كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵖⵉⵡⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵙⵏⵉⴳⵉⵜⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵙⵉⴷⵉ ⵎⵓⵃⵎⵎⴰⴷ ⴱⵏ ⵄⴱⴷⵓⵍⵍⴰⵀ
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

**N° d'ordre 64 / 2019**

# THESE DE DOCTORAT

Présentée par

**Mme : Zineb IDRISSI CHBIHI HAMZAOUI**

Spécialité : Eau et Environnement

**Sujet de la thèse** : Etude de vieillissement du lac Ouiouane du Moyen Atlas (Maroc).

**Thèse présentée et soutenue le samedi 26 octobre 2019 devant le jury composé de :**

| Nom Prénom | Titre | Etablissement | |
|---|---|---|---|
| Aziz BELRHITI ALAOUI | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Fès | Président |
| Abdeslam TAHIRI | PES | Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès | Rapporteur |
| Khalid DERRAZ | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Fès | Rapporteur |
| Abdellah ZINEDINE | PH | Faculté des Sciences El Jadida | Rapporteur |
| Amal AZZOUZI | PH | Faculté des Sciences et Techniques de Fès | Examinateur |
| Faouzi ERRACHIDI | PH | Faculté des Sciences et Techniques de Fès | Examinateur |
| Lahsen EL GHADRAOUI | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Fès | Directeur de thèse |

Laboratoire d'accueil : Ecologie Fonctionnelle et Environnement.

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

# AVANT –PROPOS

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement de la Faculté des Sciences et Techniques de Fés et le Centre National d'Hydrobiologie et de Pisciculture d'Azrou.

Les résultats obtenus ont fait l'objet de publications et rédaction d'un certain nombre d'articles scientifiques et de participation à différentes manifestations scientifiques nationales et internationales.

## Publications

**Idrissi Chbihi Zineb.** , Benaabid M , El Harchli E.H. , Idrissi.H. , El Ghadraoui L. Effects of two food extruded on the growth performance of trout Rainbow (Oncorhynchus mykiss) and their environmental impact - ( International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 6, Issue 10, October-2015 ISSN 2229-5518)

**Idrissi.Z**, Benabid.M, Bouayad.K, Tlemcani.I, Hinchi.I, Rais.C, Benjelloun.M & El ghadraoui.L. Physicochemical Approach to Ouiouane Lake (Mid-Atlas Morocco) -International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 9, Issue 12, December-2018 ISSN 2229-5518)

**Idrissi.Z** , Benabid.M , Bouayad.K , Mansouri.I , Tlemcani.I , & El ghadraoui.L. Assessment (Evaluation)of the trophic status of Ouiouane lake (Middle Atlas) –Morocco - Global Scientific Journal Volume 7, Issue 3, March 2019 ISSN 2320-9186)

Kenza Bouayad 1 *, Khalid Derraz 1 , Nouha El Allaoui2 , **Zineb Idrissi 1** , Laila El Hanafi 1 , Tlemcani Imane1 Ismail Mansouri1 and Saad Rachiq1. COMPARATIVE STUDY BETWEEN ENTRY AND EXIT AT THE LEVEL OF THE LACUSTRE "DAYET AOUA" MIDDLE ATLAS MOROCCO - GSJ: Volume 7, Issue 3, March 2019, Online: ISSN 2320-9186

K Bouayad 1*, S Rachiq 1 , I Hinchi 1 , **Z Idrissi 1** , C Rais1 , M Raoui 2 , and K Derraz 1. Physico-Chemical and Trophic Characterization Of « Dayet Aoua » (Lake –Middle Atlas – Morocco) - Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences ISSN: 0975-8585

Tlemcani I, Bouchamma E, **Idrissi Chbihi Z**, Errachidi F, Chabir R, El Ghadraoui L,Haloti S, Taouda H, Hinchi I. Physicochemical quality and sensory analysis of Moroccan honeys - International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 9, Issue 12, December-2018 ISSN 2229-5518

Tlemcani I, Bouchamma E,Bouayad K, **Idrissi Z**, Errachidi F, Chabir R, Haloti S, El Ghadraoui L. QUALITY OF MOROCCAN HONEY - GSJ: Volume 7, Issue 1, January 2019, Online: ISSN 2320-9186

**Communications scientifiques**

Effets de deux aliments extrudés sur le développement de la truite Arc en ciel / Impact de rejets piscicoles sur l'environnement (Communication orale), 1 er Workshop national de Biodiversité à la faculté des Sciences et techniques de Fès – 17 Décembre 2014.

Contribution à l'évaluation de la pollution du Lac Ouiouane du Moyen Atlas (Communication affichée), 1 er Workshop national de Biodiversité à la faculté des Sciences et techniques de Fès - 17 Décembre 2014.

Caractérisation Physico-chimique et biologique du Lac Ouiouane du Moyen Atlas – Maroc (Communication affichée), 1 er Colloque national GPSE 2015 à la faculté des Sciences et techniques de Fès – 21 Novembre 2015.

Approche Physicochimique du Lac Ouiouane dans le Moyens Atls – Maroc (Communication orale), 1 er Forum national de Taza – 22 Novembre 2016.

Etude préliminaire de la diversité des macrophytes du Lac Ouiouane (Communication affichée), 1 er Forum national de Taza – 22 Novembre 2016.

Etude qualitative du peuplement ichtyofaune du Lac Ouiouane – Maroc (Communication affichée), Journée nationale à la faculté des Sciences et techniques de Fès – 23 Novembre 2016.

# *DEDICACES*

*Je dédie ce travail à mes chers parents Fatiha Lechgar et Rachid Idrissi, Jamais je ne saurais m'exprimer quant aux sacrifices et dévouement que vous avez consacrés à mon éducation et mes études. Les mots aussi expressifs soient-ils, restent faibles pour vous énoncer ma gratitude hautement profonde. Puisse Dieu vous exaucer de santé, de prospérité et de bien-être et vous octroyer une longue vie.*

*A mon cher mari Mohammed Assalhi à qui j'exprime mon amour éternel. Ses encouragements et sa patience et son amour m'ont été précieux pour terminer ce travail.*

*A mon cher bébé Mohammed-Adam qui a tant supporté mon absence. Tu es l'étoile qui a éclairé ma vie, tu m'as donné la force de continuer et d'avancer juste en regardant ton beau sourire innocent.*

*A mes chers frères, Hamzaoui et Omar, mes chères sœurs, Ghita et Zoubida, merci pour tous les moments de bonheur partagés, pour m'avoir encouragé et réconforté dans les moments de doute.*

*A mes chères nièces, Kenza, Malak, Jaouhara et Yakout.*

*A ma belle famille, merci de m'avoir accueilli à bras ouverts dans votre famille.*

***REMERCIEMENTS***

*Cette thèse représente des années de travail, de vie, des moments de joie et d'autres plus difficiles. A cet égard, Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH, le tout puissant et miséricordieux, pour cette grâce d'être en vie, et en bonne santé depuis ma naissance jusqu'à ce jour, et qui m'a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce travail.*

*Mes premiers et sincères remerciements vont tout d'abord à mon directeur de thèse* ***Monsieur Lahsen El Ghadraoui, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de FES,*** *pour avoir accepté de diriger ces recherches. Ses compétences professionnelles incontestables, sa disponibilité chaque fois, il était sollicité malgré ses nombreuses occupations, sa rigueur scientifique et ses qualités humaines m'ont beaucoup soutenue. Je témoigne ici la reconnaissance que je lui dois et la grande estime que je lui porte.*

*Je tiens également à remercier* ***Monsieur Mohamed BENABID (Ex-Chef du Centre d'Hydrobiologie et de Pisciculture d'Azrou)*** *et* ***Monsieur Hassan EL IDRISSI (Ingénieur forestier)*** *qui ont bien voulu m'apporter leur aide logistique pour l'échantillonnage des eaux dans le Lac Ouiouane.*

*J'adresse mes remerciements les plus sincères à* ***M. Said SEBTI*** *ainsi que* ***Professeur ECHAFI*** *de m'avoir facilité l'accès au laboratoire de la Faculté des sciences Mohamed Premier Oujda.*

*Mes vifs remerciements s'adressent à l'équipe du Centre d'hydrobiologie et de Pisciculture d'Azrou,* ***Mr Amare, Mr Mouha, Mr Houssein et Mr Hamid***

*J'adresse mes remerciements les plus sincères aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur de lire et d'évaluer mon manuscrit et de participer à la discussion de mon travail.*

*J'adresse contentement mes remerciements les plus vifs et sincères à mes collègues du laboratoire écologie fonctionnelle et environnement et amis pour leur amitié, leur appui moral, leur collaboration, pour toute la littérature qu'ils m'ont procurée, pour l'ambiance amicale et encourageante qu'ils ont toujours su créer et pour tout ce qu'ils ont fait pour moi. J'ai le plaisir de nommer en particulier :* ***kenza Bouayad, Chaimae Rais, Imane Telmcani, Imane Nechad, Imane Hinchi, Ismail Mansouri, Anisi Fazul.***

*Un immense merci à mon papa* ***Rachid Idrissi*** *qui m'a accompagné sur terrain d'une manière permanente.*

## RESUME

Le Moyen Atlas renferme la majorité des lacs naturels du Maroc. Ces écosystèmes aquatiques jouant un rôle très important au niveau de maintien de la biodiversité, ces lacs sont très influencés par de nombreuses activités anthropiques

Le lac Ouiouane est l'un des lacs du Moyen Atlas dont la dégradation est remarquable.

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés à l'étude des différents paramétres biologiques du lac en vue d'évaluer son état de vieillissement .Ainsi, nous avons traité principalement les variations saisonnières des paramètres physicochimiques des eaux du lac, la détermination qualitative et quantitative du phytoplancton et zooplancton, avec un inventaire sur le peuplement ichtyaufaune ainsi que la prolifération des macrophytes,

Le suivi a été réalisé pendant les douze mois de l'année 2015 à une fréquence mensuelle d'échantillonnage, au niveau du centre du Lac Ouiouane sur cinq niveaux de profondeur 0, 2, 5, 10 et 14 m, les résultats obtenus pour les paramètres physicochimiques nous ont permis de confirmer l'état eutrophe du Lac Ouiouane.

Au total, 19 taxons d'algues planctoniques ont été identifiés témoignant d'une faible diversité phytoplanctonique. Les Cyanophycées et les Chlorophycées sont les mieux représentés. Pendant la saison d'été nous avons remarqué l'apparition d'un bloom mono spécifique «*Ceratium hirundinella* ». Ce bloom de dinophycée semble être responsable de la mort des poissons pendant cette période d'étude. La population zooplanctonique a été dominée par les cladocères notamment *Daphnia longispina* et *Bosmina longirostris*, l'inventaire sur le peuplement ichtyaufaune du lac ,nous a permis de recenser cinq espèces de poissons : le Brochet, la Carpe, le Gardon, la Tanche et la Perche. Ce qui montre une diversité piscicole importante.

Nous avons montré aussi que la prolifération des macrophytes est très importante au niveau du Lac Ouiouane, lac est envahi par deux espèces *Ceratophyllum demensus* et *Myriophyllum spicata.*

Globalement, selon la classification OCDE (1984) et les résultats obtenus, le Lac Ouiouane est classé eutrophe, la dominance de *Daphnia longispina* confirme bien cette classification.



**Mots clé** : Moyen Atlas, Ouiouane, Vieillissement, paramètres physicochimiques, eutrophe.

## ABSTRACT

The Middle Atlas contains the majority of the natural lakes of Morocco. These lakes are very common as tourist sites and sport fishing places par excellence.

These lakes have been influenced by human activities. Therefore, a degradation of these ecosystems is remarkable.

In this study, we are interested in studying the aging of Lake Ouiouane in the Middle Atlas. We mainly dealt with the seasonal variations of the physicochemical parameters of the lake waters, as well as a qualitative and quantitative study of phytoplankton and zooplankton, with an inventory on the ichtyaufaune stand and the proliferation of macrophytes,

Monitoring was carried out during the twelve months of 2015 at a monthly sampling frequency, at Lake Central level on five levels of depth 0m, 2m, 5m, 10m and 14m, the results obtained for the parameters physicochemicals confirmed the eutrophic state of Lac Ouiouane.

A total of 19 planktonic algae taxa were identified, indicating low phytoplankton diversity. Cyanophyceae and chlorophyceae are best represented. In summer we noticed the appearance of a mono-specific bloom *Ceratium hirundinella*. The blooms at this dinophycea prove to be responsible for the death of the fish during this period. The population planktonic zoo was dominated by cladocerans including *Daphnia longispina* and *Bosmina longirostris*, the inventory on the ichtyaufaune stand of the lake has allowed us to identify five species: Pike, Carp, Roach, Tench and Perch. This shows an important fish diversity.

The proliferation of macrophytes is very important in the Lac Ouiouane, we noticed that the lake is invaded by two species *Ceratophyllum demensus* and *Myriophyllum spicata.*

Overall, according to the OECD (1984) classification and the results obtained, Lac Ouiouane is classified eutrophic, the dominance of *Daphnia longispina* confirms this classification.



**Keyword**: Aging, Ouiouane, physicochemical parameters, eutrophic.

## ملخص

يضم الأطلس المتوسط غالبية البحيرات الطبيعية المغربية، حيث تلعب هذه النظم الإيكولوجية دورا مهما في الحفاظ على التنوع البيولوجي.وتتأثر هذه البحيرات بالعديد من الأنشطة البشرية.

تعتبر بحيرة ويوان واحدة من بحيرات الأطلس المتوسط التي تعرف تطورا ملحوظا.

تطرقنا في هذا البحث إلى دراسة مختلف المعالم البيولوجية للبحيرة. وذلك بتتبع التغيرات الموسمية لكل من المعايير الفيزيائية والكيميائية لمياه البحيرة وأيضا تحديد نوعي وكمي للفيتوبلونكتون والزوبلنكتون مع جرد الأنواع السمكية والنباتية التي تقطن البحيرة.

تطلبت عملية التتبع 12 شهرا من سنة 2015 وذلك بأخذ عينات شهريا من وسط البحيرة على خمس مستويات من العمق 0م، 2م، 5م، 10م و 14م، النتائج المحصل عليها بالنسبة للمعالم الفيزيو-كيميائية تؤكد حالة تلوث البحيرة.

تم الحصول على 19 صنف من الفيتوبلونكتون مما يعكس انخفاضا في الكثافة الفيتوبنكتونية مع هيمنة مجموعتين Cyanophycée و Chlorophycée.

خلال فصل الصيف لاحظنا ظهور مكتف لنوع واحد *Ceratium hirundinella* المسؤول عن وفاة الأسماك خلال هذه الفترة. بالنسبة للزوبلونكتون هناك هيمنة مجموعة cladocères ولا سيما *Daphnia longispina* و *Bosmina longirostris*.

جرد الأسماك سمح لنا بتحديد 5 أنواع التي تقطن البحيرة وهي: carpe و Tranche و gardon وbrochet و perche الذي يدل على تنوع مهم.

تبين لنا أن بحيرة ويوان تعرف تكاثرا مهما للنباتات المائية. الأنواع التي تغزو البحيرة هما Ceratopllum.

عامة وفقا لتصنيف OCDE (1984) والنتائج المحصل عليها فإن بحيرة ويوان ملوثة وغنية بالمعدنيات بحيث هيمنة *Daphnia* تأكد تصنيف البحيرة.



**الكلمات المفتاحية**: الأطلس المتوسط، ويوان، معايير فيزيوكيميائية، مغذي.

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Zones humides marocaines inscrites sur la liste RAMSAR (Dakki, 1997)..... 12
Tableau 2 : Types de zones humides du Moyen Atlas Marocain..... 16
Tableau 3 : Caractéres morpho métriques des principaux lacs du Moyen Atlas..... 21
Tableau 4 : Classification de l'état trophique selon l'étude de l'OCDE (1982)..... 28
Tableau 5 : Mesures des paramètres physico chimiques relatifs a l'évolution saisonnière des paramétres physico chimiques, des concentrations en nutriments ..... 62
Tableau 6 : Liste qualitative des éspèces phytoplanctonique identifié..... 63
Tableau 7 : Variations verticales de la densite phytoplanctonique (x $10^4$ cellules.$l^{-1}$)..... 69

# Liste des figures

Figure 1 : Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas1/1000000 in hinaje et ait brahim, 2002) ..... 14
Figure 2 : Carte de répartition des lacs du Moyen Atlas Central (Chillasse et Dakki, 2004)..... 22
Figure 3 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un ecosysteme lacustre ..... 29
Figure 4: Schématisation des 4 étapes de manifestation de l'eutrophisation (Ramade, 1981)..... 30
Figure 5: Localisation géographique du lac Ouiouane (google maps) ..... 38
Figure 6 : Vue panoramique du lac Ouiouane dans le Moyens Atlas..... 39
Figure 7 : Indication du point de prélevement geographique represente par le cercle rouge ..... 40
Figure 8 : Photo montrant le processus de prélevement dans le lac Ouiouane du Moyen Atlas..... 41
Figure 9: Photo montrant le prélevement des echantillons d'eau pour une étude physico-chimique ..... 42
Figure 10: Variation spatio-temporelle de la temperature au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m ..... 51
Figure 11 : Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 ..52
Figure 12: Variation spatiotemporelle de l'oxygene dissous au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m ..... 53
Figure 13: Variation spatio-temporelle du ph au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m..... 54
Figure 14: Variation spatio-temporelle d'ion ammonium au niveau des profondeurs 0-2-5-10 et 14 m ..... 55
Figure 15 : Variation spatio-temporelle d'ion nitrate au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m..... 56
Figure 16: Variation spatio-temporelle d'ion nitrate au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m..... 57
Figure 17 **:** Variation spatio-temporelle d'azote total au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m ..... 59
Figure 18 : Variation spatio-temporelle d'orthophosphate au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m..... 59
Figure 19 : Variation spatio-temporelle du phosphore total au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m..... 60
Figure 20: Variations spatiotemporelles des teneurs en chl a au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m ..... 61
Figure 21 : Evolution temporelle du nombre d'especes enregistré dans la lac Ouiouane Moyen Atlas..... 64
Figure 22 : Evolution temporelle de l'indice de diversité shanon pour le lac Ouiouane Moyen Atlas..... 65
Figure 23: Evolution temporelle de l'indice d'équitabilite pielou du lac Ouiouane Moyen Atlas ..... 66
Figure 24: Evolution temporelle de l'indice de simpson du lac Ouiouane Moyen Atlas..... 67
Figure 25 : Variations spatiotemporelles des densités phytoplanctoniques au cours des campagnes de prelevements 68
Figure 26 : Variations spatiotemporelles de la biomasse phytoplanctonique du lac Ouiouane , aux profondeurs 0, 2, 5, 10 et 14 m ..... 70
Figure 27 : Photo de *Daphnia Longispina*..... 72
Figure 28 : Photo de *Bosmina Longirostris*..... 73
Figure 29 : Variation de la densité du zooplancton au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m ..... 74
Figure 30: Photos prises dans le lac Ouiouane qui montre l'envahissement des macrophites..... 76
Figure 31 : Photo pris au niveau du lac Ouiouane du *phragmites communis*..... 77
Figure 32 : Photo du *ceratophyllum demersum* prise dans le lac Ouiouane ..... 78
Figure 33 : Photo du *myriophyllum spicatum* observée dans le lac Ouiouane ..... 79
Figure 34: *Photo du brochet capturé dans le Lac Ouiouane*..... *81*

Figure 35 : Photo prise dans le lac Ouiouane avec une carpe capturée ..... 82
Figure 36 : Photo de la tanche capturée dans le lac Ouiouane ..... 83
Figure 37 : Photo de la perche *perca fluviatilis* ..... 84
Figure 38 : Photo du gardon *rutilus rutilus* ..... 85
Figure 39 : Photo montrant le brochet record capturé dans le lac Ouiouane ..... 87
Figure 40 : Photo montrant les poissons morts a la surface du lac Ouiouane ..... 87
Figure 41: Analyse des composants principaux des differents paramétres physico-chimiques etudiés ..... 88
Figure 42: Analyse dimensionnelle des différentes éspèces recoltées dans le lac Ouiouane en fonction differents mois d'etude ..... 89

# Sommaire

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ..... 3

I-ZONES HUMIDES ..... 4

1-BIODIVERSITÉ DES ZONES HUMIDES ..... 4

*a-Richesse spécifique* ..... *5*

*b-Teneur en azote et en phosphore (eau, sédiments)* ..... *8*

*c-Qualité bactériologique* ..... *8*

*d-Productivité des zones humides* ..... *8*

*e-Biomasse du phytoplancton* ..... *8*

2-CONVENTION RAMSAR ..... 9

3-CONVENTION CDB ..... 9

4-MAROC ET CONVENTIONS CDB ET RAMSAR ..... 10

II-ZONES HUMIDES DU MAROC ..... 11

III-MOYEN ATLAS ET ZONES HUMIDES ..... 13

1-MOYEN ATLAS ..... 13

2ZONES HUMIDES DU MOYEN ATLAS ..... 14

3-TYPOLOGIE DES EAUX MOYEN ATLASIQUES ..... 15

4-CARACTERISTIQUES DU BIOTOPE ..... 17

5-BIOCENOSES ..... 17

6-EAUX STAGNANTES ..... 18

7-ZONES HUMIDES ARTIFICIELLES (ZHA) ..... 18

8-FONCTIONS DES ZHA ..... 18

9-EAUX PHREATIQUES ..... 19

10-EAUX COURANTES ..... 19

IV-LACS DU MOYEN ATLAS ..... 20

*a-Aguelmam Afennourir* ..... *22*

*b-Dayet Ifrah* ..... *23*

*c-Dayet Iffer* ..... *23*

*d-Aguelmam Sidi-Ali* ..... *24*

*e-Dayet Aoua* ..... *24*

*f-Aguelmam Azegza* ..... *25*
*g-Aguelmam Tifounassine* ..... *26*
*h-Aguelmam Afourgah* ..... *26*
*i-Tiguelmamines* ..... *26*
*j-Aguelmam Aberkhane* ..... *27*
*k-Dayet Hachlaf* ..... *27*
*l-Aguelmam Ouiouane* ..... *27*
V-EUTROPHISATION DES EAUX ..... 28
1-PHASES DE L'EUTROPHISATION DANS UN PLAN D'EAU : ..... 29
2-PROBLEMATIQUE DES MACROPHYTES ..... 31
3-FACTEURS DE CONTROLE DE L'EUTROPHISATION ..... 32
*a-Nutriments* ..... *32*
*b-Azote* ..... *33*
*c-Rejets domestiques* ..... *33*
*d-Rejets industriels* ..... *33*
*e-Rejets diffus issus du lessivage des sols enrichis en engrais azotés* ..... *33*
*f-Phosphore* ..... *34*
*g-Matière organique* ..... *35*
*h-Climat et hydrologie* ..... *35*
METHODOLOGIE DE TRAVAIL ..... 37
I-Présentation du site d'étude ..... 38
II-Prélèvements et échantillonnages ..... 40
1-TECHNIQUE DE PRELEVEMENT DES EAUX ..... 41
III-Paramètres étudiés ..... 42
1.PARAMETRES PHYSIQUES ..... 43
*a-Transparence* ..... *43*
*b-Température* ..... *43*
*c-Conductivité* ..... *43*
2.PARAMETRES CHIMIQUES ..... 43
*a-Oxygène dissous* ..... *43*
*b-pH* *43*

*c-Ammoniaque* ..... *43*
*d-Nitrates* ..... *44*
*e-Nitrites* ..... *44*
*f-Azote total* ..... *44*
*g-Orthophosphate* ..... *44*
*h-Phosphore total* ..... *44*
*i-Dosage de la chlorophylle a* ..... *44*
IV-Paramètres biotiques ..... 45
1-PHYTOPLANCTON ..... 45
*a-Aspect qualitatifs* ..... *45*
*b-Aspect quantitatif* ..... *47*
*c-Dénombrement en microscopie inversée* ..... *47*
2-ZOOPLANCTONS ..... 48
V-PEUPLEMENT ICHTYAUFAUNE ..... 49
VI-MACROPHYTES ..... 49
RESULTATS ET DISCUSSIONS ..... 50
I.PARAMETRES ABIOTIQUES ..... 51
1-TRANSPARENCE ..... 51
2-TEMPERATURE ..... 51
3-CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ..... 52
4-OXYGENE DISSOUS ..... 53
5-PH : 54
6-ELEMENT NUTRITIFS ..... 55
7-IONS AMMONIUMS ..... 55
8-NITRATES ..... 56
9-NITRITES ..... 57
10-AZOTE TOTAL ..... 58
11-ORTHOPHOSPHATES ..... 59
12-PHOSPHORE TOTAL ..... 60
13-CHLOROPHYLLE A ..... 61
14-DIAGNOSTIC DU NIVEAU TROPHIQUE DU LAC ..... 62

II.PARAMETRES BIOTIQUES ..... 62
1-PHYTOPLANCTON ..... 62
A-APPROCHE QUALITATIVE ..... 62
-DIVERSITE ET COMPOSITION SPECIFIQUE DE LA COMMUNAUTE PHYTOPLANCTONIQUE ..... 65
*b-Approche quantitative* ..... *68*
DENSITE ET REPARTITION SPATIOTEMPORELLE DU PHYTOPLANCTON ..... 68
-BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE ..... 70
2-ZOOPLANCTON ..... 71
*a-Approche qualitative* ..... *71*
*b-Aspect quantitatif* ..... *74*
DENSITE ..... 74
III-MACROPHYTES ..... 75
IV-Peuplement ichtyaufaune du Lac Ouiouane ..... 80
V-Représentation statistique des différents paramètres physicochimiques étudiés ..... 88
CONCLUSION GENERALE ..... 91
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 92

# INTRODUCTION GENERALE

Il est mondialement admis aujourd'hui que les milieux humides, perçus comme des terres inutilisables dans le passé, jouent un rôle crucial dans le maintien de la vie sur terre, au même titre que les terres agricoles et les forêts. Ils sont structurellement, composés de faune, de flore, de sol et d'air. Ces écosystèmes comptent parmi les milieux naturels, les plus productifs du monde et constituent des milieux de vie très remarquables par leur richesse en biodiversité faunistique et floristiques

Le Maroc compte parmi les pays les plus riches en zones humides (estuaires, lagunes, merjas, dayas, lacs, cours d'eau). Par sa bonne situation géographique qui le dote d'une côte marine d'environ 3500 km et de systèmes lacustres et lagunaires qui couvrent actuellement une superficie totale de plus de 200 000 ha, soit environ 0,3% du pays, Il semble que ces milieux humides jouent un rôle substantiel dans le processus de lutte contre les effets de changements climatiques, vu leur capacité de régulation des régimes d' eaux et de stockage de carbone. Il est important aussi, de signaler que le Maroc continue à être un endroit essentiel pour de nombreuses espèces d'oiseaux et notamment les espèces migratrices. Ses zones humides constituent un lieu d'escale, d'hivernage et de reproduction de nombreux espèces , voir de milliers d'espèces d'oiseaux d'eau, dont certaines sont classées parmi les espèces les plus rares, voir menacées d'extinction (Joezh, 2014).

Globalement les zones humides du Moyen Atlas marocain (rivières, ruisseaux, sources et lacs) constituent la pièce angulaire. Cette masse de hautes terres est un réservoir marocain de biodiversité sans équivoque. Elle se distingue des autres montagnes marocaines par l'abondance de ses sources, favorisées par un aquifère riche ; ce qui explique la forte densité de son réseau hydrographique. L'altitude élevée de ses reliefs bien arrosés et la prédominance d'eaux phréatiques superficielles génèrent une multitude de sources permanentes fraîches à des températures allant de 10 à 18°C. Généralement à fort débit (Giudicelli et Dakki, 1984). Ces sources remplissent des fonctions hydrologiques, socio-économiques et écologiques précieuses à l'échelle régionale, voir nationale. Comme a été souligné par de nombreux auteurs, la biodiversité des sources et leur originalité leur confèrent un intérêt mondial. D'ailleurs, plusieurs sites abritent en exclusivité des espèces endémiques qui n'existent que dans leur milieu d'origine (Dakki et El Agbani, 1995 ; Chillasse et *al*., 1999,2006 ; Lamhasni et *al*., 2013).

Le Lac Ouiouane est l'une des zones humides du Moyen Atlas, jouant un rôle socioéconomique très important. Vu sa situation géographique, sa richesse en biodiversité, le Lac Ouioaune est considéré comme l'un des sites de pêche sportive tés important et un site touristique par excellence.

Au cours de ces dernières années, le Lac Ouiouane connait de nombreuses contraintes, dont l'installation des fermes agricoles dans la région, le pâturage massif, la fréquentation élevée des visiteurs du lac et la pèche par des barques à moteur, ce qui constitue une source de pollution pour le site avec des conséquences néfastes non négligeables sur la santé du lac est son environnement. Cependant, des études partant sur ce patrimoine marocain, reste rares voir absentes.

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de vieillissement du Lac Ouiouane dans le Moyen Atlas, dans un contexte actuel où tous les moyens disponibles sont mis en branle pour le développement socio-économique du pays et dans une perspective d'un développement durable, et ceci, en tenant compte, de toutes les composantes, non seulement économiques et sociales, mais aussi écologiques de notre milieu de vie.

Pour ce faire, nous avons effectué une étude bibliographique bien approfondie sur les zones humides d'une manière générale, et sur le Moyen Atlas en particulier , afin d'essayer de mettre en évidence les caractéristiques les plus importantes de ces écosystèmes naturels, suivis de notre méthodologie de travail précisant la technique d'échantillonnage au niveau de la station d'étude, les résultats et discussions et en fin une conclusion générale montrant les principaux points mis en apparence dans nos résultats, suivie des perspectives s'ouvrait sur des axes à approfondir dans le futur pour apporter des réponses à certaines questions soulevées dans la présente étude .

# SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

## I- ZONES HUMIDES

Les zones humides sont définie comme des étendues de marais, de fagnes, de tourbières d'eaux naturelles ou artificielle, permanentes ou temporaires, dont l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont, la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres. Ces milieux constituent des écosystèmes très diversifiés et très productifs. Ils sont considérées parmi les milieux naturels les plus riches et complexes du monde. Ces derniers semblent avoir des rôles profitables, tant pour la qualité de vie des populations humaines que pour celle des animaux et des plantes qui y vivent. Leurs rôle étant à la fois régulateur lors de fortes pluies ou de la fonte des neiges et qui la libère lentement lors de la saison sèche, ils constituent une barrière dans la fixation des sols et le ralentissement du débit des eaux de surface, en diminuant l'érosion des berges, quand le niveau d'eau est élevé. En outre il joue un rôle important dans la Filtration à travers la végétation dans l'épuration des eaux usées.

Ainsi la végétation filtre l'eau des lacs et des rivières et retient les sédiments en suspension, ce qui améliore la limpidité de ces eaux. Certaines plantes emmagasinent des polluants, comme le mercure, les phosphates ou l'azote, purifiant ainsi, les eaux usées par le rôle que joue la végétation. Le couvert végétal et la nourriture abondante et variée des milieux humides, en font un lieu idéal, dont plusieurs espèces animales et végétales dépendent. Les oiseaux migrateurs y font des haltes, pour se refaire des forces, avant de poursuivre leur migration. En plus les milieux humides permettent un développement rapide de la végétation. Cette production, appelée production primaire, est beaucoup plus importante pour une zone humide que pour une prairie, et elle est de 3 à 8 fois plus importante que celle d'une terre cultivée ou d'une forêt tropicale. Ces zones humides restent donc des milieux particulièrement très fertiles.

### 1- Biodiversité des zones humides

La richesse en éléments nutritifs étant le facteur important dans la prolifération de nombreux organismes macro et microscopiques. Les zones humides constituent des lieux très importants pour la biodiversité, puisqu' elles abritent plus de 40% des espèces végétales de la planète et 12% de toutes les espèces animales, dont beaucoup d'entre elles sont endémiques. Les récifs coralliens rivalisent les forêts tropicales humides en termes de biodiversité, ainsi les 20 000 espèces de poissons connues dans le monde, on estime à plus de 8 000 espèces qui vivent

dans les milieux humides d'eau douce et 800 espèces de coraux bâtisseurs de récifs. Il semble que le nombre total d'espèces associées aux récifs est estimé à plus d'un million. (Wetlands International Afrique 2015). La plupart des zones humides constituent, non seulement des milieux de vies de différentes espèces, mais aussi des sites critiques pour la reproduction et la migration de nombreuses espèces animales.

Il est à noter que la biodiversité des zones humides présente un potentiel économique considérable dans l'industrie pharmaceutique et dans la production de plantes de cultures commerciales dans certains pays comme la chine, telles que le riz. La diversité biologique permet à l'humanité de bénéficier des services particulièrement importants sur les plans nutritionnel, économique, sanitaire, environnemental, éducatif, esthétique, récréatif, social et culturel (Monval, et Pirot, 1989 ; RCB, 1990 ; Britton, et Crivelli, 1993). Cependant l'effet anthropique bat son plein, les mesures de captages des eaux souterraines et l'épuisement des nappes phréatiques, à tout cela s'ajoutent les effets possibles des changements climatiques avec les irrégularités des précipitations et une alternance entre périodes de crues et de sécheresse.

### a- Richesse spécifique

Les zones humides nationales constituent près de 0.3 % de la superficie totale du territoire national. Il serait d'un grand intérêt de déterminer la richesse spécifique des zones humides marocaines, cette détermination nous permettra d'établir des processus de surveillance pour en déceler les degrés d'impact des différentes perturbations sur ces milieux.

La Structure des peuplements des différentes populations animales des zones humides est caractérisée par une variation importante. Cette dernière pourrait constituer un indicateur important pour révéler d'éventuelle perturbation d'un milieu. En effet, dans la lagune de Nador par exemple , certaines stations bien que moyennement ,diversifiées, étaient constituées d'un certain nombre d'organismes (mollusques, crustacés et annélides) relativement bien abondants.il a été souligné qu' après la mise en place de bassins de lagunages, les mêmes stations privées de circulation suffisante d'eau sont devenues pratiquement azoïques, ne comportant qu'une seule espèce « *Detriti voresuspensivore* » appartenant au genre Corophium et qui en plus, s'abritait dans les coquilles des mollusques ayant décédé suite à la forte pollution.

Globalement dans tout milieu, les espèces endémiques constituent un patrimoine biologique et génétique important auquel il faudrait donner la priorité dans les approches de conservation. La présence d'espèces endémiques témoigne de l'originalité du milieu et sa particularité ; alors que la diminution de leur nombre ou de leur effectifs constituerait un système d'alarme annonçant la perte de cette originalité et la perte d'habitas.

Au cours de ces dernières décennies, il n'a été largement souligné que la pression des activités humaines sur les zones humides très importantes. Cette pression est déduite du rapport entre la surface exploitée et celle laissée à l'état naturel. Comme par exemple la lagune la Merja zerga (Maroc), classée comme réserve biologique permanente, qui connait un impact anthropique excessif, puisqu' on note une grande surface (7300 ha) de cette zone est anthropisée, mettant en péril le caractère naturel de cet écosystème, dont on s'efforce de donner à ce milieu et la durabilité même de ces activités.

Quand il ne s'agit pas de contraintes naturelles (sécheresse, entre autres), ce sont les activités humaines qui sont responsables d'importants, parfois, d'irréversibles dégâts écologiques. L'ensemble de ces actions se répercutent mal sur les différents éléments de la biodiversité ce qui peut provoquer leur épuisement, augmentant leur vulnérabilité ou encore précipitant et anticipant leur extinction. Afin de mieux gérer la protection des espèces et mieux évaluer le degré de la pression imposée sur les zones humides il est nécessaire de mener des suivis des différentes populations et identifier les espèces sensibles aux activités humaines

Par leur accessibilité, leur grande productivité, les zones humides constituent des milieux de préférence pour l'élevage des organismes aquatiques et donc, pour des activités profitables . Cependant, ces activités aquacoles ne concernent généralement pas des espèces indigènes autochtones mais des espèces exotiques (exotiques pour le site ou pour le pays), plus fructueuses, mais dont on connaît souvent pas surtout à long terme les impacts sur les espèces autochtones et sur les structures des peuplements et des populations. Comme mesure de sécurité, il est impératif de surveiller ces espèces afin de les prendre en considération dans une approche de conservation.

Les zones humides sont caractérisées par des paramètres biotiques et abiotiques (température, teneur, sédiment…) qui confèrent à chaque zone sa particularité.

La température de l'eau est un facteur extrêmement important dans les zones humides. Il est traduit par une pollution thermique ou une variation du volume ou de la profondeur de l'eau de cette zone.

La Teneur en chlorophylle a est un paramètre permettant de dé traduire la productivité des zones humides et constitue le premier maillon assurant le transfert et la diffusion de l'énergie à travers toute la chaîne alimentaire. Les zones humides dépendent de la chlorophylle a pour leurs santés et leurs vitalités, elle pourrait être utilisée pour mesurer un enrichissement du milieu en nutriments, et aussi le niveau d'eutrophisation.

Dans les zones humides le sédiment joue le même rôle que jouerait le sol dans un milieu forestier, en fournissant les éléments nécessaires pour la croissance des plantes aquatiques. Toutefois, la mobilité de ses éléments les uns par rapport aux autres en fait une "arme à double tranchants" offrant un abris et des éléments nutritifs pour la faune benthique (maillon trophique vital, pour de nombreux animaux et plus particulièrement les oiseaux, amphibiens, etc), mais, aussi, constituant un important "piège à polluants" contribuant, par conséquent, à l'auto dégradation du milieu. Des changements dans ce substrat pourraient entraîner d'importantes transformations dans la structure et le fonctionnement de ces écosystème en entier.

Les variations de la superficie d'une zone humide, et, plus particulièrement, la diminution de son étendue peut avoir des impacts nocifs sur sa diversité biologiques. En effet, une réduction de l'étendue ne peut aboutir qu'à une perte d'habitat, et aussi à des variations plus accentuées des facteurs physico-chimiques du milieu et, la biodiversité.

La teneur en eau et la durée de cette mise en eau dépend souvent du taux des précipitations et celui de l'évaporation. Les facteurs précipitations et température sont d'une extrême importance pour l'existence même de ces milieux.

Les prélèvements superficiels (petits barrages de dérivation, pompages superficiels, etc.) destinés essentiellement à l'irrigation ou à l'approvisionnement des populations en eau potable, se multiplient jour après jour ,non seulement dans les régions arides à subhumides, mais aussi, dans les zones montagneuses, ce qui provoquent des dégâts considérables au sein de diverses composantes de la biodiversité de ces zones humides. Ces prélèvements attaquent plus particulièrement, la faune des eaux courantes. C'est ainsi que de nombreuses espèces (surtout crénophiles), rares ou endémiques du Maroc ont peut être déjà disparu, suite a l'assèchement des rivières et du captage des sources. Les pompages dans les nappes se sont poursuivis et multipliés de manière alarmante, plus particulièrement lors des périodes de sécheresse. Par conséquent, la baisse du niveau piézométrique des nappes a affecté plusieurs marécages, voir des lacs de montages dont la mise en eau est devenue très temporaire,

sinon complètement entravée comme il a été observé dans certains lacs, Dayet Awa, Aguelmam Afennounir.

Les zones humides saumâtres, correspondant à des zones où se mélangent des eaux douces à des eaux salées, souffrent également, de ces prélèvements d'eau douce. Les eaux deviennent de plus en plus salées, ce qui implique des modifications profondes aux seins des peuplements. Et comme exemple Dans la Merja Zerga, le débit moyen annuel de oued Drader qui alimente cette lagune en eau douce est de 31,5106 $m^3$ ; quantité réduite à néant, sauf en hiver, à cause des prélèvements excessifs pour des besoins d'irrigation principalement.

**b- Teneur en azote et en phosphore (eau, sédiments)**

Ce sont deux éléments très utilisés dans les activités agricoles et comme indicateurs également de l'impact des pollutions d'origine agricole sur les zones humides.

**c- Qualité bactériologique**

De nombreux microorganismes proviennent des activités humaines domestiques ou industrielles et qui sont rejetées directement dans les zones humides. Leurs impacts sur les organismes des zones humides et sur la santé humaine ne sont plus à démontrer ce qui a fait de leur surveillance une approche couramment utilisée pour la conservation de ces zones humides.

**d- Productivité des zones humides**

Les oiseaux d'eaux et les limicoles en particulier, constituent, de par leurs modes de nutrition, un indicateur très utilisé pour rendre compte de la productivité du milieu en faune benthique.

Les amphibiens de par leur dépendance étroite de l'eau, sont également souvent utilisés comme des indicateurs de la richesse d'une zone humide. La richesse de ce groupe traduit également, la richesse de sa productivité. Il faudrait aussi signaler que les poissons, en particulier dans les lagunes, estuaires et barrages pourraient refléter la productivité du milieu puisqu'ils constituent une importante composante dans ces écosystèmes.

**e- Biomasse du phytoplancton**

Le fonctionnement de l'écosystème des zones humides et des différents maillons de la chaîne trophique dans ces milieux dépend, avant tout, de la quantité de phytoplancton présent dans le milieu en tant que premier maillon dans sa chaîne alimentaire.

### 2- Convention RAMSAR

Depuis plus de 40 ans, la Convention de RAMSAR œuvre à la protection des zones humides dans le monde. Ce traité intergouvernemental, adopté le 2 février 1971 à RAMSAR en Iran, est entrée en vigueur en 1975. Il a été signé par de nombreux pays. Cette Convention a pour mission « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable.

La désignation des sites, au titre de la Convention de RAMSAR, constitue un label international qui récompense et valorise les actions de gestion durable des ces zones et encourage leur mise en œuvre. Les états ayant ratifié la convention doivent donc :

Désigner des zones humides importantes, créer des réserves naturelles, fournir des renseignements sur l'application des politiques relatives aux zones humides.

Depuis, le cadre de la convention s'est élargie à des actions de préservation des ressources hydriques et surtout à la protection efficiente de la diversité biologique de toutes les zones humides par l'instauration et l'adoption de lois régissant leur utilisation. Suite aux multiples préoccupations suscitées par le déclin de la biodiversité, une autre convention sur la biodiversité a vue le jour lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro, le 5 juin 1992, et elle est entrée en vigueur le 29 décembre 1993.

### 3- Convention CDB

«L'humanité se montre arrogante en croyant qu'elle n'a pas besoin de la diversité biologique et que celle-ci joue un rôle accessoire. En fait, la diversité biologique est plus essentielle que jamais sur cette planète de six milliards d'habitants qui en comptera plus de neuf milliards d'ici 2050». C'était le message du Directeur exécutif du PNUE 2011-2020 la Décennie des Nations Unies sur la biodiversité.

La Convention sur la diversité biologique a pour mission d'assurer :La conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques et à un transfert approprié des techniques pertinentes, en tenant compte de tous les droits détenus sur ces ressources et techniques et grâce à un financement adéquat.

Actuellement on en compte 193 Parties à la Convention (192 pays et UE). En avril 2002, les parties se sont engagées à aboutir, en 2010, à une réduction importante du rythme actuel d'affaiblissement de la diversité biologique aux niveaux mondial, régional et national, comme contribution à l'atténuation de la pauvreté et au profit de toutes les formes de vie sur terre. En 2010, ces mêmes parties ont adopté le Plan stratégique 2011-2020 pour la diversité biologique, cadre d'action décennal de tous les pays et parties prenantes visant à conserver la diversité biologique et les avantages qu'elle apporte aux populations du monde entier.

### 4- Maroc et conventions CDB et RAMSAR

Le Maroc, prend, en effet, l'essentiel des éléments nécessaires pour son développement dans ses ressources naturelles dont les principales, à part le phosphate, sont, bien entendu, l'agriculture, les forêts, les eaux marines, les parcours d'élevage, la diversité des paysages (tourisme), qui sont toutes, des ressources biologiques fondées sur la notion de "race", de "variété"," d'essence","d'espèce", ou de "milieu". Son développement se fait donc, en grande partie, aux dépens de ces composantes et il en a résulté encore, des perturbations écologiques et socio-économiques incalculables dues à l'érosion de ce "fonds" biologique et culturel inestimable. La diversité biologiques avec toutes ses dimensions demeure notre principale ou encore notre seul capital, car si le phosphate, comme les autres ressources minières, d'ailleurs, est une ressource "éphémère" et si ses stocks demanderaient, dans les meilleures des conditions des millions d'années pour se reconstituer, les ressources biologiques, disponibles et renouvelables, constituent les seules ressources naturelles, pérennes lorsqu'elles sont gérées de façon rationnelle, sur lesquelles notre pays peut compter et planifier une stratégie et des actions pour un développement durable.

A cet égard, conscient de la grande valeur de la diversité biologique et de la valeur de la diversité et de ses éléments constitutifs sur les plans environnementaux : génétique, social, économique, scientifique, éducatif, culturel, récréatif et esthétique. Aussi lucide de la grandeur de la diversité biologique pour le progrès et pour la préservation des systèmes qui protègent la biosphère ainsi qu'en affirmant que la conservation de la diversité biologique est une préoccupation commune à l'humanité, préoccupé aussi par le fait que la biodiversité s'appauvrit énormément suite à certaines activités anthropiques. Le Maroc a réalisé la première étape de ce processus, en adhérant à la convention RAMSAR des zones humides en 1980 et en signant la Convention sur la Diversité Biologique en 1992, puis par sa confirmation en 1995.

## II- ZONES HUMIDES DU MAROC

Au Maroc, on en distingue 84 zones humides présentées par : de plages sableuses, baies, îlots, systèmes estuariens, lagunes, lacs naturels permanents et temporaires, de marécages, d'eaux stagnantes et temporaires, lacs de barrages, eaux courantes, canaux de drainage et d'irrigation. Malgré une situation alarmante partout dans le monde pour les zones humides avec une dégradation de la biodiversité animale et végétale, cette biodiversité revêt une importance écologique particulière. Ainsi on en compte plus de 24000 espèces animales et de 7000 espèces végétales avec un taux d'endémismes global de 11% pour la faune et de 25% pour les plantes vasculaires, taux presque sans égal par rapport à tout le bassin méditerranéen (Dakki ; 1997).

Il est à noter que le Maroc a ébaucher des actions qui concernent la conservation de la biodiversité des zones humides à travers l'élaboration du Centre Marocain pour les zones humides et la réalisation d'un inventaire qui vérifie les critères d'inscription dans la liste de RAMSAR d'une vingtaine de zones humides qui s'étendent sur une superficie de 500 000 ha, de manière à mettre à la disposition des décideurs et chercheurs des données fiables, et enfin la création de la stratégie nationale de conservation des zones humides. Autres signes de progression dans la préservation et la conservation, l'émission en 2010 de la loi régissant les aires protégées.

De nombreuse études ont été effectuées sur les zones humides, leur diversité et leur importance, dont le nombre est soigneusement répertorié (Melhaoui, 1994 ; Dakki, 1997 ; Cherkaoui et *al* 2005). Ces zones humides disposent d'une diversité au niveau de la faune et de la flore ayant fait, font et feront la vie de l'homme et de son bienêtre.

**Tableau 1 :** Zones humides marocaines inscrites sur la liste RAMSAR (Dakki, **1997)**

| Nom du site | Superficie | Année d'adhésion |
|---|---|---|
| Merja Sidi Boughaba | 650 ha | 1980 |
| Merja Zerga | 7300 ha | 1980 |
| Zones humides de l'Oued El Maleh | 1200 ha | 2005 |
| Embouchure de la Moulouya | 3000 ha | 2005 |
| Barrage Mohamed 5 | 5000 ha | 1980 |
| Complexe du bas Tahaddart | 11000 ha | 2005 |
| Complexe du bas Loukkos | 3600 ha | 2005 |
| Cap des trois fourches | 5000 ha | 2005 |
| Aguelman Afenourir | 800 ha | 1980 |
| Lacs Isly et Tislit | 800 ha | 2005 |
| Archipel et dunes d'Essaouira | 4000 ha | 2005 |
| Barrage El Massira | 14000 ha | 2005 |
| Aguelman Sidi Ali Tifounassine | 600 ha | 2005 |
| Marais et cote du plateau de Rmel | 1300 ha | 2005 |
| Sebkha Bou Areg | 14000 ha | 2005 |
| Oasis du Tafilalet | 65000 ha | 2005 |
| Complexe de Sidi Moussa-oualidia | 10000 ha | 2005 |
| Zones humides de Souss Massa | 1000 ha | 2005 |
| Embouchure de l'oued Draa | 10000 ha | 2005 |
| Moyenne Draa | 45000 ha | 2005 |
| Baie de Khnifiss | 20000 | 1980 |
| Sebkha Zima | 760 ha | 2005 |
| Embouchures Oueds Chbeyka Al Wa'er | 8000 ha | 2005 |
| Baie de Dakhla | 40000 ha | 2005 |

## III- MOYEN ATLAS ET ZONES HUMIDES

### 1- Moyen Atlas

Le Moyen Atlas (MA), chaîne montagneuse intracontinentale (figure 1) orientée NE-SW et allongée sur environ 350 km, fait partie du domaine atlasique, le long d'une coupe E-W. Cette chaîne est délimitée par la plaine de Saïs et le front de la nappe rifaine au nord et par le bassin de Guercif au nord-est, les hauts plateaux à l'est et la méséta côtière à l'ouest, enfin la dépression de la Moulouya au sud et sud-est (Arboleya et al., 2004).

Cette masse de hautes terres qui appartient au domaine meseto-atlasique regroupe deux entités structurales différentes (figure 2). Le Moyen Atlas plissé à l'Est et le Causse Moyen Atlasique à l'Ouest. Dans ces deux domaines, les grandes lignes structurales ont une orientation générales, NE-SW recoupée, par endroit, par des accidents NW-SE et E-W. Ces directions correspondent à des accidents du socle hercynien réactivés au cours de l'histoire alpine (Piqué. et Michard, 1989). Ces deux structures sont séparées par un accident majeur nommé« Accident nord moyen atlasique ».Cette morphologie est le résultat des activités tectoniques, notamment la compression alpine, ayant engendré d'énormes plissements (Michard, 1976 ; Arboleya et al., 2004; Maghradi , 2009). D'après Piqué (1994), les plus hauts sommets, individualisés par la succession des cuvettes séparées par les lignes de crêtes, sont : Jbel Tichoukt (2796m d'altitude), Jbel Bou-Iblane (3190m) et Jbel Bou-Naceur (3340m).

Cette région du Maroc constitue un site biologique très riche en biodiversité animale et végétale.

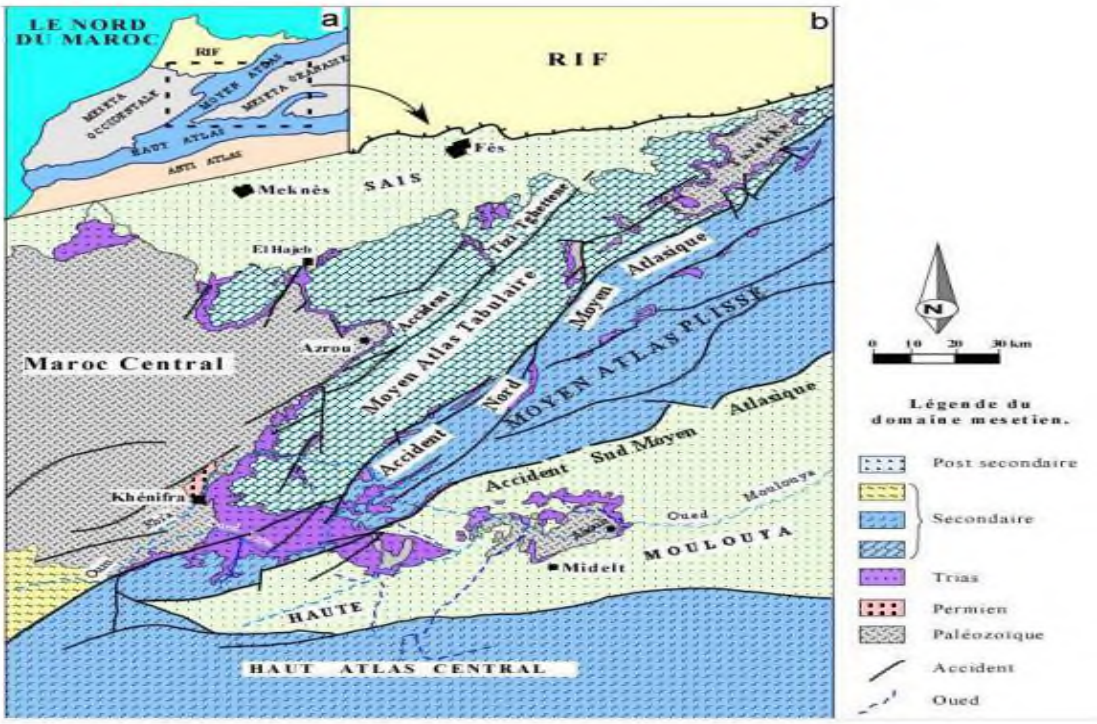


**Figure 1 :** Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas1/1000000
in Hinaje et Ait brahim, 2002)

## 2- Zones humides du Moyen Atlas

Le Causse Moyen Atlasique est drainé par trois grands bassins hydrogéologiques qui correspondent grossièrement, par leur situation ,aux trois grands bassins hydrographiques de la Moulouya, Sebou et d'Oum Er-Rbia (Benkaddour, 1993). Cette richesse en écosystèmes aquatiques est due essentiellement à la situation du Moyen Atlas dans une zone à pluviométrie importante recevant des précipitations très abondantes ainsi, qu'à la prédominance des formations géologiques carbonatées (calcaire, dolomie et calcaire-dolomitique) , favorisant la création de nombreuses galeries karstiques souterraines et plusieurs grottes et gouffres qui assurent l'écoulement souterrain de l'eau, la formation des lacs et l'alimentation des eaux courantes (Chillasse et Dakki, 2004). Cette masse de haute terre est sans contexte la chaine montagneuse la plus riche en zones humides dans toute l'Afrique du Nord : lacs naturels, rivières et sources et sites écologiques abondent dans la région laissant apparaitre des écosystèmes d'une valeur inestimables, selon (chillase, 2004). Si ces écosystèmes limniques ont des avantages hydrologiques, socioéconomiques et écologiques précieux, à l'échelle nationale, leur originalité leur procure une attention

mondiale incontestable conformément aux critères de la convention Ramsar qui leur consacre une protection et une préservation particulière.

### 3- Typologie des eaux Moyen Atlasiques

La typologie des eaux moyen-atlasiques (Tableau 2) décèle une grande diversité d'habitats. Les quatre grandes catégories d'eaux continentales habituellement reconnues par les limnologies (eaux stagnantes, eaux courantes et sources, zones humides artificielles, eaux phréatiques) sont bien représentées et peuvent être différenciées en de nombreux sous-types en combinant les régimes hydrologiques et thermiques des eaux (Chillasse et Dakki 2004)

**Tableau 2 :** Types de zones humides du Moyen Atlas marocain

| Type | Explication |
|---|---|
| Eaux stagnantes | Pièces d'eaux continentales sans écoulement superficiel |
| Lacs de haute altitude | Lacs permanents de montagne, froids (pouvant geler sur les rives) en hiver |
| Dayas | Pièces d'eaux stagnantes, temporaires ou semi-temporaires |
| Dayas d'eau douce | Dayas aux eaux douces à très légèrement saumâtres |
| Sources et eaux courantes | Ruisseaux, torrents, rivières où les eaux s'écoulent dans un sens unique |
| Sources | Eaux naturelles émergeant directement de la nappe phréatique, à t °C stable |
| Sources fraîches rhéocrènes | Sources froides à fraîches (4-14 °C) permanentes à écoulement rapide |
| Sources fraîches limnocrènes | Sources sans écoulement apparent en forme de mare d'eau stagnante |
| Sources intermittentes | Sources, souvent fraîches, à écoulement temporaire |
| Cours d'eau frais/froids | Cours d'eau permanents, froids à frais (20 °C en été) |
| Rapides froids supérieurs | Cours d'eau froids/ frais et rapides (torrents...) |
| Ruisseaux lents de montagne | Eurythermes (0-25 °C en été) riches en végétation |
| Ruisseaux temporaires | Ruisseaux s'asséchant en été et régulièrement remis en eau en période pluvieuse |
| Eaux phréatiques | Eaux souterraines (sous-écoulement de cours d'eau compris) |
| Zones humides artificielles | Milieux aquatiques côtiers ou continentaux entièrement créés par l'homme |
| Lacs de barrages | Lacs de barrages, plans d'eaux piscicoles, retenues sur cours d'eau/sources |

### 4- Caractéristiques du biotope

Rayonnement solaire La lumière qui n'est pas réfléchie à la surface pénètre et elle est absorbée par l'eau. Les plus courtes longueurs d'ondes pénètrent généralement le plus profondément. Les végétaux se développent grâce à la photosynthèse dans la zone éclairée, épaisse de quelques mètres voire des dizaines de mètres, appelée "zone euphotique". Les eaux plus profondes forment la "zone dysphotique", mal éclairée, qui commence lorsque l'intensité lumineuse devient inférieure à 1% de la lumière pénétré dans l'eau. Quant à la zone euphotique est qualifiée de "trophogène", qui engendre de la nourriture. La zone dysphotique est dite "tropholytique", qui ne fait que décomposer la nourriture. La couleur et le climat optique varient selon les lacs : on en trouve les eaux bleues, vertes (eutrophes) ou brunes (peu calcaires, avec matières humiques).

Température Un lac se refroidit et s'échauffe par le haut, en excluant l'effet des débits qui entrent et qui sortent. La température a une incidence générale sur le métabolisme. Mais dans les lacs, le régime thermique a en plus, une influence primordiale sur les échanges de masses d'eau, leur évolution physico-chimique et biologique.

### 5- Biocénoses

Bordures de végétation : Les ceintures végétales ou rhizomenon font progressivement liaison avec le milieu terrestre, depuis la végétation palustre, puis semi-aquatique (roselière, typhaie), jusqu'à la végétation aquatique flottante, fixée ou nageant, et enfin immergée (prairie aquatique). Elles sont plus ou moins étendues selon les conditions topographiques et la nature des sédiments. Les ceintures de végétation ont un rôle de producteur primaire, de support et d'abri pour une flore microscopique (algues, etc.) et des invertébrés. Vis à vis des poissons, d'amphibiens et d'autres vertébrés aquatiques, elles servent aussi d'alimentation, d'habitat et d'abri, de lieu de reproduction et de vie pour les formes juvéniles de nombreuses espèces.

Plancton est constitué par tous les organismes de petite taille qui vivent en pleine eau et en suivent les mouvements : phytoplancton ou plancton végétal (cyanobactéries, d'algues brunes et d'algues vertes) ; zooplancton formé de petits animaux, comme les protozoaires, rotifères, crustacés (Cladocères herbivores et détritivores, parfois prédateurs, et Copépodes) et larves d'insectes. Dans un lac, le phytoplancton forme le groupe de producteurs primaires le plus important. Son abondance définit le ``caractère trophique" qui dépend surtout de l'apport en azote et phosphore.

Necton est constitué par les animaux qui nagent activement et peuvent ne pas suivre les mouvements de l'eau, est formé essentiellement de poissons.

Fonctionnement de l'écosystème lacustre il repose sur leur propre production primaire, contrairement à celui des eaux courantes, à base de décomposition de la production primaire extérieure. La production primaire est la première production de biomasse à partir d'une énergie non vivante, (lumière solaire). Les producteurs primaires assimilent une partie de l'énergie solaire grâce à leurs pigments : c'est la production brute. Cette dernière est en partie consommée par le métabolisme (respiration) et la croissance. Il reste la production primaire nette. Elle est réalisée par les ceintures de végétation, et surtout par les phytoplanctons.

### 6- Eaux stagnantes

Les eaux stagnantes sont stockées dans une cuvette profonde et de grande étendue appelée lac ou barrage. Quant aux étangs et mares ils sont de plus faibles dimensions, les flaques sont de minuscules plans d'eau temporaires.

### 7- Zones humides artificielles (ZHA)

Il sont sous forme d'un barrage qui constitue un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à réguler le débit du cours d'eau et/ou à en stocker l'eau pour différents usages tels que le contrôle des :
crues, irrigation, industries, hydroélectricité, pisciculture, réserve d'eau potable, etc.

### 8- Fonctions des ZHA

Les fonctions principales, stratégiques pour les régions et pays où ils ont été bâtis, puisqu'ils permettent de constituer d'énormes réserves d'eaux douces en zones estuariennes, et ceci malgré des contextes environnementaux et socio-économiques très différents. S'ils ont favorisé l'émergence d'autres atouts, ils ont aussi eu des conséquences importantes sur les écosystèmes et les activités traditionnelles locales et régionales.

### 9- Eaux phréatiques

Contrairement aux eaux de surface confinées à quelques canaux (cours d'eau) et dépressions (lacs), l'eau souterraine est omniprésente dans le sous-sol. Elle y remplit les interstices entre les particules du sol ou encore les crevasses et les fissures du roc. La formation de nappes d'eau souterraines ou « nappes phréatiques » résulte de l'accumulation d'eau infiltrée depuis la surface du sol suite, par exemple, à un épisode de pluie. L'accumulation de réserves souterraines se produit alors que l'eau ainsi infiltrée, rencontre une couche géologique imperméable (Environnement Canada. 2011). Au Moyen Atlas, la prédominance des calcaires et dolomies a favorisé la création de grottes et de gouffres dans lesquels circulent les eaux (Chillasse ; et Dakki, 2004). Ainsi, le Plateau de Timahdie-Almis Guigou abrite une nappe fluviolacustre et volcanique offrant d'énormes quantités d'eau. Il constitue la source principale de réserve en eau de la région, Les circulations hydriques profondes proviennent du SW et se dirigent vers le NE, c'est-à- dire que la recharge est située dans le Moyen Atlas plissé .La géochimie des eaux montre une origine majoritairement Liasique pour les sources Bittit, Ribaa, Aguemguam, Amansayarmine, Bou Youssef et El Hajeb et majoritairement Triasique pour El Mir, Sbaa, Maarouf 1 et 2.

L'évolution de la piézométrie dans le temps montre des fluctuations saisonnières en relation avec les variations pluviométriques (Amrani et Hinaje, 2014).

Naturellement filtrée par le sol, l'eau souterraine est le plus souvent de bonne qualité et exempte de microorganismes pathogènes. Mais, elle demeure cependant une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent en affecter la qualité et la rendre impropre à toute fin. Celle du moyen atlas est impactée par le surpâturage au niveau de la forêt de cèdres qui empêche l'infiltration des eaux. Elle subit également les impacts d'une agriculture intensive (oignon, pomme, cerise, poire, vigne…) et de différentes activités industrielles**.**

### 10- Eaux courantes

Les eaux courantes caractérisent les ruisselets, ruisseaux, rivières et les fleuves. Il s'agit d'écosystèmes où l'eau est en mouvement, plus ou moins rapide, en fonction du débit

Ces hydro- systèmes sont liés à leur environnement terrestre proche, qui va jouer le rôle de surface collectrice des eaux de pluie, appelée bassin versant ou bassin hydrologique. Ces eaux météoriques vont en effet rejoindre la rivière, soit par ruissellement après que le sol saturé en eau ait joué un rôle d'éponge, soit par les sources et les eaux souterraines après une longue infiltration au travers des sols et de la roche mère perméable (souvent calcaire, réseau

karstique). Une rivière subit donc des variations de régime hydrique parfois importantes en fonction des saisons. L'hiver et le printemps sont souvent propices aux inondations, alors que l'été correspond à une période de sécheresse plus ou moins marquée durant laquelle le débit est très faible, voire interrompu (Farinttie, 2013).

## IV- LACS DU MOYEN ATLAS

Le Moyen Atlas est considéré comme le réservoir d'eau du Maroc. C'est une zone à haute altitude (> 1200 m) et à pluviométrie élevée où prennent naissance les deux bassins versants plus importants du pays. Le climat est de type continental de montagne méditerranéen (Chillasse et al, 2001).On en compte une trentaine de lacs naturels permanents ou semi-permanents, dont la moitié se trouve au Moyen-Atlas (tableau 3). Ces plans d'eau sont pour la plupart d'origine karstique à l'exception du lac Sidi- Ali considéré comme lac de barrage volcanique (Martin, 1981). Classés comme des lacs de haute montagne eutrophes, leurs superficies varient entre 6 ha et 250 ha (Gayral, 1954 ; Chillasse et al., 1999 , 2000). La grande partie des lacs du MA est concentrée dans l'aire géographique de Beni Mellal-Khénifra-Ifrane correspondant au causse Moyen Atlasique. Dans ce massif calcaire, où les précipitations sont abondantes et en partie sous forme de neige, la genèse de formations lacustres est favorisée par le karst et par l'intense fracturation du causse (Martin ,1981).

La répartition des lacs naturels dans le causse moyen atlasique est favorisée par leur intense fracturation facilitant l'alimentation par l'écoulement souterrain de l'eau (Nicod, 2000), le climat d'altitude subhumide à humide à températures basses et les accumulations hivernales de neige (Baali, 1998) et des pluies abondantes venant de l'Atlantique (Rhoujjati et al., 2010). En effet, le climat est l'un des facteurs clés qui gèrent la distribution des zones humides dans le Moyen Atlas (Baali, 1996).

Le Moyen Atlas abrite aussi plusieurs Dayas (mares temporaires) qui s'asséchaient régulièrement, même en dehors des années sèches. Il s'agit en général de cuvettes karstiques liées à des nappes superficielles dont la vidange se fait très rapidement. Ces cuvettes hébergent une faune invertébrée relativement intéressante.

La pérennité des lacs est strictement liée au niveau de la nappe souterraine. Cependant la recharge de la nappe est Influencée par le surpâturage au niveau de la forêt de cèdres qui empêche l'infiltration des eaux. Elle subit également les effets d'une agriculture intensive (oignon, pomme, cerise, poire, vigne…) et de différentes activités d'ordre industrielles.

**Tableau 3 :** Caractères morpho métriques des principaux Lacs du Moyen Atlas (Chillasse et al 2001)

| Lacs/Stations | Altitude (m) | Coordonnées | | Profondeur (m) | Superficie (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Aguelmam Azegza | 1470 | 32° 58’ N | 05° 27’ W | 26 | 50 |
| Aguelmam Wiwane | 1630 | 33° 08’ N | 05° 21’ W | 14 | 40 |
| Tiguelmamines | 1650 | 32° 55’ N | 05° 20’ W | 20 | 13 |
| AguelmamAberkhane | 1670 | 32° 55’ N | 05° 20’ W | 12 | 45 |
| Aguelmam Sidi-Ali | 2050 | 33° 05’ N | 04° 59’ W | 37 | 400 |
| AguelmamTifounassine | 1913 | 33° 09’ N | 05° 06’ W | 14 | 70 |
| Aguelmam Afennourir | 1796 | 33° 17’ N | 05° 16’ W | 2 | 300 |
| Dayet Ifrah | 1650 | 33° 34’ N | 04° 56’ W | | 250 |
| Dayet Iffer | 1440 | 33° 36’ N | 04° 55’ W | 12 | 6 |
| Dayet Awa | 1460 | 33° 39’ N | 05° 00’ W | 5 | 140 |
| Aguelmam Afourgah | 1380 | 33° 37’ N | 04° 52’ W | 9 | 12 |
| Plan d’eau Amghass | 1400 | 33° 23’ N | 05° 27’ W | 5 | 30 |
| Plan d’eau Zerrouka | 1600 | 33° 33’ N | 05° 06’ W | 3 | 3 |

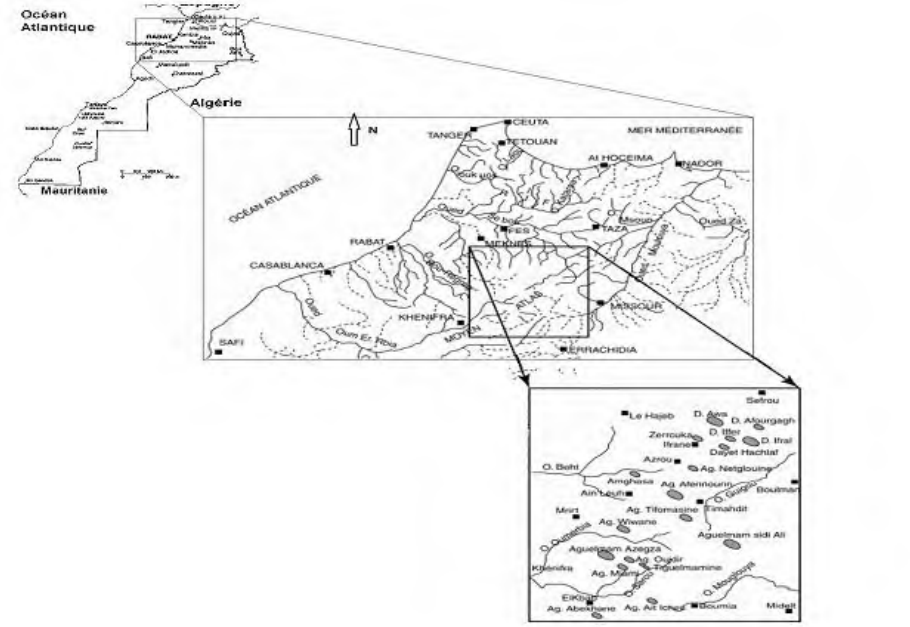


**Figure 2 :** Carte de répartition des Lacs du Moyen Atlas Central (Chillasse et Dakki, 2004).

Au moyen atlas marocain, on distingue de nombreux lacs qui jouent un rôle très importants dans la biodiversité dont Aglmane Afennourir, Dayet Ifreh, Dayet Iffer, Aguelman Sidi-Ali, Dayet Aoua, Aguelman Azegza, Aguelmam Tifounassine, Aguelman Afourgah, Tiguelmamines, Aguelmam Aberkhane, Dayet Hachlef , et Aguelmam Ouiouane.Chacun de ces lacs joue un rôle très importants selon les conditions qui règnent dans la région .

### a- Aguelmam Afennourir

C'est une zone humide peu profonde (2 m), de haute altitude (1798 m), située au milieu d'une vaste dépression karstique (calcaire) à fond plat, tout près du village d'Ain Leuh. Ses coordonnées sont 33° 17' N et 05° 16' W. ayant une superficie de 300 ha (Tableau 1), variable selon les saisons et les années. Sa situation géographique en pleine forêt cédraie au milieu du Moyen Atlas lui confère le statut de Ramsar le 20 juin 1980 (Chillasse et al., 2001), en raison des fonctions écologiques et hydrologiques qu'elles remplissent, pour la

conservation de la biodiversité mondiale et la pérennité de la vie humaine. La principale valeur écologique de ce lac de montagne particulier est la présence régulière d'une grande population des oiseaux nicheuses et hivernantes de Tadorne casarca Tadorna ferruginea (espèce rare selon Vielliard, 1970 ; 1996 ; Dakki et Hamzaoui, 1998 ; Chillasse et al. 2000). Malgré la rétention de l'eau par une digue artificielle, l'hydrologie de l'Aguelmam Afennourir reste dépendante des précipitations (neige en particulier) dans la mesure la digue est basse et la profondeur maximal du lac ne dépasse pas 3 m. Il s'assèche souvent après des hivers secs (Dakki et al., 2003). Le bassin versant est couvert d'une forêt de chêne vert (Quercus rotundifolia) et de Cèdre (Cedrus atlantica) (Chillasse et al., 2001).

En effet, les études de Chillasse et al. (2000, 2001 et 2004) ont donné un aperçu général sur la végétation terrestre et aquatique bordant ce lac et sur les oiseaux nicheurs, et celles de Dakki (1997) et Chillasse et al. (2001) ont donné un aperçu sur la faune aquatique en général (invertébrés et poissons) de l'écosystème.

**b- Dayet Ifrah**

Le lac Ifrah est un lac eutrophe peu profond (8m) qui se trouve à 55 km au Sud d'Azrou à une altitude de 1620 m, au nord du causse moyen atlasique, au fond d'une cuvette d'origine tectono-karstique de forme ovale (Hinaje et Ait-brahim, 2002). Le substrat du lit du bassin versant du lac est dans l'ensemble de nature dolomitique et/ou calcaire dolomitique (Etebaai et al. 2012).

Le lac est situé au nord du causse moyen atlasique avec un bioclimat typique méditerranéen subhumide à hiver froid. Ayant une superficie de 250 ha, ce lac est l'un des plus grands lacs de la région, alimenté essentiellement par la nappe phréatique, les eaux de ruissellement et la fonte des neiges.

Très peu de travaux limnologiques ont été effectués dans cet écosystème en raison d'accessibilité et de proximité des universités et de manques de projets. Des études saisonnières ont été menées par Etebaai et al. (2008, 2009 et 2012), aux termes desquelles ces auteurs ont montré l'environnement physico-chimique des eaux et la sédimentation actuelle confirmant le caractère eutrophe de ce lac.

**c- Dayet Iffer**

Lac eutrophe relativement profond (6m), situé à 12 km de la ville d'Ifrane à une altitude de 1440 m dans le causse moyen atlasique, au fond d'une cuvette de 1,5 ha avec 300 m diamètre, d'origine de dolomie liasique alors que le bassin versant qu'il occupe mesure environ 388 ha

(Rhoujjati et al., 2012). La superficie du lac est de 6 ha. Son niveau est variable en fonction des saisons et de la pluviosité annuelle. La végétation du bassin versant est dominée par Quercus rotundifolia (chêne vert) alors que la végétation aquatique est essentiellement composée de Typha latifolia, Nymphea alba, Potamogeton pectinatus et Myriophyllum spicatum (Chillasse et al., 2001). En effet, les eaux du lac peuvent être thermiquement stratifiées en été et geler en hiver. Elles sont généralement alcalines (pH = 8,3) et moyennement minéralisées. Les faciès chimiques sont bicarbonatés calciques reflétant la nature lithologique carbonatée de la dépression (Benkaddour et al., 2008 ; Rhoujjati et al., 2012).

### d- Aguelmam Sidi-Ali

Aguelmam Sidi-Ali est un lac eutrophe de profondeur maximale de 37 m. C'est un lac de 400 ha de superficie variable selon les saisons et les précipitations. Il se trouve dans une région relativement bien arrosée à une altitude de 2050 m dans le causse moyen atlasique (Chillasse et al. 2001). C'est l'un des plus importants lacs naturels du Maroc, déterminé par le barrage d'une coulée basaltique, doté d'un bassin versant apparent de 15,6 $km^2$, il est alimenté par des eaux de ruissellement et par des sources karstiques. Sa profondeur maximale varie fortement selon les années sous la dépendance des conditions climatiques, et en particulier des pluies et de l'évapotranspiration (Sayad et al., 2011). Le bassin versant du lac appartient à l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid ou étage montagnard méditerranéen (Morgan, 1982 ; Chillasse et al., 2001) où les fluctuations de la pluviométrie annuelle atteignent 680 mm en moyenne, en grande partie sous forme de neige qui parfois peut persister sur les hauts versants jusqu'au mois de mars. La température mensuelle moyenne varie au cours de l'année entre – 2°C et 30°C (Chillasse et al., 2003). Aguelmam Sidi-Ali a été admis comme site Ramsar en 2005.

### e- Dayet Aoua

C'est un lac oligotrophe peu profond (profondeur maximal de 5 m) situé à la sortie de la ville d'Immouzer à 15 kilomètre au nord d'Ifrane par la route RN 24. Ses coordonnées sont 32°58'N et 05°27'W. C'est un lac de 140 ha de superficie variable selon les saisons. Sa profondeur maximale reste faible et varie de quatre à cinq mètres (Abba et al., 2008). Le lac est entouré par une prairie humide rase et des massifs forestiers de chêne vert (Quercus ilex) et de Cèdre planté (Cedrus atlantica). Une ceinture de peuplier et quelques pieds de saules entourent le lac sur ses bords immédiats. La flore submergée et émergée est abondante et très

diversifiée par la présence de Myriophyllum spicatum, Myriophyllum alterflorum, Juncus bufonius, Carex sp, Polygonum amphibium, Ranunculus millifoliatus, Stirpus lacustris, Phragmites communis, Typha sp et des algues dominées par des espèces du genre Spirogyra et Chara (Chillasse et al., 2001 ; Fazul et al., 2013).

La situation géographique, l'altitude, l'exposition et le bioclimat subhumide confèrent à cette zone un régime pluviométrique qui présente des écarts pluviométriques très importants entre le minimum et le maximum, de l'ordre de 1 067 mm et très variables selon les années (Sayad et al., 2010). Les températures sont relativement basses (4,8°C) en hiver et peuvent atteindre, en été des valeurs plus élevées (21,1°C) (Abba, 2006 ; Sayad et al., 2010). Cependant, les eaux ne sont jamais thermiquement stratifiées au cours de l'année mais peuvent geler en hiver selon les années (Abba, 2006). Elles sont légèrement alcalines (valeurs extrêmes du pH sont 8,5 et 9) et relativement minéralisées. Les faciès chimiques sont bicarbonatés et magnésiques reflétant la nature bicarbonatée de l'encaissant (Abba et al., 2012)**.**

### f- Aguelmam Azegza

Aguelmam Azegza (lac vert) est un plan d'eau eutrophe profond (26 m de profondeur) situé à 30 km de la ville de Khénifra à une altitude de 1470 m dans le causse moyen atlasique, dans la grande cédraie d'Ajdir Izayane. Il fait partie du parc national de Khénifra. La lithologie du substrat du bassin versant et de la dépression du lac est d'origine karstique (calcaire). La superficie du lac est de 50 ha, en dehors des apports hydriques souterrains, est assurée par les précipitations (pluies et neiges) et le ruissellement .Les études de Flower et Foster (1992) et de Benkaddour et al. (2008) ont montré que le lac a connu une baisse alarmante de son niveau suite à une succession des années de sécheresses associée à des surexploitations des ressources en eaux en aval du lac. L'amplitude des variations du niveau du lac dépend principalement de la variation des précipitations annuelles. La profondeur maximale du lac peut atteindre plusieurs mètres. En 1984, le niveau d'eau estimé par Flower et Foster était de 33 m alors que l'étude bathymétrique de Benkaddour en 2006 a montré que la profondeur maximale du lac était estimée à environ 23m, le bioclimat du bassin versant est du type subhumide (Tableau 1). La végétation aquatique est dense et principalement composée de *Ranunculus aquatilis* et *Chara sp*, et des espèces accompagnatrices comme Myriophyllum spicatum, Polygonum amphibium, *Ceratophyllum demersum* et *Glygeria fluitans*. Cependant, la végétation de riverains du lac vers les versants, couverts par une forêt de *Quercus rotundifolia* et de *Cedrus atlantica*, est quasi inexistante. Les macrophytes jouent un rôle d'auto-épurateur du lac en régulant la minéralisation des eaux. Ces eaux sont légèrement

alcalines (pH = 8,3) et relativement minéralisées. Les concentrations en $Ca^{2+}$ et $HCO_3^-$ sont élevées reflétant la nature carbonatée de l'encaissant (Benkaddour et al., 2008).

### g- Aguelmam Tifounassine

Aguelmam Tifounassine est un lac eutrophe relativement profond (14m), situé au milieu d'une vaste dépression karstique, aux eaux riches en magnésium, en orthophosphates et en bicarbonates .Il fait partie du parc national d'Ifrane. Sa superficie L'alimentation en eau du système est assurée par les eaux de ruissellement, de fonte de neige et par des petites sources. Le couvert végétal est très réduit à cause du surpâturage. Elle ne reste conservée que sur les bords. Le peuplement de la flore aquatique est composé essentiellement de *Hypercium sp, Myriophyllum spicatum, Nasturium officinale, Phragmites communis, Ranunculus millifoliatus, Scirpus lacustris, Tolypella hispanica* et *Typha sp*. (Chillasse et al., 2001).

Les études de Chillasse et ses collaborateurs (2000, 2001,2003 et 2004) ont donné un aperçu général sur la flore terrestre et aquatique ainsi que la faune aquatique du lac.

### h- Aguelmam Afourgah

Aguelmam Afourgah est un lac naturel et permanant. Son niveau trophique est relativement avancé. Sa profondeur maximale est de 9 m. Il se situe à une altitude de 1380 m au centre du causse moyen atlasique. Les eaux du lac sont alcalines et bicarbonatées. La superficie varie fortement selon les années et les saisons dans la mesure où le lac est essentiellement alimenté par la fonte des neiges et des ruisseaux. Elle a été estimée en 1978 à 24 ha (Morgan, 1982), alors qu'en 2000, l'écosystème occupe une superficie de 12 ha.

Le contour du lac est caractérisé par une prairie humide très rase et par des massifs de chênes verts (*Quercus rotundifolia*) .Suite aux coupes abusives de la végétation ainsi qu'au dérangement excessif causé par les nomades, plusieurs espèces d'oiseaux nidificatrices comme le *Blongios nain*, le héron pourpré et le Bihoreau gris ont disparues de la région (Chillasse et al., 2001).

### i- Tiguelmamines

Le Tiguelmamine est un hydro système composé de trois lacs juxtaposés, non communicants en surface, en périodes de basses eaux. La plus importante des trois est la cuvette centrale à fond plat qui couvre une superficie de 6 ha et atteint 16 m de profondeur (Benkaddour, 1993). Au sud le lac est le plus profond avec une profondeur maximale de plus de 20 m. Au nord le lac le plus petit. Il est entouré d'une large zone marécageuse et temporairement submergée en

saison des fortes pluies .Son altitude est de l'ordre de 1350 m au centre de causse moyen atlasique avec un bioclimat humide, le couvert végétal est dominé par le *Cedrus atlantica* et *Quercus rotundifolia* (Lamb, 1995 ; Chillasse et al., 2001). La matière végétale aquatique tamponne les eaux du milieu. Selon Benkaddour (1993), les eaux au niveau d'Aguelmam central peuvent être thermiquement et temporairement stratifiées. Dans les conditions de stratification, les eaux de surface sont alcalines. Les faciès chimiques sont bicarbonatés calciques reflétant la nature carbonatée de l'encaissant (Benkaddour, 1993).

### j- Aguelmam Aberkhane

C'est un lac naturel relativement profond (12 m) situé à 1670 m d'altitude et à 32° 55' N et 05° 20' W. En effet, le lac se trouve à quelques kilomètres de Timdghasse des Ait Lahcen, province de Khénifra, au milieu d'une vaste dépression karstique de forme ovale de 700 m de longueur et de 500 m de largeur (Tableau 1). Il est accessible de Khénifra par la route de Tighassaline, Ait Yahia Ou Saad et Elkbab. Le site est peu accessible aux visiteurs et subit de ce fait peu d'impact, comparé aux autres lacs de la région. Ainsi, son avifaune est à la merci des chasseurs qui profitent de son éloignement du poste de garde forestier (Chillasse et al., 2001). Il a une superficie moyenne de 45 ha, variable selon les saisons et les années sous l'influence des précipitations. Les versants du lac sont couverts de chêne vert. Les terrains plats qui sont proches sont cultivés. La végétation aquatique submergée est essentiellement composée de *Myriophyllum spicatum*, de *Ranunculus aquatilis* et de *Polygonum amphibium*

### k- Dayet Hachlaf

Dayet Hachlaf est un plan d'eau de montagne peu profond (0,5 à 5m), d'altitude (1670 m), situé à 33° 32' N et 05° 20' W à quelques kilomètres d'Ifrane, sur la route de Michlifen, au milieu d'une dépression d'origine karstique de 60 m2 de superficie variable selon les saisons (Tableau 1). Le site fait partie du circuit des Lacs, dans le Parc national d'Ifrane (Bennouna et Sossey-Alaoui, 2010).

### l- Aguelmam Ouiouane

Lac Ouiouane est un réservoir semi-naturel qui fait l'objet de notre étude, profond (14m). Il se trouve à 34 km de M'rirt sur la route de Aïn Leuh au milieu d'une dépression karstique, lié avec un petit marécage riche en végétation et alimenté par des petites sources limnocrènes (Aguelmam n'Harcha). Son altitude est de 1630 m et ses coordonnées GPS sont 33°08' N et 05° 21' W (Tableau 1). Sa superficie couvre 40 ha variable selon les années et les saisons. Le niveau d'eutrophisation des eaux du lac est avancé ce qui génère une richesse en végétation

aquatique dominée par *Potamogeton pectinatus, Myriophyllum spicatum, Ranunculus aquatilis* et *Chara s*p. De même cet envasement permet par endroit le développement d'importantes Typhaies (*Typha sp*) et des Phragmitaies (*Phragmites communis*). Les versants du lac sont boisés ou couverts de chêne vert et des cultures en aval de l'écosystème

Les données limnologiques sur les caractérisations physicochimiques, planctoniques, microbiennes, restent très limitées, voire absentes d'où l'intérêt de la présente étude qui porte sur le vieillissement du lac.

## V- EUTROPHISATION DES EAUX

L'eutrophisation des eaux est l'un des problèmes environnementaux majeurs du monde contemporain. Les effets visibles sont le développement planctonique, la prolifération des algues et des macrophytes. Le programme coopératif international de surveillance des eaux douces de l'OCDE (1982) a fixé des valeurs limites pour les concentrations en phosphore et en chlorophylle a (Tableau 4). Ces seuils permettent de déterminer l'état trophique de nombreux lacs tempérés**.**

**Tableau 4 :** Classification de l'état trophique selon l'étude de l'OCDE (1982). PL = taux moyen de phosphore total, Chl moyen = taux moyen de chlorophylle a; Chlmax = taux maximum de chlorophylle a.

| **Classe des états trophiques** | **indices de l'état trophique (mg/m3)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Phosphore Total** | **Chl moyen** | **Chl max** |
| Ultra-oligotrophe | < 4.0 | <1.0 | <2.5 |
| Oligotrophe | <10.0 | <2.5 | <8.0 |
| Mesotrophe | 10-30 | 2.5-8.0 | 8.0 – 25 |
| Eutrophique | 35-100 | 8-25 | 25 -75 |
| Hypereutrophe | >100 | >25 | >75 |

Cette classification à multiples paramètres, reste cependant difficile à mettre en œuvre en zone tropicale (Parinet et *al*., 2004) ,l'utilisation de 4 paramètres simples (pH, conductivité, absorbance à 250 nm et indice permanganate) pourrait être suffisante pour estimer l'état trophique d'un système. Les paramètres proposés n'ont été testés que dans les lacs alimentés en eau douce.

L'évaluation du niveau trophique des lacs, aussi bien en zone tempérée qu'en zone tropicale, prend appui sur les apports nutritifs, mais aussi sur les facteurs environnementaux comme la profondeur et la morphologie des systèmes aquatiques (Moss et *al*., 2005 ; Hadj et al., 2008).

### 1- Phases de l'eutrophisation dans un plan d'eau :

Les plans d'eau constituent des milieux où se développe une chaîne de vie aquatique très complexe, qui comprend des multitudes d'organismes dépendant de l'équilibre de

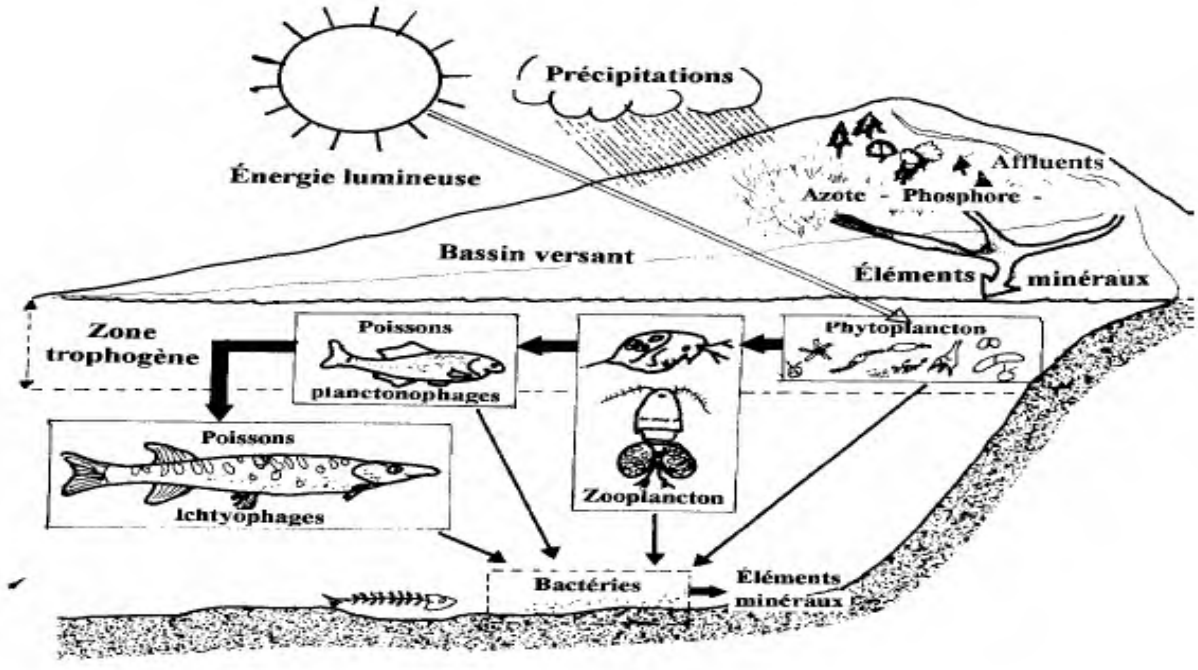


**Figure 3 :** Schéma simplifié du fonctionnement d'un écosystème lacustre

Selon Ramade (1981), les principales phases de l'eutrophisation des eaux peuvent être schématisées comme suit :

- ✓ Pollution croissante
- ✓ Prolifération des algues
- ✓ Décomposition anaérobie

- ✓ Dégradation extrême du milieu avec une simplification des espèces présentes

Il semble que la première étape n'est pas forcément négative pour le milieu, car celui-ci s'enrichit au niveau de chaque maillon de la chaîne trophique. La seconde étape, par contre, voit une grande partie de la faune disparaître au profit d'organismes dits inférieurs.

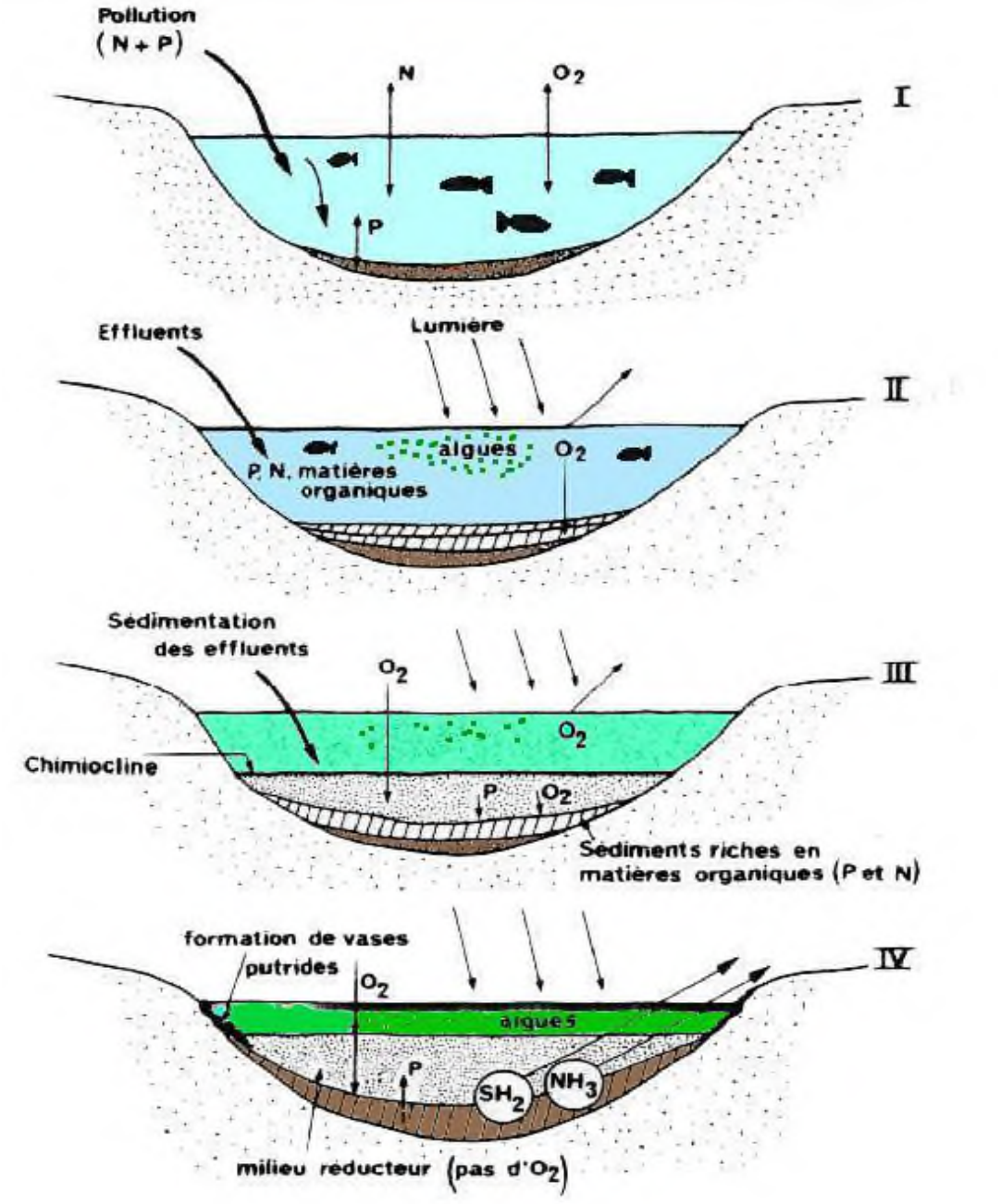


**Figure 4 :** Schématisation des 4 étapes de manifestation de l'eutrophisation (Ramade, 1981)

Le rythme de développement des différentes phases dépend de l'environnement du lac : occupation des bassins versants, flux et nature des polluants, luminosité, hydrologie et hydrodynamique, morphométrie, etc.…

Le développement excessif de macrophytes ou d'espèces phytoplanctoniques dans les milieux eutrophes conduit à une réduction de la transparence, qui va alors limiter l'activité photosynthétique. Par ailleurs, cette réduction de la transparence à moins de 1 mètre peut limiter les activités de baignade, car cela s'accompagne d'une augmentation des risques de noyade.

En cas de prolifération d'espèces phytoplanctoniques, l'activité photosynthétique est alors très forte, ce qui induit des variations importantes de la concentration en oxygène dissous et du pH dans les systèmes aquatiques à l'échelle de la journée : en période diurne le pH peut dépasser 10 et en période nocturne le milieu peut être totalement anaérobie, ce qui peut porter atteinte à la vie piscicole.

La décomposition de la biomasse phytoplanctonique ou des macrophytes conduit également à une consommation importante de la concentration en oxygène dissous et peut entraîner un anaérobie dans les systèmes aquatiques, ce qui s'accompagne généralement du développement d'odeurs nauséabondes et de mortalité piscicole.

Enfin, dans le cas du développement de cyanobactéries, des risques sanitaires liés à la présence des cyanotoxines sont à craindre. De plus certaines cyanobactéries produisent également des composés malodorants qui génèrent des nuisances olfactives aux abords des plans d'eau infestés.

## 2- Problématique des macrophytes

Les disfonctionnements écologiques aboutissant à la prolifération des macrophytes sont imputés à l'état d'hyper-eutrophisation des plans d'eau (Coetzee & Hill, 2008). Les macrophytes représentent un problème sanitaire préoccupant dans les zones tropicales, en favorisant le développement des moustiques, responsables du paludisme (Hill & Coetzee 2008 ; Ogutu–Ohwayo et al. 1997). Les systèmes de classification de l'état trophique aident à maitriser la cause de la prolifération des macrophytes, mais la maîtrise du fonctionnement spécifique des macrophytes et leur infestation, doit être analysée par une approche systématique (Wilson et al. 2005).

La prolifération des macrophytes concerne les végétaux flottants et les végétaux fixés (enracinés), qui peuvent être émergés ou immergés. Le développement des macrophytes commence généralement, aux abords des plans d'eau, suite à des apports en nutriments (azote, phosphore) et en matière organique.

Les macrophytes, en couvrant la surface du plan d'eau, réduisent fortement la transparence de l'eau et bloquent la photosynthèse des plantes inférieures, ce qui va induire une anoxie du milieu. La décomposition de la biomasse (macrophytes), apporte au plan d'eau de la matière organique qui va entraîner l'augmentation de la consommation d'oxygène et rendre le milieu réducteur. On assiste alors à la réduction des nitrates en nitrites, puis à celle des sulfates en sulfures, toxiques et sources de mauvaises odeurs.

### 3- Facteurs de contrôle de l'eutrophisation

Pour limiter le phénomène d'eutrophisation, il est nécessaire de connaître les différents facteurs de contrôle de l'eutrophisation.

#### a- Nutriments

Les nutriments (ou éléments nutritifs) sont nécessaires au métabolisme des végétaux, organismes autotrophes capables de transformer la matière minérale en matière organique. Si la croissance des végétaux n'est pas limitée par un autre élément (lumière par exemple), un accroissement de la quantité de nutriments apportée dans le milieu pourra leur permettre de se développer davantage .Ainsi en milieu aquatique, l'augmentation des apports de matière organique et surtout d'azote et/ou de phosphore est souvent tenue pour responsable des phénomènes de proliférations des plantes aquatiques. Le phosphore est souvent considéré comme facteur limitant en eau douce (Smith et al. 1999), cependant le rôle de l'azote ne doit pas être sous-estimé.

Après avoir touché les lacs puis les rivières, l'eutrophisation engendrée par l'augmentation des apports terrigènes de sels nutritifs azotés et phosphorés a atteint de nombreux estuaires dans le monde, et même de vastes zones côtières peu profondes. Selon cet auteur, la difficulté d'établir aussi bien le temps de résidence que la nature du facteur limitant (azote, phosphore ou lumière) rend peu fiable l'utilisation des abaques statistiques pourtant si efficaces dans la gestion de l'eutrophisation des lacs, tout en mettant en relief, l'intérêt des modèles numériques dynamiques en zone marine.

Dès lors, lorsque l'on s'intéresse à ces phénomènes, il est primordial d'établir un bilan des nutriments dans le biotope, en prenant en compte, si possible, l'évolution au cours du temps des différents paramètres impliqués dans ces processus. Ces nutriments ont trois origines : les apports directs par les précipitations tombant sur le plan d'eau, les apports par les cours d'eau en provenance des bassins versants et les apports provenant de rejets anthropiques directs dans le plan d'eau.

**b- Azote**

L'azote apporté au milieu provient de trois sources principales à savoir les rejets domestiques, les rejets industrielle et rejets diffus issus du lessivage des sols enrichis en engrais azotés

**c- Rejets domestiques**

L'azote est presque en totalité sous la forme d'azote organique (urée, acide urique, créatinine) et d'azote ammoniacal ($N\text{-}NH_4^+$). L'urée et les acides aminés s'hydrolysent rapidement pour donner de l'ammonium. De ce fait, selon le temps de séjour dans le réseau d'assainissement, l'azote organique sera plus ou moins ammonifiant. Aussi bien que l'on considère le rejet de 13 à 15 g d'azote (NTK) par habitant et par jour soit composé pour 2/3 de formes organiques (Aminot et al. 1990). La proportion moyenne des deux composants du NTK obtenue sur six eaux résiduaires urbaines s'établit à 70% de $NH_4^+$ et 30% de N organique, les composés oxydés ($NO_2^-$+ $NO_3^-$) n'atteignant pas 1%.

**d- Rejets industriels**

Selon l'activité industrielle, les concentrations d'azote dans le rejet sont très variables. Les industries les moins polluantes, telles que la fabrication de pâte à papier produisent des concentrations de 5 à 20 mg/L de NTK. Pour les industries les plus polluantes, le rejet présente des concentrations beaucoup plus élevées (fabriques d'engrais : 1500 à 5000 mg/L).

**e- Rejets diffus issus du lessivage des sols enrichis en engrais azotés**

**L**es apports d'azote d'origine agricole dus aux eaux de surface varient de façon considérable d'une région à une autre, en relation avec la pédologie, l'hydrographie, le climat, les pratiques culturales, la nature des récoltes et la plus ou moins bonne maîtrise des agriculteurs de l'emploi des divers engrais.

Selon la nature des apports fertilisants et la granulométrie du sol, on constate que les engrais représentent un surcroît de 10 à 50% des pertes naturelles (maximum pour des sols à faible

fraction fine). Cet apport se fait presque uniquement, sous la forme la plus mobile, c'est-à-dire l'azote nitrique (-NO3-).

L'ampleur et la hiérarchie des apports d'azote aux eaux de surface, sont donc fonction de l'importance relative de l'urbanisation (rejets domestiques), de l'industrialisation (rejets industriels) et de l'intensification de l'agriculture (rejets issus du lessivage des sols) de la région considérée.

### f- Phosphore

On distingue deux formes principales du phosphore :

Les phosphates « sous forme $HPO_4^{2-}$ ou $H_2PO_4^-$ dans les eaux naturelles » correspondent à la fraction de phosphore qui se trouve sous forme minérale dissoute.

Le phosphore total (PT) résulte de l'analyse d'eaux non filtrées. Cette fraction rassemble le phosphore organique et minéral, dissous et particulaire.

La majorité des apports de phosphore provient de sources ponctuelles : rejets urbains ou industriels, déjections animales provenant d'élevages traditionnels ou industriels. Les rejets domestiques sont moins importants que dans le cas de l'azote : on considère qu'un habitant produit journellement entre 3 et 4 g de phosphore total (PT), dont une moitié provient des excréta et l'autre de l'utilisation de produits détergents à base de poly phosphates. Le fait que les apports diffus de cet élément par lessivage des sols soient minoritaires s'explique par la faible solubilité du phosphore, présent dans les sols et particulièrement, des formes minérales constituées, par des phosphates de fer et d'aluminium. La majeure partie du phosphore appliqué comme engrais ou restitué par la décomposition de la matière organique est rapidement convertie en forme insoluble. Pour cette raison, on rencontre fréquemment dans les sols des concentrations de phosphore dissous inférieures à 0,01mg/L. Il apparaît que le phosphore provenant d'apports diffus parvient aux cours d'eau principalement, sous forme particulaire et par ruissellement de surface. Quelles que soient ses origines (entraînement à partir des sols agricoles du bassin versant, rejets industriels ou apports domestiques), le phosphore se retrouve dans les eaux de surface et dans les sédiments sous plusieurs formes : organiques (phospholipides, phosphoprotéines,…) et minérales (phosphates et poly phosphates), plus ou moins complexées. Les relations du phosphore avec les sédiments des cours d'eau et avec les sols régissent la plus grosse part des apports dans les eaux superficielles. La granulométrie des sédiments, doit être prise en compte. En effet, l'essentiel du pouvoir adsorbant est dû aux particules les plus fines (<50 µm) qui peuvent être remises en

suspension lors de variations de débit d'une rivière ou de remaniement des sols par érosion naturelle, défrichement ou terrassement. Le remaniement du sédiment entraîne des phénomènes de désorption du phosphore mais également le transfert de phosphore soluble de l'eau interstitielle dans la colonne d'eau (Matejka et al. 1992).

### g- Matière organique

Les apports importants de matière organique peuvent être une source de perturbation dans un écosystème aquatique avec une consommation de l'oxygène dissous lors de la décomposition de la matière organique. L'origine de l'excès de ces apports peut être endogène (forte production primaire), la désoxygénation des eaux se manifestera alors en profondeur, où le phytoplancton sédimente et où la lumière est insuffisante pour que la production primaire contribue au ré oxygénation des eaux. Une augmentation importante de la mortalité de la faune la plus sensible est alors observée (Pouriot et Meybeck, 1995).

A plus longue échéance, un apport exogène accru de nutriments et de matière organique non dégradée, associé aux matières particulaires qui sédimentent, comblent progressivement la « cuvette » des plans d'eau. Le processus d'envasement des plans d'eau, à l'origine naturel (à l'échelle des temps géologiques), connaît une accélération par l'apport d'éléments nutritifs au niveau des bassins versants. Ainsi, la dégradation de la qualité de l'eau apparaît parfois dès la mise en eau de certains réservoirs selon le type et la densité des activités humaines sur le bassin versant (Pouriot & Meibeck, 1995 ; Tymen, 1997).

### h- Climat et hydrologie

Le climat influence la productivité des lacs en agissant sur l'apport annuel d'eau et d'énergie, sur l'hydrologie du bassin versant et sur le taux de renouvellement de l'eau, ainsi que sur le transport des nutriments et sédiments vers le plan d'eau (Moss et al., 2005). Le climat détermine entre autres la température de l'eau, la durée de la période de croissance végétale, la direction et la force du vent, la pluviométrie et la stratification thermique du plan d'eau.

La disponibilité en énergie solaire est un facteur important du contrôle de la productivité phytoplanctonique.

Ainsi, l'augmentation de température dans les systèmes aquatiques, liée au réchauffement climatique peut accélérer le développement des microorganismes et aussi conduire à une majoration de l'eutrophisation : les blooms algaux sont observés sur des périodes de temps plus longues. Par ailleurs, cette augmentation de la température peut induire une augmentation

de l’évaporation et conduire alors à un accroissement des concentrations en nutriments dans les eaux, ce qui favorisera également l’eutrophisation.

Il a été montré que l’augmentation de température (entre 21 et 25°C) conjointe à une augmentation de la concentration phosphore dissous, liée au relargage des sédiments, favorise spécifiquement le développement des macrophytes flottants, au détriment du phytoplancton. (Feuchmayr et al,. 2009).

# METHODOLOGIE DE TRAVAIL

## I- Présentation du site d'étude

Le Lac Ouiouane est considéré comme l'un des fleurons touristiques du Moyen Atlas, situé dans la commune rurale d'El Hammam, à 68 km de khénifra. Il s'agit d'un lac d'origine artificielle, alimenté par des sources avoisinantes, ce lac se situe à 1600 m d'altitude et s'étend sur une superficie de 40 ha.

Il est riche en poissons tels que brochet, perche, carpe et gardon. Ce dernier est entouré par une végétation composée de chênes verts, de peupliers, de robiniers, etc. Le Lac Ouiouane est certes peu profond (14 mètres), mais la richesse de sa faune et de sa flore (aquatique et subaquatique) en font un site très attrayant.




**Figure 5:** Localisation géographique du Lac Ouiouane ( Google Maps)

Le Lac Ouiouan se situe à l'intérieur des formations karstiques de calcaires dolomitiques de lias correspondant aux formations de moyen atlas tabulaire. C'est un système alimenté à partir des contacts anormaux affectant ses formations et se comportent comme des sources au sein du lac. Le prolongement de la rivière souterraine proposée passe au niveau d'Ouiouan, les failles affectant ces formations atteignent la rivière souterraine et alimentent directement ces dépressions du lac .(Kirat et *al*.,2016)



**Figure 6 :** Vue panoramique du Lac Ouiouane dans le Moyens Atlas

## II- Prélèvements et échantillonnages

Une prospection du terrain a été réalisée afin d'identifier le site et l'accès au lac, Après une série de prélèvement préliminaires nous avons détecté que Les prélèvements doivent être effectués au point le plus profond représenté par le centre du lac avec profondeur maximale de 15 m environ et aux différents niveaux de profondeur, 0, 2, 5, 10, 14m.

Par ailleurs, il était important de pouvoir réaliser la campagne de suivi, effectuée en barque en une journée.

Les résultats présentés correspondent à une série de 12 prélèvements réalisés généralement une fois par mois au cours de l'année 2015.




**Figure 7 :** Indication du Point de prélèvement géographique représenté par le cercle rouge

### 1- Technique de prélèvement des eaux

Dans le cadre de la surveillance des eaux du lac, les prélèvements sont effectués en barque, en eau calmes, à quelques cm sous la surface (20 cm).

Les échantillons étaient collectés à l'aide d'une bouteille fermente de type VAN DORN horizontale et pré-filtrés sur un filet de vide de maille de 160 µm afin d'éliminer les détritus et un grand nombre de zooplanctons métazoaires.

Des bouteilles en plastique de 1,5 litre sont bien rincées et remplies d'eau prélevée. Pour tous les nouveaux prélèvements, la bouteille est rincée à l'eau distillée. Parallèlement, un bécher en verre de 250 mL était utilisé pour les mesures in situ (température, ph, oxygène dissous et conductivité électrique). Le matériel utilisé est rincée trois fois avec de l'eau distillée, puis avec de l'eau à analyser.



**Figure 8 :** Photo montrant le processus de prélèvement dans le Lac Ouiouane du Moyen Atlas

### III- Paramètres étudiés

Pour cerner l'état de la qualité des eaux du Lac Ouiouane, nous nous sommes intéressés essentiellement aux paramètres associés à l'eutrophisation (Ryding et Rast, 1994). Ces paramètres sont le pH, la transparence mesurée au disque de Secchi, la conductivité, la concentration en oxygène dissous (ou le % de saturation), les composées azotés ($NH_4^+$, $NO_3^-$, NTK), les composés phosphorés (phosphate et phosphore total), et la chlorophylle a.



**Figure 9:** Photo montrant le prélèvement des échantillons d'eau pour une étude physico-chimique

### 1. Paramètres physiques

Dans cette partie d'étude nous avons déterminé certains nombre de paramètres physiques à savoir la transparence, la température et la conductivité électrique

#### a- Transparence

La profondeur au disque de Secchi a été déterminée à l'aide d'un disque métallique lesté, attaché à une corde graduée. La profondeur est mesurée lorsque le disque devient non perceptible. Les mesures réalisées 3 fois au niveau de chaque station de prélèvement permettent d'avoir une valeur moyenne qui est retenue, comme valeur de la profondeur au disque de Secchi.

La transparence de l'eau permet de définir approximativement le niveau décompensation photique, niveau où arrive 1% de la lumière incidente. En l'absence d'un albédo mètre, ce niveau est estimé en multipliant la transparence de l'eau par un facteur de 2,56 (Lander et coll., 1986).

#### b- Température

La mesure *in situ* de la température est effectuée à l'aide d'un thermomètre à mercure. La précision de 0,1°C.

#### c- Conductivité

La conductivité de l'eau est mesurée à l'aide d'un conductimètre de type ODEON à 20°C (norme AFNOR). Elle est exprimée en $\mu s.cm^{-1}$.

### 2. Paramètres chimiques

#### a- Oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous ont été déterminées par un oxymétres de type ODEON.

#### b- pH

Les mesures du pH sont effectuées à l'aide d'un pH-mètre de type ODEON Reseach.

#### c- Ammoniaque

En milieu alcalin, les ions ammoniums réagissent avec le phoénol et l'hypochlorite de sodium en présence du nitroprussiate, comme catalyseur pour former un composé de type indophénol. La densité optique est lue à 630 nm.

### d- Nitrates

La détermination des nitrates est basée sur la concentration de l'échantillon par évaporation à moins de 70 °C, en présence de salicylate de sodium. La densité optique a été déterminée à 410 nm.

### e- Nitrites

L'ion nitrite réagit avec la sulfanilamide en milieu acide pour donner un composé qui forme avec la N-naphtylénédiamine un complexe coloré rose, dont la densité optique a été lu à 537 nm.

### f- Azote total

Toutes les formes de l'azote ont été oxydées en nitrates en milieu alcalinpar le persulfate de potassium à 120°C, à l'autoclave et ensuite, dosés selon la Méthode utilisée pour le dosage des nitrates.

### g- Orthophosphate

La principale forme de phosphore utilisable par le phytoplancton est l'ionorthophosphate ($PO_4^{3-}$). Le dosage de cet ion repose sur la formation en milieu acide, d'un complexe entre l'ion phosphate, le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique pour donner un composé coloré bleu, dont la densité optique est lue à710 nm.

### h- Phosphore total

Le phosphore total est obtenu après minéralisation par l'acide sulfurique et le persulfate de sodium à 120 °C à l'autoclave, puis dosé suivant le même protocole que celui décrit pour les orthophosphates.

### i- Dosage de la chlorophylle a

La chlorophylle a été extraite selon la technique de Millerioux (1976).Les algues sont recueillis sur un filtre en fibres de verre (Whatman GF/C de porosité 0.45µm) par filtration de l'eau sous vide, avec adjonction du carbonate de magnésium, pour éviter l'acidification de la chlorophylle a. Les filtres ont été par la suite, broyés au Potter dans quelques ml d'acétone à 90%, puis placés à 4° C dans l'obscurité pour l'extraction des pigments. Après 6 heures d'incubation, une centrifugation de l'extrait acétique a été réalisée afin d'éliminer les

particules détritiques. Par la suite le volume a été ajusté à 10 mL par l'acétone à 90%. La lecture par spectromètre a été faite à des longueurs d'ondes en nm d'ordre de 630,645 et 665.

Pour le calcul des concentrations de la chlorophylle a, il a été effectué par l'équation proposée par le groupe de travail SCOR-UNESCO (1966) :

**Chl.a(mg/m ) = (v (11,64 DO663nm - 2,16 DO645nm - 0,10 DO630nm))/ L.V**

Avec :

v = Volume de l'extrait acétonique (en mL).

V = Volume de l'échantillon (en L).

L = Chemin optique de la cuve (en cm).

D.O = Densité optique.

## IV- Paramètres biotiques

### 1- Phytoplancton

#### a- Aspect qualitatifs

La diversité globale peut être déterminée, selon Groga (2012), par plusieurs modèles mathématiques, tels que la constance (C), l'indice de Shannon-Weaver (H') ou l'indice de Simpson. Un indice de diversité biologique est une fonction mathématique qui résume l'information disponible liée à la présence d'organismes dans un milieu donné.

Dans un premier temps, les échantillons formolés (5%) destinés à la détermination des espèces sont obtenus par plusieurs traits de filet à phytoplancton, horizontaux et verticaux (pris en 5 à 10 min parcourant plus de 50 m) et concentrés dans un collecteur puis transvasés dans un flacon pour la détermination. Ensuite au laboratoire, une goutte d'eau, est prélevée à l'aide d'une pipette après homogénéisation. La goutte est déposée entre lame et lamelle puis observée au microscope photonique OPTIKA (B-350) muni d'un caméscope HD-1080P (AIPLTEK).

Le comptage se fait à l'objectif 40, en effectuant deux baillages diamétraux. Cela conduit à un nombre d'espèces (généralement de plus de 100 individus). Suivant la morphologie générale des taxons observés, l'identification des espèces a été faite à partir des travaux de BOURRELLY (1966, 1968, 1970) et des bases des données en ligne.

La richesse spécifique des organismes prélevés a été déterminée. Cette approche mesure la diversité la plus élémentaire, fondée directement sur le nombre total d'espèces dans un site. Les indices de diversité étant des outils permettant de caractériser la composition du phytoplancton et l'évolution temporelle de sa biodiversité (Dubroca, 2011). Un indice de diversité exprime l'importance relative du nombre des espèces abondantes dans un écosystème. Dans notre étude, pour avoir une idée globale sur l'organisation spatio-temporelle du peuplement phytoplanctonique dans le site étudié, les paramètres suivants ont été déterminés :

Constance (C), appelée aussi fréquence ou occurrence, est l'indice de présence de l'espèce dans le milieu. Elle est exprimée en pourcentage et déterminée par la formule suivante :

$$\mathbf{C = ni / N \times 100}$$

Avec ni est le nombre de relevés ou une espèce i s'est présenté et N est le nombre total des prélèvements.

L'indice de Simpson permet d'estimer la biodiversité d'une communauté et met aussi en évidence la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce (Simpson, 1949), il est calculé suivant la formule ci- dessous :

$$\mathbf{d = 1 - x [(ni \times (ni - 1)) / (N \times (N - 1))]}$$

Avec ni est le nombre de relevés où une espèce i s'est présentée et N est le nombre total des prélèvements.

L'indice de Shannon-Wiever tient compte de la diversité des espèces qui composent les peuplements dans un milieu. Il établit le lien entre le nombre d'espèces et le nombre d'individus d'un même écosystème ou d'une même communauté. Le calcul de la diversité spécifique s'exprime par la formule suivante :

$$\mathbf{H' = - \sum [(ni / N) \times \log2 (ni / N)]}$$

Avec ni est l'effectif de l'espèce i ; N est le nombre total d'individus en considérant toutes les espèces.

L'indice de Shannon-Wiener est largement utilisé pour décrire la diversité de phytoplanctons et l'état d'écosystème. La diversité prend en compte non seulement le nombre d'espèces, mais également la distribution des individus au sein de ces espèces et donc, la richesse spécifique, le nombre total d'espèces dans un échantillon. L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Piélou.

L'indice « J » de Piélou permet de mesurer l'équitabilité (ou équi-répartition) des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces. L'indice de Piélou mesure la répartition entre la diversité (H') et la diversité maximale (H'max). Il varie entre 0 (dominance d'une seule espèce) et 1 (équi-répartition des individus dans les peuplements). Il est minimal lorsque qu'une espèce domine la communauté et il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans la communauté. Il s'obtient par la formule :

$$\mathbf{J = H'/H'max = H'/log2\ S}$$

Où : H' = indice de Shannon-Wearver et S le nombre total d'espèces présentes dans un échantillon.

### b- Aspect quantitatif

L'approche quantitative de phytoplanctons est importante dans la mesure où cette fraction planctonique est l'élément dominant dans ces milieux. Plusieurs méthodes d'estimation de sa biomasse, directes ou indirectes, sont proposées. L'estimation indirecte du phytoplancton est une détermination basée sur la quantification d'un composant de cette biomasse (chlorophylle, ATP, carbone, phosphore et azote particulaire) alors que la méthode d'estimation directe du phytoplancton est unique et est la numération qui consiste à un dénombrement des cellules algales existantes dans l'eau analysée. La numération se fait soit par comptage automatique par cytomètrie de flux (Guiselin, 2010 ; Houliez et *al*., 2012) soit par comptage au microscopie. La cytométrie en flux (CMF) est une technique récente, très utilisée en hématologie, permettant de faire défiler des particules, molécules ou cellules à grande vitesse dans le faisceau d'un laser, en les comptant et en les caractérisant.

Par ailleurs pour étudier le phytoplancton on utilise habituellement le microscope inversé (UTERMÖHL, 1958). Nous avons utilisé, pour notre étude, la méthode d'UTERMÖHL (1958) modifiée par LEGENDRE (1971) et WATT (1972) pour suivre l'évolution de la biomasse phytoplanctonique dans le Lac Ouiouane.

### c- Dénombrement en microscopie inversée

En tant que concept écologique, l'abondance est une composante importante de la diversité (HURLBERT, 1971). La méthode de comptage d'UTERMÖHL (1958) modifiée par LEGENDRE (1971) et WATT (1972) a été adoptée pour l'étude quantitative du phytoplancton. Il s'agit d'un dénombrement des cellules phytoplanctoniques à l'aide d'unmicroscopie inversée (OLYMPUS).

Après prélèvement, les échantillons sont immédiatement fixés au lugol fort (5 à 8 gouttes pour 100 mL d'échantillon ou 2,5 mL pour 500mL) (Laplace et *al.,* 2009). Cette technique s'appuie sur la sédimentation des cellules d'algues dans une chambre de sédimentation (24 heures), d'un échantillon de volume connu (100 mL) en raison de la faible densité du phytoplancton, pour faciliter les comptages en gardant une bonne représentativité, en termes d'effectif de l'ensemble des organismes présents. Ce comptage de cellules est ensuite fait sur un espace de 30 champs. Pour les colonies, le nombre de cellules par colonie a été déterminé. La répartition de ces champs sur la surface de la cellule de comptage est aléatoire avec un comptage débutant systématiquement au niveau de la partie gauche de la cuve et se terminant au niveau de sa partie droite. Le comptage est effectué avec grossissement 40 (parfois à l'objectif 20 si la concentration est faible). Sont pris en compte dans l'énumération, seuls les individus dont la structure est restée intacte. Le calcul de la densité est effectué selon la formule suivante :

$$\mathbf{D = 1000.n.S/s.V}$$

Avec D est la densité en nombre d'individus par litre et n est la moyenne du nombre d'individu d'une espèce et S/s est le rapport entre la surface de la cuve de comptage et la surface du champ oculaire ; 1000 présentes le facteur de conversion en litre et V est le volume d'échantillon sédimenté en ml (100 mL).

Les biomasses sont calculées à partir des biovolumes spécifiques moyens suivant les travaux de nombreux auteurs (Olenina et *al.* 2006, Druart et Rimet, 2008 et CEAEQ, 2012), en admettant que $10^6\ \mu m^3 = 1\ \mu g$.

### 2- Zooplanctons

Les prélèvements ont été réalisé chaque mois à l'aide d' une bouteille Van Dorn de 3 litres de volume , à cinq niveaux de profondeur, neuf litres ont été prélevées de chaque niveau de profondeur est concentrés à l aide d'un filet à zooplancton de 70µm de vide de maille ,les échantillons biologiques sont ensuite fixés au formaldéhyde (concentration finale 4 %) et identifiés et dénombrés, sous une loupe binoculaire.

Pour dénombrer les individus, le comptage ont été effectués sur deux à trois prises de 10ml pour chaque échantillon,

La densité des individus a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$D= (1000*n)/v$$

Avec D est la densité (exprimé en individus par litres), n est le nombre d'individus trouvés dans le volume analysé au microscope et v est le volume d'eau analysés en mL

## V- PEUPLEMENT ICHTYAUFAUNE

Les poissons dans les écosystèmes lacustres présentent une grande diversité, tant sur le plan de leur niveau trophique (carnivore, planctonophage, détritivore), que de leurs exigences de vie, mais aussi de leur comportement et mode de reproduction (Gillet 2001). De par sa position aux niveaux supérieurs du réseau trophique, le poisson est un modèle biologique d'intérêt (Karr 1981), d'une part, il agit en tant que régulateur de la chaîne alimentaire, l'effet « top-down » (Mehner 2010) et intègre les changements qui ont lieu à des niveaux trophiques inférieurs (Angeli et al., 2001), d'autre part, son développement et son maintien dans un milieu donné, dépend fortement des échelons inférieurs dans la pyramide trophique, l'effet « bottom-up » (Lazzaro 2009). Enfin, sa durée de vie relativement longue, par rapport aux autres organismes aquatiques, lui permet de pouvoir intégrer les changements d'états des écosystèmes dans le temps

Dans le Lac Ouiouane le poisson représente également un intérêt fort, puisque plusieurs espèces sont exploitées par la pêche amateur, mais aussi professionnelle.

Le protocole d'échantillonnage qui a été choisi pour le suivi annuel du peuplement de poissons, correspond à l'utilisation de filets benthiques, posés de façon aléatoire, pour capturer le maximum des poisons et de les identifier et enregistrer leurs tailles et poids puis les remettre au Lac Ouiouane.

## VI- MACROPHYTES

Pour l'appréciation de la flore macrophytique, nous avons procédé d'abord à la détermination du taux de recouvrement du lac à l'aide d'une estimation visuelle selon OFEV. Les différentes espèces prélevées ont été identifiées soit directement sur le terrain ou au laboratoire.

# RESULTATS ET DISCUSSIONS

## I. PARAMETRES ABIOTIQUES

### 1- Transparence

La profondeur de disparation de disque de secchi, au point le plus profond de lac varie de 1,4 à 1,7 m avec une moyenne annuelle 1,5 m. En comparaison à d'autres travaux les valeurs enregistrées pour la transparence dans notre étude restent très faible que celles rapporté par Fazul en 2016 au niveau de Dayet Ouwa.

Nous avons remarqué que les valeurs enregistrées pour la transparence présentent peu de variabilité dans le temps, l'eau du Lac Ouiouane reste trouble tout au long de l'année puisque nous avons enregistrés des valeurs inferieurs à 4 m cela peut être expliqué par le développement phytoplanctonique et aussi l'envahissement du lac par la *Myriophyllum spicatum* qui se développe à une très grande vitesse (El Alami 2002).

### 2- Température

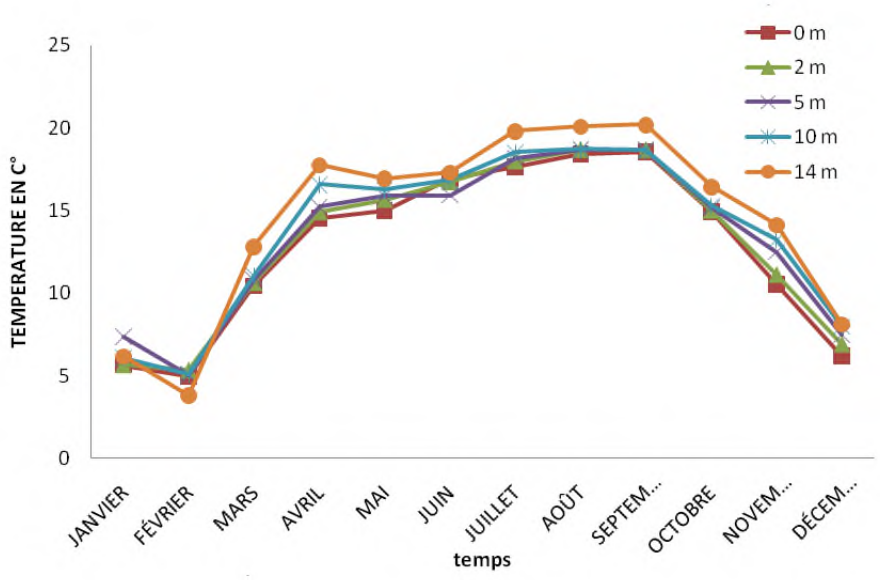


**Figure 10:** Variation spatio-temporelle de la température au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Durant le cycle d'étude, les valeurs enregistrées pour la température des eaux du Lac Ouiouane varient de 3,81°C enregistrée prés du fond (14 m de profondeur) au mois de février et à 20,2°C prés du fond au mois de septembre. Cependant, la température de la colonne d'eau augmente en fonction de la profondeur donc un gradient thermique croissant de la surface

vers le fond qui s'installe et persiste. Cette stratification thermique de la colonne d'eau donne un épilimnion froid et un hypolimnion chaud.

Les résultats obtenues sont de même ordre de grandeur que celles rapportées par ( Fazul ,2016) sur Dayet Aoua lac oligotrophe .

### 3- Conductivité électrique

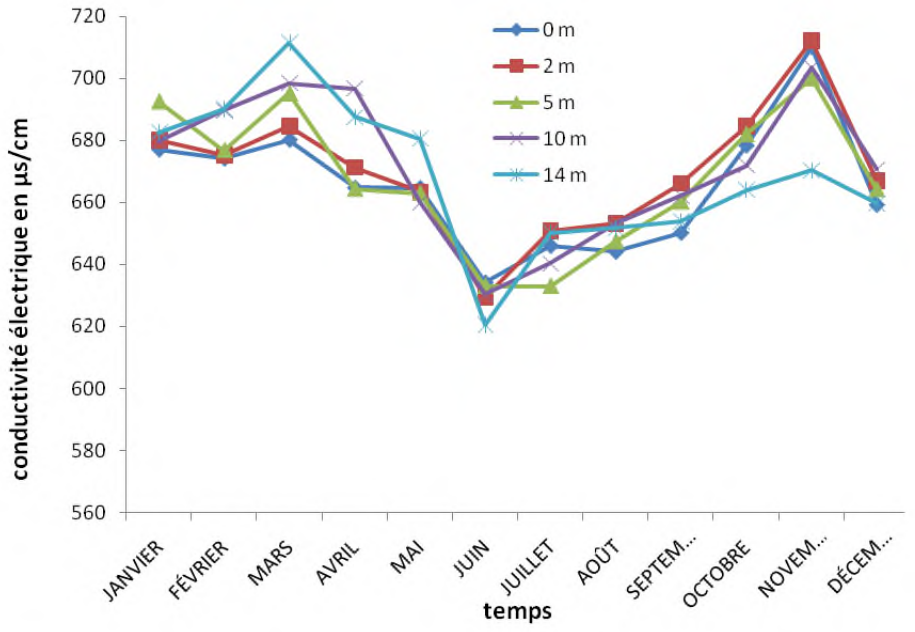


**Figure 11 :** Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

La conductivité de l'eau est également en fonction des sels nutritifs, elle est plus importante lorsque leur concentration augmente, elle sert aussi à apprécier la quantité de sels dissous et donc la pollution dans l'eau (Rodier et al., 2009).

Les valeurs enregistrées varient de 620,3µs/cm à 14 m de profondeur au mois de juin, et de 712,3 µs/cm au niveau de 2 m de profondeur au mois de novembre.

L'examen des profils verticaux présentent des variations saisonnières marquées par les valeurs enregistrées. Avec une baisse pendant l'été ceci est expliqué par la teneur en oxygènes dissous des eaux du Lac Ouiouane qui minimise les variations de la conductivité de l'eau.

Par comparaison à d'autres travaux, les valeurs de la conductivité électrique enregistrées lors de cette étude sont de même ordre de grandeur que celles rapportées par Etebaai et al., (2008) au niveau du lac eutrophe Ifrah (Moyen Atlas).

### 4- Oxygène dissous

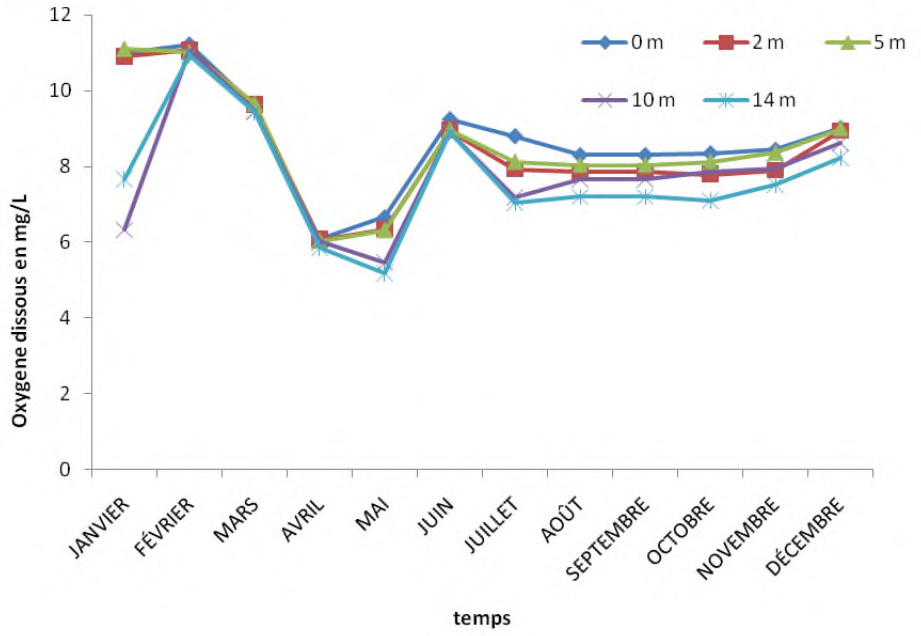


**Figure 12:** Variation spatiotemporelle de l'oxygène dissous au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en oxygène dissous suivent l'évolution de la température qui conditionne la prolifération des producteurs primaire et leurs intensités phytoplanctonique.

Durant le cycle d'étude, les concentrations en oxygène dissous varient de 5.18 $mg.L^{-1}$prés du fond (14 m) au mois d'avril et 11.22 $mg.L^{-1}$ à la surface au mois de janvier, avec une moyenne de 8.25 $mg.L^{-1}$. Cette distribution est liée essentiellement à la production des macrophytes qui colonisent tout le lac et au phytoplancton dont la densité augmente en fonction de la température. En outre nous avons noté que les eaux du Lac Ouiouane ne sont jamais arrivée à un stade d'anoxie, la bonne oxygénation du lac est liée au brassage automne hiver des eaux et la photosynthèse des macrophytes et du phytoplancton (Abba ,2008).

Nos résultats obtenus pour l'oxygène dissous concordent avec celles rapportées par Damnati et *al*., (2014) au niveau du lac eutrophe Ifrah (Moyen Atlas).

### 5- pH :

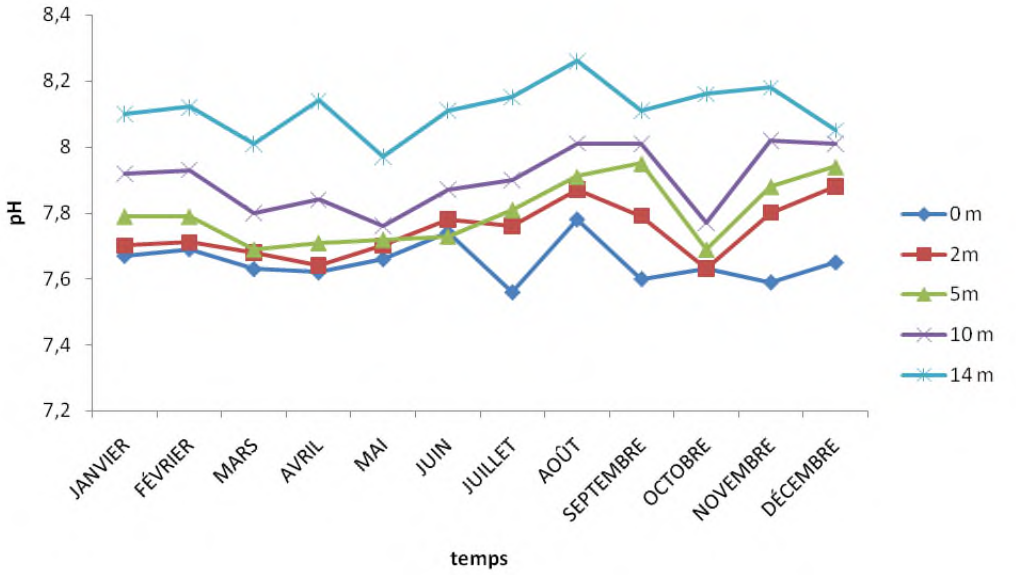


**Figure 13:** Variation spatio-temporelle du ph au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Les valeurs enregistrées du ph sur toute la colonne d'eau durant le cycle d'étude sont plus ou moins homogènes et voisines de la neutralité à alcaline, avec une moyenne de 7,8. Cela est liée à la nature du faciés hydro-chimique carbonate calcique et magnésien qui reflète la nature de la formation géologique du moyen atlas marocain comme ceci a été largement souligné par de nombreux auteurs (Troin et Berriane, 2002 ; Chahboune et *al*., 2013)

L'examen des profils verticaux montre un gradient de pH et que la couche profonde présente les valeurs les plus élevées du pH cela peut être expliqué par la prolifération du phytoplancton.

### 6- Elément nutritifs

Dans le milieu aquatique, les nitrates, les nitrites, ions ammonium et les orthophosphates constituent des éléments nutritifs, qui présentent les formes les plus accessibles pour les algues et les macrophytes.

### 7- Ions ammoniums

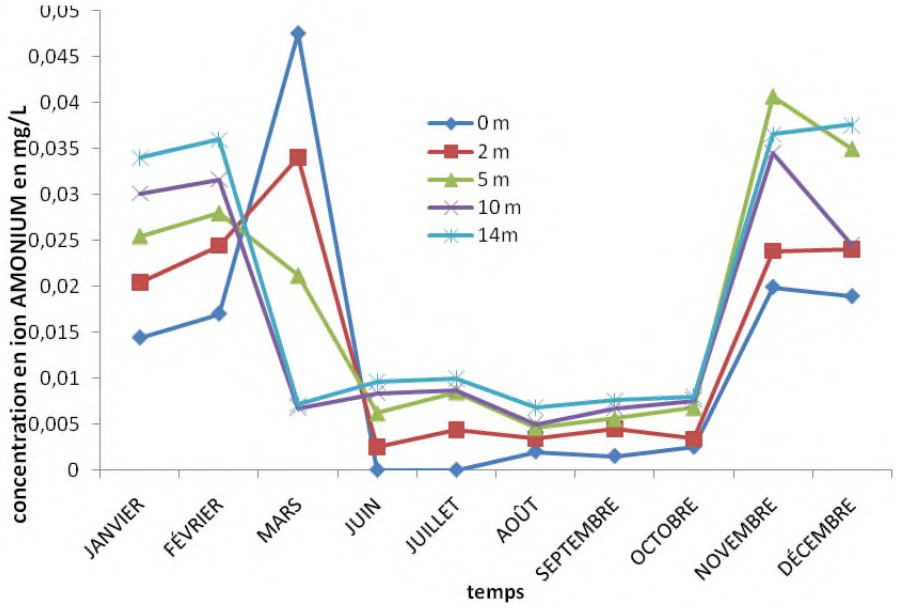


**Figure 14:** Variation spatio-temporelle d'ion ammonium au niveau des profondeurs 0-2-5-10 et 14 m

La détermination des concentrations d'ammonium dans les eaux du Lac Ouiouane montre que celle- ci varie de 0 mg $L^{-1}$enregistrée à plusieurs reprises en surface (juin –juillet) à une valeur max de 0 ,0477 mg $L^{-1}$ obtenue prés de la surface au cours du mois de mars, cette valeur peut être expliqué par l'excrétion du zooplancton.

Les faibles valeurs en ions ammonium enregistrées dés le mois d'avril surtout au niveau de la surface reflètent probablement, l'intense assimilation de cet élément ($N\text{-}NH_4^+$) par les populations printaniers notamment les diatomées. ou bien sa volatilisation à la suite de l'augmentation de température.

En outre, nous avons remarqué que vers le mois de novembre, le brassage automnal remet au fond d'importantes quantités d'ions ammonium accumulées au fond, pendant la période estivale.

Nos résultats concordent avec celles rapporté par (Rachiq, 2003) au niveau du lac de barrage mésotrophe Allal El Fassi.

### 8- Nitrates

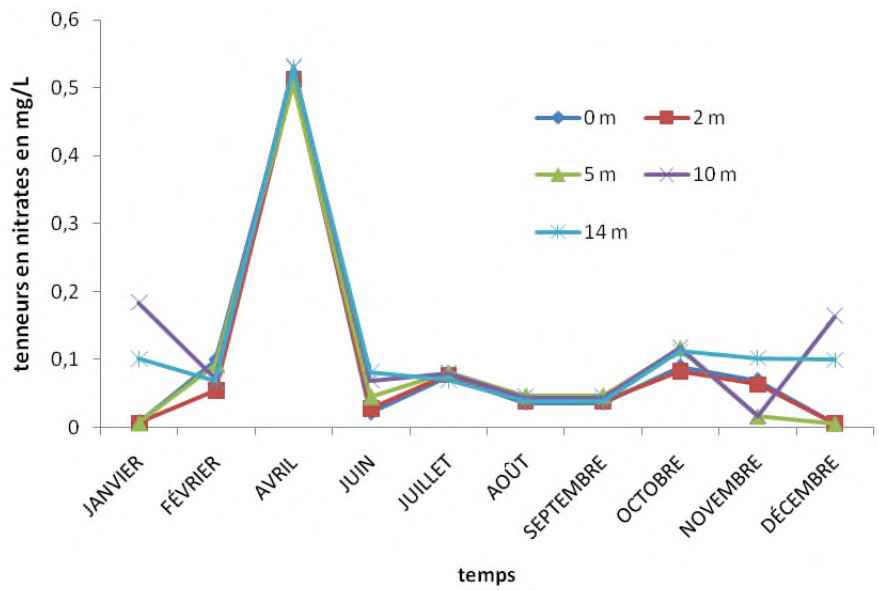


**Figure 15 :** Variation spatio-temporelle d'ion nitrate au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Les résultats obtenues montrent que les teneurs en nitrates enregistrées varient de 0,006 mg $L^{-1}$ prés de 5 m de profondeur au mois de janvier et un pic de 0 ,53 mg $L^{-1}$ prés du fond, à 14 m de profondeur pour le mois d'avril, nous avons obtenue des grande valeurs des teneurs en nitrate, le mois d'avril et entre octobre et novembre dont les couches profondes présentent des teneurs les plus élevées

La teneur élevée en hiver et au printemps, peut être expliquée par les périodes de développement phytoplanctonique nécessaire à leur métabolisme et à la croissance de leurs populations.

Les concentrations en $N\text{-}NO_3^-$ se montrent supérieures aux concentrations en $N\text{-}NH_4^+$, ce qui met en évidence la nitrification de l'azote ammoniacal.

Les résultats obtenus dans cette étude se montrent différents par rapport à ceux rapportés par Fazul (2016) au niveau du Lac Aoua.

### 9- Nitrites

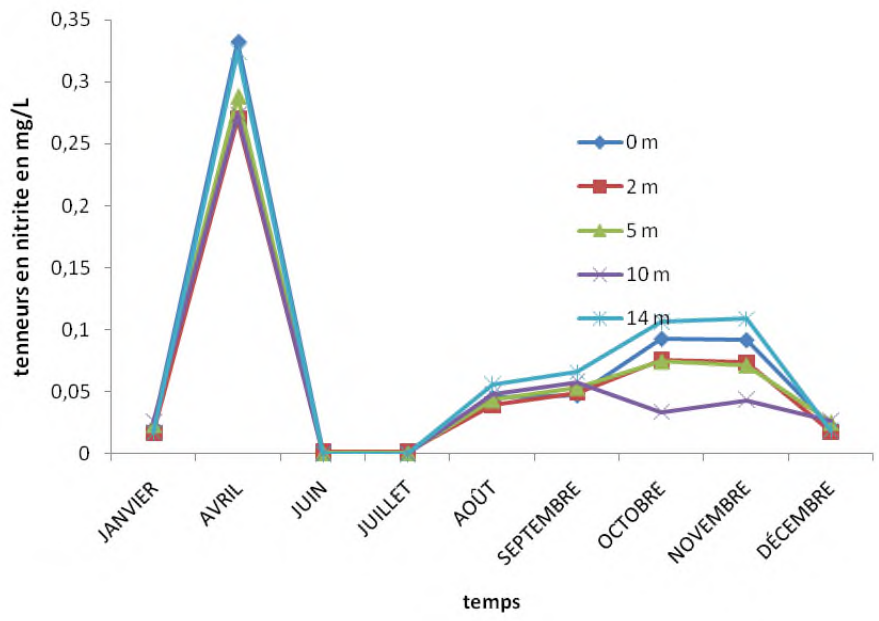


**Figure 16:** Variation spatio-temporelle d'ion nitrate au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Les concentrations ont varié de l'état trace à 0,03246 en avril au prés du fond à 14 m de profondeur, la représentation graphique des teneurs en nitrite en fonction du temps montre que pendant le mois d'avril, la concentration d'ion nitrite présente un pic avec une valeur plus élevée au niveau des différents niveaux de la profondeur, cette teneur se montre croissante dans le temps depuis le mois de juillet jusqu' 'au mois de novembre de l'année d'étude.

## 10- Azote total

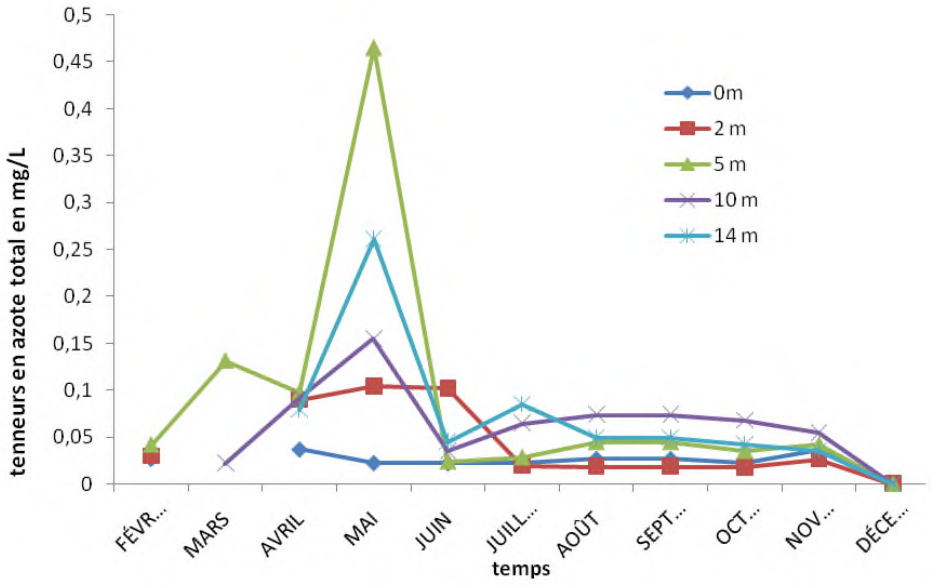


**Figure 17 :** Variation spatio-temporelle d'azote total au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Les valeurs maximales 0.45 mg/L sont enregistrées au mois de mai en printemps au niveau des couches profondes ce qui indique des apports liées aux sédiments et les faibles valeurs sont enregistrées le mois décembre et janvier au niveau des couches superficielle ce qui exclue l'impact des rejets superficielle, Pour certains auteurs (Sadani et *al*., 2004), des teneurs en azote l'ordre de 0,2 mg. $L^{-1}$, affectent au lac un caractère hyper-eutrophe.

## 11- Orthophosphates

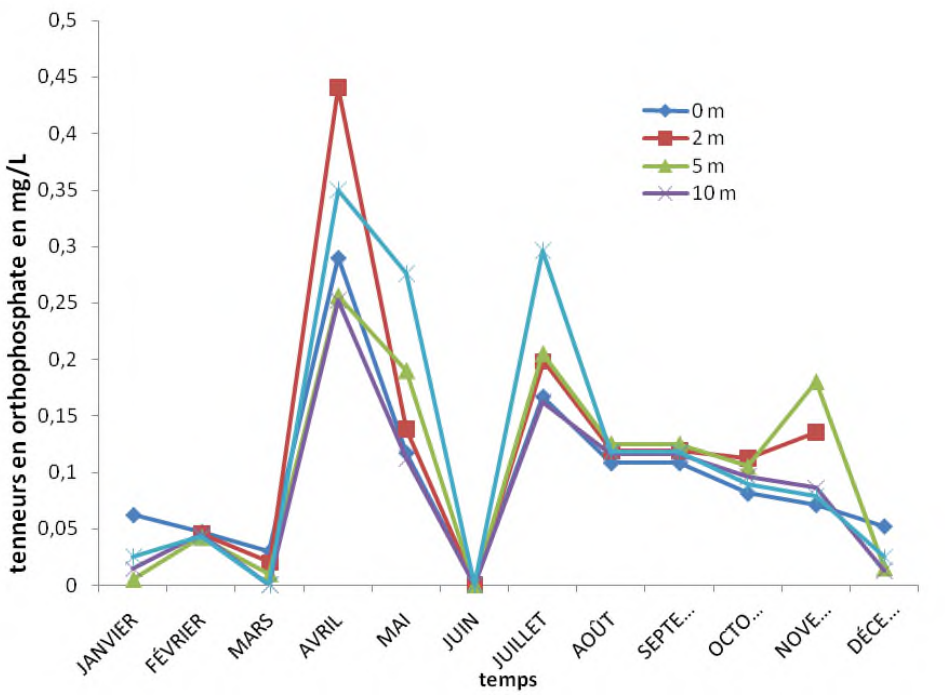


**Figure 18 :** Variation spatio-temporelle d'orthophosphate au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Durant notre cycle d'étude de Les concentrations des ortho phosphates varient de 0 mg $l^{-1}$ enregistrés à plusieurs reprises à 0,441 mg $L^{-1}$ prés du fond.

Les faibles teneurs sont expliquée par l'assimilation directe et rapide de cet élément par le phytoplancton et les bactéries (Monligny et prairie ,1993) et ou sa complexassions au calcium sous forme d'apatite (Alaoui et *al.*, 2001).

En effet les teneurs en calcium dans l'eau régissent l'équilibre des ions $P\text{-}PO_4^{3-}$ entre l'eau et le sédiment (Golterman, 1984). Nos résultats pour ce paramètre sont supérieurs à celles rapportées par (Derraz, 2002) sur le réservoir Sahela.

## 12- Phosphore total

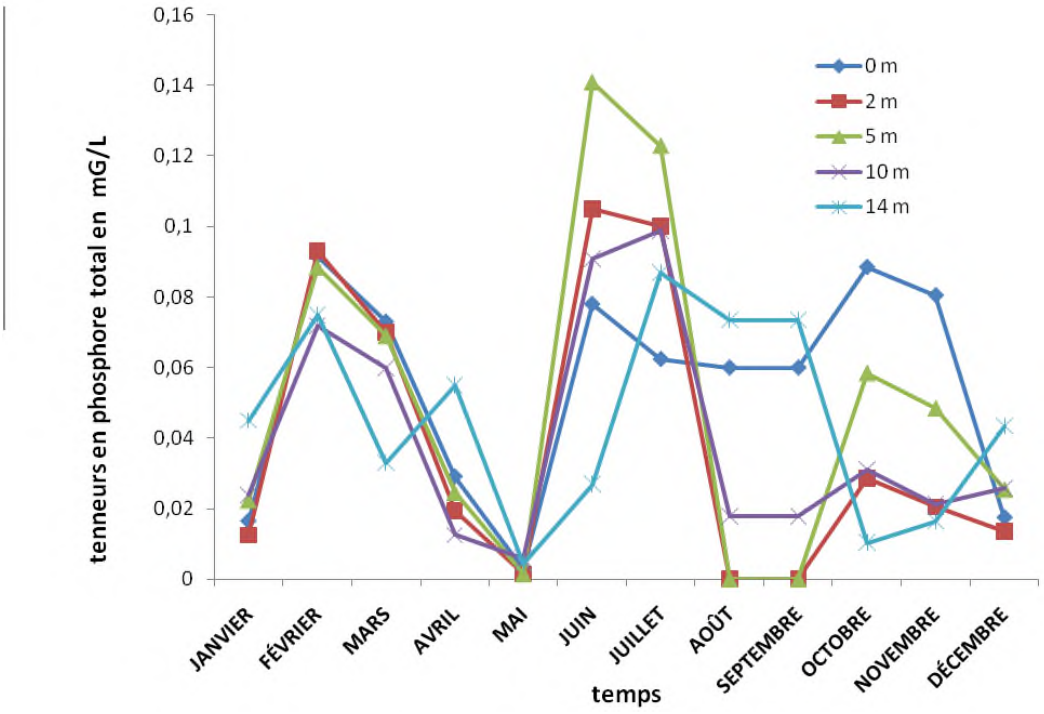


**Figure 19 :** Variation spatio-temporelle du phosphore total au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Les faibles teneurs sont enregistrées le mois de mai ce qui peut être expliqué par le développement phytoplanctonique important durant cette période.

Les fortes teneurs sont enregistrées le mois de juillet (été) ce qui peut être due aux actions anthropiques, comme la pèche par des barques à moteur, ce qui permet des turbulences de couches, et aussi l'augmentation de la fréquence d'estivage.

En comparaison avec les résultats rapportées par (Mama, 2011) sur lac Nokoué classé eutrophe (Bénin), nous avons remarqué une concordance avec nos résultats

## 13- Chlorophylle a

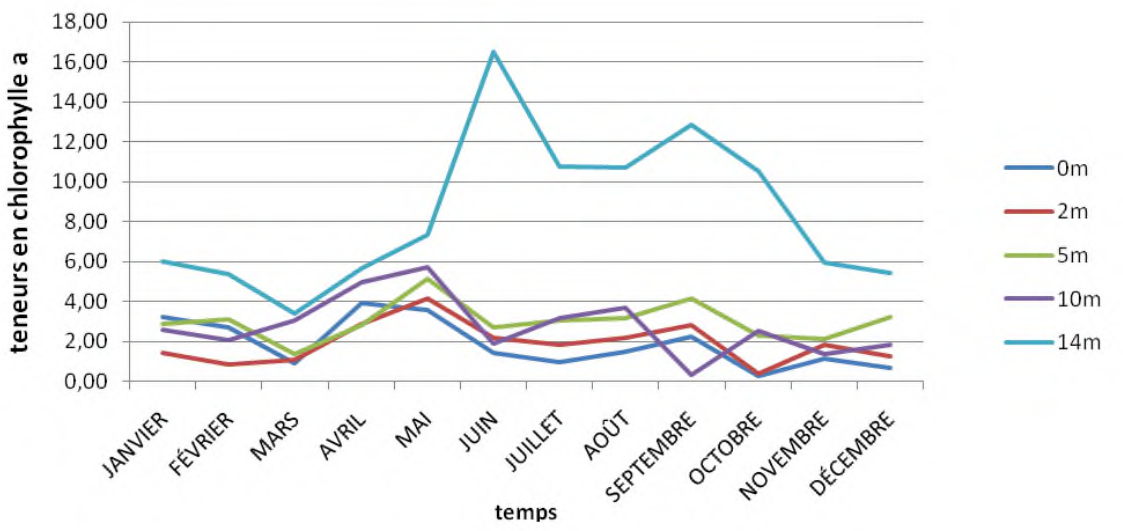


**Figure 20 :** Variations spatiotemporelles des teneurs en Chl a au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Au cours des compagnes des prélèvements, les teneurs de chlorophylle a enregistrées suivent globalement, la même évolution des densités phytoplancton. Nous avons noté 16,46 mg/L comme valeur maximale en mois de juin près du fond 14m, et 0 ,25 mg/L comme valeur minimale au mois d'octobre à la surface de la colonne d'eau. Avec une valeur moyenne de l'ordre de 3 ,58 mg/L.

Les valeurs les plus élevées enregistrées en été et précisément au fond de la colonne d'eau coïncide avec les pics de température durant cette saison, et aussi la contribution majeur des macrophytes (*Myriophullum* et *Ceratophyllum*) qui envahissent le lac. Ceci semble être expliqué par l'eutrophisation du lac

### 14- Diagnostic du niveau trophique du lac

**Tableau 5 :** Mesures des paramètres Physico Chimiques relatifs à l'évolution saisonnière des paramètres physico chimiques, des concentrations en nutriments

| Transparence | Chlorophylle a | Azote totale | Phosphore total |
|---|---|---|---|
| 1,4 m | 3,58 mg/l | 0,058 mg/l | 0,04 mg/l |

Selon la classification de l'OCDE, et la grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux de lac (S.E.E.E 2007),les différents résultats relatifs à l'évolution saisonnière des paramètres physico chimiques, des concentrations en nutriments, montrent que le Lac Ouiouane est eutrophe , avec une mauvaise qualité des eaux .

Nos résultats sont similaire à celles rapportées par (Etebaai, 2009) sur le lac Ifrah classé eutrophe .

## II. PARAMETRES BIOTIQUES

### 1- Phytoplancton

#### a- Approche qualitative

Durant notre cycle d'étude, le nombre d'espèces enregistré varie de 8 à 19 en mois d'aout. Nous avons remarqué que les valeurs les plus élevées ont été enregistrées, au mois d'aout, les espèces identifiées dans le Lac Ouiouane durant notre étude sont représentées par le tableau ci-dessous.

**Tableau 6 :** Liste qualitative des espèces phytoplanctonique identifie

Dans le Lac Ouiouane en 2015

| | |
|---|---|
| Dynophycee | *ceratium* |
| Zygophycee | *Mougeotia* |
| | *Staurastrum* |
| | *Cosmarium* |
| | *Coelastrum* |
| | *gamatozygon* |
| Cyanophycées | *Oscillatoria sp.* |
| | *Pediastrum* |
| | *Scenedesmus* |
| | *Ulothrix* |
| | *Micrasterias* |
| | *Spirulina laxa* |
| | *Anabaena solitaria* |
| Chlorophycées | *Sphaerocystis* |
| | *Dictyosphaerium* |
| | *Crucigenia* |
| | *Ankistrodesmus* |
| Diatomophycee | *diatome* |
| Bacillophycee | *Gammatophora* |

D’après l’analyse des résultats obtenus, nous avons pu noter que Les espèces les plus fréquentes sont *Staurastrum* et *Pediastrum,Sphaerocystes,et* les espèces les moins fréquentes sont *Spirulina* et *Gammatophori*a.

Dans le Lac Ouiouane les classes les mieux représentées sont les suivantes :

- Les Cyanophycées représentées par *Oscillatoria sp., Pediastrum ,Scenedesmus ,Ulothrix.*
- Les Zygophycées représentés par : Mougeotia , Staurastrum, Cosmarium, Coelastrum, Gamatozygon.
- Les Chlorophycées représentées par Sphaerocystis, Dictyosphaerium, Crucigenia, Ankistrodesmus.

Quant aux Diatomées et Bacillophycées, la présence est relativement faible, elle est de l’ordre de 2.4%.

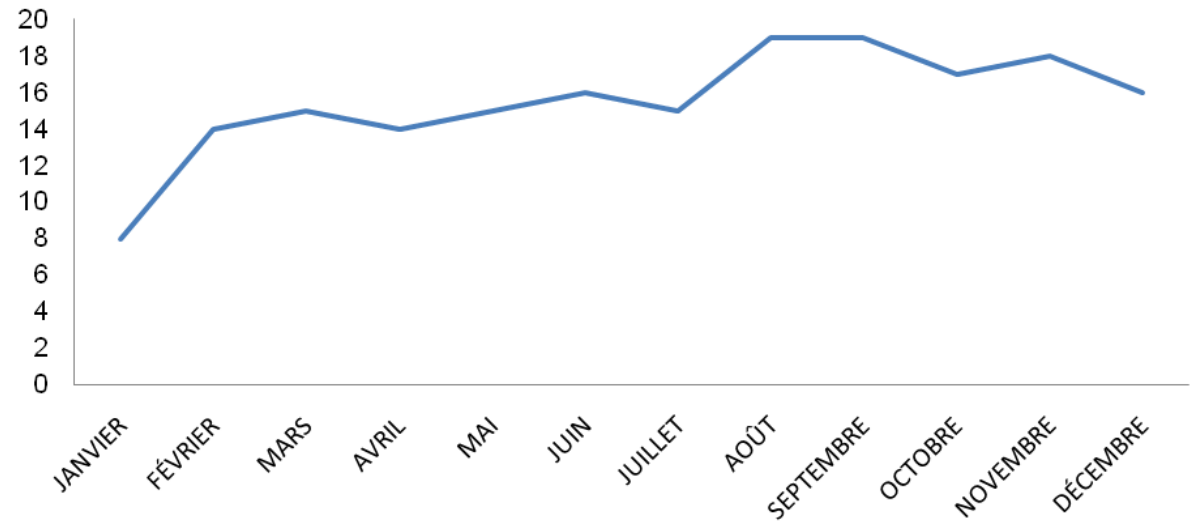


**Figure 21 :** Evolution temporelle du nombre d’espèces enregistrés dans la Lac Ouiouane Moyen Atlas

Le phytoplancton est désormais considéré, comme étant la première communauté biologique a répondre à l’eutrophisation spécialement dans les lacs (Solhein ,2005),et selon Champact et Larpent (1994) la présence des cyanophycées telle que *Osilatoria* marque une pollution très avancée des milieux lacustres, et aussi Les blooms de cyanobactéries reflètent l’augmentation du phénomène d’eutrophisation dans plusieurs lacs et réservoirs dans différents pays du monde (Paerl et *al*., 2001).

Dans le Lac Ouiouane, nous avons noté la présence de bloom important des *Scenedesmus et aussi des Ceratim, ce* qui traduit une eutrophisation du lac.

Il semble que la floraison de l 'espèce *Ceratium hirundinella* est concomitante avec les pics de température.

- **Diversité et composition spécifique de la communauté phytoplanctonique**

Au cours de notre étude, nous avons noté une variation de l'indice de diversité Shannon de 0 ,7 au mois d'avril à 1,1 au mois d'aout. Pour l'indice de diversité Simpson nous avons enregistré une variation de 0,4 à 2,5 au mois d'aout. Cette variation enregistrée pour ces indices de diversité est traduit par la dominance de *Ceratium* dans l'espace et spécialement, au mois d'aout.

Afin de donner une bonne estimation, nous avons accompagné ces indices par l'indice d'équitabilité indice Piélou, ce dernier a varie de 0,6 à 0,9.

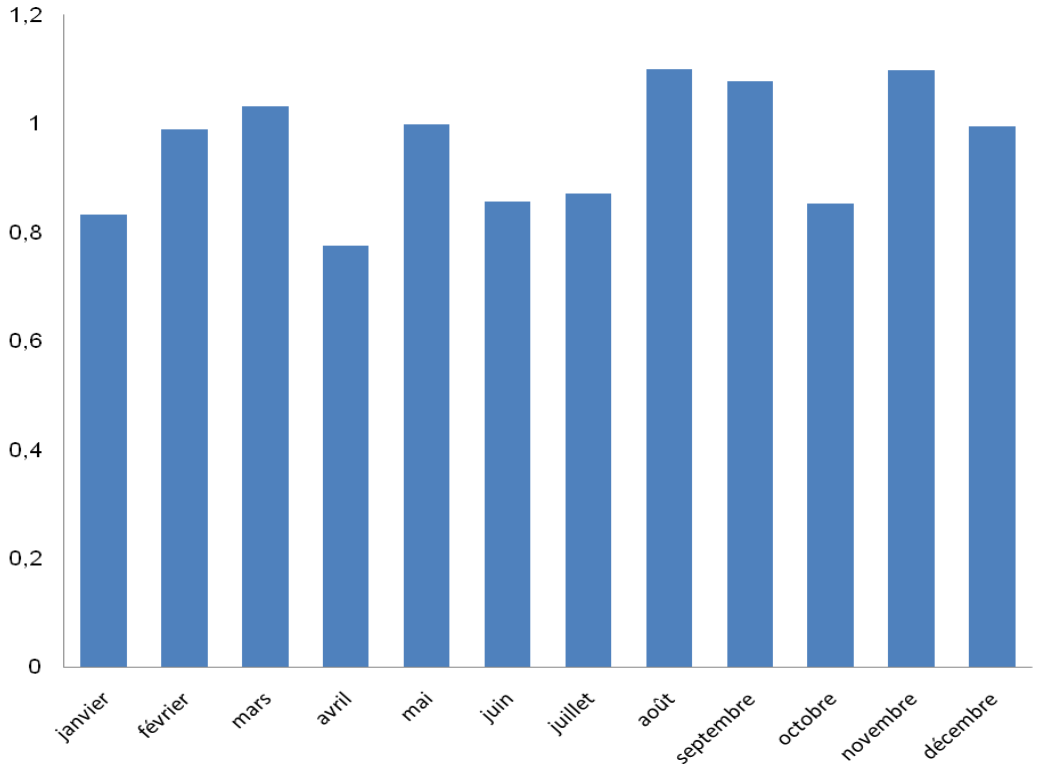


**Figure 22 :** Evolution temporelle de l'indice de diversité shanon pour le Lac Ouiouane Moyen Atlas

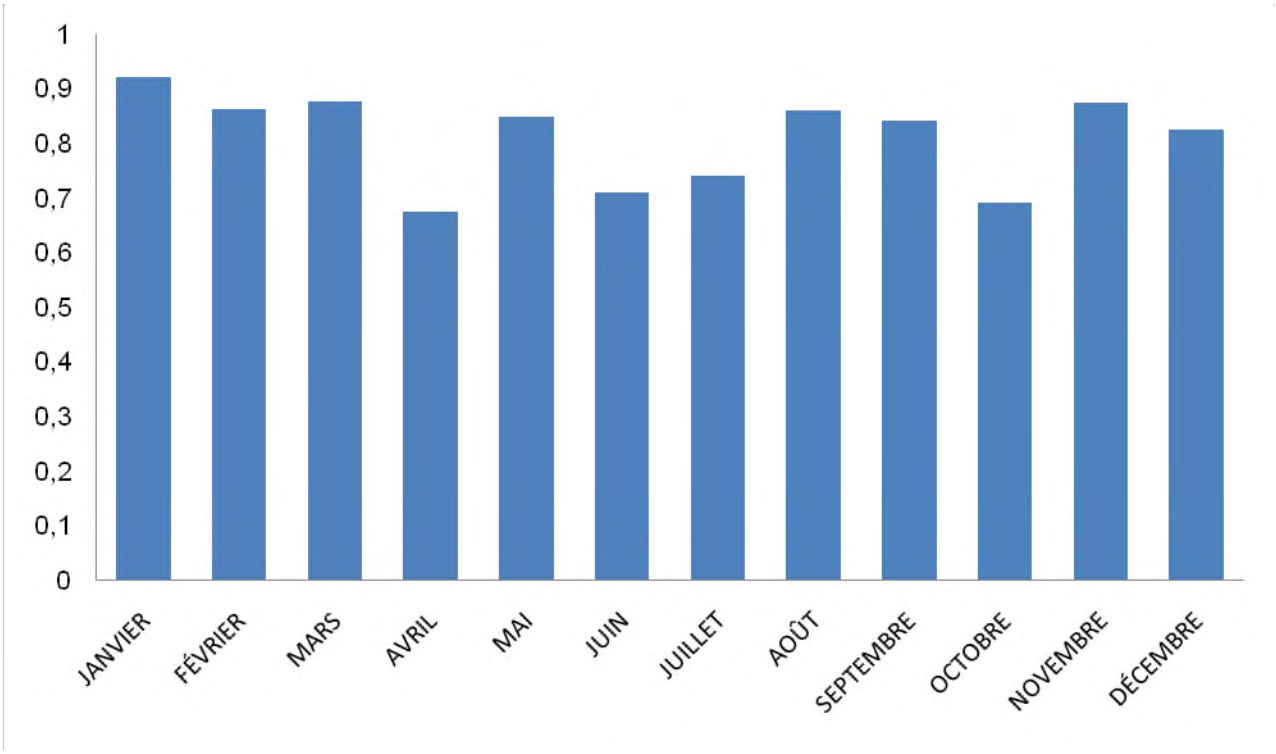


**Figure 23 :** Evolution temporelle de l'indice d'équitabilité Piélou du Lac Ouiouane Moyen Atlas

La présentation graphique des résultats obtenus montre que l'indice d'équitabilité varie en fonction du temps.

Pendant certains mois, tels que le mois de mars, juin, juillet et octobre l'indice calculé se montre plus faible par rapport aux autres mois d'étude ceci peut être expliqué par la faible richesse spécifique**.**

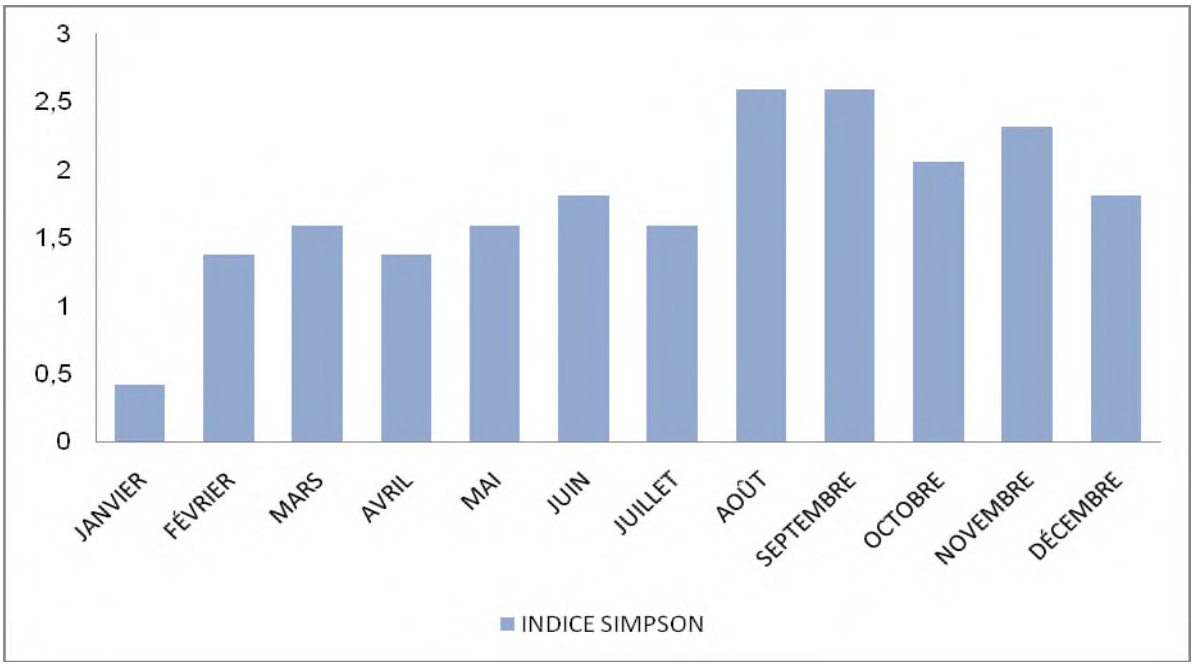


**Figure 24:** Evolution temporelle de l'indice de Simpson du Lac Ouiouane Moyen Atlas

La connaissance de la composition spécifique du phytoplancton au sein d'un écosystème aquatique est une source d'information nécessaire, qui permet d'établir de véritables outils de diagnostic et d'évaluation de la qualité (Cellamare, 2009).

Le Lac Ouiouane présente une moyenne richesse spécifique phytoplanctonique représentée par vingt espèces enregistrées au cours d'un cycle de 12 mois.

La valeur moyenne de l'indice de Shannon 1.1 reflète une faible diversité spécifique, cet indice est minimal si tous les individus appartiennent à une seule espèce, ou si chaque espèce est représentée par un seul individu, il est maximal quand tous les individus sont réparti de façon équitable entre tous les espaces présents (Fontren et *al*., 2008).

Pour l'indice de Simpson nous avons obtenue une valeur de 1.7 comme moyenne ce qui confirme une faible diversité spécifique, cet indice en théorie, a une valeur nulle indiquera le maximum de diversité et une valeur proche de 1, indiquera le minimum de diversité (Dumont ,2008).

### b- Approche quantitative

### Densité et répartition spatiotemporelle du phytoplancton

Durant notre étude, nous avons remarqué que la densité phytoplanctonique est très faible puisqu'elle varie de 0,3 X $10^4$cellule/litre à la surface du lac au mois de juin à 4,71 X $10^4$cellule/litre à 10m de profondeur au mois d'avril.

En valeur moyenne les variations de densités phytoplanctoniques spatiales sont 1.09 ,1.12, 1.15 ,1.2 ,1.3 pour respectivement 0, 2, 5, 10, et 14m, cependant la profondeur 14 m est considérée comme idéale de la colonne d'eau pour la population des phytoplanctons.

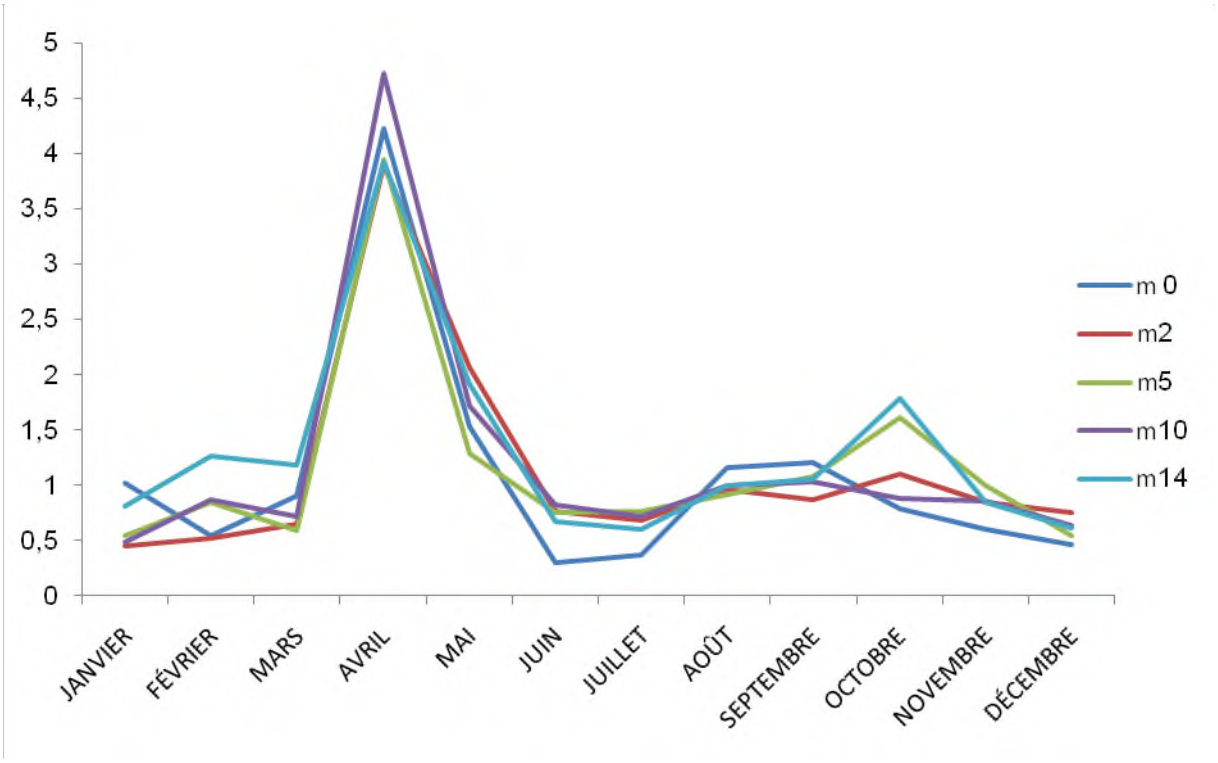


**Figure 25 :** Variations spatiotemporelles des densités phytoplanctoniques au cours des campagnes de prélèvements

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure ci–dessus nous permet de souligner des variations notables en fonction de temps.

nous avons noté qu'en hiver les densités phytoplanctoniques sont très faibles, les espèces les mieux représentées que nous avons enregistrées sont *Staurastrum*, *Oocystis* sp, *Sphaerocystis*,.*Oscillatoria sp*,. *Pediastrum*,.*Coelastrum*,et *Gamatozygon* .

Quant Au printemps, à partir du mois de mars, nous avons noté une densité très remarquable sur tous les niveaux de la profondeur de la colonne, nous avons enregistré que les zygophycées sont les plus dominants, par la présence des *Staurastrum* et aussi les cyanophycées qui sont représentées par *Scenedesmus* sp, et les *chlorophycées* par les *Dictyosphaerium.*

Pendant la saison été, une chute de la densité phytoplanctonique a été enregistrée. Celle-ci persiste tout au long de la saison, cela peut être expliqué par la prédation exercée par le zooplancton. Pendant cette période les espèces les mieux représentées sont *Oocystis* sp, *Sphaerocystis* avec l'apparition d'un bloom de *Ceratium.*

En automne, nous avons noté une augmentation de la densité phystoplanctonique suivie par une chute vers la fin de l'étude. Cette chute peut être expliquée par la baisse de la température. En cette période, nous avons remarqué l'apparition de *Coelastrum* avec une dominance des *Sphaerocystis* et *Oscillatoria sp.*

**Tableau 7 :** Variations verticales de la densité phytoplanctonique (x $10^4$ cellules.$L^{-1}$)

| Profondeur | Min | Max | Moyenne | Ecartype |
|---|---|---|---|---|
| **0 m** | 0.29 | 4.22 | 1.09 | 1.05 |
| **2 m** | 0.44 | 3.8 | 1.12 | 0.96 |
| **5 m** | 0.5 | 3.9 | 1.15 | 0.933 |
| **10 m** | 0.49 | 4.7 | 1.21 | 1.14 |
| **14 m** | 0.6 | 3.9 | 1.3 | 0.92 |

- **Biomasse phytoplanctonique**

La biomasse est calculée à partir des biovolumes spécifiques moyens des espèces identifiées, généralement, elle suit la même évolution que les valeurs de la densité spécifique et montre une grande amplitude de variations, car nous avons noté des fluctuations qui varient de 0.08 $\mu g.L^{-1}$ à 218$\mu g.L^{-1}$.

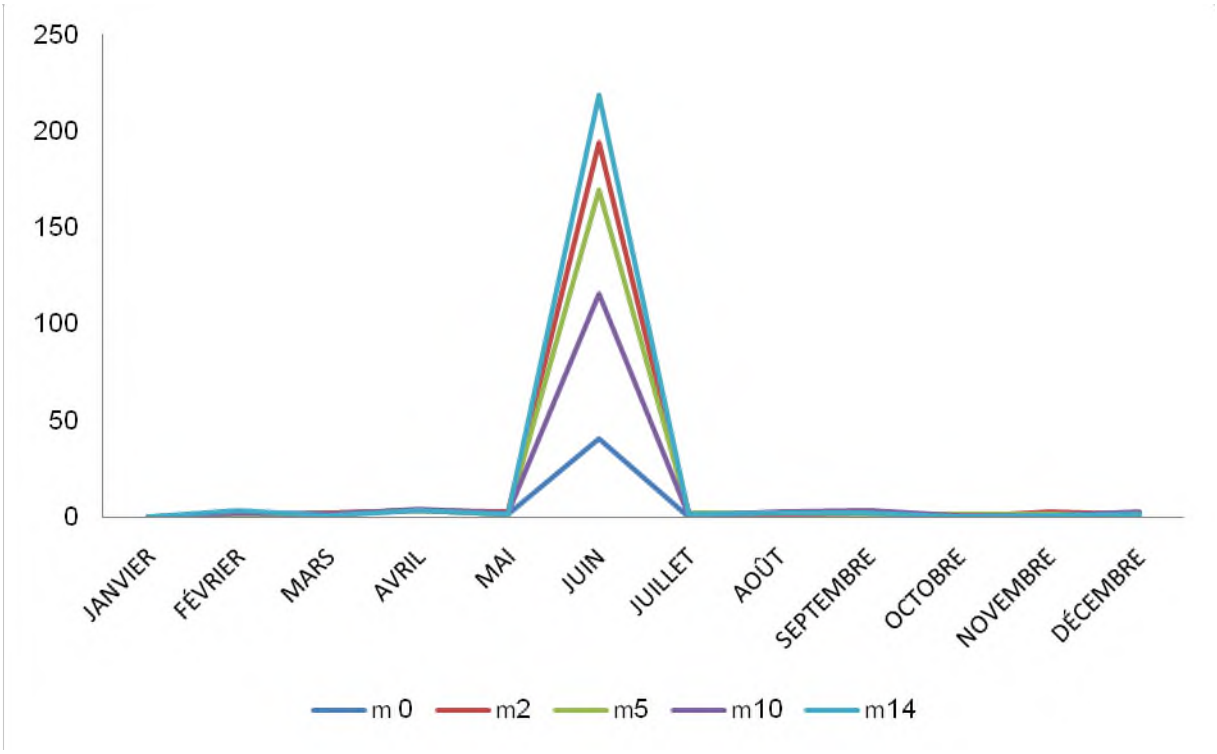


**Figure 26 :** Variations spatiotemporelles de la biomasse phytoplanctonique du Lac Ouiouane, aux profondeurs 0, 2 , 5 , 10 et 14 m

L'analyse des résultats obtenues montre une biomasse très importante enregistrée le mois de juin, suite à la présence de l'espèce *Cosmarium* et *Mougeatia* sp, qui malgré leurs faibles densités engendrent des biomasses très importantes suite à leurs biovolumes cellulaire spécifique très important respectivement (28274 et 166112). Puis,une diminution importante automnal a été enregistrée , ce qui peut être expliqué par la diminution des individus des espèces qui ont un biovolume important , avec l'apparition d' un bloom de l'espèce *Ceratium,* en fin du mois d' aout et qui a persisté jusqu' au fin du mois de novembre,et aussi liée à la période du développement des chlorophycées telles que *oocystis* sp et *Anabena sp.*

Les valeurs de biomasse les plus faibles sont en registrées au mois janvier sur tous les profondeurs de la colonne d'eau (0 m, 2 m, 3 m, 5 m, 10 m et 14 m).

Les fluctuations qualitatives et quantitatives du phytoplancton rencontrées dans le Lac Ouiouane sont reliées en premier lieux aux conditions climatiques, de telle sorte qu'il y a apparition et disparition des espèces en fonction de saison avec une dominance des cyanophycées 42.55% .Ces derniers présentent des capacités importantes de stockage du phosphore dans leurs cellules. Le phosphore est identifié comme étant la substance critique puisqu'il est habituellement l'élément limitant en milieu dulcicole (Prairie et al., 1989). Certains auteurs Elliott et ses collaborateurs (2007) ont utilisé un modèle, en vue de simuler le comportement du phytoplancton par des températures élevées. Ils ont pu souligner que les cyanobactéries ont le potentiel de dominer la communauté phytoplanctonique à des températures élevées combinée avec une bonne disponibilité de substances nutritives.

Il semble que l'eutrophisation du Lac Ouiouane s'est manifestée par une augmentation excessive des matières en suspension dont la transparence de l'eau n'excédait pas 150 cm.

### 2- Zooplancton

#### a- Approche qualitative

Durant notre cycle d'étude nous avons pu recenser dans le Lac Ouiouane trois groupes des zooplanctons : Copépodes, Cladocères et Rotifères

Le groupe des Cladocères est représenté par deux espèces : daphné et bousmina.

Le groupe des Copépodes est essentiellement représentés par les cyclopoidea.

Pour les Rotifères, nous n'avons marqué sa présence que pendant l'été.

Ecologie des principales espèces trouvées

***Daphnia longispina***



**Figure 27 :** Photo de Daphnia longispina

Cette espèce a été considéré comme indicatrice des eaux eutrophes (Makrushin, 1966).cosmopolite, eurytherme (Armongol 1978).c'est une espèce qui peut se développer durant toute l'année à différents saisons (Honazato et al ., 1989).

La daphnie se nourrit en filtrant l'eau (Frayer, 1985). C'est un élément important de la chaîne alimentaire. Elle participe activement à l'épuration de l'eau et sert de nourriture à des insectes, des larves de poissons. Elle peut également être consommée par le canard souchet

Pendant notre étude, nous avons remarqué la présence de cette espèce dans le Lac Ouiouane durant tout le cycle d'étude, à l'excepte du mois de mai.

***Bosmina longirostris***



**Figure 28 :** Photo de Bosmina Longirostris

C'est une espèce cosmopolite et eurytherme, qui peut se développer dans les eaux eutrophes (Amoros ,1984) .Elle est capable de se nourrir des algues et aussi des bactéries, d'une manière alternative, d'après (Hammer ,1985). *Bosmina longirostris* est la source principale de la nourriture pour le gardon *Rutilus rutilis* et la perche *perca fluciatillis*, deux espèces qui font largement partie du peuplement ichtyofaune de du Lac Ouiouane

Nous avons remarqué la présence de *Bosmina longirostris, durant* toute l'année à l'excepte du mois d'août.

### b- Aspect quantitatif

### Densité

Les variations saisonnières de la densité du zooplancton total et des groupes dominants, à savoir les Copépodes, Cladocére et les Rotifères dans le Lac Ouiouane, durant notre étude sont représentés par les courbes si dessous :

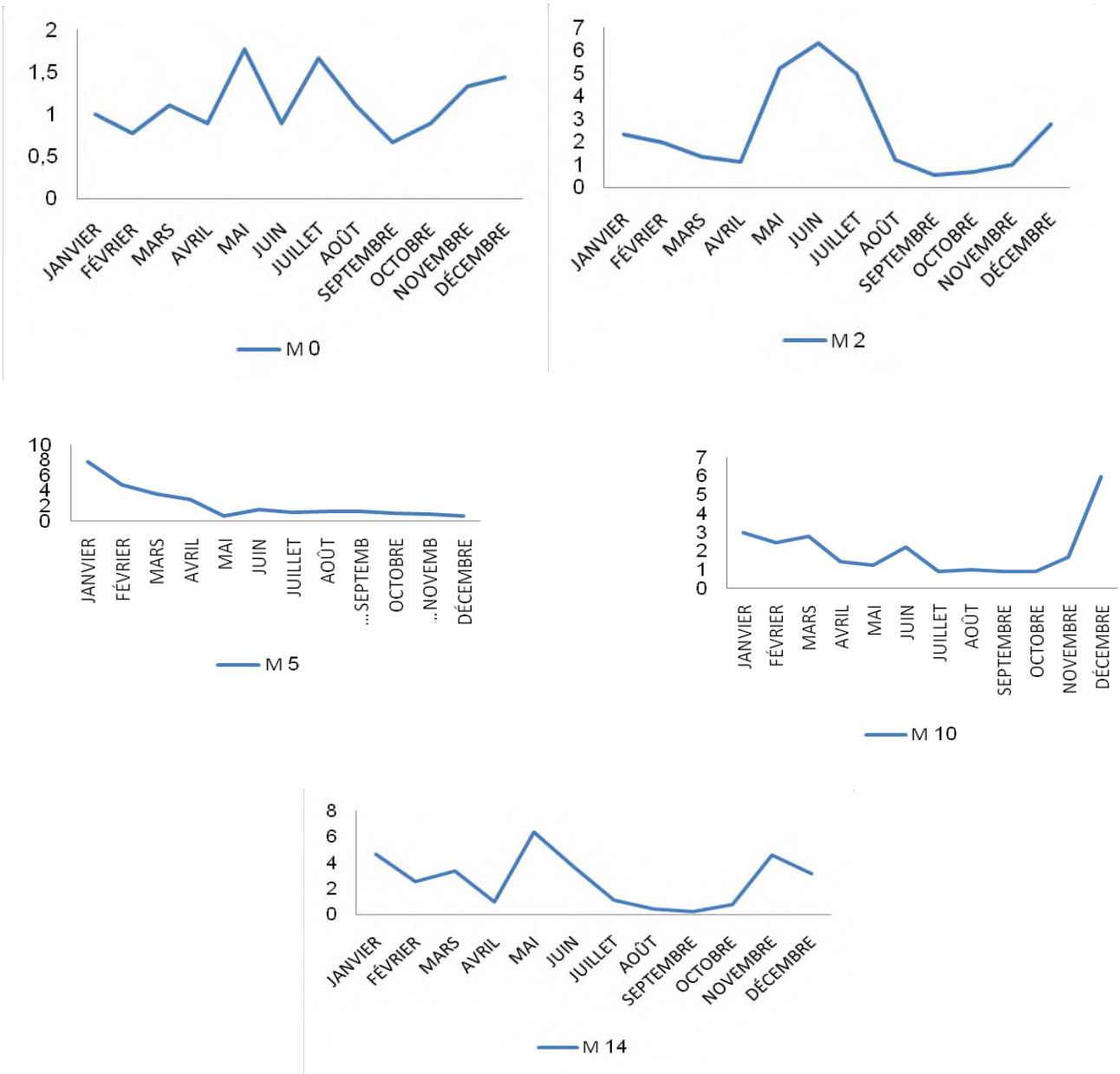


**Figure 29 :** Variation de la densité du zooplancton au niveau des profondeurs de 0-2-5-10 et 14 m

Globalement, les densités les plus élevées du zooplancton sont enregistrées le mois de janvier avec 7,7 ind/mL. Cette période hivernale est caractérisée par une dominance remarquable des cladocères .Cette dominance est étroitement liée au fait que les copépodes et rotifères se développent essentiellement en été .Pendant la période estival, nous avons observé le développement important de rotifères, suivi d'un bloom phytoplanctonique (Ayadi, 2002).

Pendant le printemps et à partir du mois de mars, les deux groupes Cladocères et Copépodes augmentent leur effectif.

Les variations saisonnières de densité du zooplancton totale du Lac Ouiouane, dépendent de différents facteurs (température et présence des ressources nutritives), qui agissent sur la présence ou absence d'un groupe zooplanctonique ou autre.

Les résultats obtenus sont très inférieurs à celles rapportés par (Derraz, 2002) sur le réservoir Sahla un lac oligo-mésotrophe.

## III- MACROPHYTES

Au cours de notre étude nous avons remarqué que Lac Ouiouane est un lac très riche en végétation aquatique et subaquatique. Ces plantes semblent jouer un rôle important dans l'oxygénation du lac. La végétation macrophytique joue également, un rôle indirect très important dans l'écosystème lacustre en servant de support, de source de nourriture, de site de reproduction et de refuge pour de nombreux invertébrés (mollusques, larves d'insectes) et espèces de poissons (perche, brochet, tanche par exemple). (Knauer et al., 2008 ; Coutris et al., 2011)

Pendant notre cycle d'étude, quatre macrophytes sont identifiées, dont deux des plantes subaquatiques et deux aquatiques à savoir :

Plante aquatique :*Myriophyllum spicata,Ceratophyllum demensus* .

Plante subaquatique : *Phragmites communis ,Thyfa latifolia*.



**Figure 30 :** Photos prises dans le lac Ouiouane qui montre l'envahissement des macrophites

***Phragmites communis* :**



**Figure 31 :** Photo pris au niveau du Lac Ouiouane du *Phragmites communis*

Le *Phragmite communis* est une plante envahissante d'origine européenne que l'on retrouve principalement, dans les milieux humides non boisés, tels qu'en bordure d'une rivière, d'un lac, d'un marais ou d'un fossé. On la reconnaît surtout par sa hampe florale volumineuse et sa tige jaunâtre

Cette plante possède aussi une résistance modérée à la salinité et à la sécheresse, ce qui facilite davantage sa dispersion au sein du paysage. En outre, on estime qu'environ le deux tiers de la biomasse de cette plante se retrouvent dans le sol grâce à son réseau raffiné de rhizomes et de stolons qui peuvent s'étendre sur plusieurs mètres. Toutes ces caractéristiques biologiques procurent au phragmite exotique une facilité à se reproduire, ainsi qu'à envahir divers milieux humides, et ce, sur une courte période de temps. (Brisson, 2014) En outre, il colonise rapidement divers milieux humides. Le phragmite possède aussi plusieurs autres effets négatifs pour la société, tels que l'obstruction des réseaux de drainage, l'homogénéisation du paysage, la modification des propriétés hydrologiques, ainsi que la perte de biodiversité dans les endroits envahis. Toutefois, tout comme chacune des espèces envahissantes, le roseau exotique ne pose pas seulement des problèmes pour la société, mais

possède aussi des effets positifs pour celle-ci, tels que la filtration des marais filtrants, l'utilisation de ses composantes à des fins de matériaux résistants, comme des clôtures et des toitures, la protection des vents et des rafales en bordure des routes, ainsi que les services écologiques qu'ils peuvent fournir à l'environnement comme l'épuration des eaux. (Brisson, 2014)

***Typha latifolia***

Cette espèce a une très grande distribution, elle a été largement introduite, comme pseudo - céréale, et elle tolère les eaux polluées. Sa croissance est rapide

Avec d'excellent capacité dépolluantes£, Typha latifolia peut être utilisée pour purifier l'eau en phytoremédiation via une rhizofiltration. Les rhizomes, solides, permettent de consolide les berges d'un plan d'eau .

Les typhaies sont des aires de nidification importantes pour les oiseaux aquatiques et offrent des poches protégées ,dans lesquelles les salamandres, les grenouilles et les poissons choisissent de pondre leurs œufs. La massette à larges feuilles sert de source de nourriture et de milieu de construction pour les rats musqués. Les merles utilisent souvent les typhaies, comme perchoir et comme support pour les nids.

***Ceratophyllum demensus***



**Figure 32 :** Photo du *Ceratophyllum demersum* prise dans le Lac Ouiouane

Le *Ceratophyllum demersum* ne possède pas de racines, mais se fixe au sol à l'aide de rhizoïdes. Sa tige est dressée, légèrement cassante, ses feuilles sont disposées en verticilles autour de la tige. Les feuilles sont vertes. Foncé et raides ; elles se divisent de façon dichotomique , leur donnant, un aspect fourchu. Elles se terminent, à leurs extrémités, par des épines molles.

C'est une plante à reproduction asexuée (végétative, par fragmentation ou bouturage des tiges) ou sexuée, dont la reproduction sexuée se produit du mois de juin au mois de septembre, à partir de fleurs verdâtres très discrètes (1 mm ou moins) qui se forment à la jonction (aisselle) des feuilles et de la tige. Une même tige porte à la fois des fleurs mâles (par groupe de 3 et plutôt dans le haut du rameau) et des fleurs femelles (solitaires et plutôt situées dans le bas du rameau). La pollinisation est aquatique et produit des fruits ovoïdes (4 à 6 mm de long) lisses et garnis de 3 épines.

Cette plante contribue à l'épuration de l'eau et peut produire des herbiers hauts et denses. Ces derniers sont un abri pour certains poissons et leurs alevins, mais aussi elle peut servir de support de vie pour des nombreux autres organismes (petits crustacés, mollusques, hydres, bryozoaires, etc.).

***Myriophyllum spicata***



**Figure 33 : Photo du *Myriophyllum spicatum* observée dans le Lac Ouiouane**

Les myriophylles sont des macrophytes aquatiques dicotylédones de la famille des Haloragacées, se trouvant presque sur tous les continents de notre planète, sauf en antarctique (Getsinger et *al*., 1997 ; Craig et *al*., 1990). On en distingue presque 39 espèces, elles sont généralement spécifiques à des régions où elles sont natives, notamment le *Myriophyllum*

*aquaticum* qui est natif du sud du continent américain (Kane et *al*., 1991), le *Myriophyllum sibiricum* qui est natif du nord du continent américain, et aussi *Myriophyllum spicatum* qui est natif d'Europe, Asie et du Nord de l'Afrique (Verma et *al*., 1993 ; Newman ,2004 ; Onion et Gross ,2004). *Myriophyllum spicatum* est une hydrophyte entièrement submergée, avec des feuilles finement découpées, et des tiges rougeâtres. elle est caractérisée par une croissance rapide avec un fort développement dans l'eau, à des profondeurs variant de 1 à 4 m où il forme un couvert végétal en canopée (Nichol et *al*., 1986 ; Cason et Roost 2011). S'enracinant au fond de la masse d'eau sur les sédiments de préférence sableux, le myriophylle à épi peut atteindre une longueur de 7 à 10 m .Sa reproduction asexuée facilite sa multiplication dans le milieu par un transfert de bourgeons par les organismes aquatiques et aussi par la dynamique de l'eau (Vassios et *al*., 2011). Ce macrophyte proposé par l'OCDE possède plusieurs propriétés lui donnant des caractéristiques de bio- indicateur.

Cette étude nous a montré que le Lac Ouiouane est envahi par les macrophytes *Ceratophullum* .et aussi le *Myriophyllum* .Celui-ci, constitue un andicap et une vrai contrainte pour mener dans notre étude sur le lac, vue sa forte densité, il constitue un frein au moteur de barques utilisée (zodiac) dans nos compagne, Ce peuplement présente.

Le pourcentage de recouvrement se montre largement supérieur à 50 %, l'abondance et la distribution de ces macrophytes dépendent des conditions physicochimiques, morphométriques qui règnent dans le milieu, mais aussi de la disponibilité des nutriments. A leur tour, les macrophytes influencent aussi bien les conditions abiotiques de leur habitat que les biocénoses aquatiques (Barbara et *al*., 2009).

## IV- Peuplement ichtyaufaune du Lac Ouiouane

Le Lac Ouiouane montre une diversité biologique importante .Ainsi au cours de cette étude nous avons essayé de recenser le peuplement ichtyaufaune du lac .Et grâce au filet de pêche nous avons pu collecter presque tous les espèces de poissons qui y peuplent .Et nous avons identifié cinq espèces : le brochet, la tanche, la perche, le gardon et la carpe

- **Brochet**

• Famille des *Esocidée*

• Espèce : *Esox lucius*



**Figure 34 :** Photo du brochet capturé dans le Lac Ouiouane

Le brochet affectionne les zones à faible courant, les bras morts, les noues et les lacs, où la végétation lui permet de se cacher en guettant ses proies. L'artificialisation des habitats et le contrôle des crues menacent les populations de brochets.

Le corps du brochet est verdâtre, fuselé et très allongé. Son museau large et aplati en forme de bec de canard. Ses mâchoires sont munies de pores sensitifs très visibles. La nageoire dorsale est petite, très reculée, proche de la caudale et implantée au niveau de l'anale. Cette disposition particulière lui permet de bondir sur ses proies à la vitesse de 3m/sec.

Le brochet est planctonophage dès la résorption de sa vésicule, le brocheton devient rapidement carnassier. Il se nourrit alors de poissons (surtout des cyprinidés), de batraciens, de petits mammifères et d'écrevisses.

Le frai a lieu en période de crues, de février à avril, dans des herbiers peu profonds et fraîchement immergés (exemple d'association floristique : glycéries, rumex, callitriche et menthe aquatique) où les femelles déposent leurs œufs qui seront fécondés par un ou deux mâles. Cela se produit principalement en période de hautes eaux, d'augmentation des

températures et de la longueur des jours. Pour être fonctionnelle, la frayère présentera une profondeur d'eau de 0,3 à 1 m et une température de 8 à 13°C pendant au moins 40 jours.

Pour la préservation et la conservation de cette espèce, le centre national d'hydrobiologie et de pisciculture d'Azrou fait annuellement une campagne de reproduction artificielle suivi des déversements des alevins de brochet dans plusieurs lacs marocains.

- **Carpe :**

- *Famille des Cyprinidés*
- *Espéce : Cyprinus carpio*



**Figure 35 :** Photo prise dans le Lac Ouiouane avec une carpe capturée

Le corps de la carpe est légèrement comprimé et bossu à l'arrière de la tête. Son dos est gris-vert à gris-brun, ses flancs ont des reflets cuivrés et son ventre est blanchâtre. Elle possède des dents pharyngiennes. La nageoire dorsale est longue, ondulée sur le bord supérieur et dépourvue de rayons épineux (le premier rayon est denté). La nageoire caudale est bien développée et possède un bord postérieur échancré.

Cette espèce est planctonophage en début de vie, le carpillon (petite carpe) de - vient très vite omnivore. En règle générale, la carpe a une préférence pour la nourriture benthique, disponible à moindre effort.

La carpe vit dans des eaux relativement chaudes, stagnantes ou lentes à fonds sablonneux ou vaseux riches en végétation aquati - que. Elle est photophobe et sélectionne donc des habitats à faible luminosité. La carpe est surtout active la nuit, en début et en fin de journée.

La carpe se reproduit de mai à juillet quand la température de l'eau atteint 20 à 22°C. Elle pond ses œufs dans des zones de faible profondeur où sont présents de nombreux végétaux aquatiques auxquels adhèrent les œufs. En même temps, les mâles qui se disputent les femelles, sont couvertes de tubercules nuptiaux sur leurs opercules branchiaux

- **Tanche :**

- Famille des *Cyprinidés*
- Espéce : *Tinca tinca*



**Figure 36 :** Photo de la tanche capturée dans le Lac Ouiouane

Le corps de la tanche est épais, assez haut et trapu avec un dos légèrement bombé. Les écailles recouvrant le corps sont petites et profondément insérées dans une peau couverte de mucus. Le pédoncule caudal est large et court. Les yeux sont petits, ronds et rouges. Enfin, la bouche arrondie présente une paire de petits barbillons aux commissures des lèvres et possède des dents pharyngiennes.

La tanche est un poisson omnivore benthique : macrophytes, zoobenthos et zooplancton font partie de son régime alimentaire. La part de nourriture végétale est très faible.

La tanche vit dans des eaux calmes, peu profondes et relativement chaudes. On la retrouve dans les lacs, réservoirs et étangs à fond vaseux présentant une végétation importante. Poisson lent seulement actif au crépuscule, la tanche est photophobe et recherche des habitats sombres. Elle résiste à de faibles concentration en oxygènes (jusqu'à 3 mg/L).

La reproduction a lieu du mois de juin au mois d'août dans des eaux comprises entre 21 et 25°C. Les individus se réunissent par groupe d'une dizaine d'individus, dans des zones peu profondes sur des substrats riches en végétation. Comme tous les autres cyprinidés, la maturation sexuelle de la tanche est régulée par des températures chaudes et par des photopériodes longues.

- **Perche :**

• Famille des Percidés

• Espèce : Perca *fluviatilis*



**Figure 37 :** Photo de la perche *Perca fluviatilis*

Le corps de la perche est haut, légèrement bossu et s'affine vers la queue. Sa courte tête présente un museau obtus dont les opercules sont munis d'une pointe à l'extrémité. Son dos gris foncé à verdâtre possède 6 à 9 bandes noires (certaines en forme de « Y »). Les nageoires pelviennes sont rouge vif (la nageoire anale et caudale également). Tout comme le sandre, la première nageoire dorsale est munie de rayons durs et la seconde de rayons mous.

Les larves de la perche sont planctonophages, elles se nourrissent de diatomées et de ciliés. Les individus deviennent ensuite benthophages et se nourrissent essentiellement de larves d'insectes trouvées sur le fond. Les larves évoluent encore pour devenir ichtyophages et

consomment alors des poissons. Le rythme d'activité alimentaire de la perche est diurne et présente un pic à l'aube et au crépuscule. Le cannibalisme est fréquent

Présente dans la zone à barbeau, la perche se retrouve également dans les eaux calmes des étangs, canaux et réservoirs artificiels. Elle vit en bancs et affectionne tout type d'obstacle (troncs, branches, végétation, pierres) qui lui offre abris et caches. Son organisation sociale est défensive face aux prédateurs (la perche vit en bancs de même classe d'âge = cohortes) et offensive pour la capture de jeunes alevins (efficacité des captures).

La reproduction intervient au printemps (mars-avril-mai) quand l'eau atteint 12 à 14°C dans des zones de faible profondeur où la végétation est abondante. Les œufs se présentent sous la forme de cordons blancs rubanés (2 à 3 m de long pour 8 cm de diamètre) entourés d'un mucus qui les fixe au support de ponte. Sur la photo : œufs de perche mis à sec suite à une diminution du niveau d'eau sur les lacs de l'Eau d'Heure.

- **Gardon**

- Famille des Cyprinidés.
- Espèce : *Rutilus rutilus*



**Figure 38 :** Photo du gardon *Rutilus rutilus*

Le gardon possède un corps fusiforme, aplati latéralement et recouvert de grandes écailles arrondies. Son dos est bombé et le bord ventral est arrondi entre les nageoires pelviennes et l'anus. Sa tête est petite et munie d'une bouche terminale étroite. Les nageoires pectorales, dorsales et anales sont munies de rayons mous. Enfin, la nageoire dorsale est grise et les nageoires pelviennes, anales et pectorales sont orange à rouge Le gardon est omnivore, il se nourrit principalement de chironomidés, de larves d'insectes mais également d'invertébrés, de petits crustacés, de petits mollusques et de végétaux.

Le gardon est un poisson qui vit en bancs dans les eaux stagnantes des lacs, des étangs, et des réservoirs ou bien encore dans les eaux à faible courant des rivières et des canaux. Sa rusticité lui permet de supporter la pollution du milieu, les eaux saumâtres et les dégradations environnementales. Toutefois, ce poisson est très sensible aux variations brutales de température.

La reproduction du gardon se déroule d'avril à juin-juillet dans des zones peu profondes et riches en végétation. A ce moment les mâles présentent des boutons nuptiaux sur leur tête. Certains individus pratiquent le « homing » en retournant pondre à leurs origines. La femelle dépose des œufs jaunes et adhérents qui restent accrochés aux plantes, aux racines ou aux pierres pendant 1 à 2 semaines. Le gardon peut s'hybrider assez facilement avec le rotengle, la brème et l'ablette.

Durant notre étude, nous avons remarqué la dominance de la tanche puisque nous avons enregistré sa présence durant toutes les compagnes de capture, le record enregistré pour cette espèce est 1300 gramme pour une longueur de 46 cm.

Le brochet à été capturé cinq fois durant notre étude, nous avons enregistré un record de l'ordre de 2270 g pour 65 cm de longueur.




**Figure 39 :** Photo montrant le Brochet record capturé dans le Lac Ouiouane

La carpe a été capture deux fois avec un record enregistré de 2900 gramme pour 60cm de longueur.



**Figure 40 :** Photo montrant les poissons morts à la surface du Lac Ouiouane

Pendant la saison d'été de l année d'étude, Nous avons observé une mortalité importante des poissons au niveau du lac Ouiouane, Cette mortalité peut être expliqué par de nombreux facteurs, dont l'acidité des pluies tombées pendant cette saison comme elle peut être due à l'apparition des blooms phytoplanctoniques spécialement le *Ceratium,* qui provoqué l'émission de toxines, et aussi le manque d'oxygène.

## V- Représentation statistique des différents paramètres physicochimiques étudiés

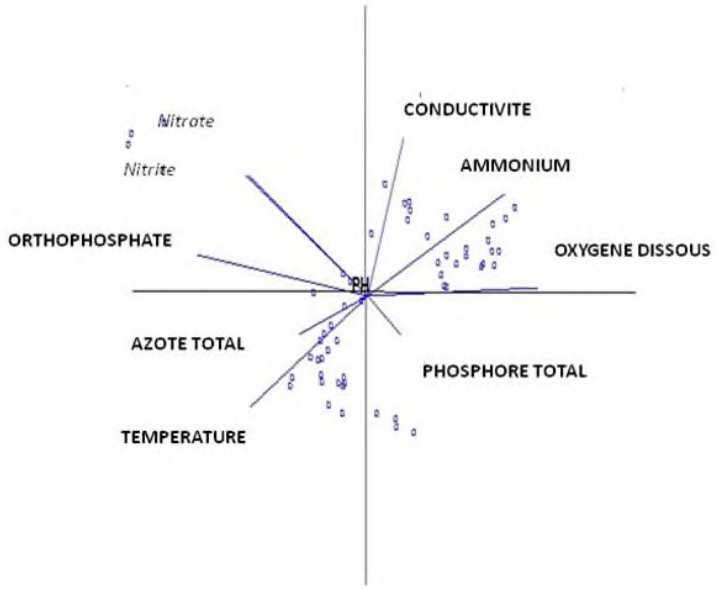


**Figure 41:** Analyse des composants principaux des différents paramètres physico-chimiques étudiés

Horizontalement, nous distinguons deux groupes des paramètres étudiés à savoir, Nitrite, Nitrate, Azote total, Ortho phosphate qui évoluent dans le même sens, d'un coté et de l'autre coté, Ammonium, Oxygène dissous, Phosphore Total semble être corrélé entre eux, par contre, le pH se montre neutre à alcalin. En outre, nous avons bien constaté que la teneure en nitrite nitrate est liée à une température assez importante contrairement aux Ions Ammonium.

Verticalement, nous avons pu montrer que la présence d'Ions Ammonium, Phosphore Total sont liés à une forte conductivité électrique des eaux du lac, contrairement aux paramètres Azote Total.

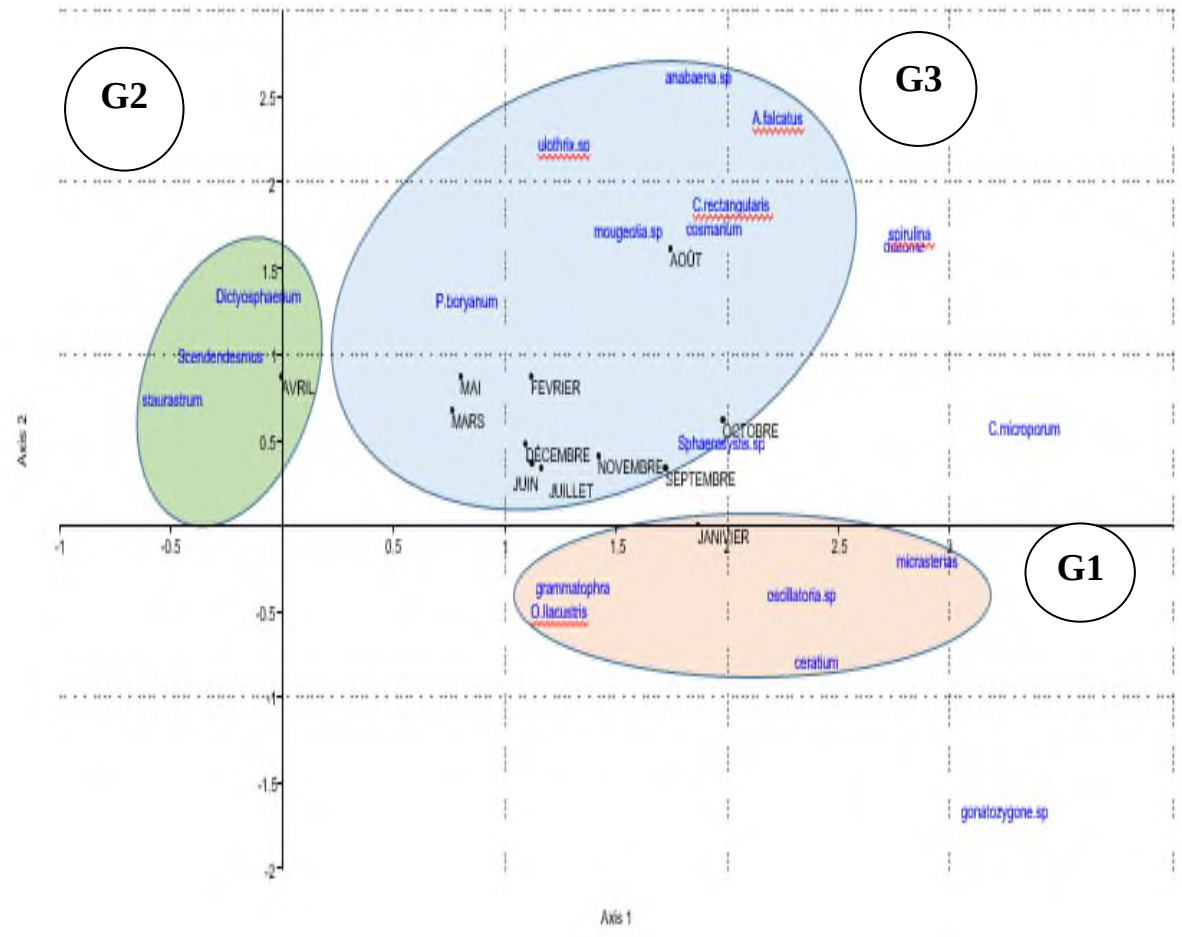


**Figure 42:** Analyse dimensionnelle des différentes espèces récoltées dans le Lac Ouiouane en fonction des différents mois d'étude

La représentation statistique des données nous a permis de mettre en évidence trois types de groupes :

Groupe G1 : *Gammatophora, Ceratium, Micrasterias, Oscilatoria sp, O.lacustris*

Groupe G2 : *Staurastrum, Dictyoshaerium, Scendendesmus*

Groupe G3 : *Anabena.sp, Ulotrix sp, Mougeatia.sp, Cosmarium, Sphaerosystus.sp*

Nous avons remarqué que les différentes espèces rencontrées se repartissent en fonction du temps, Au cours du mois de Janvier, Nous distinguons l'apparition de cinq espèces qui sont groupées dans le G1, quant au mois d'Avril, nous avons pu observer la présence des espèces

regroupées dans le G2. Par contre, le G32 regroupe les autres espèces rencontrées dans le lac qui apparaissent au cours du reste de l'année.

## CONCLUSION GENERALE

De l'ensemble de nos résultats obtenus, il ressort que le lac ouiouane est classé eutrophe, vue l'évolution saisonnière des paramètres physicochimiques, notamment les nutriments (azote, phosphore) et la biomasse algale.

Le peuplement phytoplanctonique présent au niveau du Lac Ouiouane est dominé par les cyanophycées avec une présence importante des blooms de *Ceratium*, ce qui met la diversité biologique de cet écosystème en danger, notamment le peuplement ichtyaufaune représenté par 5 espèces, *Brochet, Carpe, Gardon, Tanche et Perche*, cette population a connu un déséquilibre qui a été traduit par la mort de plusieurs individus ce qui peut être expliqué par l'apparition des blooms de *ceratium.*

Le peuplement zooplanctonique est dominé par le groupe des Cladocères (*daphné* et *Bousmina*).

Nous avons pu montrer que le Lac Ouiouane est envahi par les Macrophytes surtout les subaquatiques représenté par *Ceratophyllum Demensus* et *Myriophyllum Spicata,* surtout au niveau des zone anthropisée comme les bordures du lac et à côte de la digue.

Le Lac Ouiouane est un site exceptionnel au cœur du Moyen Atlas, il contient toutes les potentialités pour jouer un rôle important au niveau du secteur de tourisme. C'est une zone humide importante, il doit être retenu, comme site d'intérêt biologique et écologique pour sa préservation et sa sauvegarde de la biodiversité.

Il est actuellement impératif de mettre fin aux multiples agressions humaines que le Lac Ouiouane a gravement subit, et ceci par :

- ✓ sensibiliser la population locale à l'importance du site et à l'obligation du respect et du maintien de la propreté du Lac,
- ✓ Planifier des compagnes successives de faucardage du Lac,
- ✓ Effectuer des déversements annuels de la carpe dans le Lac,
- ✓ Interdire la pêche avec les barques à moteurs,
- ✓ Interdire le camping,
- ✓ Procéder aux réaménagements du Lac Ouiouane, notamment par création d'espace vert et de centres d'attraction et de divertissement en vue d'encourager le tourisme local, régional,voir National et International

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABBA E, NASSALI H., BENABID M., EL AYADI R., EL IBAOUI H., 2008. Contribution à l'étude physicochimique de l'écosystème lacustre Dayet Aoua au Maroc. Afrique SCIENCE, 04 (2), pp : 306-317.

AFNOR (1994). Qualité des sols, AFNOR Edition, 250 p.

AMAROS C, 1984.Crustacés cladocéres bull.mensuel Soc.linn.lyon 3 et 4,71-145.

AMHAOUCH A., 1995 (in: SAYAD et al., 2011). Études physico-chimique et Ichthyologique des lacs du Moyen Atlas : cas d'Ifrah et Sidi Ali. Mémoire de 3ème cycle, École Nationale Forestière des Ingénieurs, Salé, 130 p.

AMRANI S., HINAJE S., 2014. Hydrodynamisme et minéralisation des eaux souterraines de la nappe phréatique plio-quaternaire du plateau Timahdite - Almis Guigou (Moyen Atlas, Maroc) European Scientific Journal July 2014 edition vol.10, No.20.

ANGELI N, CRETENOY L, GERDEAUX D, 2001. Importance du peuplement piscicole dans la qualité des eaux : les biomanipulations. In : Gerdeaux D (ed.), Gestion piscicole des grands plans d'eaux, INRA Paris, pp 35- 73.

ARBOLEYA M.L., TEIXELL A., CHARROUD M. AND JULIVERT M., 2004. A structural Transect through the High and Middle Atlas of Morocco. Journal of African Earth Sciences, N° 39 (3/4), pp. 319–327.

ARMONGOL J, 1978.los crustaceos del plankton de los embales espagnoles oecologia aquatica 3,3-96.

AYADI H., TOUMI N., ABID O, MEDHIOUB K., 2002. Étude qualitative et quantitative des peuplements phytoet zooplanctoniques dans les bassins de la saline de Sfax, Tunisie, Revue des sciences de l'eau Volume 15, numéro 1, 2002.

BARBARA K., WERNER G. and CHRISTINE W., 2009.Macrophytes : Instructions pour le prélèvement d'échantillons. In : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement (OFEV) (éd.), pp : 1 – 60.

BENKADDOUR A., 1993. Changements hydrologiques et climatiques dans le Moyen Atlas Marocain : chronologie, minéralogie, géochimie isotopique et élémentaire des sédiments lacustres de Tiglmamine. Thèse Doctorat Sciences, Université de Paris-Sud, 170 p.

BENKADDOUR A., RHOUJJATI A. et NOUR EL BAIT M., 2008. Hydrologie et sédimentation actuelles au niveau des lacs Iffer et Aguelmam Azigza (Moyen Atlas, Maroc). Actes RQM4, Oujda, 108-118.

BENNOUNA Y. & SOSSEY-ALAOUI F., 2010.Development of a PES approach to support the conservation of several wetlands in the middle Atlas.PROJECT No. 9E0759.01, ETUDES ET MESURES LES 5 DOMAINES, Rabat, 38p.

BLACHE J., 1919 (in: SAYAD et al., 2011). De Meknès aux sources de la Moulouya. Essai d'exploration aérienne au Maroc. Annales de Géographie, vol. 28, n° 154, pp : 293-314.

BOURRELLY P., 1966. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome 1 : les algues vertes. Collect. Faunes et Flores actuelles. Editions N. Boubée, Paris, 572p.

BOURRELLY P., 1968. Les algues d'eau douce : les algues jaunes et brunes. éd. N. Boubée, Paris, 2517p.

BOURRELLY P., 1970. Les algues d'eau douce : les algues bleues et rouges. éd. N.Boubée, Paris, 3606 p.

BRISSON, J. (2014). ROSEAU COMMUN : le Dr Jekill et Mr Hyde du monde végétal 1ére édition, Québec, Institut de recherche en biologie végétale, 71 p.

BRITTON, R. H. et CRIVELLI, A. J., (1993).Wetlands of southern Europe and north Africa : Mediterraean wetlands in : Wetlands of the world I de D.F. Whigham et al edition.

CASON C, ROOST B A (2011). "Species Selectivity of Granular 2,4-D Herbicide When Used to Control Eurasian Watermilfoil (Myriophyllum spicatum) in Wisconsin Lakes." Invasive Plant Science and Management 4(2): 251-259.

CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec). 2012. Identification, dénombrement et estimation du biovolume des cyanobactéries et des algues. MA. 800 – Cya.alg 1.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 22 p.

CHAHBOUNE M., CHAHLAOUI A., ZAID A., BEN MOUSSA A., 2013. Contribution à l'étude de l'état trophique du barrage Hassan II (Province de Midelt, Maroc). J. Mater. Environ. Sci., 4 (6), pp : 1019-1028.

CHERKAOUI E., BAYED A., 2005. Structure et distribution des peuplements benthiques intertidaux dans un estuaire d'Afrique du Nord : l'estuaire du Bou Regreg Mar. Life– vol.15 (1-2) : 29-41.

CHILLASSE L. et DAKKI M., 2004. Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. Sécheresse, N° 4, Vol. 15, pp. 337-345.

CHILLASSE L., DAKKI M. et ABBASSI M., 2001.Valeurs et fonctions écologiques des Zones humidesdu Moyen Atlas (Maroc). Humedales Mediterráneos, 1 (2001), SEHUMED, Valencia (España), pp. 139-146.

CHILLASSE L. , 2000. Les Oiseaux nicheurs et estivants des lacs naturels du Moyen Atlas. Actes des troisièmes journées : Oiseaux d'eau et les Zones humides au Maroc, Institut Scientifique, Rabat, 90-10 juin 2000.

CHILLASSE, L., DAKKI M. et ABBASSI, M., 1999. Les lacs naturels du Moyen Atlas, zone d'intérêt majeur pour la conservation de la biodiversité. Proceeding of First International Conference on Biodiversity and Natural Resources Preservation, School of Science & Engineering, Al Akhawayn University, Ifrane,May 13-14, 1999.

CHILLASSE, L., DAKKI M. et ABBASSI, M., 1999. Les lacs naturels du Moyen Atlas, zone d'intérêt majeur pour la conservation de la biodiversité. Proceeding of First International Conference on Biodiversity and Natural Resources Preservation, School of Science & Engineering, Al Akhawayn University, Ifrane,May 13-14, 1999.

CHILLASSE L. , 2000. Les Oiseaux nicheurs et estivants des lacs naturels du Moyen Atlas. Actes des troisièmes journées : Oiseaux d'eau et les Zones humides au Maroc, Institut Scientifique, Rabat, 90-10 juin 2000.

COETZEE J.A. & HILL M.P. (2008) Biological control of water hyacinth - The South African experience.EPPO Bulletin, 38, 458–463.

COUTRIS C, MERLINA G, SILVESTRE J, PINELLI E, ELGER A (2011). "Can we predict community-wide effects of herbicides from toxicity tests on macrophyte species" Aquatic Toxicology 101(1): 49-56.

DAKKI, M. & EL AGBANI, M.A., 1995 . The Moroccan Wetlands: diversity and human impact. In : C. Montes et al. : Bases ecologicas para la restauration de humedales en la cuena mediterranea.Consejeria de Medio Ambiente (Espana), pp. 299-307.

DAKKI, M., 1997. Étude nationale sur la biodiversité. Biodiversité de la faune aquatique continentale (Invertébrés et poissons). Secrétariat d'Etat à l'Environnement. Rapport du projet GEF/6105-92, 117 pp. 1997.

DAKKI M., QNINBA A., EL AGBANI M.A. & BENHOUSSA A., 2003b. Recensement hivernal d'Oiseaux d'eau au Maroc : 1996-2000. Trav. Inst. Sci., Rabat, série Zool., 45, 28p.

DAMNATI B., ETEBAAI I., RHOJJATI A., ARNAUD D., DECOBERT M., MARAIS A. et TAIEB M., 2014. Reconstitution de l'environnement lacustre actuel et de l'évolution paleo-cliamatique depuis 29.000 ans à partir d'une étude multidisciplinaire des eaux et des sédiments : cas du lac Ifrah (Moyen Atlas, Maroc). Actes de la sixième Rencontre des Quaternaristes Marocains (RQM6), pp : 87- 92.

DUBROCA L., 2011. Amélioration et définition de nouveaux indices de composition phytoplanctonique pour les masses d'eaux de transition méditerranéennes dans le adre de la DCE. 55p.

DUMONT M., 2008. Apports de la modélisation des interactions pour une compréhension fonctionnelle d'un écosystème application à des bactéries nitrifiantes en chemostat. These de doctorat, Université Montpellier II, 228p.

ETEBAAI I., 2009. L'environnement actuel et le fonctionnement hydroclimatique de quelques systèmes lacustres dans le Moyen Atlas marocain : cas des lacs Ifrah, Iffer et Afourgagh. Thèse de Doctorat, Université Abdel Malek Essaadi, FST de Tanger, pp : 7-176.

ETEBAAI I., DAMNATI B., BENHARDOUZE H., BENHARDOUZE O., REDDAD H., MAATOUK, M. &TAIEB M., 2008. L'environnement du lac Ifrah (Moyen Atlas, Maroc) : physico-chimie des eaux et sédimentation actuelle, Africa Geoscience Review, Vol. 15, No. 4, pp : 303-317.

ETEBAAI I., DAMNATI B., RADDAD H., BENHARDOUZ H., BENHARDOUZ O., MICHE H. & TAIEB M., 2012. Impacts climatiques et anthropiques sur le fonctionnement hydrogéochimique du Lac Ifrah (Moyen Atlas marocain), Hydrological Sciences Journal, 57(3), pp : 547-561.

FARINETTI A., 2013. Les eaux courantes » du droit, entre ressources vouées à l'exploitation et écosystèmes dignes de protection », Géocarrefour, vol. 88/1 | , 55-63.

FEUCHTMAYR H., MORAN R. HATTON K., CONNOR L., HEYES T. MOSS B. HARVAY I., & ATKINSON D. (2009) Global warming and eutrophication: effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shalow Lake Mesocosms. Journal of Applied Ecology, 46, 713–723.

FRONTIER S., PICHOD-VIALE D., LEPRETRE A., DAVOULT D., et al., 2008. Ecosystèmes : Structure, Fonctionnement, Evolution, 4 e Ed. Dunod, 576 p.

FRYER G.1985.Crustacean diversity in relation to the size of water bodies: some facts and problems.freshwater.biol.15,47-361.

GAYRAL, P., 1954. Recherches phytolimnologiques au Maroc. Trav. Inst. Sci. Chér., sér. Bot., 41 vol. 308pp Martin, J. (1981). Le Moyen Atlas central étude géomorphologique. Notes et Mémoires du service Géologique N° 258 bis Rabat Maroc 447 pp.

GETSINGER KD TURNER EG, MADSEN J D, NETHERLAND M D (1997) "restoring native vegetation in a eurasian water milfoil-dominated plant community using the herbicide triclopyr" regulated rivers: research & management, VOL. 13, 357-375.

GILLET C. 2001. Le déroulement de la fraie des principaux poisons lacustres. In Gerdeaux D (éditeur) gestion piscicole des grands plans d'eau, INRA, Paris, pp 241-282.

GIUDICELLI, J. , DAKKI M. 1984. Les sources du Moyen Atlas et du Rif : faunistique (description de deux espèces nouvelles de Trichoptères), écologie, intérêt biogéographique. Bijdragen tot de Dierkunde, 54(1): 83-100.

GROGA N., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 240p.

GROSS E M (1999) "Allelopathy in bentic and littoral Areas: case study on allelochemicals from benthic cyanobacteria and macrophytes" CRC press pp 179-199.

GUISELIN N., 2010. Etude de la dynamique des communautés phytoplanctoniques par microscopie et cytométrie en flux, en eaux côtières de la Manche orientale, Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale en Océanographie Biologique, 190p.

HADJ AMOR R., QUARANTA G., GUEDDARI F., MILLION D. & CLAUER N. (2008) The life cycle impact assessment applied to a coastal lagoon: the case of the Slimane lagoon (Tunisia) by the study of seasonal variations of aquatic eutrophication potential. Environmental Geology 54, 1103 – 1110.

HAMMER C.1985.Feeding behavior of roach (Rutilus rutilus )larve and fry of perch (Percafluviatilis) in lake lankau .Arch.hydrobiol.103,1,61-74.

HANAZATO T., YASUNO M. et HOSOMI M.1989.significative of a low oxygen layer for a daphnia population in lake Yunoko,Japon .J. Hydrobiol.185,19-27.

HINAJE S. & AIT BRAHIM L., 2002. Les basins lacustres du Moyen Atlas (Maroc) : un exemple d'activité tectonique polyphasée associée à des structures d'effondrement, Comun. Inst. Geol. E Minerio., 89, pp : 283-294.

HOULIEZ E., 2012. Contrôle de l'activité photosynthétique du phytoplancton en milieu côtier : utilisation de la fluorescence spectrale et de la fluorimétrie modulée. Thèse de doctorat, Université de Lille 1, 370p.

JOEZH, 2014. Proceeding journée oiseux d'eau et zones humides Marrakech 2014.

KANE M E, GILMAN E F (1991) "in vitro propagation and bioassays systems for evaluating growth regulator effects on Myriophyllum species" journal of aquatic plant management 29: 29-32.

KANE M E, GILMAN E F, Jenks M A (1991) "regenerative capacity of myriophyllum-aquaticum tissues cultured invitro" journal of aquatic plant management : 29 : 102-109.

KARR J.R., 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. Ecol. Appl., 1 (1), pp : 66-84.

KNAUER K, MOHR S, FEILER U (2008) "Comparing growth development of Myriophyllum spp. in laboratory and field experiments for ecotoxicological testing." Environmental Science and Pollution Research 15(4): 322-331.

KIRAT MIMOUN. MOUSSAID AZIZI,. EL MARZOUQ EL HOUSSAINE.2016. Etude hydrogéologique des sources Oum Errabiaa et lacs avoisinants : quelle relation. Revue Interdisciplinairevol 1, N°3 (2016).

LAMHASNI N., CHILLASSE L., ABBA H., EL HAOUAT S. , EL MADANI M., 2013. Typologie des eaux de surface du bassin du Sebou par multi-approche : corrélation entre indice biologique global des réseaux de contrôle et de surveillance (IBG-RCS) et l'approche physicochimique et microbiologique, Afrique Science 09(2)35 – 49 35

LAPLACE-TREYTURE C., BARBE J., DUTARTRE A., DRUART J-C., ANNEVILLE F.O., 2009. Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en œuvre de la DCE, Cemagref, INRA, Version 3.3.1, 44p.

LAZZARO X. 2009. Rôle structurant des poissons filtreurs omnivores sur la dynamique des communautés planctoniques et les efflorescences dans les lacs tropicaux peu profonds. HDR Univ. Pierre et Marie Curie – Paris 6, 115 p.

MAKRUSHIN A.V., 1966. Cladoceran crustaceans as indicators of water pollution. J.Am. Wat. Wks.Ass. 58, 88-90.

MAGHRADI S., 2009. Intégration des méthodes d'aide à la décision dans l'aménagement multifonctionnel des forêts au Maroc. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique, Université Catholique de Louvain, 386p.

MAMA D., 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Benin). Thèse de doctorat, Université de Limoges ; 157p.

MARTIN J., 1981. Le Moyen Atlas central étude géomorphologique. Notes et Mémoires du service géologique, n° 258 bis. Rabat (Maroc) : sn, 1981 ; 447 p.

MATEJKA G., FEUILLADE G., HEULOT I., LEMEHAUTE P. & MAZET M. (1992) Les échanges de phosphore à l'interface eau-sédiments. Etudes et mémoires. Tribune de l'eau, 556, 19-25.

MEHANNED S., CHAHLAOUI A., ZAID A., SAMIH M., CHAHBOUNE M., 2014. Typologie de la qualité physico-chimique de l'eau du barrage Sidi Chahed Maroc, J. Mater. Environ. Sci., 5 (5), pp : 1633-1642.

MEHNER T. 2010. No empirical evidence for community-wide top-down control of prey fish density and size by fish predators in lakes. Limnol.Oceanogr. 55:203-213.

MEHNER T, BUSCH S, HELLAND IP, EMMRICH M, FREYHOF J. 2010. Temperature related nocturnal vertical segregation of coexisting coregonids. Ecol. Freshw. Fish 19:408-419.

MELHAOUI, M. ,1994. Ecologie des ressources halieutiques des eaux continentales à intérêt économique : Anguillidae, Salmonidae. Thèse de Doctorat és- Sciences Biologiques. Faculté de Sciences Oujda. 180pp.

MICHARD A., 1976. Eléments de géologie marocaine. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 252, 408 p.

MILLERIOUX G., 1976. Contribution à l'étude du lac D'Aydat (Puy de Dome). Thèse de 3ème cycle, Université de Clermont-Ferrand II., 107p.

MONVAL, J. Y. et PIROT, J.Y., 1989.Results of the International Waterfowl Census 1967-1986. IWRB Spec. Publ. N° 8 Slimbridge. 145 pp.

MORGAN N.C., 1982. An ecological survey of standing waters in North West Africa: III. Site descriptions for Morocco, Biological Conservation, 24, pp : 161-182.

MOSS B., BACKER T., STEPHEN D., WILLAMS A., BALAYLA D., BEKLIOGLU M. & CARBALHO L. (2005) Consequences of reduced nutrient loading on a lake system in a lowland catchment: Deviations from the norm Freshwater biology, 50, 1687 – 1705.

NICHOLS SA, SHAW BH. 1986. Ecological life histories of the three aquatic nuisance plants, Myriophyllum spicatum, Potamogeton crispus and Elodea canadensis. Hydrobiologia. 131:3- 21.

NEWMAN, R.M. 2004.Invited review -biological control of Eurasian watermilfoil by aquatic insects: basic insights from an applied problem. Arch. Hydrobiol. 159: 145–184.

NICOD J., 2000. Sources et hydrosystèmes karstiques des régions arides et semi-arides : essai géographique, Karstologia, 35, pp : 47-58.

O.C.D.E. 1982. Eutrophisation des eaux : méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte. Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Paris, 164p.

ONION AM, (2004). Herbivore resistance in invasive and native Myriophyllum spicatum and Myriophyllum heterophyllum ; A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate hool of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.

OGUTU –OHWAYO R., HECKY R.E., COHEN S.A. & KAUF L. (1997) Human Impacts on the African Great Lakes. Environmental Biology of Fishes 50, 117–137.

OLENINA I., HAJDU S., EDLER L., ANDERSSON A., WASMUND N., BUSCH S., ÖBEL G.J., GROMISZ S., HUSEBY S., HUTTUNEN M., JAANUS A., KOKKONEN P., LEDAINE I. and NIEMKIEWICZ E., 2006. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. HELCOM, Balt. Sea Environ. Proc., No. 106, 144p.

PARINET B., LHOTE A. & LEGUBE B. (2004) Principal Component Analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management – Application to A tropical lake system. Ecological Modelling 178, 295 – 311.

POURRIOT R. & MEYBECKM. (1995) Limnologie générale, Masson Edition, 956p.

RACHIQ S., 2003. Structure et fonctionnement du peuplement phytolanctonique et capacités phagotrophes des microalgues dans le réservoir Allal El Fassi (Maroc). Thèse dr. Fac. sci. Fès, pp : 16-107.

RAMADE F. (1981) Eléments d'écologie : écologie appliquée. 4ème édition, Paris, Ed. Mc Graw Hill, 578 p.

RAMSAR CONVENTION BUREAU, 1990. Procceeding of the fourth meeting of the Conference of the Contractong parties of the Ramsar Convention Montreux, Switzerland,

27 June to 4 July 1990. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. Vol Iv + 336 pp., VolIIx + 356 pp., Vol. III viii + 367 pp.

RHOUJJATI A., NOURELBAIT M., BENKADDOUR A., DAMNATI B., BAALI A., TAIEB M., DECOBERT M., MALEK F. et CHEDDADI R., 2012. Significations paléoenvironnementales des dépôts du remplissage holocène du lac Iffer (Moyen Atlas, Maroc). Quaternaire, 23, (3), pp : 241-252.

RYDING S.O. & RAST W. (1994) Contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs.Collection des Sciences de l'Environnement n°9. Masson éditeur. Paris. 294p.

RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., et al., 2009. Analyse de l'eau. Edit.9. Dunod, 1526p.

SAYAD, A., CHAKIRI S., MARTIN C., BEJJAJI Z. et ECHARFAOUI H., 2011. Effet des conditions climatiques sur le niveau du lac Sidi Ali (Moyen Atlas, Maroc). Physio-geo. Revues, Volume 5, pp : 251-268.

SCOR-UNESCO WORKING GROUP 17, 1966.Determination of photosynthetic pigments in sea water.UNESCO Monographs on oceanographic methodology, 1, pp: 11-18.

SEEE (SECRETARIAT D'ETAT auprès du MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONEMENT chargé DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT), 2007. Normes de qualité Eaux de surfaces, Grille de qualité. SEEE (SECRETARIAT D'ETAT CHARGE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT), 2015. Etude de la stratégie nationale de l'eau. SEEE - Rabat, Copyright(C) 2015, 8p.

SIMPSON E. H., 1949.Measurement of diversity. Nature, 163, PP : 672-688.

SMITH V.H., TILMAN G.D. & NEKOLA J.C. (1999) Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. Environ. Poll. 100: 179-196.

SOLHEIM A.L., 2005.Reference Conditions of European Lakes.Indicators and methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference conditions.Version 5. REBECCA Working Group, 105 p.

TROIN J.F. et BERRIANE M., 2002. Régions, pays, territoires, éd. Maisonneuve et larose, 504p.

TYMEN R. (1997) Traitement curatifs de l'eutrophisation sur quelques retenues du bassin Loire Bretagne, Rapport de synthèse, Agence de l'eau Loire Bretagne, Université Louis Pasteur de Strasbourg (Institut de Géologie) 56 p.

VASSIOS J D, NISSEN S J, BRUNK G R (2011). "Imazamox absorption, desorption, and metabolism by Eurasian watermilfoil." Journal of Aquatic Plant Management 49: 44-49.

VERMA U, CHARUDATTAN R (1993) "host-range of mycoleptodiscus-terrestris, a microbial herbicide candidate for eurasian watermilfoil, myriophyllum-spicatum" biological control: 3: 4: 271- 280.

VIELLIARD J., 1970. La distribution du Casarca roux (Tadorna ferruginea). Alauda, 38, (2), pp: 87- 125.

WILSON J.R., HOLST N. & REES M. (2005) Determinants and patterns of population growth in water hyacinth. Aquatic Botany 81, 51-67.