



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

N° d'ordre 54 /2020

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mme : Bouayad Kenza

Spécialité : Ecologie et biodiversité

Sujet de la thèse : Dynamique des peuplements phytoplanctoniques et zooplanctoniques du lac Dayaet Aoua (Moyen Atlas -Maroc).

Thèse présentée et soutenue le 31/10/2020 devant le jury composé de :

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
<u>El Ghdraoui Lhsen</u>	PES	Faculté des sciences et techniques de Fès	Président
<u>Filali Zegzouti Younes</u>	PES	Faculté des sciences de Meknès	Rapporteur
<u>Bour Abdellatif</u>	PES	Faculté des Sciences de Kénitra	Rapporteur
<u>Guemouh Rajae</u>	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès	Rapporteur
<u>El Ghachtouli Naima</u>	PES	Faculté des sciences et techniques de Fès	Examineur
<u>Bouchama El Ouazna</u>	PES	Faculté des sciences et techniques de Fès	Examineur
<u>Derraz Khalid</u>	PES	Faculté des sciences et techniques de Fès	Directeur de thèse
<u>Rachid Saâd</u>	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

REMERCIEMENTS

La route a été longue et difficile pour en arriver là et je n'avoue pas y avoir cru tous les jours. Cette thèse représente des années de travail, de vie, avec au cours de ce parcours, des moments de joie et d'autres de plus difficile. A cet égard, je ne peux que dire avant toute chose merci à **Allah**, le Tout-Puissant, pour avoir exaucé mes prières au-delà de mes rêves, en me donnant le courage, la force et la patience.

Messieurs les professeurs **Derraz Khalid** et **Rachiq Saâd** ont dirigé mon travail depuis mon entrée au Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement de la Faculté des Sciences et techniques de Fès. Je tiens à les remercier chaleureusement, non seulement pour leur degré d'implication mais aussi la qualité de leurs encadrements et la pertinence de leurs remarques. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de mes plus vifs remerciements, en espérant qu'ils trouveront des résultats à la mesure de la confiance et du dévouement qu'ils m'ont accordé.

J'adresse mes profonds et sincères remerciements à Monsieur le Professeur **El Ghadraoui Lhssen**, Directeur du Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement (EFE), pour l'accueil qu'il m'a réservé dans son laboratoire, la disponibilité permanente, l'implication, les conseils, le soutien qu'il n'a cessé de m'apporter durant ces années de thèse et aussi pour l'honneur qu'il me fait d'être le président de jury de ce travail, je lui adresse mes remerciements les plus respectueux.

Madame **Guemmouh Rajae**, professeur à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès, Monsieur **Filali Zegzouti Younes**, professeur à la Faculté des sciences de Meknès et Monsieur **Bour Abdellatif**, professeur à la Faculté des Sciences de Kenitra, ont bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail en étant rapporteurs. Je leur adresse mes remerciements les plus respectueux.

Je suis profondément reconnaissante à Madame **El Ghachtouli Naima**, professeur à la Faculté des Sciences et technique de Fès, et à Madame **Bouchama El Ouazna**, professeur à la Faculté des Sciences et technique de Fès, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse mes remerciements à toute l'équipe du laboratoire EFE, et en particulier à mes collègues doctorants, **Zineb Idrissi, Chaimae Rais, Imane Tlemcani, Imane Hinch, laila El hanafi, Maryam Houhou, Fazul Anis** et **Mansouri Ismail** pour tous les échanges techniques et scientifiques quotidiens, dans la bonne humeur.

On ne pourrait passer sous silence, l'aide précieuse que j'ai reçu de **Ma Famille**, tout particulièrement de **Mes Parents** qui m'ont soutenu durant toutes mes années d'études.

Je tiens à remercier mon mari, mon âme sœur **Adil El Baouchi**, ainsi que mon amie et ma sœur **Nouha El Allaoui**, qui m'ont soutenu et donné le courage de surmonter les moments difficiles.

Mes remerciements s'adressent à mes frères Hamza et Mohammed, mes grands-mères pour leurs prières, toute la famille **Bouayad** et **Chaoui** pour leurs soutiens et certainement je n'oublierais pas ma belle-famille **El Baouchi** à leurs têtes mes beaux-parents et mes belles sœurs pour leurs encouragements, ainsi que mes chers voisins la famille **Boulhjour** pour leurs soutiens.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui ont joué un rôle de près ou de loin dans la réussite de cette thèse.

Résumé

Le présent travail consiste à déterminer la structure et le fonctionnement de l'écosystème lacustre Dayet Aoua (Moyen Atlas-Maroc), qui a pour objectifs d'étudier les caractéristiques physicochimiques, la dynamique des peuplements phytoplanctoniques, zooplanctoniques et leurs développements, ainsi que la confirmation de l'état trophique par l'étude des variations saisonnières. La campagne s'étalant de mars 2015 à février 2016 avec un pas d'échantillonnage bimensuel. Les prélèvements sont effectués à l'entrée, à la sortie du lac et au point le plus profond à différentes profondeurs (0m,1m,2m et 4m). Les variations spatio-temporelles de la température ne présentent aucune stratification thermique avec la persistance de l'homothermie même en période chaude. Oxygéné jusqu'au fond, ce milieu présente des eaux claires plus de 82 % des résultats sont supérieurs au niveau (4 m). Le pH demeure alcalin suite à la nature hydro-chimique de la roche mère carbonaté-calcaïque et magnésienne, la conductivité est influencé par le principal affluent Oued El Kantra avec une moyenne de 442, 59 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Les éléments azotés et phosphorés restent faibles voir même en état de trace. Ces faibles concentrations en sels nutritifs et selon le classement de l'OCDE, notre lac peut être classé comme lac oligo-mésotrophe. De point de vue qualitative pour le peuplement phytoplanctonique, les espèces les mieux représentées appartiennent aux Cryptophycées avec un pourcentage de 42,08% représentés par (*Cryptomonas ovata*, *Cryptomonas marsonii* et *Rhodomonas sp*), suivi par les Zygothécées 27,73% représentés par (*Staurastrum sp*, *Cosmarium sp* etc) ensuite les Chlorophycées 21,68% représentés par (*Dictyosphaerium pulchellum*, *Oocystis lacustris*, *Ankistrodesmus falcatus* etc) puis les Cyanophycées représentés par (*Spirulina sp*, *Oscillatoria sp* etc) enfin Les Chrysophycées, les Diatomophycées, les Euglenophycées et les Dinophycées ne sont représentées que par une espèce accompagnatrice chacune avec des pourcentages très faibles (≤ 1). La densité et la biomasse de cette communauté phytoplanctonique reste faibles et ont varié de $1,1 \times 10^5$ à $3,4 \times 10^5$ cellules. L^{-1} avec une moyenne de $1,48 \times 10^4$ cellules. L^{-1} pour la densité, concernant la biomasse les valeurs enregistrées ont varié de 1,40 à 4097,49 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. La communauté zooplanctonique est représentée par trois groupes majeurs de point de vue qualitative les cladocères représentent 82% (*Bosmina longirostris* et *Daphnia longispina*,) suivi des copépodes 17% (*Cyclopoides*, *Harpacticoides*) et les rotifères 1% (*Keratella*). De point de vue quantitatif, nous pouvons annoncer que Dayet Aoua est un lac a zooplancton par excellence du fait qu'il présente une densité moyenne annuelle de $(1,94 \cdot 10^7 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-3})$.

Mots clés : Lac, Dayet Aoua, phytoplancton, zooplancton, oligo-mésotrophe et Maroc.

Abstract

The present work consists in determining the structure and functioning of the Dayet Aoua lake ecosystem (Middle Atlas-Morocco), which aims to study the physicochemical characteristics, the dynamics of phytoplankton and zooplankton populations and their developments, as well as the confirmation of the trophic state by the study of seasonal variations. The campaign spanned from March 2015 to February 2016 with a bi-monthly sampling step. Samples are taken at the entrance, at the exit of the lake and at the deepest point at different depths (0m, 1m, 2m and 4m).

The spatio-temporal variations of the temperature do not show any thermal stratification with the persistence of the homothermal energy even in warm period, slightly oxygenated until the bottom, this medium presents clear waters more than 82% of the results are superior to the level (4 m). The pH remains alkaline following the hydro-chemical facies of the carbonate-calcic and magnesian source rock, the conductivity is influenced by the main tributary Oued El Kantra with an average of 442, 59 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Nitrogen and phosphorus contents remain low or even trace. These low nutrient concentrations and according to the OECD ranking our lake can be classified as an oligo-mesotrophic lake.

From a qualitative view of the phytoplankton community, the best-represented species belong to Cryptophyceae with a percentage of 42,08% represented by (*Cryptomonas ovata*, *C. marsonii* ...), followed by Zygothryx 27,73% represented by (*Staurastrum*, *Cosmarium* ...) then the Chlorophyceae 21,68% represented by (*Dictyosphaerium pulchellum*, *Oocystis lacustris*, *Ankistrodesmus falcatus* ...) then Cyanophyceae represented by (*Spirulina sp*, *Oscillatoria sp* ...) finally The Chrysophyceae, Diatomophyceae, Euglenophyceae and Dinophyceae are represented only by a companion species each with very low percentages (≤ 1). The density and biomass of this phytoplankton community remains low and ranged from $1,1 \times 10^5$ to $3,4 \times 10^5$ cells. L^{-1} with an average of $1,48 \times 10^4$ cells. L^{-1} for density, for biomass the recorded values ranged from 1,40 to 4097,49 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. The zooplankton community is represented by three major groups of qualitative view cladocerans represent 82% (*Bosmina longirostris* and *Daphnia longispina*,) followed by copepods 17% (*Cyclopoids*, *Harpacticoides*) and rotifers 1% (*Keratella*).

From a quantitative point, of view we can announce that Dayet Aoua is a zooplankton lake par excellence because it has an average annual density of $(1,94 \cdot 10^7 \text{ind}\cdot\text{m}^{-3})$.

Key words: Lake, Dayet Aoua, phytoplankton, zooplankton, oligo-mesotrophic and Morocco.

ملخص

تروم هذه الورقة البحثية تحديد بنية وكيفية اشتغال النظام الأيكولوجي لبحيرة ضاية عوا (الاطلس المتوسط – المغرب). ويتمثل الهدف الأساسي في دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية وكذا حركية وتطور العوالق النباتية والحيوانية المتواجدة بها.

وايضا يسعى البحث الى تأكيد وضعها الغذائي عبر انجاز دراسة تأخذ بعين الاعتبار تغيرات الفصول وتمتد من مارس 2015 الى فبراير 2016 مع الاعتماد على عينات يتم استخلاصها كل شهرين. جذير بالذكر انه تم جمع العينات من مصب ومنبع البحيرة وفق أعماق نقطة وذلك على امتداد عمق 0 متر، 1 متر، 2 متر، 4 متر.

من الملاحظ ان التغيرات الزمكانية لا تشكل اي تقسيم طبقي حراري اذ ان التشابه الحراري يستمر حتى في الطقس الحار. من ناحية اخرى، ورغم احتوائها على نسبة قليلة من الاوكسجين، تعد مياه هذا الوسط صافية حيث ان ازيد من 82 بالمئة من النتائج تعتبر أكبر من المستوى 4 متر. أما فيما يتعلق بدرجة بي اش فقد تبين انه قاعدي ويرجع هذا الى الطبيعة الهيدروكيميائية للصخرة الام التي تعتبر اساسا كربونية كلسية ومغنوسومية. هذا وقد تأثرت التوصيلية الكهربائية بالرافد الاساسي واد القنطرة، أما فيما يخص العناصر الازوتية والفسفورية فتبقى جد قليلة، اذ تشكل احيانا مجرد بقايا. استنادا على التراكيز الضعيفة للأملاح المعدنية وحسب تصنيف اوسي دي او، يمكن اعتبار البحيرة قيد الدراسة ما بين قليلة الى متوسطة التغذية

من الناحية النوعية و حسب تجمعات العوالق النباتية فان الانواع الاكثر تواجدا تنتمي الى كل من: الطحالب الكربتية و ذلك بنسبة 42 بالمئة متمثلة في (كريبيتوموناس مارسوني كريبيتوموناس اوفاتا)، متبوعة بالطحالب زيكوفيسيا بنسبة 27 بالمئة متمثلة في (ستوراستروم كوسماريوم)، ثم الطحالب الخضراء بنسبة 68، 21 بالمئة متمثلة في ديكتيسفاريوم بولشلوم، اوسيسيتيس لاکستريس، انكسترودميس فالكنتيس و اخيرا الطحالب الخضر المزرقه متمثلة في (سبيرولينا، اوسيلاتوريا) بينما تم تمثيل كل من الطحالب الذهبية، الطحالب الصفراء و الطحالب اليوغلينية بصنف واحد مصاحب لكل منها و ذلك بنسب جد ضعيفة.

تبقى نسب الكثافة والكتلة الحية لتجمع العوالق النباتية ضعيفة، اذ تتراوح بين $1.1 * 10^5$ و $3.4 * 10^5$ خلية وذلك بمتوسط $1.48 * 10^4$ خلية بالنسبة للكثافة، في حين تأرجحت قيم الكتلة الحية بين 1.4 و 4097.49

أما فيما يخص تجمع العوالق الحيوانية فقد تم تمثيله ب ثلاث مجموعات كبرى من الناحية النوعية: مجدافيات الارجل والتي تمثل (بوسمينالوجيغوستريس، دافنيا لونجسبينا)، متفرعات القرون و التي تمثل (سكلوبويد، حاركتيكويد) ثم الدورات والتي تمثل (كيرا تيلا).

من الناحية الكمية، يمكن القول على ان ضاية عوا تعد بحيرة ذات عوالق حيوانية بامتياز، بما ان متوسط الكثافة السنوي يصل $1.94 * 107$ فرد / متر مكعب.

الكلمات المفتاحية: بحيرة، ضاية عوا، عوالق نباتية، عوالق حيوانية، قليل ومتوسط التغذية، المغرب

Table des matières

Introduction générale.....	1
I. GENERALITE SUR L'ECOSYSTEME LACUSTRE	6
1. Définition d'écosystème aquatique.....	6
2. Fonctionnement physique des lacs	6
2.1. Développement de la stratification thermique	6
2.2. Brassage et homogénéisation des lacs	7
3. Approche sur les lacs dans le monde	8
4. Moyen Atlas	10
II. STRUCTURE MICROBIENNE D'UN SYSTEME LACUSTRE.....	15
1. Virus et bactéries.....	16
2. Phytoplancton.....	17
2.1. Définition.....	17
2.2. Habitat et interaction biologique.....	17
2.3. Phylogénie et diversité phytoplanctoniques.....	18
2.4. Distribution spatiale.....	20
3. Zooplancton	21
3.1. Définition.....	21
3.2. Habitat et écologie	21
3.3. Phylogénie du zooplancton	21
3.4. Distribution spatiale.....	22
3.5. Ecologie des principales espèces	22
III. VARIABLES DE CONTROLE DE LA DYNAMIQUE DES PEUPEMENTS PLANCTONIQUES DANS LE SYSTEME LACUSTRE	25
1. Facteurs physiques.....	25
1.1. Turbidité de lac	25
1.2. Luminosité et température	26
1.3. Le vent	26
2. Facteurs chimiques.....	27
3. Facteurs biologiques.....	28
3.1. Réseau trophique	28
3.2. Relations nutritionnelles	29
IV. IMPACTS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR LA DYNAMIQUE PLANCTONIQUE	30
1. Changement climatique	30
2. Etat trophique des lacs.....	30

3. Activité anthropique	31
I. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE	34
1. Origine du lac	34
2. Situation géographique	34
3. Précipitation	34
4. Bathymétrie du lac Dayet Aoua	35
5. Couverture végétale	36
II. MESURE DES FLUCTUATIONS SAISONNIERES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU LAC DAYET AOUA.....	36
1. Prélèvements	36
2. Analyses des paramètres physiques.....	37
2 .1. Transparence.....	37
2 .2. Température.....	38
2 .3. Conductivité.....	38
3. Analyses des paramètres chimiques	38
3 .1. Potentiel d'hydrogène (pH)	38
3 .2. Oxygène dissous	38
3 .3. Azote.....	38
3 .4. Phosphore	39
3.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)	39
III. ANALYSES QUALITATIVES ET QUANTITATIVES DU PHYTOPLANCTONIQUE ET ZOOPLANCTONIQUE	40
A. PHYTOPLANCTON	40
1. Prélèvement	40
2. Matériels pour identification du phytoplancton.....	40
3. Analyse qualitative.....	41
3.1. Identification des espèces	41
3.2. Mesure de diversité globale	41
4. Analyse quantitative.....	43
4. 1. Historique des techniques d'analyse du phytoplancton au microscope	43
4. 2. Méthode utilisée pour l'analyse du phytoplancton	44
4. 3. Pigment chlorophyllien « a »	46
B. ZOOPLANCTON	47
1. Analyse qualitative	47

2. Analyse quantitative.....	48
3. Identification et comptage des espèces zooplanctoniques	48

I. VARIATIONS MENSUELLES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES AU SEIN DU LAC DAYET AOUA..... 51

1. Paramètres physiques au centre du lac	51
1.1. Transparence.....	51
1.2. Température.....	51
1.3. Conductivité.....	52
2. Paramètres chimiques au centre du lac.....	53
2.1. Potentiel d'hydrogène	53
2.2. Oxygène dissous	54
2.3. Eléments azotés	54
2.4. Eléments phosphorées.....	58
2.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)	60
3. Paramètres physico-chimiques à l'entrée et la sortie du lac	61

II. ETUDES DES COMMUNAUTES PHYTOPLANCTONIQUES ET ZOOPLANCTONIQUES DANS LE LAC DAYET AOUA..... 65

A. PHYTOPLANCTON 65

1. Composition qualitative du phytoplancton.....	65
1.1. Richesse spécifique.....	66
1.2. Indice de diversité.....	67
2. Composition quantitatives du phytoplancton.....	68
2.1. Densité phytoplanctonique	68
2.2. Biomasse - comptage	72
2-3. Biomasse -chlorophylle a	73
3. Détermination de l'état trophique du lac	74

B. ZOOPLANCTON 75

1. Aspect qualitatif	75
2. Aspect quantitatif.....	76
2.1. Evolution générale de la communauté zooplanctonique.....	76
2.2. Evolution des différents groupes taxonomiques	78
2.3. Abondance zooplanctonique	80

III. ETUDES STATISTIQUES..... 83

1. ETUDE STATISTIQUE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES..... 83

1.1. Analyse de variance ANOVA	83
--------------------------------------	----

1.2. Analyse en composantes principales ACP.....	84
2. ETUDE STATISTIQUE DU PEUPEMENTS PHYTOPLANCTONIQUES	86
2.1. Etude des corrélations.....	86
2.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC)	88
3. ETUDE STATISTIQUE DES PEUPEMENTS ZOOPLANCTONIQUES	90
3.1. Etude des corrélations.....	90
Conclusion générale.....	93

Liste des figures

Figure 1 : Répartition latitudinale et altitudinale des types de lacs (Hutchinson et Loffler, 1956).....	8
Figure 2: Cadre de situation de la chaîne moyenne atlasique (EL Wartiti et al., 2016).	10
Figure 3: Bloc diagramme dans le moyen atlas (Martin, 1981).	11
Figure 4: Facteurs intervenant dans la formation des principales Dayets du Moyen atlas (ABHS, 2010)	12
Figure 5: Carte de répartition des lacs du Moyen Atlas central (Chillasse et Dakki, 2004).....	13
Figure 6 : Schéma évolutif des copépodes (Bandeira , 2013).....	24
Figure 7 : Exemple de réseau trophique dans un système lacustre (Lods-Craze, 2014).	29
Figure 8 : Évolution des précipitations annuelles (2012-2017) de la station météorologique de Dayet Aoua (Agence du Bassin hydraulique Sebou).	35
Figure 9 : Bathymétrie du Lac Dayet Aoua et son découpage en zone (ABHS, 2010).....	35
Figure 10 : Site montrant les points des prélèvements dans le lac Dayet Aoua	37
Figure 11 : Vue profil d'une chambre de sédimentation (Druart , 2008).	41
Figure 12 : Photo d'une cuve de sédimentation	45
Figure 13 : Variations temporelles de la transparence de l'eau au point de prélèvement du lac Dayet Aoua	51
Figure 14 : Variations spatiotemporelles de la température durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.	52
Figure 15 : Variations spatiotemporelles de la minéralisation durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.	53
Figure 16 : Variations spatiotemporelles du pH durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.	53
Figure 17 : Variations spatiotemporelles de l'oxygène dissous durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.	54
Figure 18 : Evolution spatio-temporelles des nitrites mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	55
Figure 19 : Evolution spatio-temporelle des nitrates mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	56
Figure 20 : Evolution spatio-temporelle des ions ammoniums mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	57
Figure 21 : Evolution spatio-temporelle de l'azote total mesuré dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	58
Figure 22 : Evolution spatio-temporelle des ions orthophosphates mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	59
Figure 23 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en phosphore total mesurées dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	60
Figure 24 : Evolution spatio-temporelle du titre alcalimétrique complet mesuré dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	61
Figure 25 : Variations spatiotemporelles des paramètres physico-chimiques au cours des campagnes de prélèvements aux niveaux de l'entrée, de la sortie et du centre du lac.....	62
Figure 26 : Variations spatiotemporelles des éléments azotés et phosphorés au cours des campagnes de prélèvements aux niveaux de l'entrée, de la sortie et du centre du lac.	64
Figure 27 : Importance relative des différentes classes de la communauté phytoplanctonique durant la campagne 2015-2016 au sein du lac Dayet Aoua.....	65
Figure 28 : Evolution temporelle du nombre d'espèces répertoriées dans le lac Dayet Aoua.	66
Figure 29 : Evolution temporelle de l'indice de diversité de Simpson.....	67
Figure 30 : Evolution temporelle de l'indice de diversité de Shannon.....	68

Figure 31 : Evolution temporelle de l'indice de Piélou.....	68
Figure 32 : Variations spatiotemporelles de densité phytoplanctonique au cours des campagnes de prélèvements aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	69
Figure 33 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période printanière....	71
Figure 34 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période estivale.....	71
Figure 35 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période automnale	72
Figure 36 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période hivernale.....	72
Figure 37: Variation spatiotemporelle de la biomasse phytoplanctoniques au cours des campagnes de prélèvement aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.	73
Figure 38 : Variation spatiotemporelle de la teneur en Chlorophylle a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.....	74
Figure 39 : Pourcentage des trois groupes de la communauté zooplanctonique du lac Dayet Aoua. ...	76
Figure 40 : Evolution annuelle de densité zooplanctonique dans le lac Dayet Aoua.....	78
Figure 41 : Evolution annuelle des Cladocères à différentes profondeurs (0m, 1m, 2m et 4m) dans le lac Dayet Aoua.	79
Figure 42 : Evolution annuelle des copépodes à différentes profondeurs (0m, 1m, 2m et 4m) dans le lac Dayet Aoua.	79
Figure 43 : Evolution annuelle des rotifères à différentes profondeurs (0m, 1m, 2m et 4m) dans le lac Dayet Aoua.....	80
Figure 44 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques	81
Figure 45 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques	81
Figure 46 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques	82
Figure 47 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques	82
Figure 48 : Distribution des paramètres physicochimiques sur le plan factoriel de l'ACP	86
Figure 49 : Matrice de corrélations des paramètres physico-chimiques et les espèces phytoplanctoniques.....	87
Figure 50 : Analyse factorielle des correspondances des espèces phytoplanctoniques.....	89
Figure 51 : Matrice de corrélations des paramètres physico-chimiques et les groupes zooplanctoniques.	91
Figure 52 : Evolution annuelle de la densité phytoplanctonique (A) et zooplanctonique (B) dans le lac Dayet Aoua.....	92

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractères morphométriques des principaux lacs du Moyen-Atlas (Chillasse & Dakki, 2004).....	14
Tableau 2: Classification du phytoplancton selon la nomenclature de mise à l'échelle (Sieburth, J. McN., Smetacek, V. and Lenz, 1978).....	18
Tableau 3 : Comparaison des caractères des lacs oligotrophes et eutrophes (Campy & Macaire, 2003).....	31
Tableau 4 : Classes des niveaux trophiques des lacs selon OCDE (Grogga, 2012).....	75
Tableau 5 : Analyse de variance.....	83
Tableau 6 : Indice KMO et test de Bartlett.....	84

Liste des abréviations

ABHS : Agence bassin hydraulique sebou

ACP : Analyse en composante principale

AFC : Analyse factorielle des correspondances

C : Centre

Chlo : Chlorophylle a

Condu : Conductivité

E : Entrée

KMO : Indice de Kaiser-Meyer-Olkin

MA : Moyen Atlas

N : Azote

NT : Azote total

OCDE : Organisation de coopération et de développement économique

Ortho : Orthophosphate

Oxy : Oxygène dissous

P : Phosphore

S : Sortie

T : Température

TAC : Titre alcalimétrique complet

Trans : Transparence

Introduction Générale

Notre planète contient une quantité d'eau stable, sa rareté n'a de sens qu'à l'échelle nationale ou régionale. Par ailleurs, le Maroc jouit d'une grande variété des ressources en eaux marines et dulçaquicoles, il est classé parmi les pays les plus diversifiés de l'Afrique du nord (Chillasse et Dakki, 2004). Cependant, la richesse des ressources en eau ne couvre pas tout le territoire marocain, la zone la plus riche, considérée comme « château d'eau » est le moyen atlas où se situent des réserves naturelles, forestières et hydrogéologiques très diversifiés qui favorisent le maintien des étangs, des cours d'eau et des lacs.

Le Maroc a enregistré des périodes de sécheresses durant ces deux dernières décennies dont la plus longue a été enregistrée en 2015 (Secrétariat d'état chargé de l'eau et d'environnement 2015), cela est due d'une part à la répartition inégale dans le temps et dans l'espace de la pluviométrie et d'autre part à l'utilisation anarchique et illégale de ses eaux continentales à savoir les activités domestiques, les activités industrielles ainsi que les activités agricoles (El Allaoui, 2018).

Malheureusement cette sécheresse amplifie le dérèglement de tous les écosystèmes qui sont caractérisés par un réseau trophique qui leur est propre. Parmi ces écosystèmes, l'écosystème lacustre qui présente une structure biocénotique bien définie uni à plusieurs niveaux par des relations alimentaires et régissant les flux d'énergie et de matière.

Dans un lac, les connaissances des modalités de passage de la matière et de transfert d'énergie au sein des réseaux trophiques, d'un maillon inférieur à un maillon supérieur reste indispensable, d'où la nécessité d'une étude descriptive sur la structure ainsi que le fonctionnement de la communauté planctonique d'un lac allant du (viroplancton--bactérioplancton--phytoplancton --zooplancton --poisson).

Cette exploration de ses communautés microbiennes devra contribuer à l'estimation de sa richesse spécifique (Rachiq, 2003). En raison de différents facteurs influençant les patrons de distribution de ses organismes ainsi que leur dynamisme au sein du système aquatique.

Plusieurs études ont été mené dans ce sens afin de comprendre le fonctionnement des hydro-systèmes, à savoir Dayet Aoua qui fait partie des écosystèmes lacustres marocains appartenant à la zone moyenne atlasique, ce dernier a connu diverses études fragmentaires, qui ont permis de connaître la structure physicochimique et biologique de ce lac et de contrôler son état de trophie, nous pouvons citer le travail de (Chilasse et al., 2001) qui ont abordé une étude globale sur la végétation terrestre et aquatique qui entoure ce lac, et celles de (Abba et al., 2012) qui ont traité la caractérisation physicochimique des eaux de ce dernier, et une étude récente faite par (Fazul, 2016) qui a contribué à l'étude sur les paramètres physicochimiques,

phytoplanctoniques et bactériologiques du même lac. Par ailleurs, aucune étude antérieure ne s'est intéressée à l'étude du peuplement zooplanctonique.

Notre contribution vient pour faire suite aux différents travaux précédemment effectués ou s'inscrit la volonté de comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes, tout en s'intégrant aux problématiques scientifiques propres au système lacustre. Notre étude porte sur la dynamique phytoplanctonique et zooplanctonique du lac Dayet Aoua, la présente étude s'articule autour de trois parties :

*La première partie décrira l'état de l'art, afin d'offrir une évaluation critique et situer le sujet de la dynamique des populations phytoplanctoniques et zooplanctoniques par rapport à des recherches antérieures, une synthèse bibliographique a été effectuée.

Cette première partie s'articule en quatre axes

- Le premier axe décrit des généralités sur le système lacustre et son fonctionnement physique ainsi une description de moyen atlas marocain ;
- Le deuxième dénote les communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques, leur écologie ainsi que leur distribution spatiale ;
- Le troisième indique les facteurs de contrôle influençant la dynamique des populations ;
- Le dernier axe est consacré aux impacts environnementaux sur la vie aquatique.

*La deuxième partie a pour but d'analyser les paramètres physico-chimiques ainsi que d'étudier les peuplements phytoplanctoniques et zooplanctoniques de point de vue qualitative et quantitative.

Pour ce faire, certaines méthodes et techniques doivent être appliquées et suivies.

Ce chapitre comprend le matériel et les méthodes générales mises en œuvre pour mener à bien ce travail. Il est conçu en quatre axes.

- Le premier concerne la présentation du site d'étude ;
- Le deuxième décrit la méthode d'échantillonnage, de conservation et d'analyse physico-chimique de l'eau du lac ;
- Le troisième et le quatrième axe sont consacrés aux méthodes d'analyses qualitatives et quantitatives des populations planctoniques (phytoplancton et zooplancton) ainsi que leurs études statistiques.

La troisième partie présente les résultats trouvés tout au long de la campagne 2015-2016 dans le lac Dayet Aoua.

- Le premier axe présente les résultats du suivi spatiotemporel des paramètres physico-chimiques ;
- Le deuxième axe répertorie les espèces phytoplanctoniques trouvées en vue qualitative et quantitative ;
- Le dernier axe représente les groupes zooplanctoniques recensés en terme qualitatives et quantitatives, et nous avons mis le point par des études statistiques pour les trois axes afin de dégager plus l'information et de déterminer la significativité des paramètres abiotiques et biotiques.

Enfin, cette étude se terminera par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus et une présentation des perspectives à envisager lors les futurs travaux de recherches.

Synthèse

Bibliographique

I. Généralité sur l'écosystème lacustre

1. Définition d'écosystème aquatique

Un écosystème aquatique est un système d'interactions entre espèces et leur milieu. Ce système est caractérisé par une composante biotique (les facteurs écologiques et biologiques liés aux êtres vivants) et une composante abiotique (les paramètres environnementaux), et par les interactions de ces deux composantes entre elles.

Les eaux continentales regroupent le système lotique et le système lentique, le système lotique caractérisé par des flux d'eaux courantes continentales dynamiques ayant plusieurs formes très variées, allant des ruisseaux qui sont peu larges au fleuve d'une superficie plus grande.

Par contre le système lentique se caractérise par des eaux dormantes ou stagnantes à renouvellement lent ayant des formes diversifiées

- **Mare** : petite flaque de petite surface d'eau stagnante avec une profondeur faible soit pérenne ou éphémère, elle peut être naturelle ou artificielle.
- **Etang** : plan d'eau stagnant, situé dans une cuvette naturelle qui résulte de l'imperméabilité du sol ou dans une cuvette creusée par l'homme a caractéristique imperméable.
- **Marais** : zone humide à couche généralement peu profonde d'eau dormante qui est envahie par les herbacées et la végétation aquatique adaptée au milieu spécifique en dépit de la hauteur de la couche d'eau, le taux de salinités ainsi que les conditions climatiques.
- **Lac** : grande étendue d'eau soit naturelle ou artificielle entourée de terre, parmi les caractéristiques essentielles est d'avoir une profondeur et un volume suffisant pour provoquer un dépôt des sédiments ou une stratification.

Le lac constitue un élément essentiel au niveau hydrologique et biogéochimique, car il a une grande capacité à retenir, stocker et fournir régulièrement l'eau. Plusieurs études antérieures ont été menées sur les lacs dans le monde entier vue leurs influences sur de nombreux aspects écologique, économique et sanitaire (Lehner et Do, 2004).

2. Fonctionnement physique des lacs

2.1. Développement de la stratification thermique

Les lacs sont influencés par plusieurs critères météorologiques (rayonnement, précipitations et vent), hydrologiques (entrées, sorties) et géochimiques. Ainsi, la stratification thermique reste un facteur limitant pour le développement et la succession du système lacustre.

La stratification thermique se définit par l'installation de trois couches superposées suivant un gradient de densité, température selon la profondeur (Winfried et al., 2007).

Il existe trois couches :

- L'épilimnion est la couche située à la surface, c'est la zone thermique la plus productive caractérisée par une grande activité biologique. Le vent permet l'homogénéisation de l'oxygène dissous et des autres éléments présents et cela varie selon les saisons.
- Le métalimnion est la couche intermédiaire. Dans cette couche d'eau, la température varie rapidement avec la profondeur. Elle est plus froide que l'épilimnion mais plus chaude que l'hypolimnion.
- L'hypolimnion est la couche la plus froide et la moins éclairée par rapport aux deux premières couches, la température oscille légèrement. L'oxygène dissous est introduit lors des brassages saisonniers afin de décomposer la matière organique, mais parfois quand le lac est très profond l'oxygène disparaît totalement.

2.2. Brassage et homogénéisation des lacs

La stratification saisonnière diffère selon le mélange du lac dans le monde entier (William et Lewis, 1983):

1. Lac amictique se caractérise par un gelé en permanence, des lacs qui ne se mélangent guère. Ces lacs se situent dans les régions arctiques et antarctiques et à très haute altitude.
2. Lac méromictique se mélange partiellement, exemple le lac Pavin (Bonhomme, 2011), car les couches ne se mélangent pas suite à de fortes densités causées par les substances dissoutes.
3. Lac Holomictique est bien mélangé à un moment donné dans l'année, signifiant qu'il y a une circulation verticale de la masse d'eau. Ces lacs sont classés selon la fréquence de mélange :
 - Lac oligomictique l'homogénéisation ne se fait pas annuellement. Car il se caractérise par une grande taille et une grande capacité de stockage de chaleur exemple lac du Bourget en France (Vinc et Lemaire, 2014).

- Lac monomictique se mélange une fois par an.
- Lac dimictique s'homogénéise deux fois par an généralement au printemps et à l'automne ce type de lac se trouve dans les zones aux latitudes tempérées.
- Lac polymictique se mélange fréquemment. Ce sont des lacs généralement peu profonds qui ne présentent pas de stratification, se situe dans les zones tropicales et tempérées, exemple lac de Créteil en France (Soulignac et al., 2015) .

Ces divers types de lacs sont répartis à la surface du globe terrestre en fonction des climats, donc de l'altitude et de la latitude (figure 1).

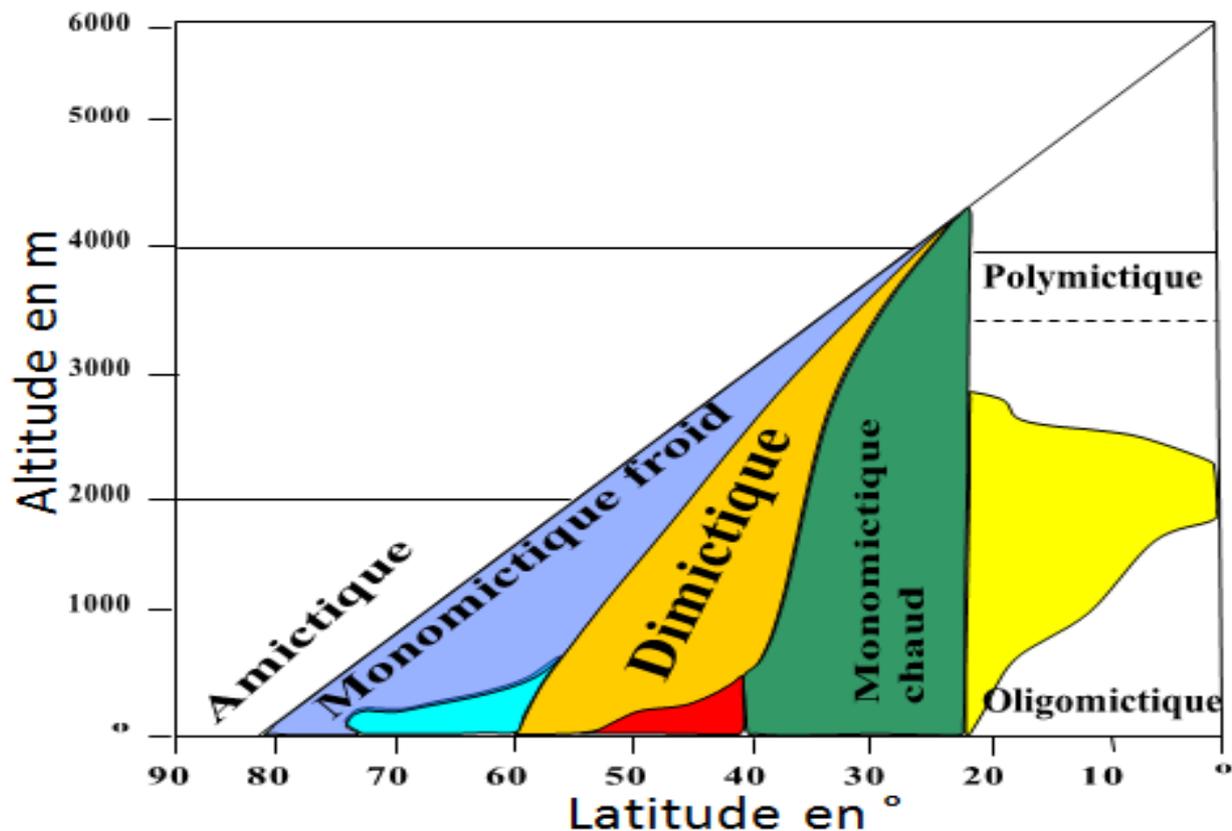


Figure 1 : Répartition latitudinale et altitudinale des types de lacs (Hutchinson et Loffler, 1956).

3. Approche sur les lacs dans le monde

A la lumière de création de la limnologie par F.-A. Forel (1892), les chercheurs et les scientifiques ont partagé les eaux continentales de surfaces en deux catégories :

Les eaux courantes et les eaux stagnantes (lac, étangs et mares), nous allons nous intéresser aux eaux stagnantes qui ont fait l'objet de plusieurs études dans les quatre coins du monde.

-En Europe, spécifiquement le territoire français, une approche générale sur l'inventaire du milieu lacustre a été faite par trois chercheurs Delebecque, Dussart et Meybeck.

L'optique de Delebecque (1898) était de savoir les dimensions, l'alimentation et l'évolution dans la France métropolitaine.

Quant à Dussart prétendait savoir les différents types et les différents usages de milieu lacustre. Par contre Meybeck (1995) ses travaux concernait entre extrapolation et la comparaison au niveau mondiale (Bartout et al., 2013).

Vue l'importance des lacs, des études ont été menées sur plusieurs lacs en France parmi lesquels on peut citer les plus grands lacs : lac Léman, lac Bourget et lac Annecy avec des superficies respectives 24117 ha, 4431ha et 2674 ha.

-Au Canada près de 9% de superficie est couverte d'eau douce et ce pays abrite 60% des eaux de la planète, certainement beaucoup d'études ont été faites dans ce sens afin de valoriser le système lacustre et la communauté vivante dans ce dernier. On peut citer le travail de (Lorena, 2010) où 45 lacs ont été analysés appartenant à deux régions différentes du sud de Québec (l'Estrie et les Laurentides).

-Au sud d'Asie, particulièrement en Inde, les plans d'eaux en général sont très sacrés car ils leurs permettent de faire des ablutions qui est un rituelle de purification, on peut annoncer que le rôle de l'eau reste primordial. De ce faite, plusieurs études ont été menées sur plusieurs lacs, on peut citer le travail de (Basil et al., 2012).

-En Afrique plusieurs pays ont contribué à l'étude de l'hydrologie parmi lesquels on peut citer le Maroc qui jouit d'une grande variété de paysages et de sites naturels. Nous pouvons énumérer diverses études qui ont été faites sur les plans d'eau dans tout le pays selon différentes approches, exemple le barrage «Sidi Chahed» qui se situe entre Fès et Meknès qui a fait l'objet de plusieurs publication selon différentes thématiques: Caractérisation hydro-chimique et l'apport des systèmes d'informations géographiques (SIG) (Mehanned et al., 2014), typologie de la qualité physico-chimique (Mehanned et al., 2014) , estimation de la charge bactériologique des affluents (Mikkés et Mellah) et son impact sur la qualité microbiologique des eaux du barrage Sidi Chahed (Maroc) (Mehanned et al., 2014) et étude bactériologique du lac barrage Sidi Chahed (Mehanned et al., 2014).

Dans la province de Séfrou se situe le barrage de « Allal el Fassi » , qui a son tour fait l'objet de différentes études parmi lesquels on peut citer: potentialités phagotrophes des phytoflagellés (Rachiq et al., 2002), dynamique des populations microphytobenthiques (Damiri et al., 2002) et l'étude sur les processus d'eutrophisation (Raoui et al., 2002).

A 5 km de la ville de Taounate se situe le réservoir «Sahela» tenant compte dans ce rôle sur cette zone plusieurs études ont été faite parmi lesquels on peut citer le travail de (Derraz et al., 2002) sur l'impact de la communauté zooplanctoniques sur le phytoplancton et les protozoaires.

Certainement nous n'allons pas s'empêcher de parler des cours d'eaux sans citer le moyen atlas qui est qualifié de « château d'eau » du Maroc par excellence, de point de vue hydrogéologique et hydrographique.

4. Moyen Atlas

Dans le cadre générale le moyen atlas est caractérisé par son climat continental et par une forte pluviométrie avec une altitude qui dépasse 1200 m et qui s'étend sur 350 km, ce dernier est une chaîne montagneuse orientée NE-SW (figure 2). Dans le contexte géologique, cette chaîne est limitée au nord par la plaine de Saïs et le front de la nappe rifaine par le bassin de Guercif au nord-est, à l'est par les hauts plateaux et à l'ouest par la méséta côtière, et finalement au sud par la dépression de la Moulouya (Arboleya et al., 2004).

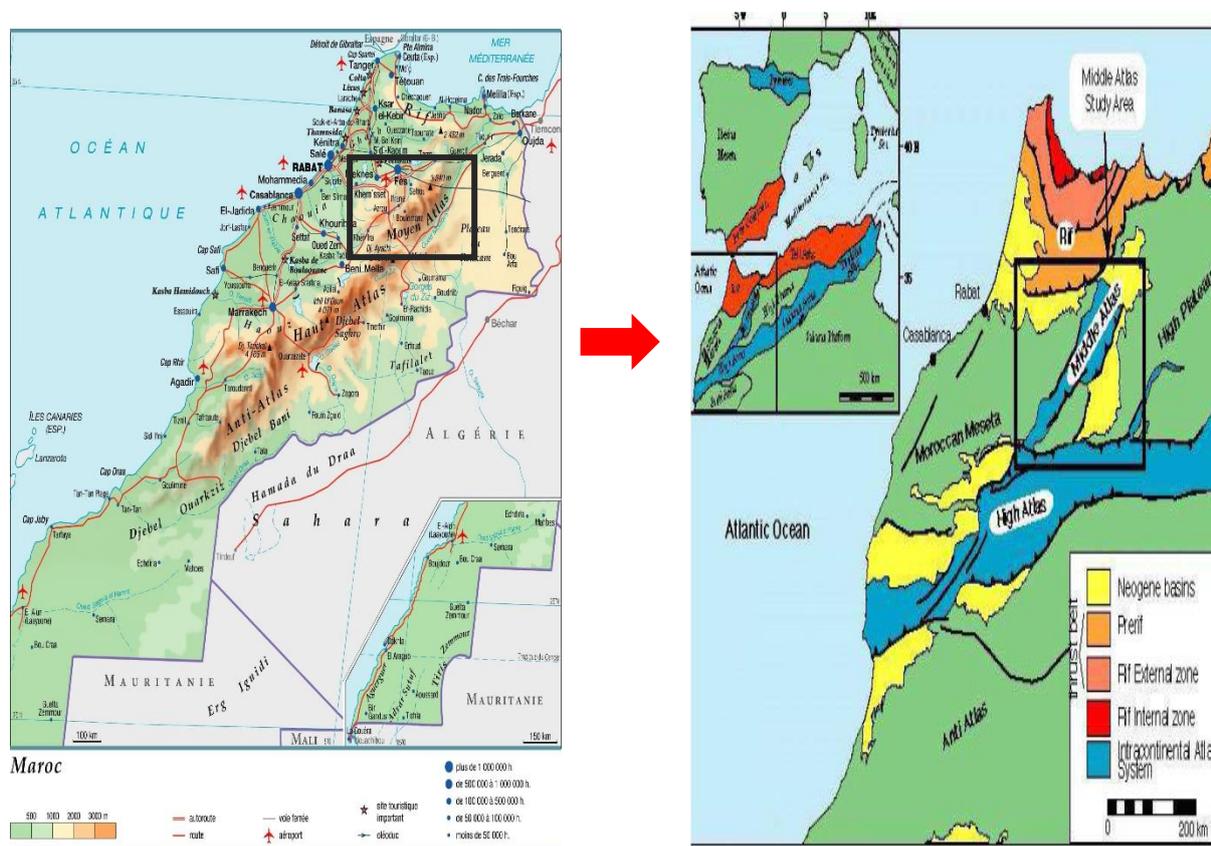


Figure 2: Cadre de situation de la chaîne moyenne atlasique (EL Wartiti et al., 2016).

Le moyen atlas amène deux structures différentes : le Moyen Atlas plissé à l'Est et le Causse Moyen Atlasique à l'Ouest (figure3).

- Le Causse Moyen Atlasique, constitué principalement du matériel carbonaté, ce dernier offre des paysages à base calcaires, d'où l'appellation de causse (Lamb et al., 1995). C'est le domaine de roches carbonatées (calcaires et dolomies) (EL Wartiti et al., 2016).

- Le Moyen Atlas plissé, représenté par des massifs montagneux, il se distingue du causse sub-tabulaire par la présence de rides, se caractérise par des dépôts marneux et marno-calcaires, les rides sont constituées de calcaires liasiques, en position axiale, d'argiles triasiques et des formations magmatiques (Nechad, 2017).

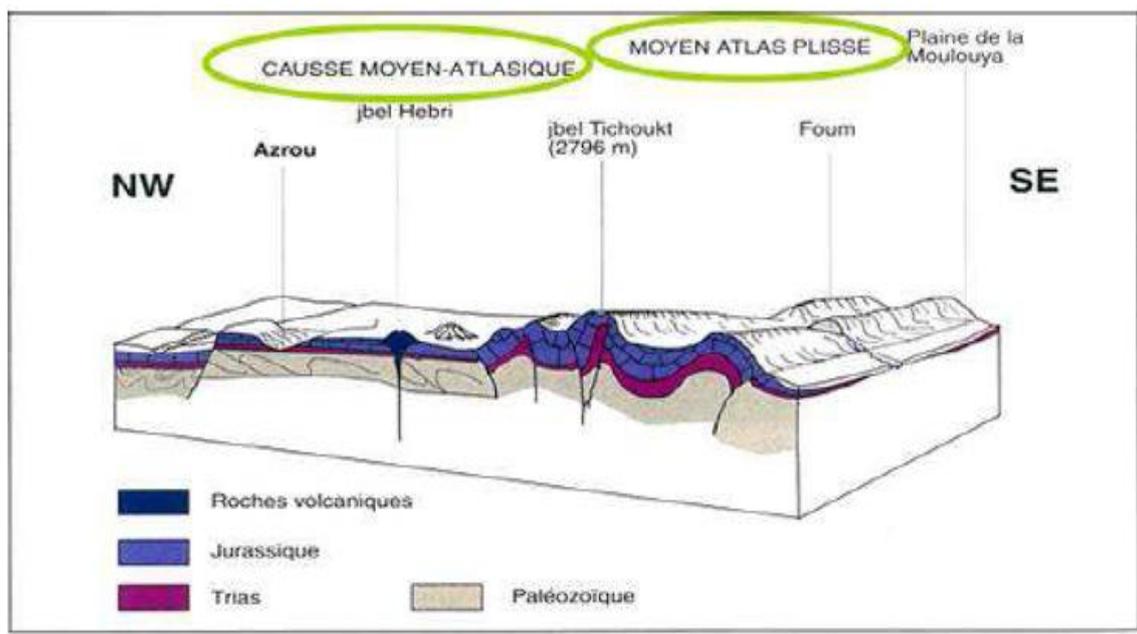


Figure 3: Bloc diagramme dans le moyen atlas (Martin, 1981).

Suivant la différenciation pédologique, les formations végétales sont influencées par les types de climat, on peut affirmer que les sols du MA le sont beaucoup moins, mais n'empêchent qu'ils dépendent absolument de la roche-mère dont ils sont issus. La nature physico-chimique de la roche appartient principalement aux roches calcaires ou roches dolomitiques (Benkaddour et al., 2008).

De point de vue bioclimatique, cette région subit des fluctuations des masses d'air de la mer Méditerranée, du désert du Sahara et de l'océan Atlantique. Son climat est dû principalement à sa situation géographique d'une part et son niveau altitudinale d'autre part, de plus les nuages venant de l'ouest donnent des précipitations abondantes (pluie, neige) au contact du moyen atlas (Chilasse et al., 2001).

Le moyen atlas marocain renferme environ 77% des plans d'eaux dans la région d'Ifrane, cette principale évolution est due généralement au phénomène de genèse dont les principaux facteurs de formations des Dayets sont soit d'origine tectonique ou d'origine karstique comme résume le schéma si dessous (Figure 4).

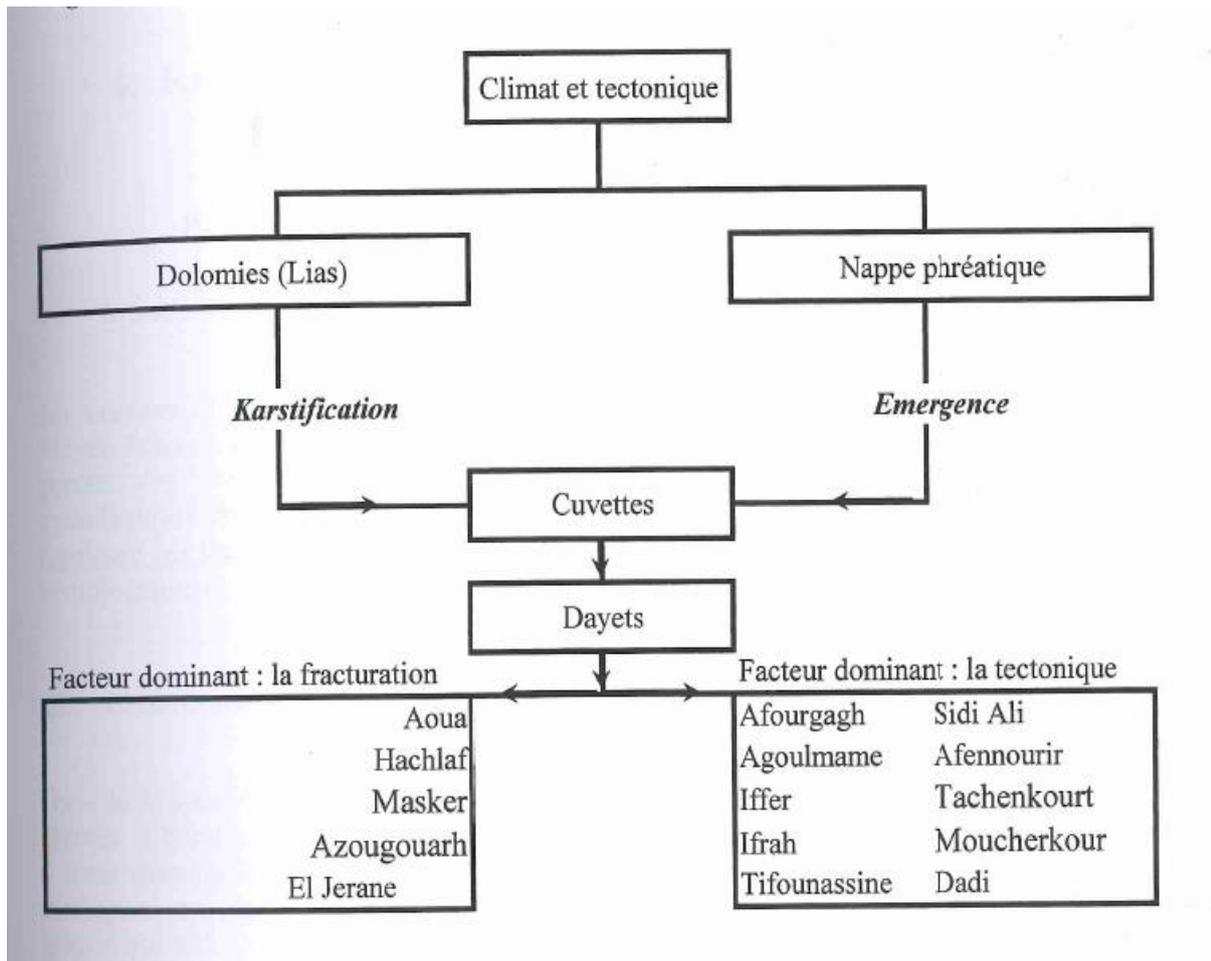


Figure 4: Facteurs intervenant dans la formation des principales Dayets du Moyen atlas (ABHS, 2010)

En plus, le moyen atlasique contient plus d'une vingtaine des lacs qui se situent dans la superficie de Beni Mellal-Khénifra-Ifrane (Figure 5).

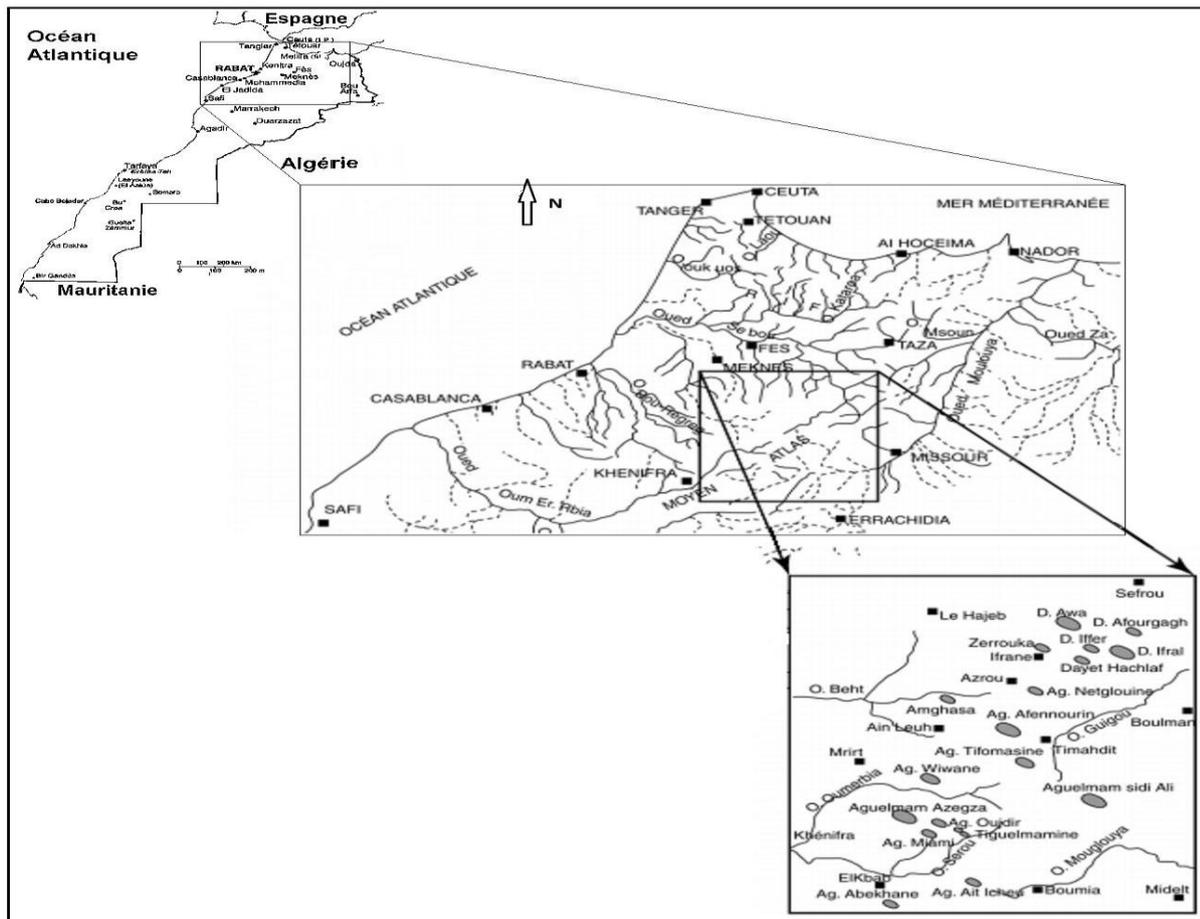


Figure 5: Carte de répartition des lacs du Moyen Atlas central (Chillasse et Dakki, 2004).

Le moyen atlas marocain est caractérisé par une grande diversité faunistique et floristique d'où l'intérêt des différentes études sur les lacs de ce dernier. Compte tenu du nombre des lacs dans cette zone, nous allons citer quelques écosystèmes lacustres de la région (Tableau 1).

Tableau 1: Caractères morphométriques des principaux lacs du Moyen-Atlas (Chillasse et Dakki, 2004)

Lacs	Altitude (m)	S (ha)	L (m)	l (m)	P (m)	Pmax (m)	Pmoy (m)
Aguelmam Sidi Ali	2 050	300	2200	1200	6600	37	1,9
Aguelmam Azegza	1470	50	1204	450	2700	26	3,2
Aguelmam Wiwane	1650	40	750	250	1950	15	1,95
Tiguelmamine	1650	13	320	294	1236	20	4,9
Aguelmam Abekhane	1670	45	906	400	156	12	1,58
Aguelmam Afennourir	1796	300	970	612	3942	1,5	0,07
Aguelmam Tifounassine	1913	70	1250	650	3700	14	1,48
Aguelmam Afourgagh	1380	12	460	310	1136	9	2,29
Aguelmam Iffer	1440	6	290	276	846	12	4,42
Dayet Aoua	1460	140	125	362	3400	5	0,22
Dayet Ifrah	1650	250	1620	755	3886	8	0,44
Aguelmame Mi'ammi	1460	60	810	330	2050	2	1,2

S : superficie ; L : longueur ; l : largeur ; P : périmètre ; Pmax : profondeur maximale ; Pmoy : profondeur moyenne.

- Dayet Ifrah est lac peu profond avec une profondeur maximale de 8 m, qui se trouve à 33 Km de la ville d'Ifrane et 55 km au Sud d'Azrou à une altitude de 1650 m et une surface de 250 ha parmi les lacs les plus grands de la région, caractérisé par un bioclimat méditerranéen subhumide à hiver froid et un état trophique eutrophe. Des études antérieures

ont été faites sur la caractérisation physico-chimique de ses eaux (Etebaai et al., 2008), ainsi que l'impact climatique et anthropique sur son fonctionnement hydrogéochimique (Etebaai et al., 2012) .

- Dayet Iffer qui se trouve dans le centre de la chaîne de moyen atlas à 12 km de la ville d'Ifrane et une altitude de 1440 m ainsi qu'une superficie de 6 ha, le niveau de l'eau varie selon la saisonnalité avec une moyenne de 4,42 m, ce dernier a fait l'objet d'étude portée sur l'hydrologie et la sédimentation, nous allons citer l'étude paléoenvironnementale de (Rhoujjati et al., 2012), à notre connaissance aucune étude n'a fait l'objet de l'exploration des peuplements planctoniques.
- Dayet Tigalmamine se situe à 35 Km de la ville de Khénifra et une altitude de 1630 m caractérisé par un hydro-système composé de trois lacs d'origine karstique d'où l'intérêt de plusieurs recherche parmi lesquels nous allons citer le travail de (Soulié-märsche et al., 2008) sur les indicateurs paléo bathymétriques.
- Dayet Aoua qui se situe à 15 Km de la ville d'Ifrane à une altitude de 1460 m, avec une profondeur maximale de 5 m varie en fonction de saison et de pluviométrie annuelle, suite à sa position géographique ainsi que son bioclimat subhumide. Cette zone est caractérisé par des fluctuations pluviométriques qui présente des écarts entre le minimum et le maximum selon les années (Sayad, 2010).

Ce lac a fait l'objet de plusieurs études vue son accessibilité et son intérêt éco touristique. Les travaux faits sur ce dernier, varie entre impact du stress hydrique sur le lac (Sayad et al., 2012), la caractérisation physicochimique (Abba et al., 2008), la climatologie (Ahmed Sayad 2010) et sur la structure phytoplanctoniques du lac (Fazul et al., 2015). A notre connaissance aucune étude n'a fait l'objet sur l'exploration des communautés zooplanctoniques.

II. Structure microbienne d'un système lacustre

Comme tous les écosystèmes, l'écosystème lacustre connaît une variation de la structure de ses communautés planctoniques littoral et benthiques, cette diversité est gouvernée par plusieurs processus qui s'opèrent à l'échelle spatiale et temporelle suivant les conditions environnementales biogéographiques, la spéciation et les interactions biotiques.

Dans les lacs, nous distinguons trois habitats différents : la zone littorale, la zone pélagique d'eau libre et la zone benthique. Chacune de ces zones est peuplée par une communauté biologique caractéristique, même si elles interagissent de différentes manières.

- Zone pélagique : cette zone est composée de plancton, ce dernier est constitué d'organismes principalement microscopique qui flotte dans l'eau. Le plancton comprend des bactéries, des protistes et des invertébrés.
- Zone littorale : c'est la zone qui entoure le lac, elle est recouverte de végétation, et peut abriter diverses espèces animales et végétales.
- Zone benthique : est la zone où vivent les organismes associés au fond du lac (benthos).

1. Virus et bactéries

Les écosystèmes lacustres sont caractérisés par l'omniprésence des microorganismes ainsi que leur rôle prépondérant dans le maintien de la chaîne trophique.

Les travaux réalisés en écologie microbienne ont montré que la boucle microbienne (virus, bactérie, cyanobactérie, flagellés (protozoaires et phytoflagellés), amibes...) joue un rôle important pour la formation de réseaux trophiques (Pomeroy, 1974) ; (Azam, 1983) car c'est la base de la voie trophique linéaire classique (phytoplancton- zooplancton - poissons) basée sur l'assimilation photosynthétique.

Les virus sont d'une grande diversité et importance quantitative, leurs densités fluctuent généralement entre 10^4 et 10^8 m.l⁻¹, ces derniers forment une composante dynamique au sein des écosystèmes lacustres, cette dynamité est contrôlée par des facteurs abiotiques (température, rayonnements UV, agents chimiques...) et biotiques (hôtes sensibles, charge organique...).

Cependant, les virus ont une importance fonctionnelle majeure du fait qu'ils interviennent en milieu aquatique dans les processus de recyclage de la matière organique, tout en réduisant la contribution bactérienne aux flux de matière et d'énergie vers les maillons trophiques supérieurs.

A leur tour les bactéries sont ubiquistes dans les milieux aquatiques et constituent un rôle important de la boucle microbienne. D'un point de vue quantitatif, les bactéries, dont la densité varie généralement pour les bactéries hétérotrophes de 10^5 à 10^7 cell.ml⁻¹ ; les picocyanobactéries de 10^3 à 10^5 cell.m⁻¹ et les pico-planctons eucaryotes de 10^3 à 10^5 cell.ml⁻¹ ont un rôle fonctionnel important suite à leurs activités de minéralisation et de production de biomasse, les bactéries hétérotrophes participent aux transferts de matière et d'énergie (Amblard et al., 1998).

La multiplication rapide de ces microorganismes stimule les efforts des planctonologues et des chercheurs d'où l'intérêt de plusieurs recherches dans la structure communautaire et son dynamisme saisonnier (Xu et Cronberg, 2010).

2. Phytoplancton

2.1. Définition

Le phytoplancton dérivé (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou errant), c'est un organisme microscopique considéré comme organisme végétal à caractère autrophe, qui vit dans des milieux aqueux, à la fois salés et doux.

Parmi les espèces les plus courantes, on trouve les cyanobactéries, les diatomées enrobées de silice, les dinoflagellés et les algues vertes.

Comme les plantes terrestres, le phytoplancton a la chlorophylle pour capter la lumière du soleil et utilise la photosynthèse pour la transformer en énergie chimique. Ils consomment du dioxyde de carbone et libèrent de l'oxygène.

La croissance du phytoplancton dépend de la disponibilité du dioxyde de carbone, de la lumière solaire et des nutriments. Le phytoplancton, à l'instar des plantes terrestres, nécessite des nutriments tels que le nitrate, le phosphate, le silicate et le calcium à différents niveaux, selon les espèces. Certains phytoplanctons peuvent fixer l'azote et peuvent se développer dans des zones où les concentrations de nitrates sont faibles. Ils nécessitent également des traces de fer qui limitent la croissance du phytoplancton dans de vastes zones de l'océan car les concentrations de fer sont très faibles. D'autres facteurs influencent les taux de croissance du phytoplancton, notamment la température, la salinité de l'eau, la profondeur de l'eau, le vent et les types de prédateurs.

Lorsque les conditions sont réunies, les populations de phytoplancton peuvent exploser, phénomène connu sous le nom de floraison. Une floraison peut durer plusieurs semaines, mais la durée de vie de tout phytoplancton individuel est rarement supérieure à quelques jours. Le phytoplancton est la base du réseau trophique aquatique, les principaux producteurs, qui nourrissent tout, du zooplancton microscopique, les invertébrés et les petits poissons.

(<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Phytoplankton>).

2.2. Habitat et interaction biologique

Le phytoplancton est composé d'organismes à large plasticité, ce sont des espèces ubiquistes dans le milieu terrestre et aquatique (Fogg et al., 1973), qui colonise des milieux dulçaquicoles ou marins.

Concernant l'interaction biologique, il existe différentes relations d'interdépendance concernant le mode de vie du phytoplancton soit en association avec des animaux (protozoaires, des éponges) ou des végétaux (fougères ou angiospermes), soit en symbiose avec des algues vertes et champignons (les lichens) ou totalement planctoniques quand ils sont complètement

aquatiques ce qui leurs permet de vivre soit dans la colonne d'eau ou fixés sur autres substrats (Mur, 1999).

2.3. Phylogénie et diversité phytoplanctoniques

Ce serait surprenant si les espèces du phytoplancton étaient uniformes dans leurs exigences et leurs dynamiques, les estimations actuelles suggèrent qu'entre 4 000 et 5000 espèces légitimes de phytoplancton ont été décrites (Sournia et Ricard, 1991). Par conséquent la classification repose sur différents critères distingués par les microscopistes et les biochimistes au cours des 150 dernières années suivant la taille (tableau 2), la dynamique et la phylogénie.

Tableau 2 : Classification du phytoplancton selon la nomenclature de mise à l'échelle (Sieburth et al., 1978).

Nom	Dimension linéaire maximale
Picophytoplancton	0,2–2 µm
Nanophytoplancton	2–20 µm
Microphytoplancton	20–200 µm
Mésophytoplancton	200 µm–2 mm
Macrophytoplancton	>2 mm

La divergence phylétique du phytoplancton est très vaste d'où la nécessité de les classer sur la base du critère phylogénique.

Selon les caractères morphologiques, cytologiques, biochimiques et reproductifs, il existe 14 principales classes différenciées dans les milieux aquatiques (Reynolds, 2006) :

- **Les Cyanobactéries** (Algues bleu-vert) bactéries unicellulaires, coloniales et filamenteuses contenant des pigments primaires photosynthétiques chlorophylle, phycobilines (phycocyanine, phycoérythrine) et glycogène. Quatre sous-groupes principaux, dont trois ont des représentants planctoniques.
- **Les Chlorophycées** (les algues vertes), unicellulaires, filamenteuses ou en colonies. Des chloroplastes contenant de la chlorophylle *a* et *b*.
- **Les Zygothécées** appartenant aux algues vertes, caractérisé par l'absence des flagelles ainsi que leur reproduction sexuée par conjugaison.

- **Les Euglénophycées** plastes nombreux et irréguliers, appartenant à la classe des flagellés contenant des cellules vertes pigmentées riches en chlorophylle *a* et *b*, la reproduction se fait par fission longitudinale.
- **Les Cryptophycées** organisme unicellulaire biflagellés et photosynthétique.
- **Les Chrysophycées** (Algues dorées) unicellulaire, coloniale et filamenteuses, contenant la chlorophylle *a*, *c1* et *c2*, généralement masqué par accessoire abondant pigment fucoxanthin conférant une couleur dorée caractéristique pour les cellules. Cellules parfois nues ou enfermées dans une lorica en forme d'une parfois avec échelles siliceux.
- **Les Bacillariophycées** (diatomées) algues jaune-brunes unicellulaires et cénobiales, non motiles avec de nombreux discoïde plastes, contenant de la chlorophylle *a*, *c1* et *c2*, masquée par pigment accessoire, fucoxanthine. Les parois cellulaires de pectine, en deux moitiés distinctes qui se chevauchent et imprégnées avec de la silice cryptocristallin, produits assimilateurs chrysose.
- **Les Dinophycées** la plupart du temps unicellulaires, parfois coloniales, les algues avec deux flagelles de longueur inégale, plastes complexes contenant de la chlorophylle *a*, *c1* et *c2*, généralement masquée par les pigments accessoires d'assimilation produits : amidon.
- **Les Xanthophycées** (Algues jaune-vertes) algues unicellulaires, coloniales, filamenteuses et cénocyte. Espèces généralement motile contenant de la chlorophylle *a*. Les cellules principalement jaune-vertes en raison de la prédominance du pigment diatoxanthine.
- **Les Glaucophycées** organismes porteurs de cyanelle, avec des représentants généralement planctoniques d'eau douce.
- **Les Prasinophycées** organismes unicellulaires, principalement des algues vertes motiles avec 1 à 16 flagelles placés latéralement ou apicale, les parois des cellules recouvertes de fines écailles et les plastides contenant de la chlorophylle *a* et *b*.
- **Les Eustigmatophycées** organisme unicellulaire coccus ou flagellé, algues de couleur jaune-vert contenant de la chlorophylle *a*.
- **Les Raphidophycées** Biflagellées, la paroi contenant de la cellulose deux ou plusieurs plastes contenant de la chlorophylle *a* caractérisé par des cellules de couleur jaune-vert en raison de pigment accessoire prédominant diatoxanthine.

- **Les Haptophycées** algues de couleur jaune-brune, généralement unicellulaire, avec deux flagelles subégaux contenant les pigments chlorophylliens *a*, *c1* et *c2*. Ayant des parois cellulaires calcifiées.

2.4. Distribution spatiale

2.4.1. Distribution horizontale

La distribution horizontale du phytoplancton a été bien étudiée dans les grands lacs (Jones et al., 1995), cependant il existe peu de recherches détaillées sur les masses d'eau plus petites (Pełechaty et Owsiany, 2003).

Mais les variations suivant la distribution horizontale dans les petit lacs est plus visibles sur des courte périodes, mais n'empêche qu' elle est fréquemment modulables et peut changer via le temps (Wojciech , 2013). Auparavant on supposait que le mélange horizontal de l'eau, induit par le vent, était responsable d'une certaine homogénéité horizontale des communautés de phytoplanctons, mais il existe un nombre croissant de publications qui montrent qu'il y a d'autres facteurs influençant cette distribution tels que les facteurs physiques et chimiques en lien avec le courant ainsi que la dimension spatiale qui a son tour entraîne des dissemblances dans les assemblages soit dans le milieu marin ou le milieu lacustre.

2.4.2. Distribution verticale

Récemment, il y a eu un regain d'intérêt pour les facteurs météorologiques influençant la variabilité des communautés planctoniques, principalement en ce qui concerne les changements climatiques mondiaux. Le climat semble être un facteur majeur responsable des changements des propriétés thermiques et des processus biologiques dans les écosystèmes d'eau douce, au cas où les influences anthropiques sont absentes (Carpenter, 1992).

Le phytoplancton connaît des changements climatiques dus aux fluctuations du niveau de l'eau, à la durée de la période sans glace, à la stratification ou aux apports d'éléments nutritifs (Straile et al., 2003). Des connaissances sur les facteurs qui influencent la variabilité à long terme et à court terme de la dynamique du plancton et la phénologie des événements de succession sont nécessaires pour prévoir comment les écosystèmes lacustres répondront aux changements climatiques actuels et futurs.

Cependant, une grande attention a été portée sur la distribution verticale du phytoplancton liée au gradient de facteurs qui se produit dans les lacs telles que la température, la lumière ou la concentration en nutriments (Wetzel , 1986), d'où la nécessité de détailler les facteurs abiotiques et biotiques influençant sur la dynamique des populations dans le système lacustre (Jones , 1996).

3. Zooplancton

3.1. Définition

Le zooplancton du grec (zoo ou animal) est un plancton animal qui fait partie intégrante des écosystèmes aquatiques d'eau douce où il agit en tant que lien primaire et secondaire dans la chaîne alimentaire (Hutchinson ,1976);(Wetzel ,1983). Il joue un rôle crucial en tant que brouteur, régénérateur de nutriments et source de nourriture pour les autres invertébrés et poissons.

3.2. Habitat et écologie

Le zooplancton crustacé est un groupe d'invertébrés diversifié, généralement petit (<5,0 mm), il est généralement omniprésent dans les habitats d'eaux douces. Il a une capacité de s'adapter aux eaux chaudes et aux eaux froides. Le zooplancton est un composant important des réseaux alimentaires aquatiques, occupant une position centrale entre phytoplancton, bactéries et prédateurs de niveaux trophiques supérieurs, tels que des poissons planctivores et piscivores, ainsi que des prédateurs invertébrés.

3.3. Phylogénie du zooplancton

Le zooplancton d'eau douce est constitué en grande partie de trois groupes dont la taille, les caractéristiques de croissance, les modes de reproduction et les différences de locomotion varient (Allan , 1976).

De point de vue taxonomique, le zooplancton appartient au phylum *Arthropoda* et le sous-phylum *Crustacea*, il regroupe trois groupes principaux les rotifères, les copépodes et les cladocères. Les plus petits des trois groupes sont les rotifères qui ont des taux de croissance potentiels beaucoup plus élevés que les copépodes ou les cladocères.

Les cladocères sont généralement des filtreurs et peuvent consommer des bactéries, du phytoplancton, des ciliés, des rotifères et des copépodes de différentes tailles (Dodson et Frey, 2001) bien qu' il existe des différences spécifiques aux espèces pour filtrer les particules de différentes tailles (Cyr et Curtis, 1999).

Tandis que les copépodes sont soit herbivores soit omnivores, le copépode cyclopoïde omnivore tend à être plus répandu dans les stades adultes et espèces de grande taille (Rita et Thomas , 1993). La plupart des copépodes calanoïdes sont des mangeoires suspendues et génèrent de petits courants avec appendices qui apportent de la nourriture vers leur bouche, mais certains calanoïdes plus grands attaquent leur proie. Les cyclopoïdes saisissent leur proie avec des appendices, la poussent entre leurs mandibules et les déchirent (Reid et Williamson , 2001).

3.4. Distribution spatiale

Le zooplancton possède de nombreuses adaptations importantes dans les habitats aquatiques. Certains taxons présentent une migration verticale, passant de l'obscurité des eaux pendant la journée (Lynch ,1980) aux eaux de surface plus chaudes la nuit pour se nourrir, ce qui leur permet d'éviter les prédateurs visuels, mais cela a un coût énergétique (Lampert, 1989). De nombreux taxons, en particulier les cladocères, ont également des caractéristiques morphologiques et biologiques spécifiques, des stratégies pour réduire la prédation (Tollrian et Laforsch ,2006), la reproduction plus précoce et la taille des couvées plus grandes (Riessen , 1999) et plus forte carapaces (Laforsch et al., 2006).

Les copépodes produisent des couvées de 2 à 50 œufs sous-cutanés qui éclosent rapidement. Les calanoïdes peuvent aussi produire de la diapause, œufs qui peuvent rester en dormance dans les sédiments pendant des décennies, tandis que les cyclopoïdes peuvent entrer en diapause comme juvéniles (Reid et al., 2007). Les copépodes se développent plus lentement que les cladocères: la durée de développement de l'œuf à l'adulte est de 1 à 3 semaines et la vie adulte, sa durée est de un à plusieurs mois, alors que les cladocères peuvent atteindre la maturité reproductrice dans les 2 à 11 jours et la durée de vie varie de 4 à 70 jours (Lynch , 1980) .

Les cladocères sont généralement parthénogéniques saisonniers, produisant de grandes couvées de clones. Les œufs au repos du cladocère sont protégés par une structure épaisse et un éphippium, qui résiste à la dessiccation et à la congélation, et permet aux cladocères de passer l'hiver dans les sédiments des lacs et des étangs (Dodson et Frey, 2001).

La dispersion du zooplancton se produit naturellement de diverses manières, peut être ingérée par les oiseaux d'eau (Proctor , 1964) ou transporté par les insectes volants (Maguire , 1963).

Les propagules peuvent également être transportées par le vent (Cáceres et Soluk , 2002), la pluie (Maguire, 1963) et les débits d'eau (Havel et Medley , 2006).

3.5. Ecologie des principales espèces

3.5.1. Rotifères

Rotifera est un phylum de taille moyenne composé d'animaux minces, à symétrie bilatérale et non segmentés, leur taille varie entre 50 µm et 3 mm.

Le nom de phylum (latin, rota, wheel; ferre, supporter), utilisé pour la première fois par Cuvier en 1798, désigne l'extrémité antérieure qui, chez de nombreuses espèces, ressemble à une roue en rotation en raison du battement séquentiel de ses cils (Wallace et Smith , 2013).

Ces organismes constituent des éléments importants dans les écosystèmes aquatiques, constituant un lien entre la boucle microbienne et les niveaux trophiques supérieurs (Sarma et Rrez , 1999). Ils sont largement répandus dans les eaux intérieures, tels que les lacs, les rivières et les étangs, mais aussi dans les environnements extrêmes, tels que les étangs d'épuration, les plans d'eau acidifiés, les lacs alcalins, les sablières ou dans le film d'eau mince recouvrant les mousses, les lichens hépatiques.

En raison de leurs taux de reproduction rapides et de leurs capacités de dispersion, ils peuvent rapidement coloniser de nouveaux habitats et dominant souvent numériquement ces communautés. Comparés à la plupart des autres animaux multicellulaires, les rotifères sont des organismes relativement petits, de courte durée de vie et à reproduction rapide. La durée de vie des individus est généralement de quelques jours. Les taux de reproduction des femelles individuelles peuvent atteindre environ 20 enfants asexués.

Néanmoins, les rotifères sont parmi les organismes se reproduisant le plus rapidement. Ceci est principalement dû à leurs temps de génération courts. Par exemple, *Brachionus calycifloris* termine le développement de l'œuf en seulement huit heures à 25 ° C, mûrit à l'âge de 22 heures et peut atteindre un intervalle de ponte d'un œuf par 3-4 heures (Borass et Bennett , 1989).

3.5.2. Cladocères

Les Cladocères sont des petits crustacés, leur taille varie entre 0,2 et 2 mm, présents dans les milieux dulçaquicoles et moins abondants en milieu marin, ces organismes possèdent deux paires d'antennes ayant une fonction locomotrice, une carapace bivalve englobant un œil et un tube digestif.

**Bosmina longirostris* est l'une des 620 espèces, est présente dans les lacs et les étangs d'eau douce du monde entier, dans les climats tempérés et tropicaux, ces régions comprennent des régions d'Afrique, d'Europe et des États-Unis (Zaret et Kerfoot , 1975). Ces organismes sont appelés puces d'eau car leur apparence physique et leurs mouvements ressemblent à ceux des puces terrestres.

B. longirostris est sexuellement dimorphes ; les femelles ont de grandes antennules recourbées sur la tête, absentes chez les mâles. La taille des femelles varie de 0,4 à 0,6 mm de long, tandis que celle des mâles varie de 0,4 à 0,5 mm de long. Les deux sexes ont un mucron, une pointe acérée sur la tête dont la longueur varie selon les endroits. La longueur des muqueuses et des carapaces varie en saison, diminuant en été en raison du risque accru de prédation (Shaharudin et Toshio , 2011).

**Daphnia longispina* est une espèce cosmopolite, eurytherme (Derraz , 2002), son biotope est diversifié, présente dans tous les plans d’eaux: mares, étangs et rivières à courant lent, mais en générale elle a une tendance aux eaux claires. Son corps est bivalve, caractérisé par une épine caudale qui permet de les différencier des autres cladocères, cet organisme possède un ocelle visible avec une taille qui varie entre mâle et femelle. *Daphnia longispina* est considérée comme un microfiltreur herbivo-détritivore (Fryer , 1985), elle se nourrit d’algues microscopiques et de bactéries. Cette espèce est considérée comme un élément important dans la chaîne alimentaire car en premier lieu elle participe à l’épuration de l’eau et en deuxième lieu elle sert comme nourriture pour les insectes, les larves de poisson et le canard souchet (*Anas clypeata*) qui se nourrit de plancton.(Müller , 2009).

3.5.3. Copépodes

La terminologie des Copépodes provient de deux racines grecques: *kope* qui signifie rame et *podos* qui signifie pied, leur taille varie entre 0,2 mm et 2 mm, les copépodes constituent une biomasse majoritaire du zooplancton qui peut arriver parfois à 80 % de la biomasse zooplanctonique (Gardner et Szabo, 1982).

Les copépodes peuvent être benthiques ou pélagiques. Ces derniers forment un groupe très diversifié, on y distingue 10 ordres (figure 6), 210 familles, 2400 genres et plus de 14000 espèces parmi les espèces les plus fréquents dans le milieu étudié.

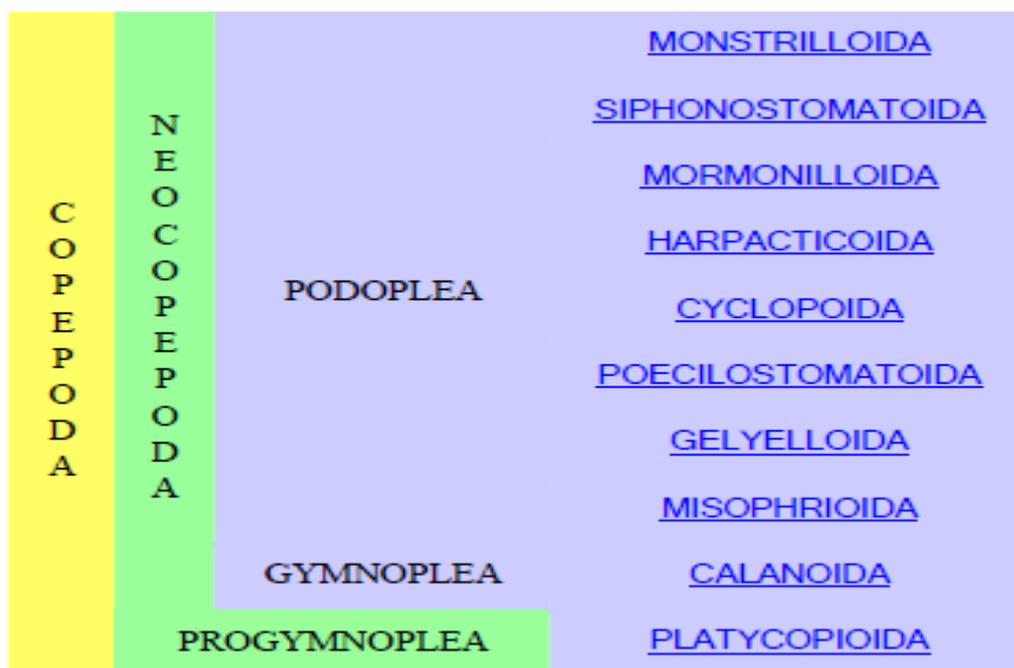


Figure 6 : Schéma évolutif des copépodes (Bandeira , 2013)

**Cyclopoïdes* contenant 90 familles parmi les groupe des copépodes les plus représentés ; ubiquiste dans les eaux douces et rarement adapté dans les eaux saumâtres, leur nomenclature fait référence au cyclope c'est à dire œil, ce sont des espèces libres, caractérisées par des antennules de 6 à 17 segments on peut reconnaître les femelles facilement grâce à deux sacs ovigères accrochés à leur abdomen. Leurs régimes alimentaires sont variables on trouve des espèces herbivores, d'autre détritivores et même prédatrices.

**Harpacticoides* contenant 54 familles, sont des espèces benthiques de taille inférieure à 1 mm, se déplace par reptation dans le fond du lac, possédant des antennes et antennules très courtes ce qui ne leur permet pas de nager efficacement.

**Coréthres* sont des larves aquatiques translucides appartenant à la famille des chaoboridés, leur taille entre 1 et 1,5 cm, ses organismes ont un système d'adaptation qui varie d'une vie diurne à une vie nocturne, pendant la journée ils mènent une vie benthique par contre la nuit ils remontent vers la surface afin d'attraper leur proie par les antennes préhensiles.

III. Variables de contrôle de la dynamique des peuplements planctoniques dans le système lacustre

1. Facteurs physiques

1.1. Turbidité de lac

Les caractéristiques morphologiques des lacs, ainsi que les conditions climatiques, influencent indirectement le plancton suite à divers critères de taille, de la chimie des sols et des roches environnantes qui déterminent les quantités de nutriments dans l'eau.

Qualitativement, il n'existe aucune différence fondamentale entre le plancton des eaux courantes et les eaux stagnantes, les mêmes groupes taxonomiques étant présents dans chacun d'entre eux, mais n'empêche que la turbidité est l'un des plus grands obstacles au développement d'une population de plancton.

Bien que les eaux des lacs soient rarement troubles en ce sens que les eaux des rivières, mais l'épaisseur de la zone de photosynthèse productive à la surface d'un lac dépend très largement de la quantité de débris et de plancton suspendus, ainsi que de la couleur de l'eau elle-même. Le point de compensation dans un lac est la profondeur à laquelle la photosynthèse et la respiration des algues s'équilibrent exactement pendant une période de 24 heures. Dans un lac très coloré avec un grand plancton et des débris en suspension, ce point peut être situé à un mètre ou deux sous la surface. Dans les lacs limpides avec peu de plancton, il peut atteindre dix mètres

de profondeur. Ainsi, la fraction du volume d'un lac dans lequel se produit la production primaire peut être grande ou petite (Robert, 1946).

1.2. Luminosité et température

La lumière et la température sont considérées comme des facteurs clés pour la prolifération du plancton dans le système aquatique.

Selon une distribution verticale dans le lac, la température est l'une des variables environnementales importantes dans ce contexte car elle a une orientation à établir une stratification à une colonne d'eau, suivant un gradient vertical via le temps allant d'une échelle journalière à une échelle saisonnière (Macintyre et al., 2000). Par contre la lumière réagit plus rapidement dans un intervalle réduit allant des fractions de seconde dans la journée (Litchman et Klausmeier, 2001).

Dans la plupart des lacs, une zone euphotique éclairée par le soleil est présente dans l'épilimnion, où il y a une réception suffisante de lumière pour permettre la photosynthèse, la profondeur de la zone euphotique peut varier de quelques mètres dans les milieux troubles à une dizaine de mètres dans les eaux claires, cette dernière est caractérisée par la présence des espèces autotrophes. Dans la couche intermédiaire s'établit une grande variation de température, plus chaude que la surface et plus froide que la profondeur, cette zone est caractérisée par une abondance élevée d'organismes. Dans la couche inférieure qui constitue une zone plus froide et plus éclairée implique que la lumière n'est pas suffisante pour établir le phénomène de la photosynthèse, cet endroit est nommé la zone aphotique où l'activité des organismes est moindre, abrite des espèces anaérobies car la zone est moins oxygénée et la température varie peu par rapport aux couches supérieures (<http://www.waterencyclopedia.com/Hy-La/Lakes-Biological-Processes>).

1.3. Le vent

Le vent agit fortement sur le fonctionnement et la morphologie des lacs, c'est un paramètre non négligeable car il modifie la vitesse du courant ce qui entraîne un déplacement de la masse qui induit un exhaussement du niveau d'eau suivant la profondeur du lac.

Il existe deux types de mouvements générés par le vent, les mouvements verticaux sont généralement causés par les instabilités créées par chauffage direct de surface (par exemple masse d'air, orages et circulation de la brise), et les mouvements horizontaux qui ont tendance à être entraînés par des gradients dans la surface densités d'air créées par des mouvements compensatoires liés à la conservation de la masse (Pelikán et Marková, 2013).

2. Facteurs chimiques

Les éléments nutritifs présentent une nécessité pour le développement de la production biologique en terme quantitative et qualitative (Groga , 2012).

L'azote est un élément essentiel à la production de tissus végétaux et animaux. Il est principalement utilisé par les plantes et les animaux pour synthétiser des protéines. L'azote pénètre dans l'écosystème sous plusieurs formes chimiques et se présente également sous d'autres formes dissoutes ou particulaires, tels que les tissus d'organismes vivants ou morts.

Le phosphore est un nutriment essentiel pour la conversion de la lumière du soleil en énergie utilisable, et essentiel à la croissance et à la multiplication cellulaire. C'est l'un des 20 éléments les plus abondants du système solaire et le 11ème plus abondant de la croûte terrestre (Minnesota pollution control agency, 2008). Dans des conditions naturelles, le phosphore est généralement rare dans l'eau. À la fin des années 1960, des scientifiques ont découvert que le phosphore, issu de l'activité humaine, était l'un des principales causes de la croissance excessive d'algues (Hasnaoui et al., 2002) et de la dégradation de la qualité de l'eau des lacs. Le phosphore se présente sous des formes organiques et inorganiques dissoutes ou attaché à des particules de sédiment. Les phosphates, la forme inorganique, sont préférés pour la croissance des plantes, mais d'autres formes peuvent être utilisées lorsque les phosphates ne sont pas disponibles. Le phosphore s'accumule dans les sédiments d'un lac, il n'est généralement pas disponible pour les algues. Cependant, divers processus chimiques et biologiques peuvent permettre au phosphore des sédiments d'être relâché dans l'eau.

La silice, c'est un élément essentiel pour le développement des diatomées et les silico flagellés, il peut être limitant pour des espèces car la carence en silice pourra éliminer ces groupes au profit d'organismes non siliceuse (Labry , 2001), la silice est présente dans le milieu lacustre sous forme d'acide silicique et de silice particulaire.

D'autres ions peuvent déterminer la nature qualitative et quantitative du plancton. Les eaux à faible rapport sodium-potassium et calcium-magnésium, par exemple, sont caractérisées par des flores de d'algues bleu-vert, tandis que celles présentant des ratios élevés ont généralement une flore de chlorophycées prédominante. De même les éléments de "traces" peuvent revêtir une grande importance dans les environnements de plancton pour certaines espèces par exemple le cuivre et le zinc. Enfin la présence des éléments nutritifs reste indispensable pour le développement et la succession de la vie aquatique mais bien évidemment avec des quantités bien définis pour leur survie.

3. Facteurs biologiques

3.1. Réseau trophique

Les plantes et les animaux aquatiques interagissent les uns avec les autres par le biais d'une série de voies d'interconnexion appelées réseaux trophiques. Chaque niveau du réseau alimentaire ou de la chaîne s'appelle un niveau trophique, car chacun représente un type de productivité différent (figure 7).

Suivant un processus biologique dans le système lacustre on distingue :

- Les microbes sont importants pour permettre et maintenir les cycles des nutriments.
- Le phytoplancton (principalement les algues), comme les plantes terrestres, a besoin de la lumière du soleil, de l'eau et des nutriments pour la photosynthèse. Les algues et les macrophytes enracinés sont les principaux producteurs du milieu aquatique. En convertissant l'énergie lumineuse en énergie chimique via la photosynthèse, ils créent des aliments (énergie) nécessaires à l'ensemble du réseau trophique aquatique. En tant que tels, ils sont à la base de la chaîne alimentaire et constitue un groupe très diversifié qu'on peut organiser généralement par couleur, tels que les algues vertes, les algues jaune-brun et algue rouge etc
- Le zooplancton, comme *Daphnia* et *Bosmina*, qui sont les principaux consommateurs, car ils se nourrissent des producteurs primaires. Le zooplancton est considéré comme un herbivore, car il consomme du matériel végétal.
- Les planctivores sont des organismes qui se nourrissent de zooplancton. Les organismes aquatiques comprennent les poissons, tels que les ménés, et les crapets, ainsi que toute une variété de larves d'insectes aquatiques.
- Les piscivores sont au sommet de la chaîne alimentaire aquatique et sont des poissons carnassiers, tels que l'achigan, le brochet et le doré. Les piscivores sont des espèces clés, en ce sens que leur influence peut se répercuter sur le réseau trophique, affectant d'autres organismes des niveaux trophiques inférieurs. Par exemple, si la population de piscivores est trop élevée, ils pourraient manger tous les planctivores. Cela conduirait à une augmentation de la transparence du lac. L'effet inverse peut se produire s'il y a trop peu de piscivores, ce qui peut être dû à la surpêche ou à une mauvaise reproduction (Moss , 2010).

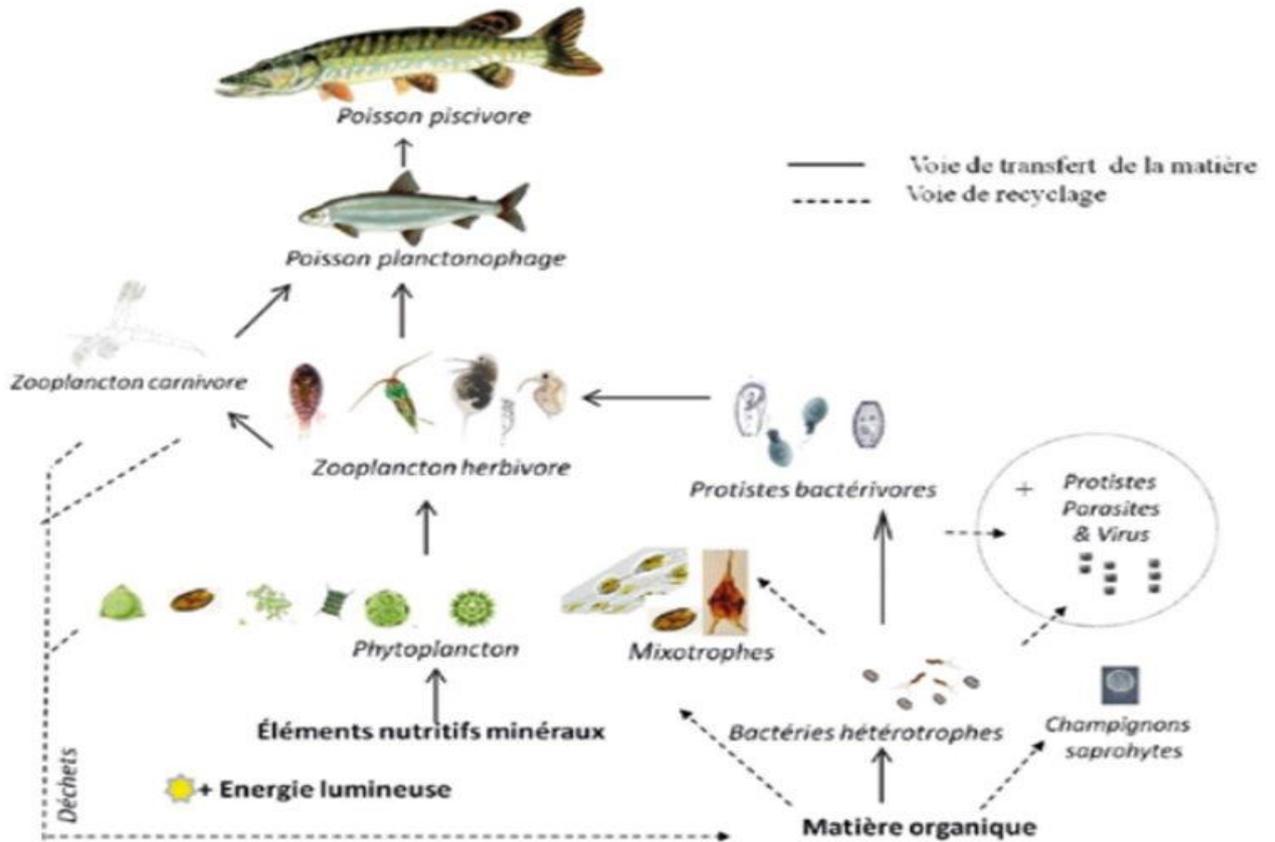


Figure 7 : Exemple de réseau trophique dans un système lacustre (Lods-Craze, 2014).

3.2. Relations nutritionnelles

Les relations fondamentales existant entre les divers groupes d'organismes du plancton ont essentiellement un caractère nutritionnel. Les phytoplanctons ont été collectivement appelés les « producteurs », les zooplanctons nommés « consommateurs » et les bactéries et moules « transformateurs ». Les matériaux sont perdus de ce cycle de trois manières principales (Robert, 1946).

Premièrement, les activités de pâturage des petits poissons éliminent le zooplancton, le phytoplancton et certaines bactéries, moisissures et les détritiques afin de les convertir en protoplasme à un niveau trophique supérieur. La fraction du plancton qui peut être éliminée par les petits poissons en eau douce est un problème dont on ne sait presque rien. Toutefois, en ce qui concerne la masse totale de plancton, il semble probable que seule une petite fraction, voire une fraction insignifiante, est habituellement perdue de cette manière ; c'est incontestablement le cas pour les lacs où vivent de petites populations de poissons se nourrissant de plancton.

Deuxièmement, une quantité supplémentaire insignifiante de plancton vivant est consommée par les invertébrés prédateurs et les navigateurs de la faune inférieure.

Troisièmement, lorsque des organismes du plancton meurent et deviennent une partie de la destruction particulaire certains d'entre eux coulent au fond. Là, ils peuvent être consommés tôt ou tard par la faune du fond, par des bactéries et incorporés dans les dépôts plus ou moins inertes du fond. Dans le dernier cas, une fraction du lac a été perdue de manière permanente en ce qui concerne la nutrition du plancton.

IV. Impacts des facteurs environnementaux sur la dynamique planctonique

1. Changement climatique

La vie aquatique est affectée par le changement climatique ainsi que les propriétés physiques et chimiques tels que la stratification, la lumière et le besoin en nutriments (Richardson , 2008).

Bien évidemment ce changement va influencer la biodiversité, la distribution, l'abondance et la production du plancton et de même la fluctuation sur son écologie par le biais de son rôle sur les cycles biogéochimiques. Il ne faut pas nier que les modifications climatiques ont un impact sur le changement de la phylogénie des espèces durant leur cycle saisonnier, un décalage entre communauté phyto planctonique et communauté zoo planctonique peut entraîner un décalage au sein du niveau trophique (Brander et al., 2003).

2. Etat trophique des lacs

Les critères physique, chimique et biologique ainsi que l'équilibre de l'écosystème reflète l'état trophique d'un lac, ainsi cet état trophique est conditionné par la capacité à dégrader la matière organique qu'il reçoit (allochtone) ou qu'il produit (autochtone).

Généralement on différencie quatre classes trophiques : oligotrophes, mésotrophes, eutrophes et hypereutrophes. Mais cependant classiquement, deux états trophiques sont extrêmes : les lacs oligotrophes et les lacs eutrophes distincts par plusieurs critères voire tableau (tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des caractères des lacs oligotrophes et eutrophes (Campy et Macaire, 2003)

Critères	Lac oligotrophe	Lac eutrophe
Nutriment en (N, P)	P < 10 mg/l	P > 20 mg/l
Qualité de l'eau	claire et transparente	sombre et trouble
Oxygénation	bonne oxygénation	mauvaise oxygénation
Matière organique	faible concentration	forte concentration
Productivité biologique	-faible (phytoplancton + macrophytes) - productivité primaire < 150 g/m ² /an - teneur en chlorophylle a < 3 mg/l	-forte (phytoplancton + macrophytes) - productivité primaire > 250 g/m ² /an - teneur en chlorophylle a > 6 mg/l
Sédiments	- détritique minéral dominant - couleur claire	-forte concentration en matière organique - gris, brun, noir
Faune piscicole	-très diversifiée - exigeante en O ₂ - salmonidés (truite)	-peu diversifiée - tolérance en déficit d'O ₂ - cyprinidés (carpe)

Les apports externes d'azote et de phosphore dans les écosystèmes proviennent d'une grande variété de sources, notamment des apports d'eau souterraine, fluviale et atmosphérique.

Dans le milieu lacustre la disponibilité des nutriments influence la structure des communautés planctoniques et ce changement est facilement observables par l'envahissement des algues à la surface du plan d'eau (Reckhow et Chapra , 1985).

Il faut signaler que l'enrichissement des eaux en nutriments influence le niveau du réseau trophique qui va engendrer un changement de taille de la communauté dominante initialement pico planctonique vers une communauté micro planctonique (Duarte et al., 2000) et par conséquent une influence sur la composition des prédateurs zooplanctoniques.

En plus, les apports anthropiques aboutissent à une surproduction biologique en apportant plus de phosphore et d'azote et l'enrichissement excessif en nutriments a aussi de nombreux autres effets sur la biologie, la chimie et l'utilisation humaine des lacs et des réservoirs. Cependant les effets sont souvent nuisibles.

Par exemple, les lacs eutrophes sont généralement caractérisés par des changements vers la domination du phytoplancton par les cyanobactéries, dont certaines produisent des quantités plus toxiques que le venin de cobra (Smith et al., 1999).

3. Activité anthropique

La croissance démographique ainsi que la diversité des activités socio-économiques qui se font dans les lacs ont un impact sur les zones humides.

En effet, outre les changements climatiques ces milieux connaissent une régression due à l'activité humaine qui se traduit par l'existence des agglomérations locales, les visites touristiques ainsi que la présence du bétail (Chillasse et Dakki , 2004).

a) La surexploitation des ressources en eau

La grande majorité des ressources en eaux souterraines sont exploitées, depuis 1970 le niveau piézométrique a baissé, cette diminution risque de tenir à l'écart d'un assèchement des réserves.

b) Déviation des cours d'eaux

Vu la rareté de l'eau dans les altitudes et vu l'accroissement démographique, malheureusement la majorité des sources dans le moyen atlas ont subi des dérivations ou des canalisations.

c) Pertes en biodiversité

À l'image des autres régions du Maroc, en particulier le moyen atlas a connu un développement démographique ainsi qu'une polyvalence des activités socio-économiques. Ces diversifications ont créé des perturbations au niveau des écosystèmes ce qui a engendré une pression sur la biodiversité à savoir transformation d'habitats et dérangement de la faune reproductrice (Nechad , 2017).

d) Tourisme et estivage

Le moyen atlas est principalement les dayets, qui sont accessibles sont considérés comme colonies de vacances, favorisés pour l'estivage surtout pour son climat frais pendant la période d'été qui attirent plusieurs habitants de toute ville marocaine ou voir même la communauté résidente à l'étranger. Malheureusement, ce flux important des visiteurs a impacté en termes de pollution organique les ressources en eaux. En parallèle du tourisme, ces zones constituent un abreuvement pour le bétail qui impacte négativement la vie aquatique.

Matériel Et Méthodes

I. Présentation du site d'étude

1. Origine du lac

Le réservoir Dayet Aoua est considéré comme un milieu artificiel dont la digue a été construite en 1930 par la colonie française. Ce milieu était considéré comme une flaque d'eau qui emportait les hommes le bétail et la végétation afin de remédier à ce problème, cette digue a été construite désormais pour protéger les habitants des douars avoisinants et la flaque s'est transformée en lac de quelques hectares et simultanément ce dernier est devenu un générateur de richesse naturelle (Mdidech , 2008) .

Depuis 1980 le lac Dayet Aoua est considéré comme un centre touristique de la région due à sa position géographique, son accessibilité, sa proximité et sa richesse en faune et flore. Au fil du temps beaucoup d'activités sportives ont été effectuées au niveau du lac comme la chasse et la pêche, mais malheureusement ce dernier a connu des assèchements la première en 1994, après il a repris son niveau normal en 1997, et en 2006 il a reconnu un autre assèchement plus sévère que le premier avant de reprendre son niveau normal en 2008 (Sayad , 2010) .

2. Situation géographique

Le lac Dayet Aoua se situe dans la partie Est du Moyen Atlas. Ses coordonnées sont 32°58'N et 05°27'W (carte topographique Ifrane) à 49km de la ville de Fès, à 6 Km de la ville d'Imouzzer du Kandar, à 18km d'Ifrane, à 36 Km d'Azrou et à 75 Km de la ville de Meknès.

Concernant ses caractéristiques morphologiques sa superficie est de 140 ha, sa longueur est de 1255 m, son périmètre est de 3400 et sa profondeur maximale est de 5,3m (Chillasse et Dakki, 2004).

3. Précipitation

Pour une meilleure gestion des eaux, la connaissance du régime pluviométrique reste importante afin de savoir les répartitions des précipitations en fonction des années et des saisons, cela pourra nous donner une idée approchée sur les variations climatiques qui règnent dans le système lacustre, surtout le milieu en question Dayet Aoua qui a connu plusieurs assèchements (Sayad, 2010).

La campagne a été effectuée durant l'année 2015-2016, le régime saisonnier du lac Dayet Aoua a montré des fluctuations surtout en période automnale et hivernale, qui s'est traduit par des précipitations tardives qui sont apparues jusqu'à mi-février avec un maximum de 120 mm, en comparant cette pluviométrie avec l'année 2012-2013 la saison froide a enregistré des valeurs arrivant jusqu'à 180mm et ces précipitations sont apparues dès le mois de septembre (figure 8).

Pendant la période chaude nous constatons une absence totale de précipitation qui se traduit par un creux estival et s’y ajoute l’augmentation de la température qui conduit à une augmentation de l’évapotranspiration entraînant une baisse du niveau de l’eau.

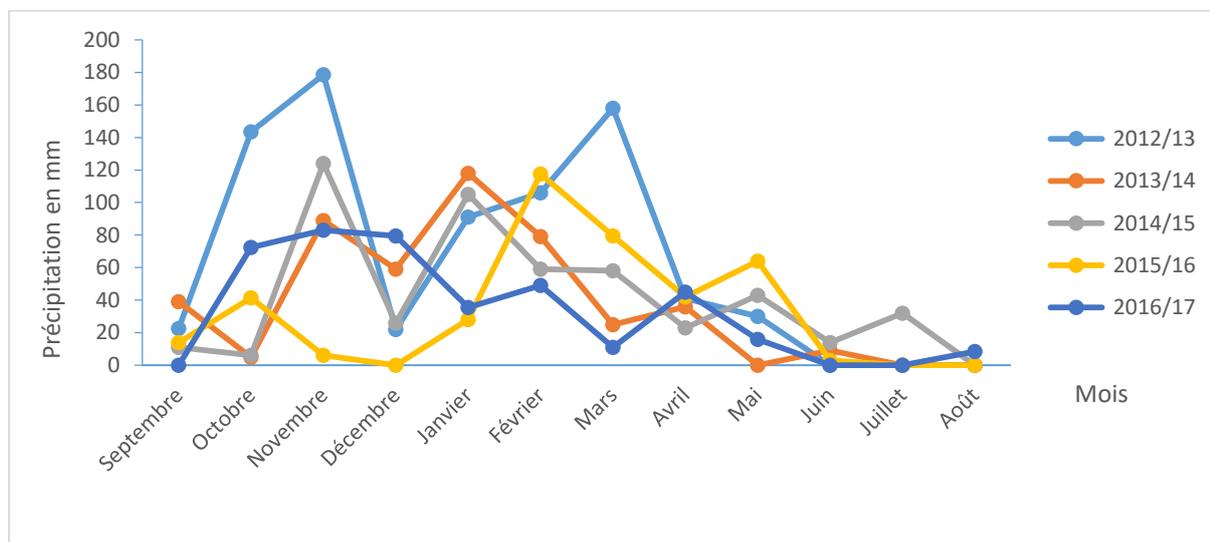


Figure 8 : Évolution des précipitations annuelles (2012-2017) de la station météorologique de Dayet Aoua (Agence du Bassin hydraulique Sebou).

4. Bathymétrie du lac Dayet Aoua

Le lac présente une cuvette peu profonde, le volume enregistré en Mars 2009 après la période d’assèchement est de 2,35 Mm³ qui s’étale sur une surface de 1.28 Km² (ABHS , 2010).

La bathymétrie du lac montre que ce dernier est constitué de trois zones qui échangent entre elles par des cols naturels (Figure 9).

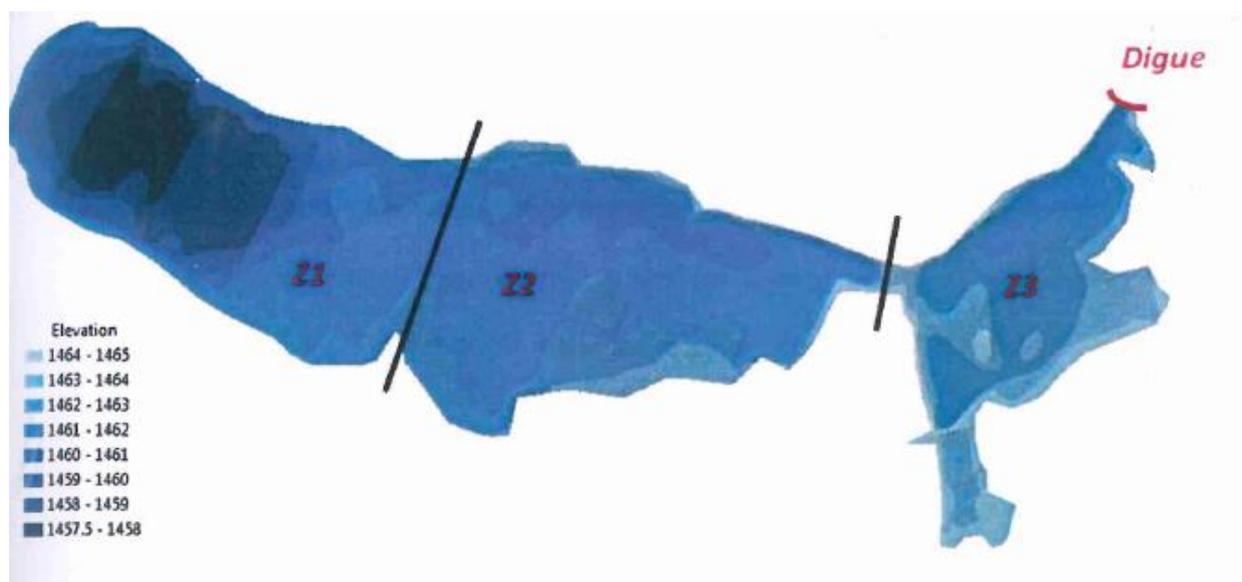


Figure 9 : Bathymétrie du Lac Dayet Aoua et son découpage en zone (ABHS, 2010).

5. Couverture végétale

Dayet Aoua est un lac très réputé au moyen atlas caractérisé par des précipitations importantes durant la saison pluvieuse qui est relativement prolongée. Cette région est caractérisée par une prairie humide de Chêne vert (*Quercus rotundifolia*) et de Cèdre (*Cedrus atlantica*), et par une formation de chêne et entourée par le peuplier ainsi que quelques pieds de saules sur ses bords. Concernant la flore submergée et émergée, elle est vaste et très variée ; présence de *Myriophyllum spicatum*, *Juncus bufonius*, *Carex sp*, *Polygonum amphibium*, *Ranunculus millifolius*, *Scirpus lacustris*, *Phragmites communis* et *Typha sp* (Chilasse et al., 2001).

II. Mesure des fluctuations saisonnières des paramètres physico-chimiques du lac Dayet Aoua

1. Prélèvements

Les prélèvements bimensuels sont réalisés entre Mars 2015 et Février 2016 au niveau du point le plus profond du lac (≈ 5 m), car en limnologie le point le plus profond sert de manière standard, de lieu d'échantillonnage d'eau (figure 10). Les profondeurs échantillonnées sont 0, 1, 2, et 4 m suivant un gradient vertical. D'autres prélèvements ont été effectués à l'entrée et à la sortie du lac afin de déterminer le rôle de cet écosystème dans la mobilisation des éléments nutritifs.

Au milieu du lac les prélèvements, ont été faits à l'aide d'une bouteille fermante de type Van Dorn horizontale. L'eau est ensuite préfiltrée sur un filet de vide de maille de 200 μm afin d'éliminer les débris et les organismes indésirables, puis réparties dans des flacons et traitée en fonction des analyses à effectuer ainsi ;

-Les paramètres (transparence, température, pH, conductivité et oxygène dissous) sont mesurés sur le terrain.

-Les échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques (nitrates, nitrites, azote total, orthophosphates et phosphores total) sont conditionnés dans des flacons et conservés au froid dans une glacière, les analyses sont entamées dès retour au laboratoire dans les 24 h.

-Les échantillons destinés au dosage de l'ammonium sont immédiatement fixés sur le terrain par (1ml de solution de nitroprussiate de sodium et de phénol + 1ml de solution chlorée) agiter et placer à l'obscurité, puis analysé après 6h au moins dès retour au laboratoire.

-Les échantillons destinés au comptage phytoplanctonique sont fixés au lugol dans des flacons de 250ml.

-Les échantillons destinés au comptage zooplanctonique sont conservés par une solution de formol.

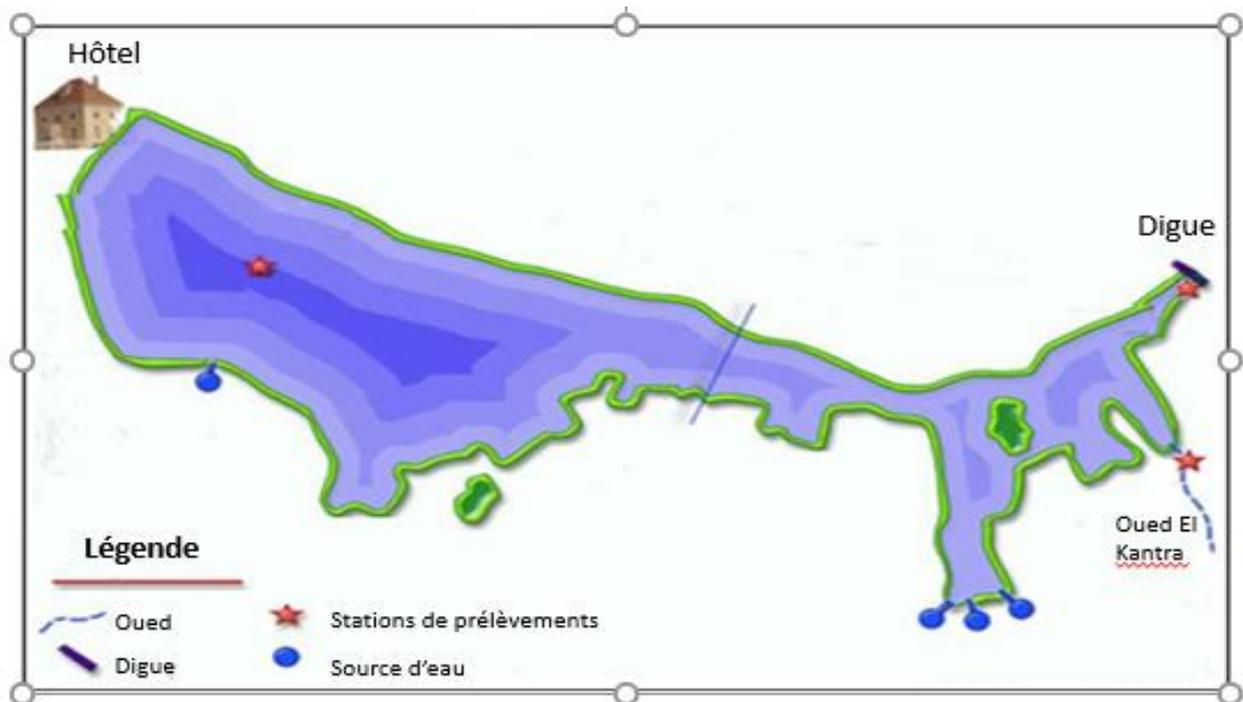


Figure 10 : Site montrant les points des prélèvements dans le lac Dayet Aoua

2. Analyses des paramètres physiques

2.1. Transparence

La transparence est la facilité avec laquelle la lumière peut traverser une substance. Dans les lacs, elle signifie la profondeur de pénétration de la lumière dans l'eau.

La transparence de l'eau dépend de la quantité de particules en suspension dans l'eau. Ces particules peuvent être des particules vivantes ou inertes provenant de l'érosion et des apports de l'oued.

Plus il y a de particules, moins il y a de transparence. En d'autres termes, lorsque l'eau est trouble et contient beaucoup de particules, la lumière ne peut pas pénétrer aussi profondément dans la colonne d'eau.

La transparence de l'eau est généralement mesurée aux alentours du midi solaire avec un disque de Secchi qui est un disque en métal de 8 pouces de diamètre peint alternativement de quatries blancs et noirs, et plongé dans l'eau à l'aide d'un fil. La profondeur à laquelle le disque de Secchi ne peut plus être vu à travers l'eau est la profondeur de Secchi. Lorsque la transparence de l'eau est élevée, la profondeur de Secchi est élevée. Lorsque la transparence de l'eau est basse et trouble, la profondeur de Secchi est faible.

2.2. Température

La température a été mesurée à l'entrée et à la sortie du lac ainsi qu'à différentes profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m suivant le gradient vertical à l'aide d'un multimètre multifonction type Orion 3 Star dont la précision relative de mesure donnée par le fabricant est de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

2.3. Conductivité

Les valeurs de conductivité électrique exprimées en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ont été mesurées sur le terrain à l'aide d'un conductimètre multifonction type Orion 3 Star, à l'entrée, à la sortie et à différentes profondeurs.

3. Analyses des paramètres chimiques

3.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH a été mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre portatif de type Orion Research.

3.2. Oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous exprimées en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ sont généralement mesurées par la méthode de Winkler suivant le protocole de Rodier sur les eaux naturelles, dans notre cas la mesure a été faite par un oxymètre de type Orion Research.

3.3. Azote

Les éléments azotés sont influencés par plusieurs facteurs de nature chimique et biologique d'où la nécessité de maintenir leur chaîne de froid ($\approx 4^{\circ}\text{C}$) et les analyser le plus vite possible au laboratoire dans un délai qui ne dépasse pas 48h afin d'éviter toute modification ou changement.

3.3.1. Ammoniums

La méthode utilisée pour le dosage des ammoniums est celle de Koroleff (1979) décrite dans RODIER (Rodier et al., 2009), les échantillons de 20 ml préalablement fixés par une solution de phénol nitroprussiate et une solution alcaline complexant préalablement préparées, en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme catalyseur, sont incubés pendant 6h à l'obscurité au frais, la lecture de densité optique est faite à une longueur d'onde de 630 nm.

3.3.2. Nitrates

La teneur en nitrate est déterminée après évaporation à 70°C en présence de salicylate de sodium suivant un dosage colorimétrique, l'échantillon se colore en jaune du à la présence de paranitrosalicylate de sodium suivant le protocole de Rodier (Rodier et al., 2009) ensuite une lecture est effectuée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 420 nm.

3.3.3. Nitrites

Les nitrites sont des composés qui se transforment rapidement en nitrate d'où l'intérêt de respecter les conditions de dosage afin de les détecter.

L'ion nitrite réagit avec le sulfanilamide par le principe de la méthode de diazotation afin de donner un composé qui forme avec la N-1 naphtylénédiamine un complexe coloré en rose puis mesuré au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 537 nm (Rodier et al., 2009).

3.3.4. Azote total

Après oxydation de toutes les formes d'azote en milieu alcalin par le persulfate de potassium à 120 °C à l'autoclave on obtient l'azote total, suivant le même protocole décrit par la méthode des nitrates et lue à une longueur d'onde de 537 nm au spectrophotomètre (Rodier et al., 2009).

3.4. Phosphore

3.4.1. Orthophosphates

La concentration en orthophosphates de l'eau est mesurée en présence de molybdate d'ammonium en milieu acide, ce dernier produit un complexe phosphomolybdique qui est réduit par l'acide ascorbique afin de donner un composé de couleur bleu. Cette coloration est accélérée par un catalyseur qui est le tartrate double d'antimoine et de potassium, la lecture de la densité optique est effectuée à une longueur d'onde de 882 nm (Rodier et al., 2009).

3.4.2. Phosphore total

Le phosphore total suit le même protocole des orthophosphates mais la différence pour l'obtention, du phosphore total il faut impérativement passer par une minéralisation à l'aide de l'acide sulfurique et le persulfate d'ammonium à 120 °C à l'autoclave puis la lecture de la densité optique est faite à une longueur d'onde de 882 nm (Rodier et al., 2009).

3.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à la teneur en hydrogénocarbonates, en carbonates et en hydroxydes. Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur en hydroxydes libres, carbonates et hydrogénocarbonates. L'alcalinité est exprimée en quantité équivalente de carbonate. Pour le principe du dosage sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral. Celles-ci se mesurent à l'aide d'une solution étalon d'acide fort, en présence d'indicateurs colorés de pH. Les réactifs utilisés sont l'acide chlorhydrique ou acide sulfurique (0.02 N), solution alcoolique de phénolphtaléine (0.5 %) et solution de méthylorange (0.5 %).

Soit V' le nombre d'acide (0.02 N) versés depuis le début du dosage. Pour l'expression des résultats :

$$\text{TAC (meq/L)} = V' - 0.5/5 \quad \text{Équation 1}$$

$$\text{TAC (degré français)} = V' - 0.5 \quad \text{Équation 2}$$

III. Analyses qualitatives et quantitatives du phytoplanctonique et zooplanctonique

A. Phytoplancton

1. Prélèvement

- Echantillonnage qualitatif : a été fait par utilisation d'un filet à plancton d'un vide de maille de 55 μm de muni d'un collecteur. La concentration des espèces est d'effectuée par plusieurs traits verticales et horizontales pendant quelques minutes. Les échantillons sont recueillis dans un flacon propre et analysés en état frais dès retour au laboratoire.
- Echantillonnage quantitatif : a été établi à l'aide d'une bouteille fermant de type Van Dorn horizontale de contenance (6 litres) pour une prise d'essai de 100 ml.

Pour la conservation des échantillons destinés aux dénombrements, ces derniers sont immédiatement fixés par une solution de lugol préparée au préalable.

2. Matériels pour identification du phytoplancton

L'analyse du phytoplancton au laboratoire nécessite une gamme d'appareillage bien défini afin d'observer, d'identifier de compter et d'analyser les différentes espèces.

Pour se faire les appareils suivant ont été utilisés :

- Chambre de sédimentation (figure 11)
- Microscope muni d'une chambre claire de type Olympus pour l'observation.
- Appareil photo numérique pour la prise de vue des taxons phytoplanctoniques (modèle Samsung).
- Un microscope inversé de type Olympus (AX70) pour le comptage des cellules.
- Clés d'indentification.

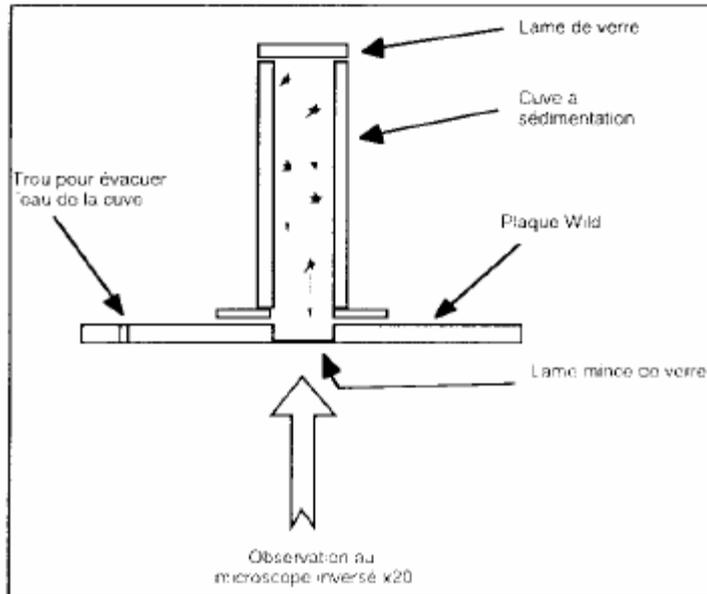


Figure 11 : Vue profil d'une chambre de sédimentation (Druart , 2008).

3. Analyse qualitative

3.1. Identification des espèces

Tout d'abord on prélève une goutte d'échantillon déterminé pour l'identification du fond du flacon, à l'aide d'une pipette après homogénéisation.

Après la goutte est déposée entre lame et lamelle puis observée par un microscope photonique (Olympus), en passant par les différents objectifs, enfin la détermination des différents taxons est faite en se basant sur une clé de détermination de (Bourrelly , 1968).

3.2. Mesure de diversité globale

Dans un échantillon la diversité peut être étudiée selon plusieurs critères et selon l'objectif, d'après (Magurran , 1988) il existe plusieurs méthodes appropriées soit des méthodes univariées (richesse spécifique, indice de diversité), ou des méthodes multivariées (Analyse Factorielle de Correspondances, Analyse en Composantes Principales, ...) (Grogga , 2012).

3.2.1. Méthodes univariées

3.2.1.1. Riche spécifique

Le nombre d'espèces globale dans un échantillon, une communauté ou une zone donnée, elle mesure la diversité totale des espèces dans un site, plus que le nombre des espèces est grand plus que la diversité augmente et cela dépend aussi de volume d'échantillon mais ne prend pas en considération l'abondance relative (Travers , 1971).

3.2.1.2. Calcul de l'indice de diversité

Ces indices proposés nous permettent d'avoir une idée sur la relation importante de vue qualitative existante entre les différentes espèces abondantes dans un site défini.

Dans notre étude afin d'avoir une idée sur la composition des espèces phytoplanctoniques dans le lac Dayet Aoua on a calculé les indices suivant :

- La Constance (C), qui désigne la fréquence ou occurrence, cette constante nous permet de savoir si l'espèce est présente ou pas dans le milieu étudié, cette dernière est exprimée en pourcentage et déterminée par la formule suivante :

$$C = ni / N \times 100 \quad \text{Équation 3}$$

ni = nombre de relevés où une espèce i s'est présentée ;
N = nombre total des prélèvements.

- L'indice de Simpson permet d'évaluer la biodiversité d'un même écosystème et prend en considération la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce (Simpson 1949), il est calculé suivant la formule :

$$d = 1 - \sum [(ni / N) \times (ni - 1) / (N - 1)] \quad \text{Équation 4}$$

ni = nombre de relevés où une espèce i s'est présentée ;
N = nombre total des prélèvements.

- L'indice de Shannon-Wiever (1963) révèle la diversité entre les espèces appartenant au même milieu. Il évalue le lien entre le nombre d'espèces et le nombre d'individus d'une même communauté. Le calcul de la diversité spécifique s'exprime par la formule suivante

$$H' = - \sum [(ni / N) \times \log_2 (ni / N)] \quad \text{Équation 5}$$

ni = effectif de l'espèce i ;
N = nombre total d'individus en considérant toutes les espèces ;
 \sum = la somme des résultats obtenus pour chacune des espèces présentes ;
 \log_2 = logarithme en base 2.

- L'indice d'équitabilité de Pielou permet de mesurer l'équitabilité des espèces afin de donner une idée sur la régularité de la distribution du peuplement.

$$E' = H' / \log_2 S \quad \text{Équation 6}$$

S = le nombre total de taxons dans un échantillon ;
H' = indice de Shannon-Weaver (**Ish**);
E' vaut 0 quand une seule espèce domine et 1 quand tous les espèces ont la même abondance.

3.2.2. Méthodes multi variées

Les méthodes multi variées sont des techniques utilisées pour regrouper les caractéristiques au sein du même site, elle nous donne le rapport sur l'affinité ou la divergence de la composition des espèces de différentes zones ou stations en relation avec le temps.

Cette concordance et cette analogie peut être faite en reliant les mêmes groupes suivant un gradient environnemental.

En premier lieu nous avons opté pour l'analyse de variance ANOVA afin de comparer entre les saisons et les moyennes de chacune des 11 variables, nous avons appliqué un test d'analyse de la variance à deux facteurs de classification modèle fixe (El Allaoui , 2018).

L'analyse ANOVA a été effectuée par le logiciel **SPSS.16**. En second lieu, une étude de corrélations reste nécessaire pour avoir une idée sur l'interdépendance de l'ensemble des variables étudiés, l'analyse est effectuée par le logiciel **GenStat**.

Finalement nous avons eu recours à l'analyse statistique ACP (Analyse en Composantes Principales) et AFC (Analyse Factorielle de Correspondances).

L'analyse en composantes principales est l'une des méthodes statistiques les plus importantes et les plus puissantes en chimométrie (Rasmus et Age , 2014).

L'ACP est une méthode qui réduit le nombre de variables tout en conservant une grande partie d'informations des données d'origine ; cette dernière est la technique la plus connue et la plus largement utilisée pour réduire les dimensions et qui permet de donner une nouvelle base optimale pour la réexpression des données afin d'avoir une combinaison linéaire avec des données optimum (Mark , 2009).

Dans le but de déterminer généralement les corrélations qui existent entre les différents paramètres abiotiques suite à cette étude et afin de donner une synthèse, cette analyse a été effectuée sur l'ensemble des variables (23 prélèvements, 11 paramètres environnementaux) à l'aide du logiciel **SPSS.16**

L'analyse factorielle des correspondances AFC a le même principe que celui de l'ACP, est de décrire et d'hierarchiser les relations statistiques qui peuvent exister entre des individus et les variables, la différence qui existe entre les deux méthodes statistiques est que l'ACP est utilisée pour des données quantitatives par contre l'AFC s'utilise avec des variables qualitatives ayant plus de deux modalités, afin de visualiser les dimensions dans un tableau de contingence.

4. Analyse quantitative

4. 1. Historique des techniques d'analyse du phytoplancton au microscope

L'invention du microscope d'Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) au XVIIe siècle a permis de faire des observations plus détaillées du phytoplancton.

Au cours des 150 dernières années, un certain nombre de techniques d'analyse du phytoplancton ont été mises au point et adoptées par des laboratoires d'analyse du monde entier.

Le chimiste suédois Per Teodor Cleve (1840-1905) a été l'un des premiers chercheurs à entreprendre des enquêtes plus quantitatives sur la communauté du phytoplancton. Il utilisa des filets de plancton en soie pour étudier la répartition du phytoplancton.

Utermöhl (Utermohl , 1958) a mis au point la technique classique de la chambre de sédimentation encore utilisée dans de nombreux laboratoires.

Les méthodes basées sur le microscope impliquent l'identification des espèces de phytoplancton sur la base de critères morphologiques et autres critères visibles. Les taxonomistes du phytoplancton devraient avoir un degré élevé de compétence et d'expérience dans l'identification des espèces présentes dans leurs eaux et une formation appropriée devrait être fournie, c'est pour cela que la systématique et la nomenclature du phytoplancton sont constamment en révision.

4. 2. Méthode utilisée pour l'analyse du phytoplancton

Plusieurs approches d'estimation directe ou indirecte sont énoncées, mais nous avons opté pour la méthode d'Utermöhl (Utermohl , 1958) car cette dernière présente un avantage par rapport aux autres méthodes d'analyse du phytoplancton en ce que les cellules d'algues peuvent être à la fois identifiées et énumérées.

Cette méthode est basée sur la sédimentation d'une fraction aliquote d'un échantillon d'eau dans une chambre de comptage, les cellules sont distribuées d'une façon homogène, et la gravité provoque la fixation des cellules de phytoplancton au fond de la chambre. Ces dernières décantées peuvent ensuite être identifiées et énumérées à l'aide d'un microscope inversé.

a. Chambre de sédimentation

La chambre de sédimentation se compose de deux parties, un cylindre supérieur (figure 12) et une plaque inférieure avec un verre mince. L'épaisseur de la plaque de base en verre ne doit pas dépasser 0,2 mm, car cela affectera la résolution obtenue par le microscope.

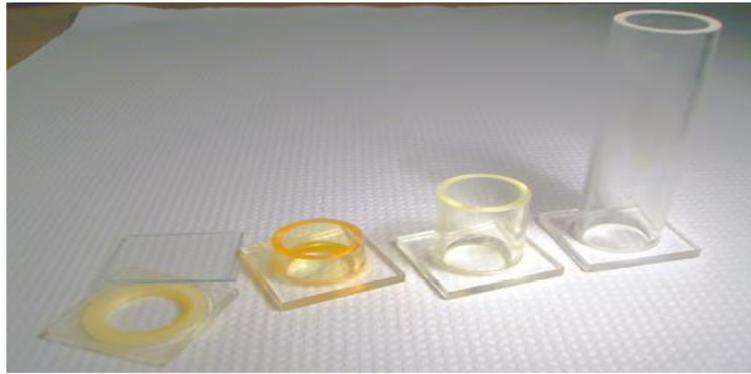


Figure 12 : Photo d'une cuve de sédimentation

b. Microscope inversé

Pour l'analyse quantitative à l'aide de la chambre de sédimentation, un microscope inversé est nécessaire. La qualité optique du microscope est cruciale pour faciliter l'identification du phytoplancton. Le contraste d'interférence de phase est utile pour l'identification de la plupart des espèces phytoplanctoniques (Laplace-treiture et al., 2009).

La sédimentation dure 24 heures, bien évidemment le volume d'échantillon est connu (100 ml) en raison de la faible densité du phytoplancton dans le lac Dayet Aoua.

Dans le comptage des cellules on a utilisé un espace de 30 champs afin de faciliter le dénombrement d'une part et d'autre part pour avoir un échantillon bien représentatif et fiable, cette répartition de ces champs sur la surface de la cellule de comptage est aléatoire avec un comptage débutant de la partie gauche de la cuve et se terminant au niveau de sa partie droite. Le comptage est effectué à l'objectif 40 et parfois quand la concentration est faible on utilise l'objectif 20.

c. Calcul de la densité et la biomasse :

*Le calcul de la densité est fait selon la formule suivante :

$$D = 1000.n.S/s.V \quad \text{Équation 7}$$

D = densité exprimée en nombre de cellules par litre ;

n = le nombre moyen de cellules

S/s = rapport entre la surface de la cuve de comptage et la surface du champ oculaire ;

V = volume de l'échantillon sédimenté en ml (100 ml).

*Les biomasses sont calculées à partir des biovolumes spécifiques moyens suivant les travaux de KIM & TRAVERS (Ki-Tai et Marc , 1995), DRUART & RIMET (Druart et al., 2008) et CEAEQ (Québec , 2012)

N.B : on admet que $10^6 \mu\text{m}^3 = 1 \mu\text{g}$.

4. 3. Pigment chlorophyllien « a »

La chlorophylle « a » est commune à tous les organismes photosynthétiques, de plus c'est le pigment assimilateur le plus abondant et elle est relativement facile et rapide à quantifier.

Par conséquent, sa concentration est largement utilisée pour estimer la biomasse du phytoplancton, c'est pour cela son dosage reste pertinent en vue de son importance.

Une variété de techniques est actuellement disponible offrant différents degrés de précision. Cependant, le rapport entre la chlorophylle a et autres paramètres physico chimiques dépend de plusieurs facteurs externes et internes, telles que la composition taxonomique du phytoplancton, les conditions physiologiques, les conditions environnementales, les concentrations de nutriments et l'intensité lumineuse (Felip, 2000).

Actuellement, la technique de fluorimétrie *in vivo* est développée ce qui permet d'évaluer des profils de fluorescence en temps réel (Lampert, 2001).

L'instrument FluoroProbe peut différencier actuellement jusqu'à 5 spectres de différentes classes phytoplanctoniques : les Chlorophycées, les Cyanophycées, les Chromophycées, les Dinophycées, et les Cryptophycées, mais cette technique reste trop coûteuse et de plus jusqu'à maintenant l'instrument ne peut pas différencier les classes des diatomées et les haptophytes car leurs spectres de fluorescence se chevauchent (Blanco et al., 2008).

Pour ces raisons l'utilisation classique de l'extraction de la chlorophylle « a » dans un solvant organique (éthanol, méthanol ou acétone) reste la plus adaptée suivie par la lecture spectrophotométrique (Richards et Thompson, 1952) et fluorimétrie (Holm-Hansen et al., 1965) ou chromatographie (Broutin et al., 2011).

Concernant notre travail, la méthode adoptée est le dosage de la chlorophylle « a » par la technique de spectrophotométrie en utilisant l'acétone comme solvant organique.

En raison des faibles densités phytoplanctoniques dans le milieu, 1 à 2 litres d'eau ont été filtrés dans une membrane filtrante Wattman GF/C de porosité 0.45 µm. Le broyage des filtres a été fait dans l'acétone 90 %, les broyats sont ensuite incubés pendant 6 heures à l'obscurité à 4°C afin de dissoudre et extraire totalement la chlorophylle « a ». Après, la solution obtenue est centrifugée à 5000 tr.min⁻¹ durant 20 minutes. Le surnageant est récupéré et placé dans la cuve du spectrophotomètre afin de lire la densité optique (DO) aux longueurs d'ondes : 630, 645, 663 et 750 nm. Les équations utilisées pour calculer les concentrations sont celles proposées par le groupe de travail SCOR-UNESCO (United nations educational scientific and cultural organization (U.N.E.S.C.O, 1966).

$$\mathbf{Chl.a (\mu g.L^{-1}) = (v (11,64 DO_{663nm} - 2,16 DO_{645nm} - 0,10 DO_{630nm})) / L.V \quad \text{Equation 8}}$$

v = volume de l'extrait acétonique en ml ;

V = volume de l'échantillon en litre ;

L = chemin optique de la cuve en cm ;

DO = densité optique.

Les concentrations en chlorophylle *a* ont été converties en terme de biomasse-carbone selon la formule :

$$B \mu\text{gC.L}^{-1} \text{ chl}_a .30 \quad \text{Équation 9}$$

En considérant que : $C/\text{chl}_a = 30$ (Ryther et Dunstan , 1971).

B. zooplancton

La méthodologie d'échantillonnage du zooplancton a donné naissance à plusieurs travaux, car les méthodes de prélèvement concernant ce dernier, posent diverses ambiguïtés par rapport au phytoplancton du fait que le zooplancton constitue une entité mobile.

De plus le matériel d'échantillonnage doit être choisis selon le milieu adapté en tenant compte de la répartition spatio-temporelle du milieu étudié (Derraz , 2002).

1. Analyse qualitative

Les échantillons ont été prélevés de Mars 2015 à Février 2016. Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'un filet à plancton présentant une ouverture de maille de 65 μm de diamètre. Le filet est enfoncé dans l'eau à une profondeur de 30 à 50 cm et poussé sur une distance de trois mètres avant d'être relevé.

Avant de procéder à chaque échantillonnage, le filet a été rincé avec de l'eau distillé afin de supprimer tous les débris qui peuvent s'y trouver, et aussi avant le passage d'un prélèvement à un autre suivant la profondeur, le filet et le godet ont été rincés afin d'éviter toute confusion.

Le filet à plancton muni d'un entonnoir, a été trainé horizontalement dans l'eau sur une distance d'au moins 3 m. Ensuite le filet est rincé à l'eau de l'échantillon dans le sens contraire de celui de la filtration pour ne perdre aucun organisme ; ce qui permet d'avoir un échantillon concentré de 100 ml après filtration.

Cette technique consiste à concentrer le zooplancton dans le récipient au fond du filet, ce qui facilite d'une part sa reconnaissance et d'autre part l'estimation des espèces. En revanche, les densités obtenues n'ont qu'une valeur indicative, les échantillons étant enrichis en zooplancton par rapport à l'eau du lac. Les prélèvements étant toujours effectués selon le même mode opératoire, les données permettent cependant des comparaisons instructives dans le temps comme dans l'espace.

2. Analyse quantitative

De point de vue quantitative, nous avons utilisé une bouteille fermante horizontale qui descend verticalement à l'aide d'une corde graduée selon les profondeurs 0m,1m,2m et 4m ; l'ouverture vers le haut, jusqu'à la profondeur voulue à ce moment-là un messenger est envoyé pour fermer la bouteille, puis nous avons filtré toute la quantité d'eau dans le filet et après rinçage de la toile de ce dernier, l'échantillon contenu dans le collecteur (100 ml) était recueilli dans une bouteille en verre bien étiquetée contenant la date et la profondeur puis nous y ajoutons du formol avec une concentration finale de 5%, comme proposé par(Haney et Hall , 1973), pour la conservation.

Ainsi, à chaque campagne trois exemplaires d'échantillons de zooplancton ont été effectués, correspondant aux différentes profondeurs de la colonne d'eau. Enfin, les échantillons ont été collectés pour être analysés ultérieurement au laboratoire sous le microscope photonique.

3. Identification et comptage des espèces zooplanctoniques

Après homogénéisation de l'échantillon par agitation, 3 sous-échantillons de 1 ml chacun ont été prélevés et observés séparément et entièrement sur la cellule à numération sous microscope optique au grossissement 100x afin d'identifier et comptabilisé les différents individus rencontrés.

Vu le nombre important d'échantillons à observer, nous nous sommes limités aux grands groupes ou taxa cladocères, copépodes et rotifères. Pour le quantitative le dénombrement a été fait à l'aide d'une cuve de Dollfus, qui est une cuvette en verre de forme rectangulaire dont le fond est divisé en 200 carrés (10 lignes, 20 colonnes),chaque carré à 5mm de diamètre ,cette cuvette grâce à la technique des carrés, permet aux organismes d'être repérés (Geneviève , 1985).

Le comptage se fait de procédé les carrés ligne après ligne, ou colonne après colonne, dépendant de l'ordre fixé au début du comptage afin de pouvoir compter le maximum d'individu.

Après, l'identification a été faite via une loupe binoculaire à l'aide d'une clé de détermination (Spineux , 2008) suivant les techniques classiques. Par contre parfois nous pouvons coïncider dans la cuvette des individus non identifiable à ce moment-là un prélèvement reste nécessaire afin d'examiner ses organismes sous microscope en utilisant des clefs de détermination.

La densité du zooplancton de chaque profondeur a été calculée à partir de la moyenne arithmétique du nombre d'individus rencontrés dans les 3 sous-échantillons suivant la formule suivante citée dans (Rossi , 2008) :

$$\mathbf{D_{zoo} = (M_i \times V_r) / L} \quad \text{Équation 10}$$

D zoo : densité zooplanctonique (ind.m⁻³)

Mi : moyenne du nombre d'individus

Vr : volume récolté (ml)

L : volume d'eau filtrée (m³)

Résultats Et Discussion

I. Variations mensuelles des paramètres physico-chimiques au sein du lac Dayet Aoua

1. Paramètres physiques au centre du lac

1.1. Transparence

La transparence de l'eau est estimée grâce à un disque de Secchi en mesurant la profondeur de disparition de ce dernier. La transparence est liée principalement à la turbidité de l'eau. Le lac Dayet Aoua présente des eaux claires dans toute la période avec une profondeur maximale de 5,2 m, la majorité des valeurs enregistrées présentent une transparence totale ceci signifie que la zone trophogène correspond à toute la colonne d'eau même durant la période estivale.

En effet la transparence varie de 3,1 à 5,2 m (figure 13) les valeurs enregistrées sont similaires à celles trouvées par (Fazul , 2016). Les plus faibles sont enregistrées en période automnale cela est due à la faible densité phytoplanctoniques par contre les valeurs maximales sont enregistrées en période estivale cela s'explique par le broutage des espèces phytoplanctoniques par les espèces zooplanctoniques.

La phase claire s'explique par la prolifération des espèces zooplanctoniques et plus précisément les cladocères qui participent à la clarification des eaux des lacs et des réservoirs (Rachiq , 2003).

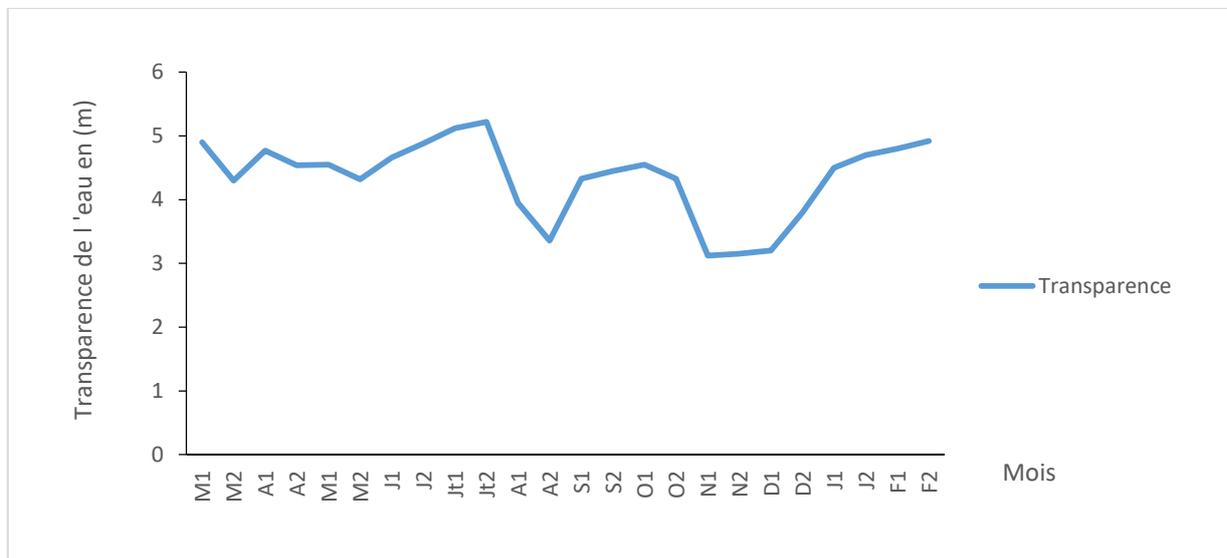


Figure 13 : Variations temporelles de la transparence de l'eau au point de prélèvement du lac Dayet Aoua

1.2. Température

Les températures ont varié de 7,1°C au mois de février à la profondeur 4m à 25,6°C au mois de juillet près de la surface (figure 14) ce qui montre qu'il y a une grande amplitude de variation entre la saison froide et la saison chaude.

L'examen des profils verticaux ne montre pas de variations remarquables des valeurs de la température entre la surface et le fond, ceci fait de ce lac un milieu homéothermique non stratifié. De plus le vent joue un rôle important dans le brassage des masses des couches d'eaux qui est facilité par la faible hauteur de la colonne d'eau (profondeur maximale de 5,3 m).

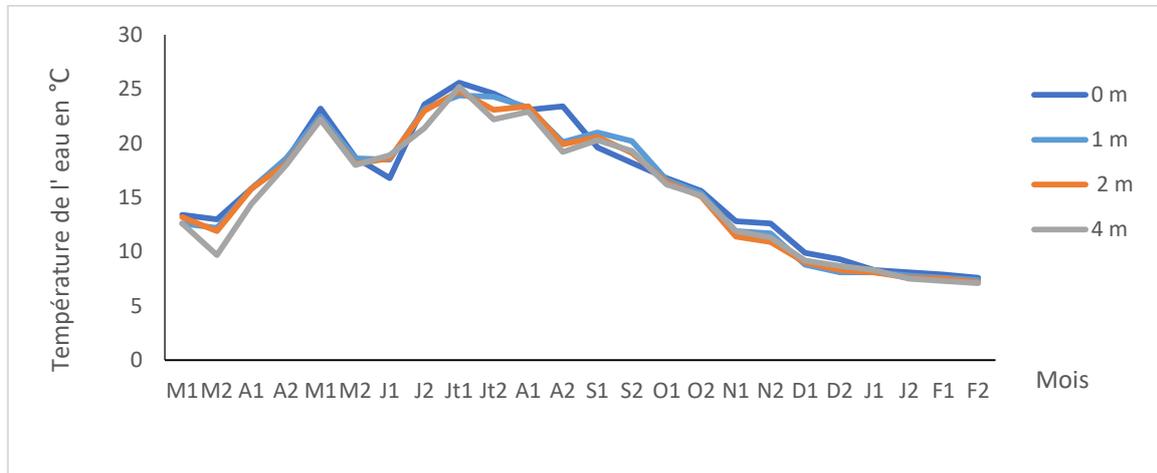


Figure 14 : Variations spatiotemporelles de la température durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.

1.3. Conductivité

La conductivité électrique enregistrée durant la période d'étude a varié de 362 à 576 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, avec une valeur moyenne de 442,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cette dernière est inférieure à la moyenne (464,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) trouvé par (Fazul, 2016), cela peut être expliqué que les valeurs les plus élevées ($>500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) sont enregistrées durant la période des pluies durant la campagne 2012-2013, contrairement à notre campagne où les pluies sont parvenues jusqu'à mi-février.

La valeur maximale enregistrée au mois de juin en profondeur (4m), serait due à une erreur dans le prélèvement de l'eau (des particules du sédiments mises en suspension lors du prélèvement).

L'examen des profils verticaux ne montre pas de variations enregistrées pour la conductivité (figure 15).

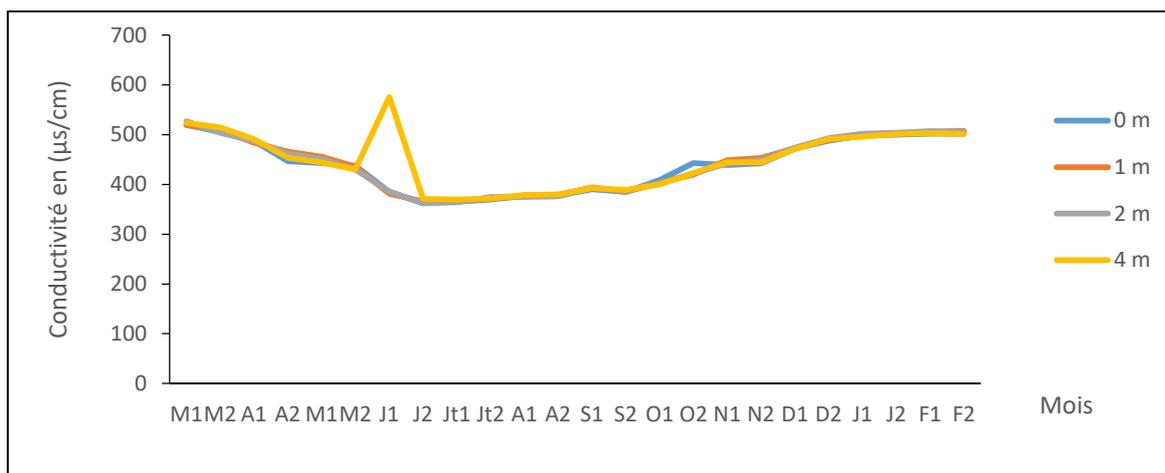


Figure 15 : Variations spatiotemporelles de la minéralisation durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.

2. Paramètres chimiques au centre du lac

2.1. Potentiel d'hydrogène

Le pH de l'eau demeure alcalin varie entre 7,77 et 11,45 (figure 16). Ces teneurs sont nettement supérieures à celles rapportées, sur le même milieu par (Fazul et al., 2015), mais sont de même ordre de grandeur que celles enregistrées par (Abba et al., 2012).

L'alcalinité de l'eau allant de la période printanière à la période automnale s'explique d'une part par la consommation du gaz carbonique par les autotrophe suite aux conditions favorables existante et d'autre part par la nature carbonato-calciue et magnésienne de la roche mère qui représente le faciès géologique de moyen atlas tabulaire (Chahboune et al., 2013).

L'examen des profils verticaux ne montre pas de variations marquées entre les niveaux de la colonne d'eau durant la campagne.

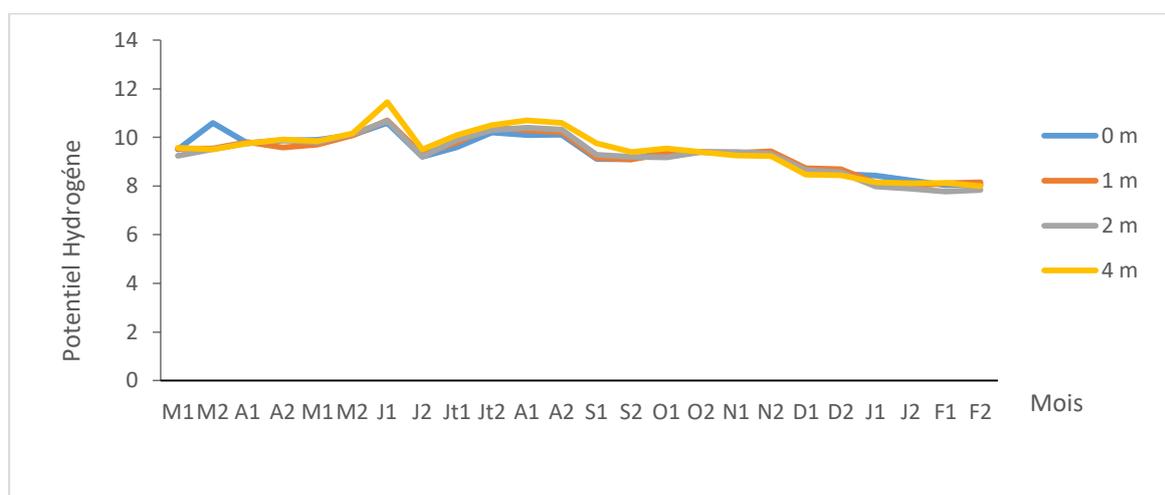


Figure 16 : Variations spatiotemporelles du pH durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.

2.2. Oxygène dissous

Pour l'ensemble des prélèvements, l'oxygène dissous présente des variations temporelles importantes et participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique (Ghazali et Zaid , 2013).

L'oxygène dissous varie de 4,12 mg. l⁻¹ à 14,1 mg.l⁻¹ , la valeur minimale est enregistrée au mois d'août à la profondeur 4m (figure 17). L'oxygène dissous est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (H.C.E.F.L.C.D , 2007).

Durant la période d'étude, les résultats obtenus montrent que le lac est oxygéné. En effet, les teneurs en oxygène dissous montrent des valeurs très élevées en période printanière et estivale (valeur max= 14,1 mg. l⁻¹) qui pourrait être due à l'intensité de lumière d'une part et d'autre part à l'activité photosynthétique des macrophytes et des phytoplanctons .

Les profils verticaux des teneurs en oxygène dissous montrent qu'il y a absence d'une oxycline et le milieu est bien oxygéné depuis la surface jusqu'au fond pendant toute la période de l'année.

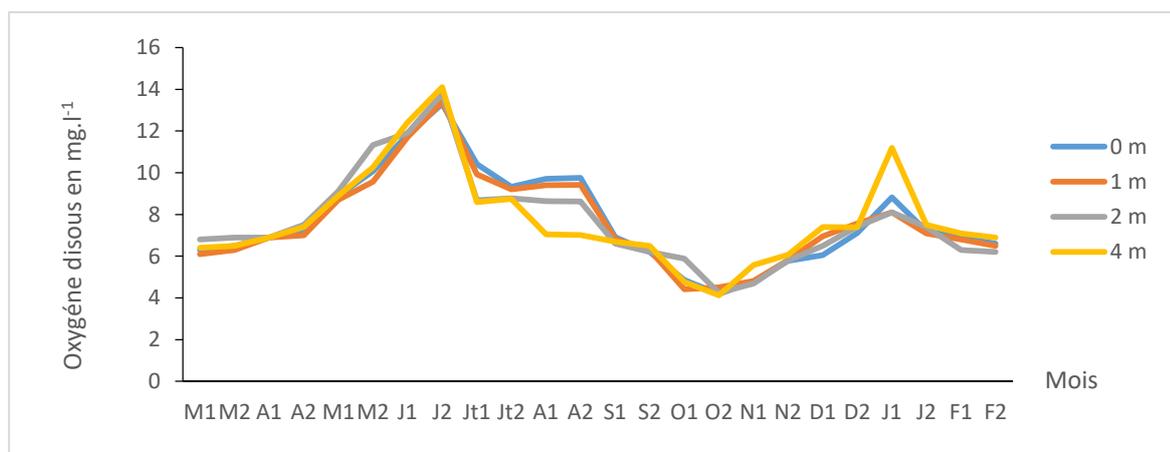


Figure 17 : Variations spatiotemporelles de l'oxygène dissous durant les campagnes de prélèvement aux profondeurs 0, 1, 2 et 4m.

2.3. Eléments azotés

2.3.1. Nitrites

Le nitrite c'est une forme instable qui se transforme rapidement en nitrates, ainsi il est présent à des valeurs bien moindres que les nitrates. Pendant le cycle d'étude les valeurs ont varié de 0,001 à 0,096 mg.l⁻¹ avec une moyenne de 0,021 mg.l⁻¹ (figure 18), les eaux moins profondes montrent souvent des concentrations plus faibles en nitrates que les eaux profondes car les eaux superficielles sont le siège de processus de dénitrification-nitrification (Derraz , 2002).

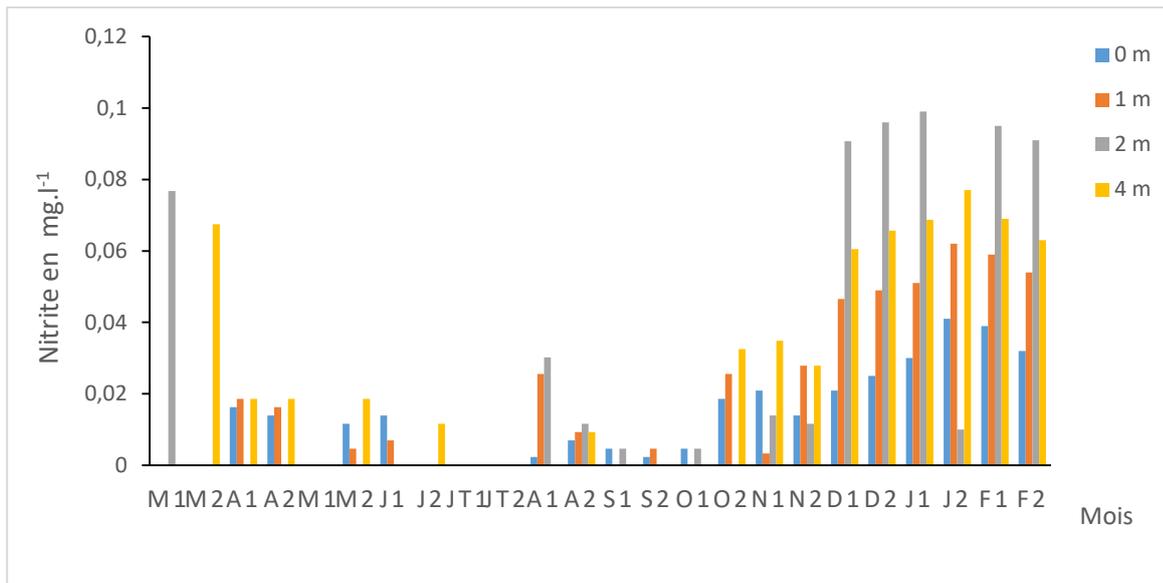


Figure 18 : Evolution spatio-temporelles des nitrites mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2.3 .2. Nitrates

Durant la période d'étude, les concentrations en nitrates varient entre 0,001 mg. l⁻¹ et 0,09 mg.l⁻¹(figure 19).

Les teneurs en nitrates se situent en moyenne autour de 0,06 mg. l⁻¹(moyenne =0,002± 0,05). Au début de la saison automnale nous avons obtenu des valeurs élevées au niveau des concentrations des nitrates et plus précisément près de la surface à laquelle nous avons enregistré une valeur maximale de 0,09 mg. l⁻¹ pendant le mois de septembre.

Généralement, les concentrations en nitrates demeurent faibles dans toute la colonne d'eau. L'augmentation des concentrations en nitrate se révèlent par un développement phytoplanktonique important durant cette période où l'activité atteint son optimum suite aux conditions favorables du métabolisme et la croissance des populations.

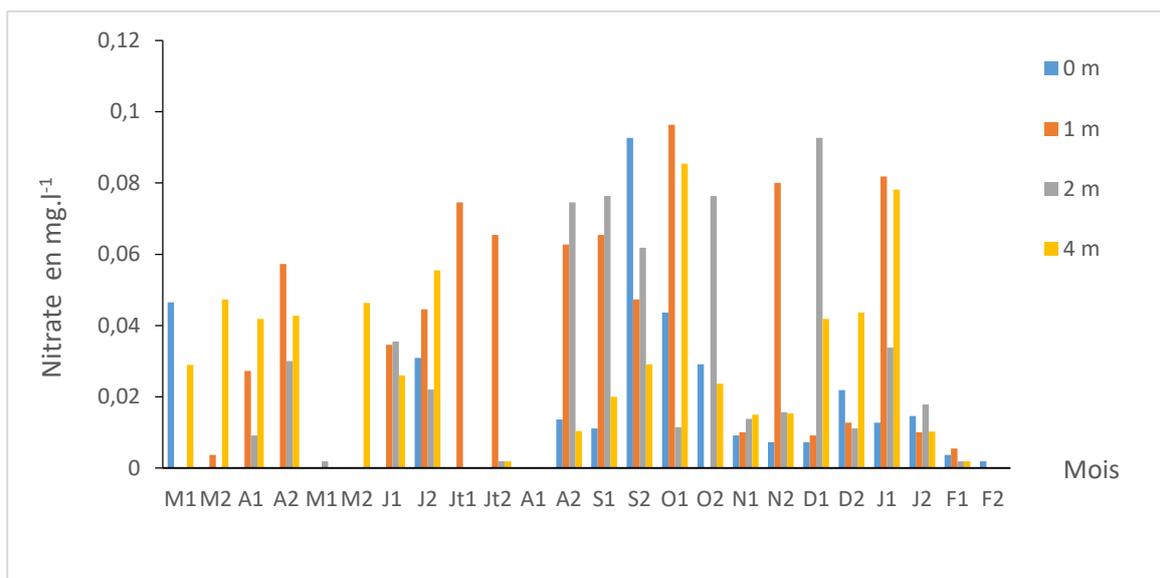


Figure 19 : Evolution spatio-temporelle des nitrates mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2.3 .3. Ions Ammoniums

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique.

Les valeurs de concentration en ammonium enregistrées durant la période d'étude ont varié entre 0 mg. l⁻¹ et 0,08 mg.l⁻¹ ,la valeur maximale a été enregistrée pendant le mois d'avril (figure 20). En valeurs moyennes, les teneurs en ions ammoniums enregistrées sont 0,041 ; 0,033 ; 0,067 et 0,055 mg. l⁻¹ respectivement à 0m, 1m, 2m et 4m . Nous constatons que l'ammonium est plus élevé dans la couche profonde cela s'explique par la libération de N-NH⁺⁴ par le phénomène de dénitrification des substances organiques (Cherifi , 2001). En plus l'ammonium est considéré comme étant la source d'azote la plus importantes pour les algues, les bactéries et les champignons étant donné qu'il est facilement assimilable (Hanisak et Harlin , 1978).

Plusieurs études ont montré que les algues assimilent rapidement l'ammonium que les nitrates ou les nitrites et sa présence dans le milieu inhibe l'assimilation de ces derniers (Chebil-ajjabi et al., 2005).

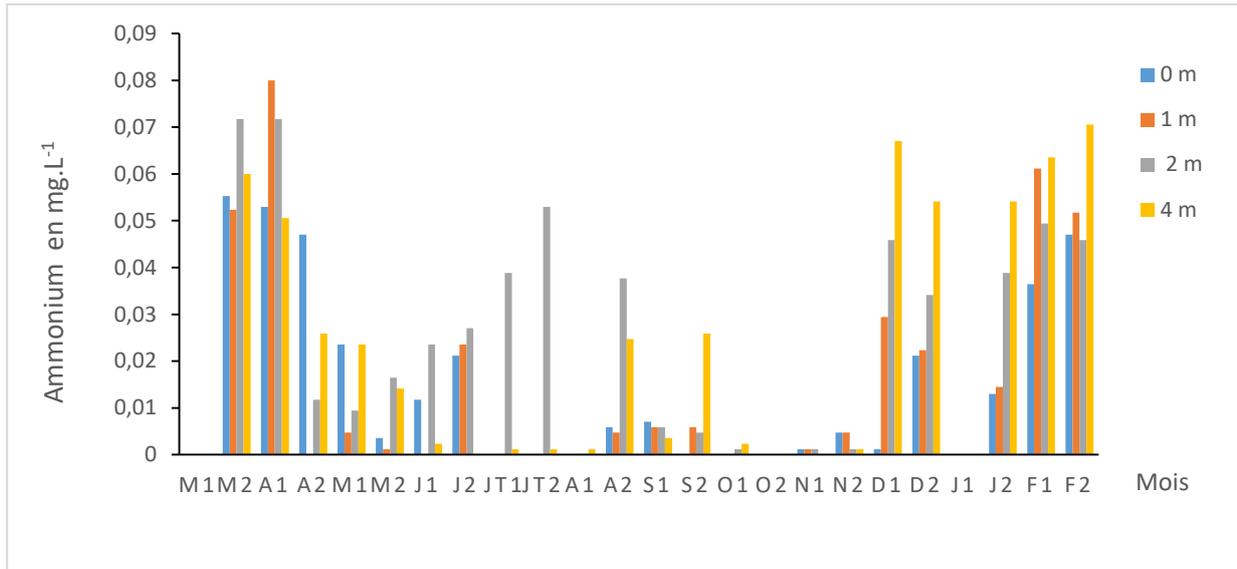


Figure 20 : Evolution spatio-temporelle des ions ammoniums mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2.3 .4. Azote total

Dans les eaux naturelles l'azote est considéré comme l'élément biogène le plus important après le phosphore pour la croissance algale.

Certainement l'azote total regroupent les formes ammonium, nitrite, nitrate et azote moléculaire le dernier n'est utilisé que par les cyanobactéries des genres *Anabena* et *Aphanizomenon* possédant l'enzyme de nitrosation (Derraz et al., 2002).

Pour l'azote total les valeurs enregistrées varient entre 0,012 mg. l⁻¹ et 0,81 mg.l⁻¹ (figure 21), les valeurs les plus élevées sont parvenues en périodes de fortes pluies en fin de la campagne, puis ces teneurs se stabilisent autour d'une moyenne de 0,33 mg. l⁻¹ (moy= 0,33 mg.l⁻¹ ±0,21). Ces faibles teneurs montrent comme l'ont signalé (Abba et al., 2012) et (Fazul et al., 2015) qu'il n'y a aucune trace de pollution organique dans le milieu.

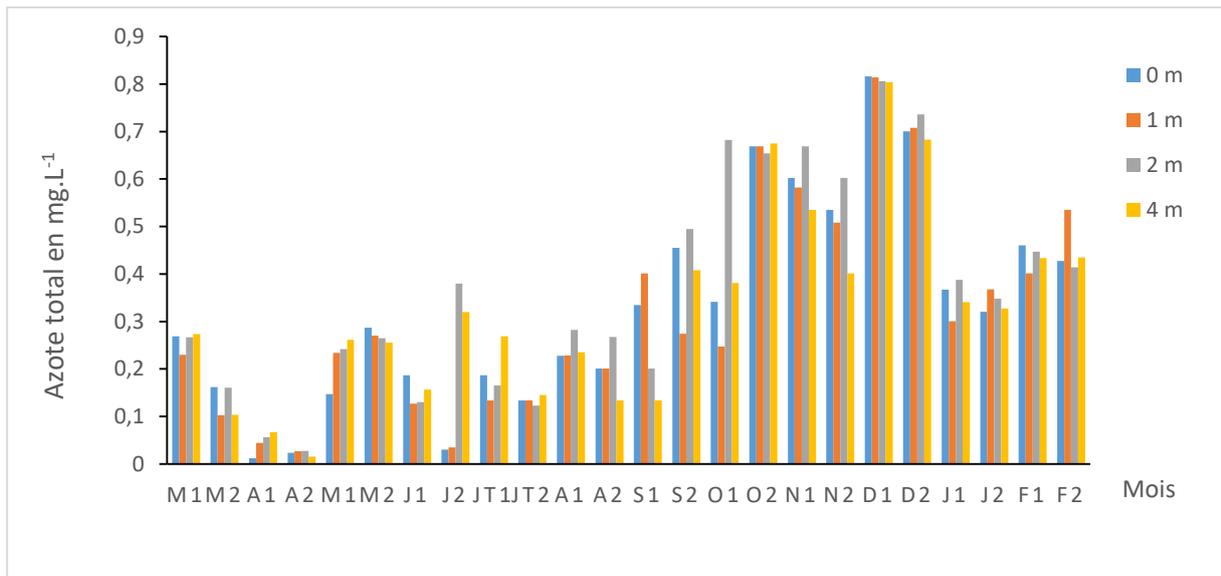


Figure 21 : Evolution spatio-temporelle de l'azote total mesuré dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2.4. Eléments phosphorés

2.4.1. Orthophosphate

Les Orthophosphates restent indispensables dans les eaux naturelles du faite que c'est la forme la plus utilisable pour le métabolisme algal.

Les concentrations obtenues pour les ions orthophosphates au niveau des différentes profondeurs montrent des variations durant tout le cycle d'étude, la valeur maximale est enregistrée au mois d'août près de la surface (figure 22), ces teneurs restent faibles avec une moyenne de $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$ (moy = $0,012 \pm 0,019$) car on les trouve dans le milieu en état de trace et parfois les valeurs trouvés sont inférieures au seuil de détection du dosage.

L'augmentation enregistrée en période estivale est due aux apports exogènes dus à la lessive près de l'entrée du lac.

Les pics enregistrés à la profondeur 4 m ne peuvent être expliqués que par la forte intervention du phosphore relargé par le sédiment.

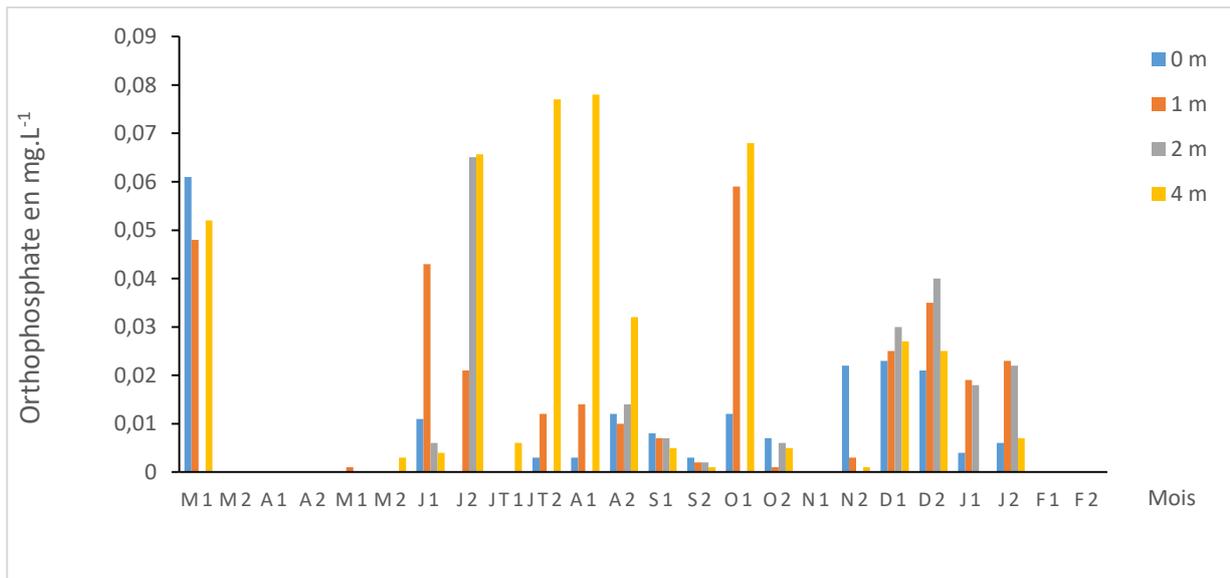


Figure 22 : Evolution spatio-temporelle des ions orthophosphates mesurés dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2.4.2. Phosphore total

Les teneurs en phosphore total enregistrées restent faible avec un maximum enregistré de 0,11 mg. l⁻¹ (figure 23).

Tout au long de la campagne les valeurs détectées sont très faibles avec une moyenne de 0,05 mg. l⁻¹ (moy= 0,05 ±0,04). En générale suivant la colonne d'eau aucune variation n'a été notée suivant les différentes profondeurs en valeurs moyennes, les variations verticales ne présentent pas de différences entre les différents niveaux de prélèvements (0,047 ; 0,045 ; 0,052 et 0,056 mg.l⁻¹ respectivement à 0m, 1m, 2m et 4m) , les résultats enregistrés sont similaires à ceux trouvés par Fazul (Fazul , 2016).

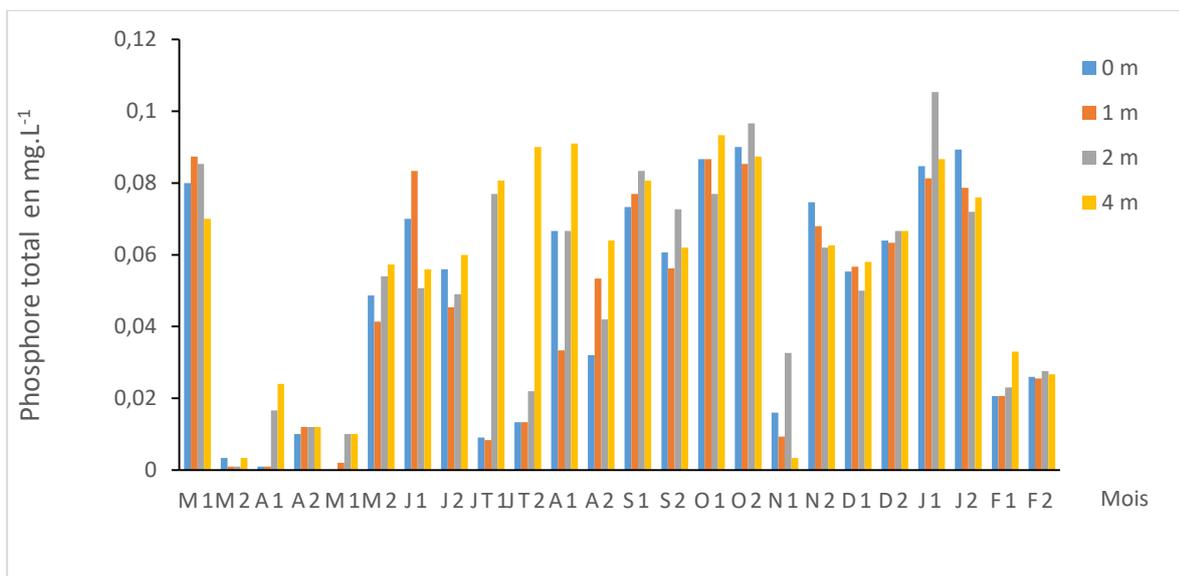


Figure 23 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en phosphore total mesurées dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet (TAC), nous donne une idée sur les teneurs en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates. Ces équilibres calco-carboniques sont gouvernés par le biais des facteurs abiotiques tels que la température et le pH ainsi que des facteurs biotiques comme les phénomènes de photosynthèses et respirations (Abba et al., 2008).

Les valeurs du titre alcalimétrique complet varient de 9,8 °F à 42 °F, avec une moyenne autour de 19,27 °F (moyenne = $19,27 \pm 8,23$).

Nous avons remarqué une légère progression de la saison printanière jusqu' à la saison automnale où la chute est parvenue au mois d'octobre (figure 24). Ce changement se traduit par une baisse de température concomitant avec un changement climatique qui favorise l'activité photosynthétique qui engendre une absorption de CO₂ dissous dans l'eau ce qui entraîne une diminution des hydrogénocarbonates et par conséquent l'augmentation de l'alcalinité de l'eau.

Pendant le mois de Février nous avons remarqué des valeurs supérieures du titre alcalimétrique complet qui atteint son maximum cela est due au forte pluies enregistrées ce qui aboutit à une diminution de dégagement de CO₂ et simultanément une baisse d'activité photosynthétique ce qui favorise la formation des hydrogénocarbonates en dépit des carbonates , il faut noté qu' il y a une relation étroite entre le TAC et le pH quand le pH diminue le TAC augmente et vice versa , du point de vue expérimentale le TAC a augmenté en Février avec sa valeur maximale de 42 °F et en parallèle le pH a diminué avec sa valeur minimale 7,77 durant la campagne de 2015.

Les variations verticales ne présentent pas de différences notables entre les différents niveaux.



Figure 24 : Evolution spatio-temporelle du titre alcalimétrique complet mesuré dans le lac Dayet Aoua aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

3. Paramètres physico-chimiques à l'entrée et la sortie du lac

Les valeurs enregistrées des paramètres physico-chimiques mesurés in situ (Température, pH, conductivité et oxygène dissous) à l'entrée et à la sortie du lac présentent les mêmes allures que les paramètres physico-chimiques au milieu du lac (figure 25).

Concernant la température à l'entrée du lac et à sa sortie nous avons enregistré une valeur moyenne de (moy E= 16,67 °C ; moy S= 17,32°C), elle suit la même allure que celle au centre du lac (moy C= 15,68 °C), le pH tend toujours vers l'alcalinité suite au faciès hydro-chimique et la nature de la roche mère, les valeurs moyennes enregistrés respectivement (moy E= 9,06 ; moy S= 9,26 ; moy C= 9,38).

Nous avons remarqué pour la conductivité qu' une différence remarquable existe entre l'entrée et la sortie du lac, mais il faut noté que le centre du lac et de même grandeur que la sortie de ce dernier (moy E= 624,45 $\mu\text{s.cm}^{-1}$; moy S= 441,875 $\mu\text{s.cm}^{-1}$; moy C= 442,59 $\mu\text{s.cm}^{-1}$), cela s'explique que la source est plus chargée en ions, cette charge va diminuer au fur et à mesure qu'on s'oriente vers la digue suite à l'assimilation des éléments minéraux par les organismes vivant dans le lac, particulièrement les macrophytes qui constituent un élément dominant dans le milieu, cette flore couvre un espace assez important du point de vue visuel, sa composition et sa taille varie d'une espèce à une autre parmi lesquels nous pouvons citer : *Myriophyllum spicatum*, *Polygonum amphibium*, (*Cyperaceae*), *Elodea* (*Hydrocharitaceae*), *Typha sp.* (*Typhaceae*), *Chara sp.* (*Characeae*) (Chilasse et al., 2001).

L'oxygène dissous est plus concentré aux extrémités du lac avec valeurs moyennes enregistrées (moy E= 11,43 mg. l⁻¹ ; moy S=10,01 mg.l⁻¹) par rapport à la valeur moyenne enregistrée au centre de ce dernier (moy C= 7,69 mg.l⁻¹), par la différence de température entre autre la consommation par les hétérotrophes.

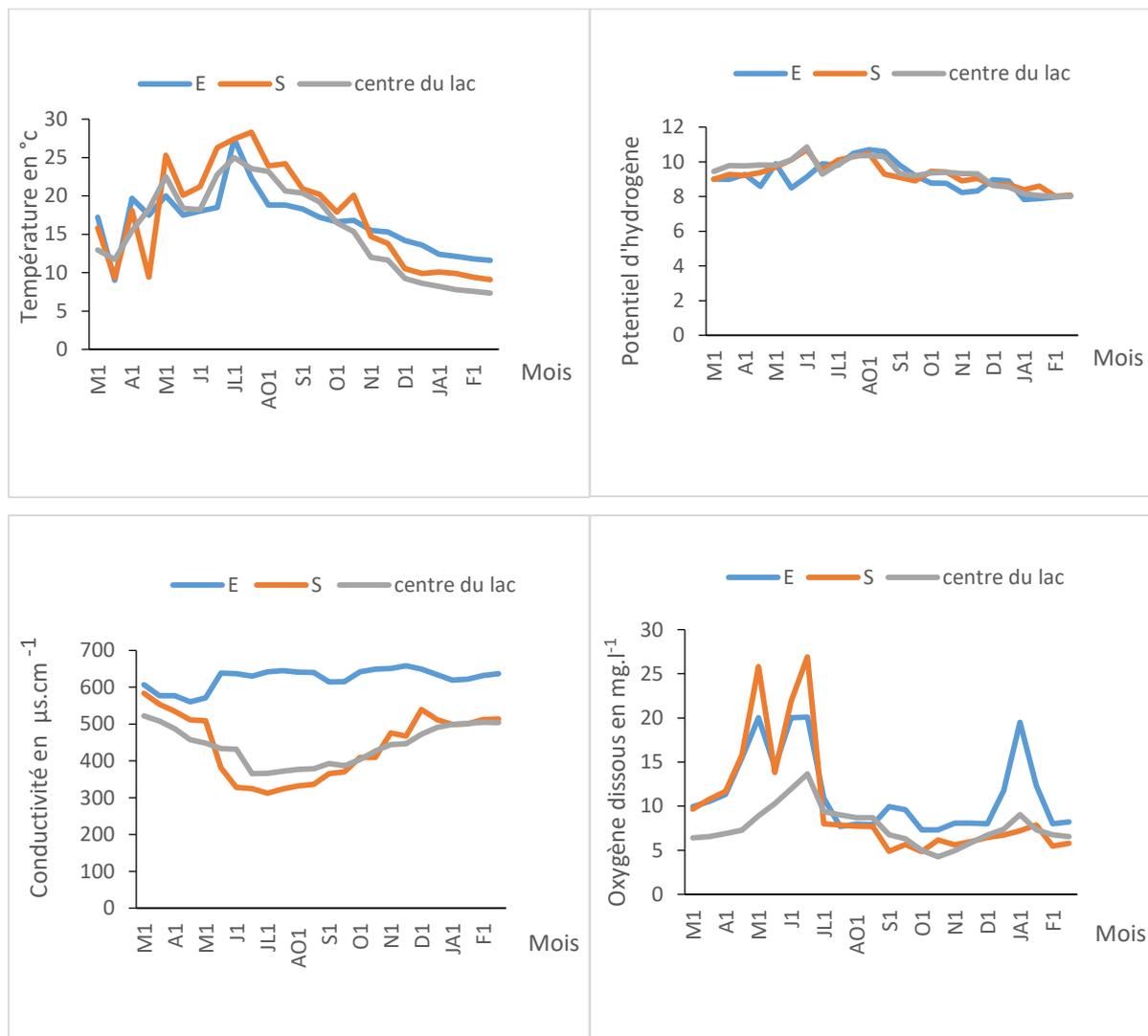


Figure 25 : Variations spatiotemporelles des paramètres physico-chimiques au cours des campagnes de prélèvements aux niveaux de l'entrée, de la sortie et du centre du lac.

En générale, les teneurs en éléments nutritifs restent faibles que ce soit au niveau de l'entrée ou de la sortie du lac (figure 26).

Comme toutes les eaux naturelles, le lac Dayet Aoua présente un milieu tampon, qui est influencé par le changement des conditions naturelles à savoir les changements climatiques et l'activité biologique.

Cette diminution légère au niveau du nitrate de l'entrée à la sortie (moy E=0,08 mg. l⁻¹ ; moy S= 0,06 mg.l⁻¹) est due à la présence de la flore aquatique notamment les macrophytes qui ont une assimilation préférentielle pour les nitrates. Par contre au milieu du lac nous avons enregistré une valeur moyenne (moy=0,024 mg. l⁻¹) plus faible que celle de l'entrée et la sortie cela peut être expliquer par l'activité microbienne importante à ce niveau.

D'un point de vue générale la différence des teneurs en ammonium entre l'entrée et la sortie du lac Dayet Aoua n'est pas remarquable. A la sortie la concentration de l'ammonium est légèrement supérieure (moy E=0,012 mg. l⁻¹ ; moy S= 0,016 mg.l⁻¹). Au milieu du lac nous avons enregistré une valeur moyenne (moy=0,01 mg.l⁻¹) ceci peut être expliqué par l'assimilation préférentielle des algues de cette forme ammoniacale (Berman et al., 1984).

Pour les orthophosphates, les valeurs moyennes enregistrées respectivement (moy E=0,014 mg. l⁻¹ ; moy S= 0,008 mg.l⁻¹) avec une valeur moyenne au centre du lac de (moy=0,012 mg.l⁻¹), nous avons remarqué une augmentation en mois d'avril (0,1mg.l⁻¹) à cote de l'entrée, cela peut être expliqué par l'action de lessivage par les habitants des douars avoisinant.

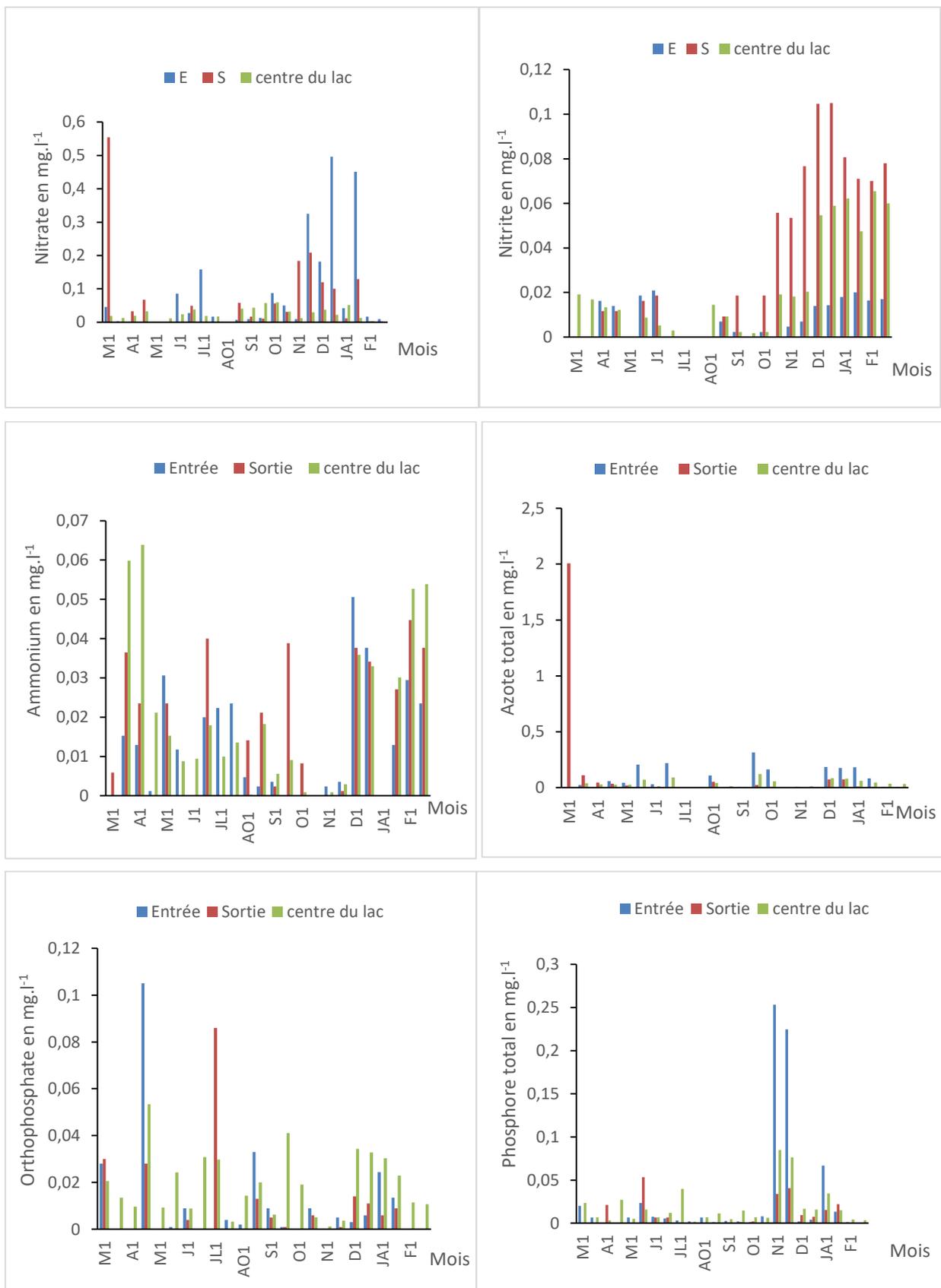


Figure 26 : Variations spatiotemporelles des éléments azotés et phosphorés au cours des campagnes de prélèvements aux niveaux de l'entrée, de la sortie et du centre du lac.

II. Etudes des communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques dans le lac Dayet Aoua

A. Phytoplancton

1. Composition qualitative du phytoplancton

Pendant la période d'étude nous avons recensé 34 espèces appartenant à 8 classes phytoplanctoniques différentes : les *Cryptophycées* qui représentent 42,08% de la population phytoplanctonique globale dont l'espèce la plus abondante est *Cryptomonas ovata* avec 28,82%. Cette dernière nous a accompagné tout au long de l'étude. La classe des *Zygophycées* dont on a pu recenser 6 espèces avec un pourcentage de 27,73%, l'espèce la plus fréquente est *Staurastrum sp* (16,96%) c'est une espèce printanière qui a connu une apparition brève durant le mois d'avril, suivie de 15 espèces qui représentent la classe des *Chlorophycées* 21,68% avec l'apparition fréquente de *Dictyosphaerium pulchellum* (5,17%). En quatrième position la classe des *Cyanophycées* 6,61% qui est représentée par 3 espèces dont *Spirulina sp* avec un pourcentage de (3,57%).

Les *Chrysophycées*, les *Diatomophycées*, les *Euglenophycées* et les *Dinophycées* ne sont représentées que par une espèce accompagnatrice chacune avec des pourcentages très faibles ($\leq 1\%$) (figure 27).

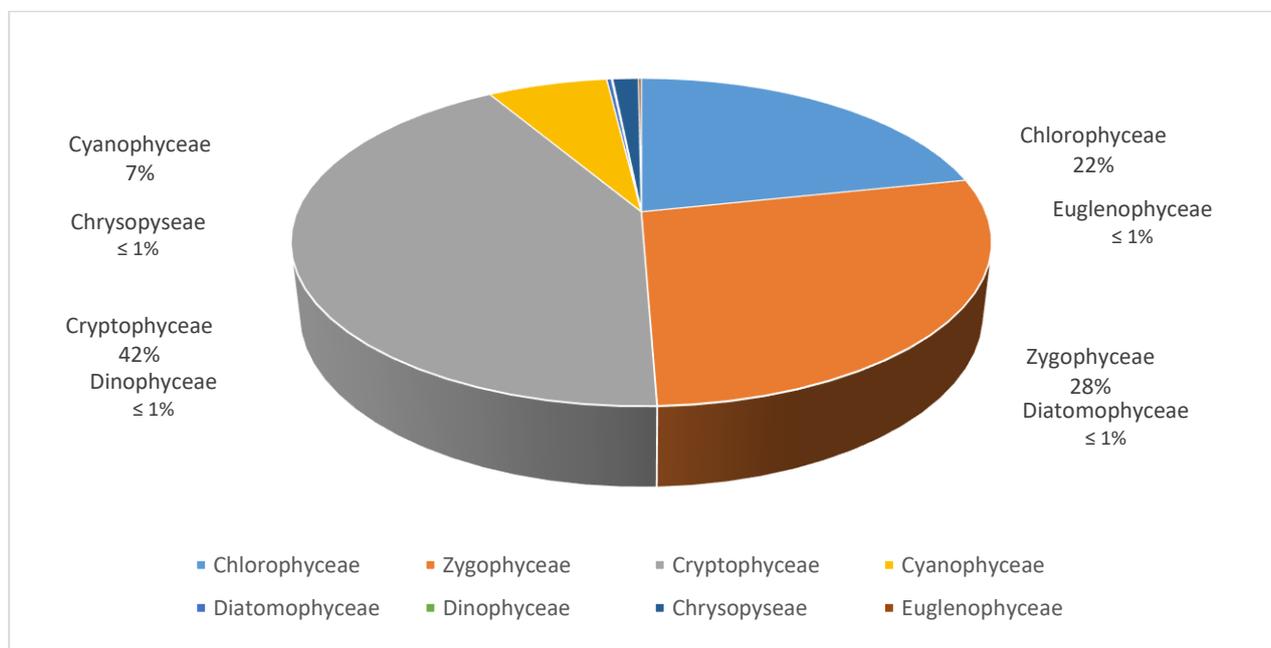


Figure 27 : Importance relative des différentes classes de la communauté phytoplanctonique durant la campagne 2015-2016 au sein du lac Dayet Aoua.

1.1. Richesse spécifique

La communauté phytoplanctonique dans le lac Dayet Aoua est caractérisée par une richesse spécifique faible. Durant le cycle annuelle le nombre d'espèces recensé a varié entre 8 à 19 espèces, la valeur minimale est enregistrée au mois de juillet (figure 28).

La fréquence d'apparition (absence/présence) a varié d'une espèce à l'autre et selon les saisons.

- Les Chlorophycées sont représentées par 15 espèces qui sont : *Ankistrodesmus falcatus*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Oocystis lacustris*, *Oocystis solitaria*, *Oocystis sp*, *Pediastrum boryanum*, *Selenastrum capricornutum*, *Ulothrix sp*, *Crucigenia rectangularis*, *Crucigenia sp*, *Sphaerocystis sp*, *Monoraphidium sp*, *Selenastrum bibraianum*, *Chlamydomonas sp* et *Scenedesmus sp*.
- Les Zygothécées sont essentiellement représentées par 6 espèces : *Staurastrum*, *Mougeotia sp*, *Spirogyra*, *Cosmarium vestatum*, *Closterium sp* et *Gonatozygon*.
- Les Cryptophycées sont représentées par 3 espèces mais avec un pourcentage élevé, les espèces sont : *Rhodomonas*, *Cryptomonas marsonii* et *Cryptomonas ovata*.
- Les cyanophycées représentées par 3 espèces : *Spirulina sp*, *Oscillatoria sp* et *Anabaena sp*
- La classe des Diatomophycées représentées par 4 espèces : *Asterionella formosa*, *Diatoma*, *Fragilaria sp* et *Navicula sp*.
- Les Dinophycées, Chrysophycées et Euglenophycées sont représentées chacune par une espèce *Peridinium sp*, *Mallomonas sp* et *Trachelomonas sp*.

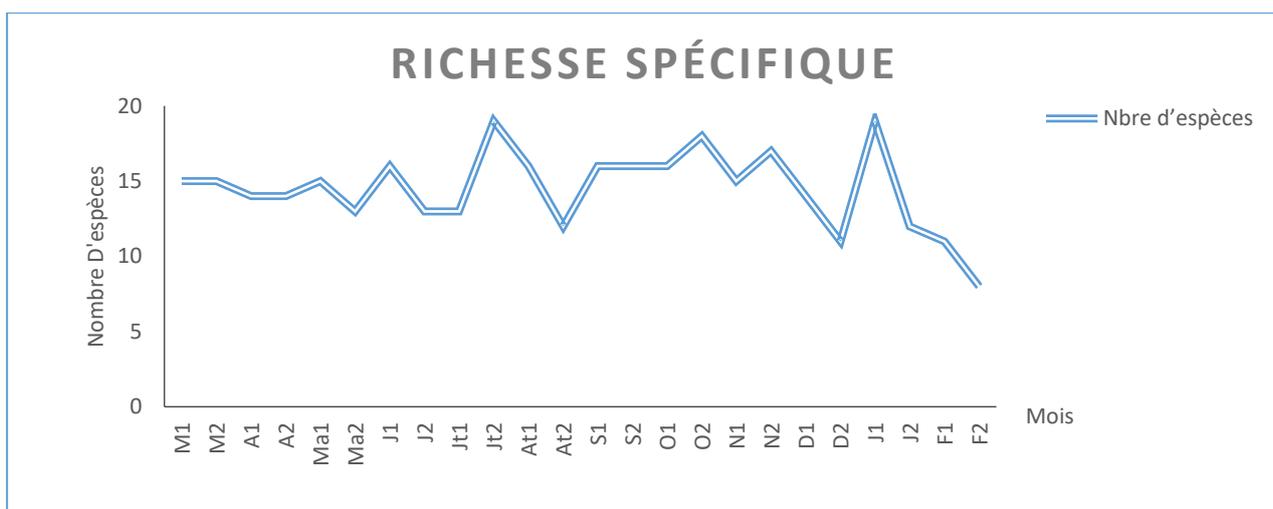


Figure 28 : Evolution temporelle du nombre d'espèces répertoriées dans le lac Dayet Aoua.

1.2. Indice de diversité

Evaluer la diversité d'un site reste compliqué, mais il existe des indices pour mesurer l'entropie au sein d'une même communauté afin d'avoir une idée sur le degré de similitude ou de disparité entre les espèces qui composent le peuplement.

Pour se faire nous avons utilisé l'indice de Shanon, l'indice de Simpson et l'équitabilité de Piélu.

L'indice de Simpson oscille entre 0,32 et 0,85 (figure 29), pour l'indice de Shannon les valeurs enregistrées sont entre 0,2 et 1 (figure 30) et afin de compléter l'estimation l'équitabilité de Piélu est recommandée dans notre cas les valeurs enregistrées sont entre 0,21 et 0,84 (figure 31).

Quand la diversité est aux alentours de la valeur 1 c'est à dire que la diversité atteint son maximum en raison du développement de plusieurs espèces.

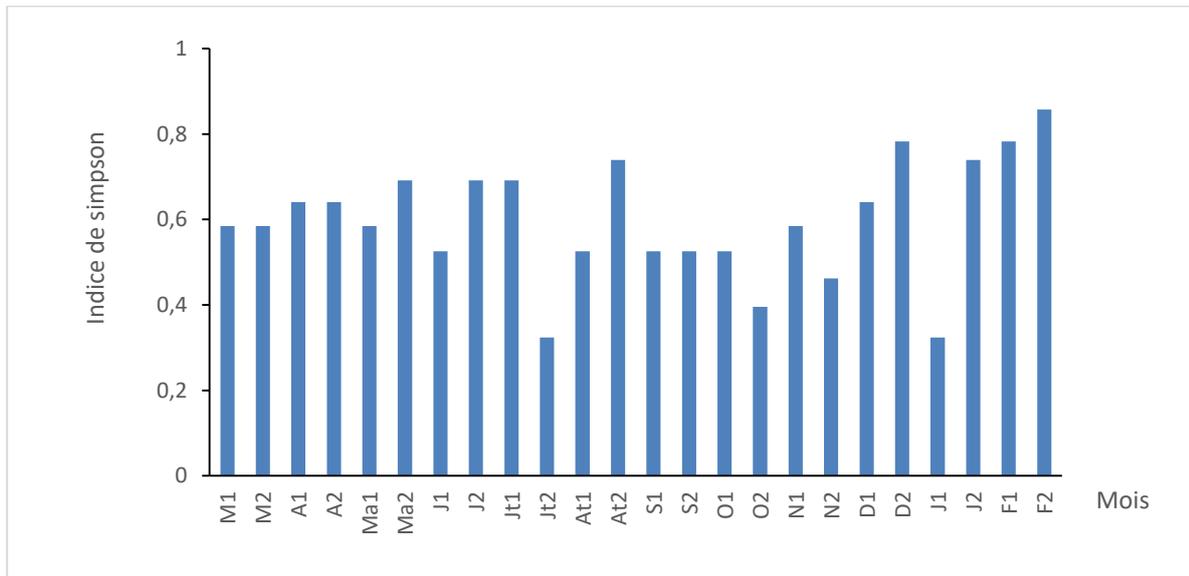


Figure 29 : Evolution temporelle de l'indice de diversité de Simpson.

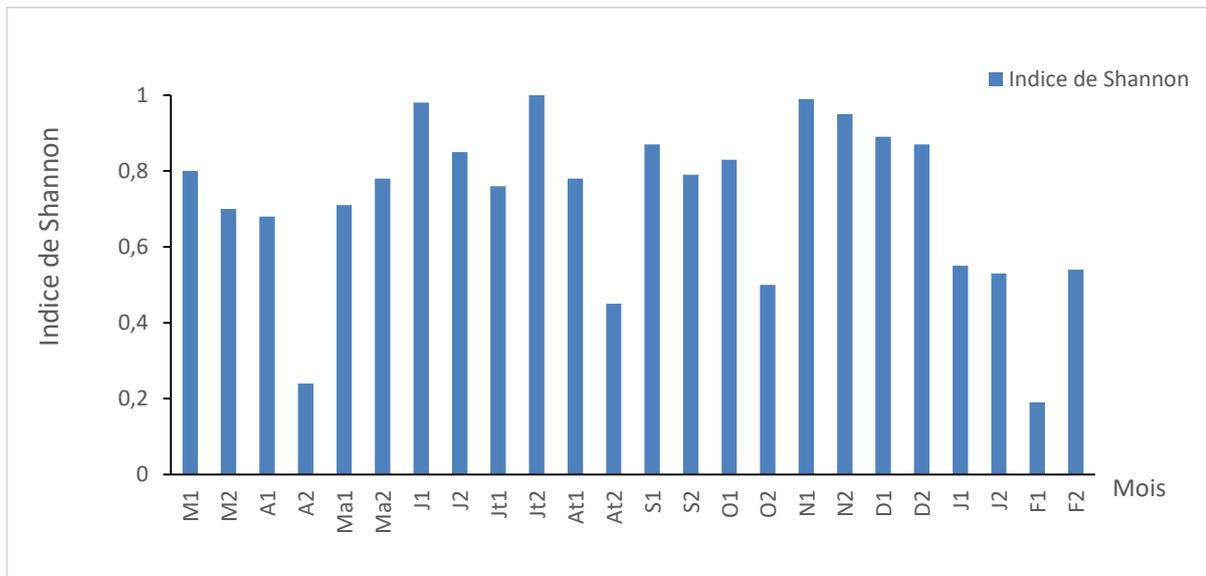


Figure 30 : Evolution temporelle de l'indice de diversité de Shannon.

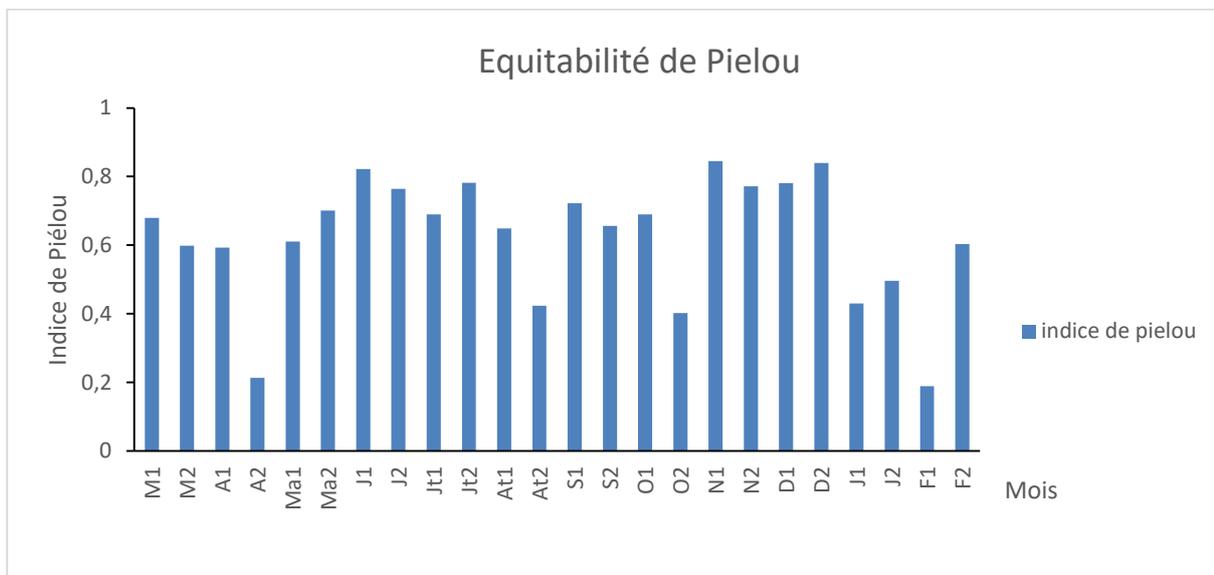


Figure 31 : Evolution temporelle de l'indice de Pielou.

2. Composition quantitatives du phytoplancton

2.1. Densité phytoplanctonique

Généralement les densités phytoplanctoniques dans lac Dayet Aoua sont faibles (de l'ordre de $10^5 \text{cellules.L}^{-1}$) comparées à la plupart des écosystèmes lacustres dont la densité est nettement supérieure (Rimet , 2011).

Les densités enregistrées varient entre $1,1 \times 10^5 \text{cellules.L}^{-1}$ au mois de décembre à la profondeur 0 m et $3,4 \times 10^5 \text{cellules.L}^{-1}$ au mois d'avril à la profondeur 2m (figure 32). La densité moyenne sur l'ensemble des prélèvements et toutes profondeurs confondues est de $2,8 \times 10^4 \text{cellules.L}^{-1}$, $\sigma = 1,48 \times 10^4 \text{cellules.L}^{-1}$.

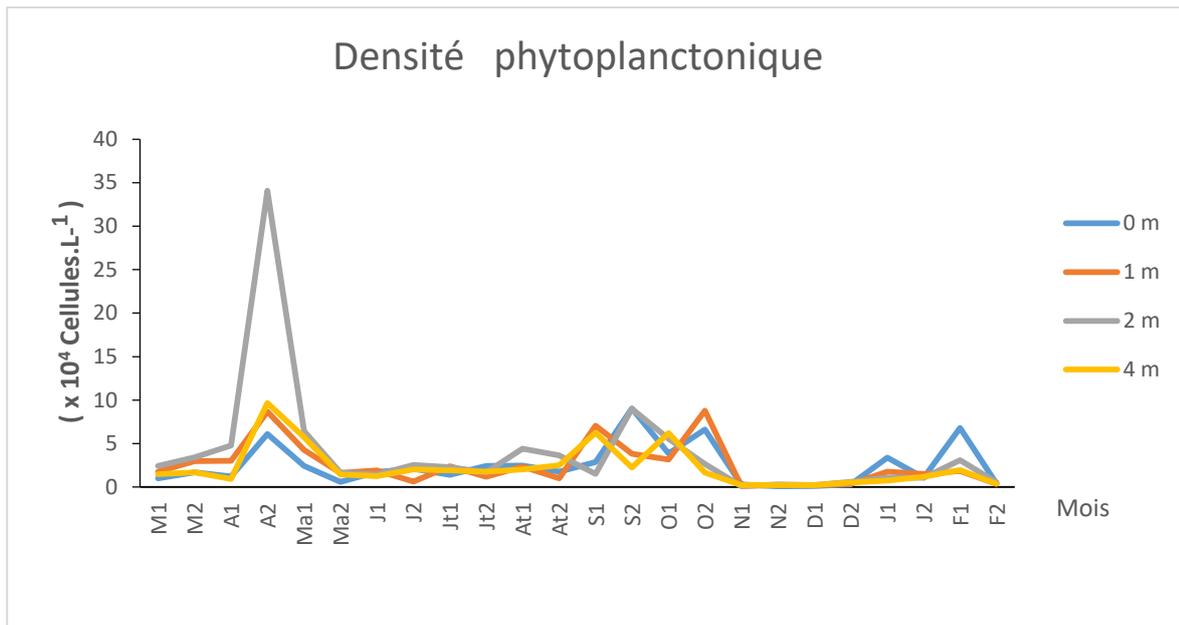


Figure 32 : Variations spatiotemporelles de densité phytoplanctonique au cours des campagnes de prélèvements aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

Les fluctuations spatio- temporelles se traduisent par des variations remarquables au cours de cette campagne de prélèvements. Au début de l'étude en période printanière, les densités sont élevées par rapport au reste de la campagne, du fait que le peuplement phytoplanctonique a connu une grande diversité. Durant le mois de mars la communauté phytoplanctonique est composée essentiellement de la Cryptophycée, *Cryptomonas marssonii* qui représente (49,78 %) de la densité totale, cette espèce nous a accompagné tout au long de l'étude, puis de la Cryptophycée *Cryptomonas ovata* (19,76 %), de la Chlorophycée *Sphaerocystis sp* (13,32 %).

Pendant le mois d'avril (figure33), la densité phytoplanctonique connaît une augmentation rapide (Leboulanger , 2001) suite au condition favorable hausse de la température, de plus cette augmentation coïncide avec l'apparition de la Zygothécée *Staurastrum sp* qui a dominé le peuplement phytoplanctonique (86,64 % de la densité totale) qui a connu son optimum durant cette période cette augmentation est concrètement remarquable à la profondeur 2m et avec une quasi présence de la Cryptophycée *Cryptomonas ovata* (55,12 %), suivie de la Chlorophycée *Oocystis lacustris* (12,64 %). Durant le mois de mai l'espèce *Staurastrum* (50,06 %) est toujours la plus dominante durant la première quinzaine par contre l'espèce *Cryptomonas ovata* et *Oocystis sp* ont dominé durant la fin du mois avec des pourcentages respectifs de (42,65 % et (32,17 %).

En période estivale la communauté phytoplanctonique a connu une baisse de sa densité, durant le mois d'août le maximum enregistré est de $0,43.10^5$ cellules.L⁻¹ cela pourrait s'expliquer d'une part par l'augmentation de la température (figure 13) et d'autre part, par le broutage due à la prolifération de la communauté zooplanctonique dont la coexistence de deux groupes majeurs les copépodes et les cladocères comme l'ont constaté dans d'autre site (Mokhliss et al., 2001), et a été signalé par Fazul dans le même site. Durant cette saison l'abondance est marquée par la présence de l'espèce *Spirulina laxa* avec un pourcentage de 75% (figure 34) et une quasi présence de *Cryptomonas ovata* qui dépasse 32%, suivi de l'espèce *Dictyosphaerium pullchellum* représentée respectivement durant les trois mois juin, juillet et août consécutives avec des pourcentage 29,27% ,33,66% et 50,17%.

En automne, les densités augmentent légèrement au début de la période, durant le mois de septembre l'espèce la plus représentée est la Chlorophycée *Sphaerocystis sp* (43,84 %), nous avons remarqué ensuite durant le mois d'octobre l'apparition d'une nouvelle espèce majoritaire *Gonatozygon sp* (71,74 %) appartenant à la classe des Zygothécées, les densités chutent durant le mois de novembre suite au changement des conditions climatiques dans le milieu. Cette période a été marquée par l'apparition de *Sphaerocystis sp* 43,84% et *Closterium sp* 33, 12% (figure 35).

Le moyen atlas est plus spécifiquement la zone Dayet Aoua est connue par une saison hivernale froide accompagnée de forte précipitations et des chutes de neige, durant notre campagne 2015-2016 les pluies sont arrivées tardivement jusqu'à mi-février contrairement aux années prétendantes (Fazul et al., 2015) et (Abba et al., 2012). Le mois de décembre est représenté par la Zygothécée *Closterium sp* (41,17 %) suivie de l'espèce *Pediastrum* (20,7 %) et en troisième position *Cryptomonas ovata* (17,04 %). Les deux derniers mois de la campagne sont représentés par la prolifération des *Cryptophycées* qui sont composées essentiellement par les deux espèces majeurs *Cryptomonas ovata* et *Cryptomonas marsonii* (figure 36) pour le mois de janvier les pourcentages enregistrés sont respectivement de 63,06% et 48,93% et pour le mois de février les pourcentages enregistrés sont respectivement de 91,42% et 61,3%. Cette classe de *Cryptophycée* a dominé pendant toute la période de l'étude que ce soit en terme de densité ou en terme de biomasse.

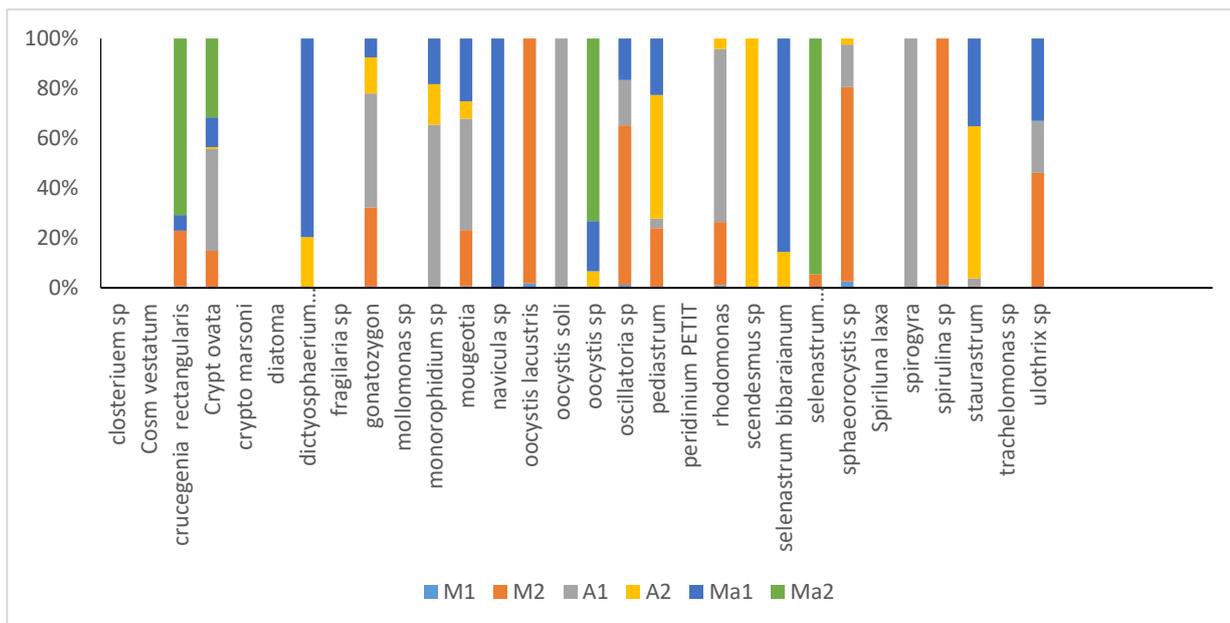


Figure 33 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période printanière

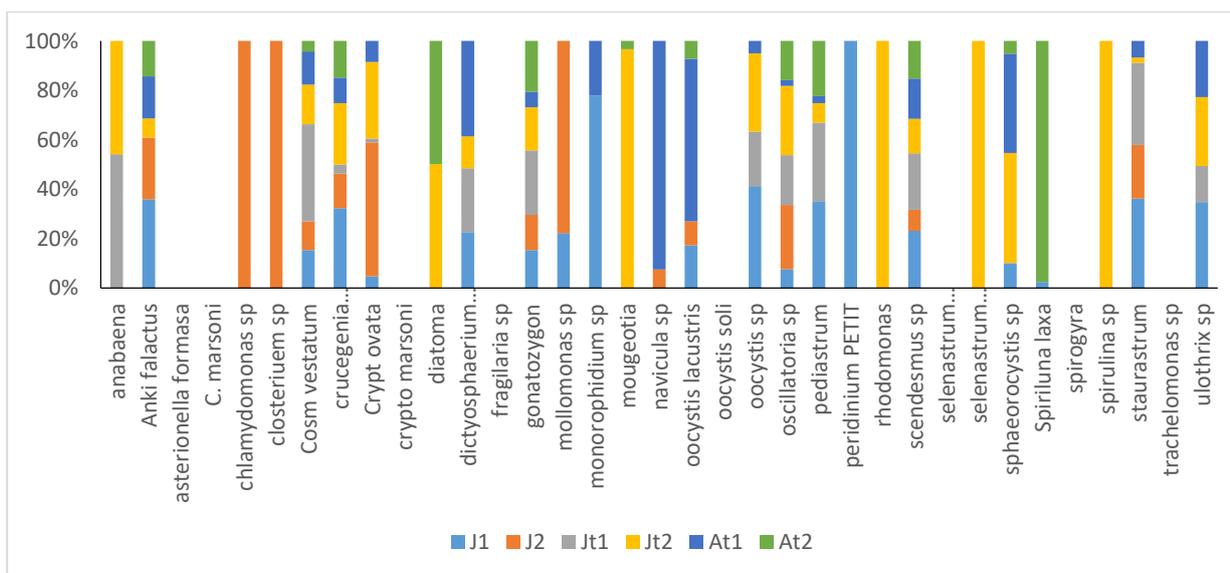


Figure 34 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période estivale

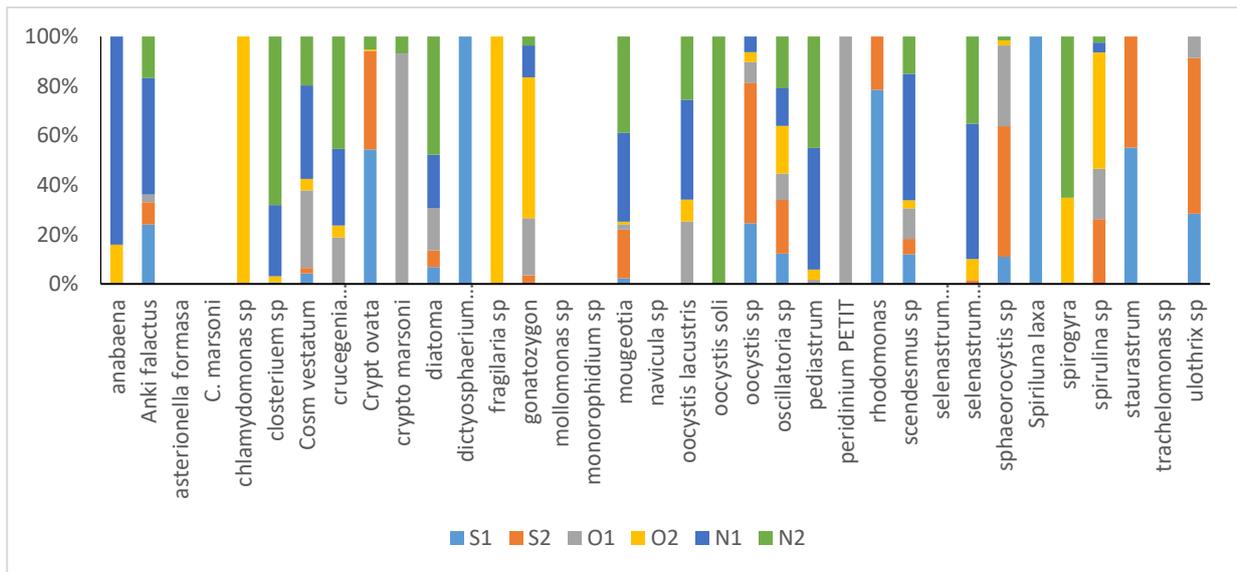


Figure 35 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période automnale

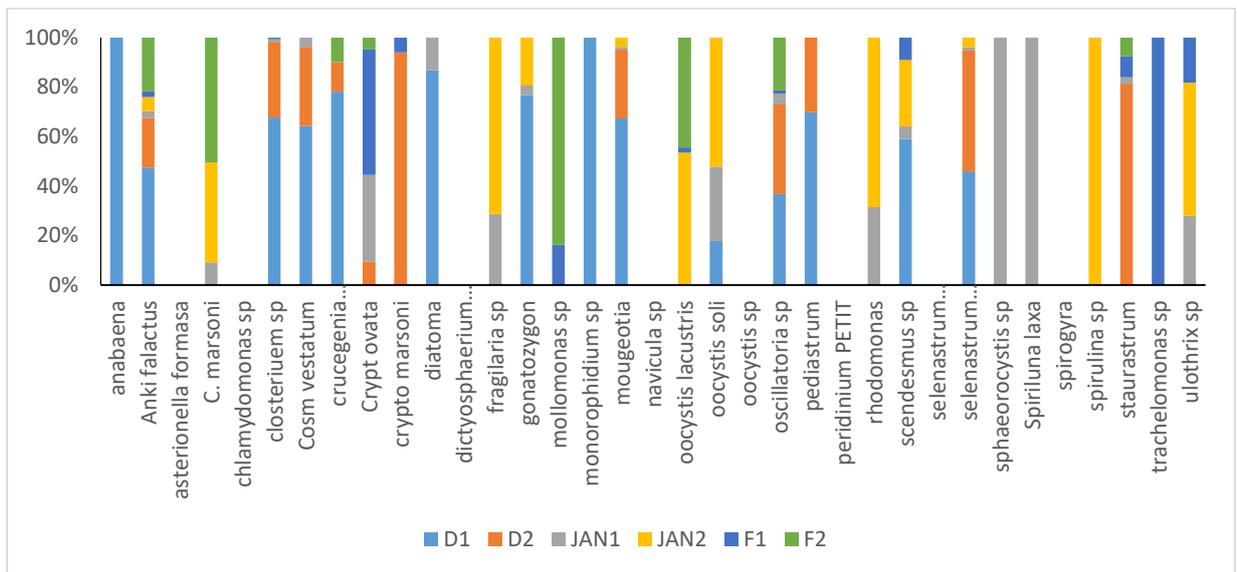


Figure 36 : Abondance relative des différentes espèces phytoplanctoniques en période hivernale

2.2. Biomasse - comptage

Globalement les courbes de biomasse suivent la même allure que celles des densités et montrent une grande amplitude de fluctuation au fil des saisons, puisqu'elles varient entre $1,40 \mu\text{g. l}^{-1}$ au mois de janvier à la profondeur 4m et $4097,49 \mu\text{g. l}^{-1}$ au mois d'avril à la profondeur 2m. Cette dernière valeur enregistrée est très significative du fait qu'elle est en concordance avec la présence des espèces *Staurastrum sp* et *Cosmarium sp* qui ont des biovolumes très important $8284 \mu\text{m}^3$ et $27475 \mu\text{m}^3$ respectivement malgré leur faible densité (16,96% et 2,5%) respectivement de la densité phytoplanctonique globale.

La période estivale est caractérisée par une baisse de biomasse, car les espèces dominantes dans cette période de l'année sont des cyanobactéries dont les volumes cellulaires sont faibles l'exemple de *Spirulina laxa* ($177 \mu\text{m}^3$).

En période automnale, les biomasses sont toujours en baisse, l'exception du mois d'octobre à la profondeur 1m où il y a une élévation qui passe à $697,78 \mu\text{g. l}^{-1}$, Ces valeurs coïncidant avec le développement de la zygophycée *Gonatozygon sp* qui se caractérise par un biovolume important de l'ordre de $5400 \mu\text{m}^3$.

En hiver où il y a eu une discordance entre l'évolution de la courbe de densité et celle du biovolume, ceci s'explique par l'apparition des Cryptophycées car les espèce *Cryptomonas marsonii* et *Cryptomonas ovata* ont un faible biovolume cellulaire $100 \mu\text{m}^3$ et $1350 \mu\text{m}^3$ respectifs, ce qui a engendré des faibles biomasses (figure 37) comme a été annoncé par Fazul (Fazul et al., 2015) .

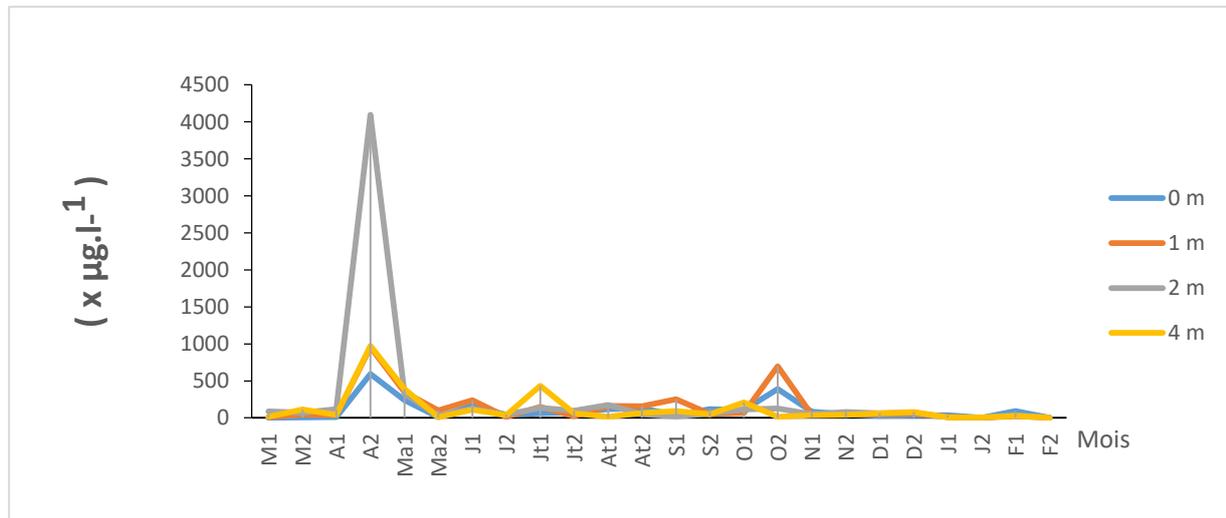


Figure 37: Variation spatiotemporelle de la biomasse phytoplanctonique au cours des campagnes de prélèvement aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

2-3. Biomasse -chlorophylle a

Les teneurs en chlorophylle a varient de $2,11 \mu\text{g. l}^{-1}$ près de la surface au mois de février à $8,68 \mu\text{g. l}^{-1}$ au mois d'avril à la profondeur 2m.

Les teneurs en chlorophylle a, durant la campagne reste faible avec une valeur moyenne enregistrée pour l'ensemble des prélèvements à $4,79 \mu\text{g. l}^{-1}$ ($\sigma = 1,76 \mu\text{g. l}^{-1}$).

L'examen des profils verticaux fait apparaître qu'il n'y a pas de variations remarquables, les valeurs moyennes obtenues par profondeur sont les suivantes : $4,60$; $4,79$; $4,94$ et $4,73 \mu\text{g. l}^{-1}$, respectivement aux niveaux 0 ; 1 ; 2 et 4 m.

Suivant l'évolution saisonnière (figure 38), les concentrations de la chlorophylle a les plus élevées sont enregistrées en période printanière précisément au mois d'avril avec une valeur maximale de 8,68 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ concomitamment avec l'apparition sporadique de l'espèce *Staurastrum* 4097,49 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ à la profondeur 2m avec une biomasse phytoplanctonique comptage total toutes profondeurs confondues de 15011,44 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ qui ont contribué à l'augmentation de cette teneur. En effet, cette espèce possède des teneurs chlorophylliennes cellulaires importantes malgré leurs petite taille (Fazul , 2016).

En période estivale, les valeurs enregistrées de la biomasse-chlorophylle a sont plus faibles lors du développement des cyanophycées et suivent la même allure que la biomasse phytoplanctonique comptage avec profondeurs confondues 2673,87 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$.

Au début de l'automne, la valeur du pigment chlorophylle a a augmenté légèrement à nouveau durant le mois d'octobre (valeur moyenne obtenue de 5,54 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$), en raison du développement des *Zygophycées*.

A la fin de la campagne 2015-2016, en hiver, nous avons enregistré de faibles valeurs des communautés phytoplanctoniques avec une valeur toutes de profondeurs confondues de 711,89 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ suite aux conditions défavorables pour la multiplication du peuplement phytoplanctonique, la valeur moyenne de la chlorophylle a enregistrée durant le mois de février (2,41 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ avec $\sigma = 0,24 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

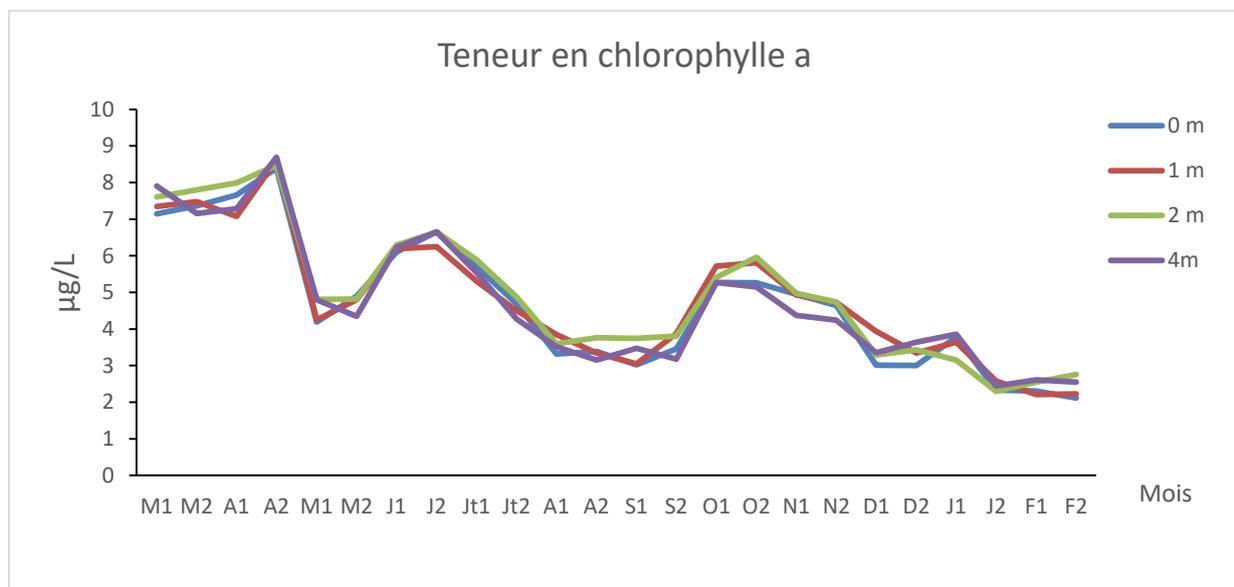


Figure 38 : Variation spatiotemporelle de la teneur en Chlorophylle a aux profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

3. Détermination de l'état trophique du lac

Afin de mieux classer un système lacustre par rapport à son état de trophie, l'organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) a mis en jeu un programme qui permet

de comprendre l'évolution du niveau trophique dans une retenue. Un rapport intitulé eutrophisation des eaux, méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte a été publié, en 1982.

Les lacs sont généralement classés en fonction de leur état trophique, un terme qui décrit comment «la couleur verte » est mesurée par la quantité de biomasse d'algues dans l'eau.

Trois catégories d'états trophiques sont utilisées pour décrire la situation actuelle des lacs : oligotrophe, mésotrophe et eutrophe (Brown et Simpson , 2001).

La détermination de l'état trophique d'un système lacustre se base sur trois paramètres principaux à savoir, la chlorophylle « a », la transparence et les teneurs en phosphore total (tableau 4).

Concernant le lac Dayet Aoua, il a été classé en 2005 parmi les lacs oligotrophes du moyen atlas (Abba et al., 2008), ce caractère trophique a été confirmé par (Fazul et al., 2013) durant une campagne d'étude effectuée en 2011, contrairement à nos résultats où les indicateurs nécessaire phosphore total ; transparence et concentration en chlorophylle a ont prouvé que le lac est dans un état méso-oligotrophe durant notre campagne de prélèvement.

Tableau 4 : Classes des niveaux trophiques des lacs selon OCDE (Groga , 2012).

Classes des niveaux trophiques des lacs avec les valeurs correspondantes de phosphore total, de chlorophylle a et de transparence de l'eau¹				
Classes trophiques		Phosphore total (µg/l)	Chlorophylle a (µg/l)	Transparence (m)
Classe principale	Classe secondaire (transition)	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Ultra-oligotrophe		< 4	< 1	> 12
Oligotrophe		4 - 10	1 - 3	12 - 5
	Oligo-mésotrophe	7 - 13	2,5 - 3,5	6 - 4
Mésotrophe		10 - 30	3 - 8	5 - 2,5
	Méso-eutrophe	20 - 35	6,5 - 10	3 - 2
Eutrophe		30 - 100	8 - 25	2,5 - 1
Hyper-eutrophe		> 100	> 25	< 1

B. Zooplancton

1. Aspect qualitatif

Pour l'approche qualitative du zooplancton nous ne parlons pas de la diversité spécifique comme le phytoplancton mais plutôt de la richesse taxonomique, cette dernière est très faible au niveau du lac Dayet Aoua.

Nous avons pu identifier trois groupes majeurs qui appartenant à l'embranchement des Arthropodes et à la classe des crustacés : les cladocères ; les copépodes et les rotifères.

Le pourcentage des populations diffère d'un groupe à un autre (figure 39), le groupe majoritaire est celui des cladocères qui représente 82% de la communauté zooplanctonique globale, représenté par deux espèces *Bosmina longirostris* et *Daphnia longispina*, suivi du groupe des copépodes qui représentent 17% présenté par les Cyclopoïdes et les *Harpacticoides*, suivi des rotifères qui représentent un groupe minime de la population zooplanctonique globale 1%.

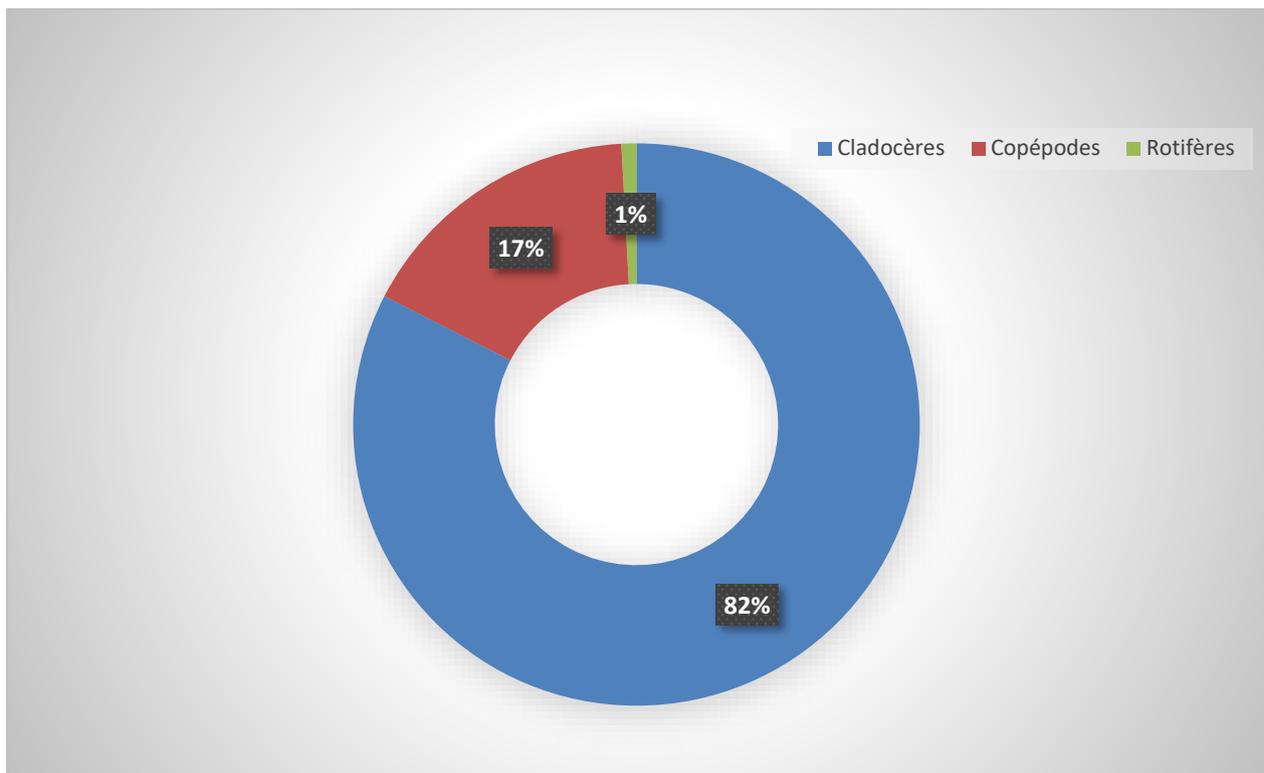


Figure 39 : Pourcentage des trois groupes de la communauté zooplanctonique du lac Dayet Aoua.

2. Aspect quantitatif

2.1. Evolution générale de la communauté zooplanctonique

Suivant les saisons, le développement zooplanctonique de le lac Dayet Aoua ne montre pas de chronologie aussi marquée et prévisible que le phytoplancton.

Cependant, plusieurs études détaillent le développement local des communautés zooplanctoniques. Certaines ont décrit qu'un pic de densité zooplanctonique printemps-été apparaissait après la floraison phytoplanctonique (Fernandez et Molinero , 2007). D'autres ont mis en évidence des pics d'abondance en relation avec la production phytoplanctonique (Mercado et al., 2005). Enfin, certaines études ont prouvé qu'il n'existe aucune relation entre l'évolution du zooplancton et la saisonnalité (Calbet et al., 2001).

L'incompatibilité des résultats est à prendre avec précaution car cette dissimilitude dépend de plusieurs critères, tout d'abord de la nature qui joue son rôle suite aux changements spatio-temporelle, du protocole d'étude appliqué, du milieu étudié marin ou dulçaquicole et il faut aussi mettre le point sur la maille vide utilisé du filet à zooplancton.

En termes d'évolution annuelle suivant l'examen du profil vertical ceci montre une différence remarquable au niveau des profondeurs, contrairement à l'évolution annuelle du phytoplancton plus précisément la profondeur 2m où l'activité zooplanctonique est développée surtout en période automne-hiver. La densité de la population zooplanctonique a montré des amplitudes remarquables durant le cycle annuel 2015-2016, la moyenne de la densité annuelle dans le lac Dayet Aoua est de $1,94 \cdot 10^7 \text{ ind.m}^{-3}$.

Quatre pics de densités zooplanctoniques ont été enregistrés durant notre campagne (figure 40), au début de l'été ($4,96 \cdot 10^7 \text{ ind.m}^{-3}$), un autre en automne ($7,37 \cdot 10^7 \text{ ind.m}^{-3}$), et deux en hiver ($8,30 \cdot 10^7 \text{ ind.m}^{-3}$ et $15,33 \cdot 10^7 \text{ ind.m}^{-3}$).

Au printemps, les cycloïdes sont significativement présents sur l'ensemble de la saison, ceci s'explique d'une part, par ce que les copépodes sont généralement herbivores ce qui expliquerait la tendance plus marquée de la communauté zooplanctonique à suivre l'évolution de la communauté phytoplanctonique (Jamet et al. 2005) et d'autre part les copépodes seraient très probablement influencés par la variabilité climatique notamment par la température (Seebens et al., 2007).

Pendant la période estivale, la progression au mois de juin semble être liée au développement des rotifères et simultanément, la densité phytoplanctonique a connu une baisse pendant cette même période ceci explique le phénomène de broutage par le zooplancton.

En automne le pic du mois d'octobre est lié au début du développement des cladocères, mais moins important que celui engendré en hiver, probablement lié à l'hydrodynamisme du milieu et le développement des Zygothricées.

En période hivernale, les deux pics s'expliquent par la prédominance des cladocères en concomitance avec le développement *Cryptomonas ovata*. Ces populations se reproduisent par parthénogenèse, une recrudescence rapide dans le milieu. Cette progression semble être liée à la présence des daphnies qui s'expliquent d'une part par l'omniprésence des ressources algales consommables et d'autre part, par le fait que les daphnies ont la capacité de fuir les poissons prédateurs chasseurs à vue (Nielsen et al., 2000). Par contre *Bosmina* nous le trouverons dans la couche superficielle car elle dépend des facteurs lumière et oxygène dissous (Derraz, 2002).

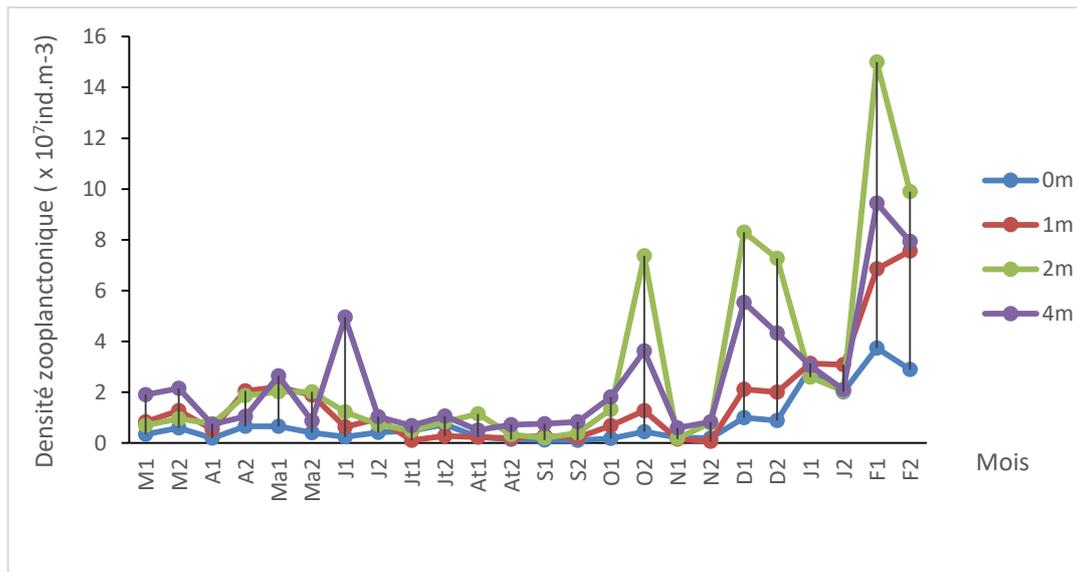


Figure 40 : Evolution annuelle de densité zooplanctonique dans le lac Dayet Aoua.

2.2. Evolution des différents groupes taxonomiques

Dans le lac Dayet Aoua (Figure 41), les cladocères ont composé en moyenne 82,5 % du zooplancton sur l'ensemble du cycle annuel avec une densité maximale de $14,63 \cdot 10^7 \text{ ind.m}^{-3}$ au mois de février à la profondeur 2m.

Un développement important des Copépodes a eu lieu en période printanière (figure 42) et plus précisément le mois de mai à la profondeur 2m où ont atteint leurs densités maximales ($202 \cdot 10^5 \text{ ind.m}^{-3}$).

Concernant les rotifères leurs densités sont moins importantes que les autres groupes (figure 43), leur développement s'est fait préférentiellement en saison estivale le mois d'août à la profondeur 4m avec la valeur maximale enregistrée est de $17 \cdot 10^5 \text{ ind.m}^{-3}$.

Le suivi des proportions relatives des différents groupes taxonomiques du zooplancton a montré la dominance des daphnies avec 89,6% de la population totale des cladocères.

Pour les copépodes, deux groupes ont prédominé au printemps, les cycloïdes 78,84% et les harpacticoides 21,16% dans la population globale des copépodes. Tout au long de l'année, les rotifères sont restés en proportions discrètes constituant un pourcentage minimum de 0,85% de la population globale zoo planctoniques.

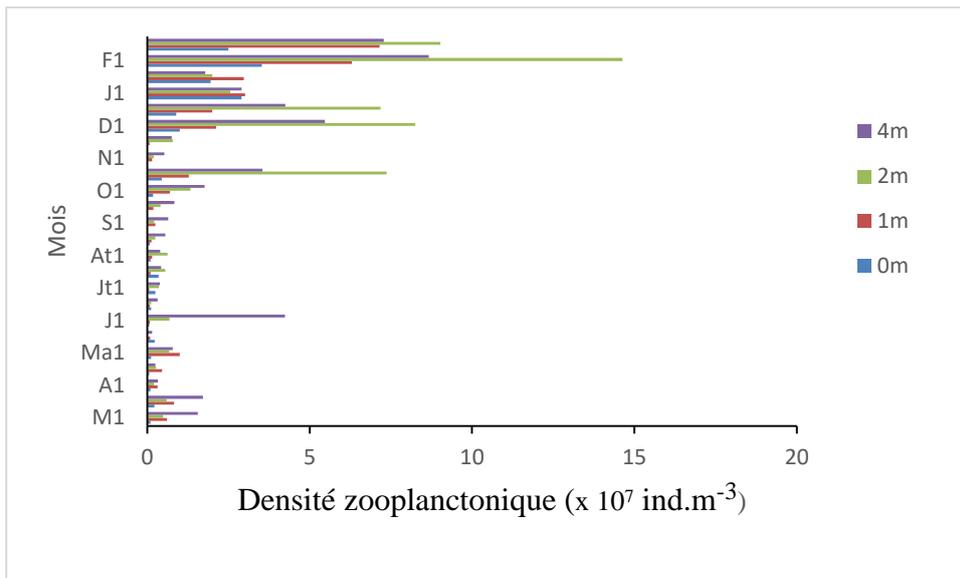


Figure 41 : Evolution annuelle des Cladocères à différentes profondeurs (0m, 1m, 2m et 4m) dans le lac Dayet Aoua.

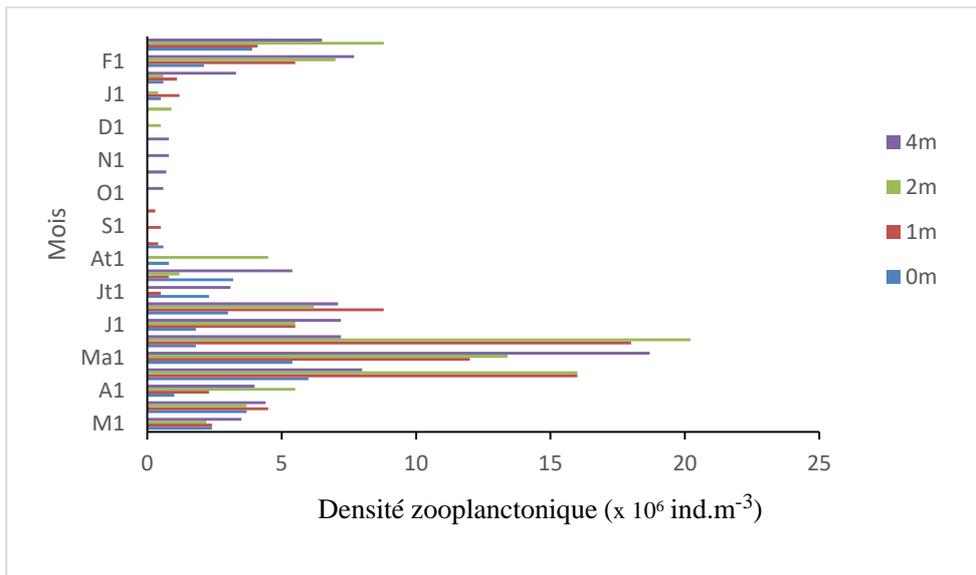


Figure 42 : Evolution annuelle des copépodes à différentes profondeurs (0m, 1m, 2m et 4m) dans le lac Dayet Aoua.

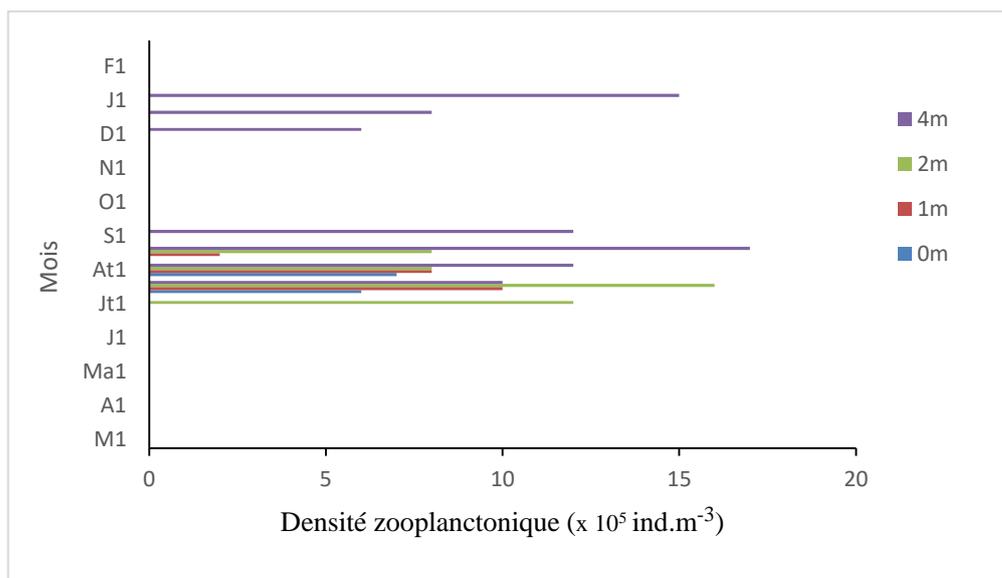


Figure 43 : Evolution annuelle des rotifères à différentes profondeurs (0m, 1m, 2m et 4m) dans le lac Dayet Aoua.

2.3. Abondance zooplanctonique

Au cours de cette étude, l'abondance a varié d'une saison à une autre selon les différentes profondeurs 0m, 1m, 2m et 4m.

Près de la surface la communauté zooplanctonique est essentiellement constituée de *Bosmina* et les *Cyclopoïdes* avec apparition des *Harpacticoides* dans la deuxième semaine du mois de mai. Durant le mois de septembre et novembre on remarque une quasi absence du zooplancton au niveau de la surface mais qui sont bien représentés dans les autres profondeurs, et nous remarquons une abondance des *Daphnies* pendant toute la période hivernale qui dépasse le pourcentage de 90% (figure 44).

A la profondeur 1m durant la saison printanière nous observons la dominance de *Bosmina* et l'apparition des *Harpacticoides* qui ont connu leurs valeurs maximales pendant le mois de mai qui a dépassé 80%, la période estivale a connu des variations des espèces et l'apparition des rotifères représentés par l'espèce *Keratella*, par contre les *Daphnies* ont dominé durant la saison automnale et hivernale (figure 45).

A la profondeur 2m nous constatons que la dominance des espèces suit la même allure que celle de la profondeur 1m (figure 46).

Vers le fond une codominance entre *Bosmina* et *Cyclopoïde* au cours de la saison sèche est une dominance des *Daphnies* pendant la saison humide (figure 47).

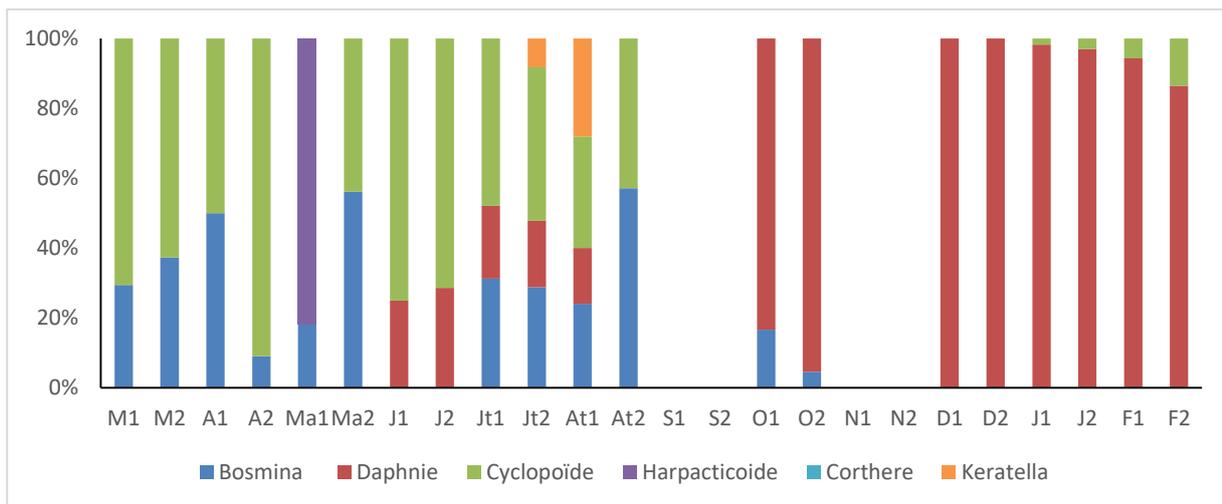


Figure 44 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques à la profondeur 0 m.

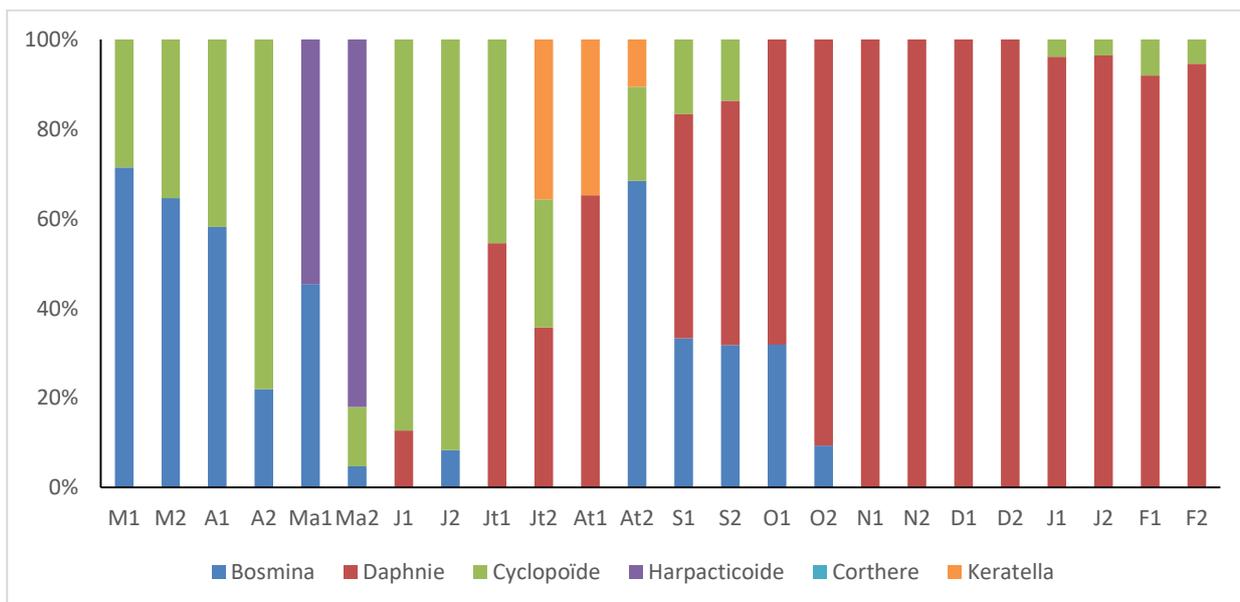


Figure 45 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques à la profondeur 1 m

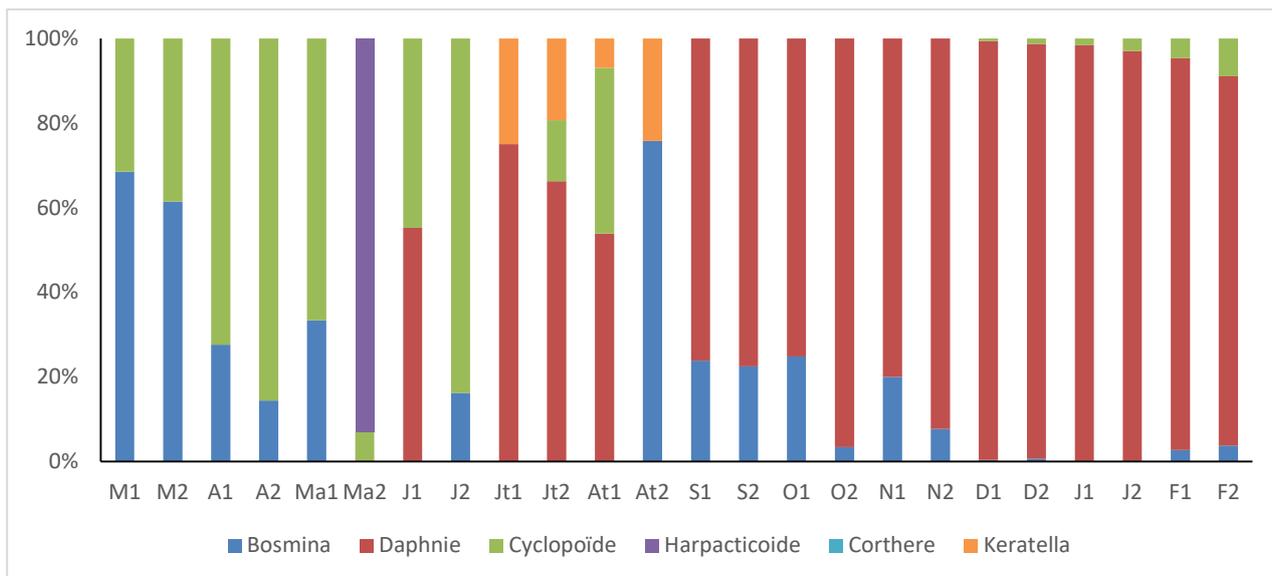


Figure 46 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques à la profondeur 2m .

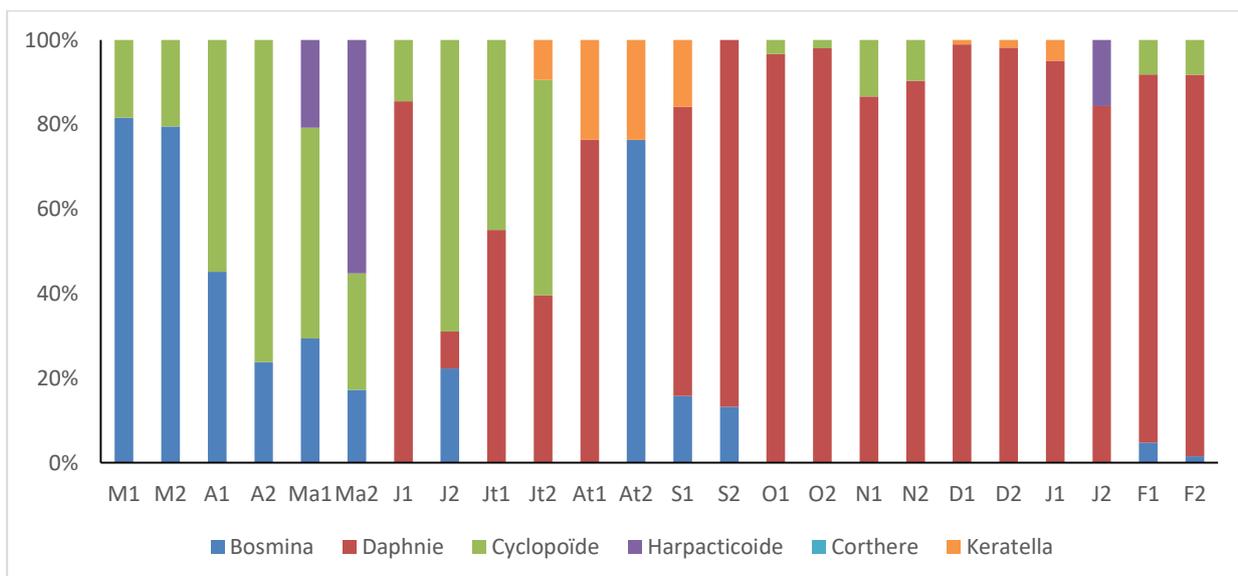


Figure 47 : Variation spatiotemporelle de l'abondance des différents groupes zooplanctoniques à la profondeur 4m.

III. Etudes statistiques

1. Etude statistique des paramètres physico-chimiques

1.1. Analyse de variance ANOVA

Le tableau (5) présente les résultats du test d'analyse de la variance bivariée modèle fixe appliquée à chacune des 11 variables mesurées durant la campagne étudiée de Mars 2015 à Février 2016 au niveau du site Dayet Aoua. L'analyse de la variance bivariée ANOVA a pour but de comparer les moyennes les différents paramètres suivant les mois ou plutôt les saisons dans la période étudiée.

Tableau 5 : Analyse de variance

Paramètres	TEMPS		
	F	P value summary	Significant
Température	3,352	0,024*	Yes
Ph	2,148	0,102 ns	No
Conductivité	3,884	0,014*	Yes
Oxygène dissous	3,415	0,023*	Yes
TAC	25,208	0,000 P<0.0001***	Yes
Azote Total	10,913	0,000 P<0.0001***	Yes
Nitrate	3,378	0,112 ns	No
Nitrite	3,378	0,024*	Yes
Ammonium	2,027	0,120 ns	No
Orthophosphate	1,447	0,267 ns	No
Phosphore Total	0,779	0,657 ns	No
Transparence	12,781	0,000 P<0.0001***	Yes
Chlorophylle a	5,019	0,005*	Yes

$p > a = 0,05$: (ns) différences non significative

$p < a = 0,05$: (*) différences juste significatives

$p < a = 0,01$: (**) différences hautement significatives

$p < a = 0,001$: (***) différences très significatives

F: valeur F de Fisher

Le tableau présente des paramètres qui sont significatives avec le temps c'est à dire que le facteur temps exerce une influence sur ces derniers : transparence, titre alcalimétrique, azote total, température, conductivité, oxygène dissous, nitrite et chlorophylle a. En effet les différences significatives constatées sont liées au climat qui règne dans la région suivant le

mois ainsi la flore et la faune jouent un rôle primordial dans la caractérisation du milieu lacustre suivant les saisons. 2001, tandis que le pH, l'ammonium, les nitrates, les orthophosphates et le phosphore total ne varient pas significativement avec le temps leurs variations sont autonomes (indépendante du facteur temps).

1.2. Analyse en composantes principales ACP

L'analyse en composante principale permet d'analyser les données numériques quantitatives pour en réduire la dimensionnalité aux principaux facteurs d'interactions entre variable et en représenter graphiquement les interrelations.

Dans le but de déterminer généralement les corrélations qui existent entre les différents paramètres abiotiques suite à cette étude et afin de donner une synthèse, cette analyse a été effectuée sur l'ensemble des variables (11 paramètres environnementaux) à l'aide du logiciel **SPSS**.

La Figure 48 présente respectivement les corrélations entre les paramètres mesurés et les axes (*C1* et *C2*). Les deux axes expliquent 51,29% de l'information contenue dans la matrice de données. En se basant sur le critère de Kaiser qui dit que lors d'une ACP cette mesure donne un aperçu global de la qualité des corrélations inter items, l'indice KMO est de 0,7 (Tableau 6), on peut alors juger que les corrélations entre les items sont bonnes représenté selon la matrice de corrélation. Pour le résultat de test de sphéricité de Bartlett est significatif ($p < 0,0005$). Nous pouvons conclure que les corrélations ne sont pas toute égales à zéro les variables sont dépendantes les unes les autres.

Tableau 6 : Indice KMO et test de Bartelet

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		,727
	Khi-deux approximé	468,914
Test de sphéricité de Bartlett	ddl	55
	Signification de Bartlett	,000

Les variables contribuable de la formation de l'axe F1 sont les nitrites, l'azote et la conductivité car ils présentent le plus petit angle par rapport à l'axe et se positionnent plus loin du centre. Ces derniers sont corrélés positivement d'ordre croissant allant de 0,61 jusqu'à 0,85 et ils s'opposent sur le même axe au pH (-0,84), température (-0,95) et oxygène dissous (-0,50), cet axe représente 34,73% de l'inertie (figure 47).

Tandis que les nitrates (0,66) et les ortho-phosphates (0,52) contribuent positivement le plus sur la deuxième composante et qui s'opposent sur le même axe négativement au titre alcalimétrique (-0,64), cet axe représente 16,61% de l'inertie globale.

Le regroupement et le positionnement des variables dans le cercle de corrélations nous permet de distinguer quatre groupes de variables, sur le plan des 2 premiers axes factoriels de l'ACP d'une matrice « mois-profondeurs-caractéristiques physicochimiques » il apparaît clairement que la corrélation est forte entre la conductivité et les substances minérales qui est représenté dans le premier axe sont liées à la nature du substrat, cette nature est particulièrement importante dans le moyen atlas où la majorité des roches sont calcaires ou dolomitiques (Benkaddour et al., 2008), par contre les composantes température, pH et oxygène dissous qui sont corrélés négativement à l'axe F1 s'explique par la température ambiante qui règne dans le milieu suivant les saisons et la caractéristique du milieu lacustre pour le développement algale suivant le pH et l'oxygène dissous.

La composante 2 est caractérisé par les variables nitrate, orthophosphate et phosphore total ou les coefficients sont supérieurs à 0,5 ces variables phosphatés dépend surtout de l'activité anthropique surtout en période printanière où il y a le déversement des détergents dans le lac suite à la lessive près de la digue au niveau du lac Dayet Aoua. Sur la partie négative de la composante 2 on trouve le titre alcalimétrique qui s'explique par le taux de carbonate et cela est dû à la nature carbonatée calcique et magnésien de la roche mère de moyen atlas.

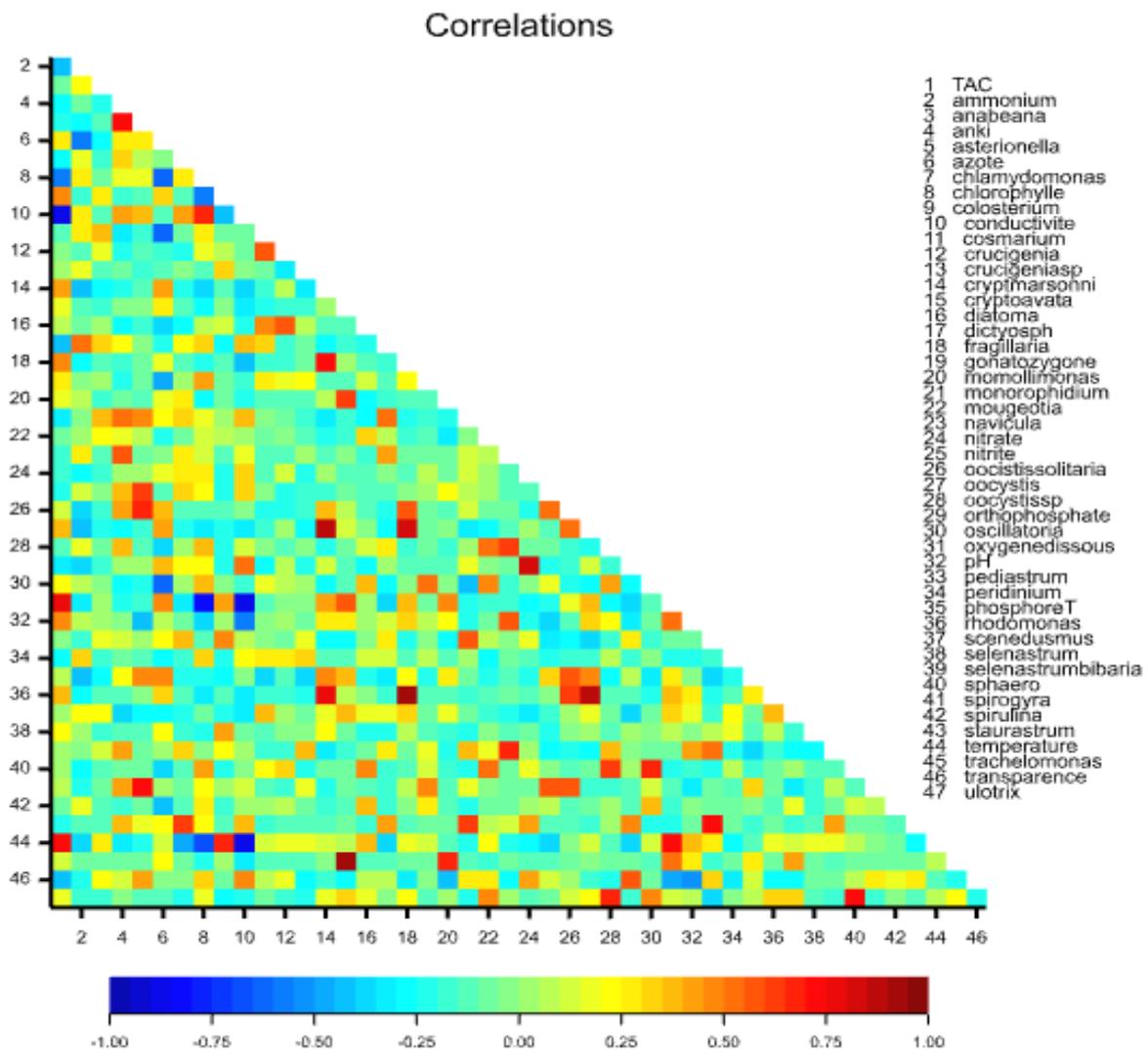


Figure 49 : Matrice de corrélations des paramètres physico-chimiques et les espèces phytoplanctoniques.

Les corrélations linéaires obtenues pour les 47 variables étudiées deux à deux sont représentées dans la figure si dessus, dont les valeurs critiques du coefficient de corrélation r de Bravais-Pearson sont indiquées pour un $p < 0.05$. L'analyse de la matrice de corrélation montre l'existence de fortes corrélations positives qui peuvent aller jusqu'au 0,923* et des corrélations négatives arrivant à -0,803*(figure 49).

Le test de corrélation de Bravais-Pearson a montré une corrélation très significative entre la prolifération de *Staurastrum* et *Pediastrum* ($p=0.01$) ; ($r=0.72^*$), ainsi pour *Rhodomonas* et *Oocystis* ($p=0.01$) ; ($r=0.67^*$), le coefficient de corrélation r révèle un sens positif c'est à dire que les deux espèces se développe concomitamment et ont les mêmes préférences.

Concernant la température a montré des corrélations très significative positivement avec *Closterium* ($p=0.001$) ; ($r=0.67^*$) et *Pediastrum* ($p=0.01$) ; ($r=0.75^*$) et négativement avec l'espèce *Chlamydomonas* ($p=0.01$) ; ($r= - 0.48^*$), ceci peut être expliqué par le fait que les espèces phytoplanctoniques sont influencés par le facteur température il y a ceux qui tolère la chaleur par contre d'autre non.

Le pH a montré des corrélations positives avec *Selenastrum* et *Navicula* les valeurs respectivement ($p=0.04$) ; ($r=0.4^*$), ($p=0.04$) ; ($r=0.42^*$) et négativement avec *Asterionelle* ($p=0.03$) ; ($r= -0.44^*$), ses résultat statistiques montre qu'il existe des espèces phytoplanctoniques qui préfère l'alcalinité et d'autre qui tend vers la neutralité.

L'orthophosphate a montré une corrélation significative positive avec l'espèce *Staurastrum* c'est à dire que cette espèce a besoin de l'ortho phosphate qui reste indispensable pour se développé dans le milieu lacustre ($p=0.02$) ; ($r= -0.67^*$).

N.B. Les corrélations significatives statistiquement ont été représentées dans la figure 48, les corrélations positives tendent vers la couleur rougeâtre et les corrélations négatives tend vers la couler bleu.

Selon les balises de Cohen (1988), les valeurs du coefficient r obtenues sont interprétées conformément à la taille d'effet suivante (Cohen 1988) :

- autour de 0,10 → effet de petite taille → corrélation faible
- autour de 0,30 → effet de taille moyenne → corrélation moyenne
- autour de 0,50 → effet de grande taille → corrélation forte

2.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Pour compléter les corrélations entre les paramètres biotiques et abiotiques une analyse factorielle des correspondances est faite pour identifier et hiérarchiser les données qualitatives.

L'AFC a pour objectif de faire une synthèse entre deux variables dépendant qualitatives afin de nous donner une idée est ce que ses modalités sont-elles proches ou éloignées (Menel , 2015).

Une analyse factorielle a été menée pour étudier 34 paramètres biotiques mesurés (figure 50) en fonction du temps et de l'espace.

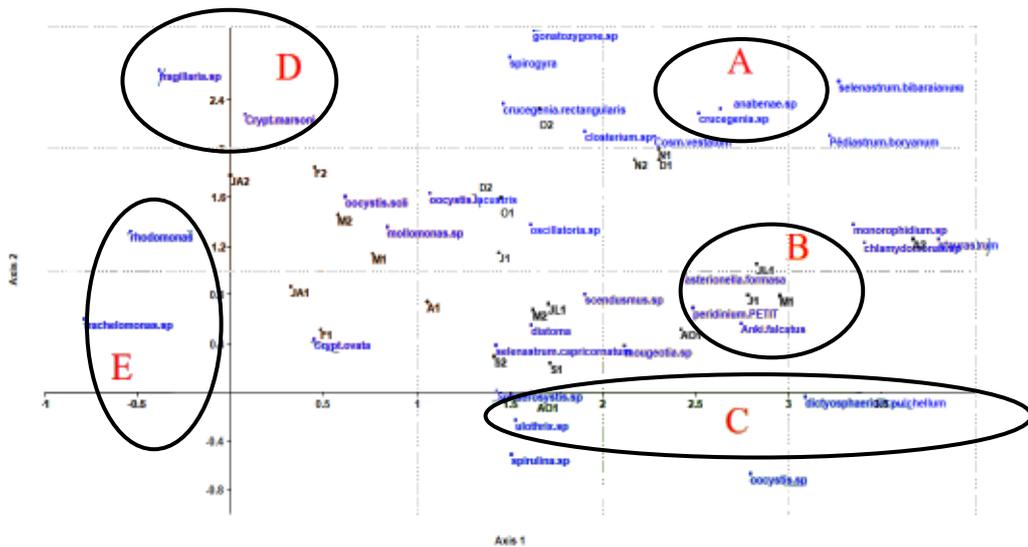


Figure 50 : Analyse factorielle des correspondances des espèces phytoplanctoniques.

La dispersion des espèces phytoplanctoniques dans le lac Dayet Aoua varie selon les saisons la somme des deux axes représentent 53,59%. Le premier axe présente 30,24 % et le deuxième 23,35%, cette analyse nous a permis d'obtenir 5 zonations par des groupes indépendants.

La saison automnale (zone A) ou il y a la prolifération de plusieurs espèces phytoplanctoniques, suite aux conditions favorable qui règne dans le lac température, luminosité adéquate en plus de la disponibilité des oligoéléments.

La période estivale (zone B) en comparant avec la (zone A) il y a eu une baisse par rapport au ressemant des espèces trouvées cela peut être expliqué d'une part par les facteurs climatique et d'autre part par le facteur prédation suite à l'apparition des communautés zooplactoniques.

La période printanière (zone C) se distingue par le développement de l'espèce *Stauratstrum*.

La période hivernale (zone D), l'apparition de l'espèce *Cryptomonas* cette dernière est la plus abondante pendant la période d'étude en terme quantitative.

Zone E représentée par trois espèces *Rhodomonas. Sp* et *Trachelomonas* qui n'ont pas montré des préférences ni pour les saisons ni pour les facteurs d'environnements.

3. Etude statistique des peuplements zooplanctoniques

3.1. Etude des corrélations

Les corrélations linéaires obtenues pour les 18 variables étudiées deux à deux (5 variables biotiques et 13 variables abiotiques) sont reportées dans la (figure 51), dont les valeurs critiques du coefficient de corrélation r de Bravais-Pearson sont indiquées pour un $p < 0.05$.

L'analyse de la matrice de corrélation montre l'existence des fortes corrélations positives qui peuvent aller jusqu'au 0,790* et des corrélations négatives arrivant à -0,877*.

Le test de corrélation de Bravais-Pearson a montré une corrélation très significative entre l'espèce *Bosmina* et l'élément orthophosphate ($p=0.01$) ; ($r=0.71^*$), le coefficient de corrélation r révèle un sens positif c'est à dire que l'orthophosphate favorise le développement des *Bosminidaees*.

Concernant l'oxygène dissous a montré des corrélations très significative positivement avec *Daphnia* ($p=0.001$) ; ($r=0.83^*$), de même le coefficient de corrélation r révèle un sens positif ceci peut être expliqué que ses espèces zooplanctoniques ont besoin de l'oxygène pour se développer.

La température a montré des corrélations négatives avec *Cyclopoide* ($p=0.001$) ; ($r= -0.61^*$), du fait le coefficient de corrélation r révèle un sens négatif donc nous pouvons conclure de ce résultat statistique que les cyclopoïdes ne tolèrent pas une grande amplitude thermique.

L'ammonium a montré une corrélation significative positive avec les rotifères c'est à dire que ses derniers ont besoin de cet élément qui reste indispensable pour leur croissance dans le système lacustre ($p=0.05$) ; ($r= 0.55^*$)

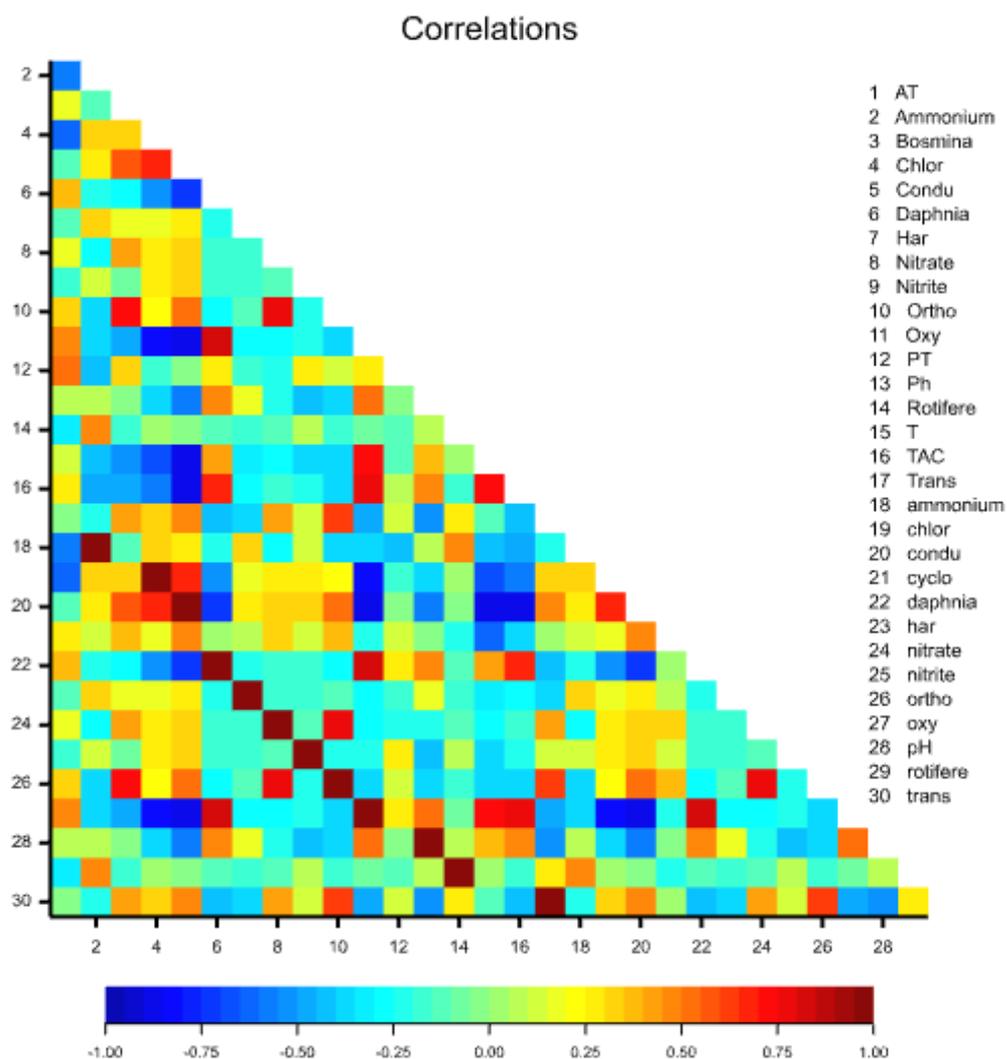


Figure 51 : Matrice de corrélations des paramètres physico-chimiques et les groupes zooplanctoniques.

Durant la campagne 2015-2016 dans le lac Dayet Aoua, nous avons identifié 34 espèces phytoplanctoniques appartenant à 8 classes différentes, suivant la distribution spatiale les cryptophycées est la classe la plus dominante avec un pourcentage de 48% représenté par l'espèce *Cryptomonas ovata* et *Cryptomonas marsonii*.

Pour le zooplancton nous nous sommes limités sur les trois groupes qui appartiennent à l'embranchement des arthropodes et à la famille des crustacés qui sont les cladocères, les copépodes et les rotifères, le groupe majoritaire est constituer des cladocères avec un pourcentage de 82 %, l'espèce dominante qui nous accompagné tout est de l'étude est *Daphnia longispina*.

Au niveau temporel l'évolution, la composition et la densité de la communauté planctonique varient d'une saison à une autre (figure 52), suivant leur dynamisme.

L'intensité du broutage zooplanctonique sur la communauté phytoplanctonique dans le lac Dayet Aoua présente des variations selon les différentes saisons. Ces dernières dépendent des variations, d'une part, de certains facteurs abiotiques tels que la température, le pH, l'oxygène dissous, et d'autre part, de paramètres biotique notamment la composition spécifique l'abondance des populations, les apports en nutriment et la relation trophique prédateur-proie.

Le zooplancton exerce, par un broutage sélectif, une pression différentielle sur certaines espèces algales présente dans le milieu. Ces dires sont conformes à celles obtenues dans d'autres milieux lacustres tels que le travail sur l'étude des variations saisonnières du broutage zooplanctonique sur le peuplement phytoplanctonique de la retenue de barrage Al Massira (Maroc) (Mokhliss, Moncef, and Alaoui 2001).

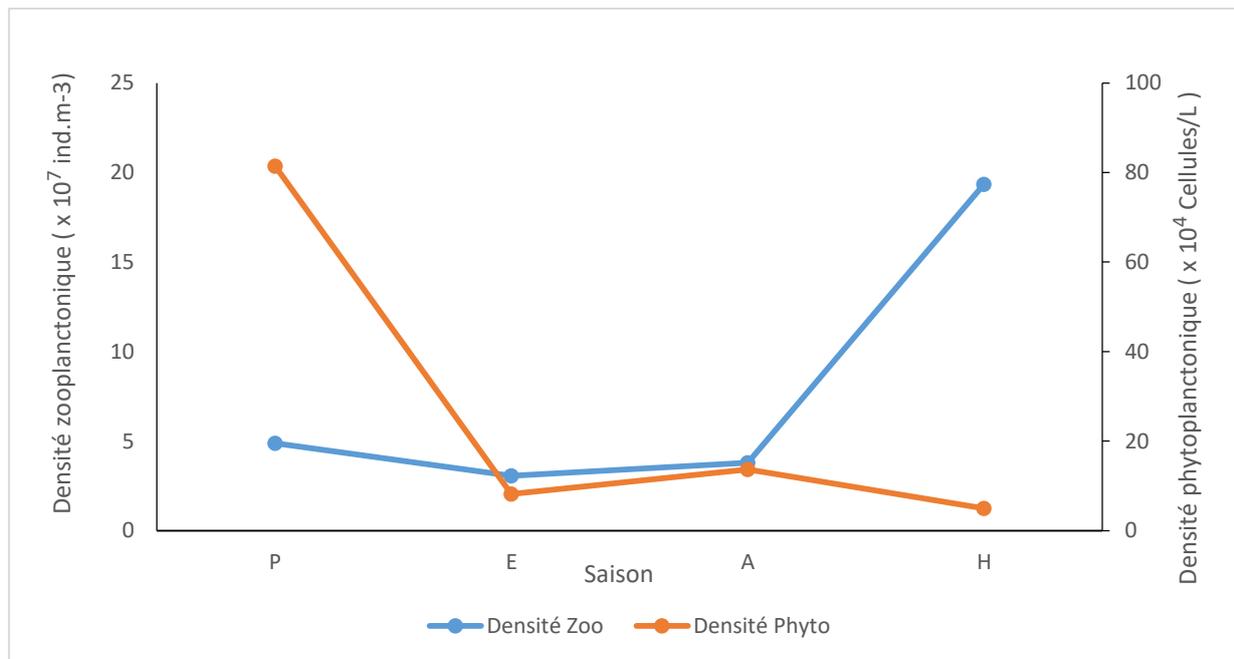


Figure 52 : Evolution annuelle de la densité phytoplanctonique (A) et zooplanctonique (B) dans le lac Dayet Aoua.

Conclusion générale

Ce travail de thèse avait pour objectifs de contribuer à la compréhension d'écologie des communautés planctoniques des eaux du lac Dayet Aoua.

Cette étude a permis d'étayer les connaissances sur le fonctionnement écologique de lac Dayet Aoua à travers un cycle annuel (pas d'échantillonnage bimensuel), une campagne allant de Mars 2015 à Février 2016 visant à caractériser l'environnement physico- chimique du milieu. Parallèlement d'une part et d'autre part une étude simultanée est faite pour suivre les interactions entre les communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques afin de comprendre le bon fonctionnement du système lacustre.

Pour ce faire, nous avons commencé par un état des lieux à travers une étude sur le réseau lacustre Dayet Aoua par une caractérisation spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques. Globalement ses résultats font apparaître de faibles variations ce qui atteste qu'il existe une déstratification permanente pendant toute la période de l'année. Cela s'explique par le brassage des eaux par le facteur vent qui homogénéise toute la colonne d'eau car cette dernière est caractérisée par une faible profondeur.

Le lac Dayet Aoua se distingue par des eaux alcalines, claires plus de 82 % des résultats sont supérieurs au niveau (4 m), oxygénées jusqu' au fond avec une moyenne de 7,69 mg. l⁻¹ (moy= 7,69 ±2,21). Les teneurs azotées (nitrite, nitrate, ammonium et azote total) et phosphorées (orthophosphate et phosphore total) restent faibles voir même en état de trace avec des moyennes consécutives exprimées en mg.l⁻¹ (0,021 ; 0,06 ; 0,19 ; 0,33 ; 0,12 et 0,11), ceci montre comme l'ont signalé (H. Abba et al. 2012) et (Fazul, Rachiq, and Mikou 2015) qu'il n'y a aucune trace de pollution organique dans le milieu. En se référant aux normes l'O.C.D. E pour classer l'état écologique du lac, d'après la moyenne en concentration de phosphore total, chlorophylle a et la transparence, les résultats confirment que le lac Dayet Aoua présente des eaux méso-oligotrophes et un état écologique bon pendant la période 2015-2016.

En raison d'alimentation du lac Dayet Aoua par le principal affluent « Oued el kantra » la dynamique globale du phytoplancton observée à l'échelle saisonnière est identique à celle des lacs peu profonds où il y a une dilution des eaux engendrée par la crue et qui provoque une baisse de densité (Huszar et Reynolds, 1997).

La communauté phytoplanctonique est généralement dominée par les *Cryptophycées* qui représentent 42,08%. Pendant la période d'étude on a pu recenser 34 espèces appartenant à 8 classes phytoplanctoniques différentes nous citons les *Zygothricées* avec un pourcentage de

27,73%, les *Chlorophycées* 21,68%, les *Cyanophycées* 6,61% et les *Chrysophycées*, *Diatomophycées*, *Euglenophycées* et *Dinophycées* avec des pourcentages très faibles ($\leq 1\%$).

Concernant la communauté zooplanctonique, c'est pour une première fois dans le lac Dayet Aoua qu'une étude rigoureuse est faite dans ce sens, on a pu recenser trois groupes zooplanctoniques appartenant à la famille des crustacés : les cladocères, les copépodes et les rotifères avec des pourcentages consécutives (82% ; 17% et 1 %).

En terme annuel saisonnier suivant la densité phytoplanctonique, une croissance printanière est observée et concomitamment une baisse de densité zooplanctonique est engendrée, et de même dans la période hivernale une baisse de la densité phytoplanctonique et une hausse de l'activité zooplanctonique ce qui certifie l'hypothèse d'une relation trophique entre ces deux communautés planctoniques. C'est à dire qu'il existe une relation trophique entre ses deux peuplements qui est due au phénomène de prédation important reliant ses deux compartiments planctoniques.

Nos résultats témoignent que notre écosystème est en état d'équilibre, mais malheureusement cette situation a l'heure actuelle à changer car le lac Dayet Aoua est dans un état d'assèchement cela est due d'une part au changement climatique qui a eu lieu et d'autre part au pompage des zones avoisinant pour l'irrigation cette situation alarmante nécessite une intervention rapide par l'état afin de préserver cet écosystème naturel.

Perspectives

Même si plusieurs études ont été faites sur le lac Dayet Aoua malgré les différents périodes d'assèchements qui il a connu, certains aspects restent à étudier afin de comprendre le bon fonctionnement du système lacustre, une étude fondamentale sur d'autres communautés planctoniques et benthiques ainsi que leurs métabolismes, reste nécessaire.

Le suivi annuel des taux des pesticides et leur bioaccumulation dans le réseau trophique ainsi que le suivi interannuel de l'état trophique du lac qui est actuellement devenue de premier ordre afin d'éviter un milieu eutrophe.

Références bibliographiques

- Abba, E, H Nassali, M Benabid, R El Ayadi, and H El Ibaoui. 2008. "Contribution a L'étude Physicochimique de L 'écosystème Lacustre Dayet Aoua Au Maroc." *Afrique SCIENCE* 4 (2): 306–17.
- Abba, H, H Nassali, M Benabid, H El Ibaoui, and L Chillasse. 2012. "Approché Physicochimique Des Eaux Du Lac Dayet Aoua (Maroc)." *Journal of Applied Biosciences* 58: 4262–70.
- ABHS. 2010. "Etude de Restauration Des Lacs Naturels Du Bassin de Sebou." Maroc.
- Allan, J David. 1976. "Life History Patterns in Zooplankton." *Chicago Journals* 110 (971): 165–80.
- Allaoui, Nouha El. 2018. "Qualité et Traitement Des Effluents Par Adsorption , Coagulation Floculation et Electrocoagulation: Optimisation Modélisation Des Résultats de Traitement."
- Amblard, C, J C Boisson, G Bourdier, D Fontvieille, X Gayte, and T Sime-Ngando. 1998. "Écologie Microbienne En Milieu Aquatique : Des Virus Aux Protozoaires." *Revue Des Sciences de L 'Eau* 11: 145–62.
- Arboleya, Maria Luisa, A. Teixell, M. Charroud, and M. Julivert. 2004. "A Structural Transect through the High and Middle Atlas of Morocco." *Journal of African Earth Sciences* 39 (3–5): 319–27. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.07.036>.
- Bandeira, Benjamin. 2013. "Écologie Des Communautés Zoo- Systèmes Littoraux Méditerranéens : Traitement de Séries Temporelles." université du sud Toulon -Var.
- Bartout, Pascal, Laurent Touchart, Armand Colin, and Annales De. 2013. "L ' Inventaire Des Plans D ' Eau Français: Outil D ' Une Meilleure Gestion Des Eaux de Surface." <https://doi.org/10.3917/ag.691.0266>.
- Basil, G, J Nirmal Kumar, and R Kumar. 2012. "Study on the Influence of Hydro-Chemical Parameters on Phytoplankton Distribution along Tapi Estuarine Area of Gulf of Khambhat, India." *Egyptian Journal of Aquatic Research* 38 (3): 157–70. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.12.010>.
- Benkaddour, Abdelfattah, Ali Rhoujjati, and nour el bait Majda. 2008. "Hydrologie et Sédimentation Actuelles Au Niveau Des Lacs Iffer et Agulmam Azigza." *Actes de La Quatrième Rencontre Des Quaternaristes Marocains (RQM4)*, no. December.
- Berman, T., B. F. Sherr, E. Sherr, D. Wynne, and J. J. McCarthy. 1984. "The Characteristics of Ammonium and Nitrate Uptake by Phytoplankton in Lake Kinneret." *Limnology and Oceanography* 29 (2): 287–97. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.2.0287>.
- Blanco, Ariel C., Kazuo Nadaoka, and Takahiro Yamamoto. 2008. "Planktonic and Benthic Microalgal Community Composition as Indicators of Terrestrial Influence on a Fringing Reef in Ishigaki Island, Southwest Japan." *Marine Environmental Research* 66 (5): 520–35. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.08.005>.
- Bonhomme, Céline. 2011. "Turbulences et Ondes En Milieu Naturel Stratifié : Deux Études de Cas : Étude Du Mélange Turbulent et Des Ondes Internes Du Lac Pavin (Auvergne , France); Influence Des Ondes de Rossby Sur La Concentration En Chlorophylle de Surface Dans L ' Upwelling ."
- Borass, Martin, and William Bennett. 1989. "A Demographic Profile of the Fastest Growing

- Metazoan: A Strain of *Brachionus Calyciflorus* (Rotifera).” *Wiley of Nordic Society Oikos* 55 (3): 365–69.
- Brander, KM, JA Lindley, S Souissi, PC Reid, and G Beugrand. 2003. “Plankton Effect on Cod Recruitment in the North Sea.” *Nature* 426 (2001): 661–64.
- Broutin, Mathias, Guillaume Caffier, Farida Madi, and Luis Artigas. 2011. “Synthèse Bibliographique Sur Les Techniques de Suivi de L’abondance, Biomasse et Diversité Du Phytoplancton En Eaux Marines.”
- Brown, Ted, and Jon Simpson. 2001. “Managing Phosphorus Inputs to Urban Lakes I. Determining the Trophic State of Your Lake.” *Urban Lake Management* 3 (log 10): 771–81.
- Cáceres, Carla E., and Daniel A. Soluk. 2002. “Blowing in the Wind: A Field Test of Overland Dispersal and Colonization by Aquatic Invertebrates.” *Oecologia* 131 (3): 402–8. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0897-5>.
- Calbet, A, S Garrido, E Saiz, M Alcaraz, and C Duarte. 2001. “Annual Zooplankton Succession in Coastal NW Mediterranean Waters: The Importance of the Smaller Size Fractions.” *Journal of Plankton Research* 23 (3): 319–31. <https://doi.org/10.1093/plankt/23.3.319>.
- Campy, Michel, and Jean-Jacques Macaire. 2003. “Géologie de La Surface : Érosion, Transfert et Stockage Dans Les Environnements Continentaux.” In , 2ème édit, 10:322–24.
- Carpenter, Stephen R. 1992. “FRESHWATER ECOSYSTEMS.” *Annual Review of Ecology and Systematics*. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.001003>.
- Chahboune, M, A Chahlaoui, A Zaid, and A Ben. 2013. “Contribution À L ’ Étude de L ’ État Trophique Du Barrage Hassan II (Province de Midelt , Maroc)[Contribution to the Study of the Trophic State of the Hassan II Reservoir (Province of Midelt , Morocco)]” 4 (6): 1019–28.
- Chebil-ajjabi, Leila, M Romdhane, and A El Abed. 2005. “Etude Comparative de L’absorption de L’azote Par Deux Espèces D’algues Rouges : *Gracilaria Verrucosa* (Hudson) Papenfuss, 1950 et *Gracilaria Bursa-Pastoris*(Gmelin) Silva, 1952.” *Natn. Scien. Tech.* 32 (3): 99–106.
- Cherifi, O. 2001. “Apports Du Bassin Versant et Processus Thermodynamiques Du Lac de Barrage Bin El Ouidane (Maroc).” Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences semlalia,Marrahech Maroc.
- Chilasse, L, M Dakki, and M Abassi. 2001. “Valeurs et Fonctions Écologiques Des Zones Humides Du Moyen Atlas (Maroc).” *Humedales Mediterraneos* 1: 139–46.
- Chilasse, Lahcen, and Mohamed Dakki. 2004. “Potentialités et Statuts de Conservation Des Zones Humides Du Moyen-Atlas (Maroc), Avec Référence Aux Influences de La Sécheresse.” *Séchresse* 15 (4): 337–45.
- Cohen, Jacob. 1988. “Set Correlation and Contingency Tables.” *Applied Psychological Measurement* 12 (4): 425–34. <https://doi.org/10.1177/014662168801200410>.
- Cyr, Helene, and Janelle M Curtis. 1999. “Zooplankton Community Size Structure and Taxonomic Composition Affects Size-Selective Grazing in Natural Communities.” *Oecologia* 118 (3): 306–15.

- Damiri, L, M Alaoui Mhamdi, and J Bahhou. 2002. "Dynamique Des Populations Microphytobenthiques Couplée À Leur Composition Biochimique Au Sein Du Réservoir Allal El Fassi (Maroc)." *Revue Des Sciences de L'eau* 15: 101–9. <https://doi.org/10.7202/705439ar>.
- Derraz, K, R El Alami, and M Alaoui-mhamdi. 2002. "Impact Du Zooplancton Métazoaire Sur Le Phytoplancton et Les Protozoaires Ciliés Dans Le Réservoir Sahela (Maroc)." *Revue Des Sciences de L'eau* 15: 111–22. <https://doi.org/10.7202/705440ar>.
- Derraz, Khalid. 2002. "Dynamique, Métabolisme et Impact Du Zooplancton Métazoaire Sur Le Phytoplancton et Les Protozoaires Ciliés Dans Un Réservoir Récemment Mis En Eau, Sahela (Maroc)." Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des sciences Dhar el mahraz. <https://doi.org/10.7202/705440ar>.
- Dodson, and Frey. 2001. *The Cladocera and Other Branchiopoda. In Ecology and Systematics of North American Freshwater Invertebrates*. Edited by Throp James and Covich Alan. Academic P.
- Druart, Jean-Claude. 2008. "Protocoles D'analyse Du Phytoplancton de L ' INRA : Prélèvement , Dénombrement et Biovolumes."
- Duarte, Carlos M, Susana Agusti, and Nona S R Agawin. 2000. "Response of a Mediterranean Phytoplankton Community to Increased Nutrient Inputs : A Mesocosm Experiment." *Marine Ecology* 195: 61–70.
- Etebaai, I, B Damnati, H Raddad, H Benhardouz, O Benhardouz, and H Miche. 2012. "Impacts Climatiques et Anthropiques Sur Le Fonctionnement Hydrogéochimique Du Lac Ifrah (Moyen Atlas Marocain)." *Hydrological Sciences Journal* 57 (3): 37–41.
- Etebaai, I, M Et, and Taieb. 2008. "L'environnement Du Lac Ifrah (Moyen Atlas, Maroc) : Physico-Chimie Des Eaux et Sédimentation Actuelle." *Africa Geoscience Review* 15 (4): 303–17.
- Fazul, Anissi. 2016. "Contribution À L 'étude Des Paramètres Physicochimiques , Phytoplanktoniques et Bactériologiques Du Réservoir Dayet Aoua (Moyen Atlas Maroc)." Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.
- Fazul, Anissi, Saad Rachiq, and Karima Mikou. 2015. "Structure Physicochimique et Phytoplanktonique Du Lac Dayet Aoua (Moyen Atlas - Maroc)." *Afrique SCIENCE* 11 (1): 187–97.
- Fazul, Anissi, Saâd Rachiq, Karima Mikou, and Said Hassane Saidomar. 2013. "Contribution À L 'Étude de La Flore Aquatique D ' Un Lac de Montagne : Lac Dayet Aoua (Maroc)." *Afrique SCIENCE* 9 (3): 103–12.
- Felip, M. 2000. "The Relationship between Phytoplankton Biovolume and Chlorophyll in a Deep Oligotrophic Lake: Decoupling in Their Spatial and Temporal Maxima." *Journal of Plankton Research* 22 (1): 91–106. <https://doi.org/10.1093/plankt/22.1.91>.
- Fernández de Puellas, M. Luz, and Juan Carlos Molinero. 2007. "North Atlantic Climate Control on Plankton Variability in the Balearic Sea, Western Mediterranean." *Geophysical Research Letters* 34 (4): 1–5. <https://doi.org/10.1029/2006GL028354>.
- Fogg, G, W Stewart, and A Walasby. 1973. *THE BLUE-GREEN ALGAE*. Academic P.
- Fryer, G. 1985. "Crustacean Diversity in Relation to the Size of Water Bodies: Some Facts and

- Problems.” *Freshwater Biology* 15 (3): 347–61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1985.tb00206.x>.
- Gardner, G.A, and I Szabo. 1982. “British Columbia Pelagic Marine Copepoda: An Identification Manual and Annotated Bibliography.” *Fish. Aquat. Sci* 62: 536.
- Geneviève, Le févre-Lehoerff. 1985. “Technique Utilisées Pour L’étude Du Zooplancton Sur Les Sites Des Centrales Nucléaires Des Cotés Francaises de Manche et Atlantique.”
- Ghazali, D, and A Zaid. 2013. “Etude De La Qualite Physico-Chimique Et Salama-Jerri (Region De Meknes – Maroc).” *Larhyss Journal*, 25–36.
- Groga, Noël. 2012. “Structure, Fonctionnement et Dynamique Du Phytoplancton Dans Le Lac de Taabo (Côte d’Ivoire).”
- H.C.E.F.L.C.D. 2007. “Plan D’action Du Haut Commissariat Aux Eaux et Forets et a La Lutte Contre La Desertification.” Vol. 0.
- Hanisak, Dennis, and Marilyn Harlin. 1978. “Uptake of Inorganic Nitrogen by *Codium Fragile* Subsp. *Tomentosoides* (Chlorophyta).” *J. Phycol* 14: 450–55.
- Hasnaoui, M, S Souissi, J Kassila, M Droussi, and M Loudiki. 2002. “Variabilité Des Descripteurs Physiques , Chimiques et Phytoplanctonique Dans Des Étangs D ’Alevinage (Station de La Deroua , Béni-Mellal , Maroc).” *Revue Des Sciences de L ’Eau* 15 (1). <https://doi.org/10.7202/705459ar>.
- Havel, John E., and Kim A. Medley. 2006. “Biological Invasions across Spatial Scales: Intercontinental, Regional, and Local Dispersal of Cladoceran Zooplankton.” *Biological Invasions* 8 (3): 459–73. <https://doi.org/10.1007/s10530-005-6410-4>.
- Holm-Hansen, Osmund, Carl J Lorenzen, Robert W Holmes, and John D Strickland. 1965. “Fluorometric Determination of Chlorophyll.”
- Huszar, V. L D M, and Colin S Reynolds. 1997. “Phytoplankton Periodicity and Sequences of Dominance in an Amazonian Flood-Plain Lake (Lago Batata, Para, Brazil): Responses to Gradual Environmental Change.” *Hydrobiologia* 346: 169–81. <https://doi.org/10.1023/A:1002926318409>.
- Hutchinson. 1976. *Treatise on limnology: Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton*. Vol. 2.
- Hutchinson, G, and H Loffler. 1956. “The Thermal Classification of Lakes.” *Geophysics, Proc.N.A.S.* 42: 84–86.
- Jamet, J. L., N. Jean, G. Bogé, S. Richard, and D. Jamet. 2005. “Plankton Succession and Assemblage Structure in Two Neighbouring Littoral Ecosystems in the North-West Mediterranean Sea.” *Marine and Freshwater Research* 56 (1): 69–83. <https://doi.org/10.1071/MF04102>.
- Jones, R L, A S Fulcher, J K U Jayakody, and A J Shine. 1995. “The Horizontal Distribution of Plankton in a Deep , Oligotrophic Lake - Loch Ness , Scotland.” *Freshwater Biology*, 161–70.
- Ki-Tai, Kim, and Travers Marc. 1995. “Utilite Des Mesures Dimensionnelles et Des Calculs de Surface et Biovolume Du Phytoplancton: Comparaisons Entre Deux Ecosystemes Differents.” *Marine Nature* 4: 43–71.

- Labry, Claire. 2001. "Dynamique Du Phosphore et Rôle Comme Facteur Limitant de La Production Planctonique Dans Le Panache de La Gironde Sur Le Plateau Continental Sud Gascogne."
- Laforsch, Christian, Laura Beccara, and Ralph Tollrian. 2006. "Inducible Defenses: The Relevance of Chemical Alarm Cues in *Daphnia*." *Limnology and Oceanography* 51 (3): 1466–72. <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.3.1466>.
- Lamb H.F., Gasse F., Benkaddour A., El Hamouti N., Van Der Kaars S., Perkins W.T., Pearce N.J. et Roberts C.N. 1995. "Relation between Century-Scale Holocene Arid Intervals in Tropical and Temperate Zones." *NA* 373 (6510): 134–37.
- Lampert, Luis. 2001. "Dynamique Saisonniere Et Variabilite Pigmentaire Des Populations Phytoplanctoniques Dans L'Atlantique Nord (Golfe De Gascogne)." Université de Bretagne occidentale.
- Lampert, Winfried. 1989. "The Adaptive Significance of Diel Vertical Migration of Zooplankton." *Functional Ecology* 3 (1): 21–27.
- Laplace-treuture, Christophe, Jacques Barbe, and Alain Dutartre. 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." *Inra*, 2009.
- Leboulanger, Christophe. 2001. "Dynamique de La Production Phytoplanctonique et de La Biomasse Chlorophyllienne Dans Le Léman." *Rapport de Communication Intérieure de Protection Des Eaux Du Léman Contre La Pollution*.
- Lehner, Bernhard, and Petra Do. 2004. "Development and Validation of a Global Database of Lakes , Reservoirs and Wetlands." *Journal of Hydrology* 296: 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.03.028>.
- Litchman, Elena, and Christopher A. Klausmeier. 2001. "Competition of Phytoplankton under Fluctuating Light." *The American Naturalist* 157 (2): 170–87. <https://doi.org/10.1086/318628>.
- Lods-Craze, Brigitte. 2014. "Biologie et Écologie 2," 25–29.
- Lorena, Maria. 2010. "Patrons de Distribution et de Diversité Du Phytoplancton Lacustre."
- Lynch, Michael. 1980. "Aphanizomenon Blooms: Alternate Control and Cultivation by *Daphnia Pulex*." In *Evolution and Ecology of Zooplankton Communities*, 299–304.
- Macintyre, Hugh L., Todd M. Kana, and Richard J. Geider. 2000. "The Effect of Water Motion on Short-Term Rates of Photosynthesis by Marine Phytoplankton." *Trends in Plant Science* 5 (1): 12–17. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01504-6](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01504-6).
- Maguire, Jr. 1963. "The Passive Dispersal of Small Aquatic Organisms and Their Colonization of Isolated Bodies of Water." *Ecological Society of America* 33 (2): 161–85. <https://doi.org/10.1080/10635150390238888>.
- Magurran, Anne. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton,.
- Mark, Richardson. 2009. "Principal Component Analysis." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Vol. 2.
- Martin, J. 1981. "Le Moyen Atlas Central Étude Géomorphologique." In *Notes et Mémoires Du Service Géologique*, 447. n° 258 bis. Rabat (Maroc).

- MDIDECH, J. 2008. “Comment Faire Revivre Dayet Aoua? – Lavieeco.” 2008. <https://www.lavieeco.com/news/maroc/societe/comment-faire-revivre-dayet-aoua-12311.html>.
- Mehanned, S, A Chahlaoui, A Zaid, M Chahboune, and A Dehbi. 2014. “Estimation de La Charge de Pollution Bactériologique Des Eaux Des Deux Affluents (Mikkés et Mellah) et Son Impact Sur La Qualité Microbiologique Des Eaux Du Barrage Sidi Chahed (Maroc).” *Journal of Engineering* 4 (9): 1–10.
- Mehanned, S, A Chahlaoui, A Zaid, M Samih, and M Chahboune. 2014. “Typologie de La Qualité Physico-Chimique de L ’ Eau Du Barrage Sidi Chahed - Maroc (Typology of the Physic-Chemical Quality of the Waters of the Dam Sidi.” *Journal of Materials and Environmental Science* 5 (5): 1633–42.
- Mehanned, S, A Chahlaoui, A Zaid, M Samih, M Chahboune, and A Dehbi. 2014. “Caractérisation Hydrochimique et L ’ Apport Des Systèmes D ’ Informations Géographiques (SIG) À L ’ Evaluation de La Qualité Des Eaux Superficielles Du Barrage Sidi Chahed et Ses Affluents (Meknès , Maroc).” *International Journal of Innovative Resarch in Advanced Enineering* 1 (6): 440–52.
- Mehanned, S, A Zaid, and A Chahlaoui. 2014. “Etude Bactériologique Comparative Du Lac Réservoir Du Barrage Sidi Chahed et Ses effluents:Mekkes et Mellah.” *Larhyss Journal* 18: 143–53.
- Menel, Merad. 2015. “Méthodes ACP et AFC En Statistiques et Leurs Applications.” Algérie.
- Mercado, Jesús M Jesus M, Teodoro Ramirez, Dolores Cortes, Marta Sebastian, Manolo Vargas-Yanez, Teodoro Ramírez, Dolores Cortés, Marta Sebastián, and Manuel Vargas-Yáñez. 2005. “Seasonal and Inter-Annual Variability of the Phytoplankton Communities in an Upwelling Area of the Alboran Sea (SW Mediterranean Sea).” *Scientia Marina* 69 (3): 451–65. <https://doi.org/10.3989/scimar.2005.69n4451>.
- Minnesota pollution control agency. 2008. “Nutrients: Phosphorus, Nitrogen Sources, Impact on Water Quality -,” 2008.
- Mokhliss, K, M Moncef, and L Alaoui. 2001. “Etude Des Variations Saisonnières Du Broutage Zooplanctonique Sur Le Peuplement Phytoplanktonique de La Retenue de Barrage Al Massira (Maroc).” *Hydroécologie Appliquée* 13 (2): 175–91.
- Moss, Brian. 2010. *ECOLOGY OF FRESHWATERS*. Edited by Ltd A John Wiley & Sons. Fourth edi. University of Liverpool, UK.
- Müller, O.F. 2009. “Daphnia Longispina | DORIS.” 2009. <http://doris.ffesm.fr/Especies/Daphnia-longispina-Daphnie-a-longue-epine-1922>.
- MUR L.R., SKUMBERG O.M. & UTKILEN H. 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water : A Guide to Their Public Health Consequences , Monitoring and Management*. WHO Ed. E.
- Nechad, Imane. 2017. “Les Sources Du Moyen Atlas : Physicochimie, Faunistique, Écologie et Intérêt Socio-Économique.” Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques.
- Nielsen, D. L., T. J. Hillman, F. J. Smith, and R. J. Shiel. 2000. “The Influence of Seasonality and Duration of Flooding on Zooplankton in Experimental Billabongs.” *River Research and Applications* 18 (3): 227–37. <https://doi.org/10.1002/rra.641>.

- P.Bourrelly. 1968. *Les Algues D'eau Douce : Les Algues Jaunes et Brunes*". N. Boubée.
- Pelechaty, Mariusz, and Paweł M Owsiany. 2003. "Horizontal Distribution of Phytoplankton as Related to the Spatial Heterogeneity of a Lake – a Case Study from Two Lakes of the Wielkopolski National Park (Western Poland)." *Hydrobiologia*, 195–96.
- Pelikán, Petr, and Jana Marková. 2013. "Wind Effect on Water Surface of Water Reservoirs." *Acta Univer LXI* (6): 1823–28.
- Proctor, Vernon. 1964. "Viability of Crustacean Eggs Recovered From Ducks." *Ecological Society of America* 45 (3): 656–58.
- Québec, Centre d 'expertise en analyse environnementale du. 2012. "Identification, Dénombrement et Estimation Du Biovolume Des Cyanobactéries et Des Algues." Vol. 25.
- Rachiq, Saad. 2003. "Structure et Fonctionnement Du Peuplement Phytoplanctonique et Capacités Phagotrophes Des Microalgues Dans Le Réservoir Allal El Fassi (Maroc)." Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Fes.
- Rachiq, S, M Raoui, N Chadli, M Amblard, M M Alaoui, J F Carrias, T Sime-ngando, and D Sargos. 2002. "Potentialités Phagotrophes Des Phytoflagellés Dans La Retenue de Barrage Allai El Fassi (Maroc)." *Revue Des Sciences de L'eau* 15 (1): 87–99. <https://doi.org/10.7202/705438ar>.
- Raoui, S, S Rachiq, Alaoui Mhamdi, and N Chadli. 2002. "Processus D 'Eutrophisation : Activité de La Phosphatase Alcaline Du Microplancton D 'Un Réservoir Méso-trophe Marocain (Allal El Fassi)." *Revue Des Sciences de L'eau* 15 (1): 51–62. <https://doi.org/10.7202/705435ar>.
- Rasmus, Bro, and Smilde Age. 2014. "Principal Component Analysis." *Journal of Business and Economic Statistics* 32 (2): 153–64. <https://doi.org/10.1080/07350015.2013.818006>.
- Reckhow, Kenneth, and Steven Chapra. 1985. "Book Reviews." In *Engineering Approaches for Lake Management*, 58:385–98. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8341.1985.tb02657.x>.
- Reid, Craig E. Williamson and Janet W. 2007. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Edited by Thorp James and Covich Alan. *Development*. Second edi. Academic press.
- Reid, J. W., and C. E. Williamson. 2001. *Copepoda :Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Edited by Alan Covich and James Thorp. Academic P.
- Reynolds, Colin. 2006. *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge.
- Rhoujjati, A, M Nourelbait, A Benkaddour, B Damnati, A Baali, M Taieb, M Decobert, F Malek, and R Cheddadi. 2012. "Significations Paléoenvironnementales Des Dépôts Du Remplissage Holocène Du Lac Iffer (Moyen Atlas,Maroc)." *Quaternaire* 23 (3): 241–52.
- Richards, FA, and TG Thompson. 1952. "The Estimation and Characterization of Plankton Populations by Pigment Analyses. II. A Spectrophotometric Method for the Estimation of Plankton Pigments." *J. Marine Res* 12: 156–72. <https://doi.org/10.1098/rspa.1963.0204>.
- Richardson, Anthony. 2008. "In Hot Water: Zooplankton and Climate Change." *Ices Journal of Marine Science* 65: 279–95.
- Riessen, Howard P. 1999. "Predator-Induced Life History Shifts in *Daphnia* : A Synthesis of

- Studies Using Meta-Analysis.” *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56 (12): 2487–94. <https://doi.org/10.1139/f99-155>.
- RIMET, Frédéric. 2011. “Phytoplancton Du Léman : Campagne 2010 TT - The Phytoplankton of Lake Geneva: Campagne 2010.” *Rapports Sur Les Etudes et Recherches Entreprises Dans Le Bassin Lémanique* d (1958): 99–107. <http://www.cipel.org/sp/IMG/pdf/phyto-leman.pdf%5Cnhttp://www.cipel.org>.
- Rita, Adrian, and Frost Thomas. 1993. “Omnivory in Cyclopoid Copepods : Comparisons of Algae and Invertebrates as Food for Three , Differently Sized Species.” *Journal of Plankton Research* 15 (6): 643–58.
- Robert, Pennak. 1946. “The Dynamics of Fresh-Water Plankton Populations.” *Ecological Monographs* 16 (4): 339–55.
- Rodier, Jean, Bernard Legube, and N. Merlet. 2009. *Analyse de L'eau Rodier. 9ème Edition*.
- Rossi, Nadège. 2008. “Écologie Des Communautés Planctoniques Méditerranéennes et Étude Des Métaux Lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) Dans Différents Compartiments de Deux Écosystèmes Côtiers (Toulon, France).” université du Sud Toulon-Var.
- Ryther, John H, and William M Dunstan. 1971. “Nitrogen, Phosphorus, and Eutrophication in the Coastal Marine Environment.” *Science* 171 (3975): 1008–13. <https://doi.org/10.1126/science.171.3975.1008>.
- Sarma, S S S, and Manuel Elias-gutii Rrez. 1999. “Rotifers (Rotifera) from Four Natural Water Bodies of Central Mexico.” *Limnologia* 29: 475–83.
- Sayad, A, S Chakiri, A Chahlaoui, and Z Bejjaji. 2012. “Impact Des Stress Hydriques Sur Les Potentiels de Dayet Aoua (Moyen Atlas-Maroc).” *Science Lib* 4 (120604).
- Sayad, Ahmed. 2010. “Impact de L'évolution Du Climat Sur Le Niveau de Dayet Aoua Dans Le Moyen Atlas Marocain” 21 (4): 245–51.
- Secrétariat d'état chargé de l'eau et d'environnement. 2015. “Eau - Secrétariat d'Etat Auprès Du Ministre de L'énergie, Des Mines et Du Développement Durable, Chargée Du Développement Durable.” 2015. <http://www.environnement.gov.ma/fr/strategies-et-programmes/2015-03-05-14-24-23/eau>.
- Seebens, H, D Straile, R Hoegg, H Stich, and U Einsle. 2007. “Population Dynamics of a Freshwater Calanoid Copepod: Complex Responses to Changes in Trophic Status and Climate Variability.” *Limnology and Oceanography* 52 (6): 2364–72. <https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.6.2364>.
- Shaharudin, A, and S Toshio. 2011. “Cyclomorphism in *Bosmina Longirostris* (Crustacea : Cladocera).” *Sains Malaysiana* 40 (6): 543–47. <http://doi.wiley.com/10.2307/1935317>.
- Sieburth, J.McN., Smatacek, V. and Lenz, J. 1978. “Pelagic Ecosystem Structure: Heterotrophic Compartments of the Plankton and Their Relationship to Plankton Size Fractions.” *Limnol Oceanogr* 23 (6): 1256–63.
- Simpson, E.H. 1949. “Measurement of Diversity.” *Nature* 163 (1946): 688.
- Smith, V, G Tilman, and J Nekola. 1999. “Eutrophication : Impacts of Excess Nutrient Inputs on Freshwater , Marine , and Terrestrial Ecosystems Marine , and Terrestrial Ecosystems.” *Environmental Pollution* 100: 179–96. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3).

- Soulié-märsche, I, A Benkaddour, N El Khiati, P Gemayel, and M Ramdani. 2008. "Charophytes , Indicateurs de Paléobathymétrie Du Lac Tigalmamine (Moyen Atlas , Maroc) Charophytes , Indicators of Paleobathymetry of Lake Tigalmamine (Middle Atlas , Morocco)." *Geobios* 41: 435–44. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2007.10.004>.
- Soullignac, Frédéric, Bruno J. Lemaire, José Rodolfo Martins, Céline Bonhomme, Ioulia Tchiguirinskaia, D Schertzer, and Brigitte Vinçon-Leite. 2015. "Mixing Regime of a Shallow Urban Lake, Lake Créteil, France: Measurements and Simulations," August. <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01225525>.
- Sournia, A, and M Ricard. 1991. "Marine Phytoplankton : How Many Species in the World Ocean ?" *Journal of Plankton Research* 13 (5): 1093–99.
- Spineux, Yanick. 2008. "Le Zooplancton Des Eaux Douces de Nos Régions." *Revue Trimestrielle de La Société Royale Cercles Des Naturalistes de Belgique Asbl*, 2008.
- Straile, Dietmar, David M Livingstone, Gesa A Weyhenmeyer, and D Glen George. 2003. "The Response of Freshwater Ecosystems to Climate Variability Associated with the North Atlantic Oscillation." *The North Atlantic Oscillation -Climatic Significance and Environmental Impact*, 263–79.
- Tollrian, R, and C Laforsch. 2006. "Linking Predator Kairomones and Turbulence: Synergistic Effects and Ultimate Reasons for Phenotypic Plasticity in *Daphnia Cucullata*." *Archiv Für Hydrobiologie* 167 (1): 135–46. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2006/0167-0135>.
- Travers, M. 1971. "Diversité Du Microplancton Du Golfe de Marseille En 1964." *Marine Biology* 8 (4): 308–43. <https://doi.org/10.1007/BF00348011>.
- United nations educational scientific and cultural organization (U.N.E.S.C.O). 1966. *Determination of Photosynthetic Pigments in Sea-Water*.
- UTERMÖHL, H. 1958. "Zur Vervollkom-Mnung Der Quantitativen Phytoplankton-Method"." In , *limnol*, 1–39.
- Vinc, Brigitte, and Bruno J Lemaire. 2014. "Long-Term Temperature Evolution in a Deep Sub-Alpine Lake , Lake Bourget , France : How a One-Dimensional Model Improves Its Trend Assessment." *Hydrobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1818-4>.
- Wallace, Robert Lee, and Hilary April Smith. 2013. "Rotifera." In *eLS*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001588.pub2>.
- Wartiti, M EL, A Malaki, N EL Mahmoudi, Rajae Azelmad, R Sadki, and S Berred. 2016. "Les Geomorphosites Du Causse Moyen Atlasique Marocain:un Circuit Geotouristique a Developper." *International Journal of Innovation and Applied Studies* 18 (3): 773–83.
- WETZEL. 1983. "Periphyton of Freshwater Ecosystems." In , 346.
- Wetzel, Robert G. 1986. *Limnology :Lake and River Ecosystems*. Third Edit.
- William, M, and Jr Lewis. 1983. "A Revised Classification of Lakes Based on Mixing '." In , 1179–1787.
- Winfried, Lampert and Ulrich, Sommer. 2007. "Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams." In *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*, second edi, 324. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn013>.
- Wojciech Pęczuła. 2013. "Phytoplankton Diversity Related to Habitat Heterogeneity of Small

and Shallow Humic Lake P Ł Otycze (Eastern Poland).” *Teka Kom. Ochr. Kszt.*, no. February.

Xu, Runlin, and Gertrud Cronberg. 2010. “Planktonic Ciliates in Western Basin of Lake Ringsjön, Sweden: Community Structure, Seasonal Dynamics and Long-Term Changes.” *Protistology* 6 (3): 173–87.

Zaret, Thomas M., and W. Charles Kerfoot. 1975. “Fish Predation on *Bosmina Longirostris*: Body-Size Selection Versus Visibility Selection.” *Ecology* 56 (1): 232–37. <https://doi.org/10.2307/1935317>.

Annexes

Liste floristique des algues recensées

Chlorophycées

- **Ankistrodesmus falcatus*,
- **Dictyosphaerium pulchellum*,
- **Oocystis lacustris*,
- **Oocystis solitaria*,
- **Oocystis sp*,
- **Pediastrum boryanum*,
- **Selenastrum capricornutum*,
- **Ulothrix sp*,
- **Crucigenia rectangularis*,
- **Crucigenia sp*,
- **Sphaerocystis sp*,
- **Monoraphidium sp*,
- **Selenastrum bibraianum*,
- **Chlamydomonas sp*
- **Scenedesmus sp*.

Zygothycées

- **Staurastrum*,
- **Mougeotia sp*, **Spirogyra*,
- **Cosmarium vestatum*,
- **Closterium sp*
- **Gonatozygon*

Cyanophycées

- **Spirulina sp*,
- **Oscillatoria sp*
- **Anabaena sp*

Cryptophycées

- **Rhodomonas*,
- **Cryptomonas marsonii*
- **Cryptomonas ovata*

Diatomophycées

- **Asterionella formosa*,
- **Diatoma*,
- **Fragilaria sp*
- **Navicula sp*

Dinophycées

- **Peridinium sp*

Chrysophycées

- **Mallomonas sp*

Euglenophycées

- **Trachelomonas sp*

Composition du peuplement phytoplanctonique

Classe : Chlorophycées

Ordre : Chlorococcales

Famille : Chlorococcacées

Crucigenia rectangularis

Famille : Oocystacées

Oocystis lacustris

Oocystis sp.

Ankistrodesmus falcatus

Monoraphidium sp.

Ordre : Volvocales

Famille : Chlamydomonadacées

Chlamydomonas sp.

Famille : Hydrodictyacées

Pediastrum boryanum

Famille : Palmellacées

Sphaerocystis schroeteri

Sphaerocystis sp.

Famille : Scenedesmacées

Scenedesmus falcatus

Scenedesmus sp.

Ordre : Chlorellales

Famille : Chlorellaceae

Dictyosphaerium pulchellum

Ordre : Sphaeropleales

Famille : Selenastraceae

Selenastrum capricornutum

Ordre : Ulotrichales

Famille : Ulotrichaceae

Ulotrix

Classe : Euglénophycées

Ordre : Euglenales

Famille : Euglenaceae

Trachelomonas sp.

Classe : Cryptophycées

Ordre : Cryptomonadales

Famille : Cryptomonacées

Cryptomonas ovata

Cryptomonas marssonii

Ordre : Pyrenomonadales

Famille : Pyrenomonadaceae

Rhodomonas

Classe : Cyanophycées

Ordre : Nostocales

Famille : Nostocacées

Anabaena solitaria

Anabaena sp.

Famille : Oscillatoriacées

Oscillatoria sp.

Spirulina laxa

Spirulina sp.

Classe : Dinophycées

Ordre : Peridinales

Famille : Peridiniaceae

Peridinium sp.

Classe : Chrysophycées

Ordre : Ochromonadales

Famille : Synuracées

Mallomonas sp.

Classe : Diatomophycées

Ordre : Naviculales

Famille : Naviculacées

Navicula sp.

Ordre : Tabellariaceae

Famille : Tabellariaceae

Asterionella

Ordre : Araphidineae

Famille : Fragilariaceae

Fragilaria

Classe : Zygothycées

Ordre : Zygonématales

Famille: Desmidiacées

Closterium sp.

Cosmarium sp.

Cosmarium vestatum

Famille : Mésotaeniacées

Gonatozygon sp.

Straustrum sp.

Famille : Zygnématacées

Mougeotia sp.

Spirogyra sp.

Liste de biovolumes de différentes espèces recensées

Espèces	Biovolumes
Chlorophycées	
<i>Anki falcatus</i>	280
<i>dictyosphaerium pulchellum</i>	5800
<i>oocystis sp</i>	424
<i>Pédiastrum boryanum</i>	135229
<i>selenastrum capricornatum</i>	17
<i>ulothrix sp</i>	1600
<i>crucegenia rectangularis</i>	520
<i>Sphaerosystis sp</i>	449
<i>selenastrum capricornatum</i>	17
<i>Monoraphidium</i>	49
<i>scendesmus</i>	300
<i>oocystis. lacustris</i>	1206
<i>chlamydomonas sp</i>	3050
Zygophycées	
<i>staurastrum</i>	8482
<i>mougeotia sp</i>	5400
<i>spirogyra</i>	44179
<i>Cosm vestatum</i>	1 099
<i>closterium sp</i>	624
<i>gonatozygon</i>	5400
Cryptophycées	
<i>cryptomonas ovata</i>	1 350
<i>cryptomonas marsoni</i>	100
<i>rhodomonas</i>	297
Cyanophycées	
<i>spirulina sp</i>	177
<i>oscillatoria sp</i>	491
<i>anabaena sp</i>	1884
Diatomophycées	
<i>diatoma</i>	960
<i>fragilaria sp</i>	90
<i>Navicula sp</i>	60
Chrysophycées	
<i>mallomonas sp</i>	800
Euglénophycées	
<i>trachelomonas sp</i>	900