniana*, vol. 18, no. 1-2, p. 109-123.
- Friedrich, G., Chapman, D., Beim, A., 1992.** The use of biological material. In D. Chapman (Ed.), *Water quality assessments—a guide to using biota, sediments and water in environmental monitoring* (pp. 171–238). London: Chapman and Hall
- Gabriels, W., Lock, K., De Pauw, N., Goethals, P.L., 2010.** Multimetric macroinvertebrate index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium), *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, vol. 40, no. 3, pp. 199–207.
- Gagneur, J., Aliane, N., 1991.** Contribution à la connaissance des Plécoptères d'Algérie, in Alba-Tercedor J. Sánchezortega A. (eds), *Overview and Strategies of Ephemeroptera and Plecoptera* Grainesville. Sandhill Crane Press., Inc: 311-324.
- Gagneur, J., Clerge-Gazeau, M., 1988.** Les Simulies d'Algérie (Diptera, Simuliidae) Premières données biogéographiques et écologiques sur les espèces de l'ouest-algérien. *Ann1 Limnol.*, 24 (3) : 275-284.
- Gagneur, J., Giani, N., Martinez-Ansemil, E., 1986.** Les Oligochètes aquatiques d'Algérie. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 122 : 119-124.
- Gagneur, J., Thomas, A.G.B., 1988.** Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I. Répartition et écologie (1<sup>ère</sup> partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bull. Soc. Hist. nat. Tou- louse*, 124 : 213-223.
- Gaspar, Ch., 1987.** Protection Ou Gestion Des Invertébrés. *Liaison O.P.I.E.* Vol. 21 (4) 1987, 67, 7-16.
- Gauthier, H., 1928.** Recherches sur la Faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Minerva, Alger, 419 pp.
- Ghalmi, R., 1997.** Étude préliminaire du régime alimentaire de la loutre (*Lutralutra*) dans le nord-est algérien (Parc National d'El Kala). *Mémoire D.E.S*, Université de liège, 57 p.
- Ghazali, D., Zaid, A., 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région De Meknes –Maroc). *Larhyss Journal*, 1112-3680pp. 25-36.
- GlèlèKakaï, R., Salako, V. K., Padonou, E.A., Lykke, A.M., 2016.** Méthodes statistiques multivariées utilisées en écologie. *Annales des Sciences Agronomiques 20 - spécial Projet Undesert-UE* : 139-157.

- Gnohossou, P.M., 2006.** La faune benthique d'une lagune Ouest Africaine (Le Lac Nokoue Au Benin), diversité, abondance, Variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse Présentée en vue de l'obtention du Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Gonçalves, F.B., Menezes, M.S., 2011.** A comparative analysis of biotic indices that use macroinvertebrates to assess water quality in a coastal river of Paraná state, southern Brazil. *BiotaNeotrop*, vol. 11, no. 4.
- Grandjean, F., Momon, J., Bramard, M., 2003.** Biological water quality assessment of the White clawed Crayfish Habitat Based On Macroinvertebrate Communities: Usefulness For Its Conservation. *Bull. Fr. PêchePiscic.* 370-371 : 115-125.
- Grdy., 2003.** Traitement de données stationnelles (Faune). Robert .FT10(1) .Doc.
- Griba, J., Laadel, N., El Idrissi, Rhafouri, H.R., Serghini, A., Fekhaoui, M., 2017.** Inventory of benthic macroinvertebrates as bio-indicators of Afenourir lake (Morocco). *Journal of Materials and Environmental Sciences*: 2028-2508.
- Guettaf, M., Maoui, A., Ihdene, Z., 2017.** Assessment of water quality: a case study of the Seybouse River (North East of Algeria). *Appl Water Sci* 7:295–307.
- György, K., 2014.** Freshwater Invertebrates in Central Europe. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 411p
- Halimi A., 1980.** L'Atlas Blidéen : Climats et étages végétaux. Ed. OPU, Alger. 523p.
- Hamzaoui, D., 2009.** Impact des changements climatiques sur la répartition de la faune Benthique de l'oued Saoura (wilaya de Bechar). Mémoire de Magister, U.S.T.H.B., 80p. HELD
- Haouchine, S., 2011.** Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie. En vue de l'obtention du diplôme de Magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Hart, B.T., Maher, B., Lawrence, L., 1999.** New generation water quality guideline for ecosystem protection. *Freshwater Biology*, 41, 347-359.
- Hawkes, H.A., 1979.** Invertebrates as indicators of river water quality. In James A. & Evison L. (Eds.), *Biological Indicators of Water Quality 2*. Chichester, Great Britain: Wiley, 1–45.
- Hébert, S., 1996.** Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Québec, ministère de l'Environnement

et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq no EN/970102, 20 p., 4 annexes.

- Hering, D., Feld, C., Moog, O., Ofenböck, T., 2006.** Cook book for the development of a multimetric index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia*, 566, 311-324.
- Hilsenhoff, W.L., 1982.** Using a biotic index to evaluate water quality in streams. *Tech. Bull. Wisc. Dept. Nat. Res.* 132p.
- Hungerford, H.B., 1919.** The biology and ecology of aquatic and semiaquatic Hemiptera. *Kansas Univ. Sc. Bull.*, 21: 151-172.
- Hutchinson, G.E., 1933.** The zoogeography of the African aquatic Hemiptera in relation to past climatic change. *int. Revue Hydrobiol.*, 28: 436-468.
- Hutchinson, T.C., Meema, K.M., 1987.** Lead, mercury and arsenic in the environment.
- Hynes, H.B.N., 1960.** The biology of Polluted Waters. Liverpool Univ. Press. Liverpool, England, 202P.
- Hynes, H.B.N., 1970.** The ecology of running waters. University of Toronto Press, Toronto, Ont. 555 p.
- Jäch, A. M., Balke, M., 2008.** Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater. *Freshwater animal diversity assessment. Hydrobiologia* 595:419–442.
- Jahan, S., Strezov, V., 2017.** Water quality assessment of Australian ports using water quality evaluation indices. *PLoS ONE* 12(12): e0189284.
- Joleaud, L., 1936.** Etude géologique de la région de Bone et la Calle, 2<sup>ème</sup> série: stratigraphie et description générale. Typo-litho & Jules Carbon. 199p.
- Kadid, Y., 1989.** Contribution à l'étude de la végétation aquatique du Lac Tonga. Ingéniorat d'état en agronomie (INA El Harrach).
- Kaiser, J., 2001.** Bioindicators and biomarkers of environmental pollutions and risk assessment. Hartford, Science Publishers, 304 p.
- Kalkman, V.J., Clausnitzer, V., Dijkstra, K.D., Orr, A.G., Paulson, D.R., Tol, J.v., 2008.** Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:351–363.
- Karr, J.R., 1991.** Biological integrity. A long-neglected aspect of water resource management. *Applied Ecology*, 1, 66–84.

- Kerckhove, O., 2012.** Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bioindicateur de l'état de santé des récifs coralliens. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Québec, 96 p.
- Khatri, N., Tyagi, S., 2015.** Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Front Life Sci.* 8(1):23–39.
- Kolkwitz, R., Marsson, M., 1902.** Principles for the biological assessment of water bodies according to their flora and fauna. *Kl. Mitt. d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung* 1.
- Krika, A., Krika, F., 2017.** Assessment of surface water quality of Mencha River, Northeastern Algeria by index method . *Caspian J. Environ. Sci.* 2017, Vol. 15 No. 2 pp. 157~164.
- Kripa, P.K., Prasanth, K.M., Sreejesh, K.K., Thomas, T.P., 2013.** Aquatic Macroinvertebrates as Bioindicators of Stream Water Quality- A Case Study in Koratty, Kerala, India . *Research Journal of Recent Sciences* . 2277-2502.
- Labar, S., Djidel, M., Hamilton, C.M., Benslimane, F., Hani, A., 2013.** Assessing Inorganic Pollution in Ground Waters within an Agricultural Area of Northeastern Algeria. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2229-5518.
- Lakhdara, D., Bouslama, Z, Belabed, A., 2014.** Caractérisation des macro invertébrés et les amphibiens dans différents plans d'eau de l'extrême Nord-est Algérien. *European journal of scientific research.* 1450-216.
- Landscape aménagement., 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 la conservation de la nature. Algérie 234 p.
- Lazli, A., Boumezbeur, A., Moali-Grine, N., Moali, A., 2011.** Évolution de la population nicheuse de l'Érismature à tête blanche *Oxyura leucocephala* sur le lac Tonga(Algérie).*Terre Vie* 66: 173–181.
- Le Houerou, H.N.,1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique, diversité biologique développement durable et désertification. *Options médit., série B*,10, 396p.
- Legendr, P., Plan, D., Aucla, M.J., 1984.** Succession des communautés de gastropodes dans deux milieux différant par leur degré d'eutrophisation. *Journal of Zoology*, 62(11), 2317–2327.

- Legendre, P., Legendre, L., 1998.** Numerical Ecology: Developments in Environmental Modelling, deuxième édition anglaise, Amsterdam, Elsevier Science B.V., vol. 20, 853 p.
- Legendre, P., Legendre, L., 2012.** Numerical Ecology, troisième édition anglaise, Amsterdam, Elsevier Science B.V., vol. 24, 1006 p.
- Lestage, J. A., 1925.** Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par M. H. Gauthier et liste des espèces connues actuellement de l’Afrique du Nord. Bulletin de la Société d’Histoire naturelle d’Afrique du Nord 16: 8-18.
- Leunda, P., Oscoz, J., Miranda, R., Arinõ, A., 2009.** Longitudinal and seasonal Variation of the benthic macroinvertebrate community and biotic indices in an undisturbed Pyrenean river. Science Direct 5 2 – 63.
- Lounaci A., 1987.** Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d’invertébrés benthiques du bassin de l’Oued Aissi (Grande Kabylie). Thèse Magister, U.S.T.H.B., 133p.
- Lounaci, A., Brosse, S., Thomas, A.G.B., Lek, S., 2000.** Abundance, diversity and community structure of macro-invertebrates in an Algerian stream: the Sebaou Wadi. Annales de Limnologie, 36 (2), 123-133.
- Lounaci, A., Vinçon, G., 2005.** Les Plécoptères de la Kabylie du Djurdjura (Algérie) et biogéographie des espèces d’Afrique du Nord [Plecoptera]. Ephemera 6 (2): 109-124.
- Lounaci, D., 1996.** Travaux sur la faunistique, l’écologie et la biogéographie des insectes aquatiques du réseau hydrographique du Sébaou. Thèse Magister, Université Mouloud Mammeri, TiziOuzou: 152 p.
- Macan, T.T., 1941.** A key to the British Waterbugs (Hemiptera-Heteroptera exclusive Corixidae) with notes on their ecology, Freshwater Ass. Brit., Emp.Sc. Publ., 4 :1-36.
- Maiolini, B., Lencioni, V., Boggero, A., Thaler, B., Lotter, A.F, Rossaro, B., 2006.** Zoobenthic communities of inlets and outlets of high altitude Alpine lakes. Hydrobiologia. 562:217–229.
- Mackie, G.L., 2001.** Applied aquatic ecosystem concepts. Kendall/Hunt Publishing Company. pp. 744.
- Mandaville, S.M., 2002.** Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. (Project H-1). Soil and Water Conservation Society of Metro Halifax.

- Marchant, R., 1986.** Some quantitative aspects of the life history of aquatic insects in temperate Australian rivers, 151-158pp.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G., 2003.** Bioindicators and Biomonitoring. Principles, concepts and applications. Vienne, Elsevier, 997p
- Mebarki, M., 2001.** Etude hydrobiologique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie (Parc National du Djurdjura, Oued Sébaou et Oued Boghni) : faunistique, écologie et biogéographie des macro-invertébrés benthiques. Dissertation, Mouloud Mammeri University, Tizi-Ouzou, Algeria, 178.
- Meghlaoui, Z., 2015.** Stress environnemental et biodiversité des Polychètes dans le littoral Est algérien : Analyse phylogénétique. Thèse présentée pour l'obtention du grade de Doctorat en biologie. Université De Badji-Mokhtar-Annaba, 139p.
- Miller, D. C., 1965.** Hydrophilidae, except Elophorinae and Sphaeridiinae. in: Hatch, M. H., Ed. The beetles of the Pacific Northwest. Part IV. Macroductyles, Palpicornes, and Heteromera. Uni. of Washington Publications in Biology 16, pp. 21–23, 38–46
- Mimeche, F., 2008.** Recherches préliminaires écologiques sur le barbeau de Biskra. *Barbus callensis Valenciennes. 1842 (Pisces : Cyprinidae) dans le barrage de la Fontaine des gazelles (Biskra).* Mémoire de magister. Institut National Agronomique El Harrach (Alger). 53 p.
- Modde, T., Dodds, H.A., 1990.** Comparison of biotic index values for invertebrate collections from natural and artificial substrates. *Freshwater Biology*, 23: 171-180.
- Moisan, J., Pelletier, L., 2008.** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Mondy, C.P., Villeneuve, B., Archambault, V., Usseglio-Polatera, P., 2012.** A new macroinvertebrate-based multimetric index to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators*, Volume 14, pp. 452-467.
- Moubayed, J., Ait-Mouloud, S., Lounaci, A., 1992.** Les Chironomides (Diptera) d'Algérie Bassin de l'oued Aïssi (Grande Kabylie). *Nachr. Bl. Bayer. Ent.*, 41 : 21-29.
- Moubayed, J., Lounaci, A., Lounaci-Daoud, I. D., 2007.** Non-biting midges from Algeria, North Africa (Diptera, Chironomidae). *Ephemera*, 8 (2):93-99.

- Mouissi, S., Alayat, H., 2016.** Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la Caractérisation Physico-Chimique des Eaux d'un Ecosystème Aquatique : Cas du Lac Oubéira (Extrême NE Algérien). *J. Mater. Environ. Sci.* 2028-2508
- Mouthona, J., 2001.** Mollusques dulcicoles et pollutions biodégradables des cours d'eau : échelle de sensibilité des espèces, genres et Familles. *Ingénieries - E A T, IRSTEA* édition 2001, p. 3 - p. 15. <hal-00464534>
- Muller, Y., 1985.** L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord - Sa place dans le contexte médio Européen. Thèse Doc. sci., Univ. Dijon, 318 p.
- Mutonkole, S.P., Tshitenge M.J.M., Masamba, L.N., 2015.** Benthic Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality: A Case-study of Urban Funa Stream (in Kinshasa, Democratic Republic of Congo). *Open journal of water pollution and treatment.* 2374-6351
- Navas, L., 1929.** Insectes Névroptères et voisins Barbarie. Septième série. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 7 (20) : 57-60
- Noisette, F., 2013.** Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés. Thèse de doctorat, Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, France, 301 p. [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/92/58/30/PDF/These\\_F.Noisette\\_2013.12.11.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/92/58/30/PDF/These_F.Noisette_2013.12.11.pdf) (Page consultée le 5 février 2014)
- Norris, R. H., Thorns, M.C., 1999.** What is river health? *Freshwater Biology*, 41, 197-209.
- Norris, R.H., Norris, K.H., 1995.** The need for biological assessment of water quality: Australian perspective. *Australian Journal of Ecology*, 20, 16.
- Onyenwe, E., PEkedo, C.M., Ifeakanwa, C.N., 2017.** Physico Chemical and Benthic Macro Invertebrate Analysis of Usumani Stream in Abiriba, Ohafia L.G.A. Abia State. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 2348 – 7968.
- Osoz, J., Galicia, D., Miranda, F., 2011.** Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 176p
- Ouelmouhoub, S., 2005.** Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas du subéraies du parc national d'El Kala Algérie. Institut agronomique méditerranéenne de Montpellier.
- Ozenda P., 1982.** Les végétaux dans la biosphère, Ed. Doin, Paris, 427p.

- Parish, F., Looi, C.C., 1999.** Wetlands, Biodiversity And Climate Change Options and Needs for Enhanced Linkage between the Ramsar Convention on Wetlands, Convention on Biological Diversity and UN Framework Convention on Climate Change. Global Environment Network.
- Parmar, T.K., Rawtani, D., Agrawal , Y.K., 2016.** Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers In Life Science*, Vol. 9, No. 2, 110–118.
- Parsons, M.C., Hewson, R.J., 1975.** Pleural respiratory devices in adult *Cryphocricos* (Naucoridae, Heteroptera). *Psyche*, 81 :510-527
- Patrick, M., Jean-Marie, T.H., Lulendo, M., 2015.** Benthic Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality: A Case-study of Urban Fauna Stream (in Kinshasa, Democratic Republic of Congo). *Open Journal Of Water Pollution And Treatment*. 2374-6351.
- Paulsen, S.G., Mayo, A., Peck, D.V., Stoddard, J.L., Tarquinio, E., Holdsworth, S.M., Olsen, A.R., 2008.** Condition of stream ecosystems in the US: an overview of the first national assessment. *Journal of the North American Benthological Society*, 27, 812-821.
- Pavan, M., 1986.** Une résolution culturelle européenne : la "Charte sur les Invertébrés" du Conseil de l'Europe. Conseil de l'Europe, 51 pp.
- Pearce, F., Crivelli, A.J., 1994.** Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes. Arles : Tour du Valat, Medwet. 88 p. (Conservation of Mediterranean wetlands n°1).
- Plafkin, J.L., Barbour, M.T., Porter, K.D., Gross, S.K., Hughes, R.M., 1989.** Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers : benthic macroinvertebrates and fish, first edition. Office of water, US Environmental PA, Washington DC.
- Poisson, R., 1926.** Hémiptères aquatiques nouveaux ou peu connus de l'Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 17 :237-247.
- Poisson, R., 1928.** Description d'un *Micronecta* nouveau (*Micronecta algerican*. sp.) de l'Afrique du Nord (Hemiptera Micronectidae). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 19 :241-243.
- Poisson, R., 1929a.** Micronectes de l'Afrique du Nord (Hemiptera Micronectidae) *Micronecta minusculan*. sp. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 20 :45-46.
- Poisson, R., 1929b.** Résultats scientifiques de la Mission du Hoggar (1928) – Hémiptères aquatiques (1ère note) - *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 20 :87-96.

- Poisson, R., 1929c.** Résultats scientifiques de la Mission du Hoggar (1928) Hémiptères aquatiques (2ème note) - Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 20 :112-113.
- Poisson, R., 1933a.** Note sur les *Mesoveliade* la faune française (Hémiptère Mesoveliidae). Bull. Soc. Entomol. Fr., 38 :181-187.
- Poisson, R., 1933b.** Les espèces françaises du genre *Notonecta* et leurs principales formes affines paléarctiques. Contribution à la connaissance de l'espèce chez les Notonectes. Ann. Soc. Ent. Fr., 102 :317-358.
- Poisson, R., 1933c.** Hémiptères aquatiques. Bull. Soc. His. Nat. Afr. Nord : 134-143.
- Poisson, R., 1935.** Les Hémiptères aquatiques Sandalistrhyncha Born. de la faune française. Arch. Zool. Exp. Gen., 77 :455-563.
- Poisson, R., 1936.** Sur une nouvelle espèce africaine du genre *Laccocoris* (Hémiptère Cryptocérate) - Livre Jubilaire de M. Eugène - Louis Bouvier, Paris : 273-275.
- Poisson, R., 1938.** Les Hémiptères aquatiques de la faune française -Micronectinae. Etude systématique et biologique ; principales espèces paléarctiques. Ann. Soc. Entomol. France, 107 :81-120.
- Poisson, R., 1939.** Quelques observations sur les *Sigaradu* sous-genre *Parasigara* Poisson1935 (Hemiptera, Corixidae) et description d'une nouvelle espèce africaine du genre *Hydrometra* Latr. (Hemiptera, Hydrometridae). Bull. Soc. Entomol. France, 44 :103 -108.
- Poisson, R., 1940.** Contribution à l'étude des Gerris de France et de l'Afrique du Nord (Hemiptera, Gerridae). Bull. Soc. Sci. Bretagne, 17 :140-173.
- Poisson, R., 1953.** Recherches zoologiques et médicales. Les Hydro corises du Tassili des Ajjer (Sahara Central). Ins. Rech. Sah. Univ. Alger. Mis. scient. Tassili des Ajjer (1949) :3-22.
- Poisson, R., 1957.** Faune de France. Editions Paul Le chevalier. 12. Rue De Tournon (VIe).Paris.
- Polhemus, J.T., Polhemus, A.D., 2008.** Global diversity of true bugs (Heteroptera; Insecta) in freshwater. Hydrobiologia 595:379–391.
- Pyle, P.I., Bentzien, M., Opler, P., 1981.** Insects Conservation. Annual Review of Entomology, 26 : 233-258.
- Raachi, M, L., 2007.** Etude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac Tongaau nord-est algérien. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en géographie. Université Du Québec À Montréal.

- Ramade, F., 2003.** Eléments d'écologie, - Ecologie fondamentale-. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- Ramade, F., 2005.** Elément d'Ecologie. Ecologie Appliquée. 6<sup>ème</sup> édition. Paris. Dunod.864 p
- Rejesk, F., 2002.** Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. P18-19.
- Resh, V. H., 1995.** Freshwater benthic macroinvertebrates and rapid assessment procedures for water quality monitoring in developing and newly industrialized countries. In Davis, W. S. & T. P. Simon (eds), Biological Assessment and Criteria. Lewis Publishers, England, pp. 167–177.
- Ribera, I., Volger, A.P., Balke,M., 2008.** Phylogeny and diversification of diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae). Cladistics, vol. 563-590.
- Rodier, J., 1996.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. 8<sup>ème</sup> Ed. Dunod Bordas, Paris, 1135p
- Rosenberg, D., Resh, V., 1993.** Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. review. Environmental Monitoring Assessment, 45-61.
- Rossaro, B., Boggero,A., Lencioni, V., Marziali, L., Solimini, A., 2006.** Tools for the development of a benthic quality index for Italian lakes. J. Limnol., 65(1): 41-51, 2006.
- Rouag, R., 1993.** Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d'El Kala. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie environnement. Université d'Annaba. 61p
- Ruiz-Picos, R,A., Sedeño-Díaz, J,E., López-López, E., 2017.** Calibrating and Validating the Biomonitoring Working Party (BMWP) Index for the Bioassessment of Water Quality in Neotropical Streams. Water Quality. Edited by Hlanganani Tutu.
- Sabatelli, S., Audisio, P , Trizzino, M., Di Giulio, A., 2013.** Description of the larva of *Ochthebius capicola* (Coleoptera: Hydraenidae) from marine rockpools of South Africa. Zootaxa 3683 (3): 280–288.
- Samraoui, B., De Bélair, G., 1997.**The Guerbes-Senhadja wetlands. Part I: An overview. Ecologie28: 233–250.
- Samraoui, B., Menai, R., 1999.** A contribution to the study of Algerian Odonata. International Journal of Odonatology, 2 (2), 145-165
- Convention de Ramsar, 2013.** Le Manuel de la Convention de Ramsar: Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), 6e édition. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.

- Sekhi, S., 2010.** Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés ces cours d'eau Tiout, Hadjadj et Moghrar (Wilaya de Naâma). Mémoire de Magister, USTHB, 117p.
- Sellam, N., Viñolas, A., Fatah, Z., Moulai, R., 2016.** l'utilisation des Coleoptera, Ephemeroptera et Diptera comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques Oueds en Algérie. Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural,: 1133-6889.
- Shoup, C. S., 1943.** Distribution of fresh water gastropods in relation to total alkalinity of streams. Nautilus, 56: 130- 134.
- Skinner , J., Zalewski, S., 1995.** Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes. Conservation des zones humides méditerranéennes Med Wet, Tour du Valat, France, 78p.
- Srivastava, G., Kumar, P., 2019.** Water Quality Index With Missing Parameters. ISSN: 2319 - 1163Volume: 2 Issue: 4 609 – 614.
- Stewart, P., 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Bull. Soc. Hist. Natu., Afr. Nord, New York and London, T. 59, pp. 23 – 36.
- Stoddard, J.L., Herlihy, A.T., Peck, D.V., Hughes, R.M., Whittier, T.R., Tarquinio, E., 2008.** A process for creating multi tachometric indices for large-scale aquatic surveys. Journal of the North American Benthological Society, 27, 878-891.
- Tachet, H., Bournaud, M., Richoux, Ph., 1980.** Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique) Association française de limnologie : 150p.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., Usseglio-polatera, P., 2006.** Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie et écologie. Cnrs édition, Paris.
- Tampo, L., Oueda, A., Nuto, Y., Kaboré, I., Bawa, L., Moctar, D., Boundjou, G., Guenda, W., 2015.** Using physicochemicals variables and benthic macroinvertebrates for ecosystem health assessment of inland rivers of Togo. International Journal of Innovation and Applied Studies 2028-9324.
- Tchatcho, N.L., FotoMenbohan, S., ZébazéTogouet, S. H., 2014 .** Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) Pour L'évaluation Biologique de la Qualité des Eaux de Cours D'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. European Journal of Scientific Research .412-430.
- Fergani, H., Arab, A., 2013.** Utilisation des macroinvertébrés benthiques comme bioindicateurs de pollution d'Oued El-Harrach, USTHB-FBS-4th International

- Congress of the Populations & Animal Communities “Dynamics & Biodiversity of the terrestrial and aquatic Ecosystems (Bechar) – ALGERIA, 19-21 November, 2013
- Tenkiano, N., 2017.** Macroinvertébrés benthiques et hyphomycètes aquatiques : diversité et implication dans le fonctionnement écosystémique des cours d'eau de Guinée. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. 59p.
- Thomas, A., 1969.** L'importance des Diptères dans l'environnement de quelques cours d'eau des Pyrénées. *Annal Limnol* 5(1).61-76.
- Thomas, A., Dakki, M., 1979.** Ephemeropteres d'Afrique du nord : i. *Ecdyonurus rotschildi navas*, 1929 description des imagos. *Annls Limnol.* 14 (3) : 197-201
- Thomas, A., 1993.** Biological monitoring and tropical biodiversity in marine environments: A critique with recommendations, and comments on the use of amphipods as bioindicators . *Journal of Natural History*, 27 :795-806.
- Thomas, A., 1998.** A provisional checklist of the Mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 134 : 13-20.
- Toubal-Boumaza, O., 1986.** « Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Édough (Algérie nord-orientale) ». Cartographie à 1 / 25 000. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Grenoble, Université des sciences et technologie méditerranéenne
- Toumi, A., Reggam, A., Alayat, H., Houhamdi, M., 2016.** Physico-chemical characterization of waters of the lake ecosystem: Case of Lake of Birds (Far NE-Algerian). *J. Mater. Environ. Sci.* 139-147: 2028-2508.
- Touzin, D., 2008.** Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval. P22.
- Uyanik, S., Yilmaz, G., Yesilnacer, M. I., Aslan, M., Demir, O., 2005.** Rapid assessment of river water quality in Turkey using benthic macroinvertebrates. *Fresenius Environmental Bulletin* 14(4):268-272.
- Valle E. C., Bilodeau G. et Joliete C., 1999.** Les techniques de culture en multi cellules. Ed. Illustrée, Presses de l'Université Laval. 394p.
- Villaruel, Mc., Coronado, A, S., Camacho, Ma., 2015.** Preliminary Assessment Of Water Quality Of Donata Falls In Polillo , Quezon , Philippines Using. *Pup Journal of Science and Technology*, 1908-9058.

- Vindimian, E., Garric, J., 1993.** Bio-essais et bioindicateurs de toxicité dans le milieu naturel. In Division biologie des écosystèmes aquatiques, CEMAGREF Lyon. [http://www.kmdev.com/eaufrance/francais/etudes/pdf/etude\\_17](http://www.kmdev.com/eaufrance/francais/etudes/pdf/etude_17).
- Wangari, E.O., 1986.** « Communication sur l'aperçu du programme sur l'Homme et la biosphère ». In *Écologie D'un Système Spécifique À Usages Multiples : La Mangrove*. UNESCO-MAB, 290p.
- Washington, H. G., 1984.** Diversity, biotic, and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research* 18, 653–94.
- Wetzel, R.G., 2001.** *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Academic Press, San Diego, CA, 1006 pp.
- Wu, Z., Wang, X., , Yongjiu Cai, Y.C., Deng, J., 2018.** Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment* 612 (2018) 914–922
- Yasri, N., 2009.** Diversité, écologie et biogéographie des macroinvertébrés de quelques affluents du Mazafran. Mémoire de Magister, USTHB, 96 p.
- Zedler, J., Kercher, S., 2005.** Wetland resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30:39–74.
- Zerguine, K., Bensakhri, Z., Bendjeddou, D., Khaladi, O., 2018.** Diversity and distribution of Chironomidae (Insecta: Diptera) of the Oued Charef basin, North-Eastern Algeria. *Annales de la Société entomologique de France (N.S.), International Journal of Entomology*, 0037-9271.
- Zeybek , M., Kalyoncu, H., Karakaş, B., Özgül, S., 2014.** The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality according to macroinvertebrates in Değirmendere Stream (Isparta, Turkey). *Turkish Journal of Zoology*. 38: 603-613.
- Zouggaghe, F., Mouni, L., Tafer, M., 2014.** Qualité biologique du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam (Nord de l'Algérie). *Larhyss Journal*, pp. 21-33

## التغيرات المكانية لللافقاريات القاعية في بحيرة تونجا (القالة - ولاية الطرف).

### الملخص:

اللافقاريات المائية الكبيرة ، هي كائنات حية تعيش في قاع الجداول والبحيرات حيث يتم توزيعها بطريقة غير متجانسة. على الرغم من دورها الأساسي في أداء النظم الإيكولوجية المائية ، فهي واحدة من الكائنات التي تم تجاهلها والغير معروفة. تركز هذه الدراسة على اللافقاريات المائية الكبيرة، و كان الهدف منها هو تقييم تنوع اللافقاريات المائية الكبيرة ونوعية مياه بحيرة تونجا. ولهذا الغرض ، تم جمع الحيوانات القاعية بين مارس 2017 وفبراير 2018 في سبع محطات في ساحل بحيرة تونجا. بالإضافة إلى ذلك ، تم قياس 11 متغير فيزيائي وكيميائي لنوعية المياه (درجة الحرارة ، الناقلية الكهربائية ، الملوحة، الحموضة ، الأكسجين الذائب ، النترات ، النتريت ، فوسفات الأمونيوم ، الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والطلب على الأكسجين الكيميائي). تم الاستعانة بمؤشر جودة المياه لتحديد جودة المياه الفيزيائية والكيميائية ومؤشرات بيولوجية أخرى منها مؤشر حيوي يعتمد على عائلات اللافقاريات ، مؤشر فريق العمل للرصد الحيوي ، مؤشر متوسط الدرجة لكل صنف بالإضافة الى المؤشر البيولوجي العالمي الموحد لتقييم الجودة البيولوجية المائية. تتألف الحيوانات المسجلة في هذا العمل من 1733 فرداً يتوزعون على 30 عائلة و 51 صنفاً ينتمون إلى مجموعتين (المفصليات و الرخويات). متباينات الأجنحة كانت الأكثر سيطرة ب 24,87% تليها ثنائيات الأجنحة ب 21,41% ثم غمديات الأجنحة ب 19,39%، مختفيات الأجنحة ب 17,20% ، الرخويات ب 13,56% شعريات الأجنحة ب 3,46%. و أقل نسبة كانت من نصيب صنف العناكب ب 0,12% مؤشر جودة نوعية المياه لبحيرة تونجا بأنها ذات نوعية جيدة، أما بالنسبة لمؤشر فريق العمل للرصد الحيوي والمؤشر البيولوجي العالمي الموحد فلقد قيموا بحيرة تونجا على أنها ذات جودة هيدروبيولوجية متوسطة في حين إن المؤشر الحيوي الذي يعتمد على عائلات اللافقاريات و مؤشر متوسط الدرجة لكل صنف يدرج مياه البحيرة على أنها ذات نوعية رديئة. تم تطبيق العديد من التحاليل المتعددة المتغيرات منها تحليل المكونات الرئيسية لوصف تصنيف المواقع و التحليل الإحصائي للعوامل الجزئية لدراسة الاختلافات و توزيع اللافقاريات في المحطات المدروسة بالإضافة إلى تحليل العلاقة المعرفية لدراسة تأثير المتغيرات البيئية على وفرة وتوزيع مجتمع اللافقاريات الكبيرة

**الكلمات المفتاحية:** اللافقاريات الكبيرة ، الجودة الفيزيائية ، الجودة الهيدروبيولوجية ، بحيرة تونجا.

## **Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthiques dans le lac Tonga(El-Kala – Wilaya El-Tarf).**

### **Résumé**

L'objectif de cette étude était d'évaluer la diversité des macroinvertébrés aquatiques et la qualité de l'eau du lac Tonga. Dans ce but, la faune benthique a été collectée entre mars 2017 et février 2018 dans sept stations situées sur le littoral du lac Tonga. En outre, 11 variables physicochimiques de l'eau ont été mesurées (la température ; la conductivité électrique; la salinité ; le potentiel d'Hydrogène ; l'oxygène dissous ; les nitrates; les nitrites ; l'ammonium; les orthophosphates; la demande biochimique en oxygène et la demande chimique en oxygène). L'IQE a été évalué pour la qualité physicochimique de l'eau et les indices FBI, BMWP, ASPT et IBGN pour évaluer la qualité hydrobiologique. La faune enregistrée dans cette étude est composée de 1733 individus correspondant à 30 familles et 51 taxes appartenant à trois groupes faunistiques (arthropodes, mollusques). Les ordres les plus dominants ont été les Hétéroptères 24,87%, suivis par les Diptère 21,41%, les Coléoptères 19,39%, les Ephéméroptères 17,20%, les Basommatophores 13,56%, les Odonates 3,46 % et les acariens 0,12% . Le score de IQE se situe dans la classe d'eau à une bonne qualité physicochimique, les valeurs de l'indice BMWP et IBGN intègrent lac Tonga dans une qualité hydrobiologique moyenne tandis que les indices FBI et ASPT se classent dans la catégorie des eaux hydrobiologique de mauvaise qualité. Des analyses multivariées ACP ont été appliquées pour caractériser la typologie des sites, FCA pour la répartition des espèces autour des stations et l'ACC pour examiner l'influence des variables environnementales sur l'abondance et la répartition de la communauté des macroinvertébrés.

**Mots clés :** Les macro-invertébrés benthiques, qualité hydrobiologique, distribution spatiales, lac Tonga.

## **Spatial Variations of the Benthic macroinvertebrates in Tonga Lake (El-Kala - Wilaya El-Tarf).**

### **Abstract**

This study focuses on aquatic macroinvertebrates. The objective of this study was to evaluate the diversity of aquatic macroinvertebrates and water quality of Tonga lake. For this purpose, the benthic fauna were collected between Mars 2017 and February 2018 at seven stations in the littoral of Tonga Lake. In addition, 11 physicochemical variables of water quality were measured ( temperature ; electrical conductivity, salinity; hydrogen potential; dissolved oxygen; nitrates; nitrites; Ammonium orthophosphates; the biochemical oxygen demand and the chemical oxygen demand). WQI was evaluated for the physicochemical water quality and FBI, BMWP, ASPT indices and IBGN were to assess the hydro biological quality. The fauna recorded in this work is composed of 1733 individuals corresponding to 30 families and 51 taxa belonging to two faunistic groups ( arthropods, mollusks). The most dominant orders were Heteroptera 24,87%, Diptera 21,41 % followed by Coleoptera 19,39%, Ephemeroptera 17,20 % , Basommatophora 13,56 %, Odonata 3,46% and Acari 0,12%. The WQI classified the water quality of Tonga as a good physicochemical water quality, BMWP index and IBGN values classified Tonga lake as medium hydrobiological quality, while the FBI and ASPT indices classifies as a poor hydrobiological water quality. Multivariate analysis (PCA) was applied to characterize sites typology, FCA for distribution of the species around the stations and ACC to examine the influence of environmental variables on the abundance and the distribution of macro-invertebrates community.

**Keywords:** Benthic macroinvertebrates, hydrobiological quality, spatial distribution, Tonga Lake.