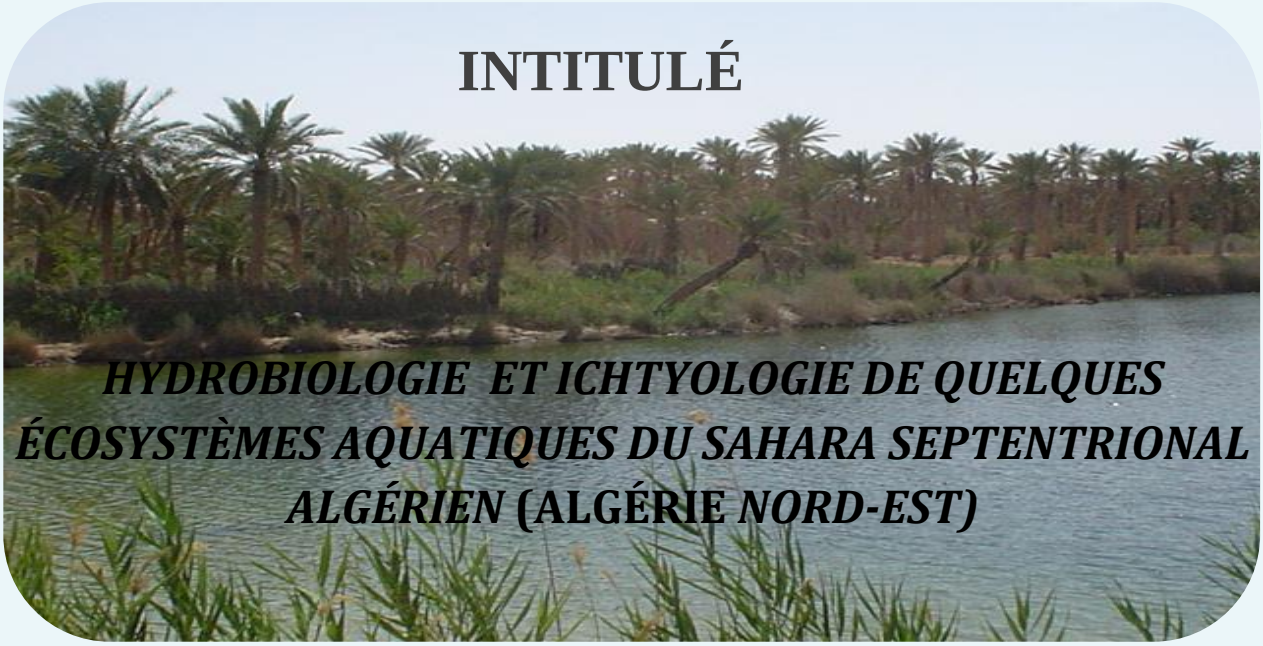
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة باجي مختار -عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER
LABORATOIRE BIORESSOURCES MARINES

THÈSE en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

Spécialité : SCIENCES DE LA MER



INTITULÉ

HYDROBIOLOGIE ET ICHTYOLOGIE DE QUELQUES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES DU SAHARA SEPTENTRIONAL ALGÉRIEN (ALGÉRIE *NORD-EST)*

Présentée par **M^me^ GOUASMIA Ghouzala**

Jury de soutenance:

M. DERBAL Farid, Président, Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba

M^me^ AMAROUAYACHE Mounia, Directrice de thèse, Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba

M. KARA M. Hichem, Co-directeur de thèse, Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba

M^me^ KAOUACHI Nouha, Examinatrice, M.C.A, Université Mohamed Cherif Messaadia, Souk Ahras

M. SCHARF Burkhard, Examinateur, Assistant-Professeur, Université Technique, Braunschweig, Allemagne

M^me^ SOUIKI Lynda, Examinatrice, Professeur, Université 8 mai 1945, Guelma

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour réaliser et finaliser cette thèse.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire Bioressources Marines, dont je remercie le directeur le Professeur ***M.H. KARA*** *pour son accueil.*

J'adresse ma sincère reconnaissance à ma chère directrice de thèse, Professeur ***M. AMAROUAYACHE****, pour la confiance qu'elle m'a accordée et pour tout le temps qu'elle m'a consacré afin de diriger et mener à bien cette recherche. C'est grâce à son sérieux, ses encouragements et ses qualités humaines que cette thèse a vu le jour. Je lui suis reconnaissante pour tout ce que j'ai appris avec elle.*

Je remercie très sincèrement Professeur ***F. DERBAL*** *pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance. Je lui suis très reconnaissante pour toutes les facilités rendues et sa contribution dans la réalisation de la partie ichtyologique.*

Je suis très reconnaissante envers Professeur ***B. SCHARF****, je lui exprime ma profonde gratitude de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury en tant qu'examinateur.*

Je remercie Docteur ***N. KAOUACHI*** *d'avoir accepté de faire partie de ce jury et d'évaluer ce manuscrit en tant qu'examinatrice.*

Je remercie Professeur ***L. SOUIKI*** *d'avoir accepté d'évaluer ce travail en tant qu'examinatrice.*

Mes remerciements vont aussi à monsieur ***H. FRIHI*** *pour avoir contribué à la réalisation de la partie physico-chimique de ce travail.*

J'exprime ma gratitude à madame ***M. HOLYNSKA*** *qui m'a accueillie dans son laboratoire du Muséum et Institut de Zoologie de Varsovie en Pologne, pour une formation sur l'identification des copépodes cyclopoides dont elle m'a fait bénéficier, ainsi que pour les multiples informations et documentations fournies.*

*Je remercie encore le Professeur **B. SCHARF** pour l'énorme effort qu'il a fourni pour identifier une grande partie de mes échantillons d'ostracodes et de m'avoir appris les techniques d'identification lors de sa visite à l'université Badji Mokhtar en 2017. Je remercie également le Professeur **O. KULKOYLUOGLU** (université de Bolu, Turquie) pour m'avoir identifié également quelques ostracodes.*

*Mes remerciements vont également à madame **S. TURKI** pour m'avoir accueilli dans son laboratoire Milieu Marin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la mer - Centre La Goulette- Tunisie, et pour son aide pour d'identification de quelques espèces zooplanctoniques (copépodes, rotifères et cladocères), ainsi que son équipe et en particulier madame **R. SOUGHA.***

*Mes remerciements vont également à Monsieur **M. FAKHAOUI**, directeur de l'institut Scientifique de Rabat-Maroc, pour m'avoir accueilli au département de Zoologie et Ecologie Animal, et pour l'aide de toute l'équipe du département et en particulier madame **S. EL BLIDI** et madame **O. HIMMI** qui avec, madame **K. KITANI** m'a aidé pour l'identification des larves de Chironomes.*

*Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à madame **S. BISSATI**, Doyenne de la faculté des sciences à l'Université Kasdi Merbah d'Ouargla et ancienne collègue pour toutes les facilités qu'elle m'a accordée.*

Mon travail de recherche sur le terrain a été facilité par plusieurs personnes de la région d'Oued Righ et Ouargla, et par cette occasion je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont participé pour la réalisation de cette partie pratique importante.

Je ne saurais finir sans remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Ghouzala

Dédicaces

A mes chers parents

A mes deux frères et ma sœur

A mon époux

A mes deux chers enfants

Mohamed et Amine

Sommaire

RÉSUMÉ **ABSTRACT** **ملخص** **LISTE DES FIGURES** **LISTES DES TABLEAUX**	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES MILIEUX D'ÉTUDES	
I. Présentation des milieux d'études	5
1.1. Introduction	5
1.1.1. Lac Ayata	6
1.1.2. Lac Mégarine	7
1.1.3. Lac Témacine	8
1.1.4. Lac Hassi Ben Abdallah	9
1.2. Caractéristiques climatiques des régions d'études	10
1.3. Ressources en eaux dans les régions d'études	12
CHAPITRE II : CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES DES MILIEUX D'ÉTUDES	
II. Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des milieux d'études	14
2.1. Caractéristiques physico-chimiques des lacs Ayata, Mégarine et Témacine	14
2.1.1. Introduction	14
2.1.2. Matériel et méthodes	14
2.1.3. Résultats	15
2.1.3.1. Lac Ayata	15
2.1.3.2. Lac Mégarine	18
2.1.3.3. Lac Témacine	21
2.1.3.4. Analyse en composantes principales (ACP) et matrice de corrélation	23
2.1.4. Discussion	28
2.1.5. Conclusion	31
2.2. Caractéristiques bactériologiques des eaux des lacs Ayata, Megarine, Temacine et Hassi Ben Abdallah	32
2.2.1. Introduction	32
2.2.2. Matériel et méthodes	32

2.2.3. Résultats	33
2.2.3.1. Lac Ayata	33
2.2.3.2. Lac Mégarine	34
2.2.3.3. Lac Témacine	34
2.2.3.4. Lac Hassi Ben Abdallah	36
2.2.4. Discussion	36
2.2.5. Conclusion et perspectives	38
CHAPITRE III : DIVERSITÉ, DISTRIBUTION ET VARIATIONS SPATIOTEMPORELLES DU ZOOPLANCTON DANS LES LACS AYATA, MÉGARINE, TÉMACINE ET HASSI BEN ABDALLAH	
III. Diversité, distribution et variations spatiotemporelles du zooplancton dans les lacs Ayata, mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah	39
3.1. Introduction	39
3.2. Matériel et méthodes	39
3.2.1. Choix des stations	39
3.2.2. Echantillonnage et traitement	43
3.3. Résultats	43
3.3.1. Variation saisonnière des paramètres physicochimiques des milieux d'études	43
3.3.2. Diversité, distribution et variations spatio-temporelles du zooplancton dans les lacs étudiés	46
3.3.2.1. Diversité des communautés zooplanctoniques	46
3.3.2.2. Distribution des communautés zooplanctoniques	48
3.3.2.3. Abondance et variations spatio-temporelles du zooplancton	49
➢ Lac Ayata	49
➢ Lac Mégarine	51
➢ Lac Témacine	53
➢ Lac Hassi Ben Abdallah	55
3.4. Discussion	57
3.5. Conclusion	61
CHAPITRE IV : ICHTYOFAUNE DES EAUX CONTINENTALES DU SAHARA ALGÉRIEN	
IV. Ichtyofaune des eaux continentales du Sahara algérien	62
4.1. Introduction	62

4.2. Matériel et méthodes	63
4.2.1. Actualisation de l'inventaire ichtyologique des lacs de la région d'Oued Righ et Ouargla	63
4.3. Résultats	63
4.3.1. Liste ichtyologique des eaux continentales du Sahara algérien	63
4.3.2. Inventaire de l'ichtyofaune dans les lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah	74
4.4. Distribution et abondance des espèces inventoriées dans les lacs étudiés	76
4.5. Discussion	76
4.5.1. Liste des poissons des eaux continentales du Sahara algérien	76
4.5.2. Inventaire ichtyologique dans les lacs étudiés	80
4.6. Conclusion	81
CHAPITRE V : INVENTAIRE DES GASTEROPODES DES EAUX CONTINENTALES SAHARIENNES (OUED RIGH ET OUARGLA)	
V. Inventaire des gastéropodes des eaux continentales sahariennes (Oued Righ et Ouargla)	83
5.1. Introduction	83
5.2. Matériel et méthodes	84
5.3. Résultats	84
5.3.1. La liste et la distribution des gastéropodes des eaux continentales du Bas Sahara (Oued Righ et Ouargla)	84
5.3.2. Etude des gastéropodes des lacs Ayata, Megarine, Temacine et Hassi Ben Abdallah	99
5.3.2.1. Diversité et distribution des gastéropodes dans les lacs étudiés	99
5.3.2.2. Variation saisonnière du benthos dans les lacs étudiés	101
5.4. Discussion	103
5.5. Conclusion	106
CONCLUSION GÉNÉRALE ET QUELQUES PERSPECTIVES	107
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	109

RÉSUMÉ

Le présent travail est une contribution à l'étude hydrobiologique et ichtyologique de 4 lacs salés permanents de la région d'Oued Righ et d'Ouargla (lac Ayata, lac Mégarine et lac Témacine et lac Hassi Ben Abdallah). Il a pour objectifs de recueillir une somme de données permettant la gestion de ces milieux. Différents aspects ont été abordés: la physicochimie et la bactériologie des eaux, ainsi que la description de la faune zooplanctonique, ichtyologique et malacologique.

L'analyse mensuelle de treize facteurs physico-chimiques a été effectuée entre août 2009 et mars 2010 dans les lacs Ayata, Témacine et Mégarine. L'analyse des données montre que Mégarine est le plus salé avec une valeur maximale de 35,00 ± 0,28 $g.L^{-1}$. Ayata et Témacine sont saumâtres-salés. La température de l'eau est similaire dans les trois lacs et varie entre 15,70 ± 0,28 et 34,25 ± 0,35 °C. Le pH est alcalin et varie entre 7,23 et 8,05. L'oxygène dissous est faible avec un maximum de 4,52 ± 0,17 $mg.L^{-1}$, soit 50,51 % de saturation à Témacine. Les trois lacs sont fortement minéralisés avec une dominance de chlorures, de sulfates et de calcium. Globalement, le climat, les apports en eaux des nappes souterraines, les sols adjacents et les systèmes d'évacuation artificiels placés dans les lacs Ayata et Témacine sont les principaux facteurs contrôlant le fonctionnement physico-chimique de ces écosystèmes.

L'analyse bactériologique des eaux a montré la présence de Clostridiums, *Eschirichia coli*, de Streptocoques et de Salmonelles. Ces bactéries se développent différemment entre les 4 lacs et sont particulièrement présentes en période estivale.

La diversité et les variations spatiotemporelles du zooplancton ont été suivies entre février et septembre 2008 dans les 4 lacs en même temps que 4 paramètres physico-chimiques (T°C, salinité, pH et conductivité). Au total 11 espèces ont été inventoriées dont 4 taxons considérés nouveaux pour le Sahara, l'Algérie ou l'Afrique; un copépode *Calanipeda aquaedulcis* et 3 ostracodes: *Sarscypridopsis aculeata*, *Heterocypris salina* et *Amnicythere sp*. Les copépodes sont le groupe dominant avec 5 espèces ; *Arctodiaptomus salinus* et *Cletocamptus retrogressus* sont les plus fréquents. Le lac Ayata est le plus riche avec 10 espèces. Les rotifères sont représentés par *Branchionus plicatilis* qui est intéressant pour l'aquaculture.

L'inventaire et la biogéographie des poissons du Sahara algérien montrent que 19 espèces autochtones, dont 4 endémiques, ont été citées dans la littérature. Le Bas Sahara est la région la plus riche avec 80 % des espèces. L'échantillonnage effectué dans la présente étude a montré la présence de 4 espèces entre les 4 lacs considérés : *Coptodon zillii, Hemichromis leutorneuxi, Aphanius fasciatus et Gambusia holbrooki*. Le poisson-chat semble avoir disparu de ces milieux.

Trois espèces de gastéropodes vivants ont été identifiées dans nos lacs: *Mercuria saharica*, *Hydrobia brondeli* et *Melanoides tuberculata*, espèce vectrice de parasites dangereux. *Hydrobia brondeli* est la plus abondante.

Ces résultats montrent que les lacs considérés méritent un statut de protection et ne peuvent pas être utilisés pour une quelconque forme d'aquaculture.

Mots clés : Lacs salés, Sahara, physicochimie, ichtyofaune, zooplancton.

ABSTRACT

The present work is a contribution to the hydrobiological and ichthyological study of 4 permanent saline lakes of the Oued Righ and Ouargla regions (Ayata, Megarine, Témacine and Hassi Ben Abdallah Lakes). The aim was to collect a bank of data allowing the management of these environments. Several aspects were approached: water physicochemistry and bacteriology, zooplankton, ichthyofauna and gastropods.

Monthly analysis of thirteen physico-chemical factors was carried out between August 2009 and March 2010 in Ayata, Temacine and Megarine Lakes. Analysis of the data shows that Megarine was the most salty with a maximum of 35.00 ± 0.28 $g.L^{-1}$. Ayata and Temacine are brackish-salted. The temperature of the water was similar in the three lakes and varied between 15.70 and 34.25 ° C. The pH was alkaline and varied between 7.23 and 8.05. The dissolved oxygen was low with a maximum of 4.52 $mg.L^{-1}$, which corresponds to 50.51% of saturation in Temacine Lake. The three lakes are highly mineralized with a dominance of chlorides, sulphates and calcium. Globally, climate, water intakes from groundwater, the adjacent soils and artificial drainage systems in Ayata and Temacine are the main factors controlling the physico-chemical functioning of these ecosystems.

Four bacteria were found in the waters of the studied lakes: Clostridia, *Escherichia coli*, Streptococci and Salmonella. They develop differently between the 4 lakes and are particularly present during the summer period.

The diversity and spatiotemporal variation of zooplankton as well as physico-chemical parameters (salinity, temperature, pH and conductivity) were monitored between February and September 2008 in the 4 lakes. A total of 11 species have been recorded, of which 4 taxa are new to the Sahara, Algeria or Africa, a Copepoda *Calanipeda aquaedulcis* and 3 ostracods *Sarscypridopsis aculeata*, *Heterocypris salina* and *Amnicythere sp*. Copepods dominated with 5 species; *Arctodiaptomus salinus* and *Cletocamptus retrogressus* are the most frequent. The rotifers are represented by *Branchionus plicatilis*, which is interesting in aquaculture.

The inventory and biogeography of fish in the Algerian Sahara show that 19 indigenous species have been cited in the literature. The Low Sahara is the richest region in biodiversity with 80% of species. The sampling carried out in this study showed the presence of 4 species in the considered lakes: *Coptodon zillii, Hemichromis leutorneuxi, Aphanius fasciatus* and *Gambusia holbrooki*. The catfish seems to have disappeared from these environments.

Three species of living gastropods have been inventoried in our lakes *Mercuria saharica*, *Hydrobia brondeli* and *Melanoides tuberculata,* a vector of dangerous parasites. *Hydrobia brondeli* was the most characteristic.

These results show that the considered lakes deserve protection status and may not be used for any form of aquaculture.

Key words: Saline lakes, Sahara, physico-chemistry, ichtyofauna, zooplankton, gastropods.

ملخص

هذا العمل هو مساهمة في دراسة الأحياء المائية والأسماك لأربع بحيرات مالحة دائمة بمنطقة واد ريغ وورقلة (بحيرة عياطة ، بحيرة مقارين ، بحيرة تماسين وبحيرة حاسي بن عبد الله) وهو يهدف إلى جمع مجموعة من البيانات وذلك لأجل تسييرها. نوقشت أربعة محاور رئيسة هي: فيزيوكيمياء و بكتيريا الماء ، العوالق الحيوانية، الثروة السمكية والرخويات.

أجري التحليل الشهري لثلاثة عشر عاملا فيزيو كيميائي بين أوت 2009 ومارس 2010 في البحيرات: عياطة ، مقارين وتماسين ، يظهر تحليل البيانات أن مقارين هي الأكثر ملوحة بحد أقصى 35,00 ± 0,25 غ . ل$^{-1}$. عياطة، وتماسين قليلة الملوحة إلى مالحة. درجة حرارة المياه متشابهة في البحيرات الثلاث، وتتراوح ما بين 15,70 و 34,25 درجة مئوية. درجة الحموضة قلوية وتتراوح ما بين 7,23 و 8,05. الأكسجين المذاب منخفض وبحد أقصى: 4,52 ملغ . ل$^{-1}$ بنسبة 50,51 % في بحيرة تماسين. البحيرات الثلاث متمعدنة للغاية مع هيمنة الكلوريدات، الكبريتات والكالسيوم، ويظهر التحليل الإحصائي أن درجة الحرارة هي العامل الرئيس المؤثر على التغيرات في الملوحة والناقلية والأكسجين المذاب.

تم العثور على أربعة أنواع من البكتيريا في مياه البحيرات المدروسة: كلوستروديوم إشرشياكولي، الستريبتوكوك والسالمونيل. تتطور هذه الأنواع بشكل مختلف بين البحيرات الأربع وتتواجد خاصة في فصل الصيف.

التنوع والتباين المكاني والزماني للعوالق الحيوانية تمت متابعتها ما بين فيفري وسبتمبر 2008 في البحيرات الأربع في نفس الوقت مع أربعة عوامل فيزيو كيميائية (الحرارة، الملوحة، درجة الحموضة والناقلية). إجمالا تم حصر 11 نوعا، منها 4 أصناف جديدة بالنسبة للصحراء، الجزائر أو أفريقيا. الكوبيبود *Calanipeda aquaedulcis* و 3 صدفيات: *Sarscypridopsis aculeata, Heterocypris salina* و*Amnicythere sp* . المجدفيات هي المجموعة المسيطرة بخمسة أنواع حيث أن: *Cletocamptus retrogressus* و *Arctodiaptoms salinus* هما الأكثر شيوعا. بحيرة عياطة هي الأغنى بعشرة أنواع. الدورات ممثلة بنوع واحد وهو: *Branchionus plicatilis* والذي يعتبر مفيدا لتربية الأحياء المائية.

جرد وبيوجيوغرافيا الأسماك الموجودة في الصحراء الجزائرية تبين وجود 19 نوعا أصليا تم ذكرها في الأدب. الصحراء المنخفضة هي المنطقة الأكثر تنوعا بنسبة 80 % من مجمل الأنواع. أظهرت العينات في هذه الدراسة وجود أربعة أنواع ما بين البحيرات: *Coptodon zillii* ، *Hemichromis leutorneuxi* ، *Aphanius fasciatus* و *Gambusia holbrooki* . السمك القط يبدو أنه قد اختفى من هذه المناطق.

ثلاثة أنواع من الرخويات تم جردها في البحيرات المدروسة: *Mercuria saharica* ، *Hydrobia brondeli* و *Melanoides tuberculata* . *Hydrobia brondeli* هي الأكثر وفرة.

الكلمات المفتاحة: البحيرات مالحة ، صحراء ، فيزيوكيمياء، الأسماك ، العوالق الحيوانية ، الرخويات.

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Figure 1	Présentation des régions et des sites d'études	**6**
Figure 2	Photo du lac Ayata (Gouasmia, 2008)	**7**
Figure 3	Photo du lac Mégarine (Gouasmia, 2008)	**8**
Figure 4	Photo du lac Témacine (Gouasmia, 2008)	**9**
Figure 5	Photo du lac Hassi Ben Abdallah (Gouasmia, 2008)	**10**
Figure 6	Climagramme d'Emberger (1955) des régions d'Oued Righ et Ouargla	**11**
Figure 7	Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953) des régions d'études Oued Righ et Ouargla	**11**
Figure 8	Variations mensuelles de température de l'air dans les régions d'études Oued Righ et Ouargla	**12**
Figure 9	Pricipales couches aquifères du SASS : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT)	**13**
Figure 10	Paramètres physico-chimiques dans le lac Ayata. a : Température, b : Salinité, c : Conductivité électrique, d : pH, e et f : Oxygène dissous, g : Nitrites, h : Nitrates	**16**
Figure 11	Ions majeurs dans le lac Ayata. a : Chlorures, b : Sulfates, c : Hydrogénocarbonates, d : Sodium, e : Potassium, f : Calcium	**17**
Figure 12	Paramètres physico-chimiques dans le lac Mégarine. a : Température, b : Salinité, c : Conductivité électrique, d : pH, e et f : Oxygène dissous, g : Nitrites, h : Nitrates	**19**
Figure 13	Ions majeurs dans le lac Mégarine. a : Chlorures, b : Sulfates, c : Hydrogénocarbonates, d : Sodium, e : Potassium, f : Calcium	**20**
Figure 14	Paramètres physico-chimiques dans le lac Témacine. a : Température, b : Salinité, c : Conductivité électrique, d : pH, e et f : Oxygène dissous, g : Nitrites, h : Nitrates	**22**
Figure 15	Ions majeurs dans le lac Témacine. a : Chlorures, b : Sulfates, c : Hydrogénocarbonates, d : Sodium, e : Potassium, f : Calcium	**23**
Figure 16	Cercle des corrélations du lac Ayata	**24**
Figure 17	Cercle des corrélations du lac Mégarine	**25**
Figure 18	Cercle des corrélations du lac Temacine	**27**

Figure 19	Photos des stations de prélèvement dans le lac Ayata	**41**
Figure 20	Photos des stations de prélèvement dans le lac Mégarine	**41**
Figure 21	Photos des stations de prélèvement dans le lac Témacine	**42**
Figure 22	Photos des stations de prélèvement dans le lac Hassi Ben Abdelah	**42**
Figure 23	Variations saisonnières de température, salinité, conductivité et pH dans le lac Ayata	**44**
Figure 24	Variations saisonnières de température, salinité, conductivité et pH dans le lac Mégarine.	**45**
Figure 25	Variations saisonnières de température, salinité, conductivité et pH dans le lac Témacine	**45**
Figure 26	Variations saisonnières de température, salinité, conductivité et pH dans le lac Hassi Ben Abdallah	**46**
Figure 27	Photo des espèces zooplanctonique des lacs d'études. a : *Arctodiaptomus salinus* male, b : P5 de *Calanipeda aquaedulcis femelle* , c : *Megacyclops viridis viridis,* d : *Cletocamptus retrogressus femelle,* e : *Coronatella rectangula*, f : *Cyprideis torosa,* g : *Brachionus plicatilis*	**48**
Figure 28	Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Ayata	**50**
Figure 29	Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Ayata	**50**
Figure 30	Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Ayata	**51**
Figure 31	Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Mégarine	**52**
Figure 32	Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Mégarine	**53**
Figure 33	Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Mégarine	**53**
Figure 34	Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Témacine	**54**
Figure 35	Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Témacine	**54**
Figure 36	Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Témacine	**55**
Figure 37	Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Hassi Ben Abdallah	**55**
Figure 38	Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Hassi Ben Abdallah	**56**
Figure 39	Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Hassi	**56**

	Ben Abdallah	
Figure 40	Répartition des espèces d'Anguillidae et Clariidae du Sahara algérien	**72**
Figure 41	Répartition des espèces de Cyprinodontidae du Sahara algérien	**72**
Figure 42	Répartition des espèces de Cichlidae du Sahara algérien	**73**
Figure 43	Répartition des espèces de Cyprinidae du Sahara algérien	**73**
Figure 44	Photos des poissons des lacs étudiés ; a : *Coptodon zillii*, b : *Hemichromis letourneuxi*, c : os et dents pharyngiennes de *H. letourneuxi*, d : *Aphanius fasciatus*, e : *Gambusia holbrooki*, f : gonopodium de *G. holbrooki*	**75**
Figure 45	Photos des gastéropodes vivant dans les lacs d'études : A : *Melanoides tuberculata*, B : *Mercuria saharica* , C : *Hydrobia Brondeli*	**93**
Figure 46	Photos des coquilles vides trouvées dans les lacs étudiés: A : *Heleobia aponensis, b : Myosotella myosotis*	**93**
Figure 47	Variations saisonnières du benthos dans les lacs a : Ayata, b : Mégarine et c : Hassi Ben Abdallah	**94**
Figure 48	Abondance des gastéropodes dans le lac Témacine	**95**
Figure 49	Variations temporelles d'*Hydrobia brondeli* dans lac Témacine	**95**
Figure 50	Variations temporelles de *Melanoides tuberculata* dans lac Témacine	**96**
Figure 51	Variations temporelles de *Mercuria saharica* dans le lac Témacine	**96**

.

.

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 1	Matrice de corrélation du lac Ayata	**25**
Tableau 2	Matrice de corrélation du lac Mégarine	**26**
Tableau 3	Matrice decorrélations du lac Temacine	**27**
Tableau 4	Bactéries présentes dans le lac Ayata	**33**
Tableau 5	Bactéries présentes dans le lac Mégarine	**34**
Tableau 6	Bactéries présentes dans le lac Témacine	**35**
Tableau 7	Bactéries présentes dans le lac Hassi Ben Abdallah	**36**
Tableau 8	Diversité zooplanctonique des lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah	**47**
Tableau 9	Distribution des espèces zooplanctonique des lacs d'études	**49**
Tableau 10	Liste et distribution des poissons du Sahara algérien	**64**
Tableau 11	Systématique des espèces ichtyologiques inventoriées dans les lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah	**74**
Tableau 12	Distribution des espèces ichtyologiques dans les lacs étudiés	**76**
Tableau 13	Inventaire des gastéropodes des eaux continentales de la région d'Oued Righ et Ouargla	**85**
Tableau 14	Liste des espèces de gastéropodes inventoriées dans les lacs étudiés	**92**
Tableau 15	Distribution des gastéropodes des lacs étudiés	**93**

.

.

Introduction générale

Introduction générale

Les lacs salés sont géographiquement très répandus, se trouvant dans toutes les régions continentales du monde et sont généralement concentrés dans les zones arides et semi-arides (Williams, 1998). Les eaux qui forment ces écosystèmes peuvent provenir de deux sources principales; les précipitations directes et les eaux souterraines (Bryant et Rainey, 2002). Les lacs salés en Afrique du Nord, ne sont généralement remplis d'eau qu'au cours de la saison pluvieuse en hiver et au printemps (Aubert, 1976).

Bien qu'ils ne représentent que 10 % des zones humides protégées au niveau international (Jellison *et al*., 2008), les lacs salés ont un intérêt particulier pour de nombreuses disciplines scientifiques y compris l'écologie, la biologie, l'hydrologie, la limnologie, la microbiologie et la modélisation des écosystèmes (Jellison *et al.*, 2008). Il s'agit d'indicateurs de changements climatiques par excellence. Ils sont très reconnus pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eaux (Jellison, 2005). Ces milieux renferment les plus grandes réserves du monde de sels minéraux tels que le lithium. Ils n'échappent pas aussi au loisir et au tourisme.

Le Sahara algérien représente plus de 80 % de son territoire et s'étant de l'Atlas saharien au nord (34°N) à l'extrême sud du pays (19°N). Il comprend 2 écozones; le Paléarctique qui est majoritaire et une partie Afrotropicale dans la région de l'Ahaggar. Il est considéré comme le désert le plus chaud du monde, où la température dépasse les 40 °C à l'ombre et peut dépasser les 50 °C. Cependant, les écarts journaliers de température sont énormes (plus de 30° C). Le climat est aride à hyperaride avec des taux d'évaporation 4 fois plus élevées que les précipitations qui sont de quelques dizaines de millimètres seulement.

Selon Beadle (1948), avant le Pliocène et avant le soulèvement des montagnes de l'Atlas, le Sahara du nord a été envahi par la mer à plusieurs reprises et à des degrés divers. L'extension maximale du sud de la mer, qui comprenait El Goléa, s'est produite pendant l'Eocène. Plus tard, c'est à l'Atérien que les milieux aquatiques du Sahara algérien ont connu le maximum d'extension, il y a environ 10.000 ans. Les principaux bassins continentaux sont le bassin de l'Igharghar à l'extrême sud et le bassin de la Saoura à l'extrême ouest. Le premier bassin est un réseau fossile qui

drainait les eaux de l'Ahaggar du Tassili et de l'Atlas saharien oriental vers l'ancien lac d'Ouargla dont l'emplacement est actuellement occupé par une série de sebkhas : chott d'Ouargla, chott Melghrir et même chott El Djerid de Tunisie. Le bassin de la Saoura draine les eaux de l'Atlas saharien occidental, du Mouydir, de la Teledest et de l'Ahaggar vers la dépression de l'ancien lac Touat dont les témoins actuels sont la sebkha de Timimoun et la sebkha Mekkerrane du sud de Reggane (Le Berre, 1989). Depuis cette époque, ces milieux continentaux ont progressivement régressé ; d'une part en raison de l'accumulation continue des alluvions transportées dans ces zones d'épandage, d'autre part en raison de la modification progressive du climat, qui depuis l'Atérien a tendance à devenir plus aride. Le changement de la faune et de la flore se situe vers les années – 4.000 ans. Les lacs régressent et s'assèchent, le réseau hydrographique devient temporaire, puis se morcelle et devient progressivement encombré par le sable (Le Berre, 1989).

L'effondrement de la couche de Debdeb et des couches sous- jacentes dans la nappe phréatique, sous la poussée artésienne de ces eaux a mené à la formation de petits lacs dans la dépression du Bas Sahara. Selon Berbrugger (1862), ces milieux ont été définis comme des étangs artésiens ou Bhour (pluriel d'une mer), formés par les eaux des sources jaillissantes ou des puits artésiens, et qui sont actuellement alimentés par les eaux de drainage et de la nappe libre, dont la salinité varie au nord de la région d'Oued Righ (Ayata) entre 2,36 et 14,78 $g.L^{-1}$ (Chebbah et Allia, 2015). En Algérie, les Bhours les plus connus sont situées dans les Zibans et Oued Righ (Le Berre, 1989). Actuellement, les milieux humides du Sahara sont très diversifiés, ils sont variés entre chotts, sebkhas, oasis, Gueltas, Bhour et même, lacs salés permanents. Ces derniers sont alimentés essentiellement par des eaux qui proviennent des deux grands bassins souterrains, le complexe terminal et le continental intercalaire. Selon Blanchard (1891), les milieux aquatiques du Bas Sahara communiqueraient avec le golf de Gabes par la dépression du chott Djerid en Tunisie qui arrive jusqu'au Bas Sahara comprenant les grands chotts Melghir et Marouene en Algérie. Si l'on considère la classification de Jorgensen *et al*. (2012), qui tient compte de la profondeur (> 3 m) et de la superficie (> 0,1 km^2), les Bhours du Bas Sahara peuvent être considérés comme des petits lacs, contrairement aux chotts et sebkhas qui sont de larges étendues d'eaux salées peu profondes (Gagneur et Kara, 2001).

Selon De Dekker et Williams (1988), les lacs modérément salés, peu profonds et permanents, sont les moins étudiés en comparaison avec les lacs hypersalés éphémères, qui sont perçus comme plus particuliers de par leur biodiversité (Timms, 2005). Il est admis que la composition chimique inorganique des lacs salés et leur salinité sont déterminées par certains facteurs comme la géochimie du bassin de drainage, la nature chimique des eaux pluviales, la dissolution sélective et la précipitation des sels qui dépendent de l'évaporation et la contribution des eaux souterraines (Tundisi et Matsumura-Tundisi, 2012). La composition de l'eau de ces lacs varie de ce fait considérablement selon les régions du monde ou même localement.

Les lacs permanents qui sont relativement nombreux dans la Vallée d'Oued Righ (environ une vingtaine), restent peu connus du point de vue hydrobiologique. Cette région est très riche en activités agricoles, en particulier la culture des dattiers dont l'excès d'eaux d'irrigation est déversé directement dans ces milieux. De plus, la majorité de ces lacs ont un caractère culturel marqué, étant considérés comme des milieux de cultes et de croyances religieuses, des tombeaux de marabouts présents sur leur berge en témoignent (eg. Lacs Témacine, Ain Zarga, Ayata, Lala Zahra, Lala Fatma et bien d'autres). Des rituels et baptêmes sont pratiqués régulièrement jusqu'à nos jours, à l'occasion de cérémonies de naissances et de mariages. Ces lacs considérés comme des petites mers (Bhours) sont très fréquentées en période chaude par des baigneurs. La pêche de loisir n'est pas pour autant négligeable. Il est à noter que des ensemencements de plusieurs espèces de poissons exotiques (Tilapias, carpes, mulets, barbeaux) ont été effectués dans plusieurs sites mais qui n'ont pas réussi à s'établir (Kara, 2011).

Les quelques informations disponibles sur la biodiversité aquatique ainsi que la physico-chimie des lacs salés permanents du Sahara sont plutôt anciennes et remontent à des investigations effectuées dès la fin du 19ème siècle. Bourguignat (1864) était le premier à réaliser les plus vastes enquêtes sur les gastéropodes continentaux de l'Algérie en général et du Sahara en particulier. De même, Blanchard (1891), Gauthier (1928) et Beadle (1943) se sont intéressés à plusieurs groupes zoologiques et ont insisté sur le zooplancton, dominé par les crustacés inférieurs. Enfin, Pellegrin (1921) est l'auteur qui a abordé de plus près la biodiversité ichtyologique dans les lacs salés du Sahara. Plusieurs espèces ont été décrites pour la première fois à partir de spécimens d'Algérie (eg. *Coptodon zillii, Mercuria saharica, Onychocamptus*

mohammed et bien d'autres). Ces anciennes investigations témoignent de la richesse de ces milieux en ichtyofaune autochtone et même endémique et en zooplancton. Parmi les milieux qui ont attiré le plus la curiosité de ces chercheurs, les lacs Mégarine et Témacine qui font l'objet de cette étude.

Cette thèse est consacrée à l'étude hydrobiologique de 4 lacs salés permanents de la région d'Oued Righ et d'Ouargla, les lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah. Ces milieux ont été choisis pour leur caractère permanent, leur dimension, leurs valeurs écologique et socio-culturelle. Elle a pour objectif de mieux comprendre les caractéristiques et le fonctionnement de ces écosystèmes par la description physico-chimique et bactériologique et de la biodiversité ichtyologique, zooplanctonique, et zoobentique. Le but est de rassembler suffisamment d'informations pour d'éventuelles gestions.

Afin de faciliter la lecture du manuscrit, celui-ci a été divisé en 5 chapitres distincts comprenant chacun une petite introduction, le matériel et méthodes, les résultats, une discussion et une petite conclusion. Les chapitres sont les suivants :

Chapitre I : Présentation des milieux d'étude

Chapitre II : Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques

Chapitre III : Diversité, distribution et variations spatio-temporelles du zooplancton

Chapitre IV : Ichtyofaune des eaux continentales du Sahara algérien

Chapitre V : Inventaire des gastéropodes des eaux continentales sahariennes (Oued Righ et Ouargla)

Une conclusion générale fait ressortir les principaux résultats et les réponses aux questions posées dans la problématique générale. Les références bibliographiques de chaque chapitre et de l'introduction générale sont présentées par ordre alphabétique à la fin du manuscrit.

Chapitre I :
Présentation des milieux d'études

I. Présentation des milieux d'études

1.1. Introduction

Dans cette étude, quatre lacs salés permanents du Sahara septentrional ont été prospectés afin de les caractériser du point de vue hydrobiologique. Il s'agit des lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah. Situés sur le même alignement nord-sud et sur environ 200 km, les trois premiers lacs sont localisés dans la région d'Oued Righ et le quatrième est situé dans la région d'Ouargla (Fig.1).

La région d'Oued Righ, également connue sous le nom de Vallée d'Oued Righ est situé entre la wilaya d'El-Oued et la wilaya d'Ouargla. La Vallée est une grande dépression topographique d'une superficie de 3000 km², soit 150 km de long et 20 km de large, avec une pente d'environ 1 ‰ orientée nord-sud, où l'altitude baisse progressivement de +100 m en amont au village d'El Goug à - 27 m en aval du chott Merouane (Dubost, 1991). La région est riche en palmeraies de dattiers irriguées grâce à des forages. L'excès d'eau résultant de l'irrigation est drainé soit vers un canal appelé canal d'Oued Righ, soit vers des petits plans d'eau à l'origine, qui sont devenus des lacs permanents en raison des apports continuels d'eaux.

Selon Berbrugger (1862), ces milieux d'études ont été définis comme des étangs artésiens ou Bhour (pluriel d'une mer), formés par les eaux des sources jaillissantes ou des puits artésiens. Si l'on considère la classification de Jorgensen *et al*. (2012), qui tient compte de la profondeur et de la superficie, soit au moins 3 m et 0,1 km^2 respectivement, ces milieux peuvent être considérés comme des petits lacs. Ces lacs ont des valeurs économiques, culturelles, écologiques et touristiques considérables.

Ce premier chapitre est consacré à la description des lacs salés permanents considérés dans cette étude.

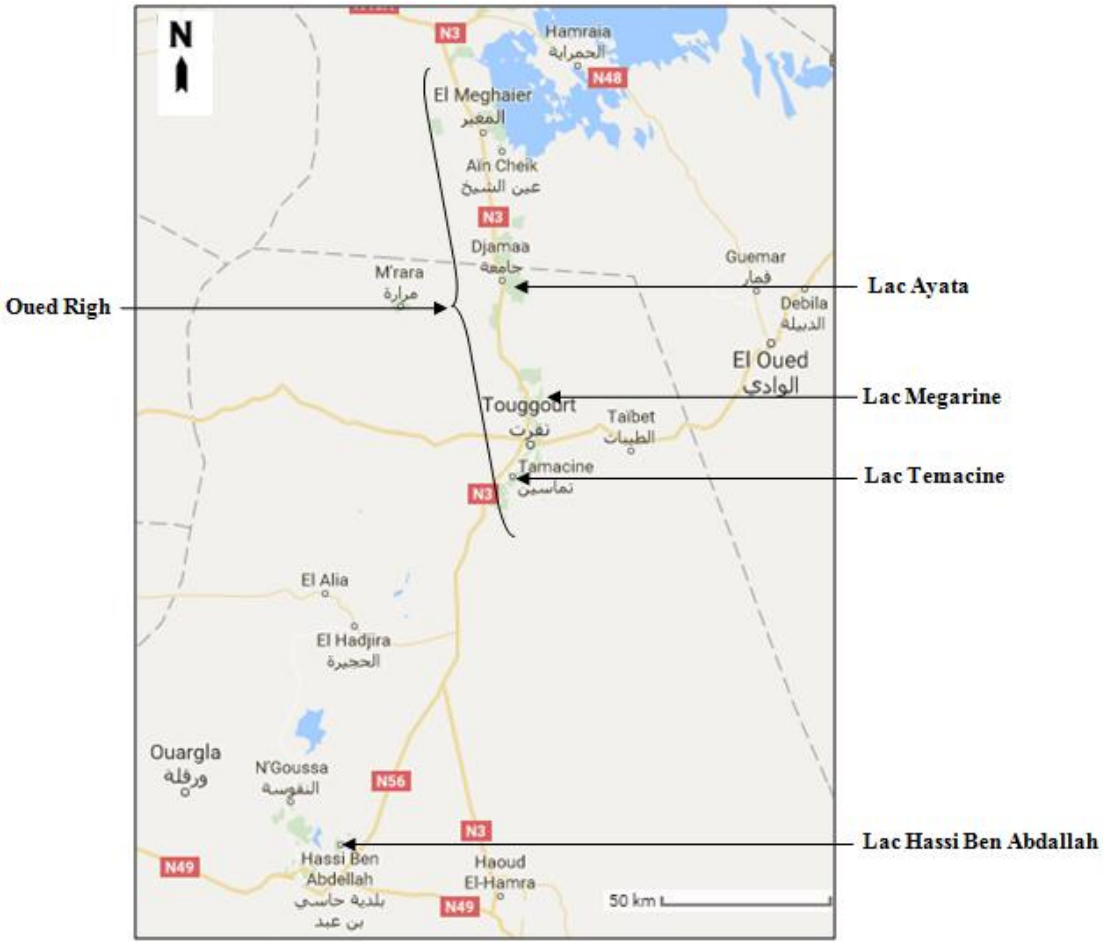


Figure 1. Présentation des régions et des sites d'études.

1.1.1. Lac Ayata

Le lac Ayata (Fig. 2) est situé au centre de la région d'Oued Righ, dans la wilaya El-Oued (commune de Sidi Amrane, daïra de Djamaa), près de la route nationale numéro 3, à 33°29'37.3"N 5°59'28.9"E et à 42 m d'altitude. Il s'étale sur environ 20 ha, où la profondeur maximale ne dépasse pas 1,5 m. Il s'alimente par deux drains d'irrigation agricoles provenant des palmeraies adjacentes. Le lac est doté d'un canal qui a été placé au centre pour l'évacuation de l'eau qui déborde souvent en janvier et février. Ses berges comprennent 10 espèces végétales : *Phragmites communis, Juncus maritimus, Halocnemum strobilaceum, Tamarix gallica, Suaeda fructicosa, Limoniastrum guyonianum, Zygophyllum album, Arthrocnemum glaucum, Traganum nudatum, Salicornia fructicosa* (Koull, 2015).

Figure 2. Photo du lac Ayata (Gouasmia, 2008).

1.1.2. Lac Mégarine

Le lac Mégarine (Fig. 3) est situé au nord de la commune de Mégarine, daïra de Touggourt, dans la wilaya d'Ouargla, à distance de 50 Km au sud du lac Ayata. Ses coordonnées géographiques sont 33°12'21.7"N 6°05'54.8"E, avec plus de 57 m d'altitude. Sa superficie est d'environ de 3,2 ha avec une profondeur qui varie entre 2 et 4 m. Le lac est alimenté par l'excès d'eau d'irrigation des palmeraies voisines, à travers deux collecteurs de drainage auxquels il est directement lié. Les eaux de la nappe libre participent également à l'alimentation du lac. Comme pour Ayata, les berges de ce lac comprennent 10 espèces végétales : *Phragmites communis, Juncus maritimus, Halocnemum strobilaceum, Tamarix gallica, Mallugo nudicaulis, Aeluropus littoralis, Cynodon dactylon, Suaeda fructicosa, Cressa cretica, Sonchus maritimus* (Koull, 2015).

Figure 3. Photo du lac Mégarine (Gouasmia, 2008).

1.1.3. Lac Témacine

Le lac Témacine (Fig.4) également appelé El Bhour est un petit plan d'eau, situé dans la ville de Témacine au sud de Touggourt (wilaya d'Ouargla), à 33°00'54.8"N 6°01'24.4"E et de 76 m d'altitude. Sa superficie est de 4,2 ha et sa profondeur varie d'environ 2 m et atteint 7 m à certains endroits. Il est alimenté par l'excès des eaux d'irrigations des palmeraies, en plus des eaux de la nappe libre. Le canal de l'Oued Righ qui se trouve à l'est du lac, constitue un exutoire pour l'excès de ses eaux. Les berges du lac Témacine comprennent huit espèces végétales : *Phragmites communis, Juncus maritimus, Halocnemum strobilaceum, Tamarix gallica, Mallugo nudicaulis, Aeluropus littoralis, Cynodon dactylon, Suaeda* fructicosa (Koull, 2015).

Figure 4. Photo du lac Témacine (Gouasmia, 2008).

1.1.4. Lac Hassi Ben Abdallah

Le lac Hassi Ben Abdellah (Fig. 5) est situé dans la région de Ouargla à environ 27 km au nord-est du chef lieu de la wilaya d'Ouargla, à l'ouest de la route nationale N56 et de la commune de Hassi Ben Abdallah. Ses coordonnées géographiques sont 32°00'56.1"N et 5°26'47.8"E. La superficie du lac est d'environ 2,5 ha et sa profondeur varie entre 2 et 4 m. Les eaux de la nappe phréatique et l'excès des eaux d'irrigation des palmeraies sont les principales sources d'eaux remplissant ce lac. Ses berges comprennent sept espèces végétales ; *Phragmites communis, Juncus maritimus, Tamarix gallica, Aeluropus littoralis, Cynodon dactylon, Sonchus maritimus, Zygophyllum album* (Koull, 2015). Il est à noter qu'il s'agit d'un lieu touristique local par excellence, fréquenté durant toute l'année.

Figure 5. Photo du lac Hassi Ben Abdallah (Gouasmia, 2008).

1.2. Caractéristiques climatiques des régions d'études

Généralement dans la région méditerranéenne, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) et le diagramme pluviométrique d'Emberger (1955) sont les deux présentations qui résument le bioclimat d'une station donnée et ceci par trois éléments fondamentaux : les précipitations (mm) et les températures maximale et minimale (°C). Les caractérisations climatiques présentées ici sont une synthèse des données météorologiques de la station Sidi Mahdi de Touggourt et de la station d'Ouargla, entre 1997 et 2009. Les régions d'Oued Righ et d'Ouargla se caractérisent comme l'ensemble du Bas Sahara algérien, par un climat de type saharien (Fig. 6). La période sèche s'étale presque sur toute l'année, entre février et novembre (Fig.7). Les valeurs maximales de température dans la région d'Ouargla (42,6 ºC) et d'Oued Righ (41,7 ºC), sont enregistrées en juillet, et les valeurs minimales sont enregistrée en janvier (4,8 et 4,6 ºC respectivement pour ces deux régions) (Fig.8). Les précipitations sont irrégulières et faibles ; les valeurs maximales sont enregistrées en janvier (6,2 et 16,97 mm respectivement pour Oued-Righ et Ouargla) (Fig.7).

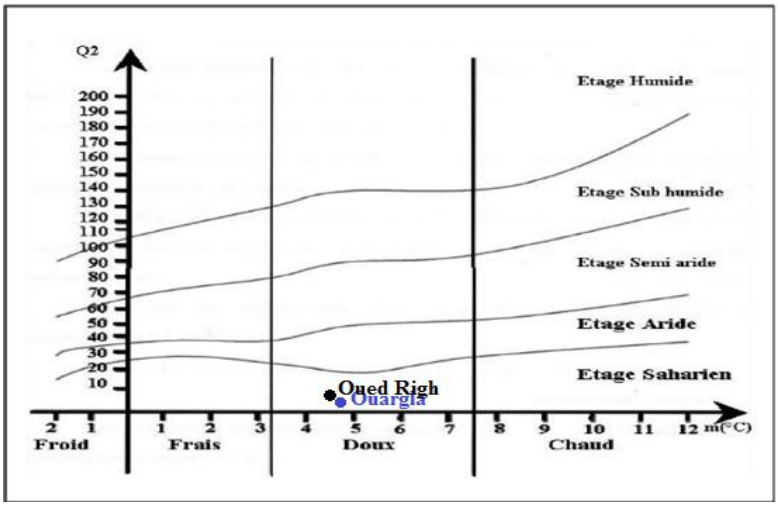


Figure 6. Climagramme d'Emberger (1955) des régions d'Oued Righ et Ouargla.

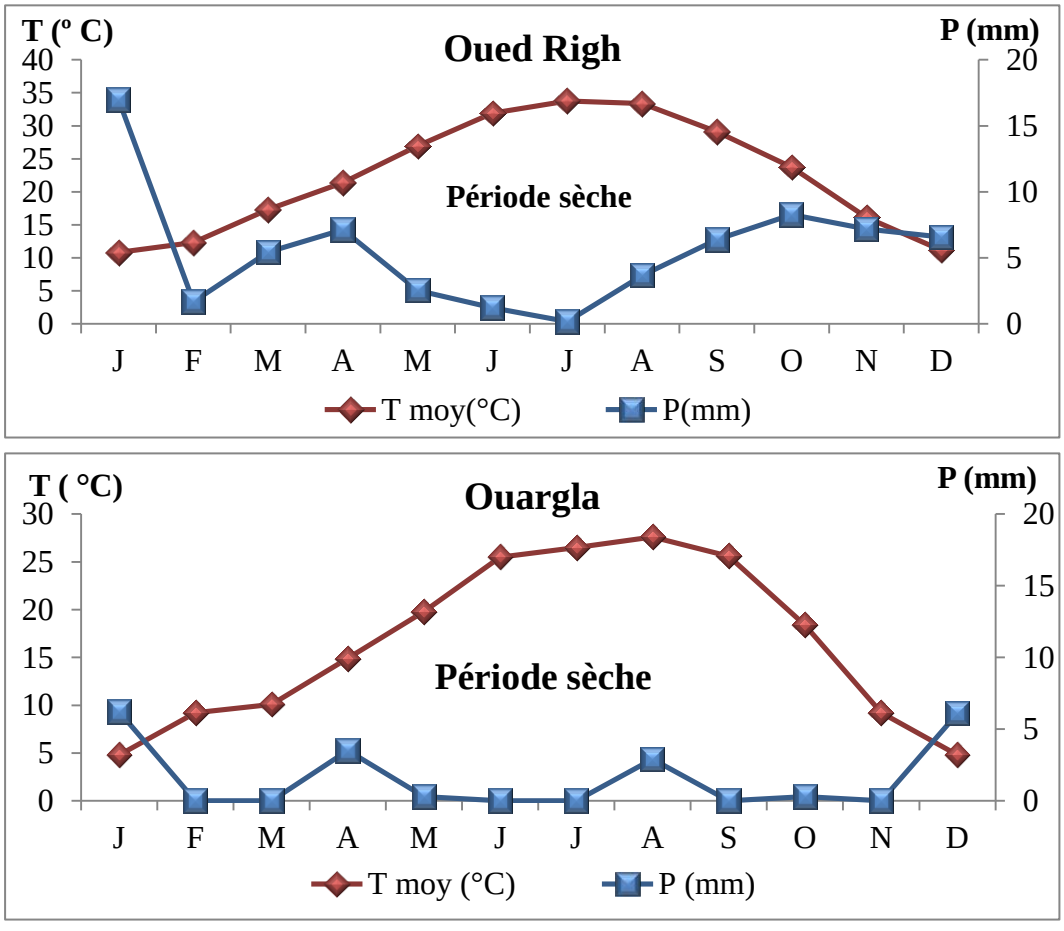


Figure 7. Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953) des régions d'études Oued Righ et Ouargla.

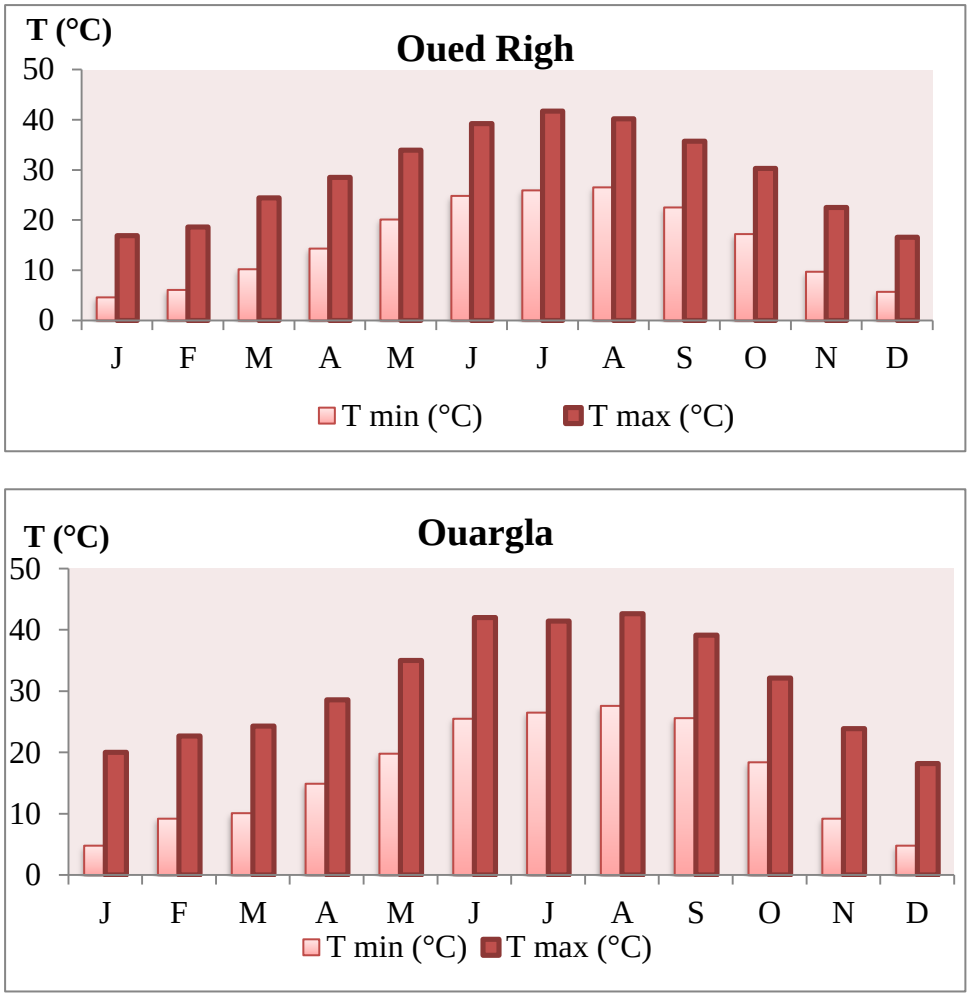


Figure 8. Variations mensuelles de la température de l'air dans les régions d'études Oued Righ et Ouargla.

1.3. Ressources en eaux dans les régions d'études

Les ressources en eaux dans les régions d'étude sont principalement basées sur le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), qui est un aquifère profond partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye (UNESCO, 1972). La zone SASS couvre des écorégions allant des zones désertiques avec une pluviométrie annuelle inférieure à 100 mm et une évapotranspiration supérieure à 3000 mm, aux zones arides avec une pluviométrie annuelle de 100 à 200 mm et une évapotranspiration de l'ordre de 2000 à 2500 mm. Le SASS désigne une superposition complexe de nappes dont deux principales couches aquifères sont logées dans deux formations géologiques différentes : le Continental Intercalaire (CI ou l'Albien) et le Complexe Terminal (CT) (Fig. 9). La nappe du continental intercalaire s'étend sur 1.100.000

km^2, avec une épaisseur moyenne de 350 m et des réserves évaluées à 20.000×10^9 m^3 d'eau. La nappe du complexe terminal s'étend sur 665.000 km^2, avec une épaisseur moyenne de 342 m et des réserves d'eau évaluées à 11.000×10^9 m^3 (Ould Baba Sy, 2005). Le CI a été rechargé en eau lors des périodes humides et plus froides du Pléistocène inférieur (Guendouz *et al*., 2003). L'exploitation de cet aquifère est très ancienne, d'abord à travers les sources, les puits de surface et les foggaras, ensuite moyennant des forages de plus en plus profonds, pouvant dépasser dans certains cas les mille mètres. Ces réserves d'eau considérables sont peu renouvelables et ne sont pas exploitables en totalité (UNESCO, 1972).

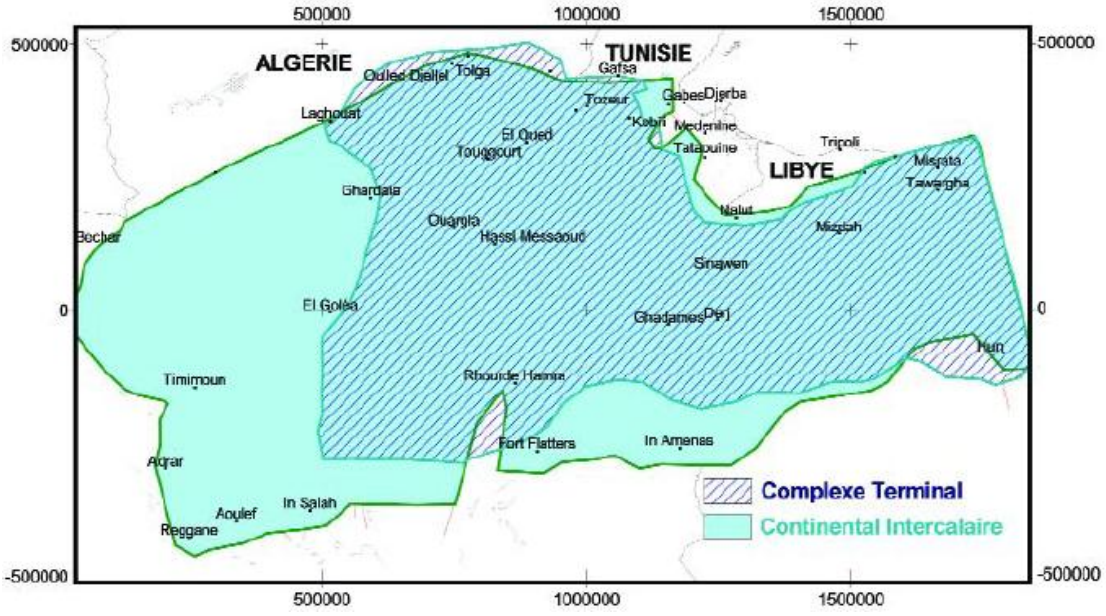


Figure 9. Principales couches aquifères du SASS : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (OSS, 2008).

Chapitre II :
Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques

II. Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des milieux d'études

2.1. Caractéristiques physico-chimiques des lacs Ayata, Megarine et Temacine

2.1.1. Introduction

La connaissance des paramètres physico-chimiques des écosystèmes aquatiques est indispensable pour comprendre leur composition et leur fonctionnement, et ceci afin de permettre une possible gestion. Les investigations physico-chimiques menées dans la région d'étude concernent uniquement les eaux de forage (UNESCO, 1972; Guendouz, 1985; Guendouz *et al*., 2003; Tabouche et Achour, 2004; Chebbah et Allia, 2015) et celles du canal d'Oued Righ, qui se déverse dans le chott Merouane (Hacini *et al.*, 2008). En notre connaissance, seul Beadle (1943) a abordé quelques lacs salés du sud de l'Algérie, mais son travail ne concerne pas nos milieux d'étude.

Nous fournissons ici les premières données physico-chimiques des trois lacs permanents salés de la région d'Oued Righ, à savoir, Ayata, Mégarine et Témacine. Les résultats obtenus permettront ainsi une caractérisation des eaux à des fins de gestion, et éventuellement, une meilleure connaissance de l'impact de leur nature sur la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques sahariens.

2.1.2. Matériel et méthodes

Une analyse physico-chimique de l'eau a été réalisée mensuellement entre août 2009 et mars 2010 dans les trois lacs considérés (Ayata, Mégarine et Témacine) et dans 2 stations distinctes pour chaque lac; aux deux extrémités. La température (T°C), la salinité (Salt), le pH, l'oxygène dissous (O.D) et la conductivité électrique K25 (C.E) ont été mesurés *in situ* avec un multi-paramètre de terrain de type Cyber Scan séries 600. Le dosage des nitrites (NO2-), des nitrates (NO3-), des chlorures (Cl-), des sulfates (SO4--), des hydrogénocarbonates (HCO3-), du sodium (Na+), du potassium (K+) et du calcium (Ca++) a été effectué au laboratoire selon la méthode de Rodier *et al.* (1996).

Afin de comprendre les variations temporelles des facteurs physico-chimiques ainsi que l'origine des ions dans trois lacs, une analyse en composantes principales (ACP) et la matrice de corrélation ont été réalisées sur des données centrées réduites, dont les variables sont les treize facteurs physico-chimiques étudiés et les individus sont les mois du suivi mensuel. Le logiciel Statistica 8 a été utilisé pour le traitement des données.

2.1.3. Résultats

2.1.3.1. Lac Ayata

Les variations de la température de l'eau sont illustrées dans la figure 10a. La valeur maximale à été enregistrée en août (31,05 ± 0,21 °C) et la minimale en février (15,85 ± 0,63 °C). La figure 10b montre les fluctuations mensuelles de la salinité, elle varie entre 8,02 ± 0,07 et 11,56 ± 0,92 g. L^{-1}. La conductivité varie entre 12,40 ± 0,81 et 15,33 ± 2,33 $mS.cm^{-1}$ (Fig. 10c). Le pH est alcalin > 7 dont les fluctuations sont comprises entre 7,59 ± 0,09 et 8,03 ± 0,13 (Fig. 10d). Les teneurs en oxygène dissous sont faibles (Fig. 10e et f) ; les valeurs sont presque stables durant toute la période d'étude et n'excèdent pas 3,04 ± 0,09 mg. $L^{-1.}$ Les concentrations en nitrites sont généralement faibles durant la période d'étude (Fig. 10g), et la valeur la plus élevée est de 0,08 ± 0,01 mg. L^{-1}. Les valeurs les plus élevées en nitrates sont enregistrées en période froide (9,52 ± 0,56 mg. L^{-1}). Les valeurs minimales sont enregistrées en septembre (2 ± 0,14 mg. L^{-1}) (Fig. 10h).

Les concentrations des ions chlorure et sulfate sont les plus élevées par rapport aux autres ions. Les concentrations en chlorures atteignent 3,97 ± 0,04 g. L^{-1} (Fig. 11a). Les concentrations en sulfates sont comprises entre 1,88 ± 0,13 et 2,79 ± 0,10 g. L^{-1} (Fig. 11b) avec des fluctuations mensuelles faibles. Les concentrations en hydrogénocarbonates varient entre 171,37 ± 0,35 et 201,47 ± 0,10 mg. L^{-1} et les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période chaude (Fig. 11c). Les concentrations en sodium varient entre 34,45 ± 0,62 et 38,48 ± 1,99 mg. L^{-1} avec des fluctuations mensuelles faibles (Fig. 11d). Les concentrations en potassium varient entre 34,93 ± 2,55 et 51,26 ± 1,51 mg. L^{-1} et les valeurs les plus importantes sont enregistrées en période chaude (Fig. 11 e). Les concentrations en calcium varient entre 398,52 ± 0,38 et 423,64 ± 4,87 mg. L^{-1} (Fig. 11f).

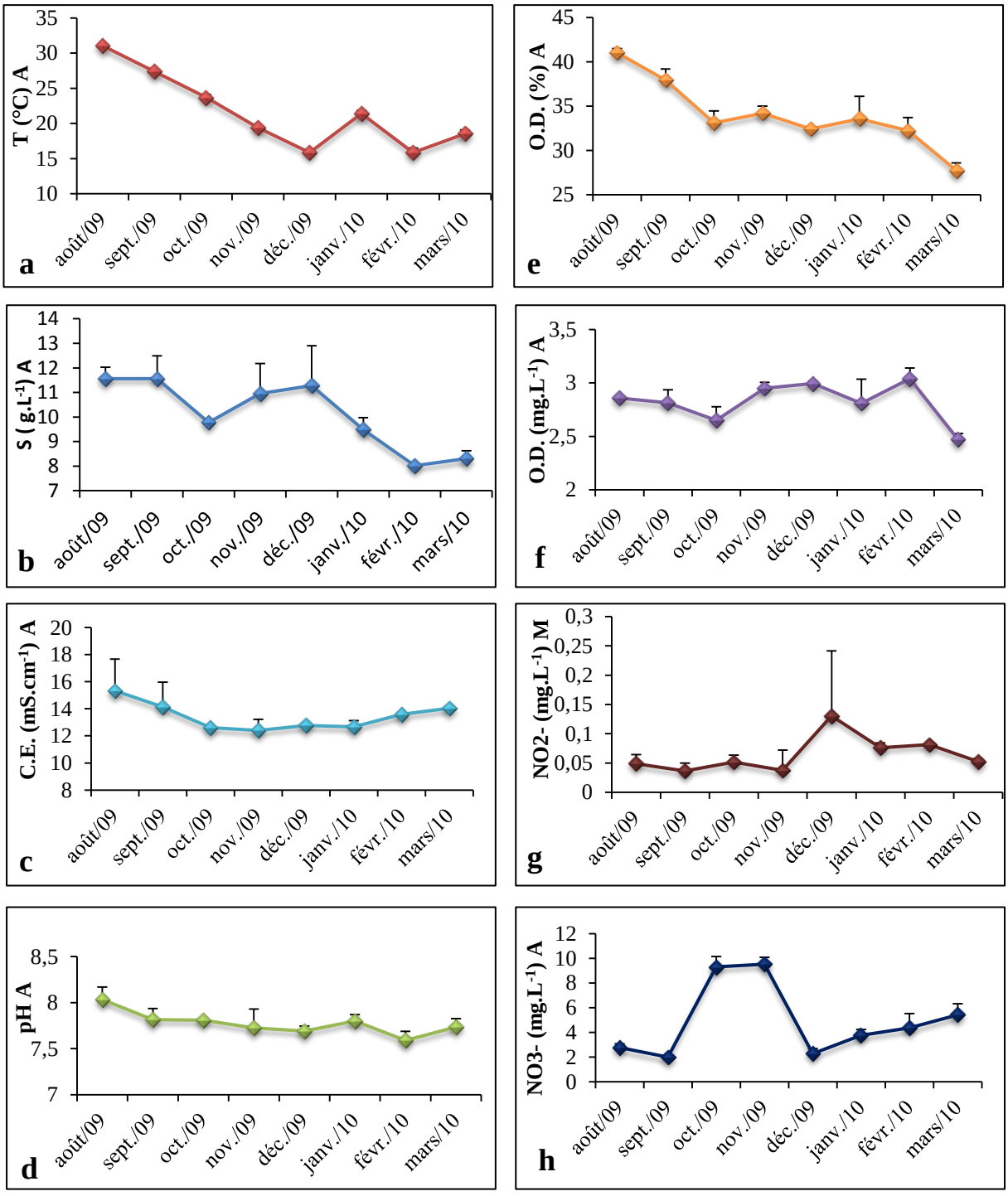


Figure 10. Paramètres physico-chimiques dans le lac Ayata. a : Température, b : Salinité, c : Conductivité électrique, d : pH, e et f : Oxygène dissous, g : Nitrites, h : Nitrates.

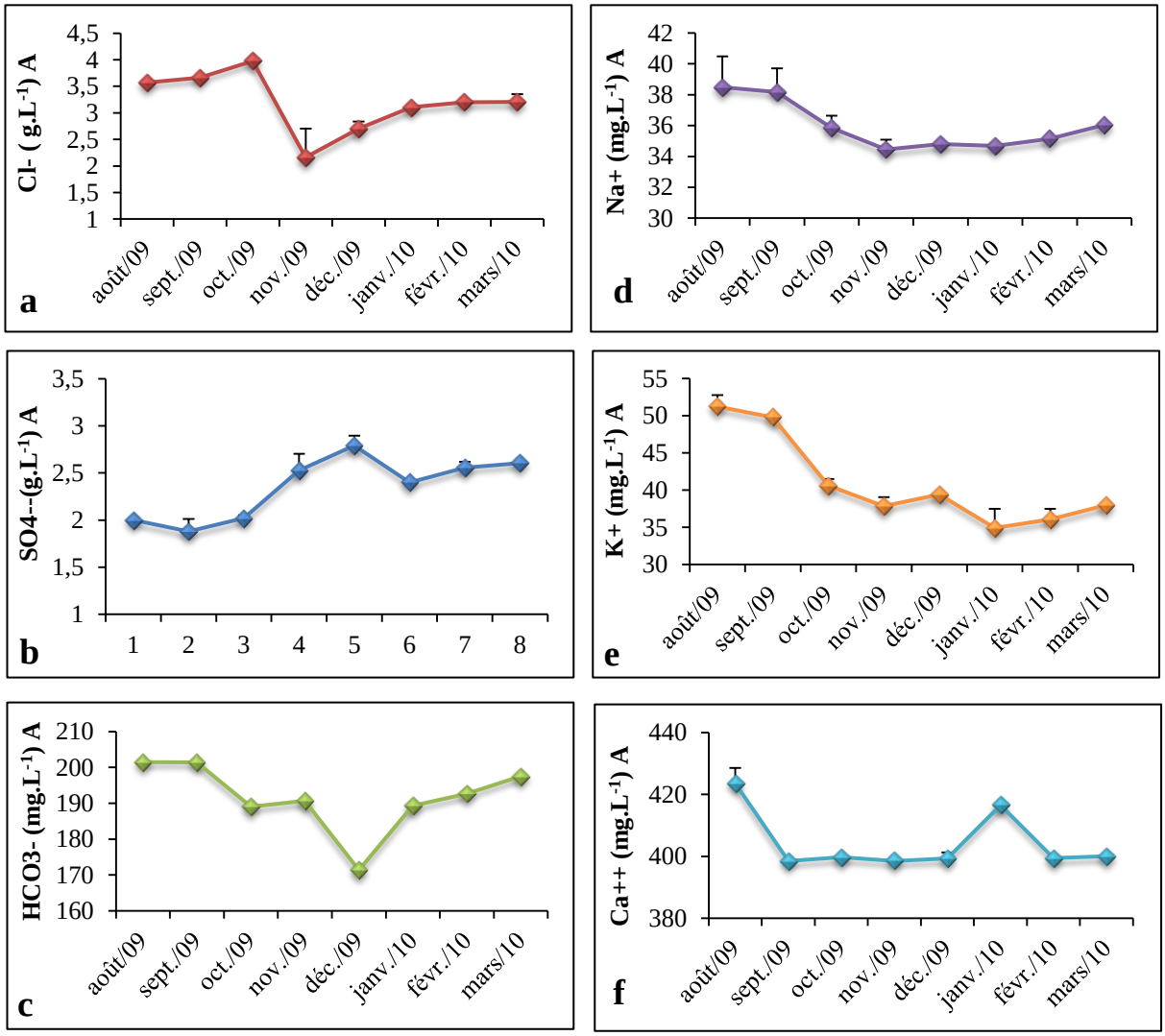


Figure 11. Ions majeurs dans le lac Ayata. a : Chlorures, b : Sulfates, c : Hydrogénocarbonates, d : Sodium, e : Potassium, f : Calcium.

2.1.3.2.Lac Mégarine

Les variations de la température de l'eau sont illustrées dans la figure 12a. Les valeurs extrêmes observées dans ce lac sont comprises entre 15,70 ± 0,28 °C en décembre et 34,25 ± 0,35 °C en août. La figure 12b montre les fluctuations mensuelles de la salinité; elle varie entre 9,49 ± 0,79 et 35,00 ± 0,28 g. L^{-1}. Les valeurs les plus élevées de la conductivité électrique sont enregistrées pendant la période chaude (53,06 ± 0,05 $mS.cm^{-1}$), avec d'importantes fluctuations entre les deux périodes, chaude et froide (Fig. 12c). Les valeurs du pH sont illustrées dans la figure 12d, dont les fluctuations sont comprises entre 7,23 ± 0,00 et 8,05 ± 0,08. Les teneurs en oxygène dissous sont illustrées dans la figure 12e et f ; les valeurs sont presque stables durant toute la période d'étude et n'excèdent pas 2,80 ± 0,08 mg. L^{-1}. Les concentrations en nitrites sont généralement faibles durant la période d'étude (Fig. 12g), les valeurs les plus élevées (0,13 ± 0,11 mg. L^{-1}) sont enregistrées en décembre. Les valeurs les plus élevées en nitrates sont enregistrées en nouvembre (7,11 ± 0,27 mg. L^{-1}) et les minimales en septembre (2,4 ± 0,98 mg. L^{-1}) (Fig. 12h).

Les concentrations des ions chlorure et sulfate sont les plus élevées par rapport aux autres ions. Les chlorures atteignent 18,79 ± 1,00 g. L^{-1} en période chaude (Fig. 13a). D'importantes concentrations en ions sulfates sont enregistrées dans ce lac où les valeurs maximales sont 4,66 ± 0,05 g. L^{-1} et les valeurs minimales sont 2,96 ± 0,05 g. L^{-1} avec des fluctuations mensuelles importantes (Fig. 13b). Les hydrogénocarbonates ont des valeurs maximales de 429,75 ± 0,63 mg. L^{-1} (Fig. 13c). Les concentrations en sodium varient entre 79,59 ± 0,82 et 96,34 ± 0,48 mg. L^{-1} (Fig. 13d). Les concentrations en potassium varient entre 250,58 ± 0,61 mg. L^{-1} et 359,25 ± 4,30 mg. L^{-1} (Fig. 13e). Les concentrations en calcium ont des valeurs maximales de 626,10 ± 7,20 mg. L^{-1} (Fig. 13f).

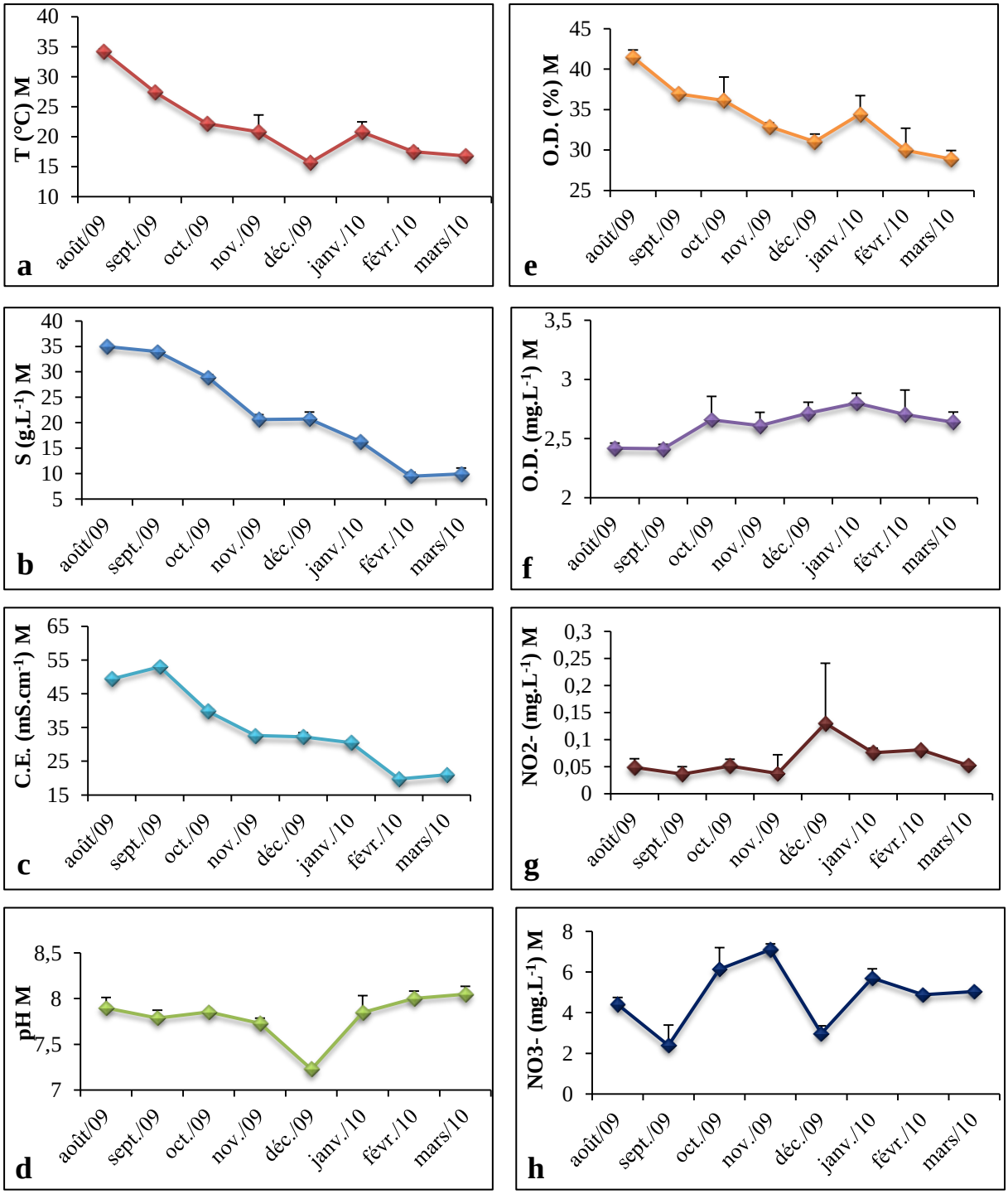


Figure 12. Paramètres physico-chimiques dans le lac Mégarine. a : Température, b : Salinité, c : Conductivité électrique, d : pH, e et f : Oxygène dissous, g : Nitrites, h : Nitrates.

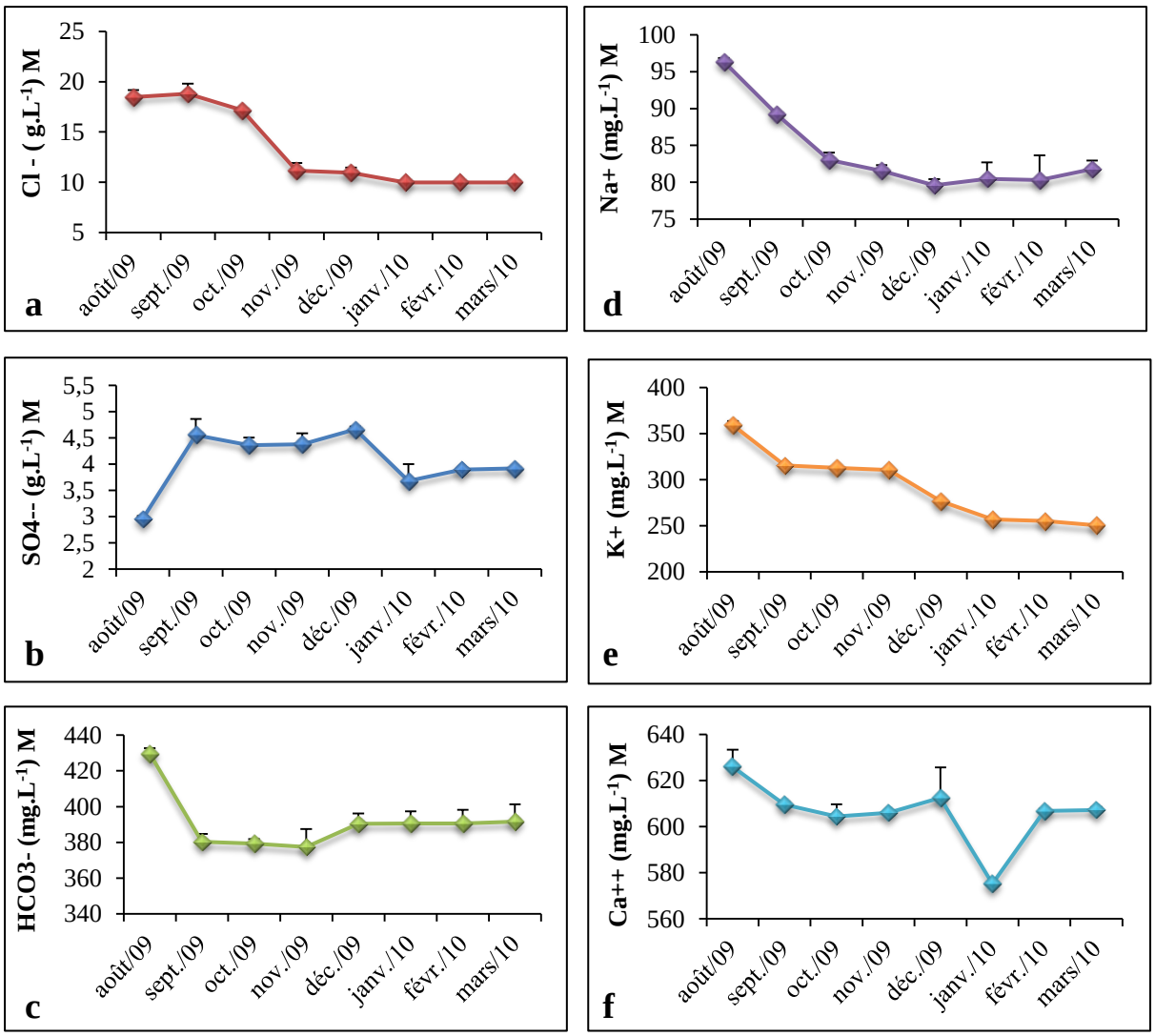


Figure 13. Ions majeurs dans le lac Mégarine. a : Chlorures, b : Sulfates, c : Hydrogénocarbonates, d : Sodium, e : Potassium, f : Calcium.

2.1.3.3. Lac Témacine

Les variations de la température de l'eau sont illustrées dans la figure 14a. Les valeurs maximales sont enregistrées en août 32,30 ± 0,28 °C et les minimales en décembre 15,70 ± 0,42 °C. La figure 14b montre les fluctuations mensuelles de la salinité qui varie entre 12,18 ± 0,22 et 16,45 ± 0,35 g. L^{-1}. La conductivité électrique varie entre 17,34 ± 0,22 et 22,14 ± 0,04 $mS.cm^{-1}$ (Fig. 14c). Les valeurs du pH sont de même gamme ; pH alcalin > 7 dont les fluctuations sont entre 7,37 ± 0,34 et 7,94 ± 0,10(Fig. 14 d). Les teneurs en oxygène dissous sont faibles (Fig. 14e et f), avec un maximum de 4,52 ± 0,17 mg. L^{-1} enregistré en hiver. Les concentrations en nitrites sont généralement faibles durant la période d'étude, les valeurs les plus élevées (0,07 ± 0,07 mg. L^{-1}) sont enregistrées en période froide (Fig. 14g). Les valeurs les plus élevées en nitrates sont enregistrées également en période froide 9,65 ± 1,63 mg. L^{-1} (Fig. 14h).

Les concentrations des ions chlorure et sulfate sont les plus élevées par rapport aux autres ions. Les chlorures atteignent 7,04 ± 0,06 g. L^{-1} en novembre (Fig. 15a). D'importantes concentrations en ions sulfates sont enregistrées dans ce lac où les valeurs maximales sont de 4,69 ± 0,33 g. L^{-1}. Les valeurs minimales sont de 2,23 ± 0,00 g. L^{-1} en août (Fig. 15b). Les hydrogénocarbonates atteignent 562,25 ± 3,01 mg. L^{-1} ; les valeurs les plus importantes sont observées en période chaude et les plus faible en période froide (Fig. 15c). Les concentrations en sodium varient entre 41,97 ± 0,27 et 54,11 ± 1,39 mg. L^{-1}. Les fluctuations mensuelles sont faibles (Fig. 15d). Les concentrations en potassium enregistrent une valeur maximale de 94,04 ± 0,86 mg. L^{-1}. Les fluctuations mensuelles sont faibles avec des valeurs minimales de 81,13 ± 1,36 mg. L^{-1} (Fig. 15e). Les concentrations maximales en calcium sont 550,78 ± 19,53 mg. L^{-1} (Fig. 15f).

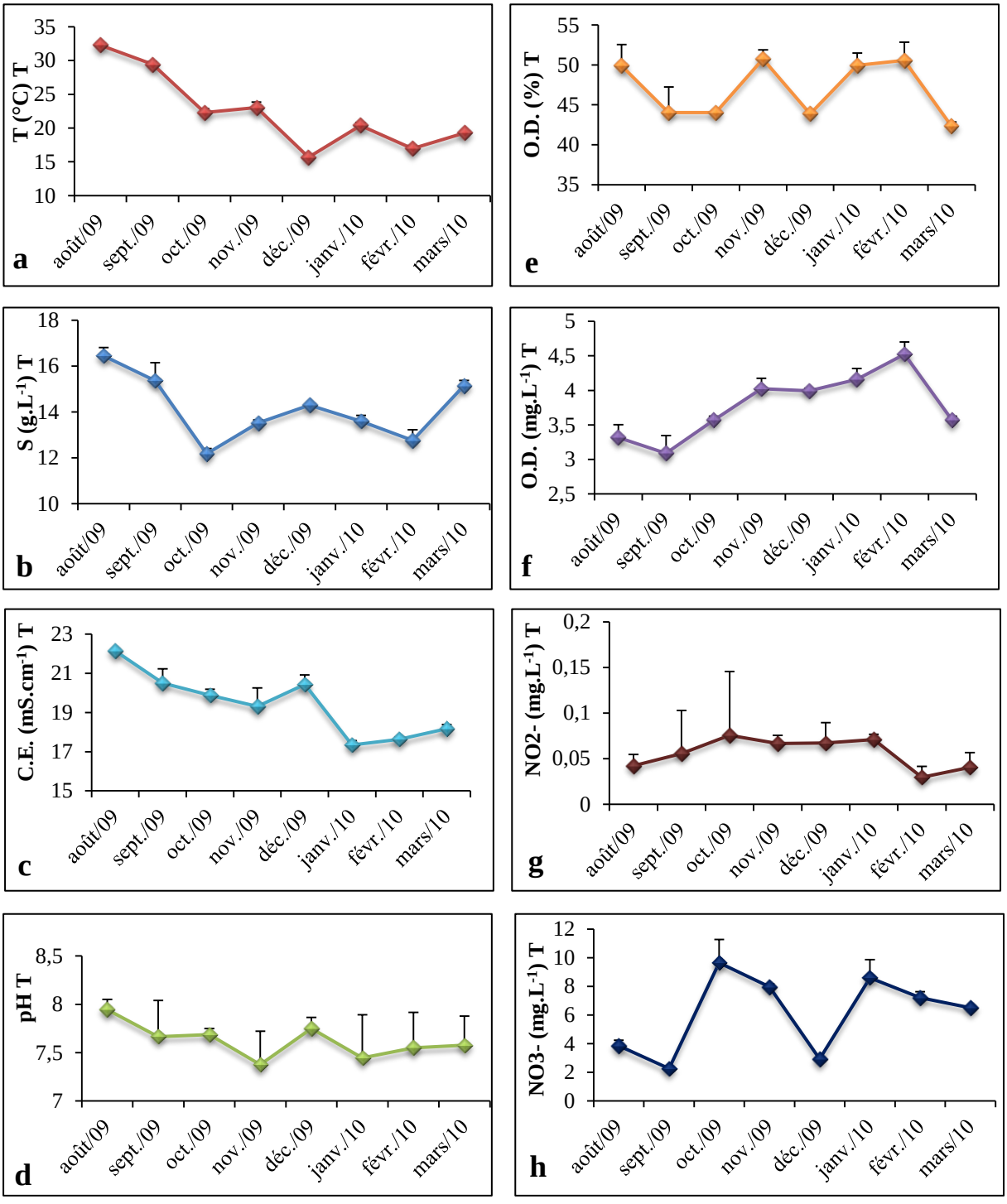


Figure 14. Paramètres physico-chimiques dans le lac Témacine. a : Température, b : Salinité, c : Conductivité électrique, d : pH, e et f : Oxygène dissous, g : Nitrites, h : Nitrates.

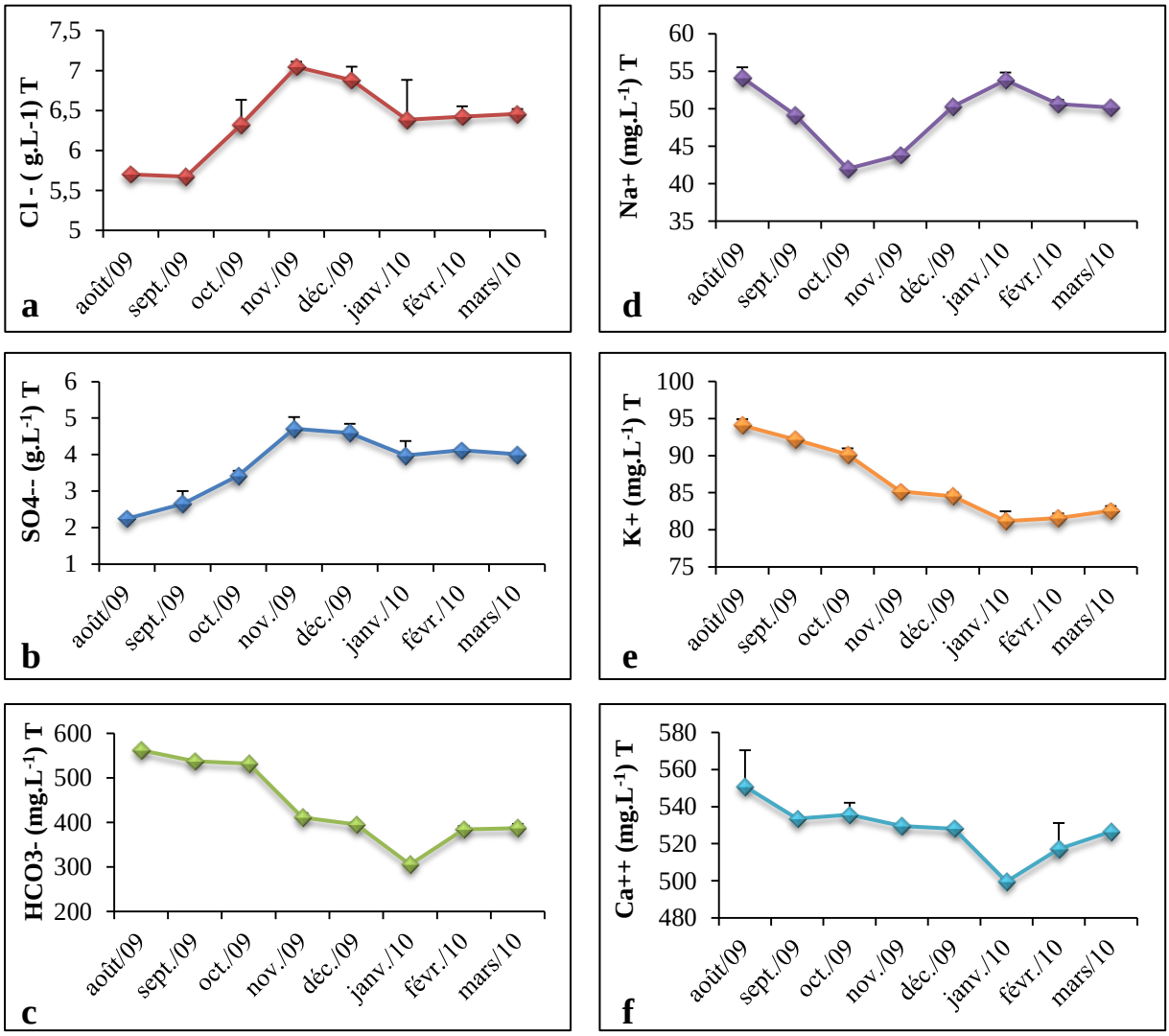


Figure 15. Ions majeurs dans le lac Témacine. a : Chlorures, b : Sulfates, c : Hydrogénocarbonates, d : Sodium, e : Potassium, f : Calcium.

2.1.3.4. Analyse en composantes principales (ACP) et matrice de corrélation

Dans le lac Ayata, (Fig. 16), le plan factoriel (1×2) restitue 69,79% de l'information totale, l'axe 1 avec 54,87% et l'axe 2 avec 14,92 %.

L'axe F1 oppose sur le cercle des corrélations les variables NO_2^- et SO_4^{--} (composantes positives sur l'axe F1) aux variables ayant des composantes négatives sur ce même axe (T°C, Na+, K+, C.E et le pH). Sur le plan où sont projetés les individus les mois d'août et septembre à composantes négatives sur l'axe F1 sont les mois présentant les valeurs les plus élevées parmi les valeurs obtenues des variables. Les autres mois présentent des valeurs plus faibles. Par contre l'axe F2 montre en ce qui concerne l'oxygène dissous, les mois de décembre et de mars ont des tendances opposées : plus fortes valeurs pour le mois de décembre que pour le mois de mars.

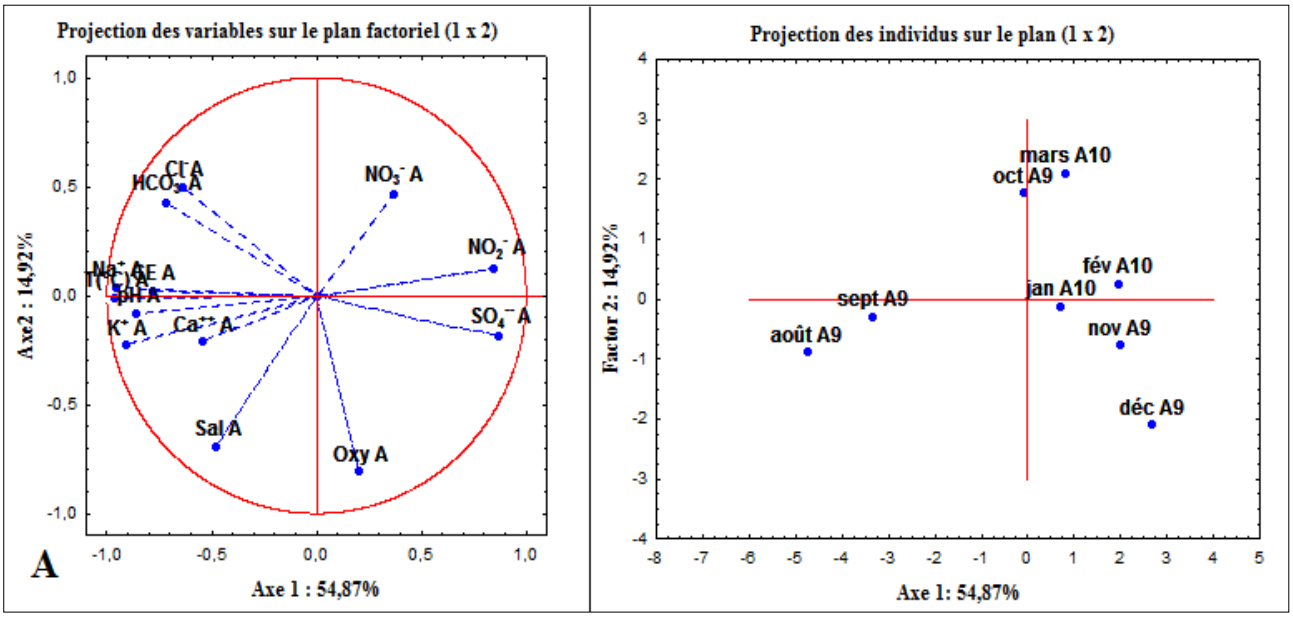


Figure 16. Cercle des corrélations du lac Ayata.

Selon la matrice de corrélation de Pearson (Tab. 1), la température est corrélée positivement au pH (r = 0,92), au sodium (r = 0,86) et au potassium (r = 0,86), et est négativement corrélée aux nitrites (r = - 0,82) et aux sulfates (r = - 0,91). La conductivité est positivement corrélée au sodium (r = 0,87) et au potassium (r = 0,74). Les nitrites et les sulfates sont bien corrélés entre eux (r = 0,81).

Tableau 1. Matrice de corrélation du lac Ayata.

	T(°C) A	Sal A	pH A	Oxy A	CE A	NO_2^- A	NO_3^- A	Cl^- A	SO_4^{--} A	HCO_3^- A	Na^+ A	K^+ A	Ca^{++} A
T(°C) A	1,00												
Sal A	0,56	1,00											
pH A	0,92	0,56	1,00										
Oxy A	-0,21	0,32	-0,26	1,00									
CE A	0,61	0,14	0,57	-0,15	1,00								
NO_2^- A	-0,82	-0,48	-0,61	-0,07	-0,58	1,00							
NO_3^- A	-0,19	-0,23	-0,18	-0,24	-0,55	0,29	1,00						
Cl^- A	0,59	-0,08	0,45	-0,45	0,46	-0,37	-0,18	1,00					
SO_4^{--} A	-0,91	-0,40	-0,71	0,23	-0,44	0,81	0,04	-0,75	1,00				
HCO_3^- A	0,65	-0,07	0,47	-0,37	0,69	-0,77	-0,03	0,45	-0,65	1,00			
Na^+ A	0,86	0,42	0,73	-0,24	0,87	-0,77	-0,44	0,66	-0,78	0,70	1,00		
K^+ A	0,86	0,69	0,75	-0,03	0,74	-0,76	-0,40	0,49	-0,76	0,52	0,94	1,00	
Ca^{++} A	0,58	0,21	0,76	0,02	0,47	-0,37	-0,35	0,20	-0,31	0,29	0,36	0,32	1,00

Dans le lac Mégarine (Fig. 17), le plan factoriel (1×2) restitue 73,65 % de l'information totale, l'axe 1 avec 54,99 % et l'axe 2 avec 18,66 %.

L'axe F1 oppose sur le cercle des corrélations l'oxygène dissous (composante positive sur l'axe F1) aux variables ayant des composantes négatives sur ce même axe (T°C, Na+, K+, Cl-, CE et salinité). Sur le plan où sont projetés les individus les mois d'août et septembre à composantes négatives sur l'axe F1 sont les mois présentant les valeurs les plus élevées. Les autres mois présentent des valeurs plus faibles. Par contre l'axe F2 le mois de décembre présente les valeurs les plus élevées en sulfates.

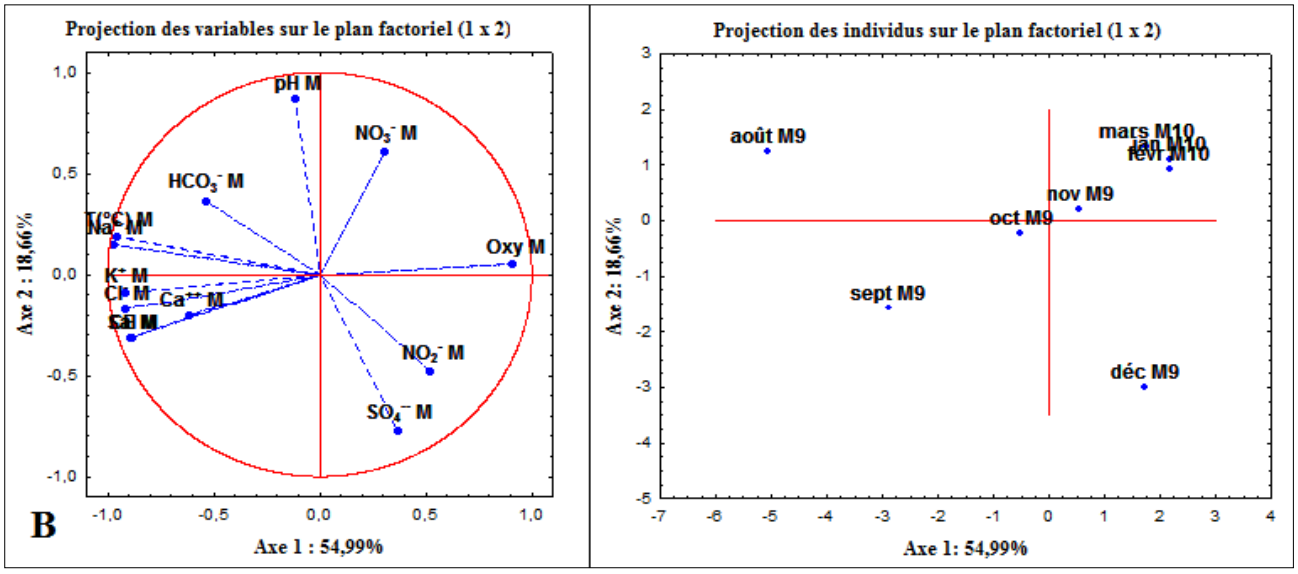


Figure 17. Cercle des corrélations du lac Mégarine

Selon la matrice de corrélation de Pearson (Tab. 2), la température est corrélée positivement à la salinité (r = 0,83), à la conductivité (r = 0,84), aux chlorures (r = 0,84), au sodium (r = 0,96) et au potassium (r = 0,87), et est négativement corrélée à l'oxygène dissous (r = - 0,81). La salinité, à son tour, est corrélée positivement à la conductivité (r = 0,98), aux chlorures (r = 0,94), au sodium (r = 0,78) et au potassium (r = 0,91) et est négativement corrélée à l'oxygène dissous (r = - 0,75). La conductivité est corrélée positivement aux chlorures (r = 0,92), au sodium (r = 0,79) et au potassium (r = 0,86). Enfin, les chlorures sont corrélés positivement au sodium (r = 0,82) et au potassium (r = 0,85). Par rapport à l'axe 2, aucun groupement n'est constitué.

Tableau 2. Matrice de corrélation du lac Mégarine

	T(°C) M	Sal M	pH M	Oxy M	CE M	NO_2^- M	NO_3^- M	Cl^- M	SO_4^{--} M	HCO_3^- M	Na^+ M	K^+ M	Ca^{++} M
T(°C) M	1,00												
Sal M	0,83	1,00											
pH M	0,23	-0,20	1,00										
Oxy M	-0,81	-0,75	-0,15	1,00									
CE M	0,84	0,98	-0,17	-0,77	1,00								
NO_2^- M	-0,56	-0,37	-0,66	0,60	-0,40	1,00							
NO_3^- M	-0,17	-0,31	0,38	0,40	-0,39	-0,34	1,00						
Cl^- M	0,84	0,94	0,07	-0,81	0,92	-0,49	-0,33	1,00					
SO_4^{--} M	-0,53	-0,04	-0,55	0,18	-0,04	0,20	-0,18	-0,10	1,00				
HCO_3^- M	0,60	0,27	0,16	-0,38	0,24	0,04	-0,19	0,27	-0,86	1,00			
Na^+ M	0,96	0,78	0,23	-0,88	0,79	-0,49	-0,32	0,82	-0,55	0,69	1,00		
K^+ M	0,87	0,91	-0,07	-0,79	0,86	-0,48	-0,07	0,85	-0,23	0,42	0,83	1,00	
Ca^{++} M	0,41	0,44	-0,11	-0,71	0,37	-0,10	-0,37	0,49	-0,10	0,46	0,59	0,60	1,00

Dans le lac Témacine (Fig. 18), le cercle des corrélations (Axe 1- Axe 2) restitue 76,44% de l'information totale, l'axe 1 avec 58,88 % et l'axe 2 avec 17,56 %. L'axe F1 oppose sur le cercle des corrélations les variables Cl-, SO_4^{--} et l'oxygène dissous (composantes positives sur l'axe F1) aux variables ayant des composantes négatives sur ce même axe (T°C, , C.E, Ca+, K+, HCO_3^-, et le pH). Sur le plan des individus, les mois d'août et de septembre à composantes négatives sur l'axe F1 sont les mois présentant les valeurs les plus élevées parmi les valeurs obtenues des variables. Les autres mois présentent des valeurs plus faibles. Pour l'axe F2, les mois d'octobre présente les plus faibles valeurs en Na+.

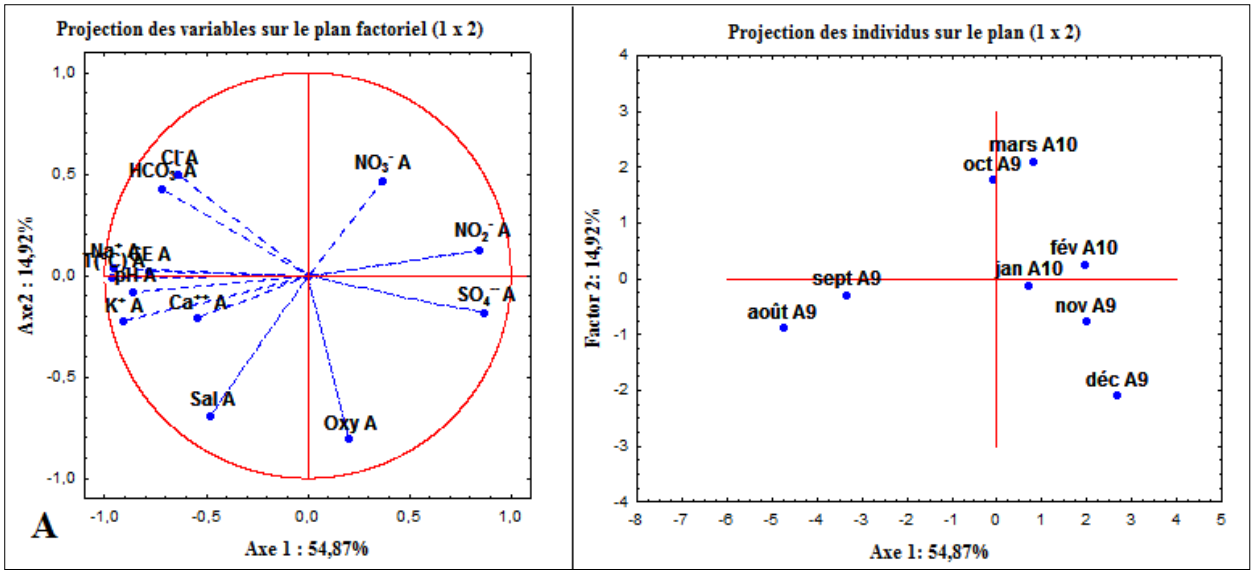


Figure 18. Cercle des corrélations du lac Temacine

Selon la matrice de corrélation, l'oxygène est corrélé positivement aux sulfates (r = 0,76) et ces derniers sont en forte corrélation positive aux chlorures (r = 0,97). Dans la partie négative de l'axe 1, la température est corrélée positivement aux bicarbonates (r = 0,77) et au potassium (r = 0,87) et est corrélée négativement à l'oxygène dissous (r = - 0,77). La conductivité est corrélée aux hydrogénocarbonates (r = 0,83), au potassium (r = 0,89) et au calcium (r = 0,89). Les hydrogénocarbonates sont corrélés au potassium (r = 0,97) et au calcium (r = 0,89). Selon l'axe 2, aucun groupement n'est constitué.

Tableau 3. Matrice de corrélation du lac Temacine.

	T(°C) T	Sal T	pH T	Oxy T	CE T	NO_2^- T	NO_3^- T	Cl^- T	SO_4^{--} T	HCO_3^- T	Na^+ T	K^+ T	Ca^{++} T
T(°C) T	1,00												
Sal T	0,61	1,00											
pH T	0,46	0,55	1,00										
Oxy T	-0,77	-0,64	-0,56	1,00									
CE T	0,68	0,56	0,81	-0,69	1,00								
NO_2^- T	-0,07	-0,38	-0,21	-0,06	0,08	1,00							
NO_3^- T	-0,35	-0,76	-0,60	0,48	-0,62	0,27	1,00						
Cl^- T	-0,76	-0,54	-0,59	0,68	-0,43	0,33	0,40	1,00					
SO_4^{--} T	-0,86	-0,57	-0,68	0,76	-0,61	0,23	0,39	0,97	1,00				
HCO_3^- T	0,77	0,36	0,70	-0,78	0,83	-0,05	-0,37	-0,65	-0,79	1,00			
Na^+ T	0,11	0,59	0,30	0,05	-0,03	-0,47	-0,44	-0,39	-0,28	-0,25	1,00		
K^+ T	0,87	0,47	0,71	-0,82	0,89	0,06	-0,44	-0,69	-0,83	0,97	-0,13	1,00	
Ca^{++} T	0,64	0,49	0,73	-0,69	0,89	-0,16	-0,44	-0,39	-0,57	0,89	-0,22	0,84	1,00

2.1.4. Discussion

Les variations mensuelles de la température de l'eau des trois lacs étudiés suivent la température atmosphérique (Wetzel, 1983). Selon Delince (1992), ce facteur déterminant agit sur la solubilité des sels et des gaz qui, à leur tour, agissent sur l'ensemble de l'écosystème. En effet, l'analyse en composantes principales des facteurs physico-chimiques dans le lac Mégarine indique que la température est positivement corrélée à la salinité et à la conductivité ainsi qu'aux ions de chlorures, de sodium et de potassium qui gèrent ces deux paramètres. Elle est, par conte, négativement corrélée à l'oxygène dissous en période chaude. Ceci montre l'important effet de la température sur tous ces facteurs, en particulier dans ce lac.

La salinité de l'eau est différente dans chacun des trois lacs avec des variations mensuelles plus marquées à Mégarine. Selon la classification de Stuyfzand (1989), Ayata et Témacine sont classés dans la même gamme d'eau saumâtre salée et Mégarine dans la gamme d'eau salée. Les différences enregistrées entre les trois lacs seraient liées au système d'évacuation artificiel, placé de manière différente dans le lac Ayata et dans le lac Témacine, et qui permet le renouvellement continu des apports d'eau en réduisant la concentration des sels par évaporation. D'autre facteurs peuvent également influencer ce paramètre, tels que le contexte géologique particulier de chacun des trois lacs, puisque la région est caractérisée par une hétérogénéité de la nature des sols (Boumaaraf, 2013). D'autre part, les apports en eaux d'irrigation sont originaires des nappes souterraines différemment minéralisées (Guendouz *et al.*, 2003; Tabouche et Achour, 2004). Selon Schoeller (1948), pour la famille chlorurée et sulfatée sodi-calcique et magnésienne, la lithologie de l'aquifère fine et imperméable rend la circulation de l'eau difficile, induisant un long contact entre l'eau et la roche, ce qui explique la minéralisation de ces nappes souterraines. Les fortes fluctuations mensuelles de la salinité dans le lac Mégarine sont liées à l'intensité d'évaporation, qui est plus importante en période chaude, et à l'absence de systèmes d'évacuation. Comme indiqué par l'ACP, la salinité dans le lac Mégarine est due à deux sels, le NaCl et le KCl, qui sont des évaporites à l'origine. Comme pour la température, les organismes aquatiques ont chacun des exigences propres, d'où l'importance du suivi de ce facteur (Hammer, 1986).

Selon Hade (2003), la conductivité serait influencée par divers facteurs naturels et anthropiques comme la géologie du bassin versant, la température, l'évaporation de l'eau et les variations du débit des apports qui alimentent les lacs et

les apports d'eau d'origine domestique. Dans les trois lacs étudiés, la conductivité est influencée, selon l'ACP, par les facteurs climatiques tel que la température et l'évaporation, la géologie des bassins versants, les apports en eaux souterraines différemment minéralisées.

Les valeurs du pH des trois lacs sont dans la même gamme, pH alcalin. L'environnement physique est le principal facteur qui influence le pH d'un lac, mais aussi, un lit de roche calcaire procure à l'eau une propriété basique. Un pH entre 6,5 et 8,5, correspond à la zone de tolérance de la majorité des organismes vivants. Lorsque le changement du pH est significatif, ceci entraine généralement des modifications de la faune et de la flore existantes (Hade, 2003).

L'oxygène de l'eau est un facteur déterminant pour la distribution et la survie des espèces (Davis, 1975). Selon Aminot et Chaussepied (1983), la quantité d'oxygène d'un écosystème aquatique dépend des facteurs naturels comme la température, la salinité, la pression atmosphérique et hydrostatique, la turbulence, les courants, les remontées d'eau et les processus biologiques. Il est admis que des teneurs inférieures à 4 mg. L^{-1} indiquent une eau de mauvaise qualité ou polluée (Wetzel, 1983). Le taux de saturation d'oxygène des trois lacs étudié est faible (inférieur à 49% de saturation), bien qu'ils ne soient soumis à aucune source de pollution. Ces faibles teneurs en oxygène dissous seraient dues d'une part, à la température élevée (selon l'ACP) qui empêche sa dissolution, et d'autre part par la richesse en matières organiques, le sédiment du fond étant de couleur noirâtre. Le lac Témacine est plus oxygéné que les deux autres, étant le plus exposé au vent, en plus de son système d'évacuation qui permet le renouvellement de l'eau.

Les faibles concentrations en nitrites durant la période d'étude peuvent s'interpréter par le fait que celles-ci soient une forme intermédiaire qui a tendance à s'oxyder en nitrates, ou à se réduire en ammonium (Dussart, 1966). Les valeurs des nitrates sont celles qui fluctuent le plus dans notre étude, avec des minimas en septembre et en décembre dans les trois lacs. Dalsgaard et Bak (1994) ont montré que la réduction des nitrates en milieu anoxique avait comme stimulant les sulfates. Romero *et al.* (2002) ont conclu dans leur étude que les valeurs maximales et minimales des nitrates dans le lac Pamvotis en Grèce seraient liées à une faible biomasse algale et à un bloom algal respectivement. L'ACP a montré des corrélations positives de nitrites et de sulfates durant le mois de décembre à Ayata. Les valeurs maximales de nitrates enregistrées dans les deux lacs exoréiques Ayata et Témacine

peuvent être considérées comme faibles (Camargo *et al.*, 2005). Cet auteur a rapporté qu'un taux maximal de 20 mg $.L^{-1}$ était généralement acceptable pour les poissons et les invertébrés marins, alors qu'en eau douce le seuil ne devrait pas dépasser 2 mg. L^{-1}

Les fortes concentrations des ions chlorure et sulfate par rapport aux autres ions s'interprètent, comme pour la salinité et la conductivité, par les apports des eaux d'irrigation de la nappe souterraine d'origine plus riche en chlorures et en sulfates (Tabouche et Achour, 2004), et qui traversent des sols salins. Les importantes fluctuations mensuelles des chlorures enregistrés dans le lac Mégarine sont liées à l'intensité d'évaporation du fait qu'il n'exporte pas ses eaux. Les corrélations positives entre les chlorures et les sulfates à Témacine signifient une origine salifère commune de ces ions. Les fluctuations des sulfates sont en relation avec l'oxygène dissous, comme l'indique l'ACP à Témacine puisqu'il existe une corrélation positive de ces deux facteurs. Ceci montre l'implication des sulfates dans les processus de biodégradation en milieu pauvre en oxygène démontrée par Marty *et al*. (1990). En période chaude les concentrations sont faibles, suite à l'intervention des ces ions dans la dégradation de la matière organique puisque les teneurs en oxygène sont faibles.

Les intervalles de concentration des hydrogénocarbonates entre les trois lacs seraient liés, en plus de l'aménagement, au type du sol traversé, ainsi qu'à la lithologie de la nappe exploitée. La corrélation positive des bicarbonates au calcium dans le lac Témacine pourrait signifier qu'ils proviennent de la calcite et/ou de la dolomite (Meng et Maynard, 2001). A cela, s'ajoute une autre source biologique qui est la formation des bicarbonates comme sous-produit de la biodégradation de la matière organique par les bactéries sulfato-réductrices en conditions d'anaérobiose (Canfield *et al.*, 1993). Une corrélation négative de bicarbonates et de sulfates a été indiquée par l'ACP. Ceci pourrait également justifier les importantes valeurs enregistrées en période chaude.

Les concentrations en sodium, en potassium et en calcium sont plus élevées à Mégarine par rapport aux deux autres lacs. Les fluctuations mensuelles de sodium et de calcium sont cependant faibles, probablement à cause de la sursaturation des eaux par ces éléments. Selon Tabouche et Achour (2004), les valeurs de sodium sont plus importantes dans les eaux des nappes souterraines que dans celles des lacs ; ceci pourrait s'expliquer par le phénomène d'échanges de base entre l'eau et les sols lors de drainage, où les sols prennent le sodium et libèrent le calcium. Les fluctuations mensuelles de potassium sont plus marquées à Mégarine et suivent celles des

chlorures puisqu'elles seraient de même source selon l'ACP. En termes de composition ionique, les trois lacs étudiés ont une dominance mixte des anions chlorures et sulfates et une dominance des cations calcium. Cette forte concentration en calcium est probablement originaire des sols calcaires traversés par les eaux de drainage originaires des nappes souterraines riches en calcium où se produit un échange de base des ions sodium de l'eau contre ceux de calcium des sols calcaires.

Hammer (1986), divise les lacs salés du monde en fonction de la prédominance des carbonates, des chlorures et des sulfates ; les carbonatés se trouvent en Afrique, les chlorurés se trouvent sur tous les continents, alors que les sulfatés se trouvent en Amérique du nord et en Russie de l'est. Certains de ces lacs ont une dominance mixte des anions, le sous-type carbonaté-chlorique et le sulfaté chlorique qui est le moins abondant. Selon les cations, il existe trois types dominants (sodium, magnésium et calcium) avec une prédominance du sodium. En partant de cette répartition, nos lacs, dominés par les chlorures, les sulfates et le calcium, peuvent être considérés comme relativement rares.

2.1.5. Conclusion

En conclusion, il ressort que même si les trois lacs étudiés sont de même type, chloruré et sulfaté calcique, des différences entre les paramètres physico-chimiques s'observent surtout dans le lac Mégarine dépourvu de systèmes d'évacuation. Les eaux de la nappe souterraine différemment minéralisée et le type de sols adjacents qui sont de composition variable saline, calcaire ou gypseuse sont également des facteurs faisant la différence entres ces trois lacs. Le lac Mégarine, étant fermé est le plus salé par concentration, avec deux sels dominants, le KCl et le NaCl. Les lacs Ayata et Témacine, pourvus de systèmes d'évacuation des apports en surplus, sont les moins salés. Les principaux phénomènes responsables des fluctuations mensuelles enregistrées dans les trois lacs sont les conditions climatiques telles que la température et l'évaporation, ainsi que les processus biologiques. Ces trois milieux sont pauvres en oxygène à cause des températures relativement élevées d'une part, et de la richesse en matière organique d'autre part. Ceci n'est pas en faveur des activités aquacoles envisagées. En effet, les ensemencements du tilapia *Tilapia nilotica* en 2003 (DPRH, Ouargla) n'ont pas abouti, puisqu'aucun individu de cette espèce n'a été observé ces dernières années (observations personnelles). Seules les espèces autochtones de poissons ont résisté à ces conditions.

2.2. Caractéristiques bactériologiques des eaux des lacs Ayata, Megarine, Temacine et Hassi Ben Abdallah

2.2.1. Introduction

Parmi les nombreux microorganismes qui peuplent les eaux continentales, la plupart jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement biogéochimique des écosystèmes aquatiques (Guerrero et Berlanga, 2010), alors que d'autres ne participent pas à ce fonctionnement. Ces derniers qui sont les microorganismes pathogènes, proviennent essentiellement du tube digestif des hommes et des animaux. Certains de ces micro-organismes fécaux qui sont toutefois pathogènes, utilisent la voie hydrique pour se propager d'un hôte à l'autre. L'absorption d'eau contaminée par les matières fécales, provoque des maladies hydriques, qui représentent, une cause majeure de mortalité (Servais *et al.*, 2009). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2004 révèle que dans les pays en voie de développement, chaque année 1,8 million de personnes, dont 90 % d'enfants de moins de cinq ans, meurent de maladies diarrhéiques.

Dans nos milieux d'études, et à cause de leur intérêt touristique et culturel, nous avons jugé nécessaire d'étudier l'aspect bactériologique des eaux. En effet, les habitants de la région effectuent régulièrement des rituels de baignade pour les nouveau-nés, croyant leur porter chance, dans des eaux qui peuvent s'avérer polluées.

2.2.2. Matériel et méthodes

Pour l'analyse bactériologique, des échantillons d'eau ont été prélevés chaque saison dans les quatre lacs d'études et durant une année, entre 4 et 6 stations qui ont été choisies pour chaque lac. Le choix de ces stations a été basé sur les apports d'eaux et la végétation. Des bouteilles stériles de 250 ml ont été utilisées pour le prélèvement de l'eau. Les échantillons ont été conservés dans une glacière pour des analyses immédiates. Seul l'aspect qualitatif a été retenu. Pour la détermination des espèces bactériennes, les analyses des échantillons des lacs Ayata, Mégarine et Témacine ont été réalisées au niveau du laboratoire d'analyses des eaux de l'hôpital de Touggourt et les échantillons du lac Hassi Ben Abdallah ont été analysés à l'hôpital d'Ouargla.

2.2.3. Résultats

2.2.3.1. Lac Ayata

Les résultats des tests bactériologiques révèlent l'existence des bactéries de Clostridiums, *Escherichia coli*, et streptocoques (Tab. 4). Les deux premières bactéries sont présentes durant toute l'année ; en hiver dans les stations 1 et 2 et au printemps dans les stations 1, 2 et 4. Les streptocoques sont abondants en été et en automne mais absents au printemps. Les clostrodiums sont présent en abondance par rapport aux deux autres bactéries. Les Salmonelles sont totalement absentes et ce, durant toute l'année.

Tableau 4. Bactéries présentes dans le lac Ayata. + : présence, ++ : présence en abondance, +++ : très abondante, - : absence.

Bactéries		**Clostridiums**	***E. coli***	**Streptocoques**	**Salmonelles**
Hiver	**S_1**	++	+	-	-
	S_2	+	+	-	-
	S_3	-	+	+	-
	S_4	-	+	-	-
Printemps	**S_1**	+++	+	-	-
	S_2	+++	+	-	-
	S_3	-	+	-	-
	S_4	++	+	-	-
Eté	**S_1**	++	++	-	-
	S_2	++	++	+	-
	S_3	++	++	+	-
	S_4	++	++	+	-
Automne	**S_1**	+++	-	++	-
	S_2	+	+	+	-
	S_3	+	+	+	-
	S_4	++	+++	+	-

2.2.3.2. Lac Mégarine

Les tests bactériologiques dans ce lac montrent l'existence d'*E. coli* en hiver et au printemps dans toutes les stations, alors que les autres bactéries trouvées précédemment sont absentes (Tab. 5).

Tableau 5. Bactéries présentes dans le lac Mégarine. + : présence, ++ : présence en abondance, +++ : très abondante, - : absence.

Bactéries		**Clostridiums**	***E. coli***	**Streptocoques**	**Salmonelles**
Hiver	**S_1**	-	+	-	-
	S_2	-	+	-	-
	S_3	-	+	-	-
	S_4	-	+	-	-
Printemps	**S_1**	-	+	-	-
	S_2	-	+	-	-
	S_3	-	+	-	-
	S_4	-	+	-	-
Eté	**S_1**	-	+	-	-
	S_2	-	-	-	-
	S_3	-	-	-	-
	S_4	-	-	-	-
Automne	**S_1**	-	-	-	-
	S_2	-	-	-	-
	S_3	-	-	-	-
	S_4	-	-	-	-

2.2.3.3. Lac Témacine

Les résultats des tests bactériologiques révèlent l'existence des 4 bactéries considérées : Clostridiums, *E. coli*, streptocoques et les salmonelles. L'analyse spatiotemporelle montre que l'*E. coli* est présente durant toute l'année et particulièrement au printemps. Les Clostrodiums sont présents en hiver dans toutes les stations mais ils sont plus abondants en été. Les streptocoques sont présents en hiver dans la station 5, qui est en contact avec le canal d'Oued Righ, chargé en eaux usées.

En été les streptocoques sont présents dans les stations 4, 5 et 6. Les salmonelles sont présentes uniquement en automne dans la station 5 (Tab. 6).

Tableau 6. Bactéries présentes dans le lac Témacine. + : présence, ++ : présence en abondance, +++ : très abondante, - : absence.

Bactéries		**Clostridiums**	***E. coli***	**Streptocoques**	**Salmonelles**
Hiver	**S_1**	+	+	-	-
	S_2	+	+	-	-
	S_3	+	-	-	-
	S_4	+	-	-	-
	S_5	+	+	+	-
	S_6	+	+	-	-
Printemps	**S_1**	-	+	-	-
	S_2	-	+	-	-
	S_3	-	+	-	-
	S_4	-	+	-	-
	S_5	-	+	-	-
	S_6	-	+	-	-
Eté	**S_1**	-	-	-	-
	S_2	-	+	-	-
	S_3	-	-	-	-
	S_4	+++	-	+	-
	S_5	++	+	-	+
	S_6	+++	-	+	-
Automne	**S_1**	+	+	-	-
	S_2	-	-	-	-
	S_3	-	-	-	-
	S_4	-	-	-	-
	S_5	-	+	-	-
	S_6	-	+	-	-

2.2.3.4. Lac Hassi Ben Abdallah

L'analyse bactériologique dans le lac Hassi Ben Abdallah a montré l'existence des bactéries *E. coli* et streptocoques. Le premier groupe est présent durant toute l'année et en particulier en été. Le deuxième est présent au printemps, en été et en automne mais moins abondamment par rapport à l'*E. coli*. Les clostridiums et les salmonelles sont totalement absentes (Tab .7).

Tableau 7. Bactéries présentes dans le lac Hassi Ben Abdallah. + : présence, ++ : présente en abondance, +++ : très abondante, - : absence.

Bactérie		**Clostridiums**	***E. coli***	**Streptocoques**	**Salmonelles**
Hiver	**S_1**	-	-	-	-
	S_2	-	+	-	-
	S_3	-	-	-	-
	S_4	-	+	-	-
Printemps	**S_1**	-	-	+	-
	S_2	-	-	-	-
	S_3	-	-	+	-
	S_4	-	-	-	-
Eté	**S_1**	-	+	-	-
	S_2	-	++	+	-
	S_3	-	++	-	-
	S_4	-	++	++	-
Automne	**S_1**	-	-	-	-
	S_2	-	+	+	-
	S_3	-	+	-	-
	S_4	-	-	-	-

2.2.4. Discussion

Les bactéries indicatrices de contamination ne présentent pas nécessairement un caractère pathogène, mais leur présence indique l'existence d'une contamination (Servais *et al.*, 2009). *E. coli* et les entérocoques intestinaux sont reconnus comme plus appropriés pour évaluer le risque sanitaire associé aux diverses utilisations de l'eau (Edberg *et al*., 2000; Fewtrell et Bartram, 2001). Pour l'*E. coli* de nombreuses

études ont montré que cette espèce était généralement associée à une source fécale. Aujourd'hui elle est considérée comme le meilleur indicateur d'une contamination récente du milieu aquatique par la matière fécale humain ou d'animaux à sang chaud (Edberg *et al*., 2000). Les entérocoques intestinaux dont les streptocoques représentent un groupe considéré aussi comme un bon indicateur spécifique de la contamination fécale. Plusieurs études ont montré que l'abondance des entérocoques intestinaux était mieux corrélée à l'apparition de maladies gastro-intestinales chez les baigneurs fréquentant des eaux contaminées (Cabelli *et al*., 1982; Cabelli, 1989; Ferley *et al*., 1989). Le fait que les entérocoques intestinaux survivent plus longtemps dans le milieu naturel que les *E. coli*, peut constituer un avantage de ce groupe si l'on cherche à identifier une contamination fécale ancienne (Pommepuy *et al*., 1992; Edberg *et al*., 1997).

Les salmonelles sont aussi considérées parmi les bactéries pathogènes d'origine fécale humaine ou animale. Ces pathogènes opportunistes affectent essentiellement les enfants, les personnes âgées ou les immuno-déprimés.

La présence des clostridiums sulfato-réducteurs est très significative d'une pollution fécale ancienne ou intermittente (Rodier *et al*., 1996). Les clostridiums sont présents dans les fèces en bien moins grand nombre qu' *E. coli* ; leurs spores peuvent survivre dans l'eau beaucoup plus longtemps que les coliformes et ils résistent à la désinfection (Bernet et Fines, 2000)**.** Les clostridiums sont la cause majeure d'entérite nécrotique chez l'homme (Brynestad et Granum, 2002). Selon IBGE (2005), l'importante charge en clostridiums se justifie par la faible teneur en oxygène dissous. De plus des conditions d'anaérobiose du milieu, les spores de ce genre de bactéries sont très résistantes dans l'environnement (Sorensen *et al*., 1989 ; Davies *et al*., 1995). Dans nos lacs les clostridiums sont abondants, puisque les teneurs en oxygènes sont faibles durant toute la période d'étude et en particulier en période chaude. Ces bactéries constituent de ce fait, les indicateurs les plus appropriés des agents pathogènes les plus résistants de l'eau comparés aux virus entériques, les protozoaires parasites et les œufs d'helminthes (Payment et Franco, 1993).

La présence des bactéries clostridiums, *E. coli*, les streptocoques et les salmonelles, indique que nos milieux sont contaminés. Ces milieux sont fréquentés par l'homme en tant que lieux touristiques et par les animaux, en particulier les oiseaux (Bensaci *et al.*, 2013). Le lac Ayata est le plus contaminé durant toute

l'année. Le lac Mégarine est le moins contaminé, par sa localisation éloignée, il est le moins fréquenté par l'homme par rapport aux autres lacs.

2.2.5. Conclusion et perspectives

Les eaux du lac Ayata sont les plus contaminées par les bactéries : clostridiums, *E. coli* et streptocoques en particulier en été. Le lac Mégarine est le mois contaminé, avec uniquement *E. coli*, en hiver et au printemps. Les eaux du lac Témacine sont contaminées en particulier par les *E. coli* et les clostridiums. Le contact entre le canal d'Oued Righ et le lac augmente le risque de contamination par des bactéries dangereuse (salmonelles). Dans le lac Hassi Ben Adballah la contamination est d'une pollution récente.

En perspectives il est souhaitable d'éviter complètement la baignade dans ces milieux et en particulier pour les nouveau-nés qui sont moins résistants aux contaminations.

Chapitre III : diversité, distribution et variations spatiotemporelles du zooplancton

III. Diversité, distribution et variations spatiotemporelles du zooplancton dans les lacs Ayata, Megarine, Temacine et Hassi Ben Abdallah

3.1. Introduction

Les organismes zooplanctoniques occupent une position centrale dans les réseaux trophiques aquatiques, ils répondent rapidement à tout changement naturel ou anthropique de leur environnement (Suthers et Rissik, 2009). Ils offrent des informations précieuses sur la qualité de l'eau, en fonction de leur composition taxonomique et de leurs caractéristiques communautaires (Moss *et al.*, 2003; Haberman et Haldna, 2014). Pour cette raison de nombreux auteurs ont suggéré d'utiliser le zooplancton comme bio-indicateur (Gonzalez, 2011 ; Momeu *et al.*, 2015 ; Koudenoukpo *et al.*, 2017).

Les premières données sur la faune planctonique des eaux continentales du Sahara algérien remontent à la fin du 19ème siècle (Blanchard, 1891, Blanchard et Richard, 1890, 1891). Au début du 20ème siècle, Gurney (1909) s'est intéressé surtout à la région de Ziban. Kiefer (1926, 1930, 1952, 1958) a étudié des échantillons provenant de sites différents dans le nord et le sud (Sahara central). Gauthier (1928) a été le premier auteur qui a effectué des recherches sur le zooplancton et les poissons couvrant une grande partie de l'Algérie, dont le Sahara. Par la suite, Beadle (1943) a étudié la physico-chimie et la faune de quelques lacs salés du Sahara. Dumont (1979) a mené ses recherches dans le cadre d'une thèse de doctorat sur le Sahara central, couvrant une partie importante de l'Algérie : les régions du Tassili Ajjer et l'Ahaggar. Récemment, les travaux sur le zooplancton du Sahara se sont limitées à des recherches sur la crevette du sel *Artemia* dans les lacs salés des régions semi-arides et arides (Amarouayache *et al.*, 2009 ; Kara et Amarouayache, 2012).

L'objectif de ce chapitre est de décrire le zooplancton vivant dans 4 lacs salés Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah des points de vue systématique et distribution saisonnière, dans le but d'obtenir des informations particulières.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Choix des stations

La localisation et le nombre de stations dépendent de la morphologie et des dimensions du plan d'eau. Ces stations visent à couvrir le pourtour du lac. Dans le lac Ayata 4 stations ont été choisies, la première est proche des deux drains

d'alimentation du lac, la deuxième station est exposée au vent, la troisième station située au centre du lac et la quatrième station est riche en végétation (Fig. 19).

Dans le lac Mégarine, l'échantillonnage a été effectué également au niveau de 4 stations. La station 1 se trouve au sud du lac, elle reçoit des eaux de drainage et elle est riche en végétation. La station 2 se trouve à l'est du lac, elle est calme. La station 3 se trouve au nord du lac, elle est exposée aux vents et elle reçoit des eaux d'un drain. La station 4 se trouve à l'ouest, elle est riche en végétation (Fig. 20).

Au lac Témacine, 6 stations ont été choisies sur tout le pourtour du lac. La station 1 se trouve au sud- ouest, elle est bordée par les palmeraies. La station 2 est riche en végétation et calme. La station 3 est riche en végétation et est exposée aux vents. La station 4 est dépourvue de végétation et est exposée aux vents. La station 5 est une zone d'évacuation d'eau du lac vers le canal d'Oued Righ, enfin la station 6 est une zone d'apport d'eaux d'irrigation (Fig. 21).

Dans le lac de Hassi Ben Abdallah, quatre stations ont été choisies. La station 1 se trouve au sud-est du lac et reçoit des eaux de drainage. La station 2 se trouve au nord du lac est riche en végétation. La station 3 se trouve à l'ouest du lac, elle est exposée aux vents et la station 4 se trouve à l'est et elle est riche en végétation (Fig. 22)

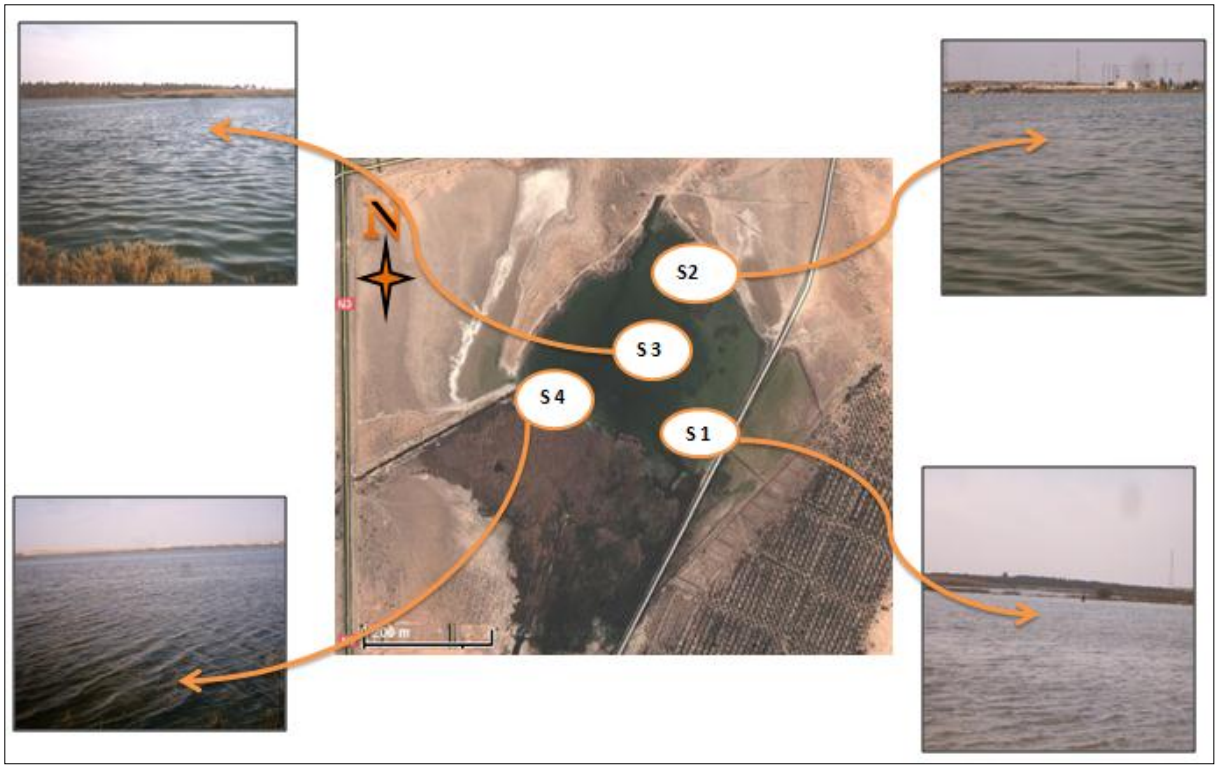


Figure 19. Photos des stations de prélèvement dans le lac Ayata.

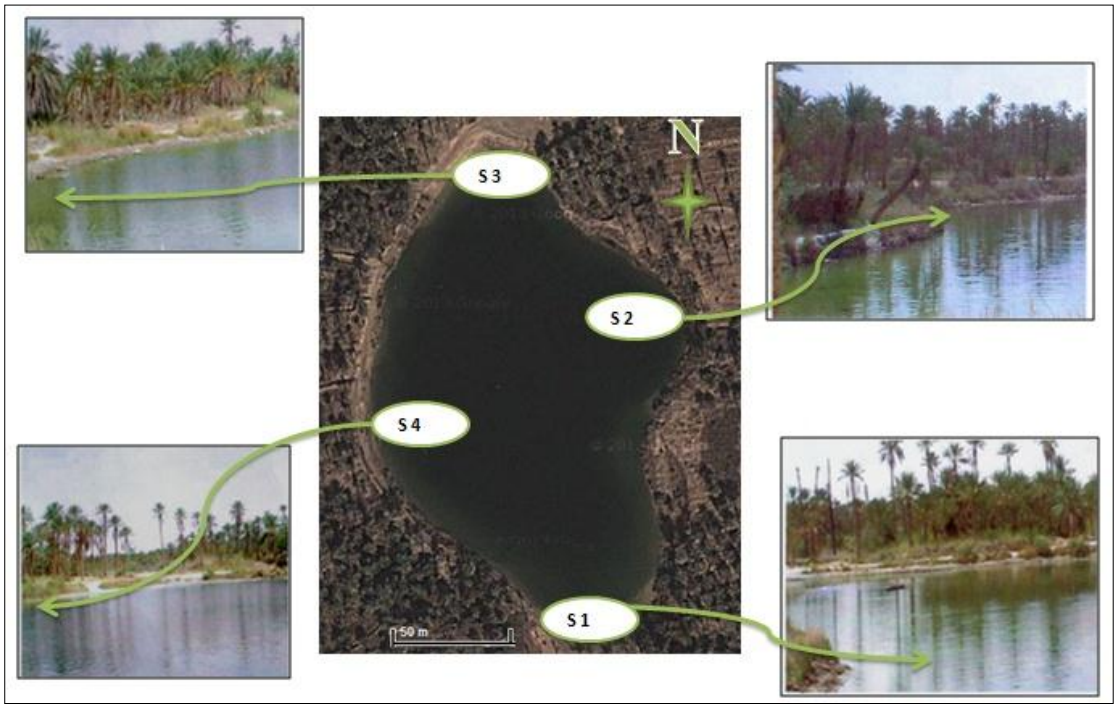


Figure 20. Photos des stations de prélèvement dans le lac Mégarine.

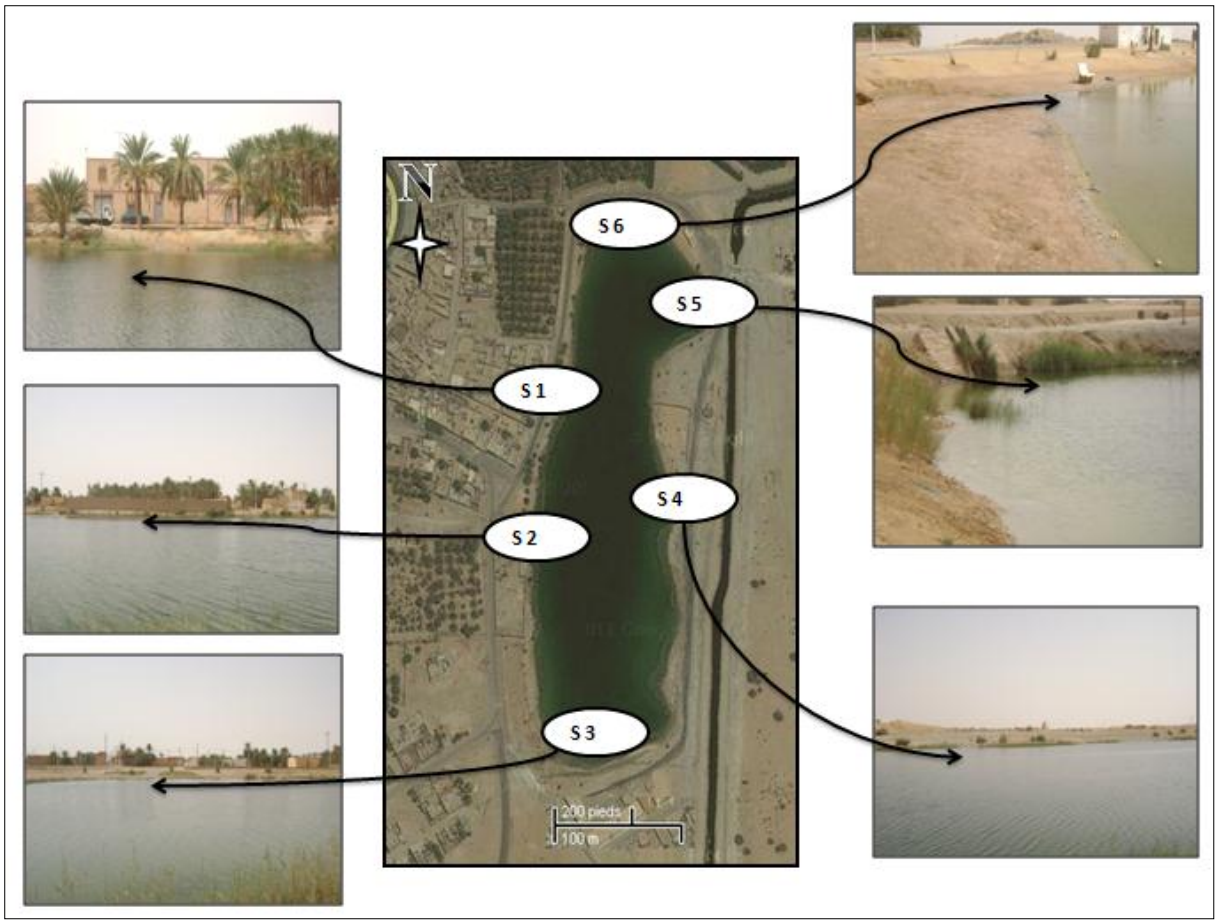


Figure 21. Photos des stations de prélèvement dans le lac Témacine.

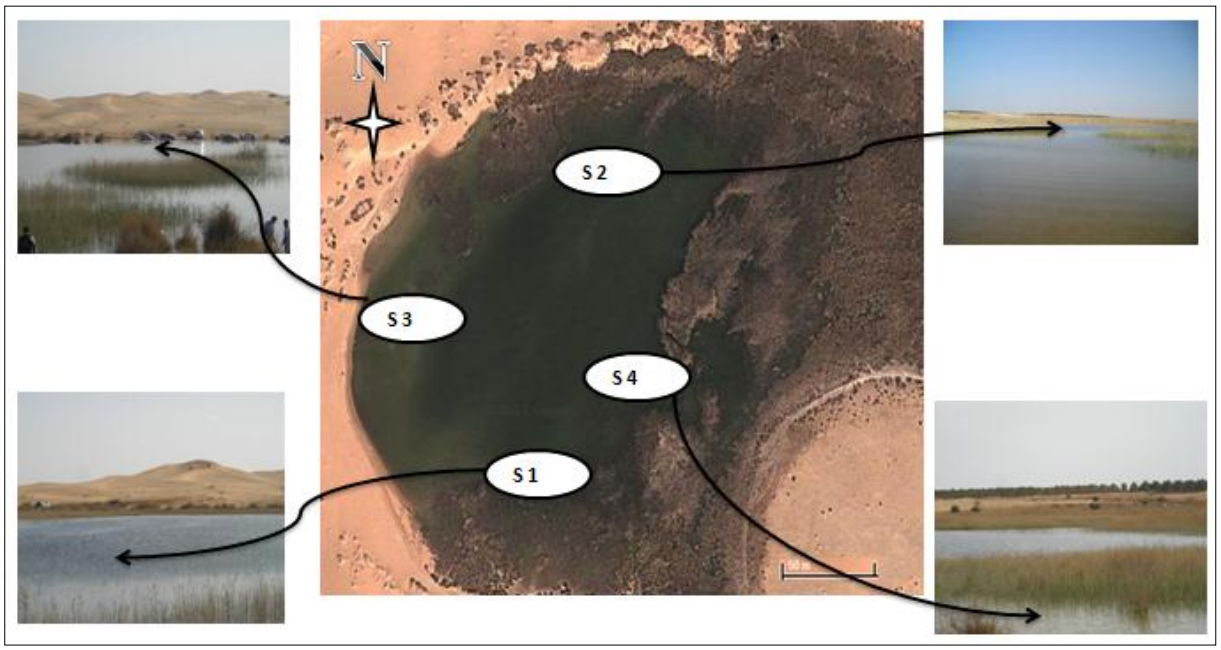


Figure 22. Photos des stations de prélèvement dans le lac Hassi Ben Abdelah.

3.2.2. Echantillonnage et traitement

Pour l'étude du zooplancton (y compris les ostracodes), un échantillon de 25 litre d'eau par station a été prélevé mensuellement en 2008 à quelques centimètres de la surface de l'eau, en utilisant un filtre de 20 µm de vide de maille. Les échantillons ont été conservés dans le formol à 4 %. Les différents groupes zoologiques ont été identifiés et comptés afin de déterminer la densité (ind. L^{-1}) et l'abondance (%). Parallèlement aux prélèvements de zooplancton, des mesures physicochimiques (température, salinité, conductivité électrique et pH) ont été effectuées à l'aide d'un multi paramètre de terrain.

3.3. Résultats

3.3.1. Variation saisonnière des paramètres physicochimiques des milieux d'études

Les variations mensuelles de la température des eaux du lac Ayata montrent des valeurs extrêmes comprises entre 14,45 ± 0,26 °C en février et 39,02 ± 1,83 °C en juillet (Fig. 23a). La salinité enregistre une valeur minimale de 1,89 ± 0,08 g. L^{-1} en mai et maximale de 12,75 ± 0,64 g. L^{-1} en juin (Fig. 23b). Le pH varie entre 7,67 ± 0,07 et 8,26 ± 0,04 (Fig. 23c). La figure 4d illustre les variations mensuelles de la conductivité, les valeurs extrêmes varient entre 14,88 ± 2,22 $mS.cm^{-1}$ en août et 4,84 ± 0,17 $mS.cm^{-1}$ en mai.

La figure 24a illustre les variations de la température des eaux du lac Mégarine. Les valeurs extrêmes sont comprises entre 20,45 ± 0,28 °C en février et 39,05 ± 0,92 °C en août. La salinité de l'eau augmente à partir de mars avec 7,44 ± 0,26 $g.L^{-1}$ pour atteindre un maximum de 36,47 ± 0,53 $g.L^{-1}$ en septembre. La figure 24c illustre les variations mensuelles du pH, les valeurs extrêmes varient entre 7 ± 0,00 en mai et 8,09 ± 0,00 en septembre. Les valeurs extrêmes de la conductivité sont de 15,71 ± 0,78 $mS.cm^{-1}$ en février et de 54,75 ± 0,54 $mS.cm^{-1}$ en septembre (Fig. 24d).

La figure 25a illustre les variations de la température des eaux du lac Témacine. Les valeurs extrêmes sont comprises entre 14,71 ± 1,36°C en mars et 35,45 ± 1,12 °C en août. La figure 25b illustre les variations mensuelle de la salinité de l'eau. Les valeurs extrêmes sont comprises entre 14,28 ± 0,33 g. L^{-1} en août et en septembre et 23,83 ± 0,71 g. L^{-1} en juillet. La figure 25c illustre les variations mensuelles du pH de l'eau du lac, les valeurs extrêmes varient entre 7,87 ± 0,33 en juillet et 8,73 ± 0,54 en septembre. Les variations de la conductivité suivent celles de la salinité, les valeurs

sont comprises entre 26,12 ± 3,49 mS.cm^{-1} en août et 47,51 ± 1,19 mS.cm^{-1} en juillet (Fig. 25d).

La figure 26a illustre les variations de la température des eaux du lac Hassi Ben Abdallah. Les valeurs extrêmes sont comprises entre 14,30 ± 0,20 °C en mars et 31,95 ± 0,64°C en août. La salinité de l'eau est plus ou moins stable entre février et avril avec une valeur minimale de 3,94 ± 0,35 g.L^{-1} ; elle augmente à partir de mai pour atteindre un maximum de 36,52 ± 0,84 g.L^{-1} en septembre (figure 26b). La figure 26c illustre les variations mensuelles du pH de l'eau du lac, les valeurs extrêmes varient entre 7,70 ± 0,03 en mai et 8,34 ± 0,07 en septembre. Les valeurs de la conductivité sont presque stables de février à mai avec une valeur minimale de 9,90 ± 0,88 mS.cm^{-1} et augmente à partir de juin pour atteindre 54,72 ± 1,21 mS.cm^{-1} en septembre (Fig. 26d).

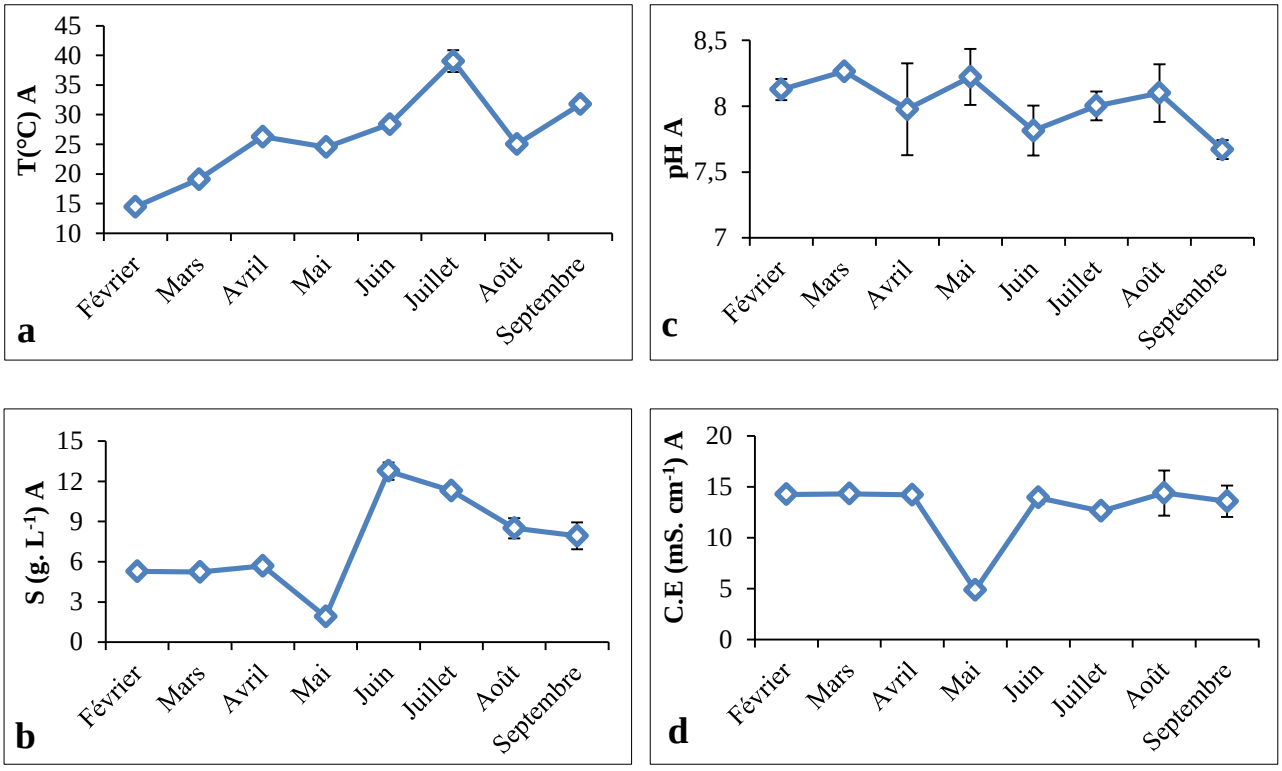


Figure 23. Variations saisonnières de la température, la salinité, la conductivité et le pH dans le lac Ayata.

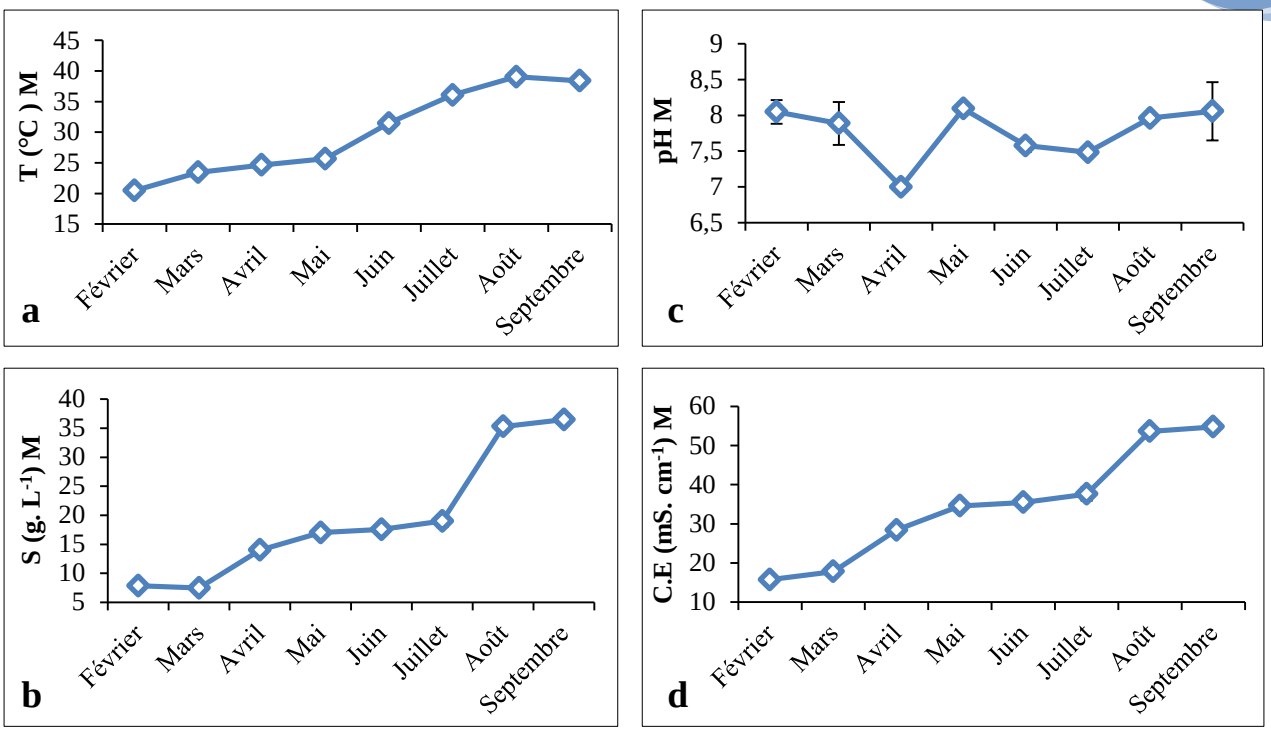


Figure 24. Variations saisonnières de la température, la salinité, la conductivité et le pH dans le lac Mégarine.

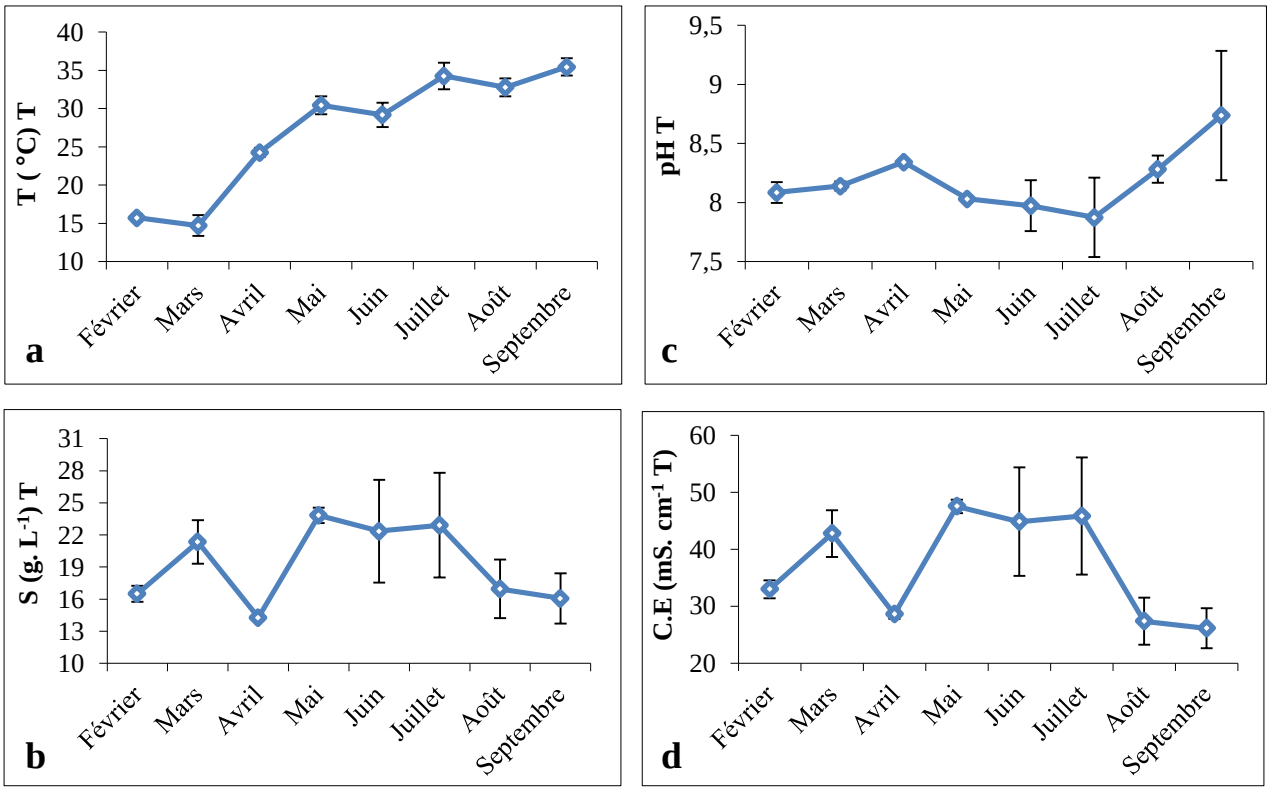


Figure 25. Variations saisonnières de la température, la salinité, la conductivité et le pH dans le lac Témacine.

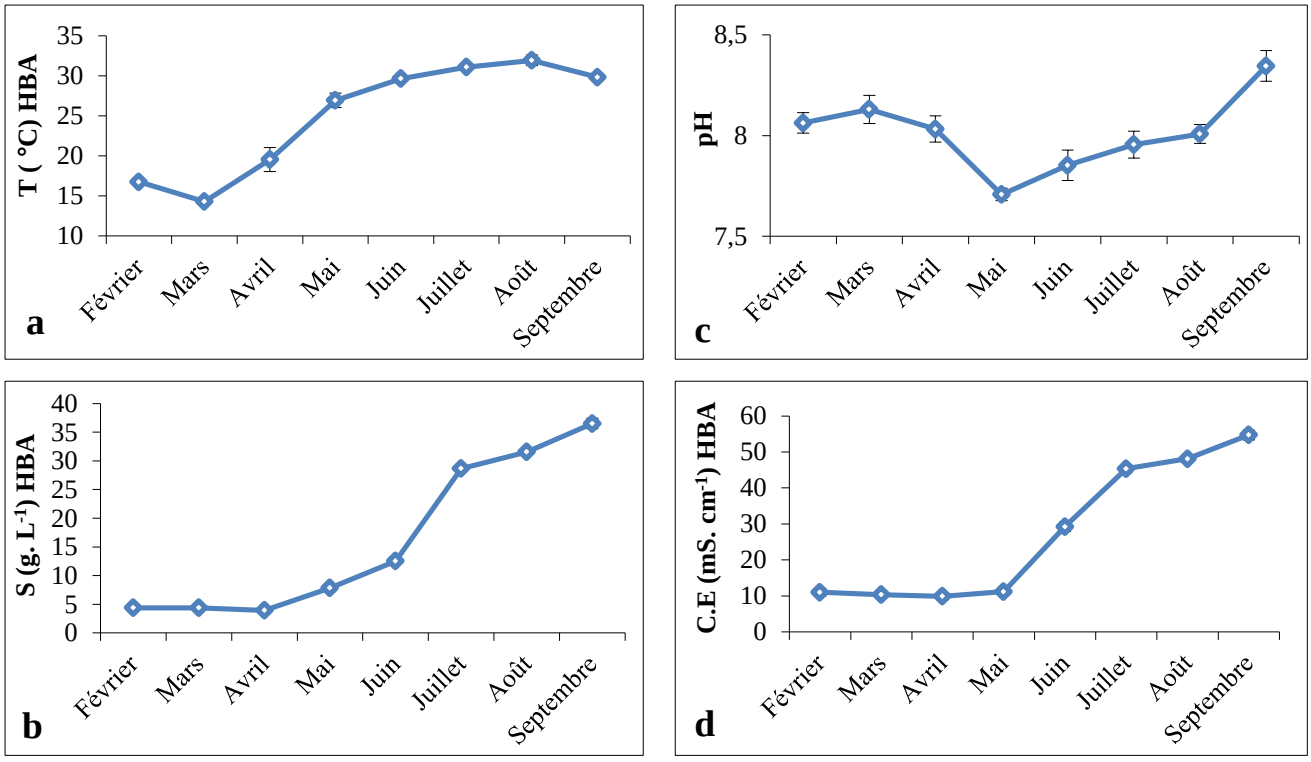


Figure 26. Variations saisonnières de la température, la salinité, la conductivité et le pH dans le lac Hassi Ben Abdallah.

3.3.2. Diversité, distribution et variations spatio-temporelles du zooplancton dans les lacs étudiés

3.3.2.1. Diversité des communautés zooplanctoniques

Dans les échantillons récoltés les taxons appartenant à 2 embranchements ont été récoltés, celui des Arthropodes et celui des Rotifères, représentés par 11 espèces. Il s'agit de 5 copépodes dont deux calanoides (*Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*), deux harpacticoides (*Cletocamptus retrogressus*, *Onychocamptus mohammed)* et un cyclopoide (*Megacyclops viridis viridis*), de 4 ostracodes (*Sarscypridopsis aculeata*, *Heterocypris salina*, *Cyprideis torosa*, *Amnicythere sp.*), d'un cladocère (*Coronatella rectangula*) et d'un rotifère (*Brachionus plicatilis*) (Tab. 8) (Fig. 27).

Tableau 8 : Diversité zooplanctonique des lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah.

Embranchements	Classes	Ordres	Genres et espèces
Arthropoda	Copepoda (Milne Edwards, 1840)	Harpacticoida (Sars M., 1903)	*Cletocamptus retrogressus* Schmankevitsch, 1875
			Onychocamptus mohammed Blanchard et Richard, 1891
		Calanoida (Sars G. O., 1903)	*Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885)
			Calanipeda aquaedulcis Kritschagin, 1873
		Cyclopoida (Burmeister, 1834)	*Megacyclops viridis viridis* (Jurine, 1820)
	Ostracoda (Latreille, 1802)	Podocopida (G.O. Sars, 1866)	*Sarscypridopsis aculeata* (Costa, 1847)
			Heterocypris salina (Brady, 1868)
			Cyprideis torosa (Jones, 1850)
			Amnicythere sp. Devoto, 1965
	Branchiopoda (Latreille, 1817)	Cladocera (Latreille, 1829)	*Coronatella rectangula* (Sars, 1892)
Rotifera (Cuvier, 1798)	Ploimida (Hudson et Grosse, 1886)		*Brachionus plicatilis* Muller, 1786

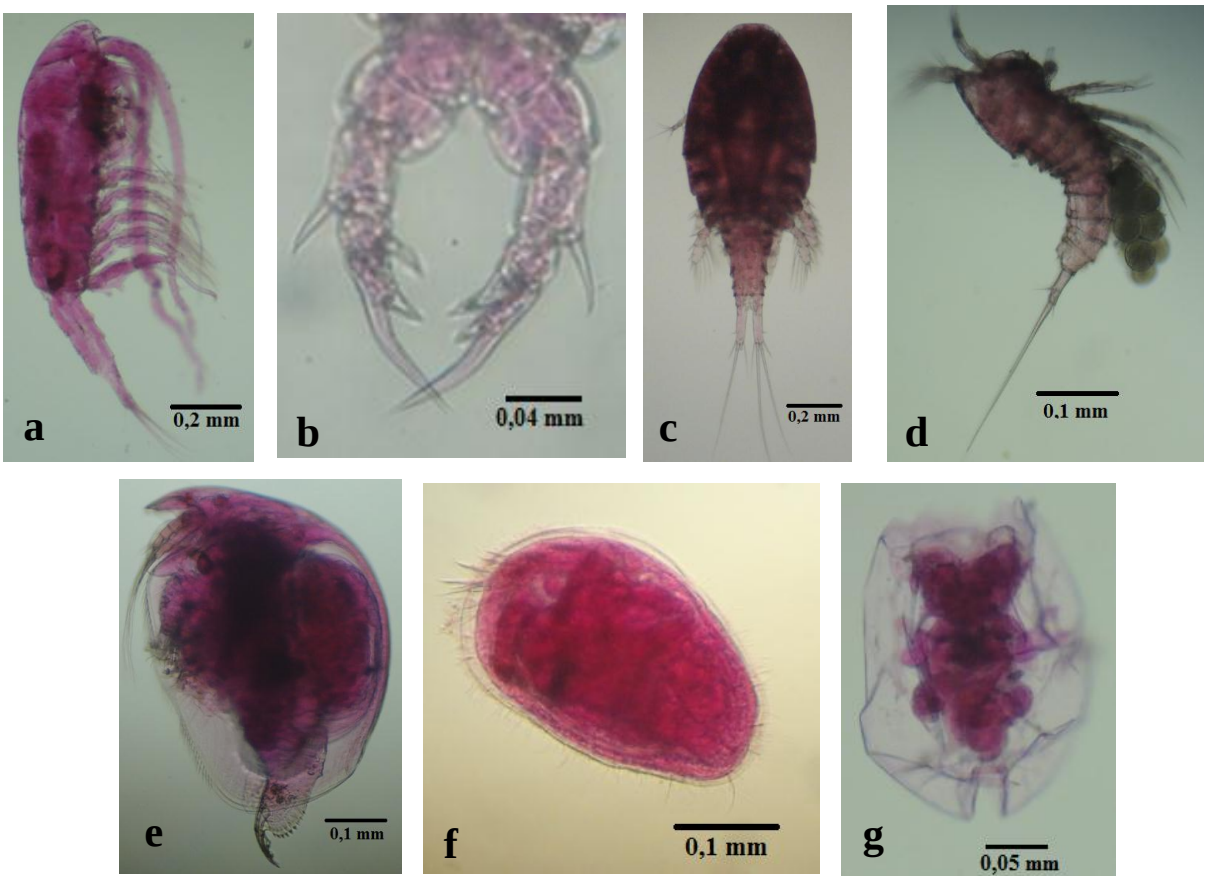


Figure 27. Photo des espèces zooplanctonique des lacs d'études. a : *Arctodiaptomus salinus* male, b : P5 de *Calanipeda aquaedulcis femelle* , c : *Megacyclops viridis viridis*, d : *Cletocamptus retrogressus femelle*, e : *Coronatella rectangula*, f : *Cyprideis torosa*, g : *Brachionus plicatilis.*

3.3.2.2. Distribution des communautés zooplanctoniques

Le tableau 9 résume la distribution des 11 espèces dans les 4 lacs étudiés ; les espèces les plus fréquentes (présentes dans tous les lacs) sont *Cletocamptus retrogressus*, *Arctodiaptomus salinus*, *Cyprideis torosa* et *Brachionus plicatilis.* Les cladocères sont faiblement représentés en espèces et en nombre.

Tableau 9. Distribution des espèces zooplanctonique des lacs d'études (+ : présence, - : absence).

	Ayata	Mégarine	Témacine	Hassi Ben Abdallah
Copépodes				
Cletocamptus retrogressus	+	+	+	+
Onychocamptus mohammed	+	-	-	-
Arctodiaptomus salinus	+	+	+	+
Calanipeda aquaedulcis	-	+	-	-
Megacyclops viridis viridis	+	-	-	-
Ostracodes				
Sarscypridopsis aculeata	+	-	-	-
Heterocypris salina	+	-	+	-
Cyprideis torosa	+	+	+	+
Amnicythere sp.	+	-	-	-
Cladocères				
Coronatella rectangula	+	-	-	-
Rotifère				
Brachionus plicatilis	+	+	+	+

3.3.2.3. Abondance et variations spatio-temporelles du zooplancton

- **Lac Ayata**

L'analyse quantitative durant toute la période d'étude a montré que les copépodes dominaient à 70 %, suivis des rotifères avec 16 %. Les ostracodes sont en troisième position et représentant 13 %. Enfin, les cladocères sont en dernière position et ne représentant que 1% du zooplancton total (Fig. 28).

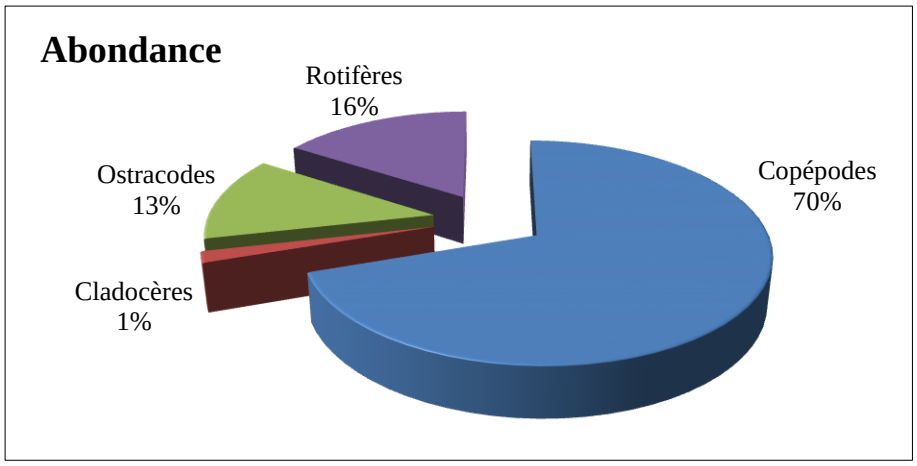


Figure 28. Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Ayata.

La variation temporelle du zooplancton total (toutes les espèces confondues) durant toute la période d'étude a montré un pic durant la période froide au mois de mars lorsque la température était de 18,55 ± 0,49 °C (8,38 ± 7,77 ind.L^{-1}) (Fig. 29). Ce pic est représenté principalement par les copépodes (harpacticoides et cyclopoides) et les rotifères.

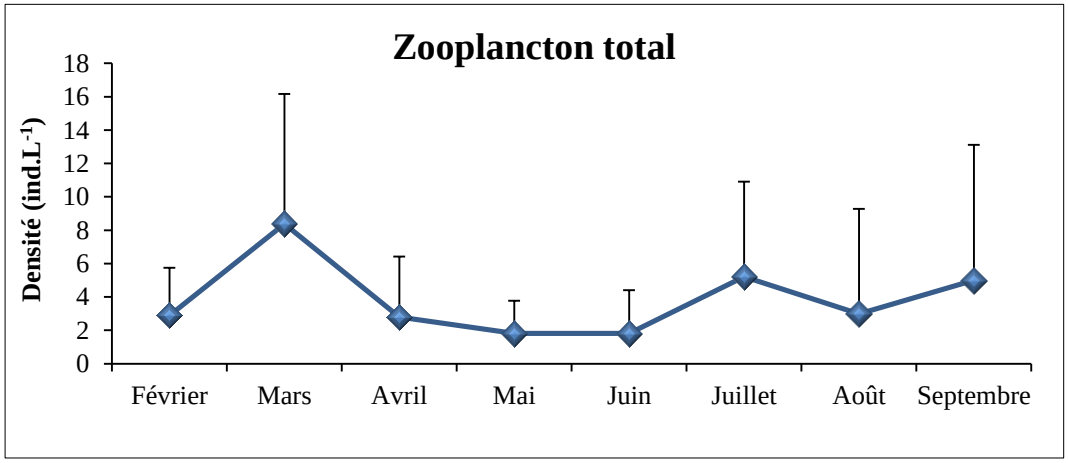


Figure 29.Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Ayata.

Les copépodes harpacticoides sont présents durant toute la période d'étude et enregistrent une densité maximale moyenne de 5,15 ± 5,57 ind. L^{-1} en juillet. Les ostracodes sont également présents durant toute la période d'étude avec une densité

maximale moyenne qui ne depasse pas de 1,94 ± 2,59 ind. L^{-1} en avril. Le rotifère *B. plicatilis* est présent durant les mois de février, mars et avril avec une densité maximale moyenne de 2,88 ± 2,33 ind. L^{-1} en mars. Enfin le cladocère *C. rectangula* est présent en même temps que le rotifère, mais avec des densités très faibles où la valeur maximale moyenne ne dépasse pas 0,32 ± 0,45 ind. L^{-1} en avril. Parmi les copépodes, Le cyclopoide *M. viridis viridis* représente un maximum de 1,89 ± 1,79 ind. L^{-1} en mars alors que le calanoide *A. salinus* est le plus rare avec seulement 0,008 ± 0,01 ind. L^{-1} en mars et juin (Fig.30).

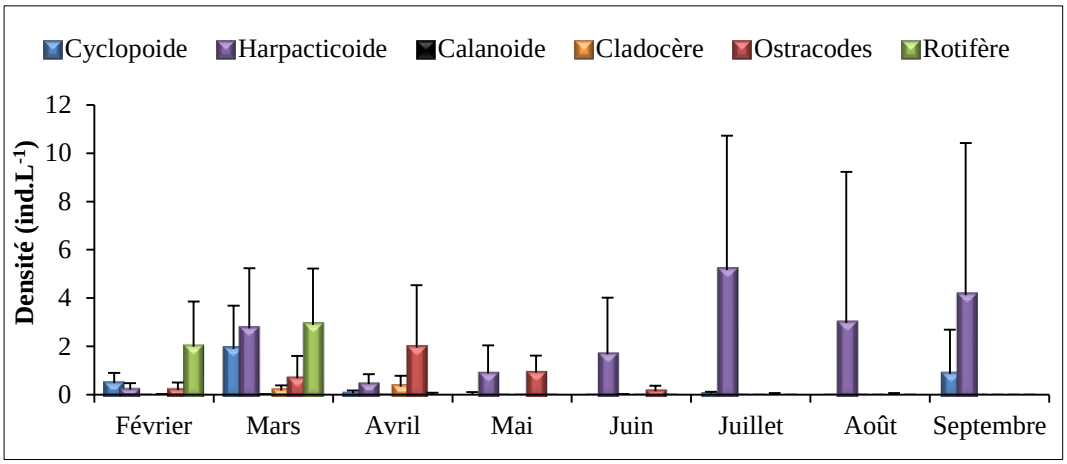


Figure 30. Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Ayata.

- **Lac Mégarine**

L'analyse quantitative du zooplancton durant la période d'étude a montré la dominance des copépodes qui représentent 91% de l'abondance totale, les ostracodes sont classés en seconde position et représentent 9%. Les rotifères sont presque absents (Fig. 31).

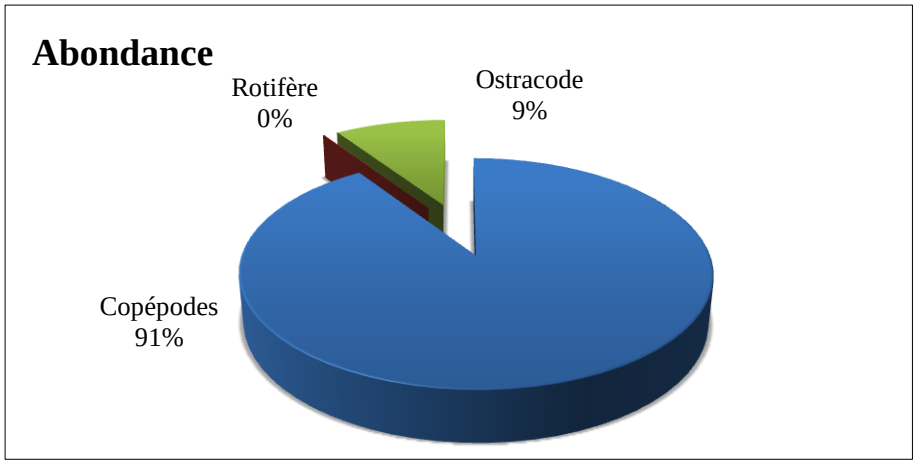


Figure 31. Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Mégarine.

L'étude de la distribution temporelle du zooplancton total durant toute la période d'étude a montré qu'il est abondant en période froide (Fig.32). Les copépodes qui sont représentés essentiellement par l'espèce *A. salinus*, sont dominants par rapport aux deux autres groupes avec des densités maximales de 42,04 ± 70,98 ind. L^{-1} au mois de février. Ils sont présents en abondance durant la période hivernale. L'ostracode *C. torasa* est présent durant toute la période d'étude avec des densités maximales 1,77 ± 3,22 ind. L^{-1} au mois de février. Le rotifère *B. plicatilis* est présent avec des densités très faibles ne dépassant pas 0,01 ± 0,01 ind. L^{-1} en février et en avril (Fig. 33). Parmi les copépodes, *C. aquaedulcis* et *C. retrogressus* sont présents avec de très faibles densités, 0,03 ± 0,05 ind. L^{-1} durant toute la période d'étude pour la première et 0,05 ± 0,09 ind. L^{-1} en août pour la deuxième.

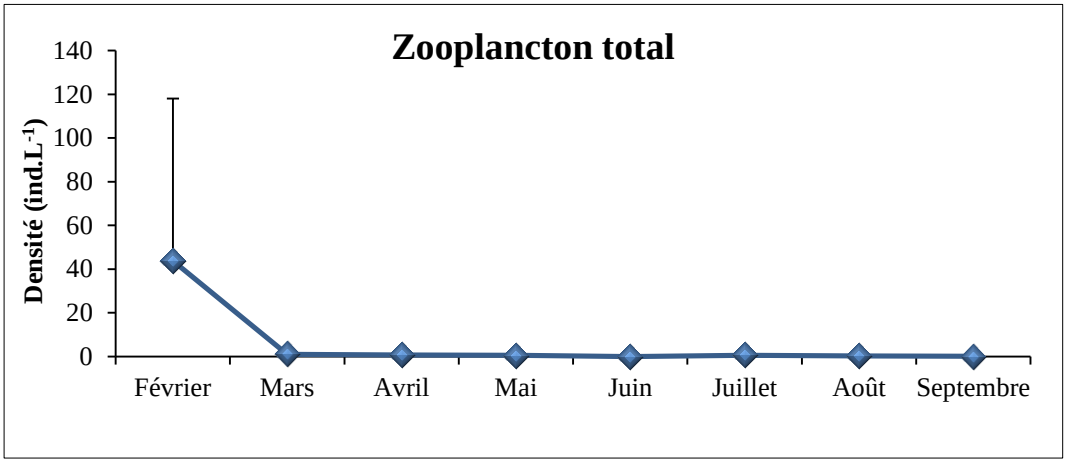


Figure 32.Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Mégarine.

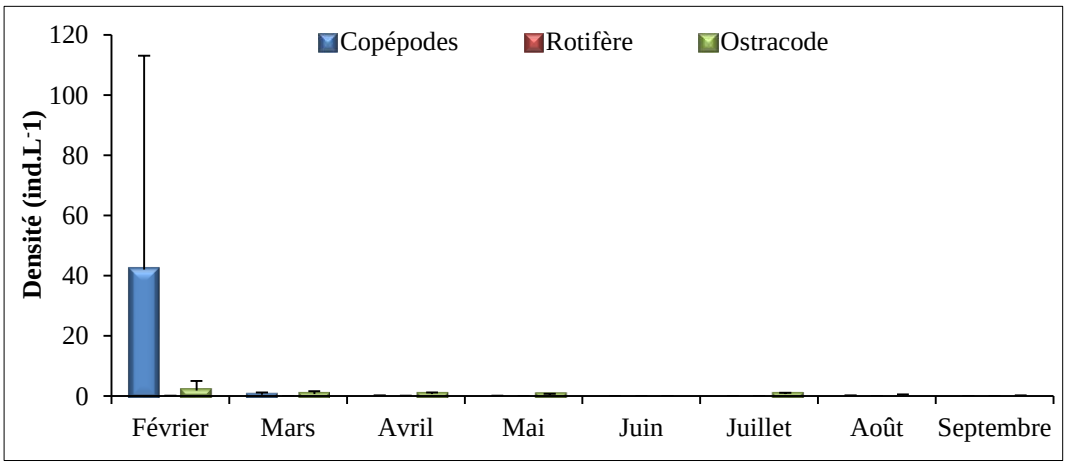


Figure 33.Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Mégarine.

➢ **Lac Témacine**

L'étude quantitative du zooplancton durant la période d'étude a montré une nette dominance des rotifères, ils représentent 86 % de l'abondance totale. Les ostracodes sont classés en seconde position et représentant 10 %. Les copépodes représentent les 4% restants (Fig. 34).

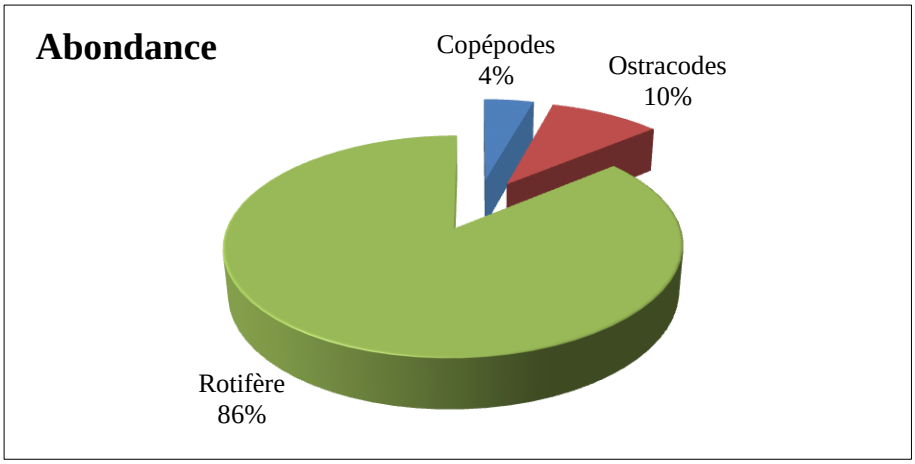


Figure 34. Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Témacine.

L'étude de la distribution spatio-temporelle du zooplancton total du lac Témacine a montré que les rotifères sont dominants par rapport aux autres groupes durant la période hivernale (février et mars) avec des densités maximales de 23,36 ± 11,77 ind. L^{-1}. Les ostracodes sont présents et dominent durant la période chaude (mai à septembre) avec des densités maximales au mois de mai (1,39 ± 3,41 ind. L^{-1}). Les copépodes calanoides sont présents presque durant toute la période d'étude mais avec des faibles densités qui ne depassent pas 0,86 ± 0,36 ind. L^{-1} en février (Fig. 36).

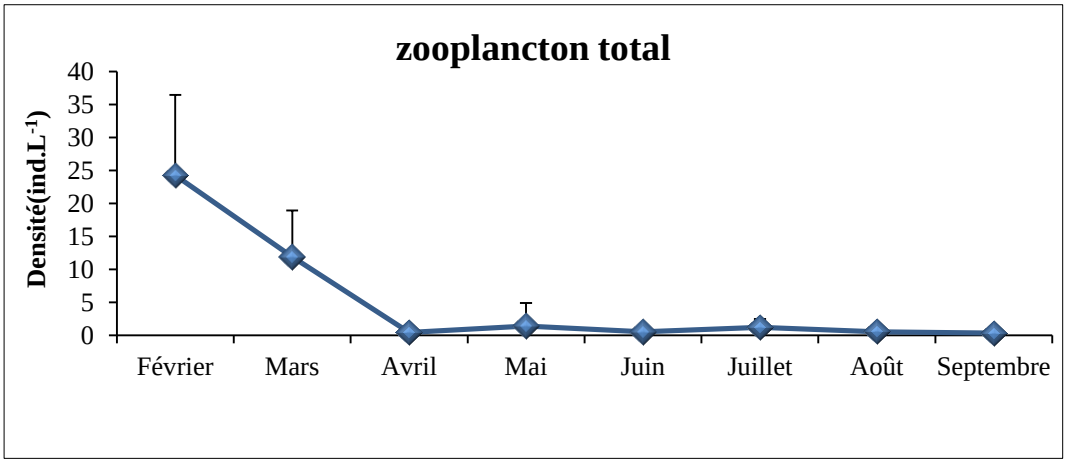


Figure 35. Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Témacine.

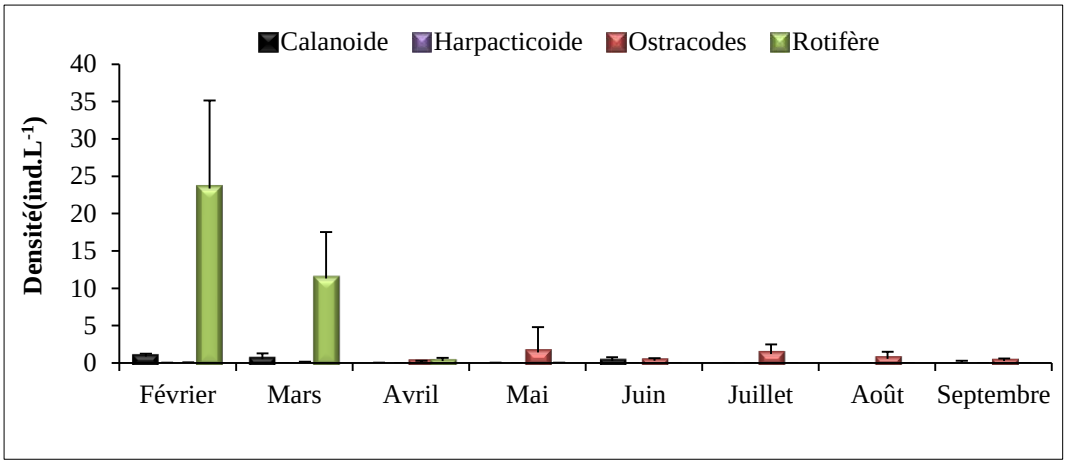


Figure 36. Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Témacine.

➢ **Lac Hassi Ben Abdallah**

L'analyse quantitative du zooplancton durant la période d'étude a montré la dominance des copépodes qui représentant 55 % de l'abondance totale, les ostracodes sont classés en seconde position et représentent 39%. Les rotifères ne représentent que 6 % (Fig. 37).

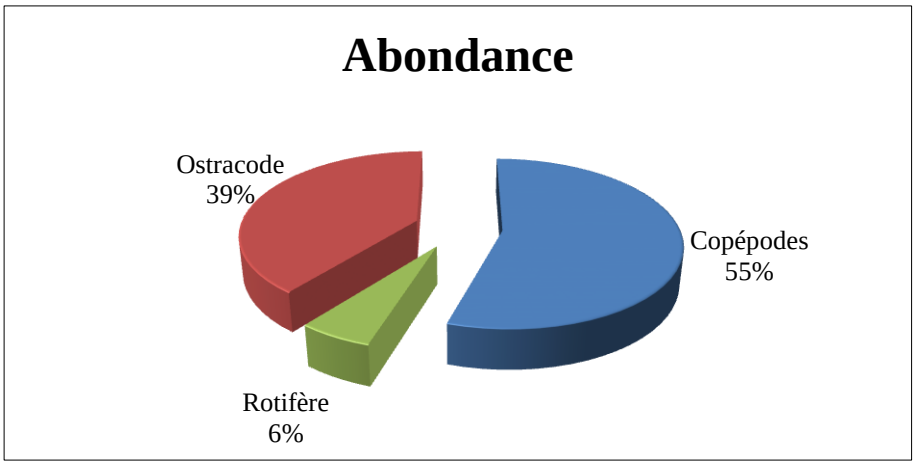


Figure 37. Abondance des taxons zooplanctoniques dans le lac Hassi Ben Abdallah.

L'étude de la distribution temporelle du zooplancton total durant toute la période d'étude a montré que le zooplancton est abondant en période froide (Fig.38). Les copépodes sont dominants par rapport aux deux autres groupes avec des densités maximales de 14,49 ± 12,50 ind. L^{-1} au mois de février. Ils sont présents en abondance durant la période hivernale. Les ostracodes sont présents presque durant toute la période d'étude avec des densités maximales de 8,24 ± 2,09 ind. L^{-1} au mois de septembre. Les rotifères sont présents entre février et mai avec des densités ne dépassent pas 0,83 ± 1,28 ind. L^{-1} (Fig. 39).

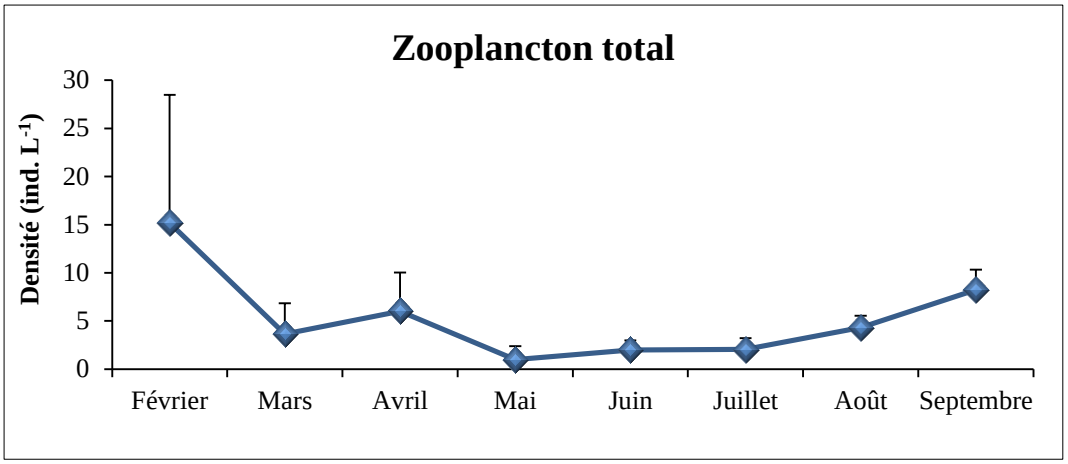


Figure 38.Variation temporelle du zooplancton total dans le lac Hassi Ben Abdallah.

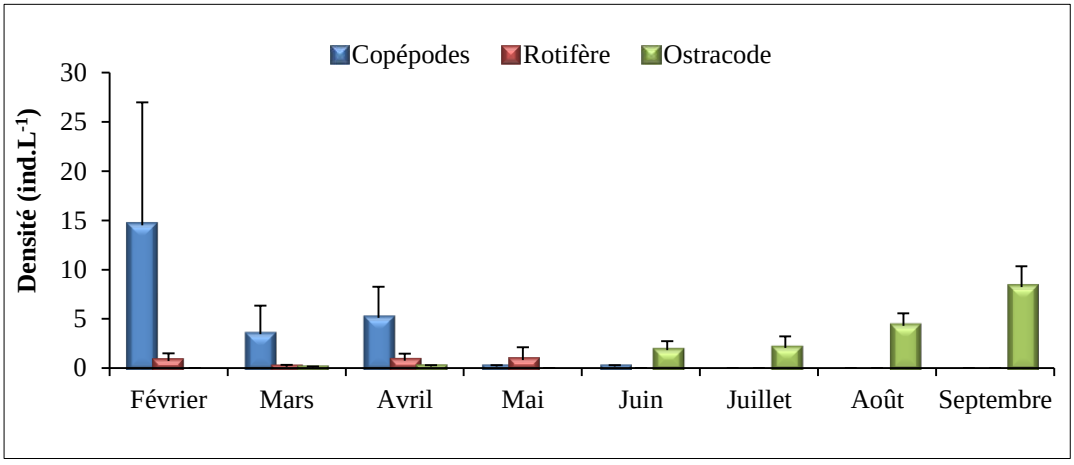


Figure 39. Variation temporelle des taxons zooplanctoniques dans le lac Hassi Ben Abdallah.

3.4. Discussion

L'étude du zooplancton des quatre lacs étudiés a montré que le lac Ayata est le plus riche avec 7 crustacés et un rotifère contre 4 à 5 espèces pour les autres lacs. Seuls les deux copépodes *Cletocomptus retrogressus* et *Arctodiaptomus salinus*, l'ostracode *Cyprideis torosa* et le rotifère *Brachionus plicatilis* sont communs pour les 4 lacs et sont connus pour être très tolérants envers les variations de la salinité (Anufriieva, 2015). Dans les lacs salés, en plus de la température qui détermine la biogéographie des espèces, la salinité est un facteur clé dans la diversité grâce à l'efficacité des systèmes d'osmorégulation et d'osmoconformité en utilisant des osmolytes (Yancey, 2001). Plusieurs études ont montré que la richesse spécifique était inversement proportionnelle à la salinité (Hammer, 1993;Williams, 1998).

Le rotifère *B. plicatilis* a été signalé en Algérie par Gauthier (1928), Beadle (1943) et De Ridder (1991). Dans cette étude *B. plicatilis* est présent avec des densités importantes en hiver particulièrement dans le lac Témacine. Cette espèce supporte de grandes variations de salinité jusqu'à 250 $g.L^{-1}$ (Hammer, 1986). Elle est d'une importance écologique et économique, en effet, elle est largement utilisée en pisciculture marine (Boehm *et al.*, 2000 ; Lubzens *et al*., 2001) et d'eau douce (Kestemont et Awaïss, 1989) comme nourriture de premier âge.

Blanchard et Richard (1890) ont signalé pour la première fois la présence d'*A. salinus* et *C. retrogressus* dans les sebkhas et les chotts d'Algérie. Ces deux espèces sont les plus répandues dans les lacs salés (De Los Rios et Amarouayache, 2016). La présence de *C. retrogressus* a été rapportée en Algérie dans plusieurs sites salés et hypersalés (Amarouayache *et al.*, 2012). Cette espèce est la plus halotolérante parmi les crustacés connus et peut vivre aussi bien dans des estuaires à 3 $g.L^{-1}$ (Ramdani *et al*., 2001) et dans les lacs hypersalés jusqu'à 360 $g.L^{-1}$ (Anufriieva, 2015). Le mécanisme de dispersion de cette espèce reste cependant peu connu, puisqu'elle ne produit pas d'œufs de résistance et reste en quiescence à l'état juvénile. Le calanoide *A. salinus* est également osmoconformeur et eurytope avec un mode de vie adapté à une grande variété de niches écologiques, comme les eaux permanentes et temporaires et les eaux courantes d'une gamme variable de salinité (Dussart, 1967). Il est connu pour sa tolérance aux salinités très élevées jusqu'à 300 $g.L^{-1}$ (Anufriieva, 2015) et peut vivre aussi bien dans des eaux estuariennes (Ramdani *et al*., 2001). Sa dispersion est assurée par les œufs de résistance (Dussart, 1967).

La présence de *Calanipeda aquaedulcis* dans le lac Mégarine est rapportée pour la première fois dans le Sahara. Il s'agit d'une espèce estuarienne ; elle a été trouvée par Gauthier (1928) dans la lagune El Mellah et l'oued Boudjemah puis par Roy et Gauthier (1927) dans ces mêmes localités. Cette espèce est très tolérante à l'oxygène, la température et la salinité et produit des œufs de résistance. De ce fait, elle a une grande capacité pour s'établir dans de nouveaux milieux. Elle est originaire de l'Europe (mer Caspienne) et sa répartition s'est étalée en Méditerranée et en mer Baltique (Frisch *et al*., 2006). Cette espèce est trouvée dans la présente étude pour la première fois au Sahara dans le lac Mégarine

Onychocamptus mohammed a été signalé pour la première fois par Blanchard et Richard (1891) dans lacs salés d'Algérie sous le nom de *Laophonte mohamed*, par Blanchard (1891), Beadle (1943) et Kiefer (1952). Seul Beadle (1943) l'a trouvé au Sahara à Tolga (Biskra), dans un plan d'eau à une densité de 1052°B (environ 50 $g.L^{-1}$). Notre étude montre que sa répartition peut descendre encore plus au sud. Elle est considérée comme une espèce des eaux saumâtres et vit parfois en eau douce mais jamais dans les milieux proprement marins. C'est une espèce très eurytherme. Elle fréquente les mares, les étangs, les rivières, les petits et grands lacs et tous les milieux saumâtres (Dussart, 1967).

Le cyclopoid *Megacyclops viridis viridis*, trouvé dans le lac Ayata, est une espèce qui tolère la salinité et préfère les zones riches en végétation (Dussart, 1969). Si elle est largement répandue en région humide (Hamaidi *et al.*, 2010), plusieurs auteurs l'ont trouvé aussi bien dans le Sahara (Gurney, 1909 ; Gauthier, 1928 et Beadle, 1943).

Les cladocères, représentés par une seule espèce *Coronatella rectangula* anciennement *Alona rectangula*, sont peu abondants par rapport aux autres groupes. Cette espèce fréquente des biotopes divers : des eaux chargées en détritus organiques, étangs, marais et eaux temporaires. C'est une espèce d'eaux modérément chaudes (Amoros, 1984). *C. rectangula* est très répandue en Algérie aussi bien dans le nord (régions d'El Kala et Skikda) (Gauthier, 1928 ; Dumont *et al.*, 1979, Samraoui *et al*.,1998 et Samraoui, 2002), que dans le Sahara au Chott Ouargla (Beadle, 1943), et l'Ahaggar (Dumont, 1979).

Les ostracodes sont peu étudiés en Algérie et entrent plus dans le domaine de paléontologie (Pipik et Bodergat, 2004). Une espèce encore non identifiée du genre *Amnicythere* trouvée à Ayata est signalée pour la première fois en Algérie et en

Afrique en général. Les espèces du genre *Amnicythere* habitent normalement les biotopes oligohalins à mésohalins et dans les milieux marins (Gliozzi et Grossi, 2008), mais certaines se développent dans les sources, les rivières et les lacs (Karanovic, 2012). Certaines espèces d'*Amnicythere* existent encore dans les mers d'Aral, Caspienne, Noire et le lac Ohrid, vivant dans des eaux douces à saumâtres (Schornikov, 1972; 1973; 2011a; 2011b, Namiotko *et al.*, 2012 et Lorenschat *et al.*, 2014). La présence d'*Amnicythere sp.* dans un milieu suggère une origine marine du lac (Lorenschat *et al.*, 2011).

Sarscypridopsis aculeata est trouvée pour la première fois au Sahara, dans le lac Ayata. Elle a été signalée auparavant au nord ouest de l'Algérie dans la Macta à une salinité d'environ 48 g. L^{-1} (Gauthier, 1928), puis à l'est à Annaba et El Tarf et dans la région semi-aride à Batna (sebkha Djendli) (Ghaouaci *et al.*, 2017).

Heterocypris salina est une espèce thermoeuryplastique, mesopolyheophile, meso polytitanophile (calcium supérieur à 72 $mg.L^{-1}$) et mesohalophiles (Meisch, 2000). En Algérie, elle a été trouvée en zone semi aride (Gauthier, 1928 et Ghaouaci *et al.*, 2017). Cette espèce est trouvée pour la première fois au Sahara dans le lac Ayata.

Cyprideis torosa anciennement *Cytheridea torosa littoralis* est la plus répandue. Elle a été signalée aussi bien dans le lac Témacine que dans les estuaires par Gauthier (1928), qui l'a considéré comme espèce d'estuaires. Selon Pint *et al.* (2012), pour qu'elle puisse s'installer, cette espèce a besoin d'eaux peu profondes, saumâtres, permanentes et assez chaudes, avec un climat assez aride permettant la salinisation des eaux. Ces auteurs ont pu démontrer son importance en palaeosalinité dans les eaux athalassiques, oligo à mésohalines, en utilisant les nodules formés à la surface de ses coquilles. En effet, les coquilles lisses indiquent sa présence dans les eaux salées alors que la présence de nodules indique sa présence dans une eau douce (Pint *et al.*, 2012).

La composition, l'abondance et la dynamique du zooplancton sont structurées par les facteurs environnementaux et biotiques (Wetzel, 2001). Les densités du zooplancton sont globalement faibles et de l'ordre de quelques individus par litre, comparé à d'autres milieux similaires, mais avec des salinités plus élevées et caractérisés par l'absence de poissons (Garcia *et al.*, 1997 ; Amarouayache *et al.*, 2012). Certaines espèces sont plutôt hivernales, d'autres sont estivales, ou alors annuelles mais avec des préférences, telles que pour *C. retrogressus* qui est présent

durant toute l'année avec des densités plus importantes lorsque les températures sont élevées. Des résultats similaires ont été observés dans la sebkha Ez-Zemoul dans les hauts plateaux de l'est algérien (Amarouayache *et al*., 2012). De même la distribution de *B. plicatilis* dépend de la température. Selon Lubzens *et al.* (2001), la température et la salinité optimales pour la reproduction asexuée de cette espèce sont de 20-25 °C et 10-25 $g.L^{-1}$, respectivement, ce qui corrobore avec nos résultats. D'autre part son taux de croissance est également influencé par la quantité et la qualité de la nourriture (Lubzens 1987; Korstad *et al*., 1989; Vadstein *et al*., 1993; Hansen *et al*., 1997; Hotos 2002).

En plus des facteurs abiotiques qui influencent la distribution du zooplancton, des auteurs ont montré les interactions biotiques et principalement les relations prédateur-proie influençant cette distribution (Davies, 1985; Burks *et al*., 2002 ; Van de Meutter *et al*., 2005). La migration verticale ou horizontale peut également expliquer la distribution hétérogène du zooplancton. Cette dernière a lieu en réponse à la pression de prédation exercée par les prédateurs invertébrés (Burks *et al*., 2002; Van de Meutter *et al.*, 2004 et 2005) et/ou les prédateurs vertébrés (les poissons) (White, 1998; Lauridsen *et al.*, 1999; Romare *et al.*, 2003). Il est généralement reconnu pour les lacs peu profonds, comme dans notre cas, que l'impact de prédation des poissons planctonivores est nettement plus élevé que celui des invertébrés planctonivores (Burks *et al.*, 2002). La présence de poissons entraine la réduction de la richesse mais aussi les densités zooplanctoniques.

Parmi les paramètres physico-chimiques mesurés durant l'échantillonnage, la température de l'eau est déterminante dans la distribution du zooplancton, en particulier pour les copépodes harpacticoides et les rotifères (lac Ayata). Cependant, l'analyse de l'effet des paramètres physico-chimiques sur la distribution du zooplancton dans les petits lacs a été tentée dans le lac de Geneva (Pinel-Alloul *et al*., 1999) où ces auteurs ont trouvés que ces paramètres avaient un moindre effet sur la distribution du zooplancton.

3.5. Conclusion

Parmi les 4 lacs étudiés, Ayata est le plus diversifié. *Arctodiaptomus salinus*, *Cletocamptus retrogressus*, *Cyprideis torosa* et *Brachionus plicatilis* sont présents dans les 4 lacs et sont toutes des espèces tolérantes à la salinité élevée. Le calanoide *A. salinus* est l'espèce dominante en nombre d'individus et en nombre d'apparition. La consultation rigoureuse des ouvrages sur la biodiversité carcinologique des eaux continentales d'Algérie a permis de signaler la présence de plusieurs espèces nouvelles pour l'Algérie ou le Sahara, telles que le copépode *Calanipeda aquaedulcis* et les ostracodes *Sarscypridopsis aculeata*, *Heterocypris salina* et *Amnicythere*. Ce genre est signalé pour la première fois en Afrique en général.

Chapitre IV:
Ichtyofaune des eaux continentales du Sahara algerien

IV. Ichtyofaune des eaux continentales du Sahara algérien

4.1. Introduction

L'ichtyofaune, comme de nombreux êtres vivants des eaux continentales, est menacée de régression à cause des pressions anthropiques et des changements climatiques qui sont probablement les principaux facteurs responsables (Garcia *et al*., 2010). C'est pour cette raison qu'il est impératif d'actualiser les données existantes et d'évaluer l'état actuel pour d'éventuelles gestions à des fins de protection. Le Sahara d'Algérie, qui représente 85 % de son territoire, est riche en plans d'eaux diversifiés de par leurs superficies, leur dynamique et leurs caractéristiques physico-chimiques (Gouasmia *et al.*, 2016), mais aussi de par leur particularités régionales ; on y compte les chotts et les sebkhas, les Gueltas, les Seguias, les Chrias et les Bhour (Blanchard, 1891; Gagneur et Kara, 2001).

Les premières informations sur la biodiversité ichtyologique du Sahara ont été rapportées par Gervais (1848) qui a ajouté à la liste de la faune algérienne l'espèce *Coptodon zillii* Gervais (1848), anciennement *Tilapia zilli*, trouvée par Zill dans les Seguias de Touggourt. Depuis, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'ichtyofaune des eaux continentales de l'Algérie avec d'autres groupes zoologiques (Blanchard, 1891 ; Gurney, 1909 ; Seurat, 1930 ; voir liste plus loin), mais ceux qui concernent exclusivement les inventaires de poissons de l'Algérie sont rares; nous citerons ceux de Le Berre (1989), Bacha et Amar (2007), Kara (2011) et Chaibi *et al.* (2012). Les quelques travaux récents qui traitent l'ichtyofaune du Sahara algérien sont relatifs à la biologie et à la distribution de quelques espèces, comme *Aphanius fasciatus* (Chaibi *et al.*, 2015 ; Guezi *et al.*, 2017), *Coptodon zillii* (Zouakh *et al.*, 2016) et *Hemichromis bimaculatus* (Guezi et Kara, 2015).

L'inventaire et la biogéographie de l'ichtyofaune du Sahara algérien sont actualisés dans ce chapitre qui a pour but de fournir une liste exhaustive des espèces autochtones et endémiques des eaux continentales sahariennes avec leur distribution et d'actualiser les anciennes informations.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Actualisation de l'inventaire ichtyologique des lacs de la région de Oued Righ et Ouargla

La liste et la distribution des poissons des eaux continentales du Sahara algérien est basée sur la littérature (Blanchard, 1891 ; Gurney, 1909 ; Pellegrin, 1921 ; Gauthier, 1928; Seurat, 1930 ; Beadle, 1943; Dumont, 1979; Le Berre, 1989, Lévêque, 1990, Doadreo, 1994 et Geiger *et al.*, 2014) et le travail présent. L'inventaire des poissons (autochtones et allochtones) dans les milieux d'étude (lacs Ayata, Mégarine, Témacine, Hassi Ben Abdallah) a été effectué entre 2008 et 2009 par échantillonnage aléatoire à l'aide de différents engins de pêche: hameçon, épuisette et pièges. La fréquence de l'échantillonnage diffère d'un site à un autre, avec des prises mensuelles entre mai 2008 et avril 2009 dans le lac Témacine et des prises saisonnières dans les autres sites en 2008. Les poissons ont été conservés dans l'alcool à 70º et au congélateur. Tous les individus ont été identifiés selon des guides d'identification ; Lévêque *et al.* (1992) pour *Coptodon zillii*, Loiselle (1992) pour *Hemichromis letourneuxi*, Lloyd et Tomasov (1985) pour *Gambusia holbrooki*. L'actualisation des noms d'espèces valides est basée sur les données de Fishbase catalogue of life.

4.3. Résultats

4.3.1. Liste ichtyologique des eaux continentales du Sahara algérien

Le tableau 10 recense l'ichtyofaune du Sahara algérien à partir de la littérature et de la présente étude. Au total, 19 espèces autochtones appartenant à 6 familles ont été inventoriées; il s'agit de 6 cichlidés, 6 cyprinidés, 3 cyprinidontidés, 2 claridés, un Gobiidé *Bathygobius soporator* et l'anguille *Anguilla anguilla* (anguillidés). Quatre espèces sont endémiques : *Aphanius saourensis*, *Astatotilapia desfontainii*, *Hemichromis saharae et Luciobarbus biscarensis*. La répartition s'étale de l'Atlas saharien au nord jusqu'à Tamanrasset à l'extrême sud en passant par les Zibans, Oued Righ et le Tassili Ajjer à l'est et entre la Saoura et Adrar vers le sud-ouest. Les figures 40, 41, 42 et 43 illustrent la distribution des espèces de poissons dans le Sahara algérien.

Tableau 10. Liste et distribution des poissons du Sahara algérien.

	Nom accepté	Ancienne appellation	Famille	Distribution	Référence
1	*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)	*Anguilla callensis* Guichenot, 1850	Anguillidae	Ziban, Tolga (Oasis de Farfar)	Seurat (1930)
2	*Aphanius dispar ?* (Rüppell, 1829)	*Cyprinodon dispar* (Rüppell, 1829)		Oued Righ	Blanchard (1891) : P. 228
3	*Aphanius fasciatus* (Valenciennes, 1821)	*Cyprinodon calaritanus* (Cuvier, 1829)		Oued Righ (Chrias et Bhour)	Blanchard (1891)
		Cyprinodon cyanogaster Guichenot, 1859	Cyprinodontidae	Oued Righ (Chrias et Bhour)	Blanchard (1891)
		Cyprinodon doliatus Guichenot, 1859		Biskra	Daget *et al.*, (1986)
		Cyprinodon fasciatus (Valenciennes, 1821)		Hammam Salahine	Gurney (1909)
		Cyprinodon fasciatus (Valenciennes, 1821)		Oasis des Ziban, Touggourt, Oued Melah (prés de Hammam Salahine), Sidi Okba, Ain Tella (Oued Righ), Oasis Oued Righ	Seurat (1930)
		Cyprinodon fasciatus		Biskra (prés de Hammam Salahine), Canal	Beadle (1943)

		(Valenciennes, 1821)	stagnant entre Touggourt et Témacine, Lac Merdjadja, Canal prés du lac Mégarine, Ourlana	
		Aphanius fasciatus (Valenciennes, 1821)	El Abiod	Doadrio (1994)
		Aphanius fasciatus (Valenciennes, 1821)	Chott Merouane	Zemmouri (1991)
		Aphanius fasciatus (Valenciennes, 1821)	Chott Merouane	Amarouayache et Kara (2017)
		Aphanius fasciatus (Valenciennes, 1821)	Ayata	Guezi *et al*. (2017)
		Aphanius fasciatus (Valenciennes, 1821)	Témacine, Oued Still	Chaibi *et al*. (2015)
		Aphanius fasciatus (Valenciennes, 1821)	Touggourt	Geiger et *al.* (2014)
4	*Aphanius saourensis* Blanco, Hrbek et Doadrio, 2006	*Aphanius saourensis* Blanco, Hrbek et Doadrio, 2006	Mazzer	Blanco *et al.* (2006)
		Aphanius saourensis Blanco, Hrbek et Doadrio, 2006	Mazzer (Béchar)	Geiger et *al.* (2014)

5	*Astatotilapia desfontainii* (Lacepède, 1802)	*Chromis desfontainei* (Lacepède, 1802)		Oued Righ (Chrias et Bhour)	Blanchard (1891)
		Astatotilapia desfontainesi (Boulenger, 1899)		Merdjadja, Témacine, Mégarine (deux lacs et le canal), mare (85 km S de Tougourt), Ouerlana, Ain Zarga	Pellegrin (1921)
		Haplochromis desfontainii (Lacepède, 1802)	Cichlidae	El Abiod	Doadrio (1994)
		Astatotilapia desfontainesi (Lacepède, 1802)		Tolga, Oasis d'Oued Righ jusqu'au Touggourt et Témacine	Seurat (1930)
6	*Bathygobius soporator ?* (Valenciennes, 1837)	*Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837)	Gobiidae	?	Daget *et al.* (1986)
7	*Clarias anguillaris* (Linnaeus, 1758)	*Clarias anguilaris* (Linnaeus, 1758)		Ahaggar (Dans la littérature)	Doadrio (1994)
		Clarias anguilaris (Linnaeus, 1758)	Clariidae	Tassili Ajjer (Ihrir)	Dumont(1987)
8	*Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)	*Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)		El Abiod , Tassili, Ahaggar	Doadrio (1994)
		Clarias lazera		Merdjadja, Témacine, Mégarine (deux lacs	Pellegrin (1921)

		Valenciennes, 1840		et canal), mare (85 km S de Tougourt), Ouerlana, Ain Zarga	
		Clarias lazera Valenciennes, 1840)		Ain Zerga, El Bhir (à 3500 m de Tolga)	Gauthier (1928)
		Clarias lazera Valenciennes, 1840		Biskra (Behour de Tolga)	Seurat (1930)
		Clarias lazera Valenciennes, 1840		Tassili Ajjer	Dumont (1979)
		Clarias gariepinus (Burchell, 1822)		Ziban (Tolga), Oued Righ (Merdjadja, Temacine, Sidi bou Hania), Tassili (Iherir, Tadjeradjeri, oued Tikhammalt, oued Tarat, oued Iseien)	Le Berre (1989)
		Clarias gariepinus (Burchell, 1822)		Tassili Ajjer (Ihrir)	Lévêque (1990)
9	*Coptodon zillii* (Gervais, 1848)	*Chromis zillei* (Gervais, 1848)	Cichlidae	Oued Righ (Chrias et les Bhour)	Blanchard (1891)
		Tilapia zillei (Gervais, 1848)		Ain Oumache (Source Ain El- Hadjer)	Gauthier (1928)
		Tilapia zilli (Gervais, 1848)		Merdjadja, Témacine, Mégarine (deux lacs et le canal), mare (85 km S de Tougourt), Ouerlana, Ain Zarga	Pellegrin (1921)

		Tilapia zillii (Gervais, 1848)		El Abiod, Tassili, Ahaggar	Doadrio (1994)
		Tilapia zillii (Gervais, 1848)		Tolga (Oasis de Farfar), Oasis d'Oued Righ jusqu'au Touggourt et Témacine	Seurat (1930)
		Tilapia zillii (Gervais, 1848)		Tassili Ajjer, Ahaggar (Mouydir)	Dumont (1979)
		Tilapia zillii (Gervais, 1848)		Tassili Ajjer, Ahaggar	Lévêque (1990)
		Coptodon zillii (Gervais, 1848)		Touggourt	Geiger et *al.* (2014)
10	*Enteromius deserti* (Pellegrin, 1909)	*Barbus deserti* Pellegrin, 1909	Cyprinidae	Tassili Ajjer (mare d'Ifédil)	Seurat (1930)
		Barbus deserti Pellegrin, 1909		Tassili Ajjer (Ihrir), Ahaggar (Tefedest, Mouydir)	Dumont (1979)
		Barbus deserti Pellegrin, 1909		Ahaggar (Mouyder), Tassili (Ifedil, Iherir, Djerat)	Le Berre (1989)
		Enteromius deserti (Pellegrin, 1909)		Tassili, Ahaggar	Doadrio (1994)
		Barbus deserti Pellegrin, 1909		Tassili	Lévêque (1990)
11	*Enteromius macrops*	*Barbus macrops*		Ahaggar	Lévêque (1990)

	(Boulenger, 1911)	*Boulenger, 1911*			
12	*Hemichromis saharae* (Sauvage, 1880)	*Hemichromis saharae* (Sauvage, 1880)	Cichlidae	Oued Righ (Chrias et les Behour)	Blanchard (1891)
		Hemichromis saharae (Sauvage, 1880)		Oasis d'Oued Righ jusqu'au Tougourt et Témacine, Tolga (Oasis de Farfar)	Seurat (1930)
		Hemichromis saharae (Sauvage, 1880)		Touggourt	Geiger et *al.* (2014)
13	*Hemichromis bimaculatus* Gill, 1862	*Hemichromis bimaculatus* Gill, 1862		Oasis d'Oued Righ jusqu'au Touggourt et Témacine	Seurat (1930)
		Hemichromis bimaculatus Gill, 1862		Merdjadja, Témacine, Mégarine (deux lacs et le canal), mare (85 km S de Tougourt), Ouerlana, Ain Zarga	Pellegrin (1921)
		Hemichromis bimaculatus Gill, 1862		Tassili Ajjer	Pellegrin (1921)
		Hemichromis bimaculatus Gill, 1862		Tassili Ajjer	Lévêque (1990)
		Hemichromis bimaculatus		Oued Righ	Guezi et Kara (2015)

		Gill, 1862			
14	*Hemichromis letourneuxi* Sauvage, 1880	*Hemichromis rollandi* (Sauvage, 1881)		Oued Righ (Chrias et les Behour)	Blanchard (1891) : P. 228.
15	*Luciobarbus biscarensis* (Boulenger)	*Barbus biscarensis* (Boulenger, 1911)	Cyprinidae	Biskra jusqu'au Tassilli des Ajjer, Ahaggar (mares de la rivière Amguid), mare Ifédil	Seurat (1930)
		Barbus biscarensis (Boulenger, 1911)		Tassili Ajjer, Ahaggar (Tefedest, Mouydir)	Dumont (1979)
		Barbus biscarensis (Boulenger, 1911)		Ziban, Tassili, Ahaggar (Mouydir)	Le Berre (1989)
		Barbus biscarensis (Boulenger, 1911)		El Abiod	Doadrio (1994)
		Luciobarbus biscarensis (Boulenger)		Lotaya, Abiod	Geiger et *al.* (2014)
16	*Luciobarbus Callensis* (Valenciennes, 1942)	*Barbus callensis* Valenciennes, 1942		Ain Oumache (Source Ain El- Hadjer)	Gauthier (1928)
		Barbeau de Sétif		Ziban	Seurat (1930)
		Barbeau de la Calle		Biskra (oasis de Doucen)	Seurat (1930)
		Barbus callensis Valencinnes, 1942		Tolga, Tassili des Ajjar, mare Ifédil	Seurat (1930)
		Barbus antinorii		Ain Safra, Bechar, Oued Saoura, Timimoun,	Le Berre (1989)

		(Boulenger, 1911)		Adrar, Aoulef	
		Barbus amguidensis Pellegrin, 1934		Tassili, Ahaggar	Doadrio (1994)
17	*Luciobarbus nasus (Günther, 1874)*	*Barbus nasus Günther, 1874*		Ahaggar (Tefedest, Mouydir)	Dumont (1979)
18	*Pseudophoxinus callensis* (Guichnot, 1850)	*Phoxinillus chaignoni* (Vaillant, 1904)		Biskra (Oasis de Doucen)	Seurat (1930)
		Pseudophoxinus callensis (Guichnot, 1850)		Zibans (Mare de Doucen)	Le Berre (1989)
19	*Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758)	*Tilapia galilaea* (Linnaeus, 1758)	Cichlidae	Merdjadja, Témacine, Mégarine (deux lacs et le canal), mare (85 km S de Tougourt), Ouerlana, Ain Zarga	Pellegrin (1921)

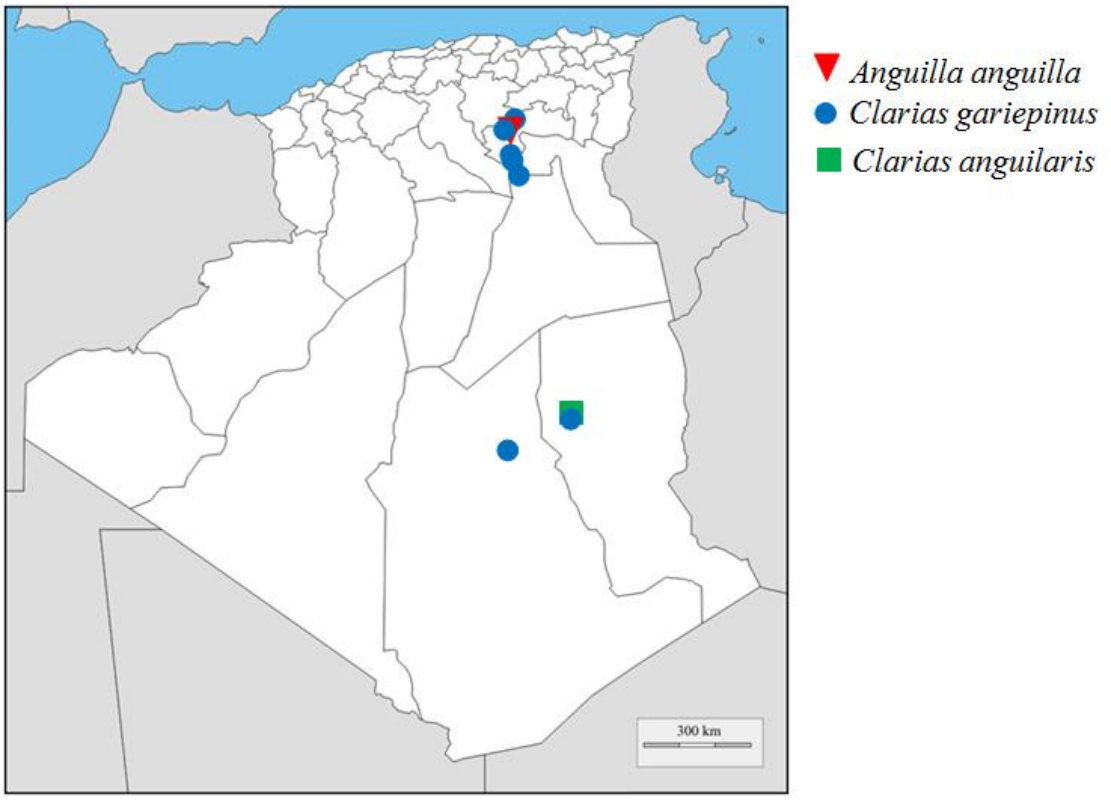


Figure 40. Répartition des espèces d'Anguillidae et Clariidae du Sahara algérien.

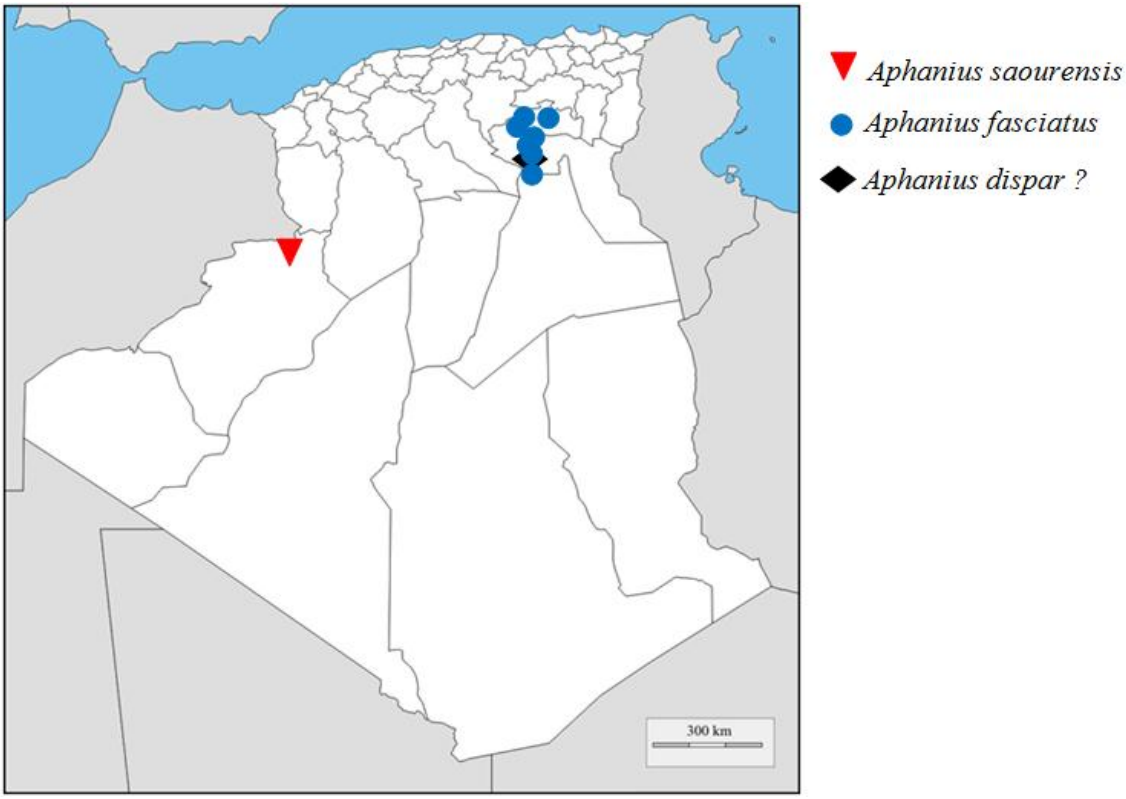


Figure 41. Répartition des espèces de Cyprinodontidae du Sahara algérien.

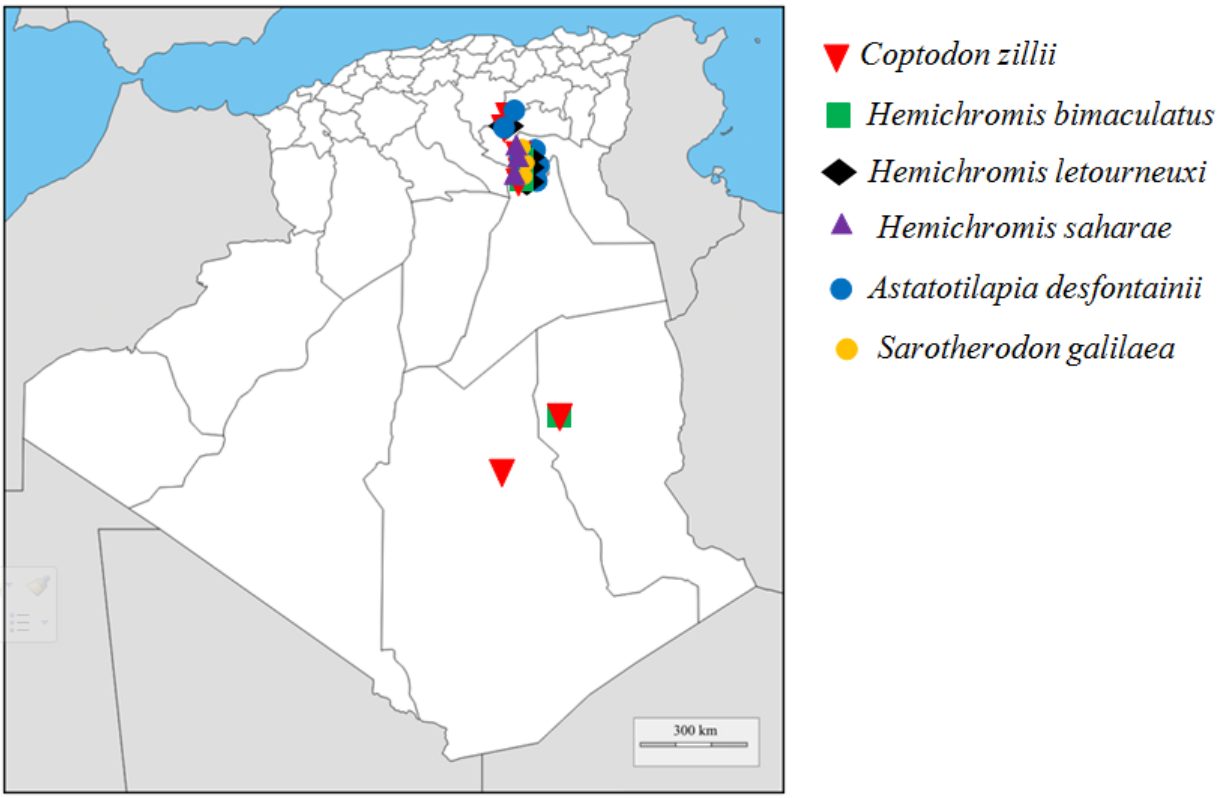


Figure 42. Répartition des espèces de Cichlidae du Sahara algérien.

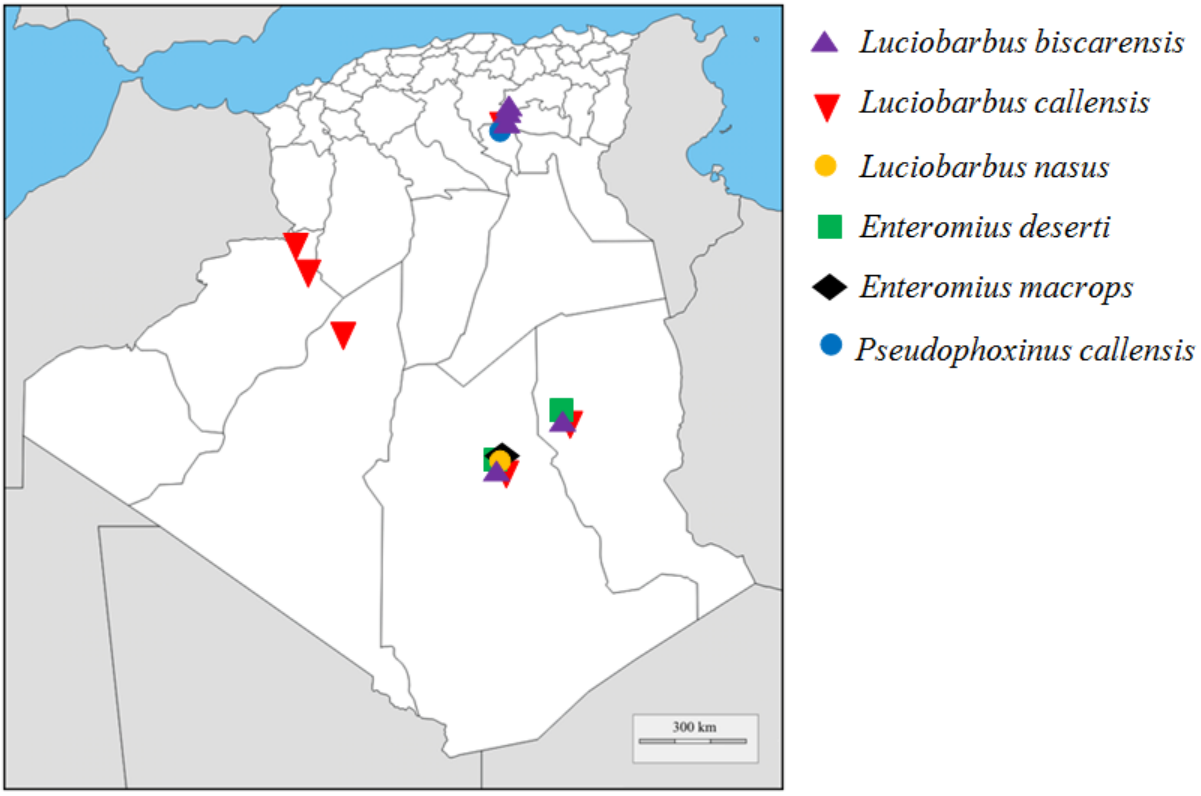


Figure 43. Répartition des espèces de Cyprinidae du Sahara algérien.

4.3.2. Inventaire de l'ichtyofaune dans les lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah

L'analyse des individus des poissons échantillonnés dans les 4 sites (lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah) a permis de distinguer 4 espèces (Tab.11): *Coptodon zillii* (Fig. 44a), *Hemichromis letourneuxi* (Fig. 44 b et c), *Aphanius fasciatus* (Fig.44d) et *Gambusia holbrooki* (Fig. 44 e et f). L'examen des dents pharyngiennes des individus d'*Hemichromis* des lacs Ayata, Mégarine et Témacine confirme l'appartenance des individus à l'espèce *H. letourneuxi* (Fig. 44 c). Les observations effectuées sur le gonopodium des gambusies ont montré qu'il s'agit de *Gambusia holbrooki* (Fig. 44 f).

Tableau 11. Systématique des espèces ichtyologiques inventoriées dans les lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah.

Classe	Ordre	Famille	Genre et espèce
Actinopterygii	Perciformes	Cichlidae	*Coptodon zillii* (Gervais, 1848)
			Hemichromis letourneuxi (Sauvage, 1880)
	Cyprinodontiformes	Cyprinodontidae	*Aphanius fasciatus* (Valenciennes, 1821)
		Poeciliidae	*Gambusia holbrooki* (Girard, 1859)

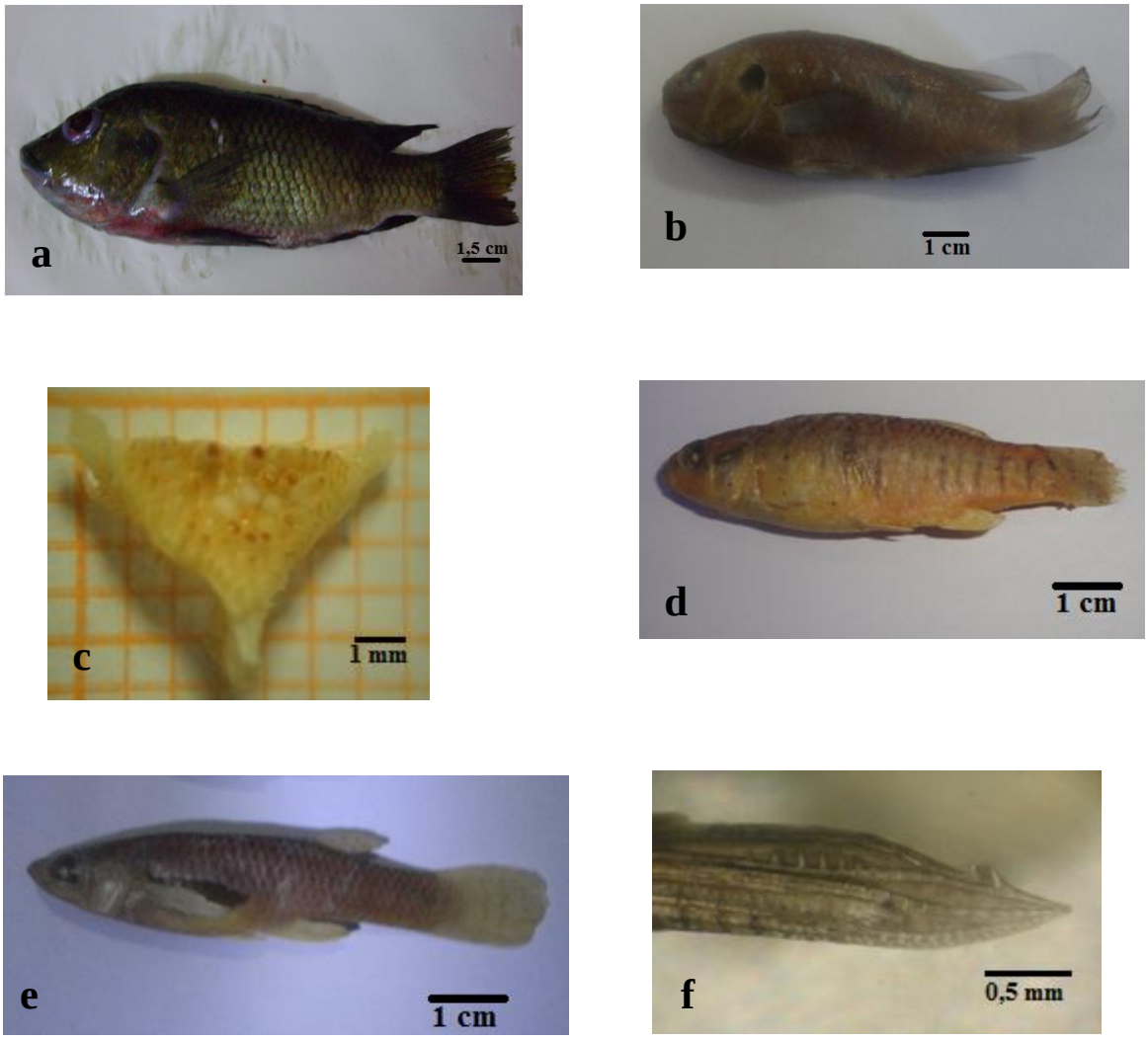


Figure 44. Photos des poissons des lacs étudiés ; a : *Coptodon zillii*, b : *Hemichromis letourneuxi*, c : os et dents pharyngiennes de *H. letourneuxi*, d : *Aphanius fasciatus*, e : *Gambusia holbrooki*, f : gonopodium de *G. holbrooki*.

4.4. Distribution et abondance des espèces inventoriées dans les lacs étudiés

L'analyse des échantillons des poissons récoltés dans les quatre milieux d'études montre que la répartition et l'abondance sont hétérogènes (Tab. 12). *Coptodon zillii* fréquente les quatre sites, mais il est abondant à Témacine et Hassi Ben Abdallah. *Hemichromis letourneuxi* fréquente tous les sites sauf le lac Hassi Ben Abdallah. *Aphanius fasciatus* est présent uniquement dans deux lacs Ayata et Témacine avec une abondance plus marquée à Ayata. Enfin l'espèce introduite *Gambusia holbrooki* est présente en abondance dans les lacs Mégarine et Hassi Ben Abdallah.

Tableau 12. Distribution des espèces ichtyologiques dans les lacs étudiés : + Présence, ++ présence en abondance, +++ présence très abondante, - Absence.

Taxon/sites	*Coptodon zillii*	*Gambusia holbrooki*	*Aphanius fasciatus*	*Hemichromis letourneuxi*
Ayata	+	-	++	++
Mégarine	+	+++	-	+
Témacine	+++	-	+	++
Hassi Ben Abdallah	+++	+++	-	-

4.5. Discussion

4.5.1. Liste des poissons des eaux continentales du Sahara algérien

L'analyse de la distribution des poissons dans le Sahara a montré que les régions de Biskra et Oued Righ sont les plus riches en espèces, avec 9 espèces chacune, soit 50 % de l'ichtyofaune totale. En se référant aux inventaires des poissons du Sahara existants, au total 19 espèces autochtones ont été citées dans la littérature (Blanchard, 1891; Gurney, 1909; Pellegrin, 1921; Gauthier , 1928; Seurat, 1930; Beadle, 1943; Dumont, 1979; Daget *et al.*, 1986; Dumont, 1987; Le Berre, 1989; Lévêque, 1990; Zemmouri, 1991; Doadrio, 1994; Geiger et *al.*, 2014 ; Chaibi *et al.*, 2015; Guezi et Kara, 2015; Guezi *et al.*, 2017 et Amarouayache et Kara, 2017).

La liste la plus récente des poissons des eaux continentales d'Algérie comprend 20 espèces autochtones (Kara, 2011) dont 15 espèces ont été inventoriées dans le Sahara. *Aphanius dispar*, *Enteromius macrops, Luciobarbus biscarensis et Bathygobius soporator* ne figurent pas dans cette liste. La présence en Algérie d'*A. dispar* reste extrêmement douteuse, puisqu'il n'a été cité que par Blanchard (1891) dans la région d'Oued Righ et aucun auteur n'a confirmé sa présence depuis. Cette espèce fréquente les côtes de la mer rouge, le golfe persique, l'océan indien occidental et la zone saharienne du Soudan, d'Egypte et de Lybie (Le Berre, 1989). En Algérie, elle aurait pu être confondue avec *A. fasciatus* un des synonymes de cette espèce pour certaines régions

Parmi les cinq espèces de poissons endémiques connues des eaux continentales d'Algérie, quatre sont originaires du Sahara: *Aphanius saourensis*, *Astatotilapia desfontainii, Hemichromis saharae et Luciobarbus biscarensis.* Selon Seurat (1930), *Astatotilapia desfontainii* a été trouvée dans les eaux thermales (39°C) de Gafsa en Tunisie par le botaniste Desfontaines à la fin du 18eme siècle. En Algérie, cette espèce a été signalée dans plusieurs sites de la région d'Oued Righ (Blanchard, 1891; Pellegrin, 1921 et Seurat, 1930) et dans oued El Abiod à Biskra (Doadrio, 1994). Lors d'inventaires plus récents (Chaibi *et al.*, 2012 et 2015 ; Guezi, 2016), y compris la présente étude, cette espèce n'a plus été retrouvée. La deuxième espèce endémique *Aphanius saourensis* est classée en danger d'extinction (Garcia *et al*., 2010), et sa présence se limite à un seul site dans la Saoura au nord-ouest algérien. Elle a été décrite par Doadrio en 1994 et aurait pu être découverte auparavant par d'autres auteurs mais citée sous le nom d'*A. iberus*, espèce fréquentant l'extrême ouest de la Méditerranée (Elvira, 1996). *Hemichromis saharae* a été longtemps considéré comme synonyme de *H. letourneuxi*, jusqu'à l'analyse génétique élargie de Geiger *et al.* (2014) qui a séparé les trois espèces citées en Algérie *H. bimaculatus, H. letourneuxi* et *H. saharae*. *H. bimaculatus* est une espèce afrotropicale largement répandue en Afrique centrale de l'ouest. *H. letourneuxi* est d'Egypte alors que l'espèce de Touggourt s'est avérée *H. saharae*, comme nommée la première fois par Blanchard (1891) dans la région de Oued Righ.

Après les études génétiques de Geiger *et al.* (2014) et de Yang *et al.* (2015), toutes les espèces de barbeaux qui ont été citées dans les différents plans d'eaux du Sahara algérien ont été reclassées en 5 espèces appartenant à 2 nouveaux genres *Enteromius deserti, E. macrops*, *Luciobarbus biscarensis, L. callensis* et *L. nasus.* Selon la littérature, la quatrième espèce endémique *L. biscarensis* est une espèce à large distribution dans le Sahara algérien, elle a été trouvée dans la région de Biskra à El Abiod jusqu'au Tassili et Ahaggar. Cependant, selon

Doadrio (1994), sa distribution serait limitée aux environs de Biskra. La distribution de *L. nasus*, se limite à l'Ahaggar (Dumont, 1979). *E. deserti* et *E. macrops* sont deux espèces de l'extrême sud algérien, la première se trouve au Tassili et à l'Ahhagar et la deuxième est limitée dans l'Ahhagar. *L. callensis* anciennement *Barbus callensis,* est une espèce à large distribution aussi bien dans les régions côtières (Chaibi, 2014) que dans le Sahara ; elle a été trouvée dans la région de Biskra au nord, jusqu'au Tassili et Ahaggar au sud et vers l'ouest jusqu'à Adrar et Bechar (Gauthier, 1928; Seurat, 1930; Le Berre, 1989 et Doadrio, 1994). Selon Doadrio (1994), la distribution de *L. callensis* est limitée à l'extrême nord est algérien aux environs de la Calle.

Sauvage en 1880 a défini les caractères mixtes africain et européen de la faune ichtyologique des eaux continentales algériennes (Seurat, 1930). Les types éthiopiens ou africains, qui sont représentés par les silures et les cichlidés, remontent jusqu'aux environs de Biskra (Behour de Tolga) et les barbeaux qui sont d'origine paléarctique descendent jusqu'au Tassili des Ajjer et Ahaggar. Le silure *C. gariepinus* est parmi les espèces témoins de l'invasion des eaux du sud algérien par les formes du centre africain, puisque les oueds sahariens étaient autrefois de véritables rivières semblables au Nil, largement alimentées, qui coulaient du massif de l'Ahaggar vers l'Algérie septentrionale, à la faveur de connexion fluviale entre le réseau de l'Igharghar et ses affluents à celui du Taffassasset. De ce fait, un échange de la faune aquatique s'est produit entre l'Afrique équatoriale et le sud algérien (Seurat, 1930). La chaine montagneuse de l'Atlas a isolé la faune maghrébine européenne de la faune afrotropicale, phénomène appelé relique (Dumont, 1982).

Bacha et Amara (2007) ont rapporté à tord que *Clarias gariepinus* était une espèce introduite. Il s'agit d'une espèce autochtone signalé dans 13 sites, entre oued El Abiod à Biskra jusqu'au Tassili et Ahaggar, mais n'a plus été retrouvée ni dans les lacs étudiés ni dans les récentes études de Chaibi *et al.* (2015) et (Guezi, 2016). Cependant, cette espèce a été récemment pêchée à plusieurs reprises au Tassili des Ajjer, ce qui montre sa persistance dans cette région. *Clarias anguillaris* cohabiterait avec *Clarias gariepinus* selon Dumont (1987) dans un seul site dans la vallée d'Iherir (Tassili), oued Imirhou qui est devenu célèbre. D'autre part, Teugels (1986) a rapporté par erreur la présence de *C. anguillaris* dans l'Efenni du Tassili selon la thèse de Dumont (1979) ; hors, ce dernier auteur l'a trouvé dans le Nil, le lac Tchad et Adrar de Mauritanie et non à Efenni (Tassili) qui héberge l'espèce *C. gariepinus*.

Des auteurs ont cité *Coptodon zillii* comme étant exotique (Bacha et Amara, 2007; Chaibi *et al.*, 2012). Pourtant, cette espèce a été signalée pour la première fois au début du

19ème siècle en Algérie par Zill, à qui elle doit son nom, dans la région de Touggourt (Seurat, 1930). Depuis 2013, cette espèce n'appartient plus au genre *Tilapia* mais au genre *Coptodon*, à la suite de la redescription de Dunz et Schliewen (2013). Au Sahara algérien, cette espèce a été trouvée dans 10 sites s'étalant de Biskra au Tassili et Ahaggar. Ces sites sont variés entre Chrias, Bhour, sources, lacs et oueds. Selon Dumont (1979), cette espèce est celle qui s'est établie au Sahara avec le plus de succès parmi les cichlides.

Aphanius fasciatus, espèce circonméditerranéenne (Dumont, 1979), est répandue aussi bien dans la région côtière dans les marais d'Annaba et dans les torrents des environs de Guelma (Seurat, 1930) ainsi que dans la lagune Mellah (Chaoui *et al.*, 2006), qu'au Sahara, dans des milieux aux salinités variables allant au-delà de 30 $g.L^{-1}$ (Zemmouri, 1991; Chaibi *et al.*, 2015 et Guezi, 2016). Sa présence est signalée par plusieurs auteurs depuis le 19ème siècle, dans au moins seize sites allant d'El Abiod à Témacine. Blanchard (1891) l'avait cité comme deux espèces différentes *Cyprinodon calaritanus* et *C. cyanogaster*. Par la suite Seurat (1930) et Beadle (1943) l'ont cité sous le nom de *Cyprinodon fasciatus*, qui s'est avéré synonyme de *C. calaritanus* et *C. cyanogaster*. Dans la présente étude *A. fasciatus* a été trouvé dans les lacs Ayata et Témacine, alors que dans les deux autres sites, l'espèce est totalement absente durant toute la période d'échantillonnage. Ceci est probablement dû à la présence en abondance de *Gambusia holbrooki*. Wildekamp *et al.* (1999) et Oliva-Paterna *et al.* (2006) ont rapporté que dans la région méditerranéenne (la Turquie et le Proche-Orient) de nombreuses populations d'*Aphanius* sont menacées par *Gambusia* qui exerce la prédation sur ses alevins. De même, Fernández-Delgado *et al.* (1999) ont rapportés que les densités d'*Aphanius* sont très faibles en présence de *Gambusia holbrooki*. La présence dans le Sahara d'*A. fasciatus*, qui est une espèce circumméditerranéenne, pourrait être justifiée par l'hypothèse de la communication des milieux aquatiques du Bas Sahara avec le golf de Gabes par la dépression du Chott Djerid en Tunisie jusqu'au chotts Melghir et Marouene en Algérie (Blanchard, 1891).

Parmi les poissons emblématiques, l'Anguille *Anguilla anguilla*, qui ne peut se reproduire que dans la mer des Sargasses (Van Ginneken et Maes, 2005), a été également trouvée au Sahara. Elle a été citée comme *A. callensis* (Guichenot, 1850) dans les oueds de la région entre Laghouat et Tiaret qui remontent jusqu'au oued de Chélif, le seul qui remonte jusqu'à la mer, ainsi que les cours d'eau des Zibans qui ne communiquent guère avec celle-ci (Seurat, 1930). A notre connaissance, cette espèce n'a pas été revue au Sahara depuis. Des chercheurs et naturalistes spéculent que des poissons sont souvent rejetés vivants par les puits

artésiens et les sources jaillissantes, ce qui pourrait expliquer l'itinéraire de certaines espèces (Seurat, 1930). Selon ce dernier auteur, la présence de cichlidés et de cyprinodontidés aveugles qui sortent des entrailles de la terre a été également citée dans la littérature sans pour autant donner les noms des espèces.

La liste présentée pourrait contenir un plus grand nombre d'espèces. *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837), un poisson de la famille gobiidae aurait été signalé au sud algérien par Carus (1893) : p 682 in Daget *et al.* (1986) avec la mention « needs confirmation ». Cette espèce des eaux continentales à distribution afro et néo-tropicales, pourrait, si elle existait se trouver au Sahara Central dans l'extrême sud algérien.

4.5.2. Inventaire ichtyologique dans les lacs étudiés

Les poissons inventoriés dans les quatre lacs échantillonnés ont été déjà signalés dans les même sites par nos prédécesseurs (Gauthier, 1928; Seurat, 1930; Beadle, 1943 ; Doadrio, 1994 ; Dumont, 1979 ; Le Berre, 1989 ; Kara, 2011 ; Chaibi *et al*., 2012; Guezi, 2016 et Zouakh *et al*., 2016), en co-habitation avec d'autres espèces qui ont vraisemblablement disparu dans la région d'Oued Righ, comme c'est le cas de *Clarias gariepinus* qui a été auparavant signalée à Mégarine et Témacine (Pellegrin, 1921). Cette probable disparition peut être liée à la dégradation des zones de frayère due à l'aménagement de l'Oued Righ en canal puisque cette espèce préfère se reproduire dans les rivières (Merron, 1993) et déposer ses œufs sur de la végétation loin des prédateurs lors d'inondations récentes (Bruton, 1979). Les changements climatiques ayant une influence sur le rythme des inondations nécessaires pour sa reproduction peuvent être parmi les causes de la régression des populations. D'autre part, l'introduction de poissons allochtones, a peut-être contribué également à sa disparition par la prédation sur ses œufs et ses larves par les gambusies (Swanson *et al.*, 1996) et le stress dû à la compétition avec les tilapias eg. *Oreochromis macrochir*, *O. niloticus niloticus* et *O. mossambicus*. Ces espèces ont été introduites vers la deuxième moitié du siècle dernier et seules les gambusies ont résisté. Mis à part *H. letourneuxi* et *Coptodon zillii*, les deux autres Cichlidae *Astatotilapia desfontainii* et *Sarotherodon galileus* cités par Pellegrin (1921) et Seurat (1930), n'ont plus été retrouvés (Chaibi *et al.*, 2012; Guezi, 2016).

Si l'on considère les anciennes références, trois espèces du genre *Hemichromis* ont été rapportées dans la région de Oued Righ, selon Blanchard (1891) et Seurat (1930). Il s'agit de *H. letourneuxi* (synonyme de *H. rollondi*), *H. saharae* et *H. bimaculatus*. Cependant, les études les plus récentes n'ont rapporté que l'espèce *H. bimaculatus* (Beadle, 1943 ; Dumont,

1979 ; Guezi et kara, 2015 ; Guezi, 2016). L'analyse des dents pharyngiennes des spécimens provenant des lacs Ayata, Mégarine et Témacine ont permis l'identification de *H. letourneuxi*. Cependant, la ressemblance externe des trois espèces ne permet pas la distinction immédiate et les trois pourraient même exister ensemble, bien que *H. letourneuxi* soit connu pour son caractère invasif s'étant établie en Floride (Hill, 2016). Afin de distinguer les espèces du genre *Hemichromis*, Loiselle (1992) a établi des clés d'identification en se basant sur les dents pharyngiennes comme critère taxonomique. En effet, *H. letourneuxi* a été découvert pour la première fois en Egypte par Letourneux (Seurat, 1930) et retrouvé plus tard en Algérie à Touggourt par Rolland sous le nom de *H. rollandi*, admis comme synonyme. *H. bimaculatus* fréquente le plus l'ouest de l'Afrique centrale, mais serait largement répandue dans le Sahara algérien jusqu'à sa limite au pied de l'Atlas (Lévêque, 1990).

Actuellement, la région d'Oued Righ compte seulement trois espèces autochtones, auxquelles s'ajoute l'espèce introduite de Gambusie. Wooten *et al*. (1988) ont fini par distinguer deux espèces *G. holbrooki* et *G. affinis* qui étaient auparavant considérées comme sous-espèces de *G. affinis* (*G. affinis holbrooki* et *G. affinis affinis*). Elles se différencient par la morphologie du gonopodium (Lloyd et Tomasov, 1985). L'espèce qui se trouve dans nos milieux d'étude est *G. holbrooki.* Cette espèce a été introduite dans le Sahara algérien, comme dans les autres pays, pour la lutte biologique contre les moustiques, bien que des études en Australie aient montré que la gambusie n'en est pas un prédateur efficace et que ces insectes ne constituent qu'une petite partie de son régime alimentaire (Lloyd, 1984 et 1986). Dans une autre étude, seulement 10 % de l'alimentation des gambusies est composée de larves de moustiques, alors que quatre espèces de poissons endémiques consomment plus de moustiques (Lloyd, 1986; Arthington et Lloyd, 1989). Selon Lloyd (1990), dans le monde, 35 espèces de poissons ont régressé suite aux interactions avec les gambusies. Ces dernières sont agressives et tendent à attaquer les autres poissons et étouffer leurs nageoires, ce qui conduit à une infection ou à la mort (Allen et *al.*, 2002).

Les tilapias ont été également introduits au Sahara algérien à des fins de repeuplement des différents points d'eaux. Les espèces qui ont été introduites à plusieurs reprises sont : *Oreochromis macrochir* (Levier 1996; Arrignon 1989; Moreau *et al.*, 1994), *O. mossambicus* (Arrignon 1962; Philipart et Ruwet 1982; Moreau et al., 1994) et *O. niloticus niloticus* (Kara, 2011). Toutes ces espèces n'ont pas réussi à s'établir (Kara, 2011). En effet, la dégradation de la diversité ichtyologique saharienne serait non seulement liée aux différentes actions

anthropiques et aux changements climatiques, mais aussi, aux introductions d'espèces invasives comme la gambusie et bien d'autres.

4.6. Conclusion

La liste actuelle des poissons endémiques du Sahara compte 19 espèces. Les plus largement répandues sont *Aphanius fasciatus* et *Luciobarbus callensis*. Les régions les plus riches en espèces sont celles du Bas Sahara : Biskra et Oued Righ hébergeant 50 % de l'ichtyofaune du Sahara. Cependant, la présence/persistance de certaines espèces (eg. l'anguille, *Aphanius dispar* et *Bathygobius soporator*) sont à confirmer. De même, la co-habitation d'*Hemichromis saharae*, *H. bimaculatus et H. letourneuxi* ou la présence de telle ou telle espèce sont à vérifier en utilisant l'outil moléculaire. Pour cela, des analyses génétiques sont à effectuer et les efforts d'échantillonnage sont à multiplier. La présence de certaines espèces endémiques comme *A. saourensis*, *Astatotilapia desfontainii*, *Luciobarbus biscarensis et* l'*Hemichromis saharae* ou rares comme *Enteromius macrops* et *Luciobarbus nasus* est à confirmer avec l'engagement de procédures nécessaires pour leur protection.

Chapitre V:
Inventaire des gastéropodes des eaux continentales sahariennes (Oued Righ et Ouargla)

V. Inventaire des gastéropodes des eaux continentales sahariennes (Oued Righ et Ouargla)

5.1. Introduction

Les gastéropodes d'eau douce, qui comptent environ 4000 espèce valides, sont présents sur tous les continents, à l'exception de l'antarctique, et peuplent à peu près tous les types d'habitats dulcicoles (Strong *et al*., 2008). Ils sont présents dans tous les types d'écosystèmes dulcicoles (stagnants et courants) (Clarke, 1979; Dillon, 2000). Ils jouent un rôle clé dans la structuration du réseau trophique en tant que lien important entre les producteurs primaires et les consommateurs secondaires (Kerans *et al* ., 2005). Par ailleurs, les gastéropodes sont les proies pour de nombreux prédateurs, le plus souvent omnivores (Turner et Chislock, 2007). Ces organismes sont des bio-indicateurs potentiels de différents types de pollution des eaux douces et sont considérés comme de bons modèles pour examiner les effets des polluants (Downs *et al*., 2001; Duft *et al*., 2003). Du fait de leur faible mobilité, les communautés de gastéropodes sont très influencées par la qualité de leur milieu et sont de bons indicateurs de l'état de santé de l'écosystème (Elder et Collins, 1991; Salanki, 2000 ; Downs *et al*., 2001 ; Lefcort *et al*., 2002).

Les gastéropodes continentaux de l'Algérie ont été relativement bien étudiés au 19ème siècle et les plus vastes enquêtes étaient celles menées par Bourguignat (1864) et Letourneux (1870), période où chaque forme un peu différente du type décrit était qualifiée de nouvelle espèce (Ecole de Bourguignat). Plus tard, au milieu du 20ème siècle d'autres investigations plus élargies concernant la faune des milieux aquatiques (y compris le Sahara) ont été menées essentiellement par Blanchard (1891), Gauthier (1928) puis Seurat (1930) et Beadle (1943), où les gastéropodes ont été bien abordés. Depuis, à notre connaissance, aucun travail récent n'est disponible sur les gastéropodes des écosystèmes lentiques de l'Algérie, à l'exception de quelques révisions apportées par Martins (1996) sur les Ellobiidaes et par Glöer *et al*. (2010) qui ont révisé deux genres (Pseudoamnicola et Mercuria) de la famille Hydrobidae et la liste révisée par Neubauer *et al.* (2016).

Dans cette partie, la liste des gastéropodes du Bas Sahara est actualisée à partir des données bibliographiques et la présente étude.

5.2. Matériel et méthodes

La liste et la distribution des gastéropodes des eaux continentales du Bas Sahara est basée sur la littérature (Bourguignat, 1864 ; Blanchard, 1891 ; Gauthier, 1928; Saurat, 1930 ; Beadle, 1943; Glöer *et al*., 2010 et Neubauer *et al*., 2016) et le travail présent.

Pour l'étude qualitative et quantitative des gastéropodes des lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah, un suivi saisonnier en 2008 a été effectué. Des échantillons de sédiment ont été prélevés sur une superficie de 78,5 cm^2 et d'une profondeur de 15 cm. 4 et 6 stations ont été considérées pour chaque lac. Toutes les stations sont en périphérie (les mêmes que pour le zooplancton). Au laboratoire les sédiments ont été tamisés sur un tamis de 1 mm de vide de maille. Les taxons récupérés ont été ensuite conservés dans du formol à 5 % pour être ensuite triés, comptés et identifiés au laboratoire.

5.3. Résultats

5.3.1. La liste et la distribution des gastéropodes des eaux continentales du Bas Sahara (Oued Righ et Ouargla)

Le tableau 13 liste les gastéropodes des eaux continentales du Bas Sahara selon la littérature et le travail présent. Au total, 24 espèces appartenant à 5 familles ont été inventoriées; il s'agit de Melanopsidae avec 16 espèces, d'Hydrobiidae avec 4 espèces, d'Ellobiidae avec deux espèces et Cochliopidae et de Thiaridae avec une seule espèce pour chacune.

Tableau 13. Inventaire des gastéropodes des eaux continentales de la région d'Oued Righ et Ouargla.

Nom accepté	Ancienne appellation	Famille	Distribution	Référence
Heleobia aponensis Martens, 1858	*Hydrobia peraudieri* (Bourguignat, 1862)	Cochliopidae (Tryon, 1866)	- Megarine (Les fossés), Biskra (el Bourma des Arabes), Touggourt (à 30 kilomètres au nord)	Bourguignat (1864)
	Hydrobia peraudieri (Bourguignat, 1862)		Témacine	Gauthier (1928)
	Paludestrina peraudieri (Bourguignat, 1862)		Sabkha Merdjadja	Gauthier (1928)
	Hydrobia peraudieri (Bourguignat, 1862)		Ouarlana	Blanchard (1891)
	Hydrobia peraudieri (Bourguignat, 1862)		Lac Temacine	Blanchard (1891)
	Hydrobia arenaria (Bourguignat, 1876)		-Touggourt (sources artésiennes), Megarine (les fossés)	Bourguignat (1864)
	Hydrobia arenaria (Bourguignat, 1876)		-Touggourt (ruisseau)	Blanchard (1891)
	Hydrobia arenaria		- Ain Zerga (petit lac), Boughriole (Etang à 2 Km au N	Beadle (1943)

	(Bourguignat, 1876)		de Djemaa), Ouarlana (Bahr supérieur), El Arfian à 80 Km au N de Touggourt- canal d'irrigation), Ouargla (Source à Ain Beida)	
Hydrobia Brondeli Bourguignat, 1862	*Hydrobia brondeli* Bourguignat, 1862	Hydrobiidae (Stimpson, 1865)	Oued Righ (Behour et Cherias)	Blanchard (1891)
	Hydrobia brondeli Bourguignat, 1862		- Biskra Prés de Hammam Salahine), Touggourt (Khandeg), Lac Temacine, Lac Merdjadja, Lac Megarine, Canal stagnant prés du lac Megarine, Mare près d'Ain Zerga, Ouarlana (Bahr inférieur), Ouargla (Canal vers le Chott)	Beadle (1943)
	Hydrobia Brondeli Bourguignat, 1862		Oued righ	Seurat (1930)
	Hydrobia Brondeli Bourguignat, 1862		- Biskra (près de la fontaine chaude)	Bourguignat (1864)
Melanoides tuberculata (Müller, 1774)	*Melania tuberculata* (Bourguignat, 1864)	Thiaridae (Gill, (1823)	- Aïn-Kreider, Chott-el-Chergui (partie nord), fontaine chaude de Chetma, Oued-Metlili, Biskra (source thermale enlre El-Kantara et EI-Outaia), Oasis de M'raier, aux environs d'Ouargla, Ngouça,	Bourguignat (1864)
	Melania tuberculata (Bourguignat, 1864)		-Oued Righ (Behour et Cherias), Touggourt (ruisseau)	Blanchard (1891)
	Melanoides		-Ain Zerga (petit lac), Ouarlana (Bahr inférieur),	Beadle (1943)

	tuberculata (Müller, 1774)		Ouarlana (Bahr supérieur)	
	Melania tuberculata (Bourguignat, 1864)		Oued righ	Seurat (1930)
Melanopsis maroccana Chemnitz, 1795	*Melanopsis maroccana* Chemnitz, 1795	Melanopsidae (Adams, 1854)	- Oued Righ (Behour et Cherias), Ouarlana	Blanchard (1891)
	Melanopsis maroccana Chemnitz, 1795		-Djelfa, Biskra, fontaine chaude près de Biskra, fontaine d'Ounnach, mer d'Ourlana, Oued-R'ir, près de Tuggurt, N'gouça, dans le ruisseau du puits artésien, Ouargla	Bourguignat (1864)
	Melanopsis maroccana Chemnitz, 1795		-Ain Zerga (petit lac), Touggourt (forage artésien), Ain Zerga	Beadle (1943)
	Melanopsis maroccana Chemnitz, 1795		Oued righ	Seurat (1930)
Melanopsis belonidaea Bourguignat, 1884	*Melanopsis belonidaea* Bourguignat, 1884		-Ruisseau d'eau chaude à Ouargla	Neubauer *et al*. (2016)
Melanopsis belonidaea	*Melanopsis*		-Ruisseau d'eau chaude à Ouargla	Neubauer *et al*.

var. *minor* (Bourguignat, 1884)	*buccinoidea minor* (Grateloup, 1838)		(2016)
Melanopsis chobauti (Nicolas, 1898)	*Melanopsis saharica* (Bourguignat, 1864)	-Aux environs de Biskra, à Ain-Oumach	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis cossoni (Bourguignat, 1884)	*Fagotia* (= *Esperiana) acroxia* (Bourguignat, 1884)	-Eaux thermales d'Ouargla	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis episema Bourguignat, 1884	*Melanopsis episema* Bourguignat, 1884	-Près de Biskra, dans un ruisseau d'eau chaude à Ouargla, dans un puits artésien de Mazer au Ziban	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis maroccana var. *saharica* Bourguignat, 1864	*Melanopsis maroccana* var. *Saharica.* Bourguignat, 1864	-Spéciale aux cours d'eau du Sahara	Bourguignat (1864)
	Melanopsis maroccana var. *saharica* Bourguignat, 1864	-Ouargla; fontaine d'Oumach près de Biskra	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis maroccana var. *fasciolata* Bourguignat, 1864	*Melanopsis maroccana* var. *fasciolata*. Bourguignat, 1864	-Ruisseau de Ngouça	Bourguignat (1864)

Melanopsis maroccana var. *fasciolata* Bourguignat, 1864	*Melanopsis maroccana* var. *fasciolata* Bourguignat, 1864	-Ruisseau de Ngouca	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis minutula Bourguignat, 1884	*Melanopsis minutula* Bourguignat, 1884	-Puits artésien de Tamerna-Kedima, dans le Ziban	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis mzabica Bourguignat, 1884	*Melanopsis mzabica* Bourguignat, 1884	-Ruisseau du puits artésien de Ngouça, Chetma, près de Biskra, et environs d'Ouargla	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis praemorsa var. *obesa* Gassies, 1856	*Melanopsis* preamorsa var. *obese* Gassies, 1856	-Biskra	Bourguignat (1864)
Melanopsis praemorsa var. *zonata* Bourguignat, 1864	*Melanopsis maroccana* var. *zonata* (Gassies, 1856)	- Ngouça	Bourguignat (1864)
	Melanopsis preamorsa var. *zonata* Bourguignat, 1864	-Biskra	Bourguignat (1864)
	Melanopsis praemorsa var. *zonata* Bourguignat, 1864	-Biskra	Neubauer *et al.* (2016)

Melanopsis saharica var. *subcostulata* Pallary, 1912	*Melanopsis saharica* var. *subcostulata* Pallary, 1912		-N'Goussa	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis seignetti Bourguignat, 1884	*Melanopsis seignetti* Bourguignat, 1884		-Ruisseau d'eau chaude à Ouargla	Neubauer *et al.* (2016)
Melanopsis seignetti var. *pulchella* Bourguignat, 1884	*Melanopsis seignetti* var. *pulchella* Bourguignat, 1884		-Ruisseau d'eau chaude à Ouargla	Neubauer *et al.* (2016)
Mercuria pycnocheilia Bourguignat 1862	*Amnicola pycnocheilla* (Bourguignat, 1862)	Hydrobiidae (Stimpson, 1865)	-Temascin (abondante), prés de Touggourt	Bourguignat (1864)
	Amnicola pycnocheilla (Bourguignat, 1862)		Oued Righ (Behour et Cherias)	Blanchard (1891)
	Amnicola pycnocheilla (Bourguignat, 1862)		- Touggourt (Khandeg), Lac Megarine, Ouarlana (Bahr inférieur), Ouarlana (Bahr supérieur, El Arfian à 80 Km au N de Touggourt- canal d'irrigation), Ouargla (Canal vers le Chott)	Beadle (1943)
	Mercuria pycnocheilia Bourguignat 1862		-Bahr de Tiguedidine, entre Biskra et Touggourt (Oasis d'Ourir), Ouargla	Glöer *et al*. (2010)

Mercuria saharica Letourneux et Bourguignat, 1887	Mercuria *saharica* Letourneux et Bourguignat, 1887		-Puits artésiens de Sidi Slimane (Oued Rhir), Fontaine chaude du ruisseau des Zaatcha Biskra, Oued Rir (Puits artésien de Sidi Rached (Touggourt), Puits artésiens de Meghaïer, Ruisseau de la fontaine chaude Biskra	Glöer *et al*. (2010)
Myosotella myosotis (Draparnaud, 1801)	*Phytia myosotis* (Draparnaud, 1801)	Ellobiidae (Pfeiffer,	-Lac Megarine	Beadle (1943)
Ovatella firminii (Payraudeau, 1826)	*Alexia firmini* (Payraudeau, 1826)	1822)	-Touggourt (ruisseau)	Blanchard (1891)
Pseudamnicola dupotetiana	*Amnicola dupotetiana* (Forbes, 1838)	Hydrobiidae (Stimpson,	-Biskra (fontaine chaude)	Bourguignat (1864)
(Forbes 1838)	*Amnicola dupotetiana* (Forbes, 1838)	1865)	- Témacine	Gauthier, (1928)
	Amnicola dupotetiana (Forbes, 1838)		- Ouarlana, Touggourt (ruisseau), Lac Temacine	Blanchard (1891)
	Amnicola dupotetiana (Forbes, 1838)		-Biskra (Hammam salahine)	Seurat (1930)

5.3.2. Etude des gastéropodes des lacs Ayata, Megarine, Temacine et Hassi Ben Abdallah

5.3.2.1. Diversité et distribution des gastéropodes dans les lacs étudiés

L'analyse des échantillons dans les 4 lacs nous a permis de distinguer deux groupes parmi macro-benthos, les gastéropodes et les larves d'insectes (*Chironomus riparius*, *Polypedilum* sp, *Microspectra* sp et *Procladius* sp). Le premier groupe domine toujours à plus de 90 % par rapport au deuxième qui ne sera pas pris en considération dans cette étude (Fig. 47 a,b,c).

L'analyse qualitative des gastéropodes vivants trouvés dans les 4 lacs a montré la présence de 3 espèces *Melanoides tuberculatus* (Fig.45a), *Hydrobia brondeli* (Fig.45b) et *Mercuria saharica* (Fig.45c). *Heleobia aponensis* et *Myosottella myosotis* sont aussi présentes mais avec des coquilles vides (Fig. 46a et b) (Tab.14). La distribution des espèces diffère d'un lac à un autre; *Hydrobia brondeli* est l'espèce caractéristique des 4 lacs. *M. tuberculata* se trouve dans les trois lacs de la région d'Oued Righ et *M. saharica* se trouve uniquement dans le lac Témacine avec de faibles densités (Tab.15). Les coquilles de *M. myosotis* se trouvent uniquement dans les lacs Mégarine et Témacine.

Tableau 14. Liste des espèces de gastéropodes inventoriées dans les lacs étudiés.

Embranchement	Classe	Familles	Genres et espèces
Mollusques (Cuvier, 1795)	Gastéropodes (Cuvier, 1795)	Hydrobiidae (Stimpson, 1865)	*Hydrobia Brondeli* Bourguignat, 1862
			Mercuria saharica Letourneux et Bourguignat, 1887
		Thiaridae (Troschel, 1857)	*Melanoides tuberculata* (Müller, 1774)
		Cochliopidae (Tryon, 1866)	*Heleobia aponensis* Martens, 1858
		Ellobiidae (Pfeiffer, 1854)	*Myosotella myosotis* (Draparnaud, 1801)

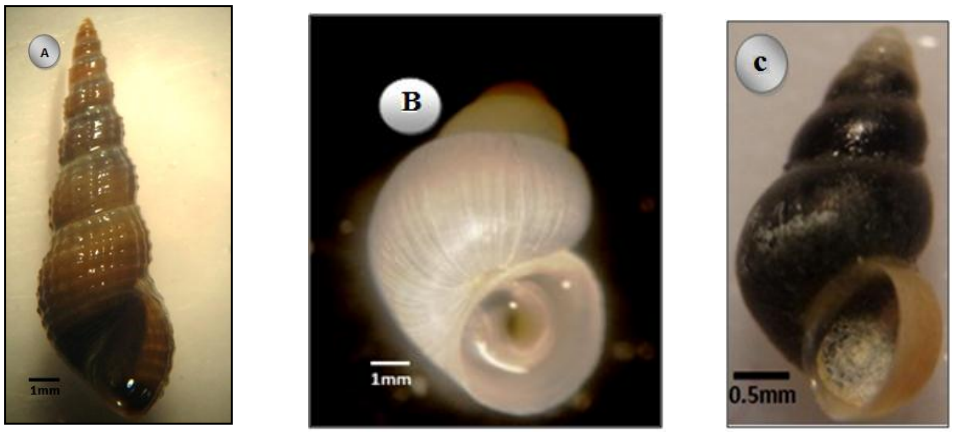


Figure 45. Photos des gastéropodes vivant dans les lacs d'études : A : *Melanoides tuberculata*, B : *Mercuria saharica* , C : *Hydrobia Brondeli*

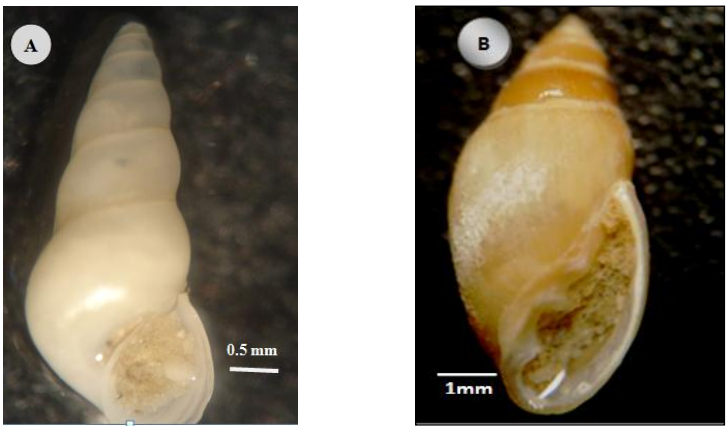


Figure 46. Photos des coquilles vides trouvées dans les lacs étudiés: A : *Heleobia aponensis, b : Myosotella myosotis.*

Tableau 15. Distribution des gastéropodes des lacs étudiés.

	Ayata	Mégarine	Témacine	Hassi Ben Abdallah
Hydrobia brondeli	+++	++	++	++
Melanoides tuberculata	+	+	++	-
Mercuria saharica	-	-	+	-
Heleobia aponensis	-	+	+++	-
Myosotella myosotis	-	+	+	-

5.3.2.2. Variation saisonnière du benthos dans les lacs étudiés

Dans le lac Ayata, les densités totales (toutes les espèces confondues) les plus importantes sont enregistrées en automne avec 1,56 ± 0,57 ind. cm^{-2}, et les plus faibles sont enregistrées en été avec 0,82 ± 0,24 ind. cm^{-2}. Dans le lac Mégarine la densité varie entre 1,15 ± 0,46 ind. cm^{-2} au printemps et 0,57 ± 0,18 ind. cm^{-2} en été. Dans le lac Hassi Ben Abdallah, la densité varie entre 1,41 ± 0,71 ind. cm^{-2} en automne et 0,47 ± 0,25 ind. cm^{-2} en été (Fig. 47a, b, c).

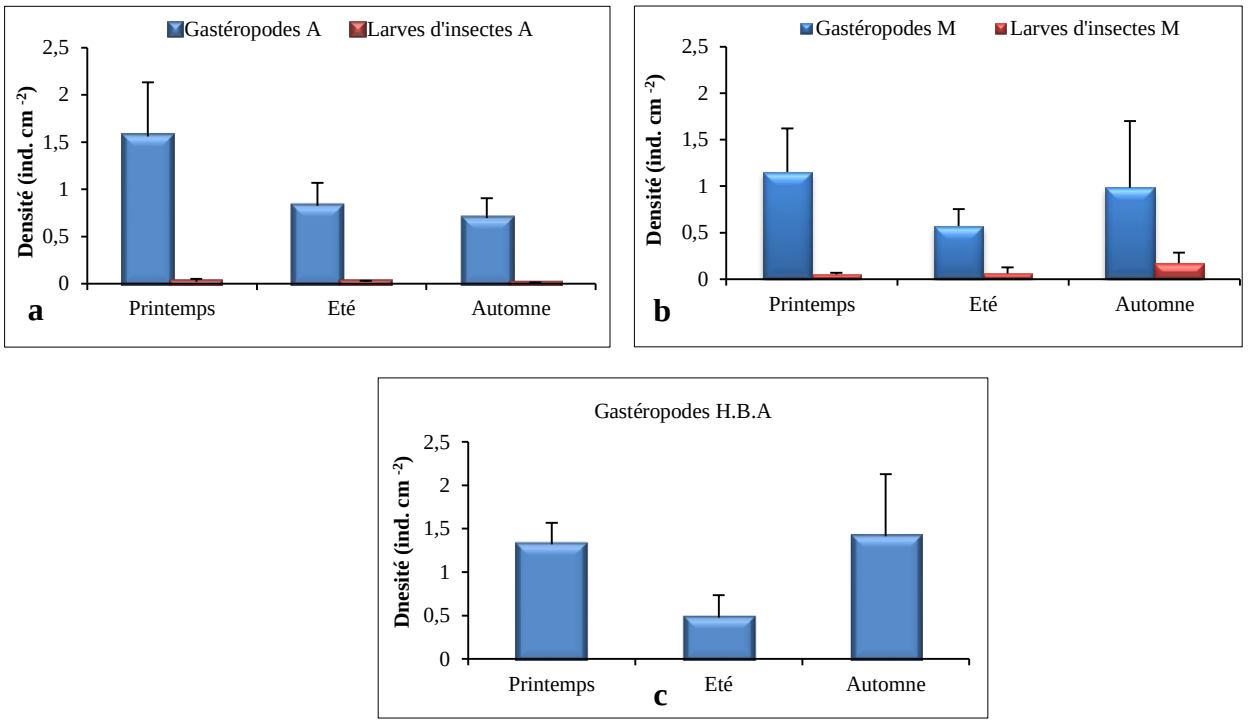


Figure 47. Variations saisonnières du benthos dans les lacs a : Ayata, b : Mégarine et c : Hassi Ben Abdallah.

Dans le lac Témacine, *Hydrobia brondoli* domine avec 97 %. *Melanoides tuberculata* et *Mercuria saharica* ne présentent que des faibles portions (2 et 1 %) (Figure 48b). Les densités les plus élevées d'*Hydrobia brondeli* sont enregistrées aux mois d'août et de septembre avec respectivement 3,40 ± 2,94 et 2,84 ± 2,08 ind. cm^{-2} (Fig. 49).

L'étude de la distribution temporelle de *Melanoides tuberculata* a montré sa présence durant toute la période d'étude à l'exception du mois de septembre, avec une densité maximale de 0,07 ± 0,06 ind. cm^{-2} au mois de mai (Fig. 50). Un seul individu vivant de cette espèce a été trouvé en juillet.

L'analyse temporelle de *Mercuria saharica* montre la présence de cette espèce durant toute la période d'étude à l'exception du mois de septembre. Les densités les plus élevées sont enregistrées en mai avec 0,05 ± 0,10 ind. cm^{-2} (Fig. 51), dont 4 individus seulement dans tous les échantillons ont été trouvés vivants.

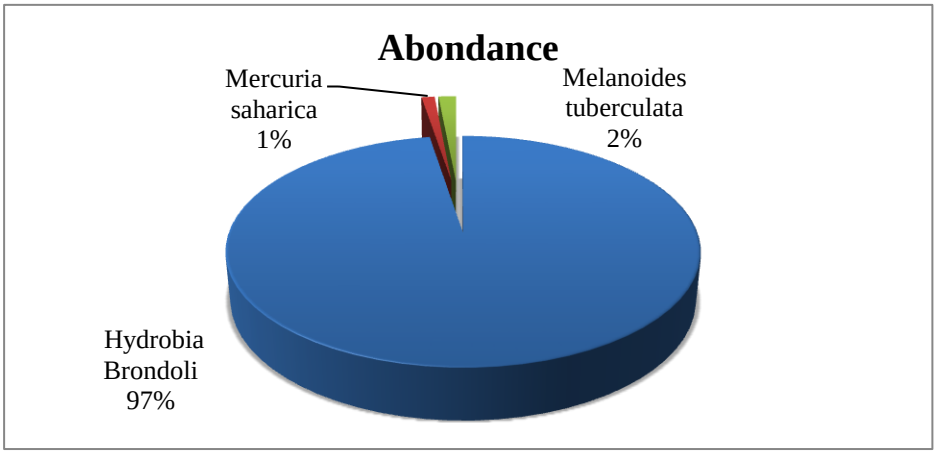


Figure 48. Abondance des gastéropodes dans le lac Témacine.

.

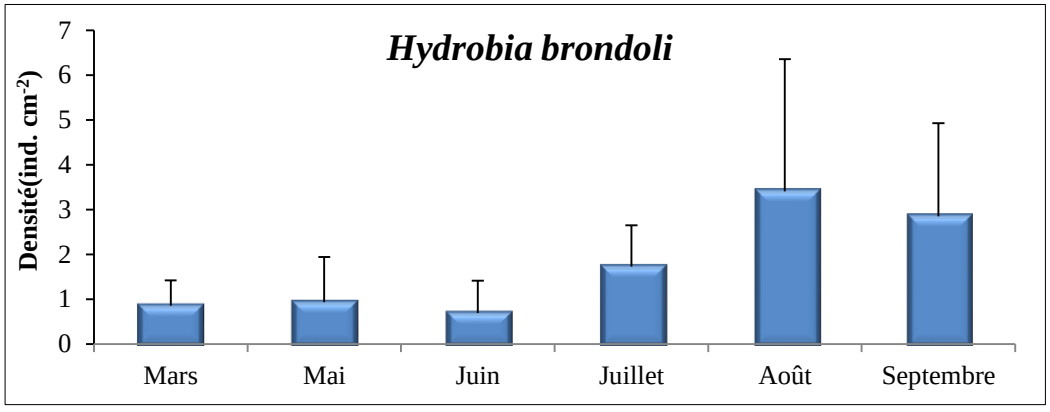


Figure 49. Variations temporelles d'*Hydrobia brondeli* dans lac Témacine

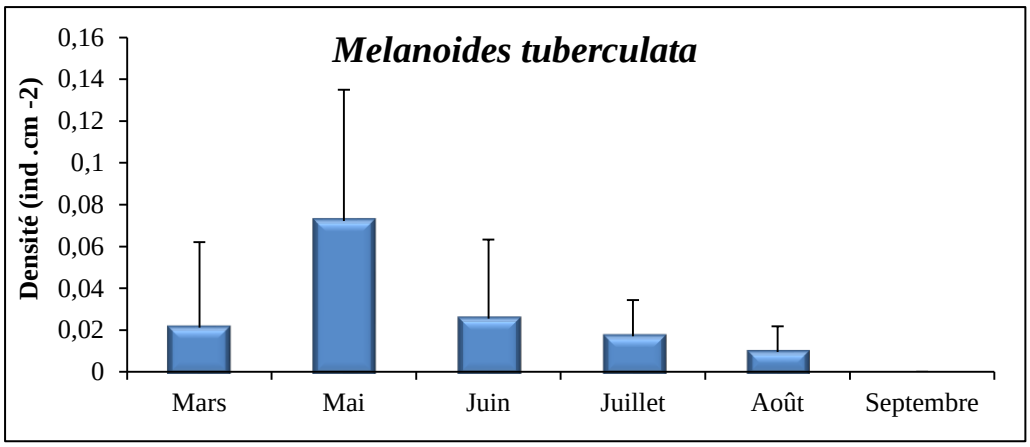


Figure 50. Variations temporelles de *Melanoides tuberculata* dans le lac Témacine.

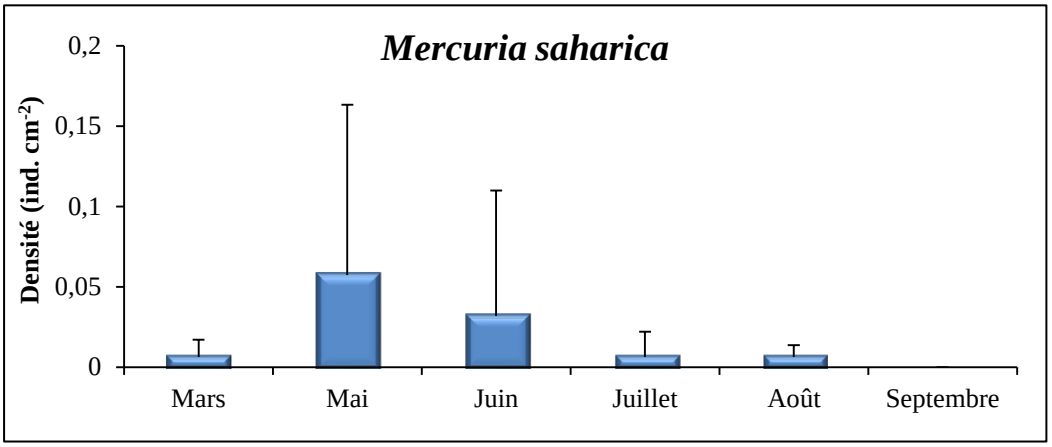


Figure 51. Variations temporelles de *Mercuria saharica* dans le lac Témacine.

5.4. Discussion

L'étude de la distribution spatiotemporelle des gastéropodes dans les lacs salés permanents de la région de Oued Righ nous a permis d'identifier trois espèces *Mercuria saharica*, *Hydrobia brondeli* et *Melanoides tuberculata* et des coquilles vides de deux espèces *Myosotella myosotis* et *Heleobia aponensis*. Ces 4 espèces ont été déjà trouvées en Algérie par Bourguignat (1864) et plus tard par Gauthier (1928) dans sa thèse sur la faune des eaux continentales d'Algérie et de Tunisie.

Hydrobia brondeli est de loin l'espèce dominante (99%). C'est la seule qui a été retrouvée dans les 4 sites à la fois et en grand nombre par rapport aux autres espèces. Pourtant, cette espèce est considérée comme rare en Afrique du nord et le

statut d'espèce quasi-menacée lui a été récemment attribué (Garcia *et al*., 2010). Selon Bourguignat (1864), les hydrobies en général, vivent dans les sources et les ruisseaux limpides, rarement dans les eaux vaseuses, elles peuvent habiter sur les pierres, sur les rochers ou dans les mousses et autres végétaux aquatiques. Nos résultats sur l'étude physico-chimique montrent qu'elles peuvent aussi vivre dans des eaux confinées, peu oxygénées et salées. Sept espèces du genre *Hydrobia* de l'Algérie ont été identifiées par Bourguignat (1864) dont trois (*Hydrobia brondeli*, *H. peraudieri*, *H. arenaria*) avaient été trouvées dans notre région d'étude. *H. peraudieri* (hauteur : 6 - 7 mm, diamètre : 1,5 mm) recueillie à Biskra et Mégarine, *H. arenaria* (hauteur : 4,25 mm, diamètre : 2 mm) recueillie à Touggourt et dans les fossés de Mégarine, se sont avérées une seule et même espèce *Heleobia aponensis*. Cependant aucun individu vivant de cette espèce n'a été trouvé dans notre suivi, ce qui pourrait s'expliquer par des changements dans le milieu défavorisant son existence.

Mercuria saharica, anciennement *Amnicola saharica* a été révisée par Glöer *et al*. (2010) ; elle est synonyme de *Amnicola subscalaris* et *Amnicola bythinopsis* (Letourneux et Bourguignat, 1887). Cette révision a été effectuée sur des échantillons du Muséum d'Histoire Naturelle de Genève (MNHG) originaires de l'Algérie (des ruisseaux de la fontaine chaude de Biskra, un puits artésien de M'Zaiez à Meghaïer entre Biskra et Touggourt, une fontaine chaude du ruisseau des Zaatcha à Biskra, un puits artésien de Sidi-Rached à Oued Righ, un puits artésien de Sidi Slimane à Oued Righ, Mokta El Oued entre Djelfa et Boughar et enfin de Sidi Makhlouf à Laghouat). Gauthier (1928) a mentionné que *M. saharica* se trouvait à Ras-el-Oued dans Oued Béchar en Algérie et à Oued Gabès en Tunisie. Depuis, aucune nouvelle prospection n'a été effectuée sur cette espèce. La présente étude montre que *M. saharica* habite actuellement au lac Témacine dans la région d'Oued Righ.

Melanoides tuberculata, anciennement *Melania tuberculata* (Bourguignat, 1864) a été trouvée selon cet auteur, dans presque toute l'Algérie ; dans des ruisseaux, des sources, des mares et des marécages. Au Sahara, l'espèce a été trouvée dans l'Oued-Metlili, au-dessous de Biskra et dans une source thermale entre El-Kantara et El-Outaia au nord de cette wilaya, dans une oasis de M'raier près de Touggourt, aux environs d'Ouargla, ainsi qu'à N'gouça (Bourguignat, 1864). Notre étude révèle que l'espèce existe à ce jour dans les trois lacs de la région d'Oued Righ (Ayata, Mégarine et Témacine). Une étude paléontologique de l'In Ecker en Algérie a montré que *M.*

tuberculata représente 80% par rapport aux autres gastéropodes (Kowalke, 2006). Au Sénégal selon Sarr (2011) l'espèce domine avec 83% de l'ensemble des individus récoltés dans les stations les mois salées (de 0 à 0,4 g. L^{-1}), alors que dans les stations les plus salées aucun individu vivant n'a été trouvé. Une autre étude dans une eau courante à Malte (Cilia *et al*., 2013) a montré que des spécimens vivants ont été récoltés en mars et avril 2011 puis en février 2012 alors qu'en juillet aucun individu vivant n'a été trouvé, mis à part 3 coquilles vides. Le lessivage, par les eaux d'irrigation des terres adjacentes, déjà salées à l'origine, a provoqué l'augmentation de la salinité du lac Témacine entrainant probablement la régression de l'espèce qui préfère les eaux moins salées. *M. tuberculata* est un hôte intermédiaire de parasites dangereux qui affectent l'homme et l'animal (Pinto *et al*., 2010, Yousif *et al*., 2010, Bogéa *et al*., 2005, Ben-Ami *et al*., 2005), dont l'Helminthiase qui affecte l'homme (Choubisa et Sharma, 1983, 1986; Pokhriyal *et al*., 1998; Swarna Kumari, 2002; Choubisa, 2002 ; Vasanda Kumar et Janardanan, 2006). La présence des gastéropodes susceptibles d'héberger des parasites dans nos milieux d'étude constitue un risque potentiel de contamination de l'homme et des animaux, d'autant plus qu'ils sont très fréquentés pour des rituels ou des baignades.

M. myosotis est rare et seulement 4 individus ont été récoltés dans les lacs les plus salés Témacine et Mégarine. Bourguignat (1864) n'a signalé sa présence qu'en zone littorale. Ce n'est que vers un siècle plus tard, que Beadle (1943) a signalé sa présence pour la première fois au Sahara dans le lac Mégarine qui est le plus salé de nos lacs. Cette espèce est considérée comme marine selon les bases des données. A l'époque de Bourguignat (1864) *M. myosotis* était considérée par 4 espèces synonymes. La première *Alexia myosotis* (hauteur : 10 mm, diamètre 4 mm), était considérée rare sur les côtes de l'Algérie et recueillie dans les alluvions de la Boudjimah près de Annaba (Lelourneux) et à la Calle (Morelet). La deuxième *Alexia micheli* (hauteur : 7- 9 mm, diamètre 3,5 - 4 mm) était très abondante aux environs de la Calle (Deshayes, Brondel) ainsi qu'à Cherchell (Deshayes). La troisième *Alexia algerica* (hauteur : 7-9 mm, diamètre : 3,5) était abondante sur le littoral algérien. Elle a été recueillie à Mostaghanem (Brondel), au cap Caxine (Letourneux, Poupillier), dans les alluvions à l'embouchure de l'Oued Staouéli (Letourneux), à Alger (Lallemant), à Annaba (Letourneux). La quatrième *Alexia firmini* (hauteur : 10-12 mm, diamètre : 5 - 6 mm) vivait près de la Calle (Morelet), à Annaba (Deshayes), Alger et Mostaghanem (Brondel). Martins (1996) a révisé les Ellobiidae de

l'Atlantic et considère qu'il s'agit d'une seule et même espèce *M. myosotis.* Toutes ces espèces sont des petits mollusques herbivores, habitant les eaux saumâtres, le littoral de la mer, l'embouchure des rivières, sur les pierres, les rochers, les plantes marines, presque toujours au niveau du balancement des marées.

Les différences observées dans la distribution des espèces de gastéropodes entre les lacs étudiés, sont probablement dues à la différence de la salinité et de l'oxygène dissous ; facteurs limitant la distribution des communautés de gastéropodes, des études de terrain et de laboratoire effectuées par Brown (1994) ont montré que la distribution des mollusques est limitée par un faible niveau d'oxygène dissous. A ces deux facteurs, s'ajoute la présence de la végétation. En effet, il y'a une relation directe entre la prolifération des macrophytes aquatiques et l'abondance des mollusques pulmonés (Haas, 1973; Levêque, 1975 ; Diaw *et al*., 1980 ; Thomas et Tait, 1984; Madsen *et al*., 1988).

5.5. Conclusion

L'inventaire et l'étude spatiotemporelle réalisés dans les lacs Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah ont permis de recenser trois espèces de gastéropodes aquatiques *Hydrobia brondeli, Mercuria saharica, Melanoides tuberculata* et des coquilles vides de *Myosotella myosotis* et *d'Heleobia aponensis*. *H. brondeli* est dominante à 99%, les autres espèces ne représentent que des faibles densités. L'étude a permis de mettre en évidence la présence d'une espèce *M. tuberculata* reconnue comme vecteur de parasites d'humains et d'animaux. Il est donc nécessaire d'entreprendre des études complémentaires dans ce sens. Enfin, il est reconnu que les conditions de l'environnement, tels que la végétation, l'apport d'oxygène et la salinité, constituent des facteurs limitant pour la présence et la répartition des différentes espèces. L'étude de l'influence des facteurs écologiques sur la distribution et l'abondance des gastéropodes des lacs du Sahara doit être approfondie dans des études ultérieures.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail nous a permis de caractériser quatre lacs salés permanents du Bas Sahara du point de vue hydrobiologique et ichtyologique. Il ressort de l'analyse physico-chimique des eaux des lacs de la région d'Oued Righ que le lac Mégarine, est le plus salé par concentration, étant fermé. Les lacs Ayata et Témacine et sont saumâtres à salés. Cette différence est due aux aménagements effectués dans ces deux dernier lacs, permettant le renouvellement de leurs eaux. Le lac Hassi Ben Abdallah, est également saumâtre à salé à cause de son alimentation par des eaux de l'aquifère continental intercalaire (Albien) qui sont moins salées. La pauvreté en oxygène dissous témoigne d'un déséquilibre dans les milieux étudiés ; la température élevée ainsi que la salinité diminuent le pouvoir de dissolution de l'oxygène atmosphérique d'une part et la consommation par la respiration et la biodégradation de la matière organique n'est pas suffisamment compensée par la production par la photosynthèse. L'analyse statistique montre que la température et le type de sols adjacents sont les principaux facteurs influençant les paramètres physico-chimques des eaux de ces milieux.

L'analyse bactériologique des eaux des 4 lacs considérés dans cette étude (Ayata, Mégarine, Témacine et Hassi Ben Abdallah) montre que les eaux du lac Ayata sont les plus contaminées, en particulier par *Escherichia coli* et les clostridiums, en particulier en été. Mégarine est le moins contaminé. Le contact direct du lac Témacine avec le canal d'Oued Righ augmente le risque de contamination par des bactéries dangereuse (salmonelles).

Le zooplancton est représenté par 11 espèces dont 10 crustacés et un rotifère distribués entre les 4 lacs. L'absence d'Anostracés, produisant des œufs de résistance et caractéristiques des milieux temporaires, témoigne du caractère permanent des lacs étudiés. Parmi les espèces inventoriées, *Calanipeda aquaedulcis*, *Sarscypridopsis aculeata*, *Heterocypris salina* et *Amnicythere sp*. sont signalées pour la première fois au Sahara algérien. Le lac Ayata étant le moins salé est le plus diversifié avec 10 espèces. Les densités les plus élevées en *Brachionus plicatilis* sont observées à Témacine. Ce rotifère est d'une grande valeur aquacole étant utilisé comme nourriture de 1er âge avant l'*Artemia*. *Arctodiaptomus salinus, Cletocamptus retrogressus, Cyprideis torosa et Brachionus plicatilis* sont les espèces communes à tous les lacs étudiés. Les conditions biotiques, abiotiques et anthropiques sont les facteurs responsables de la présence et de la distribution spatio-temporelle des espèces zooplanctoniques dans ces milieux d'études.

Le genre *Amnicythere* est signalé pour la première fois en Algérie et en Afrique en général. L'espèce non encore déterminée pourrait s'avérer nouvelle pour la science, pour cela, des études moléculaires et morphologiques sont nécessaires.

L'étude ichtyologique montre que la liste actuelle des poissons autochtones du Sahara compte 19 espèces dont 2 sont douteuses (*Aphanius dispar* et *Bathygobius soporator*). Les plus largement répandues sont *Aphanius fasciatus* et *Luciobarbus callensis*. Les régions les plus riches en espèces sont celles du Bas Sahara : Biskra et Oued Righ hébergeant à elles seules près de 50 % de l'ichtyofaune du Sahara. Aujourd'hui les lacs étudiés comptent seulement trois espèces autochtones (*Aphanius fasciatus, Coptodon zilli* et *Hemichromis letourneuxi*), les poissons-chat ayant apparemment disparus. Les changements climatiques et anthropiques sont probablement les principaux facteurs responsables du déclin de la diversité ichtyologique. Des études génétiques sont indispensables afin de confirmer certaines espèces considérées auparavant comme synonymes telles que *H. letourneuxi vs H. saharae* et *L. callensis* vs *L. biscarensis*.

Le suivi saisonnier a montré que seulement 3 espèces de gastéropodes aquatiques, parmi les espèces décritent dans la littérature, vivent encore dans les lacs étudiés, il s'agit de *Mercuria saharica*, *Hydrobia brondeli*, *Melanoides tuberculata*. *Hydrobia brondeli* est dominante dans tous les lacs étudiés. *Melanoides tuberculata* est reconnue comme vecteur de parasites d'humains et d'animaux, ce qui nécessite d'entreprendre les précautions nécessaires.

La présence de plusieurs espèces connues comme étant marines ou littorales telles que *Aphanius fasciatus, Calanipeda aquaedulcis et Myosotella myosotis* suppose une origine marine ou alors une communication des lacs étudiés avec la mer.

En raison des conditions physico-chimiques des lacs étudiés, notamment les taux faibles d'oxygène, de la qualité bactériologique et du déclin observé de leur biodiversité aquatique, il est nécessaire d'intervenir afin de les préserver en tant que milieux particuliers et rares. Il est indispensable également de limiter les ensemencements anarchiques de poissons allochtones et d'effectuer des biosurveillances régulières et contrôler les baignades, en particulier en période estivale. Enfin, un nettoyage du fond de ces lacs par dragage est souhaitable afin d'éliminer la matière organique concentrée dans leur fond.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Allen GR., Midgely SH. et Allen M. (2002). Field guide to the freshwater fishes of Australia. Western Australian Museum, Australia, 394 p.

Amarouayache M., Derbal F. et Kara M.H. (2009a). Biological data on *Artemia salina* (Branchiopoda, Anostraca) from Chott Marouane (Northeast Algeria). *Crustaceana* 82: 997-1005.

Amarouayache M., Derbal F. et Kara M.H. (2012). Note on the carcinological fauna associated with *Artemia salina* (Branchiopoda, Anostraca) from Sebkha Ez-Zemoul (northeast Algeria). *Crustaceana*, 85 (2): 129-137.

Amarouayache M. et Kara M.H. (2017). Aspects of life history of *Artemia salina* (Crustacea, Branchiopoda) from Algeria reared in different conditions of salinity. *Vie et Milieu* 67 (1): 15-20.

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

Amoros C. (1984). Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises, 5. Crustacés Cladocères. *Bulletin de la Société linnéenne de Lyon*, 53(3/4): 72-143.

Anufriieva E.V. (2015). Do copepods inhabit hypersaline waters worldwide? A short review and discussion. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33 (6): 1354-1361.

Arrignon J. (1962). *Tilapia mossambica* Peters, *Tilapia macrochir* Blgr., *Tilapia zillii* Gervais. Trois nouveaux venus dans les eaux douces algériennes. *Annales du centre algérien de recherche et d'expérimentation forestière*, Alger, 2: 33-63.

Arrignon J. (1989) L'aquaculture en Afrique. In: Barnabé G (Ed.). Aquaculture (Vol. 2). Lavoisier, Paris, 1173-1214.

Arthington A. H., et Lloyd L. N. (1989). Introduced Poeciliidae in Australia and New Zealand. In: Meffe G. K. & Snelson F. F. (Eds.). Evolution and Ecology of Livebearing Fishes (Poeciliidae), Prentice-Hall: New York, 333-348.

Aubert G. (1976). Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales de l'Institut National Agronomique* - El Harrach, 7: 185-196.

Bacha M. et Amara R. (2007). Les poissons des eaux continentales d'Algérie. Étude de l'ichtyofaune de la Soummam. *Cybium*, 31 (3) : 351-358.

Bagnouls F. et Gaussen H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 88: 193-289.

Beadle L. C. (1943). An ecological survey of some Inland Saline Waters of Algeria. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology*, 41 (278): 218-242.

Ben-Ami F. et Heller J. (2005). Spatial and temporal patterns of parthenogenesis and parasitism in the freshwater snail *Melanoides tuberculata*. *Journal of Evolutionary Biology*, 18 (1): 138-146.

Bensaci E, Saheb M, Nouidjem Y, Bouzegag A, et Houhamdi M. (2013). Biodiversité de l'avifaune aquatique des zones humides sahariennes: cas de la dépression d'Oued Righ (Algérie). *Physio-Géo, Géographie Physique et Environnement*, 7: 31-42.

Berbrugger A. (1862). Les puits artésiens des oasis méridionales de l'Algérie. Challamel Ainé, Paris, France. 136 p.

Bernet S. et Fines M. (2000). Effluents du CHU de CAEN: étude qualitative et quantitative de la flore microbienne et recherche de bactéries multirésistantes. Poster. Quatrième Journée du Réseau Régional d'Hygiène de Basse-Normandie. CAEN.

Blanchard, R., et Richard, J. (1890). Sur les crustacés des Sebkhas et des chotts d'Algérie. *Mémoires de la société de Zoologique de France*, 45: 136-138.

Blanchard R. et Richard J. (1891). Faune des lacs salés d'Algérie: Cladocères et Copépodes. *Mémoires de la Société zoologique de France*, 4: 512-535.

Blanchard R. (1891). Résultats d'une excursion zoologique en Algérie. *Mémoires de la Société de Zoologique de France*, 4 : 208-245.

Boehm E.W., Gibson O., et Lubzens E. (2000). Characterization of satellite DNA sequences from commercially important marine rotifers *Brachionus plicatilis* and *Brachionus rotundiformis*. *Marine Biotechnology*, 2: 38-48.

Bogéa T., Cordeiro F. M., et Gouveia J. S. D. (2005). *Melanoides tuberculatus* (Gastropoda: Thiaridae) as intermediate host of Heterophyidae (Trematoda: Digenea) in Rio de Janeiro metropolitan area, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 47(2): 87-90.

Boumaraf B. (2013). Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ, Sahara nord oriental, Algérie. Thèse, Université de Reims Champagne, France. 97 p.

Bourguignat J. R. (1864). Malacologie de l'Algérie ou histoire naturelle des animaux mollusques terrestres et fluviatiles: recueilles jusqu'a ce jour dans nos possessions du nord de l'Afrique. Challamel Ainé, Paris, Tome 2, 510 p.

Brown D. (1994). Freshwater snails of Africa and their medical importance. *CRC Presss*. 608 p.

Bruton M. N. (1979). The breeding biology and early development of Clarias gariepinus (Pisces: Clariidae) in Lake Sibaya, South Africa, with a review of breeding in species of the subgenus *Clarias* (*Clarias*). *Journal of Zooplogy*, *35* (1): 1- 45.

Bryant R.G. et Rainey M.P., 2002. Investigation of flood inundation on playas within the zone of Chotts, using a time-series of AVHRR. *Remote Sensing of Environment*, 82: 360-375.

Brynestad S., et Granum P. E. (2002). *Clostridium perfringens* and foodborne infections. *International Journal of Food Microbiology*, 74(3): 195-202.

Burks R. L., Lodge D. M., Jeppesen E., et Lauridsen T. L. (2002). Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology*, 47(3): 343-365.

Cabelli V. J., Dufour A. P., McCabe L. J., et Levin M. A. (1982). Swimming-associated gastroenteritis and water quality. *American journal of epidemiology*, 115(4): 606-616.

Cabelli V. J. (1989). Swimming-associated illness and recreational water quality criteria. *Water Science and Technology*, 21(2): 13-21.

Camargo J.A., Alonso, A., et Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58: 1255-1267.

Canfield D. E., Thamdrup B., et Hansen J. W. (1993). The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: iron reduction, manganese reduction, and sulfate reduction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 3867-3883.

Chaibi R., Si Bachir A., Chenchouni H., Boulêtreau S., Céréghino R., et Santoul F. (2012). Effect of large-scale environmental variables and human pressure on

distribution patterns of exotic continental fish in east Algeria. *Zoology and Ecology*, 22: 166-171.

Chaibi R. (2014). Connaissance de l'ichtyofaune des eaux continentales de la région des Aurès et sa mise en valeur. Thèse, Université Mohamed Khider de Biskra, 212 p.

Chaibi R., Si Bachir A., et Chenchouni H. (2015). New inland sites for the Mediterranean killifish (*Aphanius fasciatus* Valenciennes, 1821) in the Sahara Desert of Algeria. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(6): 1072-1076.

Chaoui L., Kara M. H., Faure E., et Quignard J. P. (2006). L'ichtyofaune de la lagune du Mellah (Algérie Nord-Est): diversité, production et analyse des captures commerciales. *Cybium*, 30 (2): 123-132.

Chebbah M. et Allia Z. (2015). Geochemistry and hydrogeochemical process of groundwater in the Souf valley of Low Septentrional Sahara, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9 (3): 261-273.

Choubisa S. L., et Sharma P. N. (1983a). Seasonal variation of cercarial infection in snails of Fateh Sagar Lake of Udaipur. *Indian journal of Parasitology*, 7: 111-113.

Choubisa S. L., et Sharma P. N. (1986). Incidence of larval trematodes infection and their seasonal variation in the fresh water molluscs of southern Rajasthan. *Records of the Zoological Survey of India*, 83: 69-80.

Choubisa S. L. (2002). Focus on seasonal occurrence of larval trematode (cercarial) parasites and their host specificity. *Journal of parasitic diseases*, 26(2): 72-74.

Cilia D. P., Sciberras A., et Sciberras J. (2013). Two non-indigenous populations of *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda, Cerithioidea) in Malta. *MalaCo Journal de la malacologie continentale*, 9 : 447-450.

Clarke AH. (1979). Gastropods as indicators of trophic lake stages. *Nautilus*, 94: 138-142.

Daget J., Gosse J. P., et Thys van den Audenaerde D. F. (1986). Check-list of the freshwater fishes of Africa (Catalogue des poisons d'eau douce d'Afrique), (Vol. 2). OROSTOM, France, 520 p.

Dalsgaard T. et Bak F. (1994). Nitrate reduction in a sulfate-reducing bacterium, *Desulfovibrio desulfuricans*, isolated from rice paddy soil: sulfide inhibition,

kinetics, and regulation. *Applied and Environmental Microbiology*, 60: 291-297.

Davies C. M., Long J. A., Donald M., et Ashbolt N. J. (1995). Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(5): 1888-1896.

Davies, J. (1985). Evidence for a diurnal horizontal migration in *Daphnia hyalina lacustris* Sars. *Hydrobiologia*, 120 (2): 103-105.

Davis, J.C. (1975). Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32 (12): 2295-2332.

De Deckker P. et Williams W.D. (1988). Physico-chemical limnology of eleven, mostly saline permanent lakes in western Victoria, Australia. *Hydrobiologia*, 162: 275-286.

De los Ríos-Escalante P., et Amarouayache M. (2016). Crustacean zooplankton assemblages in Algerian saline lakes: a comparison with their Chilean Altiplano counterparts. *Crustaceana*, 89 (13): 1485-1500.

De Ridder M. (1991). Additions to the"Annotated checklist of non-marine rotifers (Rotifera) from African inland waters". *Revue d'Hydrobiologie tropicale*, 24: 25-46.

Delincé G. (1992). The Ecology of the Fish Pond Ecosystem with Special Reference to Africa. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 230 p.

Diaw O. T., Diouf A., et Sarr Y. (1980). Trématodoses dans le delta du Sénégal et le lac de Guiers. I: Etude de la répartition des Mollusques d'eau douce. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire, Série A, Sciences Naturelles*, 42 (4): 709-722.

Dillon R. T. (2000). Gastropods autecology. *The Ecology of Freshwater Molluscs. Cambridge University Press, Cambridge*, 57-116.

Doadrio I. (1994). Freshwater fish fauna of North Africa and its biogeography. *Annales Musée Royal de l'Afrique Centrale. Sciences Zoologiques*, 275: 21-34.

Downs C. A., Dillon R. T., Fauth J. E., et Woodley C. M. (2001). A molecular biomarker system for assessing the health of gastropods (*Ilyanassa obsoleta*) exposed to natural and anthropogenic stressors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *259*: 189-214.

Dubost D. (1991). Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse, Université Tours, France, 319 p.

Duft M., Schulte-Oehlmann U., Tillmann M., Markert B., et Oehlmann J. (2003). Toxicity of triphenyltin and tributyltin to the freshwater mud snail Potamopyrgus antipodarum in a new sediment biotest. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22*:* 145-152.

Dumont H. J. (1982). Relict distribution patterns of aquatic animals: another tool in evaluating late pleistocene climate changes in the Sahara and Sahel. Palaeoecology of Africa and Surrounding Islands 14: 1-24.

Dumont H. J. (1987). Region 2. Sahara. In: Burgis M.J. & Symoens J.J. (Eds), African wetlands and shallow water bodies, ORSTOM, France, 79-154.

Dumont H. J. (1979). Limnologie van Sahara en Sahel. Thèse, Université Ghent, Belgique, 557p.

Dumont H. J., Laureys P., et Pensaert J. (1979). Anostraca, Conchostraca, Cladocera and Copepoda from Tunisia. *Hydrobiologia*, 66: 259-274.

Dunz, A. R., et Schliewen, U. K. (2013). Molecular phylogeny and revised classification of the haplotilapiine cichlid fishes formerly referred to as «Tilapia». *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 68 (1): 64-80.

Dussart, B. (1966). Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Paris. 667 p.

Dussart B. (1967) Les Copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale. I. Calanoides et Harpacticoides. N. Boubée et Cie, Paris. 500 p.

Edberg S. C., LeClerc H., et Robertson J. (1997). Natural Protection of Spring and Well Drinking Water against Surface Microbial Contamination. II. Indicators and Monitoring. Parameters for Parasites. *Critical Reviews in Microbiology*, 23: 179-206.

Edberg S. C. L., Rice E. W., Karlin R. J., et Allen, M. J. (2000). *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 106S–116S.

Elder J. F., et Collins J. J. (1991). Freshwater molluscs as indicators of bioavailability and toxicity of metals in surface-water systems. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 122: 37-79.

Elvira B. (1996). Endangered freshwater fish of Spain In: Kirchhofer A. & Herfti D. (Eds), Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe, 55-61

Emberger L., (1955). Une classification biogéographique des climats. *Recherches et Travaux des Laboratoires de Géologie, Botanique et Zoologie*, Faculté des Sciences, Montpellier, 7 : 3-43.

Ferley J. P., Zmirou D., Balducci F., Baleux B., Fera P., Larbaigt G. et Boudot J. (1989). Epidemiological significance of microbiological pollution criteria for river recreational waters. *International Journal of Epidemiology*, 18(1): 198-205.

Fernández-Delgado C., Torralva M., Oliva-Paterna F. J., et Pintos R. (1999). Caracterización ecológica del hábitat del fartet (*Lebias ibera* Valenciennes, 1846) en una pequeña cuenca hidrográfica del bajo Guadalquivir. In: Generalitat Valenciana (Ed.), Peces cyprinodontidos ibéricos: Fartet y Samaruc. Consellería de Medio Ambiente, Valencia: 99-114.

Fewtrell L., et Bartram J. (Eds) (2001). Water Quality: Guidelines, Standards and Health: assessment of risk and risk management for water related infectious disease. IWA publishing, London, 425 p.

Frisch D., Rodríguez-Pérez H., et Green A. J. (2006a). Invasion of artificial ponds in Donana Natural Park, southwest Spain, by an exotic estuarine copepod. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16(5): 483-492.

Gagneur J. et Kara M. H., 2001. Limnology in Algeria. In Wetzel R. G. et Gopal B. (Eds), Limnology in developing countries. International Association for Limnology. 3: 1-34.

García C. M., García-Ruiz R., Rendón M., Niell F. X., et Lucena J. (1997). Hydrological cycle and interannual variability of the aquatic community in a temporary saline lake (Fuente de Piedra, Southern Spain). *Hydrobiologia*, *345*: 131-141.

García N., Cuttelod A. et Abdul Malak D. (eds) (2010) The Status and Distribution of Freshwater Biodiversity in Northern Africa. Gland, Switzerland, Cambridge, UK et Malaga, Spain, 141 p.

Gauthier H. (1928). Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Thèse, Minerva, Alger, 419p.

Geiger M. F., Herder F., Monaghan M. T., Almada V., Barbieri R., Bariche M., Berrebi P., Bohlen J., Casal-Lopez M., Delmastro G. B., Denys G. P. J., Dettai A., Doadrio I., Kalogianni E., Karst H., Kottelat M., Kovacic M.,

Laporte M., Lorenzoni M., Marcic Z., Ozulug M., Perdices A., Perea S., Persat H., Porcelotti S., Puzzi C., Robalo J., Sanda R., Schneider M., Slechtova V., Stoumboudi M., Walter S. et Freyhof J. (2014). Spatial heterogeneity in the Mediterranean Biodiversity Hotspot affects barcoding accuracy of its freshwater fishes . *Molecular Ecology Resources*. *14*(6), 1210-1221.

Gervais P. (1848b). Sur les animaux vertébrés de l'Algérie envisagés sous le double rapport de la géographie zoologique et de la domestication. *Annales de Sciences Naturelles*, 10: 202–208.

Ghaouaci S., Yavuzatmaca M., Külköylüoğlu O., et Amarouayache M. (2017). An annotated checklist of the non-marine ostracods (Crustacea) of Algeria with some ecological notes. *Zootaxa*. (sous presse)

Gliozzi E., et Grossi F. (2008). Late Messinian lago-mare ostracod palaeoecology: A correspondence analysis approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 264: 288-295.

Glöer P., Bouzid S., et Boeters, H. D. (2010). Revision of the genera *Pseudamnicola* Paulucci 1878 and *Mercuria* Boeters 1971 from Algeria with particular emphasis on museum collections (Gastropoda: Prosobranchia: Hydrobiidae). *Archiv für Molluskenkunde, International Journal of Malacology*, 139: 1-22.

González E. J., Matos M. L., Peñaherrera C., et Merayo S. (2011). Zooplankton abundance, biomass and trophic state in some Venezuelan reservoirs In: Atazadeh I. (Ed.), Biomass and Remote Sensing of Biomass. Intech, Rijeka. Croatia, 57-74.

Gouasmia G., Amarouayache M., Frihi H., et Hichem Kara M. (2016). Caractérisation physico-chimique de trois lacs salés permanents de la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional, Algérie nord-est). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*,71(4) : 330-341.

Guendouz A. (1985). Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est septentrional d'Algérie. Thèse, Université Paris XI, France, 243 p.

Guendouz A., Moulla A.S., Edmunds W.M., Zouari K., Shand P. et Mamou A. (2003). Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complex

Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeology Journal*, 11: 483-495.

Guerrero R., et Berlanga, M. (2010). Life's unity and flexibility: the ecological link. *International Microbiology*, 9: 225-235.

Guezi R., et Kara M. H. (2015). Age, growth and reproduction of the endangered jewelfish *Hemichromis bimaculatus* (Cichlidae) in the valley of Oued Righ (South-eastern Algeria). *Cybium*, 39 (4), 301-307.

Guezi R, (2016). L'ichtyofaune de l'Oued Righ: Biologie et dynamique de l'Acara rouge Hemichromis bimaculatus (Gill, 1862 et de l'Aphanius de Corce Aphanius fasciatus (Niro, 1827). Thèse, Université Badji Mokhtar Annaba, 111 p.

Guezi R., Chaoui L., et Kara M. H. (2017). Life history of the Mediterranean killifish *Aphanius fasciatus* in brackish water habitat of Algerian low Sahara. *Environmental Biology of Fishes*, 100 (5): 481-491.

Gurney R. (1909). On the Fresh-water Crustacea of Algeria and Tunisia. *Journal of Royal Microscopical Society*, 29 (3): 273-305.

Haas D. (1973). Verbreitung und Ökologie der Mollusken, besonders des. Bilharziose-Zwischenwirts Bulinus truncatus, in südtunesischen Binnengewässern. Thèse, Université Dübengen, Allemagne.

Haberman J., et Haldna M. (2014). Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Võrtsjärv. *Journal of Limnology*, 73: 263-273

Hacini M., Oelkers E.H. et Kherici, N. (2008). Mineral precipitation rates during the complete evaporation of the Merouane Chott ephemeral lake. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 1583-1597.

Hade A. (2003). *Nos lacs, les connaître pour mieux les protéger*. Fides, Canada, 347 p.

Hamaidi F., Defaye D., et Semroud R. (2010). Copepoda of Algerian fresh waters: checklist, new records, and comments on their biodiversity. *Crustaceana*, 83: 101-126.

Hammer U. T. (1993). Zooplankton distribution and abundance in saline lakes of Alberta and Saskatchewan, Canada. *International Journal of Salt Lake Research*, 2: 111-132.

Hammer U. T., (1986). Saline Lake Ecosystems of the World. Junk Publishers, Dordrecht, 632p

Hansen B., Wernberg-Moller T., et Wittrup L. (1997). Particle grazing efficiency and specific growth efficiency of the rotifer *Brachionus plicatilis* (Muller). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 215: 217-233.

Harris R., Wiebe P., Lenz, J., Skjoldal H. R., et Huntley M. (Eds.). (2000). Zooplankton *methodology manual*. Academic press, 684 p.

Hill J. E. (2016). Collapse of a reproducing population of non-native African jewelfish (*Hemichromis letourneuxi*) in a Florida Lake. *NeoBiota*, 29: 35-52.

Hopson A. J. et Hopson J. (1965). *Barbus* (Pisces, Cyprinidae) of the Volta region. *Bulletin Of Britich Museum, Naturel History (Zoology)*, 13: 99-149.

Hotos G. N. (2002). Selectivity of the rotifer *Brachionus plicatilis* fed mixtures of algal species with various cell volumes and cell densities. *Aquaculture Research*, 33: 949-957.

IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement), (2005). Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles". 16 p.

Jellison R., (2005). IX international conference on Salt Lake research: Research opportunities and management challenges. *Saline Systems*, 1: 12.

Jellison R., Williams W.D., Timms B., Alcocer J., et Aladin N.V. (2008). Salt lakes: values, threats and future. In: Polunin N. V. C. (Ed.). Aquatic Ecosystems: Trends and Global Perspectives Cambridge University Press, U.K. 94-110.

Jorgensen S.E., Tundisi J.G. et Tundisi T.M. (2012). Handbook of inland aquatic ecosystem management. CRC Press. 422 p.

Kara M. H. et Amarouayache M. (2012). Review of the biogeography of Artemia Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Algeria. *International Journal of Artemia Biology*, 2 (1): 40-50.

Kara, M. H. (2011). Freshwater fish diversity in Algeria with emphasis on alien species. *European Journal of Wildlife Research*, *58*: 243-253.

Karanovic, I. (2012). Recent freshwater ostracods of the world: Crustacea, Ostracoda, Podocopida. Springer, Heidelberg. 608 p.

Kerans B. L., Dybdahl M. F., Gangloff M. M., et Jannot J. E. (2005). Potamopyrgus antipodarum: distribution, density, and effects on native macroinvertebrate

assemblages in the Greater Yellowstone Ecosystem. *Journal of the North American Benthological Society*, 24 (1), 123-138.

Kestemont P. et Awaïss A. (1989). Larval rearing of the gudgeon, *Gobio gobio* L., under optimal conditions of feeding with the rotifer, *Brachionus plicatilis* O.F. Müller. *Aquaculture*, 83: 305-318.

Kiefer F. (1926). Diagnosen neuer süsswasser Copepoden aus Afrika. *Zoologischer Anzeiger*, 66: 262-269.

Kiefer F. (1930). Beiträge zur Copepodenkunde (XIV) 40. Eine neue *Cyclops*-form aus Algerien. *Zoologischer Anzeiger*, 87: 122-123.

Kiefer F. (1952). Beiträge zur Kenntnis der Copepodenfauna Algeriens. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de l'Afrique du Nord*, 43 (7): 87-112.

Kiefer F. (1958). Diaptomiden (Crustacea, Copepoda) aus dem Gebiet von Tassili n'Ajjer (Zentral Sahara). *Travaux de l'Institut de Recherches sahariennes. Sahara (Tassili)*, 3: 111-126.

Korstad J., Olsen Y., et Vadstein O. (1989). Life history characteristics of *Brachionus plicatilis* (rotifera) fed different algae. *Hydrobiologia*, *186*/ 187: 43-50.

Koudenoukpo C. Z., Chikou, A., Tougouet Zebaze S. H, Mvondo S., Hazoume, R. U. S., Houndonougbo, P. K. et Laleye, P. A. (2017). Zooplanctons et Macroinvertébrés aquatiques: vers un assemblage de bioindicateurs pour un meilleur monitoring des écosystèmes aquatiques en région tropicale. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, *20*: 276-287.

Koull N. et Chehma A. (2015). Soil-vegetation relationships of saline wetlands in North East of Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, 29(1): 72-84.

Kowalke T. (2006). History of mollusc community types and faunal dynamics in continental saline ecosystems of the south Mediterranean Quaternary. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 112 (2): 275-286.

Lauridsen T. L., Jeppesen E., Mitchell S. F., Lodge D. M., et Burks R. L. (1999). Diel variation in horizontal distribution of Daphnia and Ceriodaphnia in oligotrophic and mesotrophic lakes with contrasting fish densities. *Hydrobiologia*, 98 (408/409): 241-250.

Le Berre M. (1989). La faune du Sahara 1: Poissons,Amphibiens, Reptiles. Raymond Chabaud Lechevalier, Paris, 332 p.

Lefcort H., Aguon M. Q., Bond K. A., Chapman K. R., Chaquette R., Clark J., Kornachuk P., Lang B. Z. et Martin J. C. (2002). Indirect effects of heavy metals on parasites may cause shifts in snail species compositions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43: 34-41.

Letourneux A., (1870). Excursions malacologiques en Kabylie et dans le Tell Oriental. *Annales de Malacologie*, 1 : 258-322.

Letourneux A. et Bourgignat J. R. (1887). Prodrome de la Malacologie terrestre et fluviatile de La Tunisie. Imprimerie National Paris. 166 p

Lévêque C. (1975). Mollusques des herbiers à *Ceratophyllum* du lac Tchad: Biomasses et variations saisonnières de la densité. *Cahiers ORSTOM. Série Hydrobiologie*, 9 (1): 25-31.

Lévêque C. (1989). Remarques taxinomiques sur quelques petits Barbus (Pisces, Cyprinidae) d'Afrique de l'Ouest (première partie). *Cybium*, 13: 165-180.

Lévêque C. (1990). Relict tropical fish fauna in Central Sahara. *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 1(1): 39-48.

Lévêque C., Paugy D. et Teugels, G.G. (1992). Faune des Poissons d'Eaux Douces et Saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 2. ORSTOM, Paris, 902 p.

Lloyd L. (1984). Exotic Fish: Useful Additions or "Animal Weeds"?. *Fishes of Sahul* 1(4): 39-42.

Lloyd L. N. et Tomasov J. F. (1985). Taxonomic status of the mosquitofish, *Gambusia affinis* (Poeciliidae) in Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 36: 447-451.

Lloyd L. (1986). An alternative to insect control by "mosquitofish", *Gambusia affinis*. *Arbovirus Research in Australia*, 156-163.

Lloyd L.N. (1990). Ecological interactions of *Gambusia holbrooki* with Australian native fishes In: proceeding of the Australian society of fish biology, Workshop on Introduced and translocated fishes and their ecological effect. Australian Government Publishing Service, Canberra. 94-97.

Loiselle P. V. (1992). An annotated key to the genus *Hemichromis* Peters 1858. *Buntbarsche Bulletin*, 148: 2-19.

Lorenschat J., Pérez L., Correa-Metrio A., Brenner M., von Bramann U., et Schwalb A. (2014). Diversity and spatial distribution of extant freshwater ostracodes (Crustacea) in ancient Lake Ohrid (Macedonia/ Albania). *Diversity*, 6: 524-550.

Lorenschat J., Scharf B., Petkovski T., Viehberg F. et Schwalb A. (2011). Scientific Collaboration On Past Speciation Conditions in Ohrid (SCOPSCO): Recent and fossil Ostracods from Lake Ohrid as indicators of past environments: A coupled ecological and molecular genetic approach with deep-time perspective. *Joannea Geologie und. Paläontologie*, 11: 113-115.

Lubzens E. (1987). Raising rotifers for use in aquaculture. *Hydrobiologia*, 147: 245-255.

Lubzens E., Zmora, O. et Barr, Y. (2001). Biotechnology and aquaculture of rotifers. *Hydrobiologia*, 446/447: 337-353.

Madsen H., Daffalla A. A., Karoum K. O., et Frandsen F. (1988). Distribution of freshwater snails in irrigation schemes in the Sudan. *Journal of Applied Ecology*, 25 (3): 853-866.

Martins A. M. F. (1996). Anatomy and systematics of the western Atlantic Ellobiidae (Gastropoda: Pulmonata). *Malacologia*, 37: 163-332.

Marty D., Esnault G., Caumette P., Ranaivoson-Rambeloarisoa E., et Bertrand J.C. (1990). Dénitrification, sulfato-réduction et méthanogenèse dans les sédiments superficiels d'un étang saumâtre méditerranéen. *Oceanologica Acta*, 13 (2): 199-210.

Meisch C. (2000). *Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Germany, 522 p.

Meng S. X. et Maynard J.B. (2001). Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo state, Brazil. *Journal of Hydrology*, 250: 78-97.

Merron, G. S. (1993). Pack-hunting in two species of catfish, *Clarias gariepinus* and *C. ngamensis*, in the Okavango Delta, Botswana. *Journal of Fish Biology*, 43 (4), 575-584.

Momeu, L., Ciorca, A., László, O. T., Segedi, C., Battes, K. P., & Cîmpean, M. (2015). The karstic lake Iezerul Ighiel (Transylvania, Romania): its first limnological study. *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Biologia*, LX, 2:.39-60.

Moreau J, Arrignon J, & Jubb RA (1994) Introduction of foreign fishes in African inlands waters. Suitability and problems. In: Lévêque C., Bruton M. N. & Ssentongo G. W. (eds), Biology and ecology of African freshwater fishes, ORSTOM, 395–426.

Moss B., Stephen D., Alvarez C. Becares E., Van De Bund W., Collings S.E., Van Donk E., De Eyto E., Feldmann T., Fernández-Aláez C., Fernández-Aláez M., Franken R. J.M., García-Criado F., Gross E. M., Gyllström M., Hansson L. A., Irvine K., Järvalt A., Jensen J. P., Jeppesen E., Kairesalo T., Kornijów R., Krause T., Künnap H., Laas A., Lill E., Lorens B., Luup H., Miracle M. R., Nõges P., Nõges T., Nykänen M., Ott I., Peczula W., Peeters E. T.H.M., Phillips G. , Romo S., Russell V., Salujõe J., Scheffer M., Siewertsen K., Smal H., Tesch C., Timm H., Tuvikene L., Tonno I., Virro T., Vicente E., Wilson D. (2003). The determination of ecological status in shallow lakes - a tested system (ECOFRAME) for implementation of the European Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13 (6), 507-549.

Namiotko T., Danielopol D. L., Belmecheri S., Gross M. et Von Grafenstein U. (2012). On the Leptocytheridae Ostracods of the Long-Lived Lake Ohrid: A Reappraisal of their Taxonomic Assignment and Biogeographic Origin. *International Review of Hydrobiology*, 97 (4), 356-374.

Neubauer T. A., Harzhauser M., Mandic O., Georgopoulou E., et Kroh A. (2016). Paleobiogeography and historical biogeography of the non-marine caenogastropod family Melanopsidae. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 444: 124-143.

Oliva-Paterna F. J., Doadrio I., et Fernández-Delgado C. (2006). Threatened fishes of the world: *Aphanius baeticus* (Doadrio, Carmona & Fernández Delgado, 2002) (Cyprinodontidae). *Environmental Biology of Fishes*, 75: 415-417.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (2004). Liens entre l'eau, l'assainissement, l 'hygiène et la santé faits et chiffres. Genève: OMS.

OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel) (2008). Le système aquifère du Sahara septentrional (Algérie, Tunisie et Libye) : gestion concertée d'un bassin transfrontalier. Collection synthèse n^{o} 1, Tunis, 48 p.

Ould Baba Sy, M. (2005). *Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional*. Thèse, Université El Manar Tunis, Tunisie. 261 p.

Payment P., et Franco E. (1993). *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied and Environmental Microbiology*, 59 (8), 2418-2424.

Pellegrin, J. (1921). Les poissons des eaux douces de l'Afrique du Nord française: Maroc, Algérie, Tunisie, Sahara. *Mémoire de la Société des Sciences Naturelles du Maroc*, 1: 1- 216.

Phillipart J-Cl et Ruwet J-Cl (1982). Ecology and distribution of tilapias. In : Pullin R.S.V. et Lowe-McConnell R.H. (Eds). Proceeding of the International Conference on the biology and culture of tilapias, 15–60.

Pinel-Alloul B., Guay C., Angeli N., Legendre P., Dutilleul P., Balvay G., Gerdeaux D. et Guillard J. (1999). Large-scale spatial heterogeneity of macrozooplankton in Lake of Geneva. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56 (8), 1437-1451.

Pint A., Frenzel P., Fuhrmann R., Scharf B. et Wennrich V. (2012). Distribution of *Cyprideis torosa* (Ostracoda) in Quaternary athalassic sediments in Germany and its application for palaeoecological reconstructions. *International Review of Hydrobiology*, 97 (4): 330-355.

Pinto H. A., et Melo A. L. D. (2010). *Melanoides tuberculata* as intermediate host of *Philophthalmus gralli* in Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 52 (6): 323-327.

Pipík R., et Bodergat A. M. (2004). Cyprididae (Ostracoda) du miocene supérieur du Bassin de Turiec (Slovaquie): Taxonomie et paléoécologie. *Revue de micropaléontologie*, 47: 225-242.

Pokhriyal B. P., Mahesh R. K., et Jauhari R. K. (1998). Studies on the molluscan diversity of Asan river system in Doon Valley with special reference to vectors of trematode parasites. *Indian Journal of Forestry*, 21(2), 167-170.

Pommepuy M., Guillaud J. F., Dupray E., Derrien A., Le Guyader F., et Cormier M. (1992). Enteric bacteria survival factors. *Water Science and Technology*, 25(12): 93-103.

Ramdani M., Flower R. J., Elkhiati N., Kraïem M. M., Fathi A. A., Birks H. H., et Patrick S. T. (2001). North African wetland lakes: characterization of nine sites included in the CASSARINA Project. *Aquatic Ecology*, 35: 281-302.

Rodier J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H. et Rodi, L. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer (8 ed.), Dunod, Paris. 1383 p.

Romare P., Berg S., Lauridsen T., et Jeppesen E. (2003). Spatial and temporal distribution of fish and zooplankton in a shallow lake. *Freshwater Biology*, 48: 1353-1362.

Romero J. R., Kagalou I., Imberger J., Hela D., Kotti M., Bartzokas A., Albanis T., Evmirides N., Karkabounas S., Papagiannis J. et Bithava A. (2002). Seasonal water quality of shallow and eutrophic Lake Pamvotis, Greece: implications for restoration. *Hydrobiologia*, 474: 91-105.

Roy J. et Gauthier H. (1927). Sur les Copépodes d'Algérie et de Tunisie (eaux douces et saumâtres). Bulletin de la Société Zoologique de France, 52: 558-575.

Salanki J. (2000). Invertebrates in neurotoxicology. *Acta Biologica Hungarica*, 51: 287-307.

Samraoui B. (2002). Branchiopoda (Ctenopoda and anomopoda) and Copepoda from eastern Numidia, Algeria. *Hydrobiologia*, 470: 173-179.

Samraoui B., Segers H., Maas S., Baribwegure D., et Dumont H. J. (1998). Rotifera, Cladocera, Copepoda, and Ostracoda from coastal wetlands in northeast Algeria. *Hydrobiologia*, 386: 183-193.

Sarr A., Kinzelbach R., et Diouf M. (2011). Diversité spécifique et écologie des mollusques continentaux de la basse vallée du Ferlo (Sénégal). *MalaCo Journal de la malacologie continental*, 7: 383-390.

Schoeller H. (1948). *Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe.* Assemblée générale d'Oslo de l'Union géodésique et géophysique internationale.

Schornikov E. I. (1972). Ostracod fauna from Chernomorsk-Azov Sea with ecological and zoogeographical aspects. *Biologia Moria ANYSSR*, *26*: 122-143.

Schornikov E. I. (1973). Ostracoda of the Aral *Sea. Zoologicheskiy Zhurnal*, 52: 1304-1314.

Schornikov E. I., (2011a). Problems of studying Ostracoda of the Caspian basin. – *Joannea Geologie und Paläontologie*, 11: 177-179.

Schornikov E. I., (2011b). Ostracoda of the Caspian origin in the Azov-Black seas basin. *Joannea Geologie und Paläontologie*, 11: 180–184.

Servais P., et Passerat J. (2009). Antimicrobial resistance of fecal bacteria in waters of the Seine river watershed (France). *Science of the Total Environnement*, 408 : 365-372.

Seurat L.G. 1930. Exploration zoologique de l'Algérie de 1830 à 1930. Masson & Cie, Paris. 708 p.

Sorensen D. L., Eberl S. G., et Dicksa R. A. (1989). *Clostridium perfringens* as a point source indicator in non-point polluted streams. *Water Research*, 23 (2): 191-197.

Strong E. E., Gargominy O., Ponder W. F., et Bouchet P. (2008). Global diversity of gastropods (Gastropoda; Mollusca) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 149-166.

Stuyfzand, P. J. (1989). A new hydrochemical classification of water types. Regional characterization of water quality (Proceedings of the Baltimore Symposium. *IAHS Publ.* 182: 89-99.

Suthers I. M., et Rissik D. (Eds.). (2009). Plankton: A guide to their ecology and monitoring for water quality. CSIRO Publishing, Australia, 273 p.

Swanson C. et Cech J. J. (1996). Comment on "Adverse assessments of *Gambusia affinis*". *Journal of the American Mosquito Control Association*, 12: 163-164.

Swarna Kumari V. G. M. (2002). Studies on the cercarial fauna of Thiara tuberculata and the relationship between the snail size and its infection status. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 22: 125-130.

Tabouche N. et Achour S. (2004). Étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. *Larhyss Journal*, 03: 99-113.

Teugels G. G. (1986). A systematic revision of the African species of the genus Clarias (Pisces; Clariidae). *Annales-Musée Royal de l'Afrique Centrale. Sciences Zoologiques Belgium*. 247: 1-199

Thomas J. D., et Tait A. I. (1984). Control of the snail hosts of schistosomiasis by environmental manipulation a field and laboratory appraisal in the Ibadan area, Nigeria. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, 305*: 201-253.

Timms B.V., (2005). Salt lakes in Australia: present problems and prognosis for the future. *Hydrobiologia*, 552: 1-15.

Tundisi J.G. et Matsumura-Tundisi T. (2012). Limnology. CRC Press, 866 p.

Turner A. M., et Chislock M. F. (2007). Dragonfly predators influence biomass and density of pond snails. *Oecologia*, 153(2): 407-415.

Unesco (1972). *Étude des ressources en eau du Sahara Septentrional : Captage et utilisation des eaux souterraines*. Plaquette 7, Unesco.

Vadstein O., Øie G., et Olsen Y. (1993). Particle size dependent feeding by the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia*, 255/ 556: 261-267.

Van de Meutter F., Stoks R., et De Meester L. (2004). Behavioral linkage of pelagic prey and littoral predators: microhabitat selection by Daphnia induced by damselfly larvae. *Oikos*, 107 (2): 265-272.

Van de Meutter F., Stoks R., et De Meester L. (2005). Spatial avoidance of littoral and pelagic invertebrate predators by Daphnia. *Oecologia*, 142 (3): 489-499.

Vasandakumar M. V., et Janardanan K. P. (2006). Two new species of Cercariae Cercaria VII and VIII n. sp. from freshwater snails in Malabar Kerala. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 26: 61-64.

Van Ginneken, V.J.T. et Maes, G.E., 2005. The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: a literature review. *Reviews in Fish and Fisheries*. 15 (4), 367–398.

Wetzel R. G. (2001). Limnology: lake and river ecosystems (3 ed.). Academic Press, 1006 p.

Wetzel R. G. (1983). Limnology. Saunders College Publishing, Philadelphia.

White M. D. (1998). Horizontal distribution of pelagic zooplankton in relation to predation gradients. *Ecography*, 21(1): 44-62.

Wildekamp R. H., Küçük F., Ünlüsayin M., et Van Neer W. (1999). Species and subspecies of the genus *Aphanius* Nardo 1897 (Pisces: Cyprinodontidae) in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 23: 23-44.

Williams W.D., (1998). Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes. *Hydrobiologia*, 381 (1): 191-201.

Wooten M. C., Scribner K. T., et Smith M. H. (1988). Genetic variability and systematics of *Gambusia* in the southeastern United States. *Copeia*, 2: 283-289.

Yancey P. H. (2001). Water Stress, Osmolytes and Proteins 1. *American Zoologist*, 41: 699-709.

Yang L., Sado T., Hirt M.V., Pasco-Viel E., Arunachalam M., Wang J. L, X., Freyhof J., Saitoh K., Simons A.M., Miya M., He S. et Mayden R.L., (2015). Phylogeny and polyploidy: resolving the classification of cyprinine

fishes (Teleostei: Cypriniformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 85: 97-116.

Yousif F., Ibrahim A., El Bardicy S., Sleem S., et Ayoub M. (2010). Morphology of new eleven *Cercariae* procured from *Melanoides Tuberculata* snails in Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4 (6): 1482-1494.

Zemmouri A. (1991). A note on the genus *Artemia* in Algeria. *Hydrobiologia*, 212 (1): 231-233.

Zouakh D. E., Chebel F., Bouaziz A., et Kara M. H. (2016). Reproduction, age and growth of *Tilapia zillii* (Cichlidae) in Oued Righ wetland (southeast Algeria). *Cybium*, 40 (3): 235-243.

Revue d'Ecologie (Terre et Vie), Vol. 71 (4), 2016 : 330-341

CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DE TROIS LACS SALÉS PERMANENTS DE LA VALLÉE D'OUED RIGH (SAHARA SEPTENTRIONAL, ALGÉRIE NORD-EST)

Ghouzala GOUASMIA[1,2], Mounia AMAROUAYACHE[1*], Hocine FRIHI[1] & Mohamed Hichem KARA[1]

[1] Laboratoire Bioressources Marines, Université d'Annaba Badji-Mokhtar, BP 230 Oued Kouba, Annaba 23008, Algérie

[2] Université Mouhamed Chérif Messaadia-Souk Ahras, BP 1553, route d'Annaba, Souk Ahras, Algérie

*Auteur correspondant. E-mail: m.derbal@yahoo.fr

SUMMARY.— *Physico-chemical characterization of three permanent saline lakes from Oued Righ valley (Northern Sahara, North-East Algeria).*— Characterized by its richness in wetlands, Oued Righ valley is located in the northeast of Algerian Sahara, where most of the water resources originate from the groundwater of two aquifers: the intermediate continental (CI) and the terminal complex (CT). These wetlands are of major interest because they are considered important for food for waterbirds, and in the future, they might be potential sites for Saharan aquaculture. Little is known about the hydrology of these areas, the few existing physico-chemical investigations only concern drillings and Oued Righ channel. Here, for the first time we provide physico-chemical data of three permanent saline lakes in this region: Ayata, Mégarine and Témacine Lakes. In order to characterize them, a monthly analysis of thirteen factors (temperature, electrical conductivity, salinity, pH, dissolved oxygen, NO_2^-, NO_3^-, HCO_3^{--}, Cl^-, SO_4^{--}, Na^+, K^+ and Ca^{++}) was conducted between August 2009 and March 2010. The results show that Mégarine was the saltier with 35.00 ± 0.28 $g.L^{-1}$. Ayata and Témacine are considered brackish and salty (11.56 ± 0.93 $g.L^{-1}$ and 16.45 ± 0.35 $g.L^{-1}$, respectively). Water temperature was similar in the three lakes and varied between 15.70 °C in winter and 34.25 °C in summer. Their pH was alkaline and between 7.23 and 8.05. Dissolved oxygen was low with a maximum of 4.52 $mg.L^{-1}$ which corresponds to 50.51 % of saturation in Témacine. These lakes are highly mineralized; sulphate, chlorides and calcium were dominant. The analysis of Pearson's linear correlation matrix shows that temperature was the main factor influencing the changes in salinity, conductivity and dissolved oxygen. The higher salinity in Mégarine was due to the two salts KCl and NaCl, with a dominance of the first. Cl^-, SO_4^{--}, Na^+ and K^+ originated from groundwater and adjacent soil evaporates, whereas HCO_3^{--} came from groundwater and adjacent soil calcite and /or dolomite, and from a biological source. The Ca^{++} was from calcite and /or dolomite. Globally, climate, groundwater, the adjacent soils and artificial drainage systems in Ayata and Témacine were the main factors controlling the physico-chemical functioning of these ecosystems.

RÉSUMÉ.— Les lacs Ayata, Mégarine et Témacine sont parmi les rares plans d'eaux salés et permanents du Sahara algérien. Il s'agit de dépressions de quelques hectares inondées par des puits artésiens creusés aux siècles derniers pour l'irrigation des palmeraies. Afin de les caractériser du point de vue physico-chimique, une analyse mensuelle de treize facteurs physico-chimiques (température, conductivité électrique, salinité, pH, oxygène dissous, NO_2^-, NO_3^-, HCO_3^{--}, Cl^-, SO_4^{--} , Na^+, K^+ et Ca^{++}) a été effectuée entre août 2009 et mars 2010. Mégarine est le plus salé avec un maximum de 35,00 ± 0,28 $g.L^{-1}$. Ayata et Témacine sont considérés comme saumâtres-salés. La température de l'eau est similaire dans les trois lacs et varie entre 15,70 et 34,25 °C. Le pH est alcalin et varie entre 7,23 et 8,05. L'oxygène dissous est faible avec un maximum de 4,52 $mg.L^{-1}$, soit 50,51 % de saturation à Témacine. Les trois lacs sont fortement minéralisés avec une dominance des chlorures, des sulfates et du calcium. L'analyse de la matrice de corrélations linéaires de Pearson montre que la température est le principal facteur influençant les variations de la salinité, de la conductivité et de l'oxygène dissous. La salinité, plus élevée à Mégarine, est due principalement à deux sels KCl et NaCl, avec une dominance du premier. Les Cl^-, SO_4^{--}, Na^+ et K^+ proviennent des évaporites des nappes souterraines et des sols adjacents, alors que les HCO_3^- proviennent de la calcite et/ou de la dolomite des nappes et des sols traversés, ainsi que d'une source biologique. Le Ca^{++} provient de la calcite et/ou de la dolomite. Globalement, le climat, les apports en eaux des nappes souterraines, les sols adjacents et les systèmes d'évacuation artificiels placés dans les lacs Ayata et Témacine sont les principaux facteurs contrôlant le fonctionnement physico-chimique de ces écosystèmes.

Caractérisée par sa richesse en zones humides, la région d'Oued Righ est située dans le nord-est du Sahara septentrional algérien, dont les ressources hydriques proviennent essentiellement des eaux souterraines. Celles-ci sont contenues dans deux aquifères : le continental intercalaire (CI) et

le complexe terminal (CT) qui sont partagés entre l'Algérie, la Tunisie et la Lybie (Unesco, 1972). Ces ressources constituent l'un des plus vastes réservoirs hydriques du monde. La nappe du continental intercalaire s'étend sur 1 100 000 km^2, avec une épaisseur moyenne de 350 m et des réserves évaluées à 20 000×10^9 m^3 d'eau. La nappe du complexe terminal s'étend sur 665 000 km^2, avec une épaisseur moyenne de 342 m et des réserves d'eau évaluées à 11 000×10^9 m^3 (Ould Baba Sy, 2005). Le CI a été rechargé en eau lors des périodes humides et plus froides du Pléistocène inférieur (Guendouz *et al*., 2003).

La région d'Oued Righ, également connue sous le nom de Vallée d'Oued Righ, est une grande dépression topographique d'une superficie de 3000 km² (L = 150 km, l = 20 km), avec une pente d'environ 1 ‰ orientée nord-sud, dont l'altitude baisse progressivement de +100 m en amont au village d'El Goug à - 27 m en aval du chott Merouane (Dubost, 1991). Elle est riche en palmeraies de dattiers irriguées grâce à des forages dont le nombre s'est multiplié d'une manière drastique au cours de ces dernières décennies. L'excès d'eau salée résultant de l'irrigation est drainé vers des petits plans d'eau à l'origine, devenus des lacs permanents, à la différence des chotts et des sebkhas qui s'assèchent en été. Ces milieux particuliers sont sensiblement affectés, voir menacés par les apports importants provenant des eaux souterraines (Jellison *et al*., 2008). Ces lacs permanents sont d'un intérêt majeur, puisqu'ils abritent une faune invertébrée constituant un véritable garde-manger pour les oiseaux aquatiques, dont 39 espèces recensées dans le lac Ayata (Houhamdi *et al.*, 2008). D'autre part, ils pourraient constituer, dans un proche avenir, des sites potentiels pour l'aquaculture saharienne, à savoir l'élevage de la crevette *Penaeus vannamei* Boone, 1931 (Direction de la pêche et des ressources halieutiques, Ouargla), quoique, du point de vue hydrobiologique, ces sites soient très peu connus. Les quelques investigations physico-chimiques menées dans la région concernent uniquement les eaux de forage (Unesco, 1972 ; Guendouz, 1985 ; Guendouz *et al*., 2003 ; Tabouche & Achour, 2004 ; Chebbah & Allia, 2015) et celles du canal d'Oued Righ, un oued aménagé sur 150 km qui se déverse dans le chott Merouane (Hacini *et al.*, 2008). La littérature décrivant la physico-chimie de ce type de milieux dans d'autres régions arides du monde n'est pas pour autant fréquente (Hammer, 1986 ; Williams, 1986 ; De Dekker & Williams, 1988 ; Wahed *et al*., 2015). Selon De Dekker & Williams (1988), les lacs modérément salés, peu profonds et permanents, sont les moins étudiés en comparaison des lacs hypersalés éphémères qui sont perçus comme plus particuliers de par leur biodiversité (Timms, 2005). Il est admis que la composition chimique inorganique des lacs salés et leur salinité sont déterminées par certains facteurs comme la géochimie du bassin de drainage, la nature chimique des eaux pluviales, la dissolution sélective et la précipitation des sels qui dépendent de l'évaporation et la contribution des eaux souterraines (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2012). La composition de l'eau de ces lacs varie de ce fait considérablement selon les régions du monde ou même localement.

Nous fournissons ici les premières données physico-chimiques de trois petits lacs permanents salés du Sahara. Les résultats obtenus permettront ainsi une caractérisation des eaux à des fins de gestion, et éventuellement, une meilleure connaissance de l'impact de leur nature sur la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques sahariens.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

DESCRIPTION DES MILIEUX D'ÉTUDE

L'étude physico-chimique a été menée dans trois lacs salés et permanents du Sahara algérien (wilayas de Ouargla et El-Oued): le lac Ayata (position géographique : 33°29'46,33''N - 6°0'42,33''E, superficie : 20 ha, profondeur : 1,5 m, altitude : 42 m), le lac Mégarine (position géographique : 33°11'33,44''N - 6°5'3,47''E, superficie : 3,2 ha, profondeur : 4 m, altitude : 57 m) et le lac Témacine (position géographique : 33°1'19,12''N - 6°1'21,55''E, superficie : 4,2 ha, profondeur : 7 m, altitude : 76 m). La figure 1 montre le paysage et la disposition de ces milieux dans la région d'Oued Righ. Selon Berbrugger (1862), ils ont été définis comme des étangs artésiens ou Bhour (pluriel d'une mer), formés par les eaux des sources jaillissantes ou des puits artésiens, et qui sont actuellement alimentés par les eaux de drainage et de la

nappe libre, dont la salinité varie au nord de la région d'Oued Righ (Ayata) entre 2,36 et 14,78 $g.L^{-1}$ (Chebbah & Allia, 2015). Si l'on considère la classification de Jorgensen *et al.* (2012), qui tient compte de la profondeur et de la superficie, ces trois milieux peuvent être considérés comme des petits lacs. D'après les données de la station météorologique de Sidi Mahdi (Touggourt) et selon la classification de l'aridité d'après Lloyd (1986), le climat de la région est aride à hyperaride de type saharien, avec une période sèche et chaude qui s'étend du mois de mars au novembre et une autre humide et froide qui s'étend entre novembre et février. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 70 $mm.an^{-1}$, et janvier est le mois le plus pluvieux et le plus froid (minimum 4°C). Les taux d'évaporation sont très élevés, dépassant parfois les 300 $mm.an^{-1}$ en juillet où la température dépasse les 40°C à l'ombre. La région est caractérisée par des sols hétérogènes: calcaires, salins et gypseux (Boumaraf, 2013). Les trois lacs abritent une ichtyofaune supposée autochtone (Kara, 2012 ; Guezi & Kara, 2015 ; Zouakh *et al*., sous presse), représentée par *Tilapia zillii* Gervais, 1848, *Hemichromis bimaculatus* Gill, 1862 et *Aphanius fasciatus* Valenciennes, 1821 (observations personnelles). Il est à noter que les lacs Ayata et Témacine sont équipés de systèmes d'évacuation (canalisation et trop-plein) des surplus des apports d'eau de drainage et d'eaux provenant de la nappe phréatique, qui se déversent dans le canal d'Oued Righ. Ces systèmes les rendent exoréiques en exportant continuellement une partie de leur eau, à l'opposé de Mégarine qui est endoréique.

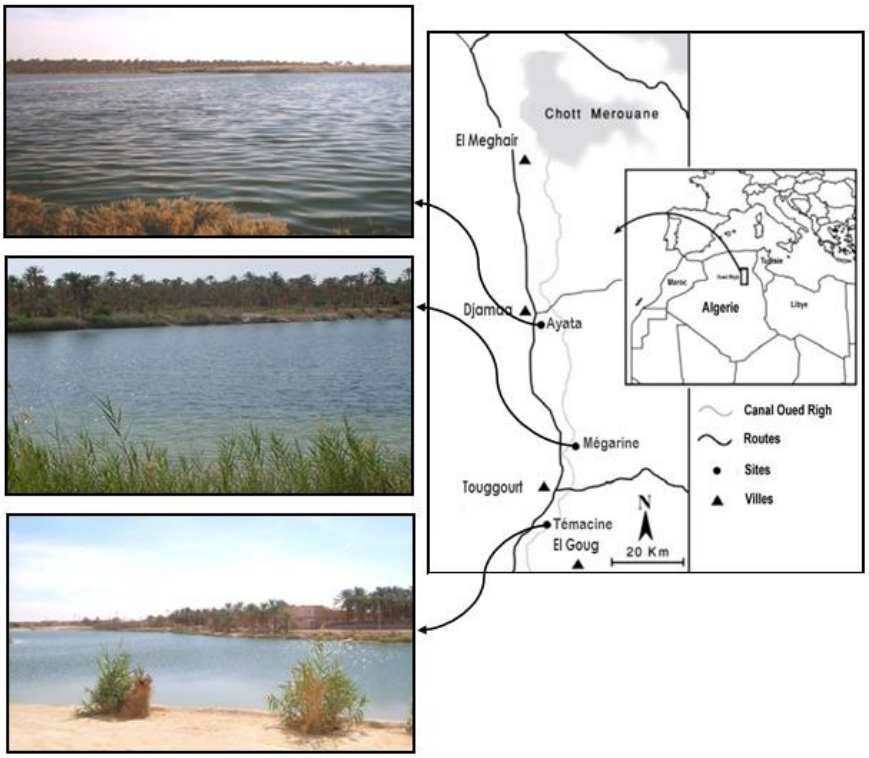


Figure 1.— Localisation de la zone d'étude et des trois lacs échantillonnés dans la région d'Oued Righ (Ayata, Mégarine et Témacine).

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE ET STATISTIQUE

L'analyse physico-chimique de l'eau a été réalisée mensuellement entre août 2009 et mars 2010. La température (T°C), la salinité (Sal), le pH, l'oxygène dissous (O.D) et la conductivité électrique K25 (C.E) ont été mesurés *in situ* avec un multi-paramètre de terrain de type Cyber Scan séries 600. Le dosage des nitrites (NO_2^-), des nitrates (NO_3^-), des chlorures (Cl^-), des sulfates (SO_4^{--}), des bicarbonates (HCO_3^-), du sodium (Na^+), du potassium (K^+) et du calcium (Ca^{++}) a été effectué au laboratoire selon la méthode de Rodier *et al.* (1996). Toutes les mesures et prélèvements d'échantillons ont été effectués dans deux stations différentes de chaque lac.

Afin de comprendre les variations temporelles des facteurs physico-chimiques ainsi que l'origine des ions dans trois lacs, la matrice de corrélation linéaire de Pearson a été réalisée entre les treize facteurs physico-chimiques étudiés pour chaque lac. Le logiciel Statistica 8 a été utilisé pour le traitement des données.

RÉSULTATS

Le tableau I liste les valeurs extrêmes des facteurs physico-chimiques enregistrées dans chacun des trois lacs.

TABLEAU I

Valeurs moyennes et extrêmes des facteurs physico-chimiques des trois lacs étudiés Ayata, Mégarine et Témacine

Facteurs	lacs	Maximum	Minimum
Température (°C)	**Ayata**	31,05 ± 0,21	15,85 ± 0,63
	Mégarine	34,25 ± 0,35	15.70 ± 0,28
	Témacine	32,30 ± 0,28	15.70 ± 0,42
Salinité (g. L^{-1})	**Ayata**	11,56 ± 0,92	8,02 ± 0,07
	Mégarine	35,00 ± 0,28	9,49 ± 0,79
	Témacine	16,45 ± 0.35	12,18 ± 0,22
Conductivité (ms.cm^{-1})	**Ayata**	15,33 ± 2,33	12,40 ± 0,81
	Mégarine	53,06 ± 0,05	19,78 ± 0,31
	Témacine	22,14 ± 0,04	17,34 ± 0,22
pH	**Ayata**	8,03 ± 0,13	7,59 ± 0,09
	Mégarine	8,05 ± 0,08	7,23 ± 0,00
	Témacine	7,94 ± 0,10	7,37 ± 0,34
Oxygène dissous (mg. L^{-1})	**Ayata**	3,04 ± 0,09	2,47 ± 0 ,05
	Mégarine	2,80 ± 0,08	2,41 ± 0,03
	Témacine	4,52 ± 0,17	3,09 ± 0,25
Oxygène dissous (%)	**Ayata**	41,03 ± 0,07	27,73 ± 0,35
	Mégarine	41,47 ± 0,28	28,89 ± 0,55
	Témacine	50,71 ± 0,98	42,36 ± 0,34
Nitrites (mg. L^{-1})	**Ayata**	0,08 ± 0,01	0,03 ± 0,00
	Mégarine	0,13 ± 0,11	0,04 ± 0,01
	Témacine	0,07 ± 0,07	0,03 ± 0,01
Nitrates (mg. L^{-1})	**Ayata**	9,52 ± 0,56	2,00 ± 0,14
	Mégarine	7,11 ± 0,27	2,40 ± 0,99
	Témacine	9,65 ± 1,63	2,25 ± 0,07
Chlorures (g. L^{-1})	**Ayata**	3,97 ± 0,04	2,16 ± 0,54
	Mégarine	18,79 ± 1,00	9,97 ± 0,01
	Témacine	7,04 ± 0,06	5,66 ± 0,00
Sulfates (g. L^{-1})	**Ayata**	2,79 ± 0,10	1,88 ± 0,13
	Mégarine	4,66 ± 0,05	2,96 ± 0,05
	Témacine	4,69 ± 0,33	2,23 ± 0,00
Bicarbonates (mg. L^{-1})	**Ayata**	201,47 ± 0,10	171,37 ± 0,35
	Mégarine	429,75 ± 0,63	377,54 ± 0,61
	Témacine	562,25 ± 3,01	305,40 ± 6,70
Sodium (mg. L^{-1})	**Ayata**	38,48 ± 1,99	34,45 ± 0,62
	Mégarine	96,34 ± 0,48	79,59 ± 0,82
	Témacine	54,11 ± 1,39	41,97 ± 0,27
Potassium (mg. L^{-1})	**Ayata**	51,26 ± 1,51	34,93 ± 2,55
	Mégarine	359,25 ±4,30	250,58 ± 0,61
	Témacine	94,04 ± 0,86	81,13 ± 1,36
Calcium (mg. L^{-1})	**Ayata**	423,64 ± 4,87	398,52 ± 0,38
	Mégarine	626,10 ± 7,20	575,32 ± 0,18

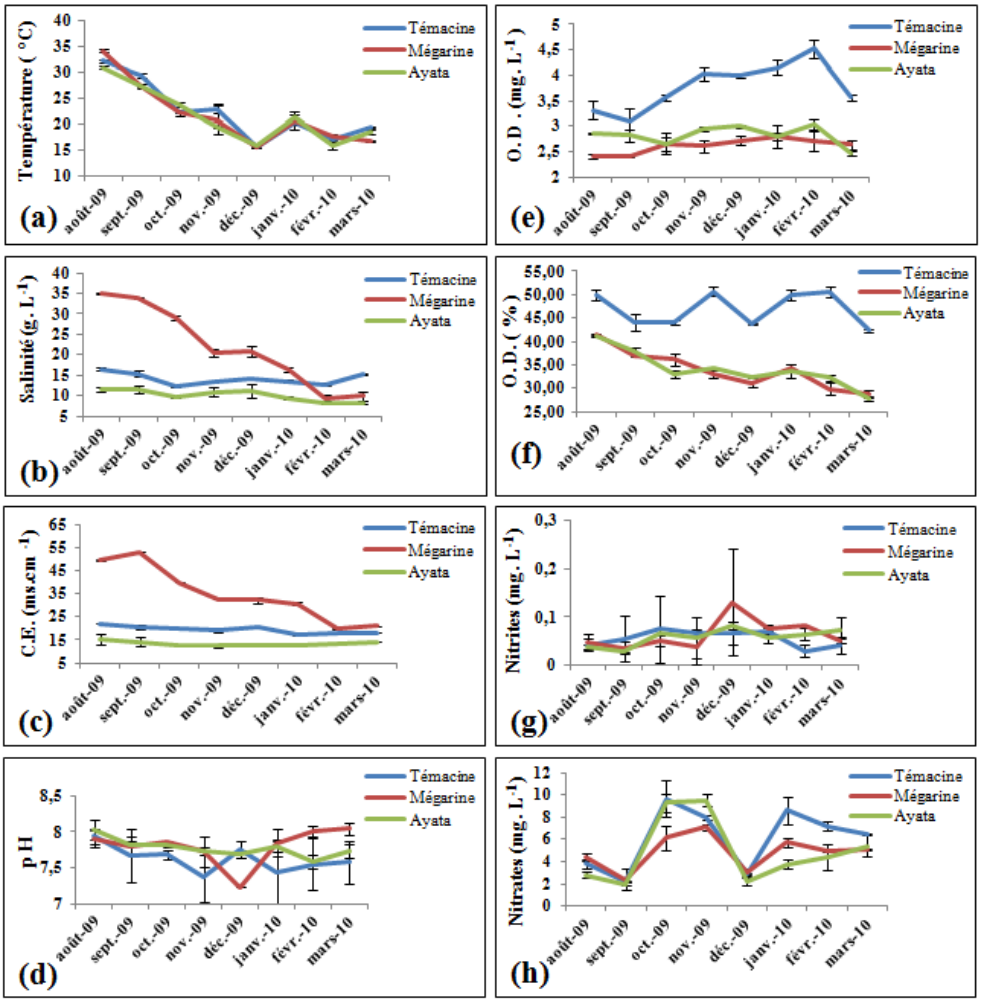


Figure 2.— Évolution spatiotemporelle des facteurs physico-chimiques dans les lacs Ayata, Mégarine et Témacine : a température, b salinité, c conductivité électrique, d pH, e oxygène dissous, f taux de saturation, g nitrites, h nitrates.

Les variations mensuelles de la température de l'eau sont illustrées dans la figure 2a. Dans les trois lacs, les valeurs sont très proches avec un maximum en août et des minima en décembre et février. La figure 2b montre les fluctuations mensuelles de la salinité. Elle est plus ou moins stable dans les lacs Ayata et Témacine avec des valeurs moyennes comprises entre 8,02 ± 0,07 et 16,45 ± 0,35 g.L^{-1}et une gamme plus large à Mégarine entre 9,49 ± 0,28 et 35,00 ± 0,79 g.L^{-1}. La conductivité électrique suit la salinité (Fig. 2c). Les fluctuations mensuelles les plus importantes sont observées dans le lac Mégarine avec un maximum enregistré en période chaude (53,06 ± 0,05 ms.cm^{-1}). Les valeurs du pH des trois lacs sont de même gamme : pH alcalin, avec de faibles fluctuations mensuelles (Fig. 2d). Les teneurs en oxygène dissous sont faibles (Fig. 2e), le maximum de 4,52 ± 0,17 mg.L^{-1}, qui correspond à 50,51 ± 1,18 % de saturation, étant enregistré en hiver dans le lac Témacine où les fluctuations mensuelles sont les plus marquées. La figure 2f montre les taux de saturation d'oxygène dissous qui ont tendance à diminuer en période froide dans les lacs Ayata et Mégarine. Les concentrations en nitrites sont généralement faibles durant la période d'étude (Fig. 2g); les valeurs les plus élevées (0,13 ± 0,11 mg.L^{-1}) sont enregistrées en période froide dans le lac Mégarine. De même, les valeurs les plus élevées en nitrates sont

enregistrées en période froide à Ayata et Témacine avec environ 9 mg.L^{-1}. Des minima sont enregistrés en septembre et décembre dans les trois lacs (Fig. 2h).

Les trois lacs sont fortement minéralisés avec une dominance des chlorures, des sulfates et du calcium. Les chlorures dans le lac Mégarine atteignent 18,79 ± 1,00 g.L^{-1} en période chaude, valeur bien plus élevée que celles enregistrées à Ayata et Témacine (Fig. 3a). D'importantes concentrations en sulfates sont enregistrées à Mégarine et Témacine avec plus de 4 g.L^{-1}. Les principales fluctuations mensuelles sont observées à Mégarine et à Témacine alors qu'à Ayata, elles restent cependant faibles (Fig. 3b). Les bicarbonates sont plus importants à Témacine avec un maximum de 562,00 ± 3,01 mg.L^{-1}en août. Les valeurs sont plutôt stables à Ayata et Mégarine (Fig. 3c). De même, les concentrations en sodium sont stables et les valeurs les plus élevées sont observées à Mégarine (Fig. 3d). Dans ce même lac, les concentrations en potassium sont visiblement plus élevées (359,25 ± 4,30 mg.L^{-1}) qu'à Témacine (94,04 ± 0,86 mg.L^{-1}) et à Ayata (51,26 ± 1,51 mg.L^{-1}) (Fig. 3e). Comme pour le sodium et le potassium, les plus fortes concentrations en calcium sont, par ordre décroissant, enregistrées à Mégarine, puis à Témacine et enfin à Ayata (Fig. 3f).

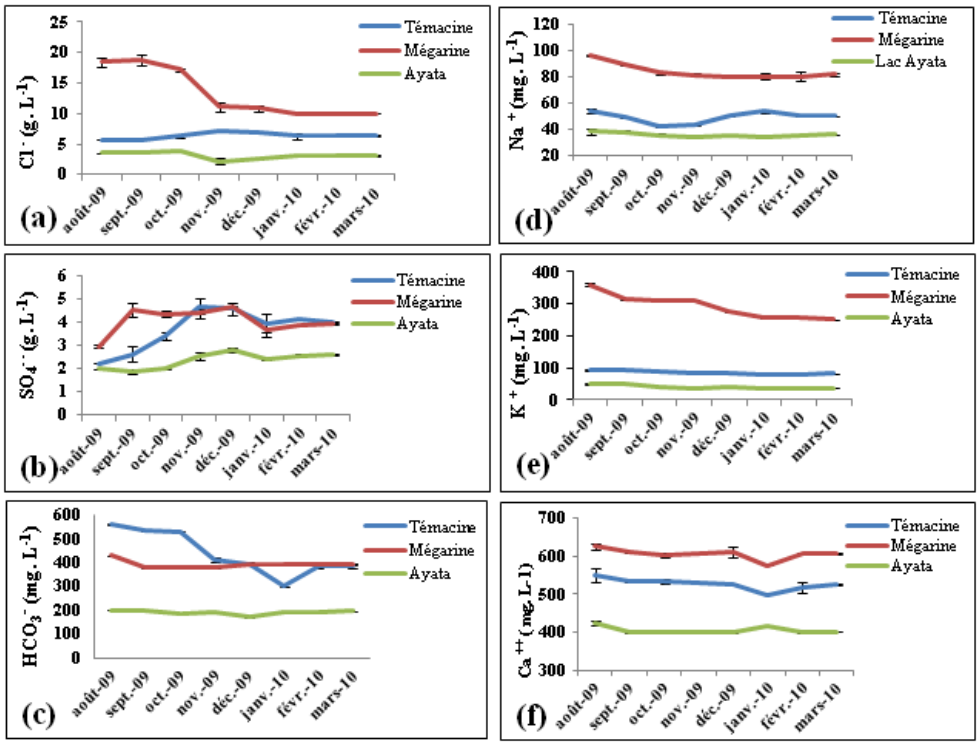


Figure 3.— Évolution spatiotemporelle des facteurs physico-chimiques dans les lacs Ayata, Mégarine et Témacine: a chlorures, b sulfates, c bicarbonates, d calcium, e sodium et f potassium.

Les tableaux II, III et IV montrent les matrices de corrélations de Pearson des treize paramètres déterminées pour les trois lacs étudiés. Au seul de 5 %, le coefficient de corrélation critique est de 0,71 pour Ayata et Témacine et de 0,75 pour Mégarine. L'examen de la matrice de corrélations montre qu'il existe des corrélations positives et d'autres négatives. Globalement, la température est le paramètre qui est le plus souvent corrélé aux autres variables dans les trois lacs étudiés. La salinité et la conductivité sont corrélées significativement aux ions des évaporites. Les ions des évaporites sont corrélés entre eux. De même, les ions de calcites et/ou dolomites sont corrélés significativement entre eux.

TABLEAU II

Matrice des corrélations linéaires de Pearson entre les facteurs physico-chimiques étudiés dans le lac Ayata

	T(°C) A	Sal A	pH A	Oxy A	CE A	NO_2^- A	NO_3^- A	Cl^- A	SO_4^{--} A	HCO_3^- A	Na^+ A	K^+ A	Ca^{++} A
T(°C) A	1,00												
Sal A	0,56	1,00											
pH A	0,92	0,56	1,00										
Oxy A	-0,21	0,32	-0,26	1,00									
CE A	0,61	0,14	0,57	-0,15	1,00								
NO_2^- A	-0,82	-0,48	-0,61	-0,07	-0,58	1,00							
NO_3^- A	-0,19	-0,23	-0,18	-0,24	-0,55	0,29	1,00						
Cl^- A	0,59	-0,08	0,45	-0,45	0,46	-0,37	-0,18	1,00					
SO_4^{--} A	-0,91	-0,40	-0,71	0,23	-0,44	0,81	0,04	-0,75	1,00				
HCO_3^- A	0,65	-0,07	0,47	-0,37	0,69	-0,77	-0,03	0,45	-0,65	1,00			
Na^+ A	0,86	0,42	0,73	-0,24	0,87	-0,77	-0,44	0,66	-0,78	0,70	1,00		
K^+ A	0,86	0,69	0,75	-0,03	0,74	-0,76	-0,40	0,49	-0,76	0,52	0,94	1,00	
Ca^{++} A	0,58	0,21	0,76	0,02	0,47	-0,37	-0,35	0,20	-0,31	0,29	0,36	0,32	1,00

TABLEAU III

Matrice des corrélations linéaires de Pearson entre les facteurs physico-chimiques étudiés dans le lac Mégarine

	T(°C) M	Sal M	pH M	Oxy M	CE M	NO_2^- M	NO_3^- M	Cl^- M	SO_4^{--} M	HCO_3^- M	Na^+ M	K^+ M	Ca^{++} M
T(°C) M	1,00												
Sal M	0,83	1,00											
pH M	0,23	-0,20	1,00										
Oxy M	-0,81	-0,75	-0,15	1,00									
CE M	0,84	0,98	-0,17	-0,77	1,00								
NO_2^- M	-0,56	-0,37	-0,66	0,60	-0,40	1,00							
NO_3^- M	-0,17	-0,31	0,38	0,40	-0,39	-0,34	1,00						
Cl^- M	0,84	0,94	0,07	-0,81	0,92	-0,49	-0,33	1,00					
SO_4^{--} M	-0,53	-0,04	-0,55	0,18	-0,04	0,20	-0,18	-0,10	1,00				
HCO_3^- M	0,60	0,27	0,16	-0,38	0,24	0,04	-0,19	0,27	-0,86	1,00			
Na^+ M	0,96	0,78	0,23	-0,88	0,79	-0,49	-0,32	0,82	-0,55	0,69	1,00		
K^+ M	0,87	0,91	-0,07	-0,79	0,86	-0,48	-0,07	0,85	-0,23	0,42	0,83	1,00	
Ca^{++} M	0,41	0,44	-0,11	-0,71	0,37	-0,10	-0,37	0,49	-0,10	0,46	0,59	0,60	1,00

TABLEAU IV

Matrice des corrélations linéaires de Pearson entre les facteurs physico-chimiques étudiés dans le lac Témacine

	T(°C) T	Sal T	pH T	Oxy T	CE T	NO_2^- T	NO_3^- T	Cl^- T	SO_4^{--} T	HCO_3^- T	Na^+ T	K^+ T	Ca^{++} T
T(°C) T	1,00												
Sal T	0,61	1,00											
pH T	0,46	0,55	1,00										
Oxy T	-0,77	-0,64	-0,56	1,00									
CE T	0,68	0,56	0,81	-0,69	1,00								
NO_2^- T	-0,07	-0,38	-0,21	-0,06	0,08	1,00							
NO_3^- T	-0,35	-0,76	-0,60	0,48	-0,62	0,27	1,00						
Cl^- T	-0,76	-0,54	-0,59	0,68	-0,43	0,33	0,40	1,00					
SO_4^{--} T	-0,86	-0,57	-0,68	0,76	-0,61	0,23	0,39	0,97	1,00				
HCO_3^- T	0,77	0,36	0,70	-0,78	0,83	-0,05	-0,37	-0,65	-0,79	1,00			
Na^+ T	0,11	0,59	0,30	0,05	-0,03	-0,47	-0,44	-0,39	-0,28	-0,25	1,00		
K^+ T	0,87	0,47	0,71	-0,82	0,89	0,06	-0,44	-0,69	-0,83	0,97	-0,13	1,00	
Ca^{++} T	0,64	0,49	0,73	-0,69	0,89	-0,16	-0,44	-0,39	-0,57	0,89	-0,22	0,84	1,00

DISCUSSION

Les variations mensuelles de la température de l'eau des trois lacs étudiés suivent la température atmosphérique (Wetzel, 1983). Selon Delince (1992), ce facteur déterminant agit sur la solubilité des sels et des gaz qui, à leur tour, agissent sur l'ensemble de l'écosystème. En effet, la matrice de corrélation linéaire de Pearson des facteurs physico-chimiques dans le lac Mégarine indique que la température est positivement corrélée à la salinité et à la conductivité ainsi qu'aux ions de chlorures, de sodium et de potassium qui gèrent ces deux paramètres. Elle est, par contre, négativement corrélée à l'oxygène dissous en période chaude. Ceci montre l'important effet de la température sur tous ces facteurs, en particulier dans ce lac.

La salinité de l'eau est différente dans chacun des trois lacs avec des variations mensuelles plus marquées à Mégarine. Selon la classification de Stuyfzand (1989), Ayata et Témacine sont classés dans la même gamme d'eau saumâtre salée et Mégarine dans la gamme d'eau salée. Les différences enregistrées entre les trois lacs seraient liées au système d'évacuation artificiel, placé de manière différente dans le lac Ayata et dans le lac Témacine, et qui permet le renouvellement continu des apports d'eau en réduisant la concentration des sels par évaporation. D'autre facteurs peuvent également influencer ce paramètre, tels que le contexte géologique particulier de chacun des trois lacs, puisque la région est caractérisée par une hétérogénéité de la nature des sols (Boumaaraf, 2013). D'autre part, les apports en eaux d'irrigation sont originaires des nappes souterraines différemment minéralisées (Guendouz *et al*., 2003 ; Tabouche & Achour, 2004). Selon Schoeller (1948), pour la famille chlorurée et sulfatée sodi-calcique et magnésienne, la lithologie de l'aquifère fine et imperméable rend la circulation de l'eau difficile, induisant un long contact entre l'eau et la roche, ce qui explique la minéralisation de ces nappes souterraines. Les fortes fluctuations mensuelles de la salinité dans le lac Mégarine sont liées à l'intensité d'évaporation, qui est plus importante en période chaude, et à l'absence de systèmes d'évacuation. Comme indiqué par la matrice de corrélation, la salinité dans le lac Mégarine est due à deux sels, le NaCl et le KCl, qui sont des évaporites à l'origine. Comme pour la température, les organismes aquatiques ont chacun des exigences propres, d'où l'importance du suivi de ce facteur (Hammer, 1986).

Selon Hade (2003), la conductivité serait influencée par divers facteurs naturels et anthropiques comme la géologie du bassin versant, la température, l'évaporation de l'eau et les variations du débit des apports qui alimentent les lacs et les apports d'eau d'origine domestique. Dans les trois lacs étudiés, la conductivité est influencée, selon la matrice de corrélation, par les facteurs climatiques tels que la température et l'évaporation, la géologie des bassins versants et les apports en eaux souterraines différemment minéralisées.

Les valeurs du pH des trois lacs sont dans la même gamme, pH alcalin. L'environnement physique est le principal facteur qui influence le pH d'un lac, mais aussi, un lit de roche calcaire procure à l'eau une propriété basique. Un pH entre 6,5 et 8,5, correspond à la zone de tolérance de la majorité des organismes vivants. Lorsque le changement du pH est significatif, ceci entraîne généralement des modifications de la faune et de la flore existantes (Hade, 2003).

L'oxygène de l'eau est un facteur déterminant pour la distribution et la survie des espèces (Davis, 1975). Selon Aminot & Chaussepied (1983), la quantité d'oxygène d'un écosystème aquatique dépend des facteurs naturels comme la température, la salinité, la pression atmosphérique et hydrostatique, la turbulence, les courants, les remontées d'eau et les processus biologiques. Il est admis que des teneurs inférieures à 4 $mg.L^{-1}$ indiquent une eau de mauvaise qualité ou polluée (Wetzel, 1983). Le taux de saturation d'oxygène des trois lacs étudiés est faible (inférieur à 51 % de saturation), bien qu'ils ne soient soumis à aucune source de pollution. Ces faibles teneurs en oxygène dissous seraient dues à la salinité et à la température élevées qui empêchent sa dissolution. En plus de ces deux paramètres importants, les faibles taux de saturation en oxygène dissous dans les trois lacs seraient également liés à la richesse en matières organiques,

le sédiment du fond étant de couleur noirâtre. Le lac Témacine, bien qu'il ne soit pas le moins salé, est plus oxygéné que les deux autres, étant le plus exposé au vent, en plus de son système d'évacuation qui permet le renouvellement de l'eau. Il est à noter que le taux de saturation de l'oxygène dissous a tendance à diminuer dans les lacs Ayata et Mégarine en période froide, probablement à cause d'une plus importante consommation par les fortes densités de zooplancton (observations personnelles) et la photosynthèse, plus importante en été.

Les faibles concentrations en nitrites durant la période d'étude peuvent s'interpréter par le fait que ceux-ci soient une forme intermédiaire qui a tendance à s'oxyder en nitrates, ou à se réduire en ammonium (Dussart, 1966). Les valeurs des nitrates sont celles qui fluctuent le plus dans notre étude, avec des minimas en septembre et en décembre dans les trois lacs. Dalsgaard & Bak (1994) ont montré que la réduction des nitrates en milieu anoxique avait comme stimulant les sulfates. Romero *et al*. (2002) ont conclu dans leur étude que les valeurs maximales et minimales des nitrates dans le lac Pamvotis en Grèce seraient liées à une faible biomasse algale et à un bloom algal respectivement. La matrice de corrélation a montré des corrélations positives de nitrites et de sulfates durant le mois de décembre à Ayata. Les valeurs maximales de nitrates enregistrées dans les deux lacs exoréiques Ayata et Témacine peuvent être considérées comme faibles (Camargo *et al.*, 2005). Ces auteurs ont rapporté qu'un taux maximal de 20 $mg.L^{-1}$ était généralement acceptable pour les poissons et les invertébrés marins alors, qu'en eau douce, le seuil ne devrait pas dépasser 2 $mg.L^{-1}$.

Les fortes concentrations des ions chlorure et sulfate par rapport aux autres ions s'interprètent, comme pour la salinité et la conductivité, par les apports des eaux d'irrigation de la nappe souterraine d'origine plus riche en chlorures et en sulfates (Tabouche & Achour, 2004) et qui traversent des sols salins. Les importantes fluctuations mensuelles des chlorures enregistrées dans le lac Mégarine sont liées à l'intensité d'évaporation du fait qu'il n'exporte pas ses eaux. Les corrélations positives entre les chlorures et les sulfates à Témacine signifient une origine salifère commune de ces ions. Les fluctuations des sulfates sont en relation avec l'oxygène dissous, comme l'indique la matrice de corrélation à Témacine puisqu'il existe une corrélation positive de ces deux facteurs. Ceci montre l'implication des sulfates dans les processus de biodégradation en milieu pauvre en oxygène démontrée par Marty *et al*. (1990). En période chaude les concentrations sont faibles, suite à l'intervention de ces ions dans la dégradation de la matière organique puisque les teneurs en oxygène sont faibles.

Les intervalles de concentration des bicarbonates entre les trois lacs seraient liés, en plus de l'aménagement, au type de sol traversé, ainsi qu'à la lithologie de la nappe exploitée. La corrélation positive des bicarbonates au calcium dans le lac Témacine pourrait signifier qu'ils proviennent de la calcite et/ou de la dolomite (Meng & Maynard, 2001). À cela s'ajoute une autre source biologique qui est la formation des bicarbonates comme sous-produits de la biodégradation de la matière organique par les bactéries sulfato-réductrices en conditions d'anaérobiose (Canfield *et al.*, 1993).

Les concentrations en sodium, en potassium et en calcium sont plus élevées à Mégarine par rapport aux deux autres lacs. Les fluctuations mensuelles de sodium et de calcium sont cependant faibles, probablement à cause de la sursaturation des eaux par ces éléments. Selon Tabouche & Achour (2004), les valeurs de sodium sont plus importantes dans les eaux des nappes souterraines que dans celles des lacs ; ceci pourrait s'expliquer par le phénomène d'échanges de base entre l'eau et les sols lors de drainages, où les sols prennent le sodium et libèrent le calcium. Les fluctuations mensuelles de potassium sont plus marquées à Mégarine et suivent celles des chlorures puisqu'elles seraient de même source selon la matrice de corrélation. En termes de composition ionique, les trois lacs étudiés ont une dominance mixte des anions chlorures et sulfates et une dominance des cations calcium. Cette forte concentration en calcium est probablement originaire des sols calcaires traversés par les eaux de drainage originaires des nappes

souterraines riches en calcium où se produit un échange de base des ions sodium de l'eau contre ceux de calcium des sols calcaires.

Hammer (1986) divise les lacs salés du monde en fonction de la prédominance des carbonates, des chlorures et des sulfates ; les carbonatés se trouvent en Afrique, les chlorurés se trouvent sur tous les continents, alors que les sulfatés se trouvent en Amérique du nord et en Russie de l'Est. Certains de ces lacs ont une dominance mixte des anions, le sous-type carbonaté chlorique et le sulfaté chlorique qui est le moins abondant. Selon les cations, il existe trois types dominants (sodium, magnésium et calcium) avec une prédominance du sodium. En partant de cette répartition, nos lacs, dominés par les chlorures, les sulfates et le calcium, peuvent être considérés comme relativement rares.

CONCLUSION

Il ressort que, même si les trois lacs étudiés sont de même type, chloruré et sulfaté calcique, des différences entre les facteurs physico-chimiques s'observent, surtout dans le lac Mégarine dépourvu de systèmes d'évacuation. Les eaux de la nappe souterraine différemment minéralisée et le type de sols adjacents qui sont de composition variable, saline, calcaire ou gypseuse, sont également des facteurs faisant la différence entre ces trois lacs. Le lac Mégarine, étant fermé, est le plus salé par concentration, avec deux sels dominants, le KCl et le NaCl. Les lacs Ayata et Témacine, pourvus de systèmes d'évacuation des apports en surplus, sont les moins salés. Les principaux phénomènes responsables des fluctuations mensuelles enregistrées dans les trois lacs sont les conditions climatiques telles que la température et l'évaporation, ainsi que les processus biologiques. Ces trois milieux sont pauvres en oxygène à cause des températures relativement élevées d'une part, et de la richesse en matière organique d'autre part. Ceci n'est pas en faveur des activités aquacoles envisagées. En effet, les ensemencements en 2003 (DPRH, Ouargla) du tilapia *Tilapia nilotica* Linnaeus, 1758 n'ont pas abouti, puisqu'aucun individu de cette espèce n'a été observé ces dernières années (observations personnelles). Seules les espèces autochtones de poissons ont résisté à ces conditions.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes, des études plus détaillées sur la physico-chimie, incluant le magnésium et les différentes formes de phosphore pour étudier l'état trophique, sont à envisager dans le futur. La faune et la flore aquatiques sont à considérer par la même occasion. Une attention particulière doit être portée à l'éventuelle augmentation de la salinité dans le temps qui pourrait constituer une sérieuse menace pour la biodiversité.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude aux trois relecteurs anonymes pour leurs constructives remarques et suggestions sur de précédentes versions de notre texte.

RÉFÉRENCES

AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. (1983).— *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Centre national pour l'exploitation des Oceans (Cnexo), Brest.

BERBRUGGER, A. (1862).— *Les puits artésiens des oasis méridionales de l'Algérie*. Bastide.

BOUMARAF, B. (2013).— *Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ, Sahara nord oriental, Algérie*. Thèse de doctorat, Université Reims Champagne.

CAMARGO, J.A., ALONSO, A., & SALAMANCA, A. (2005).— Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58: 1255-1267.

CANFIELD, D.E., THAMDRUP, B., & HANSEN, J.W. (1993).— The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: iron reduction, manganese reduction, and sulfate reduction. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 3867-3883.

CHEBBAH, M. & ALLIA, Z. (2015).— Geochemistry and hydrogeochemical process of groundwater in the Souf valley of Low Septentrional Sahara, Algeria. *Afr. J. Envir. Sci. Technol.*, 9: 261-273.

DALSGAARD, T. & BAK, F. (1994).— Nitrate reduction in a sulfate-reducing bacterium, *Desulfovibrio desulfuricans*, isolated from rice paddy soil: sulfide inhibition, kinetics, and regulation. *Appl. Envir. Microbiol.*, 60: 291-297.

DAVIS, J.C. (1975).— Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. *J. Fisher. Board Canada*, 32: 2295-2332.

DE DECKKER, P. & WILLIAMS, W.D. (1988).— Physico-chemical limnology of eleven, mostly saline permanent lakes in western Victoria, Australia. *Hydrobiologia*, 162: 275-286.

DELINCE, G. (1992).— *The ecology of the fish pond ecosystem with special references to Africa*. Kluwer Academic, London.

DUBOST, D. (1991). — *Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis sahariennes algériennes*. Thèse Doctorat, Université François Rabelais, Tours.

DUSSART, B. (1966).— *Limnologie. L'étude des eaux continentales*. Gauthier Villars, Paris.

GUENDOUZ, A. (1985).— *Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est septentrional d'Algérie*. Thèse de 3eme Cycle, Université Paris Sud, Orsay.

GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S., EDMUNDS, W.M., ZOUARI, K., SHAND, P. & MAMOU, A. (2003).— Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complex Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeol. J.*, 11: 483-495.

GUEZI, R. & KARA, M.H. (2015).— Age, growth and reproduction of the endangered jewelfish *Hemichromis bimaculatus* in the valley of Oued Righ (South-eastern Algeria). *Cybium*, 39: 301-307.

HACINI, M., OELKERS, E.H., KHERICI, N. (2008).— Mineral precipitation rates during the complete evaporation of the Merouane Chott ephemeral lake. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72: 1583-1597.

HADE, A. (2003).— *Nos lacs, les connaître pour mieux les protéger*. Editions Fides.

HAMMER, U.T. (1986).— *Saline lake ecosystems of the world*. Springer Science and Business Media, Berlin.

HOUHAMDI, M., BENSACI, T., NOUIDJEM, Y., BOUZEGAG, A., SAHEB, M. & SAMRAOUI, B. (2008).— Éco-éthologie du Flamant rose (*Phoenicopterus roseus*) hivernant dans les oasis de la Vallée de l'Oued Righ (Sahara algérien). *Aves* 45:15-27.

JELLISON, R., WILLIAMS, W.D., TIMMS, B., ALCOCER, J. & ALADIN, N.V. (2008).— *Salt lakes: values, threats and future.* Pp 94-110 *in*: N.V.C. Polunin (ed.). *Aquatic Ecosystems*. *Trends & global prospects.* Cambridge University Press, Cambridge.

JORGENSEN, S.E., TUNDISI, J.G. & TUNDISI, T.M. (2012).— *Handbook of inland aquatic ecosystem management*. CRC Press.

KARA, M.H. (2012).— Freshwater fish diversity in Algeria with emphasis on alien species. *Eur. J. Wildl. Res.*, 58: 243-253.

LLOYD, J.W. (1986).— A review of aridity and groundwater. *Hydrol. Processes*, 1: 63-78.

MARTY, D., ESNAULT, G., CAUMETTE, P., RANAIVOSON-RAMBELOARISOA, E., & BERTRAND, J.C. (1990).— Dénitrification, sulfato-réduction et méthanogenèse dans les sédiments superficiels d'un étang saumâtre méditerranéen. *Oceanol. Acta*, 13: 199-210.

MENG, S.X. & MAYNARD, J.B. (2001).— Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo state, Brazil. *J. Hydrol.*, 250: 78-97.

OULD BABA SY, M. (2005).— *Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional.* Thèse de doctorat en Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie.

RODIER, J., BAZIN, C., BROUTIN, J.P., CHAMBON, P., CHAMPSAUR, H. & RODI, L. (1996).— *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.* Dunod, Paris.

ROMERO, J., KAGALOU, I., IMBERGER, J., HELA, D., KOTTI, M., BARTZOKAS, A., ALBANIS, T., EVMIRIDES, N., KARKABOUNAS, S., PAPAGIANNIS, J. & BITHAVA, A. (2002).— Seasonal water quality of shallow and eutrophic Lake Pamvotis, Greece: implications for restoration. *Hydrobiologia*, 474: 91-105.

SCHOELLER, H. (1948).— *Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe.* Assemblée générale d'Oslo de l'Union géodésique et géophysique internationale.

STUYFZAND, P.J. (1989).— A new hydrochemical classification of water types. Regional characterization of water quality. Proceedings of the Baltimore Symposium. *Iahs Publ.* 182: 89-99.

TABOUCHE, N. & ACHOUR, S. (2004).— Étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. *Larhyss Journal*, 03: 99-113.

TIMMS, B.V., (2005).— Salt lakes in Australia: present problems and prognosis for the future. *Hydrobiologia* ,552: 1-15.

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (2012).— *Limnology*. CRC Press.

UNESCO (1972).— *Étude des ressources en eau du Sahara Septentrional : Captage et utilisation des eaux souterraines*. Plaquette 7, Unesco.

WAHED, M.S.A., MOHAMED, E.A., EL-SAYED, M.I., M'NIF, A. & SILLANPÄÄ, M. (2015).— Hydrogeochemical processes controlling the water chemistry of a closed saline lake located in Sahara desert: Lake Qarun, Egypt. *Aquat. Geochem.*, 21: 31-57.

WETZEL, R.G. (1983).— *Limnology*. Saunders, Philadelphia.

WILLIAMS, W.D. (1986).— Limnology, the study of inland waters: a comment on perceptions of studies of salt lakes, past and present. Pp 471-483 *in:* P. De Deckker & W.D. Williams (eds). *Limnology in Australia*. CSIRO Australia, Melbourne.

ZOUAKH, D.E., CHEBEL, F., BOUAZIZ, A. & KARA M.H. (2016).— Reproduction, age and growth of *Tilapia zillii* (Pisces, Cichlidae) in Oued Righ wetland (southeast Algeria). *Cybium* (sous presse).