

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida -1-



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme de Master II en

Ecosystèmes aquatiques

Thème

**L'utilisation des diatomées dans la biosurveillance des eaux
du lac de barrage Keddara (wilaya de Boumerdes)**

Réalisé par :

Bellache Karima

Et

Kadi Khaoula

Soutenu le 14/07/2021 à 10h 00 devant le jury composé de :

Mr. ALLAOUI A.

MAB, USDB 1

Président

Mme. FAIDI H.

MAA, USDB 1

Examinatrice

Mme EL HAOUATI H.

MRB, CNRDPA

Promotrice

Mme KHETTAR S.

MAA, USDB 1

Co-promotrice

Année universitaire 2020 - 2021

Résumé

La directive-cadre sur l'eau de l'UE inclut le phytoplancton comme l'un des quatre éléments biologiques à utiliser dans l'évaluation de l'état écologique des eaux de surface. Dans cet étude, nous établissons l'état écologique du lac de barrage Keddara de wilaya de .Boumerdes sur la base de données phytoplanctoniques et physicochimiques de l'eau du lac et à l'aide d'utilisation de l'indice diatomique générique l'IDG.

Le suivi de l'évolution des neuf paramètres abiotiques effectués (température, oxygène dissous, conductivité électrique, transparence, potentiel hydrogène, azote ammoniacal, nitrites, nitrates et phosphates) et les paramètres biotiques (évaluation quantitative et qualitative de la diversité des peuplements diatomiques et la chlorophylle « a ») a été réalisé durant la période allant du janvier 2018 au mois d'avril 2019 dans six stations représentatives du barrage.

Les résultats des paramètres abiotiques montrent que les eaux du barrage de Keddara sont classées comme des eaux de qualité bonne à très bonne. Par ailleurs, l'étude diatomique montre que le site abrite 34 espèces dominées par l'espèce *Stephanodiscus* cf. *neoastraea*. Selon les résultats de l'IDG les eaux du barrage de Keddara sont de qualité passable.

Mots clé : phytoplancton, barrage de Keddara, indice diatomique générique IDG, qualité de l'eau.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU le tout puissant et le Miséricordieux de m'avoir illuminé et ouvert les portes du savoir en donnant la volonté, le courage et la patience afin d'accomplir ce travail.

Un grand remerciement à ma promotrice Mme EL HAOUATI Habiba, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour ses efforts, ses conseils, ses orientations, sa patience, son encouragement et son soutien tout au long du projet.

Je remercie également ma Co-promotrice Mme KHETTAR Siham pour tous ses efforts, ses conseils et ses orientations dans ce projet.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury notamment :

Mr ALLAOUI pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Et, Mme FAIDI qui m'a fait l'honneur également de participer au jury et examiner mon travail.

Par la même chaleur, je tiens à remercier de nombreuses personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, nous avons remercié également Mr. GUECHAOUI et l'ensemble du personnel des deux laboratoires d'aquaculture et d'écosystèmes aquatiques du CNRDPA.

Mes remerciements vont à l'ensemble de l'équipe pédagogique et les enseignants qui contribuèrent à ma formation, et à toutes les personnes qui, par leurs conseils, leur collaboration ou leur soutien moral et leur amitié, ont contribué à la réalisation et à l'achèvement de ce travail.

Finalement, je tiens à exprimer mon profonde gratitude à mes parents qui m'ont toujours soutenu dans ma vie.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père Ahmed BELLACHE.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Fatiha TAFAT

A mes chère sœur Sarah et Manel et mes cher frère Noureddine et Rabah qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A ma grand-mère, mes oncles et mes tantes. Que dieu leurs donne une longue et joyeuse vie

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

A mes chères amies Amina et Imane. Que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

Et à Mme El-Haouati pour son soutien, son assistance, ses encouragements et ses conseils dans ce travail.

Sans oublier mon binôme KADI Khaoula pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

BELLACHE KARIMA

Dédicace

Avec l'aide et la protection d'ALLAH s'est réalisé ce travail.

Je dédie ce travail aux deux personnes les plus chers à mon cœur mes parents, sans que je ne serais jamais ce que je suis aujourd'hui, je ne vous remercierais jamais assez pour votre confiance, présence et surtout pour votre amour et soutien ; que Allah vous garde pour moi.

A mes sœurs Maissa et Fatima et mon frère Sid Ahmed.

A ma belle-famille Kadi.

A Madame El-Haouati qui nous a trop aidées à réaliser ce travail

A mon binôme Karima et mes amies Imane, Amina, Et à tous ceux qui croient à la réussite.

KADI KHAOULA

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur le plancton	2
I.2. Phytoplancton	2
I.2.1. Caractéristiques du phytoplancton	2
I.2.2. Groupes de phytoplancton d'eau douce	3
I.2.3. Rôle du phytoplancton	4
I.3. Classe des Bacillariophycées ou Diatomées	4
I.3.1. Taxonomie et classification	5
I.3.2. Cycle de développement	5
I.3.3. L'écologie et habitat	6
I.3.4. Diatomées et évaluation de la qualité des milieux lacustres	6
I.3.5. Importance de diatomées	6
I.4. Indices biologiques	6
I.4.1. L'indice diatomique générique (IDG).....	7
I.5. Présentation du site	8
I.5.1. Historique du barrage Keddara	8
I.5.2. Situation géographique et morphométrie de barrage	8
I.5.3. Géologie du site	9
I.5.4. Hydrologie	10
I.6. Climatologie	11
I.6.1. Pluviosité	11

I.6.2. Vent	12
I.6.3. Température	13
I.6.4. Humidité	13
I.6.5. Synthèse climatique	14
1. Diagramme pluviothermique de GAUSSEN et BAGNOULS	14
2. Climagramme d'EMBERGER	15

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1. Présentation des périodes de prélèvements	16
II.2. Présentation des points de prélèvement	16
II.3. Méthodes d'échantillonnage	18
II.3.1. Mode de prélèvement	18
1. prélèvement de l'eau	19
2. prélèvement de phytoplancton	19
3. chlorophylle « a »	19
II.4.2. Matériel de prélèvement et d'analyse	19
II.5. Etude des paramètres physico-chimiques.....	19
II.5.1. Paramètres mesurés in situ	19
II.5.2. Paramètres mesurés ex-situ	20
II.6. Etude de phytoplanctons.....	20
II.6.1 Echantillonnage du phytoplancton	20
II.6.2. Conservations des échantillons	20
II.6.3. Préparation de l'échantillon	20
II.6.4. Comptage et identification des diatomées	20
II.6.5. Organisation et structure du peuplement	21
II.6.5.1. La richesse spécifique	21

II.6.5.2. La densité des espèces	22
II.6.5.3. L'abondance ou la fréquence relative	22
II.6.6. Etude de l'évolution spatio-temporelle de la diversité spécifique	22
II.6.6.1. Les indices de diversité	22
➤ Indice de Shannon-Wiener (H')	22
➤ Indice d'équitabilité de Pélou	23
II.6.7. Diagramme de Frontier (Diagramme Rang fréquence)	23
II.6.8. L'indice diatomique générique (IDG)	24
II.7. L'analyse statistique	25

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau	26
III.1.1. Température	26
III.1.2. Potentiel d'hydrogène	26
III.1.3. Oxygène dissous	27
III.1.4. Conductivité électrique	28
III.1.5. Transparence	29
III.2. Les sels nutritifs	29
III.2.1. Phosphates (PO_4)	29
III.2.2. Azote ammoniacale (NH_4)	30
III.2.3. Nitrites (NO_2)	31
III.2.4. Nitrates (NO_3)	32
III.3. Synthèse sur la qualité physico-chimique	33
III.4. Les facteurs biotiques.....	34
 Chlorophylle « a »	34
III.5. Analyse multivarié des composants physico-chimique ACP	34

III.6. Evaluation de l'état trophique	35
III.7. Etude du peuplement diatomique	36
III.7.1. Etude qualitative du peuplement Diatomique	36
III.7.1.1. Composition taxonomique du Bacillariophycées	36
III.7.1.2. Evolution spatio-temporelle de la diversité spécifique	37
• L'indice de Shannon (H') et d'Equitabilité (E)	37
III.7.1.3. Analyse du diagramme de Frontier (Diagramme Rang fréquence)	39
III.7.2. Indice Diatomique Générique l'IDG	41
III.7.2.1. Dénombrement	42
III.7.2.2. Calcul de l'Indice Diatomique Générique IDG	42
Conclusion	44

Liste des figures :

Fig. 1 : Barrage de Keddara en 2021	8
Fig. 2 : Situation géographique du barrage Keddara	10
Fig. 3 : réseau hydrographique de barrage Keddara	10
Fig. 4 : Moyennes saisonnières des précipitations dans la région de Keddara	12
Fig. 5 : Variations moyennes saisonnières de la vitesse du Vent dans la région de Keddara durant la période 2006-2015	12
Fig. 6 : Variations moyennes saisonnières (automne-printemps) de la température dans la région de Keddara durant la période 2006-2015	13
Fig. 7 : Variations moyennes saisonnières (automne-printemps) de l'humidité dans la région de Keddara durant la période 2006-2015	14
Fig. 8 : Diagramme pluviothermique de la région de Keddara	14
Fig. 9 : Position de la région de Keddara sur le Climatogramme d'Emberger	15
Fig. 10 : Répartition des stations de prélèvements dans le barrage de Keddara	17
Fig. 11 : Répartition des stations échantillonnées dans le barrage Keddara	18
Fig. 12 : Evolution des diagrammes rangs-fréquences au cours d'une succession	24
Fig. 13 : Variation mensuelle et spatiale de la température de l'eau dans le barrage de Keddara	26
Fig. 14 : Variation mensuelle et spatiale du potentiel d'hydrogène de l'eau dans le barrage de Keddara	27
Fig. 15 : Variation mensuelle et spatiale d'oxygène dissous de l'eau dans le barrage de Keddara	28
Fig. 16 : Variation mensuelle et spatiale de la conductivité l'eau dans le barrage de Keddara	28
Fig. 17 : Variation mensuelle et spatiale de la transparence de l'eau dans le barrage de Keddara	29
Fig. 18: Variation mensuelle et spatiale du phosphate l'eau dans le barrage de Keddara	30
Fig. 19 : Variation mensuelle et spatiale d'azote ammoniacale de l'eau dans le barrage de Keddara	31
Fig. 20 : Variation mensuelle et spatiale nitrite de l'eau dans le barrage de Keddara ...	31
Fig. 21 : Variation mensuelle et spatiale du nitrate de l'eau dans le barrage de Keddara	32
Fig. 22 : Variation mensuelle et spatiale de chlorophylle « a » dans l'eau du barrage de Keddara	34
Fig. 23 : ACP des variables physico-chimiques du barrage de Keddara	35
Fig. 24 : Variations des abondances des Bacillariophycées dans le barrage de Keddara .	36
Fig. 25 : Variation de l'indice de Shannon (H') et la richesse spécifique (S) de lac du barrage Keddara	38

Fig. 26 : Variation de l'indice de Shannon (H') et d'équitabilité (R) de lac du barrage Keddara	38
Fig. 27 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station A	39
Fig. 28: Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station B	39
Fig. 29 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station C	40
Fig. 30 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station D	40
Fig. 31 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station E	40
Fig. 32 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station F	41

Liste des tableaux

Tab.I : Données morpho métriques du barrage de Keddara. (A.N.B.T, 2019).....	9
Tab. II : Les périodes de prélèvements dans le barrage de Keddara.....	16
Tab. III : Description des stations d'échantillonnage choisies.....	17
Tab. IV : Normes de qualité des eaux des masses d'eau naturelle (A.N.R.H) et les moyennes trouvées dans le site étudié durant les années (2018 – 2019).....	33
Tab. V : Etat trophique du barrage de Hamiz et le barrage de Beni Amrane selon les critères de l'O.C.D.E. (1982).....	35
Tab. VI : Liste des genres des diatomées observées au niveau de la station S1 à S6 sur le prélèvement en eau libre de (janvier2018 à avril 2019).....	41
Tab.VII : Récapitulatif des IDG calculés et caractérisation de chaque station du Lac de barrage Keddara.....	43

Liste des abréviations

ANBT : Agence national des barrages et transferts

ANRH : Agence national des ressources hydraulique

CNRDPA : Centre National de Recherche et Développement de la Pêche et de l'Aquaculture

ONM : Office national de la météorologie

DRF : Diagramme Rang fréquence

OCDE : Organisation de coopération et de Développement économique

IUCN: International Union of conservation of Nature

Fig. : Figure

Tab: Tableau

NO₂⁻ : Nitrites

NO₃⁻ : Nitrates

IDG : Indice Diatomique Générique

IBD : Indice Biologique Diatomique

SA : Station A

SB: Station B

NH₄⁺ : Azote ammoniacal

PO₄⁺ : phosphate

PS : Période Sèche

O₂ : Oxygène dissous

pH : Potentiel d'hydrogène

ACP : Analyses en Composantes Principales

SC : Station C

SD : Station D

SE : Station E

SF : Station F

W : wilaya

Glossaire

Autotrophe : Un organisme autotrophe est un organisme capable de générer sa propre matière organique à partir d'éléments minéraux. Il utilise pour cela l'énergie lumineuse soit par photosynthèse, soit par chimiosynthèse chez quelques espèces.

Anthropique : Sont qualifiés d'anthropiques tous les phénomènes qui peuvent être conséquents de la présence ou de l'action de l'être humain. L'adjectif peut être utilisé pour qualifier des progrès ou des nuisances.

Conductivité Electrique : La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à laisser passer et conduire le courant électrique, comme la plupart des métaux et les solutions chargées en ions.

Ecosystème Mature : l'évolution des écosystèmes est le stade «mature», qui se caractérise par des flux de ressources quasiment cycliques. Ces écosystèmes matures font preuve d'une forte résilience et d'une remarquable durabilité.

Eutrophe : Qui désigne un milieu aquatique extrêmement riche en nutriments où prolifèrent de nombreux végétaux et bactéries, appauvrissant en conséquence l'eau en oxygène.

Hétérotrophe : Le terme « hétérotrophe » qualifie un organisme incapable de synthétiser lui-même ses composants et qui recourt donc à des sources de matières organiques exogènes.

Photophile : En biologie, le terme photophile est employé pour décrire un organisme nécessitant un éclairage important afin de subvenir à sa survie. Dans le cas contraire, on dira que l'organisme est photophobe.

Thermophile : Se dit des micro-organismes qui s'épanouissent à des températures élevées pouvant aller de 60 à 80 degrés.

Zone euphotique : La zone euphotique, ou zone photique, est la zone de surface des océans où la lumière pénètre dans les eaux et permet la photosynthèse des algues et autres végétaux photosynthétiques.



INTRODUCTION

Les écosystèmes lacustres constituent des réserves d'eau douce. Ils peuvent être des centres d'intérêt touristique et piscicole capables de stimuler les économies régionales (**Burton, 1997**). Un barrage est un ouvrage artificiel, coupant le lit d'un cours d'eau et servant à assurer la régulation des cultures, ou bien à produire de l'énergie (**Anton et Henri, 2011**). Les lacs de barrage constituent une importante source naturelle pour les humains. Généralement, la connaissance de l'hydrologie des lacs est essentielle pour leurs bonnes utilisations et pour leurs conservations. Mais les perturbations anthropiques ont une répercussion très forte sur la biodiversité de ces milieux aquatiques (**Sweeney et al., 2004**).

Le phytoplancton joue un rôle central dans la structure et le fonctionnement des écosystèmes d'eau douce. Généralement, les algues contribuent à une grande partie de la production primaire et peuvent exercer une forte influence sur d'autres composantes de l'écosystème. L'utilisation du phytoplancton pour l'évaluation de la qualité de l'eau a une longue histoire. Différentes méthodes ont été mises au point ; certaines d'entre elles utilisent l'abondance du phytoplancton (habituellement sous le nom de chlorophylle « a »), tandis que d'autres examinent la structure de la communauté du phytoplancton (espèces dominantes et indicatrices). Ainsi que l'application de données phytoplanctoniques pour l'évaluation de la qualité de l'eau a également été développée à l'aide de différents indices numériques (**Agnieszka et al., 2009**).

La Directive cadre européenne sur l'eau a mis en évidence la demande croissante d'évaluation de l'impact sur l'environnement et le recours aux diatomées pélagiques comme outil de surveillance de la qualité écologique des cours d'eau. La connaissance de la façon dont les interactions des facteurs géographiques et environnementaux influent sur la distribution des espèces de diatomées pélagiques est cruciale pour l'élaboration d'une évaluation de la qualité de l'eau fondée sur la surveillance des diatomées (**Chaib et al., 2011**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, avec comme objectif d'utilisation des diatomées dans la biosurveillance des eaux du lac de barrage de Keddara située dans la wilaya de Boumerdes accompagné de mesure des paramètres physicochimiques de l'eau essentiels pour le développement de ces organismes. Notre travail qui repose sur des études rétrospectives, comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre « recherche bibliographique » est divisé en deux parties, la première partie parle essentiellement des caractéristiques des différents groupes phytoplanctoniques en se basant sur la classe de Bacillariophycées et la deuxième partie porte sur la présentation de la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre démontre les techniques d'échantillonnages utilisés ainsi que toutes les méthodes d'analyse, que ce soit physico-chimiques, biologique (analyse quantitative et qualitative) et statistique.
- Afin d'atteindre nos objectifs, un troisième chapitre est présenté pour discuter nos résultats obtenus, tout en soulignant les principaux axes de cette recherche.
- Enfin, un bilan de ces résultats est dressé en conclusion ouvrant des perspectives de recherche issues de notre travail.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur le plancton :

Le mot plancton vient du grec planktos qui signifie « errant ». Il désigne l'ensemble des végétaux et animaux aquatiques, microscopiques, qui dérivent au gré des courants, se déplaçant en mouvements limités dans la masse d'eau, car ils sont incapables de contrer le courant. Et qui constitue la base de l'alimentation (**Mollo et al., 2013**). On distingue évidemment une fraction animale qu'on appelle « le zooplancton » et autre végétale « le phytoplancton ».

I.2. Phytoplancton :

Le phytoplancton ou le plancton végétal, désigne l'ensemble des algues microscopiques, pélagiques flottant librement au gré des déplacements des eaux (**Pourriot et al., 1982**). Le phytoplancton est compris d'organismes végétaux (unicellulaires, filamenteux ou coloniaux) (**Round, 1965**). Ils présentent une grande diversité de tailles, de couleurs et de formes (**Mollo et al., 2013**).

I.2.1. Caractéristiques du phytoplancton :

Le phytoplancton comme la plupart des microorganismes présente de nombreuses caractéristiques :

- Le phytoplancton est constitué d'algues microscopiques, cellules isolées ou réunies en colonies (**Pourriot et al., 1982**).
- Il a toutes les formes possibles (rondes, allongées, en forme de boîte) et possède parfois des épines ou des flagelles (**Ittis, 1966**).
- L'association des chlorophylles et de pigments auxiliaires caroténoïdes (carotènes et xanthophylles) et biliprotéines confère aux algues des couleurs différentes selon les groupes (**Round, 1965**).
- Le phytoplancton est généralement situé dans la zone euphotique qui est la couche supérieure éclairée de tous les milieux aquatiques (**Stickney et al., 2000**).
- Globalement, les déplacements du phytoplancton dépendent de l'environnement aquatique qu'ils ont occupé, ils sont donc restreints (**Stickney et al., 2000**).
- Ces organismes présentent la capacité de photosynthèse, c'est -à dire qu'ils peuvent élaborer la matière organique nécessaire à leurs développements (**Gailhard Isabelle, 2003**).
- On distingue d'après la taille des algues :
 - L'ultra-nanoplancton (2 μm)
 - Le nanoplancton (2-20 μm)
 - Le microplancton (20-200 μm)
 - La macro plancton (200-2000 μm) (**Ittis, 1966**).

I.2.2. Groupes du phytoplancton d'eau douce :

A l'heure actuelle, la phylogénie est en pleine évolution, grâce notamment aux avancées technologiques en biologie moléculaire (Iglesias *et al.*, 2006).

➤ Chlorophytes :

Ils forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zigophycées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (John, 1994).

Globalement les Chlorophytes sont des micro-organismes typiquement thermophiles, photophiles et ont une préférence pour les milieux riches en nutriments azotés (Sane, 2006).

➤ Chromophytes :

Ils contiennent la chlorophylle « a » et « c ». Leurs réserves sont constituées de chrysolaminarine ou de laminarine selon le cas, toujours dans le cytoplasme (Canter-Lund *et al.*, 1995). Avec trois classes principales :

- Les Bacillariophycées ou Diatomées.
- Les Chrysophycées.
- Les Xanthophycées (Bourrelly, 1981).

➤ Euglénophytes :

Sont des algues unicellulaires flagellées rarement coloniales. Elles contiennent de la chlorophylle « a » et « b ». Ce phylum possède une seule classe appelée Euglénophycées, elle se répartie en 13 genres et plus de 2000 espèces (Rosowski, 2003).

Ce sont des microorganismes dulçaquicoles (en particulier dans des milieux riches en matière organiques) (De Reviere, 2003).

➤ Cyanophytes :

C'est le phylum des micro-organismes procaryotes. Il contient une seule classe des Cyanophycées avec plus de 110 genres et environ 1000 espèces dulçaquicoles. Cette classe est caractérisée par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée. Ces micro-organismes sont dépourvus de flagelles et leurs appareils végétatifs peuvent être unicellulaires, colonial ou filamenteux (De Reviere, 2003).

➤ Dinoflagellés :

Désignent le deuxième plus important groupe du phytoplancton. Ce sont des organismes aux formes et aux tailles très diverses, pourvus de deux flagelles distinctifs, l'un transversal et l'autre longitudinal, ces deux flagelles, leur permettent de se maintenir dans la couche supérieure de la colonne d'eau. Plusieurs péridiniens sont autotrophes, mais beaucoup sont hétérotrophes (Bérard *et al.*, 1999).

I.2.3. Rôle du phytoplancton :

- ▶ Les micros algues sont à la base de la chaîne trophique pélagique donc sont responsables de la production primaire dans les milieux aquatiques (**Reylonds et al., 1998**).
- ▶ Le phytoplancton est le principal organisme pour la production de la matière organique, dont la vie de tous les autres organismes dépend de lui (**Fogg et Thake, 1987**).
- ▶ Les microalgues participent à des processus clés comme la production d'oxygène et de la biomasse (**Jacquet et al., 2011**).
- ▶ Ces organismes photosynthétiques sont tous de mêmes responsables de 45 % de l'activité photosynthétique sur terre (**Falkowski, 1994 ; Field et al, 1998**).
- ▶ La biomasse phytoplanctonique et sa productivité, qui est liée à la rapidité des processus de croissance, de mortalité, et de recyclage etc., sont des indicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques. Toute perturbation environnementale peut entraîner des altérations dans la composition et la distribution des groupes phytoplanctoniques et engendrer alors des dysfonctionnements de l'écosystème (**Jacquet et al., 2011**).
- ▶ Le phytoplancton constitue un très bon indicateur biologique de pollution des eaux (**Ilits, 1996**).

I.3. Classe des Bacillariophycées ou Diatomées :

Les diatomées ou Bacillariophycées sont des algues brunes, microscopiques et unicellulaires appartenant à l'embranchement des Chromophytes. Leurs tailles varient de quelques micromètres (μm) à plus de 500 μm . Apparues dès le Jurassique il y a environ 200 millions d'années, le nombre d'espèces actuellement connu est proche de 11.000.

Deux ordres sont distingués selon **Prygiell et Coste, 2000** :

- ✓ Les Centriques, à symétrie radiale, rassemblent les espèces rondes et cylindriques.
- ✓ Les Pennées, à symétrie bilatérale, regroupent les autres espèces.

Les diatomées ont une couleur caractéristique brune jaune due à la présence de chlorophylle « a » et « c » et de caroténoïdes jaunes et bruns (**Aouchiche et Salhi, 2013**).

Bien qu'uni cellulaires, certaines espèces constituent des colonies aux formes très variables : en chaînette (Centriques), en ruban (*Fragilaria*) ou en étoile (*Asterionella*). D'autres espèces, à cellules libres, sont douées de mouvement autonome (*Navícula, Nitzschia*) facilitant ainsi la colonisation de nouveaux substrats. Les diatomées ont la particularité de posséder un squelette externe siliceux, le frustule. Celui-ci se compose de deux valves s'assemblant comme le fond et le couvercle d'une boîte de Pétri. Les bords de ces valves (manteaux) sont réunis l'un à l'autre par un nombre variable de bandes intercalaires. Manteau et bandes intercalaires forment la zone connective. L'ornementation des deux valves se caractérise par la présence de stries, côtes, cloisons, punctuations, soies ou autres protubérances (**Prygiell et Coste, 2000**).

I.3.1. Taxonomie et classification :

La classification des diatomées repose sur plusieurs critères : forme, taille, symétrie, agencement et densité des ornements des valves, nature du raphé et de ceintures connectives, etc (Nehar, 2016).

La classification des diatomées a commencé par Agardh (1832) dans son travail « Systema Algarum ». Il a classé toutes les diatomées dans un ordre d'algues, en plaçant les espèces en neuf genres : *Achnanthes*, *Frustulia*, *Meridion*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Melosira*, *Desmidiuim*, *Schizonema* et *Gomphonema* (Nehar, 2016)

Au fur et à mesure la classification des diatomées subissait par la suite des réarrangements et de nouvelles classifications par différents auteurs : Smith (1853-1856), Round et al., (1990), Krammer et Lange (1986- 1991) qui est la plus utilisée actuellement (EL Haouati, 2015).

I.3.2. Cycle de développement :

Les diatomées ont un cycle de développement relativement court, allant de quelques heures à quelques jours selon les espèces et les caractéristiques du milieu (Baars, 1983). Elles possèdent deux modes de reproduction distincts : multiplication végétative et reproduction sexuée. Elles se reproduisent le plus souvent par multiplication végétative, au cours de laquelle chaque cellule donne naissance à deux cellules filles, par écartement des deux valves et régénération de nouvelles valves de plus petite taille (Bouziane, 2016).

I.3.3. L'écologie et habitat :

Dans le milieu aquatique, le développement des diatomées est étroitement lié à la température, à l'intensité lumineuse, aux caractéristiques hydrauliques et physico-chimiques, et par conséquent, aux variations saisonnières et annuelles du milieu (Prygiell et Coste, 2000).

Les diatomées vivent dans différents milieux sous des conditions de vie variables de la mer jusqu'à l'eau douce. Elles ont même été trouvées dans les sols humides, air et les mousses et dans un large éventail de conditions extrêmes (Elster et al., 2001 in Nehar, 2016).

Les diatomées planctoniques vivent libres dans l'eau et sont représentées surtout par des Centriques isolées (*Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Thalassiosira*) ou associées en chaînes (*Aulacoseira*, *Skeletonema*). Parmi les quelques formes pennées du phytoplancton se trouvent des colonies rubanées (*Fragilaria*) ou étoilées (*Asterionella*, *Nitzschia*) (Prygiell et Coste, 2000).

I.3.4. Diatomées et évaluation de la qualité des milieux lacustres :

Très tôt, les algologues ont établi des classifications en fonction de la sensibilité des diatomées à des paramètres chimiques tels que le pH, la salinité, etc. La plupart se réfère cependant à la matière organique et au système des saprobies (Prygiell et Coste, 2000).

I.3.5. Importance de diatomées :

Les diatomées sont un des composants majeurs du phytoplancton et à ce titre, jouent un rôle primordial dans les océans. Elles sont à l'origine de longues et productives chaînes alimentaires qui aboutissent aux grands carnivores, aux cétacés, aux oiseaux. (Mollo et Noury, 2013).

Les diatomées sont souvent utilisées comme indicateurs de la qualité de l'eau (Van Dam et al., 1994 ; Potapova et Charles, 2007 ; Zalack et al., 2010). En raison de leur grande diversité et spécificité d'habitat, elles sont considérées comme le groupe le plus important du phytoplancton eucaryote. En effet, ce groupe assure 40 % de la productivité primaire marine (Falcitore et al., 2002). Elles représentent une source importante de nourriture pour les organismes aquatiques (Debenest et al., 2009).

Elles jouent également un rôle clé dans le cycle biogéochimique de la silice (Treguer et al., 1995) en raison de leur besoin en silicium pour la biogénèse de leur paroi cellulaire (Masoudi, 2014). Une fois les diatomées mortes, leurs squelettes se déposent sur les fonds marins ou lacustres et se conservent ainsi depuis des millions d'années. La roche ainsi formée, appelée diatomite, est largement utilisée dans l'industrie (abrasifs, opacifiants, agents de filtration...). A l'état vivant, les diatomées constituent des bio-indicateurs très fiables de la pollution des eaux (Aouchiche et Salhi, 2013).

Les diatomées sont une composante clé des écosystèmes aquatiques, Leurs sensibilités spécifiques à différents paramètres varient selon la physiologie de l'espèce. La connaissance de la façon dont les interactions des facteurs géographiques et environnementaux influent sur les patrons de distribution des espèces de diatomées benthiques dans les oueds algériens est cruciale pour la mise au point de futurs outils d'évaluation de la qualité de l'eau adaptés à ce contexte particulier (Chaïb et Tison, 2012).

II. Indices biologiques :

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE) exige des États membres qu'ils évaluent l'état écologique des eaux. La détermination de la qualité écologique des plans d'eau est fondée sur les éléments de la qualité biologique comme le phytoplancton, le zoobenthos et les macrophytes, et nécessite la surveillance et l'analyse de leur abondance, de leur biomasse et de leur composition en espèces (Sirpa et al., 2012).

La bioindication est l'un des dispositifs essentiels du processus d'évaluation de l'état des milieux aquatiques (Bernadet et al., 2020). Parmi ces indices :

- Rapport de qualité écologique (RQE) (Agnieszka et al., 2009).
- L'indice Shannon et Weaver (Lugoli et al., 2012).
- L'indice de Simpson (Lugoli et al., 2012).
- L'indice de la sensibilité des spectres des tailles du phytoplancton (ISS-phyto) (Lugoli et al., 2012).
- l'indice de Carlson (1977). (Agnieszka et Magorzata, 2009).

- L'indice biologique diatomée (IBD) (**Blandine, 2015**).
- L'indice phytoplancton lacustre (IPLAC) (**Blandine, 2015**).
- L'indice diatomique générique (IDG) (**Sayoud, 2017**)
- L'indice d'assemblage de phytoplancton (**Q**) (**Judit et al., 2006**)

II.1. L'indice diatomique générique (IDG) :

L'IDG a été créé spécialement en vue d'une utilisation pratique en routine à l'échelle d'un grand bassin versant hydrographique. Il rend cependant compte de façon satisfaisante des phénomènes d'eutrophisation (nitrates, phosphates et chlorophylle « a ») ; et le regroupement d'espèces possédant des caractéristiques écologiques différentes, en certains genres homogènes entraînent une meilleure sensibilité pour l'estimation de mesure des phénomènes d'eutrophisation. Cet indice est utilisable en milieu dulcicole (eau douce), le plus souvent en milieu lotique (cours d'eau, rivières ...), et en milieu lentique ou lacustre (**Sayoud, 2017**).

La méthode de l'estimation de l'IDG ou Indice Diatomique Générique adopté dans notre étude s'appuie sur une hiérarchisation des genres du type de celle déjà réalisée pour les espèces en fonction de leur sensibilité globale aux pollutions pour l'IBD ou l'Indice Biologique Diatomique (**Sayoud, 2017**).

IBD	Qualité
IBD \geq 17.0	Excellente
17.0 > IBD \geq 13.0	bonne
13.0 > IBD \geq 9.0	passable
9.0 > IBD \geq 5.0	médiocre
IBD < 5.0	Mauvaise

D'une façon générale, l'IDG peut être appliqué en vue de :

- ✓ Evaluer la qualité biologique d'une station bien définie (étude ponctuelle)
- ✓ Suivre l'évolution temporelle de la qualité biologique d'une station (saisonnière ou pluriannuelle)
- ✓ Suivre l'évolution spatiale de la qualité biologique d'un plan d'eau.
- ✓ Evaluer les conséquences d'une perturbation sur le milieu (comparaison entre l'amont et l'aval d'un rejet) (**Prygiell et Coste, 2000**).

III. Présentation du site :

III.1. Historique du barrage Keddara :

Le barrage de Keddara (**Fig. 1**) a été construit en 1982, a une capacité initiale de 145,6 Hm³. Sa mise en service été en 1986. Il est destiné à satisfaire les besoins en eau potable des agglomérations algéroises et d'une grande partie de la ville de Boumerdes (**A.N.B.T, 2020**).



Fig. 1 : Barrage de Keddara en 2021 (Google Maps, 09/06/2021)

III.2. Situation géographique et morphométrie du barrage :

Le barrage de Keddara est situé à 8 kilomètres au Sud de la ville de Boudouaou et à 35 km à l'est d'Alger, à 56 km de Blida au nord-est à 53 km de Bouira au nord-ouest (**A.N.B.T, 1981**), à une altitude de 1047 m. Le remplissage de la retenue dépend du pompage des eaux de la prise de Beni-Amrane, des eaux de dérivation du barrage de Hamiz et des apports de son propre bassin versant à une surface de 93 km² (**A.N.B.T, 2019**). Ses coordonnées géographiques sont : 36° 62' de latitude Nord et 3° 45' de longitude Est (**Attou et Arab, 2019**).

La forme du barrage caractérisée par ses dimensions, constitue un élément déterminant du fonctionnement physique, chimique, et biologique des systèmes lacustres (**Leveque, 1996**). Les données morfo métriques du barrage de Keddara sont résumées dans le tableau I.

Tab. I : Données morpho métriques du barrage de Keddara. (A.N.B.T, 2021)

La mise en eau	1986
Cours d'eau principal	Oued Boudouaou
Surface de bassin	93 Km ²
Capacité initiale	145,60 Hm ³
Hauteur	60 m
Altitude moyenne	466 m (Djebel Bouzegza)
Altitude maximal	1047 m
Profondeur moyenne	28 m
Profondeur maximale	106 m
Le fond du lit est à la cote	57,7 m
Cote plus haute eaux	147,32 m

III.3. Géologie du site :

Au niveau du barrage, Le « socle rocheux » est composé de schistes quartzitiques cristallines, peu sensibles aux effets de l'altération et présentant d'assez bonnes propriétés mécaniques : ils constituent une bonne assise de fondation. Ce socle est recouvert par des « schistes supérieurs » composés de micaschistes, séricitoschistes et phyllades. Le laminage tectonique de ces schistes est à l'origine d'une anisotropie mécanique bien prononcée. De plus, l'effet de l'altération est sensible sur les premiers mètres (A.N.B.T, 2019).

Les perméabilités élevées rencontrées localement ont montré la nécessité d'un voile d'injection. L'accélération sismique retenue au niveau de la fondation et correspondant à une période de retour de 1000 ans vaut 0.32 g (A.N.B.T, 2019).

Les versants du bassin sont très raides. Dans une répartition de la superficie selon les catégories de pente, l'inclinaison pour plus de deux tiers dépasse 25% et pour environ un tiers elle est même plus forte que 40%.

Les versants de la vallée de l'oued El Haad, et le versant gauche de l'oued Keddara appartiennent au massif de djebel Bouzegza, et le versant droit de l'oued Keddara appartient au massif djebel ben Norah. (A.N.B.T, 2019).

III.6. Climatologie :

La climatologie est l'étude des changements énergétiques et hydrique entre la surface de la terre et l'atmosphère (climatologie physique), combinée avec la fréquence et la succession d'événement météorologie (climatologie statistique, et climatologie dynamique), dont l'action influence directement ou indirectement l'existence des êtres qui y sont soumis (Hufty, 2005).

Le climat peut être défini comme la combinaison des états de l'atmosphère (précipitation, température, vent...) en un lieu donné et sur une période définie (mois, année, décennie...) (Azizou et Madani, 2014).

III.6.1. Pluviosité :

La pluviosité augmente avec l'altitude. Elle est plus élevée si les versants exposés aux vents humides. Elle augmente également d'ouest en est et diminue au fur et à mesure que l'un s'éloigne du littoral vers le sud à cause de l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau (Arab, 1989).

Cet appauvrissement est dû aux courants aériens qui abandonnent leurs pluies en franchissant les chaînes montagneuses successives (El Haouati et Djermane, 2006).

La précipitation est un facteur climatique très important, elle est essentielle dans l'alimentation des lacs, de barrages, des nappes et des cours d'eau, ainsi que dans l'érosion, la répartition et le maintien du tapis végétal. Les données de précipitation de la région de Keddara sont mentionnées dans la figure suivante ci-dessous. (Fig. 4).

Dans la région de Keddara, La durée moyenne saisonnière des précipitations la plus élevée s'enregistre du mois de novembre avec un maximum qui est de **151.9mm** et un minimum au mois de juillet avec une valeur de **1.8 mm** (Fig. 4).

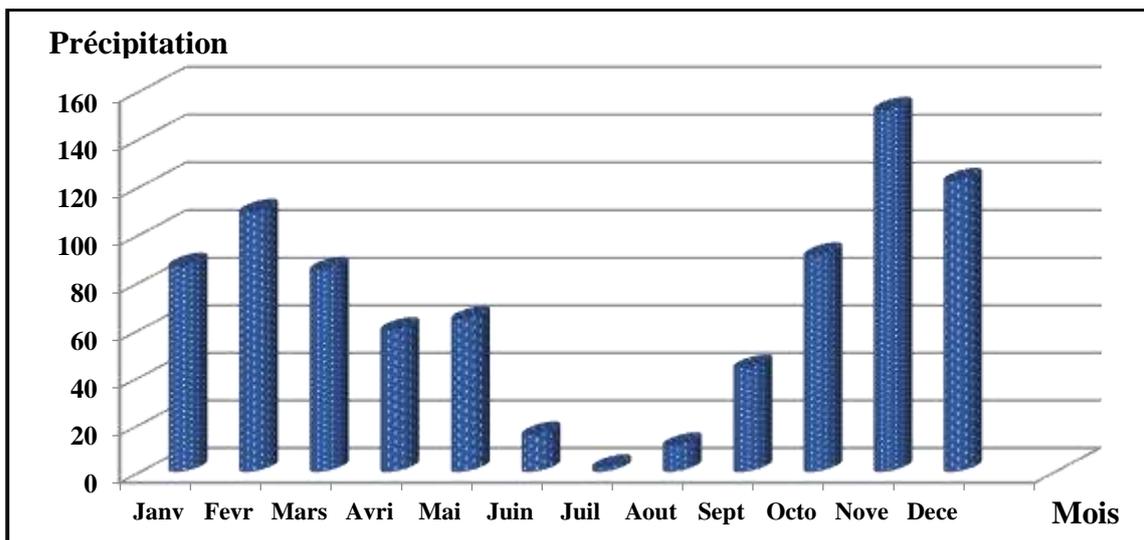


Fig. 4 : Moyennes saisonnières (automne-printemps) des précipitations dans la région de Keddara (ONM, 2021)

III.6.2. Vent :

Le vent est un facteur mécanique important à cause de son action sur la distribution de la faune et la flore. Il est tenu compte par sa direction et par sa vitesse. (Lacoste et Salanon, 2001).

En principe le vent peut occasionner une distribution latérale hétérogène des matières dissoutes et il chasse fréquemment les algues (Leveque, 1996).

D'après ces résultats ils ont constaté que la valeur maximale est de **9.25 m/s** au mois de février et la valeur minimale de la vitesse est de **7.96 m/s** au mois de juin. (Fig. 5).

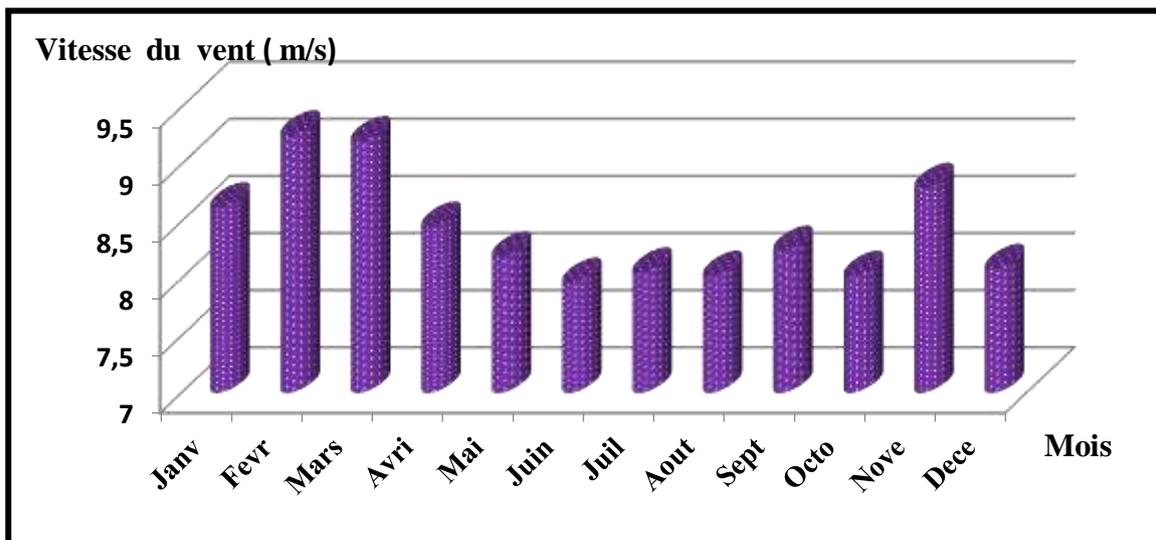


Fig. 5 : Variations moyennes saisonnières (automne-printemps) de la vitesse du Vent dans la région de Keddara durant la période 2006-2015 (ONM, 2021)

III.6.3. Température :

La température de l'air est l'un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration. Elle est fonction de l'altitude, de la distance de la mer, des saisons (**Ozenda 1982, Toubal 1986**).

La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profonde (**Rodier et al., 1996**).

Nous remarquons à partir des données récoltées de la station météorologique de Boumerdes (Dellys) que le mois d'août est le plus chaud (28.9 °C) et que janvier, février et décembre sont les mois les plus froids (9.08 ; 8.74 et 10.04 °C respectivement) sur une période de 10 années (2006-2015) (**Fig.6**).

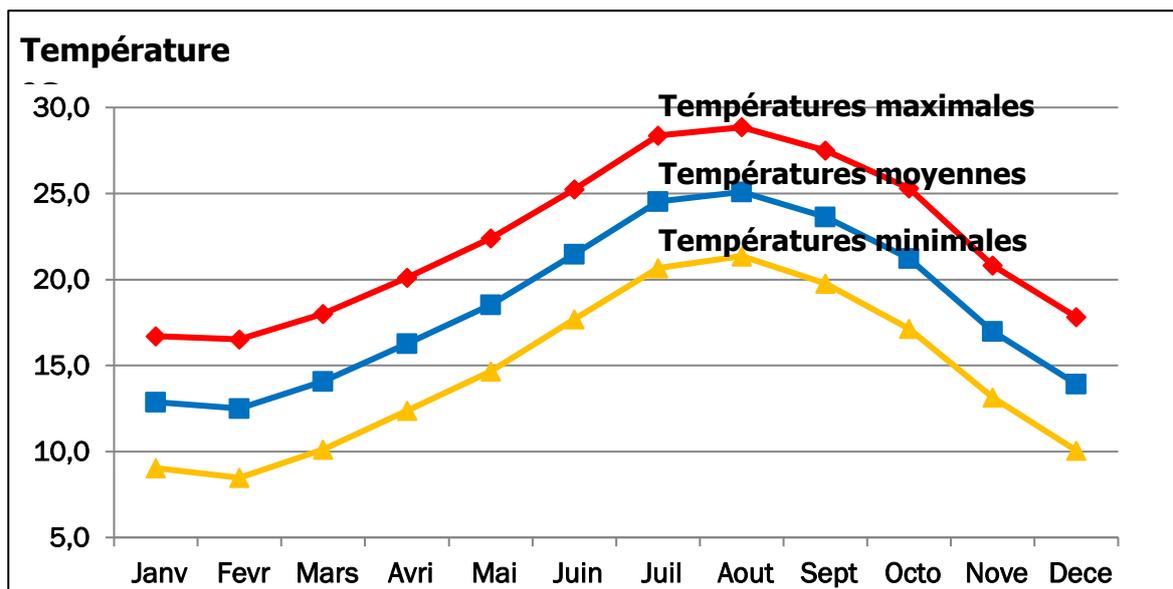


Fig. 6 : Variations moyennes saisonnières (automne-printemps) de la température dans la région de Keddara durant la période 2006-2015 (ONM, 2021)

III.6.4. Humidité :

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, cette vapeur d'eau provient de l'évaporation (des océans, les lacs, rivières...), des sublimations des glaces, des neiges, de l'évaporation des précipitations et de l'évapotranspiration des animaux et végétaux.

L'atmosphère contient toujours une quantité d'eau sous forme de vapeur ; mais, il a une quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir. Dès que l'air atteint cette quantité on dit que l'air est saturé. La concentration maximale de l'air en vapeur d'eau est fonction de la température (**Mahiddine, 2017**).

Nous remarquons à partir des données récoltées de la station météorologique de Boumerdes (Dellys) que le mois d'août est le plus chaud (28.9 °C) et que janvier, février et décembre sont les mois les plus froids (9.08 ; 8.74 et 10.04 °C respectivement) sur une période de 10 années (2006-2015) (**Fig. 7**).

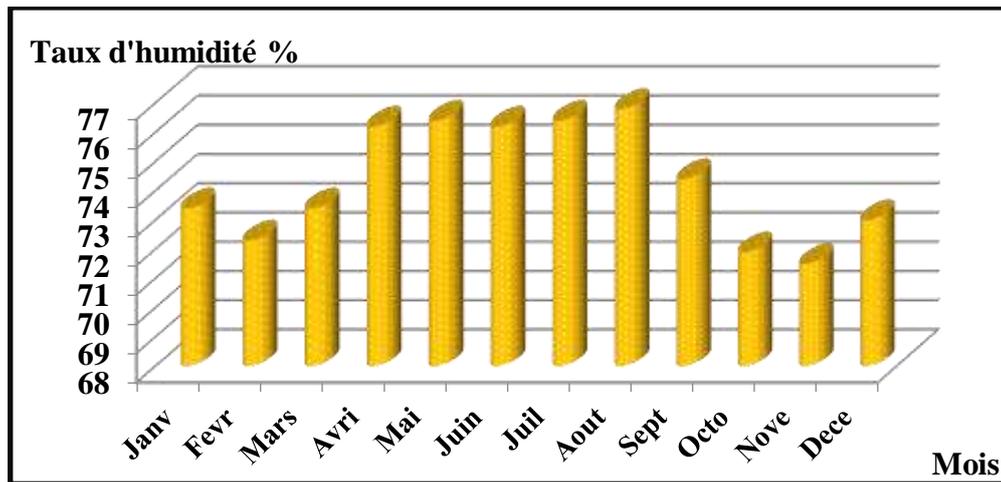


Fig. 7 : Variations moyennes saisonnières (automne-printemps) de l'humidité dans la région de Keddara durant la période 2006-2015 (ONM, 2021)

III.6.5. Synthèse climatique :

Pour mettre en évidence les saisons sèches et humides, nous avons jugé utile de réaliser de diagrammes ombrothermique de **Gausсен et Bagnouls (1953)**.

1. Diagramme pluviothermique de GAUSSEN et BAGNOULS :

Selon **BAGNOULS**, un mois est sec lorsque le total des précipitations **P (mm)** est égal ou inférieur au double de la température **T (°C)**, une période sèche est une suite de mois secs, elle peut s'exprimer par $(P < 2T)$. Pour visualiser ces données on porte sur un même graphe les températures et les précipitations en ordonnée et les mois en abscisse (**Fig. 8**).

Le diagramme pluviothermique de GAUSSEN pour la période 2006-2015 montre que l'année est répartie en une saison sèche allant de juin à septembre et une saison humide pour le reste de l'année (**Fig. 8**).

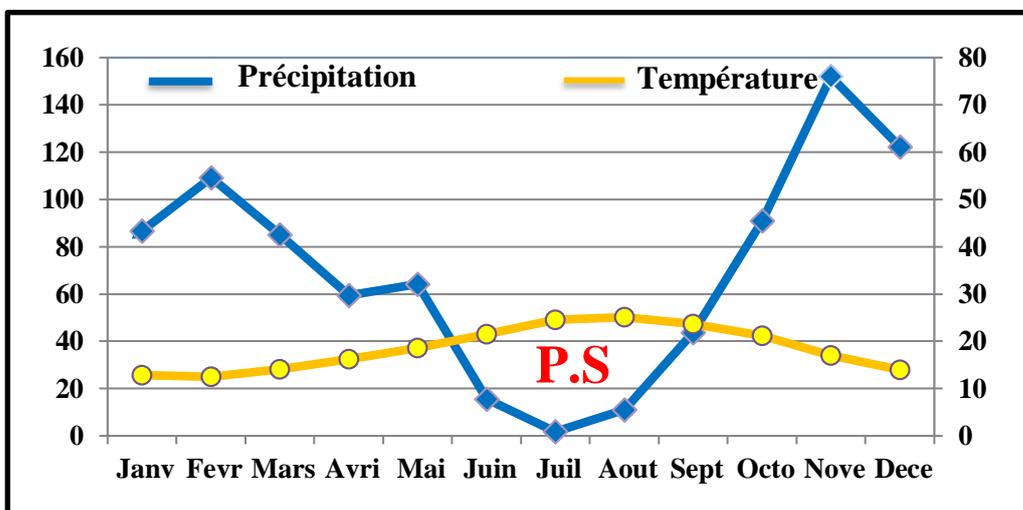


Fig.8 : Diagramme pluviothermique de la région de Keddara durant la période 2006-2015 (ONM, 2021)

2. Climatogramme d'EMBERGER :

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER a été calculé pour la période (2006-2015) par la formule

$$Q_2 = 2000P / (M+m) (M-m)$$

M = Température moyenne maximale mensuelle en degré Kelvin.

m = Température moyenne minimale mensuelle en degré Kelvin.

P = Précipitations moyennes annuelles en mm

Le **Q₂** pour la période de (2006-2015) est de : 158.99.

La zone du barrage de Keddara appartient donc à l'étage humide à hiver chaud (Fig. 9).

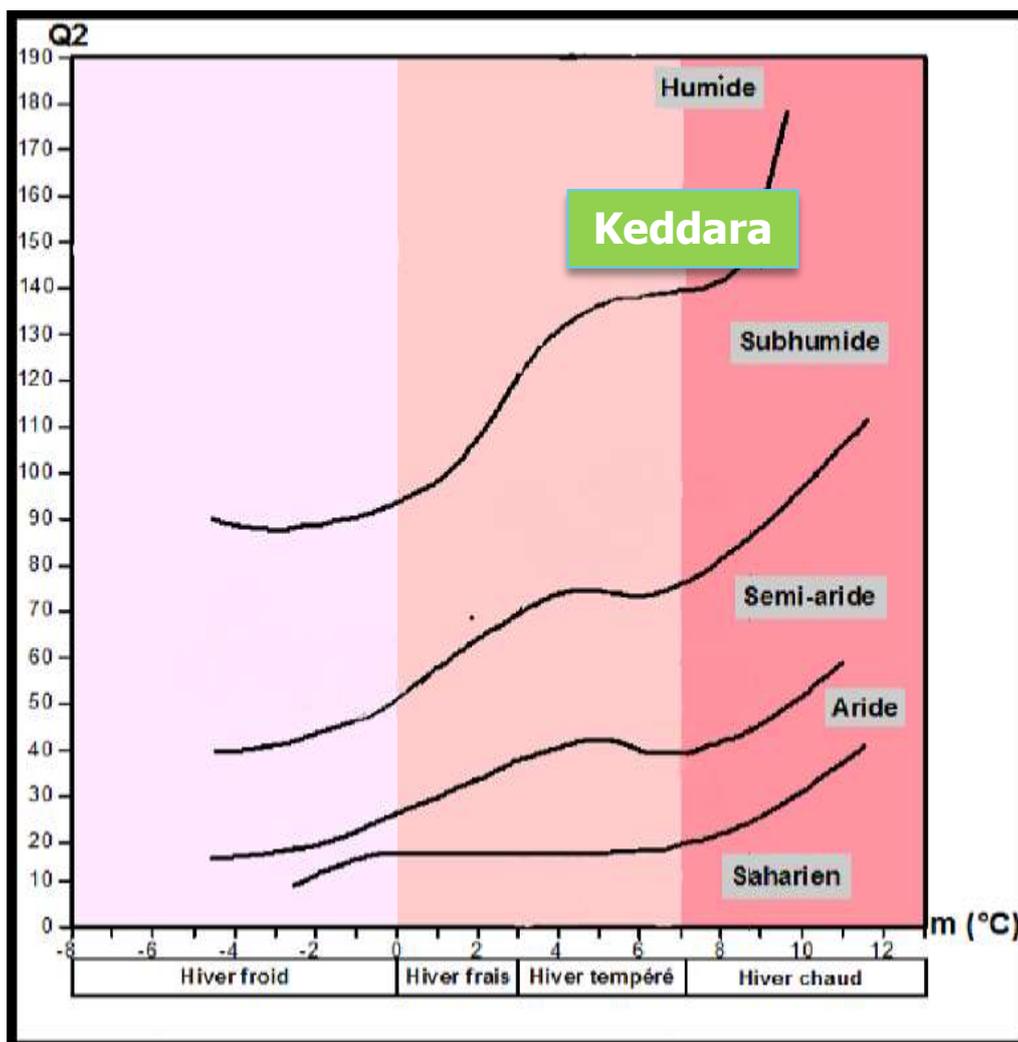


Fig. 9 : Position de la région de Keddara sur le Climatogramme d'Emberger durant la période 2006-2015 (ONM, 2021)

CHAPITRE II :

Matériel et Méthodes

II.1. Présentation des périodes de prélèvements :

Les stations choisies dans cette étude sont six stations pour assurer la couverture globale de barrage

Tab. II : Les périodes de prélèvements dans le barrage de Keddara

Prélèvement	Date de prélèvement
01	12/02/2018
02	12/03/2018
03	16/04/2018
04	08/05/2018
05	10/12/2018
06	18/04/2019

II.2. Présentation des points de prélèvement :

La fréquence des échantillonnages dépend en grande partie de la morphologie et des caractéristiques hydrodynamiques du plan d'eau. C'est la raison pour laquelle, il est important de localiser toutes les principales entrées et sorties d'eau (**OCDE, 1982**). Il est nécessaire d'avoir des points d'échantillonnages fixes dans le lac, car ils permettent d'évaluer les paramètres de qualité des eaux avec le temps, et ils constituent des bases de comparaison pour d'autres parties du lac (**El Haouati, 2015**).

Globalement le choix des stations a été fait selon : la topographie du milieu, la morphométrie (les principaux cours d'eaux qui déversent au niveau du lac), la profondeur, la nature de la couverture végétale, l'ombrage, les activités agricoles et le pâturage. Vu la superficie du barrage de Keddara, six stations ont été choisies pour assurer la couverture globale du site.

Il faut prendre en considération que le site d'échantillonnage soit à distance de 10 m de la berge pour s'affranchir des contaminations par les algues périphtiques et par les efflorescences accumulées sur les berges par les vents.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des différentes stations sélectionnées dans le barrage de Keddara :

Tab.III : Description des stations d'échantillonnage choisies

Stations	Caractéristiques
A	- Premier amont du barrage dont le déversement d'Oued El Haad et Oued Beni Amrane
B	- Rive gauche - A proximité de la prise d'eau
C	- Centre de barrage - A proximité d'une ile
D	- Deuxième amont du barrage dont le déversement d'Oued Keddara - Présence d'une végétation abondante
E	- Rive droite - Station située dans un bras mort
F	- Aval du barrage à proximité de la digue

Dans les figures 10 et 11, nous avons présentés les photos des points de prélèvements dans chaque station.

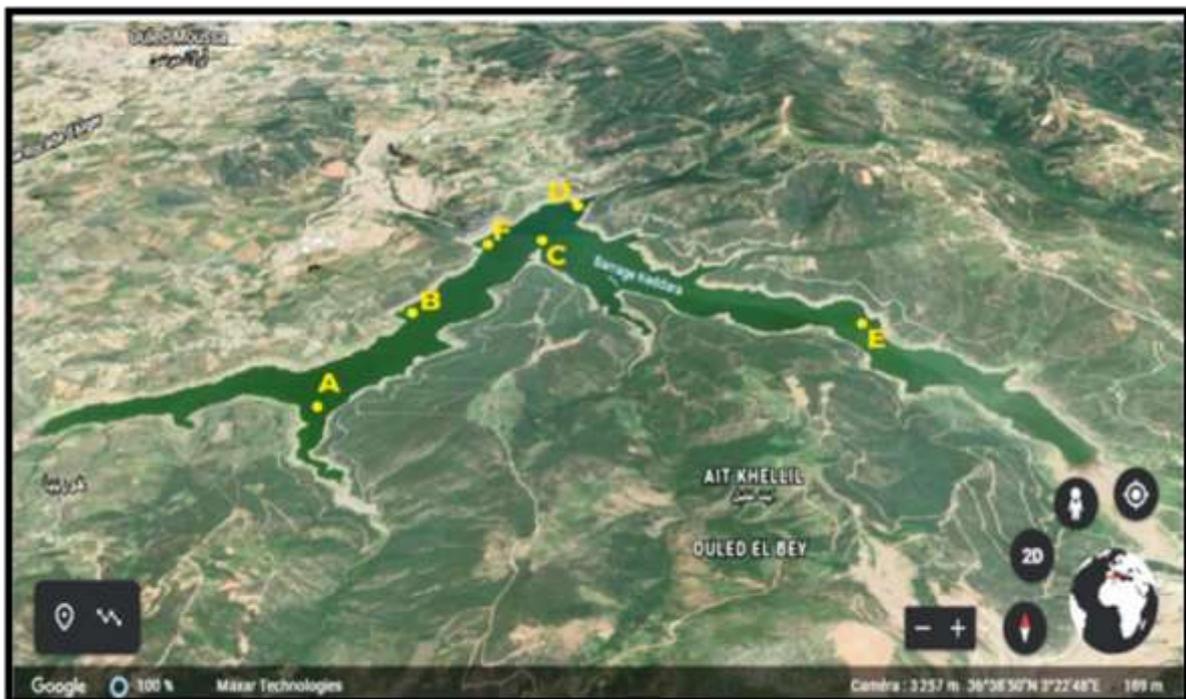


Fig. 10 : Répartition des stations de prélèvements dans le barrage de Keddara (Google Earth, modifié. 2020)

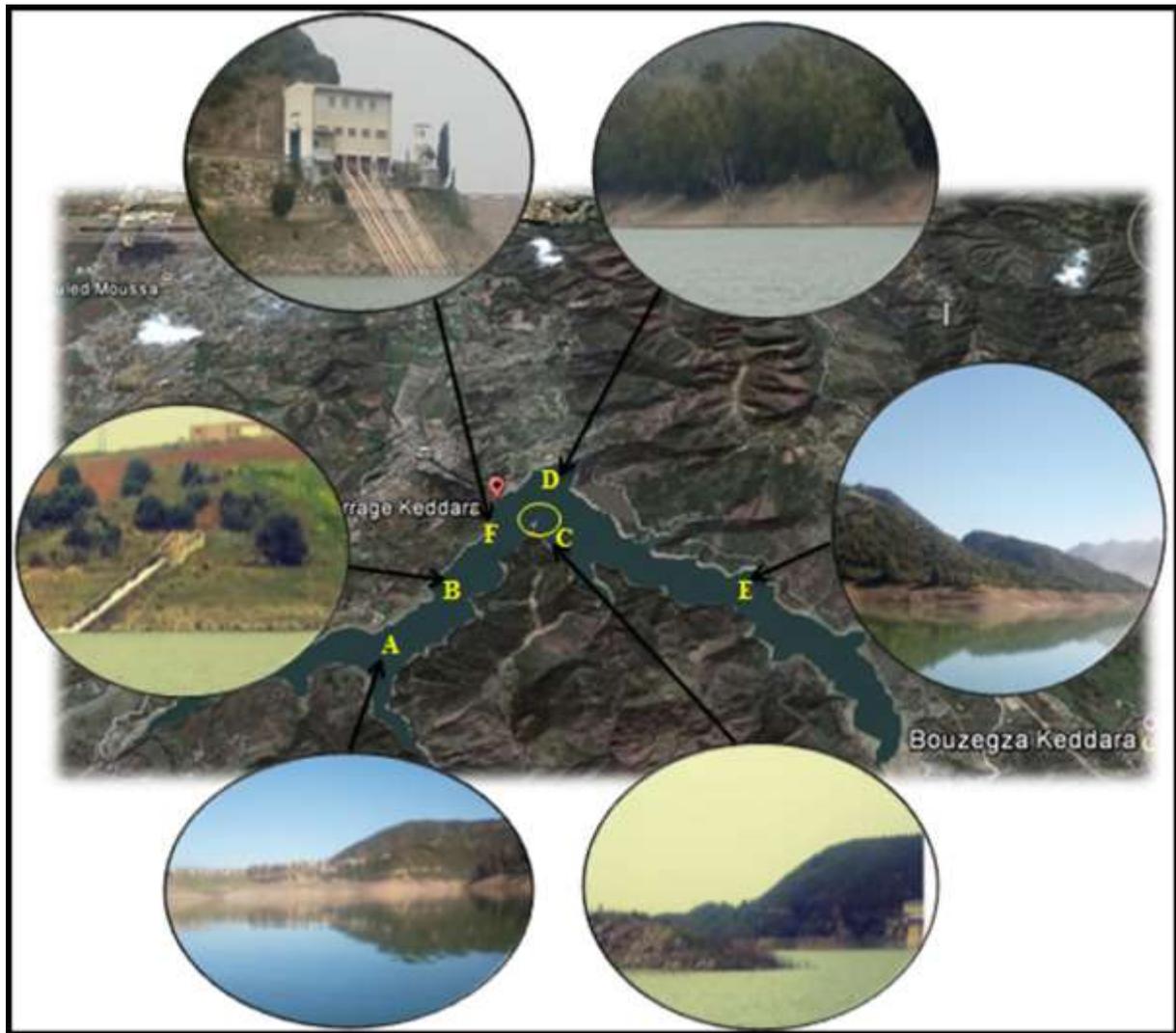


Fig. 11 : Répartition des stations échantillonnées dans le barrage Keddara (Orabi et Cheriet, 2019)

II.3. Méthodes d'échantillonnage :

II.3.1. Mode de prélèvement :

Prélever trois bouteilles d'eau (1 litre pour chaque bouteille), ne contenant aucune grosse particule non homogène.

Une bouteille d'eau pour la mesure des paramètres physico chimiques, la deuxième pour le prélèvement de phytoplancton et la troisième pour la mesure de chlorophylle « a ».

- **Prélèvement de l'eau :** ils ont pris la bouteille n°1 pour la mesure de paramètres chimique qui se fait dans un laboratoire et pour les paramètres physiques sont mesurées in situ à l'aide d'un multi paramètre.

- **Prélèvement de phytoplancton** : ils ont prélevé la bouteille n° 2 d'eau et ils ont conservés les échantillons dans une glacière à basse températures (2 à 4 °C).
- **Chlorophylle « a »** : ils ont pris la bouteille d'eau n° 3 prélevé et ils ont mis dans une glacière spéciale et à l'obscurité et quand ils sont arrivés au laboratoire ils ont filtré l'eau à l'aide de filtre de papier wattman à condition la filtration se fait le jour même et la distance entre le site de prélèvement et le laboratoire ne dépasse pas 6 heures.

II.4.2. Matériel de prélèvement et d'analyse :

✦ **Filet planctonique :**

Le filet à phytoplancton est un entonnoir conique, en nylon à maille très serrée (20 µm), filtrant l'eau et guidant les organismes en suspension vers la base du filet.

✦ **Disque de Secchi :**

La méthode du disque de Secchi est une méthode simple, rapide et bien connue. Le disque Secchi est un dispositif permettant de mesurer la transparence / la turbidité d'une colonne d'eau, dans laquelle le disque blanc devient invisible à l'œil. En cas d'utilisation, le disque doit être dans un plan horizontal.

Il s'agit d'un disque blanc (fonte émaillée, porcelaine...) de 200 mm de diamètre, possédant 6 trous de 55 mm chacun, répartis sur un cercle de 120 mm de diamètre.

✦ **Microscope inversé :**

Le microscope inversé est un microscope optique dont l'échantillon est illuminé par le dessus et observé par en dessous. Dans notre étude, il a été utilisé pour permettre l'observation d'échantillons sédimentés, l'identification et le comptage des cellules phytoplanctoniques dont l'échantillon est mis à sédimenter dans une cuve de 10 ml pendant 4 h (**Utermöhl, 1958**).

✦ **Multiparamètre de type WTW 340 I :**

C'est un appareil permettant la mesure de différents paramètres importants comme la mesure du pH, du potentiel redox, de la conductivité, de la salinité, de l'oxygène dissous, du taux de saturations en oxygène et de la température. Compact et portable, cet appareil permet des mesures rapides et fiables, en laboratoire comme à l'extérieur.

II.5. Etude des paramètres physico-chimiques :

II.5.1. Paramètres mesurés in situ :

Les facteurs écologiques n'agissent jamais isolément mais simultanément (**Ramade, 1984**). Sur site, ils ont effectués diverses mesures des paramètres physiques à l'aide d'un analyseur multi-paramètre de type WTW 340 I, ces mesures sont : La température (de l'air et l'eau), la conductivité électrique, la salinité, l'oxygène dissous, le pH. Par ailleurs, la transparence de l'eau a été mesurée par le disque de Secchi.

II.5.2. Paramètres mesurés ex-situ :

Au niveau des laboratoires du C.N.R.D.P.A, le dosage des paramètres suivants : nitrate, nitrite, azote ammoniacal et phosphate en utilisant plusieurs méthodes de dosage chimique.

II.6. Etude des phytoplanctons :

Les facteurs abiotiques seuls ne sont pas suffisants pour définir un écosystème aquatique, il faut étudier l'ensemble des organismes (producteurs et consommateurs) qui composent la biocénose (Aksil et Rabehi, 2010).

II.6.1. Echantillonnage du phytoplancton :

Le phytoplancton étudié a été récolté en surface à l'aide d'un filet phytoplanctonique à vide de maille de 20 µm.

II.6.2. Conservations des échantillons :

Les échantillons du phytoplancton sont fixés sur terrain à l'aide d'une solution de lugol afin d'obtenir une concentration finale de 1% dans l'échantillon. Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair que doit avoir l'échantillon. Une décoloration peut se produire avec le temps et à la lumière dans ce dernier cas nous avons rajouté quelques gouttes de lugol pour maintenir la fixation de l'échantillon (El Haouati, 2015).

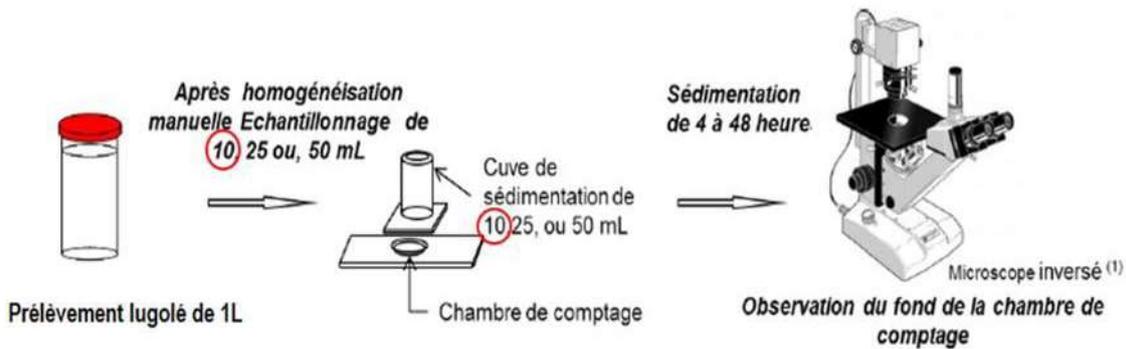
II.6.3. Préparation de l'échantillon :

L'échantillon et le matériel employé (chambre de sédimentation) sont mis à la même température ambiante afin de permettre une sédimentation aléatoire du phytoplancton dans la chambre de sédimentation. L'échantillon est alors agité une dizaine de fois doucement afin d'homogénéiser son contenu puis versé dans la chambre de sédimentation. Une chambre de 10 ml est employée, la chambre ainsi remplie, est laissée à l'obscurité, dans un lieu sans vibration afin de permettre une sédimentation correcte de l'échantillon.

Le temps de sédimentation est de 4 heures par cm de hauteur de la colonne de sédimentation pour un échantillon d'eau douce fixé au Lugol. Un échantillon de 10 ml devra sédimenter 4 heures (Cemagref, 2007).

II.6.4. Comptage et identification des diatomées :

Pour observer la préparation, il faut se placer sur un bord de la lamelle et procéder à un balayage selon le schéma ci-dessous, de façon à éviter de revenir plusieurs fois sur un même champ.



Le comptage porte sur tous les individus et a été fait par un balayage de la préparation au plus fort grossissement (x400) dans un microscope spécialisé. La détermination des taxons se fait simultanément. Ne sont pas distingués lors du comptage :

- Les frustules (2 valves) entiers des valves séparés
- Les valves ou frustules trop endommagés. Seuls les valves et frustules cassées ne sont pas pris en compte qui si les $\frac{3}{4}$ sont visibles et identifiables.
- Pour la détermination des diatomées nous sommes servis des ouvrages *Sfisswasserflora Von Mitteleuropa* (**Bourrelly, 1981**) et quelques ouvrages complémentaires (**Germain 1981, Kelly 2000**). Ces ouvrages sont très précieux pour la détermination des diatomées. Ils contiennent beaucoup de photos, ainsi que des indications écologiques et de synonymies.

Si le nombre de diatomées comptées est inférieur à 400 après balayage de l'ensemble de la préparation, il est impératif de refaire une nouvelle préparation à partir de la suspension d'origine qui permettra de compléter l'inventaire. Si le nombre de 400 ne peut toutefois pas être atteint, le calcul de l'indice ne peut être effectué (**Prygiel et Coste, 2000**).

• Etude quantitative du phytoplancton :

Le comptage est réalisé suivant la méthode d'UTERMOHL (1958) au microscope inversé. Les résultats sont exprimés en nombre d'algues et de cellules par litre d'eau brute.

II.6.5. Organisation et structure du peuplement :

Pour étudier la diversité d'un échantillon, il existe plusieurs indices différents qui sont classés généralement selon leurs types. On distingue : les méthodes univariées, multivariées, multimétriques et fonctionnelles.

II.6.5.1. La richesse spécifique :

Elle représente l'un des paramètres fondamentaux caractéristiques d'un peuplement et représente la mesure la plus fréquemment utilisée de sa biodiversité (**Ramade, 1984**).

La richesse spécifique S désigne le nombre total (S) ou moyen (S_m) d'espèces recensées par unité de surface. Cet indice S peut être utilisé pour analyser la structure taxonomique du peuplement (ex : nombre d'espèces de phytoplancton). Toutefois, cette méthode dépend de la taille des échantillons et ne considère pas l'abondance relative des différentes espèces (**Ngansoumana, 2006**).

II.6.5.2. La densité des espèces :

C'est un paramètre quantitatif important pour décrire la structure d'un peuplement donné. La densité des espèces phytoplanctoniques a été calculée selon la méthode de comptage d'Utermohl (**El Haouati, 2009**).

$$\text{Densité} = \frac{\text{Nombre d'organismes dénombrés} \times \text{Nombre de champs} \times 100}{\text{Nombre de champs prospectés} \times \text{Volume concentré}}$$

II.6.5.3. L'abondance ou la fréquence relative :

C'est une caractéristique d'une population, qui permet de connaître l'importance d'une espèce dans une communauté. Elle représente le rapport, du nombre d'individu (n_i) d'une espèce donnée, sur le nombre total d'individus (N) pour un échantillonnage considéré. Elle est exprimée en pourcentage.

$$D (\%) = (n_i/N) \times 100$$

II.6.6. Etude de l'évolution spatio-temporelle de la diversité spécifique :

La richesse spécifique est le nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage. Elle mesure la diversité la plus élémentaire, fondée directement sur le nombre total d'espèces dans un site. Un grand nombre d'espèces fait augmenter la diversité spécifique. Toutefois, cette méthode dépend de la taille des échantillons et ne considère pas l'abondance relative des différentes espèces. Sa valeur écologique est donc limitée (**Travers, 1964**).

II.6.6.1. Les indices de diversité :

La richesse spécifique ne considérant pas l'abondance relative des différentes espèces, sa valeur écologique est donc limitée (**Travers, 1964**).

II.6.6.a. Indice de Shannon-Wiener (H') :

Parmi tous les indices, la formule de Shannon-Weiner est probablement l'indice le plus utilisé qui exprime le mieux la diversité d'un peuplement. Il coordonne à la fois l'abondance et la richesse spécifique (**Gray et al., 1994**), il a pour expression :

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad \text{avec } P_i = N_i/N$$

H' : indice de Shannon est exprimé en bits par individus, compris entre 0 et $\log S$ (S : richesse spécifique).

P_i : fréquence relative de l'espèce i .

N_i : nombre d'individu de l'espèce i .

N : nombre total de tous les individus de toutes les espèces.

Une valeur élevée de H' révèle que le peuplement se compose d'un grand nombre d'espèces pour un petit nombre d'individus. On dit qu'il y a équipartition.

Une valeur basse de ce dernier révèle que le peuplement est dominé par une espèce présentant une abondance élevée.

H' est égale à 0 lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce. Donc H' traduit en général, le degré d'évolution structurale, la maturité et la stabilité d'un écosystème (Verlaque, 1977).

II.6.6.b. Indice d'équitabilité de Pélou :

L'indice d'équitabilité est combiné avec l'indice de Shannon, il permet de mesurer la distribution des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique.

Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces) :

$$E = R = H'/H_{\max} = H'/\log_2 S$$

S : somme des espèces. H : indice de Shannon. R : régularité. E : équitabilité.

II.6.7. Diagramme de Frontier (Diagramme Rang fréquence) :

Le diagramme rang-fréquence (DRF) est utilisé pour compléter les paramètres étudiés précédemment. Il permet de visualiser la distribution, et le recouvrement des différents taxons.

Le diagramme rang-fréquence offre une représentation synthétique d'une communauté (pouvant représenter un échantillon unique, ou bien un cumul d'échantillons récoltés dans des conditions similaires) (Frontier et al., 1990).

Cette représentation a été choisie pour décrire la diversité spécifique de l'ensemble des cortèges floristiques obtenus. L'échelle est logarithmique, l'allure des courbes du DRF suffit à caractériser chacun des trois stades de la succession écologique. Ces tracés donnent une image synthétique de la population et caractérisent son degré d'avancement au long d'une succession.

Les différents stades sont la suivante (Fig. 12) :

- **Stade 1** : (début de succession) : il correspond à un faible nombre d'espèces abondantes accompagnées de quelques espèces rares ; le diagramme est concave, indiquant une diversité faible, il s'agit donc d'un écosystème juvénile ou en déséquilibre.

- **Stade 2** : (maturité du système) : caractérisé par un nombre important d'espèce avec une égalité d'abondance. L'indice de diversité et de régularité est élevé et la courbe est entièrement convexe, ce qui correspond à un écosystème mature.
- **Stade 3** : (fin de succession) : l'allure est sensiblement rectiligne expliquée par une diminution de la diversité spécifique, c'est un écosystème sénescent.

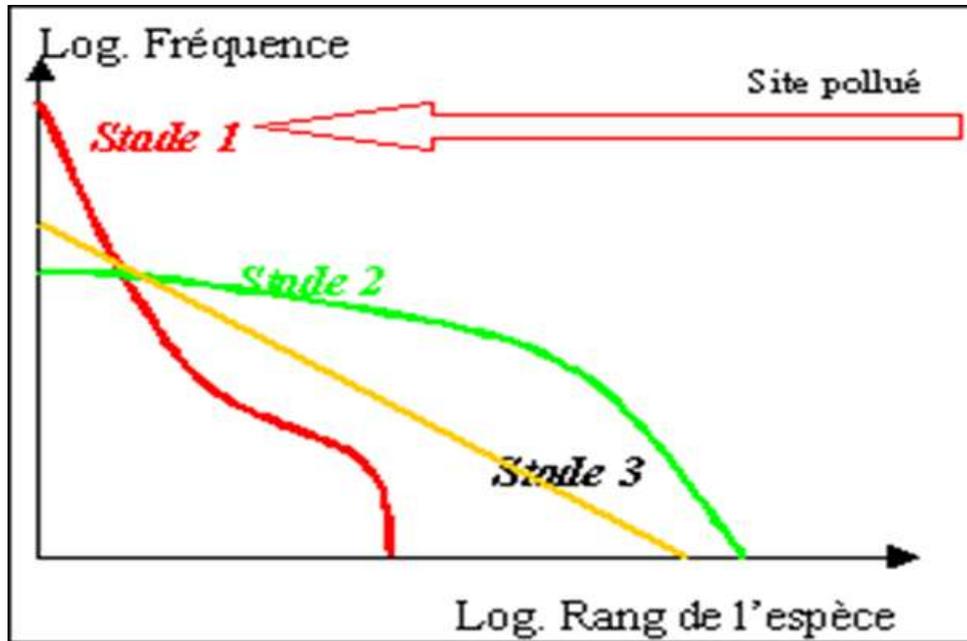


Fig.12 : Evolution des diagrammes rangs-fréquences au cours d'une succession (Frontier, 1969)

II.6.8. l'Indice Diatomique Générique IDG

Le calcul de l'IDG :

$$IDG = \frac{\sum_{i=1}^n S_i V_i A_i}{\sum_{i=1}^n V_i A_i}$$

- **A** : (Abondance relative, exprimée en %)
- **S** : valeur de sensibilité globale
- **V** : valeur représentant le degré de "sténoécie"

II.7. L'analyse statistique :

L'étude d'un écosystème à travers la biocénose, le milieu et leurs interactions dans ses dimensions espace-temps, conduit à l'obtention d'un ensemble complexe de données tridimensionnelles (variables x temps x espace) qui s'organisent naturellement sous la forme de plusieurs tableaux. En statistique, des méthodes dites multi-tableaux ont été spécifiquement créées pour analyser simultanément plusieurs tableaux de données (**Blanc, 2000**).

Legendre et Legendre (1998) définissent l'analyse multivariée comme étant un ensemble de méthodes d'analyse numérique traitent en bloc des tableaux de données, où chaque observation et chaque élément d'échantillonnage sont définis par plusieurs variables, soit les abondances d'espèces, les mesures physico-chimiques, etc. cette analyse permet de grouper des stations ayant des attributs semblables. Elle est généralement construite à partir de deux matrices de données, soit une matrice taxonomique et une matrice d'habitat. La méthode multivariée permet, donc une utilisation optimale de nos bases de données biologiques et physico-chimiques.

Les analyses multivariées ont été réalisées sous l'environnement R (**Thioulouse et al., 1997 ; Thioulouse et al., 2007 ; R Development Core Team 2011**). Afin d'explorer la distribution spatiale des stations d'échantillonnage en fonction des facteurs abiotiques, nous avons utilisé l'Analyse en Composantes Principales ou ACP. Cette dernière est une analyse multivariée simple, son objectif général est une étude exploratoire qui se propose de fournir des représentations synthétiques de vastes ensembles de valeurs numériques, sous forme de visualisations graphiques (**Lebart et al., 2006**).

CHAPITRE III :

Résultats et discussion

III.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau :

III.1.1. Température :

La température constitue un facteur primordial dans les milieux lacustres. Elle joue un rôle très important dans la solubilité des gaz et de la dissolution des sels, par conséquent, elle intervient indirectement dans la détermination du pH et de la conductivité électrique (El-Haouati et Djemane, 2006)

Certes toute variation brusque de ce paramètre entraîne un dérèglement dans l'équilibre de l'écosystème aquatique (Benaabidete, 2000).

Les résultats obtenus (Fig.12) montrent que la température des eaux du barrage de Keddara est élevée au mois d'avril 2019 avec un maximum de 18 °C enregistré dans la station F. La valeur minimale (12.6 °C) est observée au mois de février 2018 dans les deux stations A et C.

Nous avons enregistré durant la période de notre étude, une perturbation progressive de la température de l'eau en relation avec le réchauffement climatique, nous avons aussi que la température de l'eau dans le barrage durant la période d'étude (2018-2019) est plus élevée en printemps qu'en automne avec une valeur maximale de 18 °C. Cela est dû à la température de l'air dans cette période (Fig. 13).

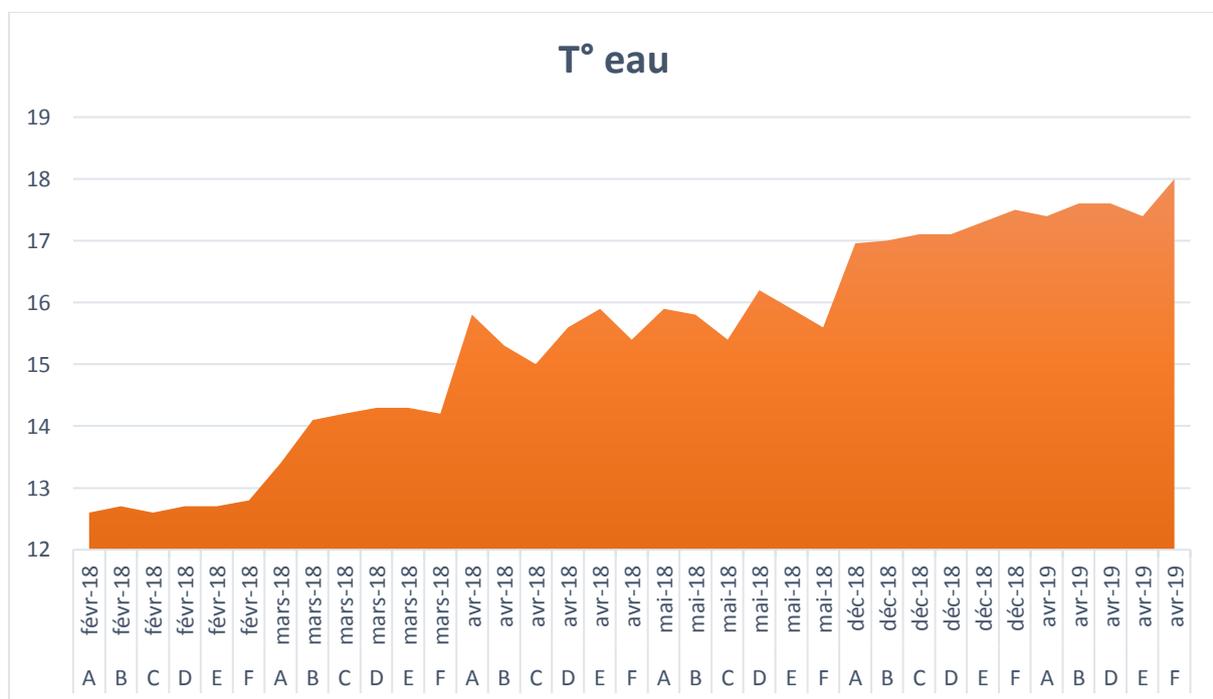


Fig. 13 : Variation mensuelle et spatiale de la température de l'eau dans le barrage de Keddara (du mois de février 2018 au mois d'avril 2019)

III.1.2. Potentiel d'hydrogène :

Le pH joue un rôle important dans la répartition des organismes aquatiques (Dajoz, 2000). C'est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il

intervient dans ces phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température (**Rodier et al., 1996**).

Durant la période d'étude (janvier 2018- avril 2019), les valeurs de pH varient entre 8 au mois de janvier 2018 dans la station F et 8.97 au mois d'avril 2019 dans les deux stations B et C (Fig.13).

Mulhauser et Monniers (1995) associent souvent de la valeur du pH à une appréciation de l'état trophique de l'eau : un plan d'eau acide est oligotrophe, un plan d'eau neutre est mésotrophe et un plan d'eau alcalin est eutrophe.

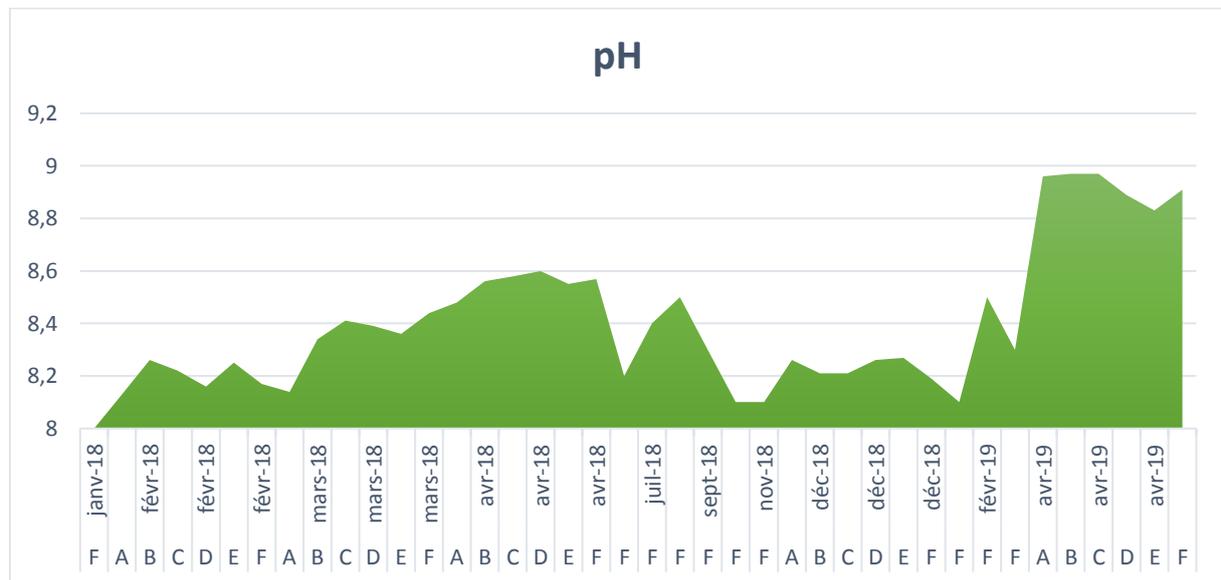


Fig. 14 : Variation mensuelle et spatiale du potentiel d'hydrogène de l'eau dans le barrage de Keddara (du mois de janvier 2018 au mois d'avril 2019)

III.1.3. Oxygène dissous :

C'est un élément important dont les teneurs dépendent des phénomènes qui tendent soit à un enrichissement grâce aux échanges avec l'atmosphère (**Lacaze, 1996**). Etant l'un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux. Il est un facteur écologique essentiel car sa présence permet la respiration des êtres vivants aquatiques. (**Angelier, 2003**).

La valeur maximale d'oxygène dissous a été enregistrée dans la station F au mois de juillet 2018 avec 146%, et la valeur minimale est de 64% dans la station E au mois d'avril 2019 (**Fig.15**). Cela traduit par le développement maximal de l'activité photosynthétique durant cette période.

Globalement, l'oxygène dissous dans l'eau varie considérablement dans le temps et dans l'espace en influençant la distribution des organismes dans les milieux (**Reguig et Benayache, 2018**).

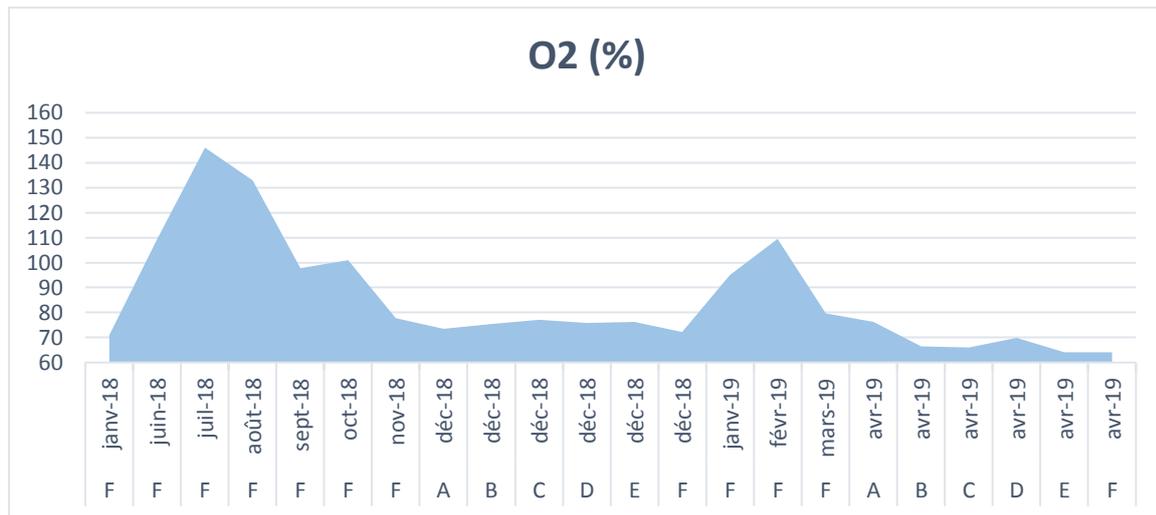


Fig. 15 : Variation mensuelle et spatiale d’oxygène dissous de l’eau dans le barrage de Keddara (du mois de janvier 2018 au mois d’avril 2019)

III.1.4. Conductivité électrique :

La mesure de la conductivité permet d’évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l’eau (Rodier et al., 2005).

Dans le lac de barrage de Keddara la conductivité maximale a été enregistrée en février 2018 dans la station A avec 1211 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La valeur minimale de la conductivité a été observée au mois de mai 2018 dans la station C avec 1002 $\mu\text{s}/\text{cm}$. (Fig. 16)

Les fortes valeurs de la conductivité au niveau du lac de barrage de Keddara pourraient être expliquées par les apports chargés en sels provenant de l’oued El Haad et l’oued Keddara. D’après la classification de Nisbet et Verneaux, 1970 (in Arrignon, 1976), les eaux du barrage présentent une bonne minéralisation et le lac appartient à la classe 8.

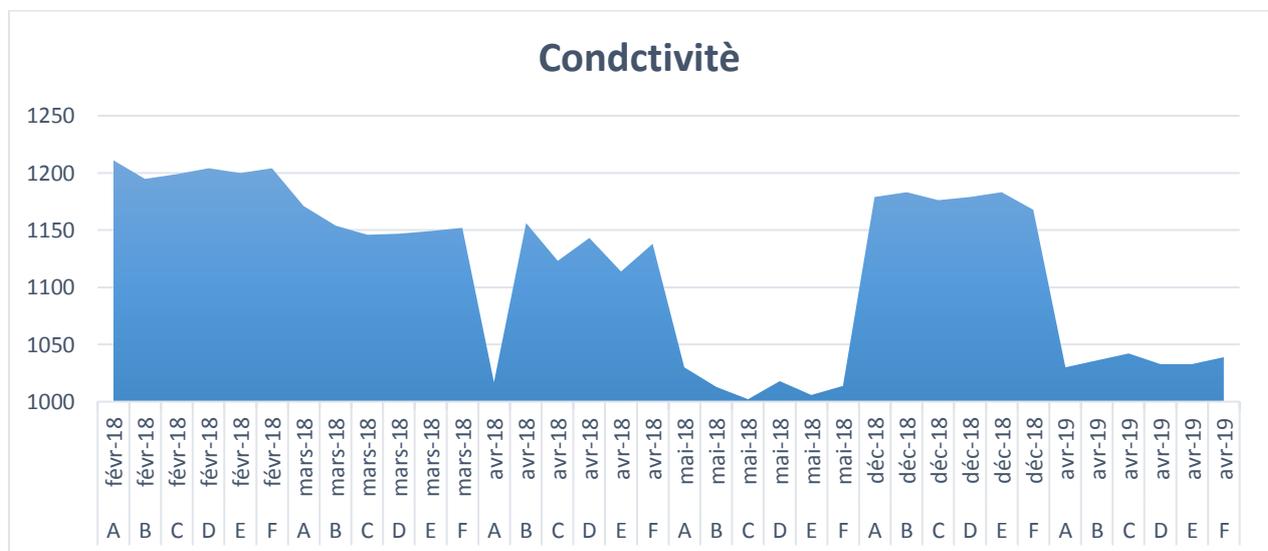


Fig. 16 : Variation mensuelle et spatiale de la conductivité de l’eau dans le barrage de Keddara (du mois de février 2018 au mois d’avril 2019)

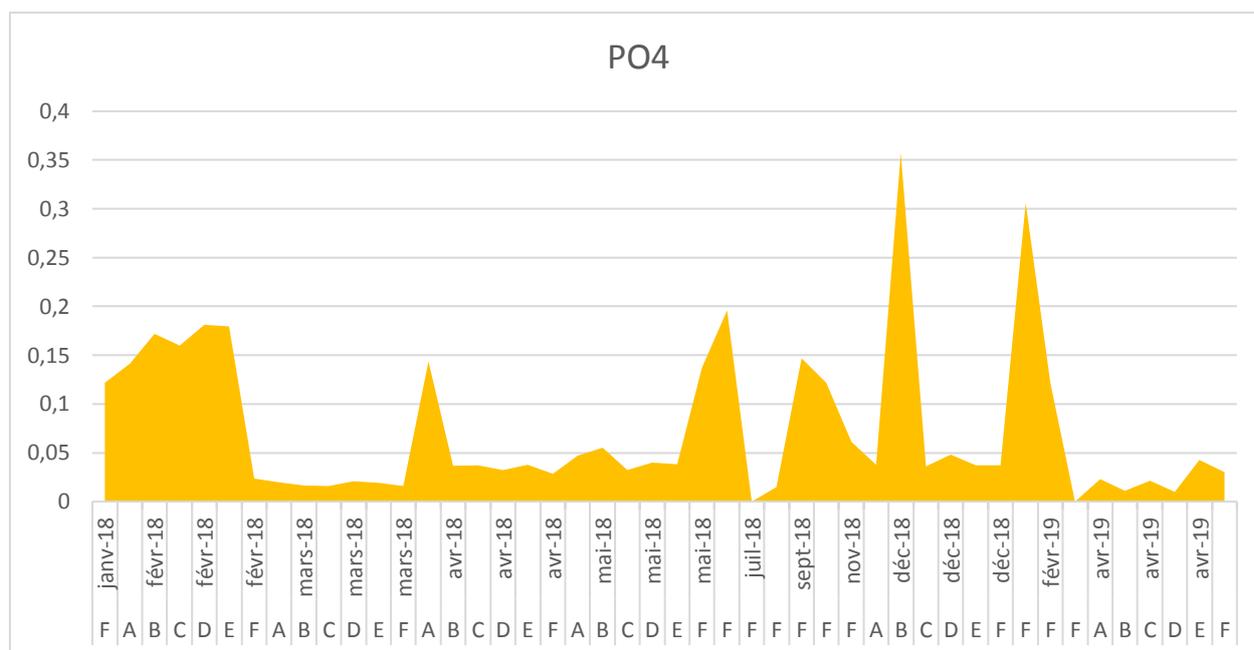


Fig. 18 : Variation mensuelle et spatiale du phosphate l'eau dans le barrage de Keddara (du mois de janvier 2018 au mois d'avril 2019)

III.2.2. Azote ammoniacale (NH₄) :

La présence de l'ion ammonium dans l'eau est un signe de pollution, il est peut-être exogène (apporté par les eaux) ou endogène (décomposition bactérienne des composés organiques azotés) (**Lachevanne, 1980**).

D'après les résultats présentés par la (**Fig. 19**), nous constatons que la quantité d'azote est nulle (0 mg/l) sur les deux mois de janvier 2018 et février 2019 à la station F, et la valeur la plus élevée durant la période d'étude est estimée à 0,2993 mg/l enregistrée en décembre 2018 à la station D. Cette présence de NH₄ pourrait avoir une origine humaine, avec les rejets d'excréments d'animaux, l'utilisation massive d'engrais, les rejets d'eaux usées non ou peu épurées et c'est pourquoi elle est considérée comme un signe de contamination de l'eau (**Rejsek, 2002**).

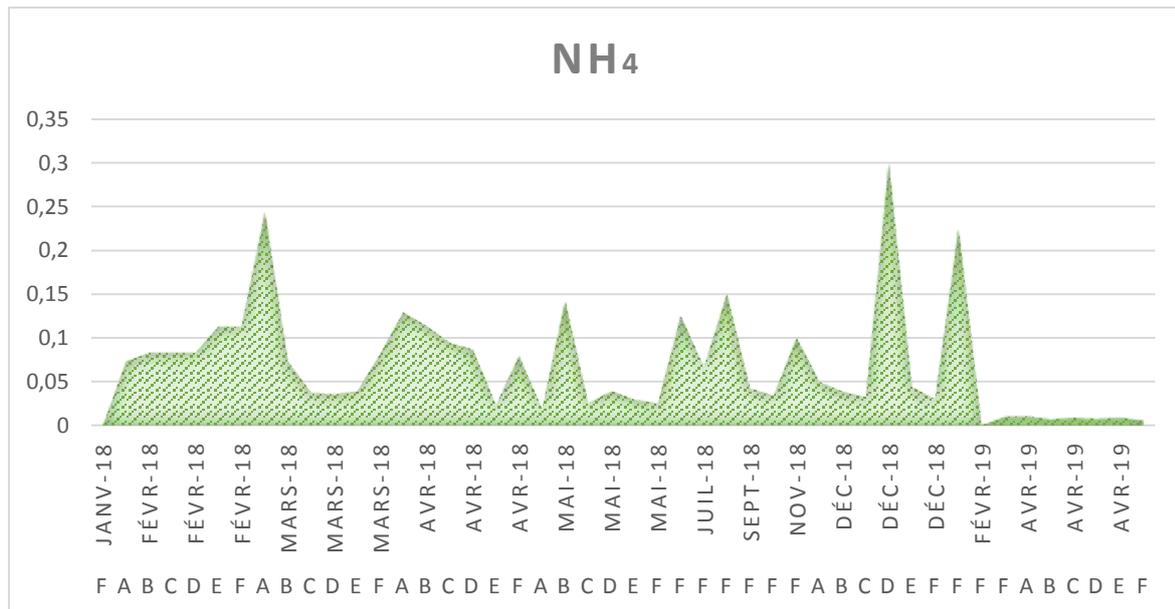


Fig. 19 : Variation mensuelle et spatiale d’azote ammoniacale de l’eau dans le barrage de Keddara (du mois de janvier 2018 au mois d’avril 2019)

III.2.3. Nitrites (NO₂) :

Les nitrites sont naturellement présents dans les lacs en conséquence de la nitrification de l’ammonium et de la dénitrification des nitrates (F.A.O, 1984).

Dans le lac du barrage de Keddara la valeur maximale de nitrite enregistrée est de 1,0723 mg/l en avril 2019 dans la station A qui est une valeur élevée et la valeur minimale 0 mg/l en octobre 2018 et janvier 2019 dans la station F.

Dans le cycle de l’azote, les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l’azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées dans le milieu aquatique (Aminot, 1983).

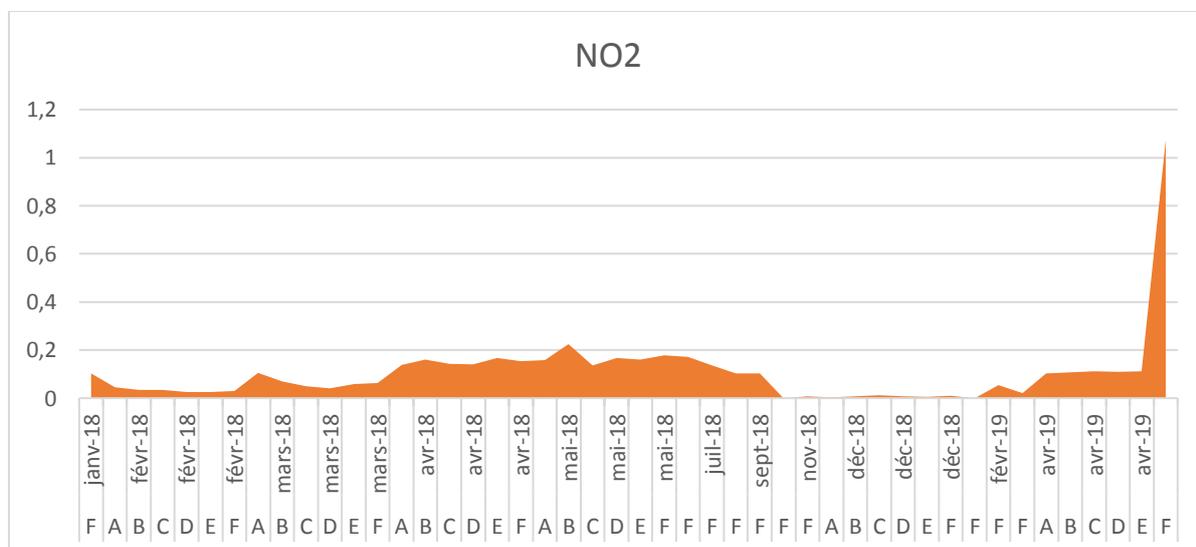


Fig. 20 : Variation mensuelle et spatiale nitrite de l’eau dans le barrage de Keddara (du mois de janvier 2018 au mois d’avril 2019)

Selon **Rodier et al., (2009)**, une eau qui renferme des nitrites est considérée comme suspecte car il lui est souvent associé une détérioration de la qualité microbiologique. Cependant les eaux en contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure (**Cebren, 2004**).

III.2.4. Nitrates (NO₃-) :

Les nitrates jouent un rôle particulièrement important dans le métabolisme général des eaux et représentent une forme directement assimilable par la végétation. Ils proviennent de la dégradation des matières organiques azotées. La variabilité des taux de nitrates des plans d'eau dépend de la saison et de l'origine des eaux (**Rodier et al., 1996**), le nitrate est très important pour la croissance du phytoplancton via les chaînes alimentaires ; grâce à la photosynthèse, le phytoplancton fixe du gaz carbonique pour fabriquer ses tissus (**Rodier et al., 2009**).

Les variations mensuelles des nitrates dans les eaux de notre barrage varient entre 0,021 mg/l dans la station F au mois d'avril 2018 et 7,200 mg/l au mois de septembre 2018 dans la station F. Cela peut être expliqué par le lessivage de terrains agricoles autour du barrage.

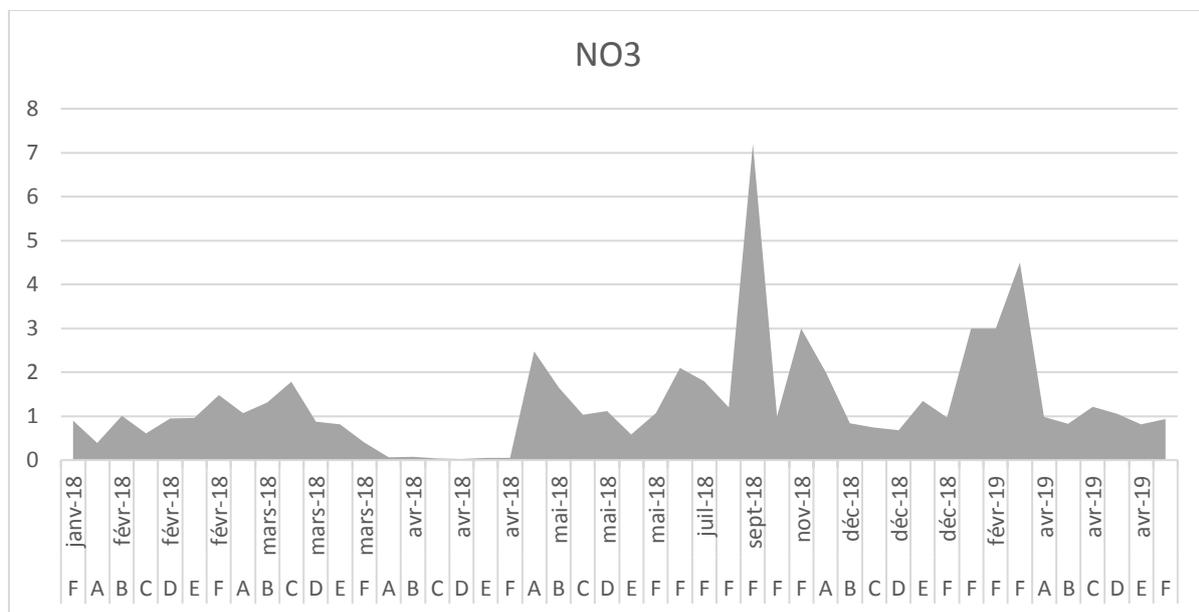


Fig. 21 : Variation mensuelle et spatiale du nitrate de l'eau dans le barrage de Keddara (du mois de janvier 2018 au mois d'avril 2019)

III.3. Synthèse sur la qualité physico-chimique :

La qualité des eaux du barrage est évaluée aussi par des paramètres physicochimiques, elle est déterminée en comparant nos résultats aux bornes de la grille de qualité de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H, 2019) qui sont portés sur le tableau. (Tab. V).

Tableau V: Normes de qualité des eaux des masses d'eau naturelle (A.N.R.H) et les moyennes trouvées dans le site étudié durant les années (2018 – 2019).

Eléments de qualité (=Altérations) Paramètres		Limites inférieures					Barrage Keddara
		Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon	
Bilan en oxygène	Oxygène dissous (mg/l)	< 3	3	4	6	8	8.53
Matières phosphorées (mg/L)	Phosphates	>1	1	0.5	0.2	0.05	0,08008
Matières azotées (mg/L)	Nitrates	>16.94	16.94	11.3	5.65	1.13	1,30351
	Nitrites	>0.3	0.3	0.16	0.09	0.03	0,10582
	Azote ammoniacal	>3.9	3.9	1.56	0.39	0.078	0,06861
Température	Température (°C)	>28	28	25	21.5	20	15,4103
Acidification	pH	>4.5	4.5	5.5	6	6.5	8,401

D'après les résultats de tableau V, nous pouvons conclure que le lac du barrage de Keddara est de bonne à très bonne qualité pour les paramètres physico-chimiques.

III. 4. Les facteurs biotiques :

➤ Chlorophylle « a » :

Elle représente le facteur essentiel de la photosynthèse conduisant à l'estimation de la biomasse phytoplanctonique (**Djerrah et Rahman, 2003**). La chlorophylle « a » est le seul pigment capable de produire de l'énergie chimique, nécessaire à la fixation du carbone, à partir de l'énergie lumineuse (**Rolland, 2009**).

A travers les résultats obtenus (**Fig. 22**), nous constatons que les valeurs de la chlorophylle « a » oscillent entre 15.75 µg/l (en mars 2018 dans la station D) et 74.73 µg/l (en avril 2018 dans la station A). Cette différence est due à l'augmentation de l'intensité lumineuse et par conséquent l'augmentation de l'activité photosynthétique et du taux de la chlorophylle « a ».

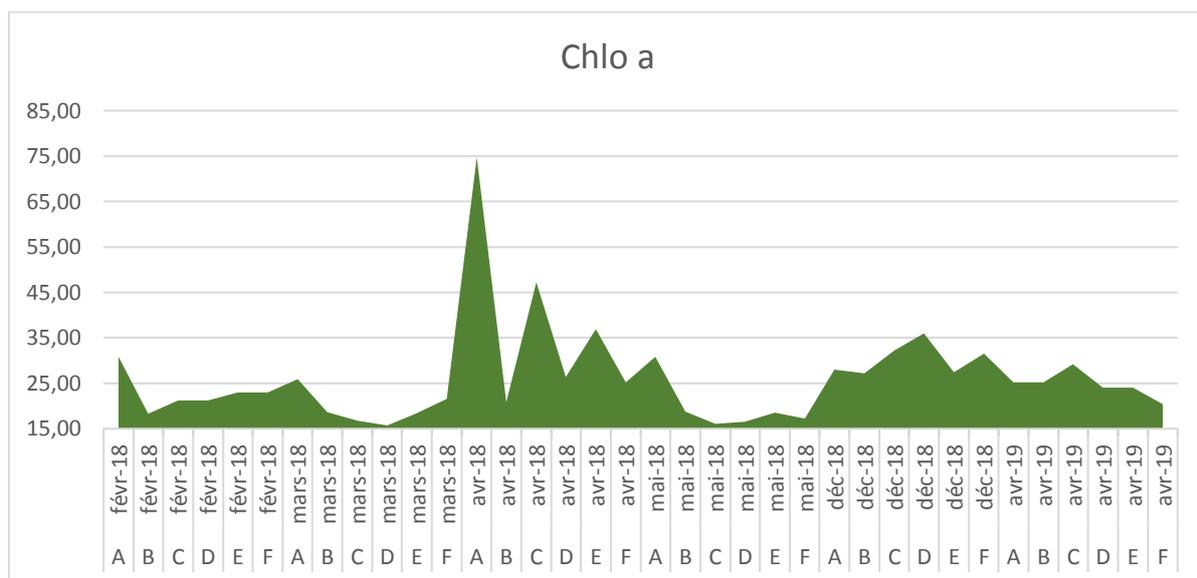


Fig. 22 : Variation mensuelle et spatiale de chlorophylle « a » dans l'eau du barrage de Keddara (du mois de février 2018 au mois d'avril 2019)

III.5. Analyse en composantes principales ACP :

Pour visualiser plus aisément l'influence des paramètres environnementaux sur la croissance et la dynamique diatomique des eaux du lac, des analyses en composantes principales ont été effectuées par le logiciel R en considérant les données des paramètres physico-chimiques séparément. Sur la période d'échantillonnage, 10 paramètres ont été considérés à savoir : le pH, les nitrates, les nitrites, le phosphore, la température, la conductivité, la transparence, l'azote ammoniacal, l'oxygène dissous et la chlorophylle a. L'objectif de cette partie est de caractériser les changements temporels de la qualité physico-Chimique des eaux de surface du barrage.

L'ACP a été faite sur des données centrées et réduites par rapport à leur moyenne et écart-type. L'utilisation de données normalisées permet de s'affranchir des unités de mesure qui sont hétérogènes dans notre cas.

La matrice de corrélation (**Fig. 23**) fait apparaître la distribution des paramètres physico-chimiques sur deux facteurs (l'axe 1 et l'axe 2). Les coordonnées des variables sur les axes

sont les coefficients de corrélations entre les variables et les facteurs. Cette matrice montre que :

- ✦ Dans l'axe 1 avec un pourcentage d'inertie de **26.7%**, il décrit essentiellement les paramètres suivants : les phosphates, l'oxygène dissous, la chlorophylle « a », l'azote ammoniacal, la conductivité électrique et les nitrates qui sont corrélées négativement avec la transparence la température d'eau, les nitrites et le potentiel d'Hydrogène.
- ✦ Par ailleurs, dans l'axe 2 pourcentage d'inertie **19.1%**, nous avons observé une corrélation négative avec la chlorophylle « a », le potentiel d'Hydrogène, la température de l'eau, l'azote ammoniacal et la conductivité électrique contre la transparence, les nitrates et les nitrites.

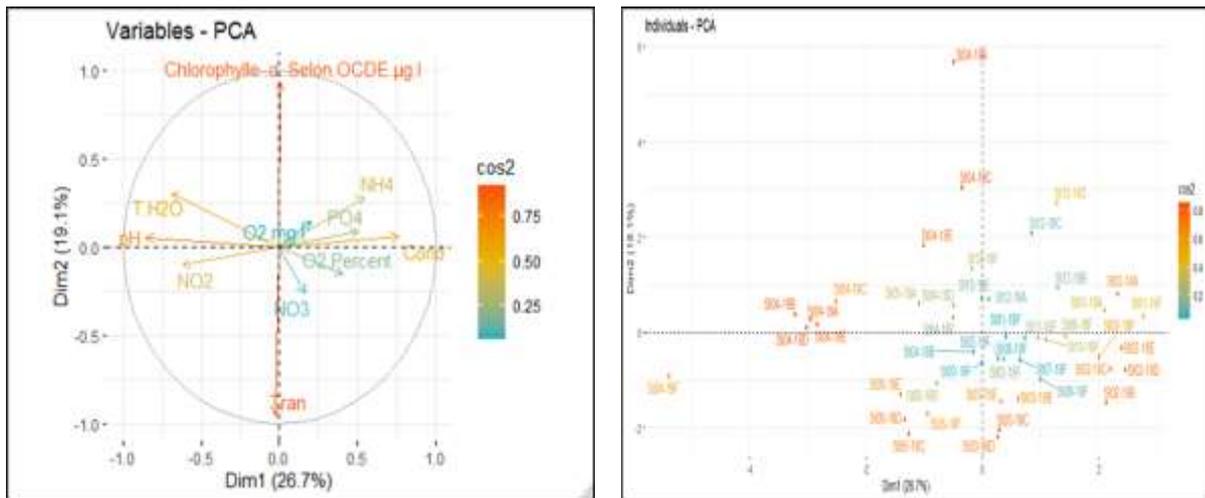


Fig. 23 : ACP des variables physico-chimiques (Dim 1 et 2) du barrage de Keddara
 % Inertie totale : 45.8 %

III.6. Evaluation de l'état trophique :

Selon les critères établis par l'O.C.D.E. (1982) basés sur la profondeur de Secchi et les concentrations en chlorophylle « a », on peut déduire l'état trophique du site étudié. D'après le tableau de classification de l'état trophique (Tab. VI), le barrage de Keddara est en état eutrophe.

Tab. VI : Etat trophique du barrage de Keddara selon les critères de l'O.C.D.E. (1982).

Etat trophique	Secchi (m)	Chl « a » m (mg/m3)
Oligotrophe	≥ 6	≤ 2.5
Mésotrophe	6-3	2.5-8
Eutrophe	3-1.5	8-25
Hypereutrophe	≤ 1.5	≥ 25

III.7. Etude du peuplement diatomique :

L'écosystème aquatique ne se définit pas uniquement par les facteurs abiotiques étudiés précédemment, il comprend également l'ensemble des organismes qui flottent au sein de l'eau et qui constituent le plancton. Ce dernier se diversifie en phytoplancton (plancton végétal) et zooplancton (plancton animal). La communauté phytoplanctonique du barrage de Keddara a été étudiée par une analyse et un suivi dans le temps en étudiant sa fluctuation qualitative (richesse spécifique) et quantitative (densité, abondance). En complément à cette étude, nous avons effectué une analyse structurale par le calcul des indices de diversité (Shannon et Equitabilité) et le tracé des diagrammes Rangs Fréquences, afin de déterminer le degré d'organisation et sa répartition.

III.7.1 Etude qualitative du peuplement diatomique :

III.7.1.1. Composition taxonomique du Bacillariophycées :

Dans le barrage de Keddara nous avons représentées 34 espèces réparties en 11 genres des Bacillariophycées (*Nitzschia*, *Navicula*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Aulacoseira*, *Craticula*, *Pinnularia*, *Surirella* et *Cymatopleura*). Qui sont, selon leurs abondances (Fig.24).

Selon la (Fig.24) les espèces les plus abondantes sont *Stephanodiscus cf. neoastraea* et *Cyclotella ocellata*.

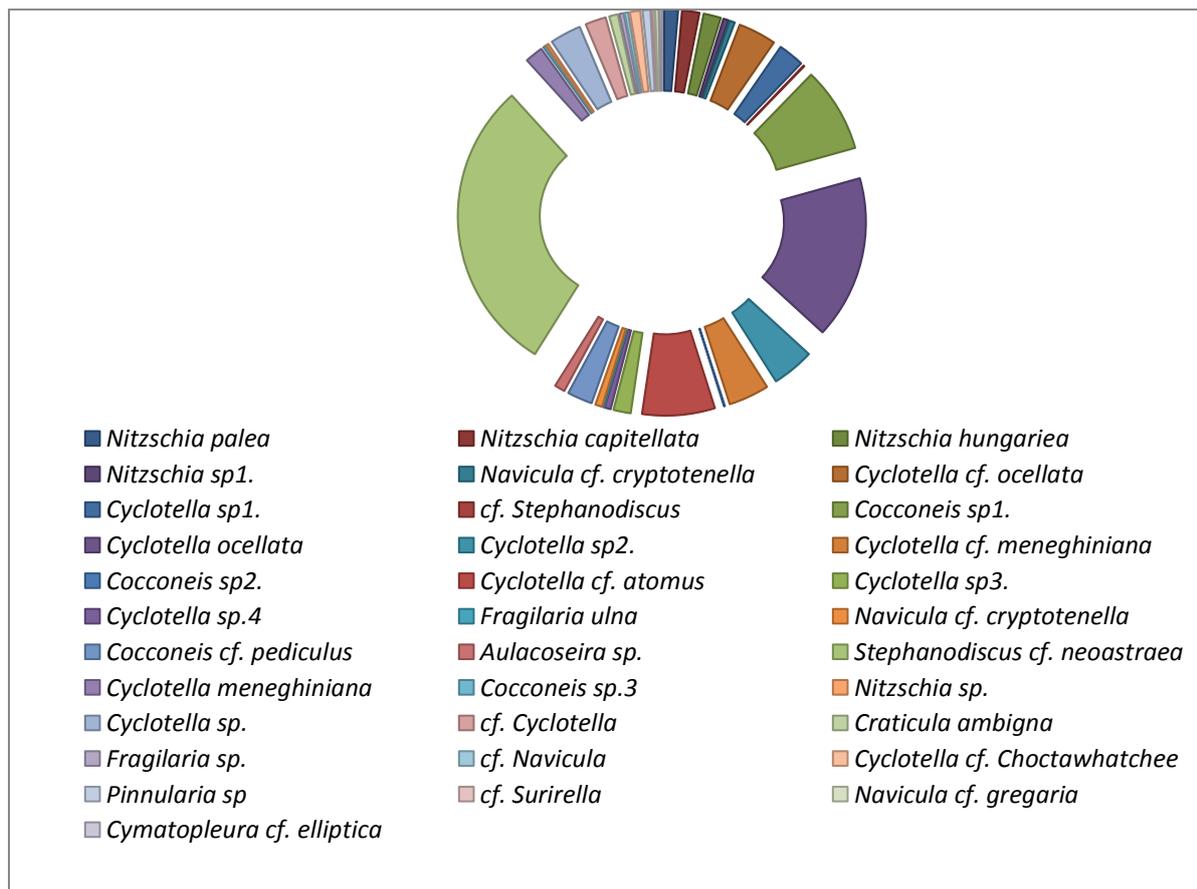


Fig. 24 : Variations des abondances des Bacillariophycées dans le barrage de Keddara

III.7.1.2. Evolution spatio-temporelle de la diversité spécifique :

► L'indice de Shannon (H') et d'Équitabilité (E) :

✚ Station A :

D'après Les résultats de barrage Keddara montrent que la valeur la plus élevée est dans la station A avec 4.82 bits/individus. Cette valeur est expliquée par la dominance remarquable de *Stephanodiscus cf. neoastraea* la richesse spécifique dans cette station est de valeur $S=25$.

Selon la (Fig.25) l'indice de régularité dans cette station est de valeur (0.2).

Une valeur élevée de l'indice de Shannon correspond à des conditions de milieu favorable permettant l'installation de nombreuses espèces qui présentent des abondances équilibrées avec une compétition alimentaire équilibrée. La dominance de l'espèce *Stephanodiscus cf. neoastraea* et la valeur élevée de l'indice de Shannon peuvent être expliquées par l'augmentation des valeurs des éléments nutritifs dans cette stations surtout dans les mois février 2018, avril 2018 et avril 2019 Fig. (18 ,19,20,21) aussi par la valeur élevée de la température en avril 2018 (15.8C°) et 2019 (17.4C°) donc ces conditions favorables assurent l'augmentation de la richesse spécifique et le nombre des individus de ces espèces dans cette station.

✚ Station B, C, D et E

L'indice de Shannon dans les stations B et C est le même avec une valeur de 4.59 bits/cellule, avec une dominance de l'espèce *Stephanodiscus cf. neoastraea* dans les deux stations B et C cela indique que ces deux stations contiennent une diversité spécifique élevée et équilibrée avec une richesse spécifique $S_B= 17$ et $S_C = 25$. Avec une valeur d'équitabilité égale à $R= 0.20$ et $R= 0.18$ respectivement.

Alors qu'en station D l'indice de Shannon est de valeur 4.68, exprimant l'abondance de *Cyclotella sp* et de valeur $R= 0.20$ bits/cellule d'indice d'équitabilité avec une richesse spécifique $S= 27$.

Selon les résultats nous observons que dans la station E la valeur de l'indice de Shannon est égale à 4.37bits/cellule avec une faible diversité et à dominance de l'espèce *Cyclotella ocellata*.

✚ Station F :

Nous remarquons qu'à la station F l'indice est de l'ordre de 3.91 bits/cellule, caractérisant un peuplement non équilibré avec une diversité moyennement faible et une dominance des (*Stephanodiscus cf. neoastraea* et *Cocconeis sp1*).

Ainsi au niveau de cette station, notre étude a montré que la communauté diatomique est moins diversifiée avec richesse spécifique $S = 23$ et une faible valeur de l'indice d'équitabilité $R = 0.1$ qui se rapproche de 0. donc la quasi- totalité des individus est concentrée sur ces deux espèces (*Stephanodiscus cf. neoastraea* et *Cocconeis sp1*). Cela est dû peut être à la perturbation et aux polluants organiques et minéraux accumulés dans cette zone

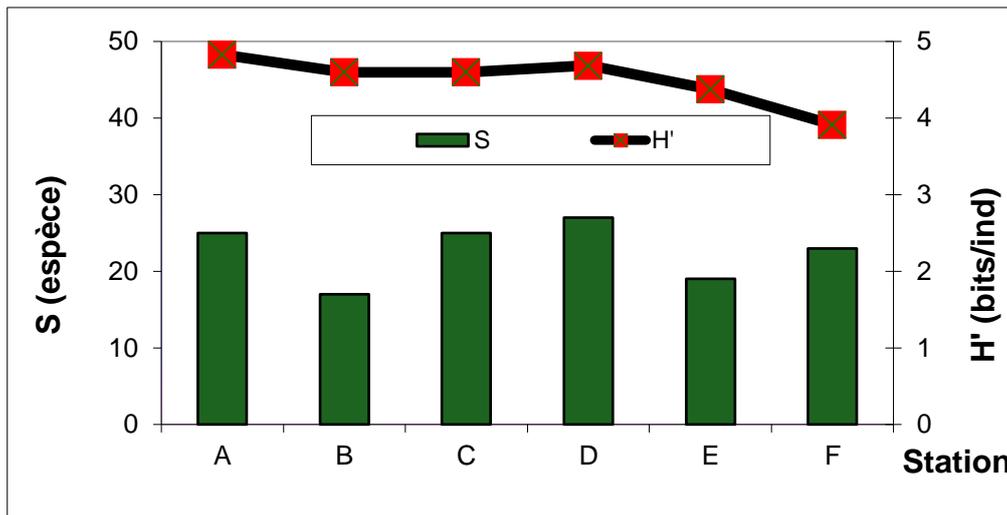


Fig. 25 : Variation de l'indice de Shannon (H') et la richesse spécifique (S) de lac du barrage Keddara.

Donc les résultats de (Fig. 25) montrent que l'indice de Shannon du lac du barrage de Keddara est varié entre (3.91-4.82 bits/individu). Ces valeurs expliquées par la dominance remarquable de (*Stephanodiscus cf. neoastreae*). la richesse spécifique durant la période d'étude varie entre (17-27) , on note que la valeur la plus élevée de l'indice de Shannon a été enregistrée à la station A (4.82 bits/ individu) et la valeur la plus faible enregistrée dans la station F (3.91 bits/ individu).ces valeurs élevée révèlent que le peuplement est composé d'un grand nombre d'espèces qui présentent une répartition équilibrée.

L'Equitabilité vaut (0) quand un seul taxon domine et (1) quand tous les taxons ont la même abondance (Llyod et Ghelardi, 1964). La quasi-totalité des individus est concentrée sur une espèce (*Stephanodiscus cf. neoastreae*).ce phénomène observé aux stations A, B, C et F.

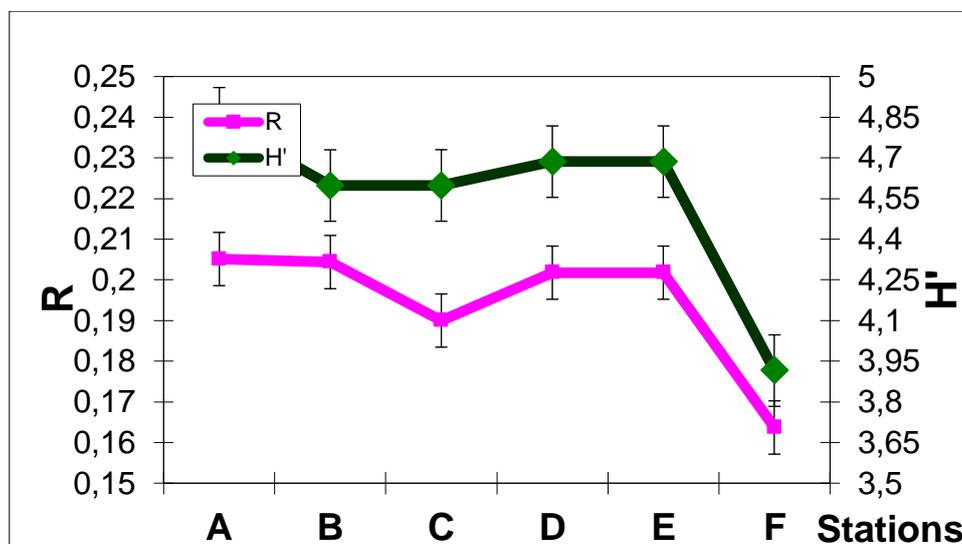


Fig.26 : Variation de l'indice de Shannon (H') et d'equitabilité (R) de lac du barrage Keddara

III.7.1.3. Analyse du diagramme de Frontier (Diagramme Rang fréquence) :

Pour compléter les résultats obtenus, les diagrammes de Rang Fréquence offrent une représentation synthétique de la structure de la communauté des Bacillariophycées observée au niveau des points de prélèvements de barrage Keddara.

L'analyse de l'allure des courbes de DRF pour le barrage de Keddara dans les six stations permet de décrire l'évolution de la structure du peuplement diatomique. Les **Fig. (27 à 32)** montrent que l'allure de DRF est entièrement convexe, ce qui correspond au stade 2, indiquant des écosystèmes mature et équilibrés : ils sont caractérisés par un nombre important d'espèces avec une égalité d'abondance (**Frontier, 1969**).

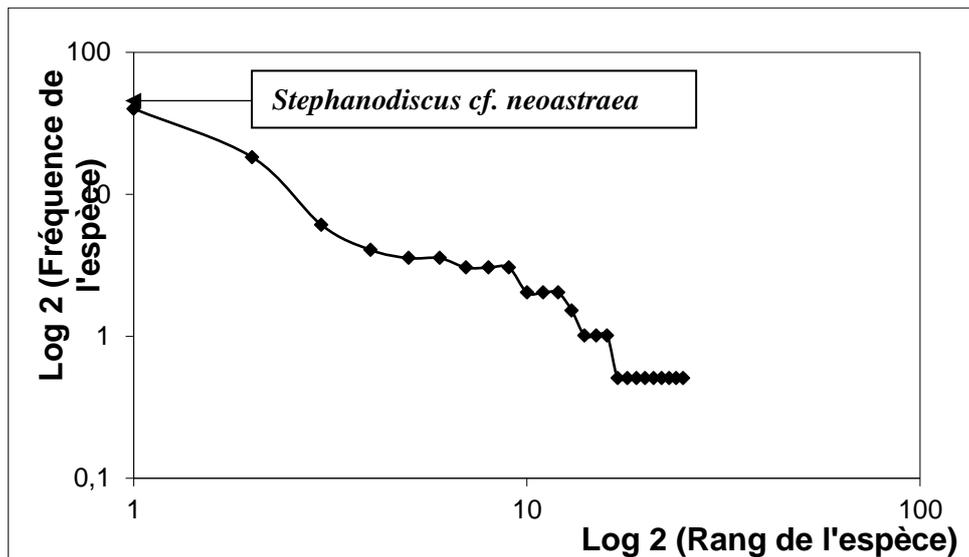


Fig. 27 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station A

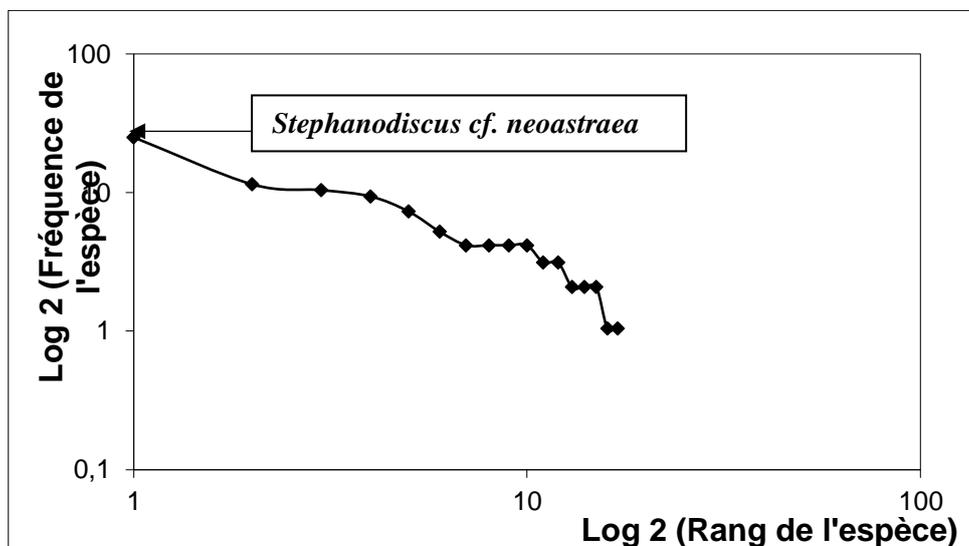


Fig. 28 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station B

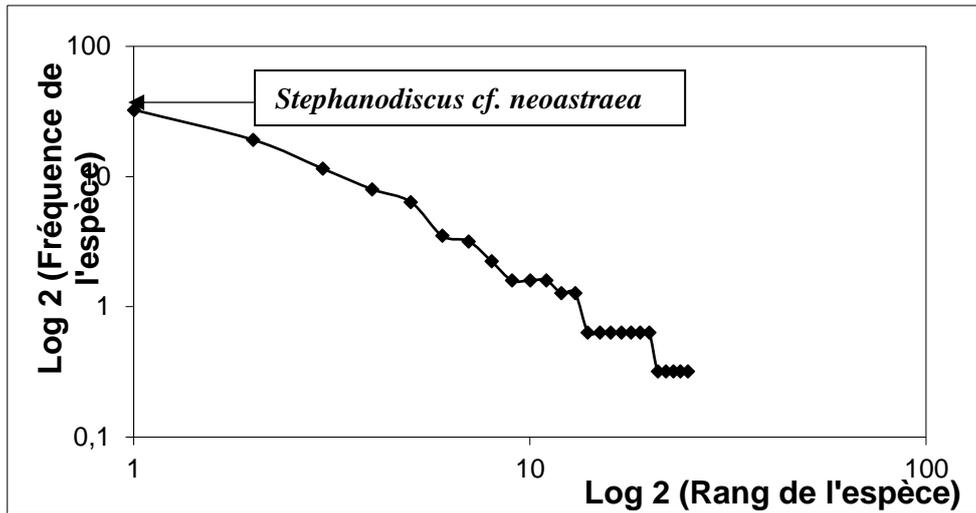


Fig. 29 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station C

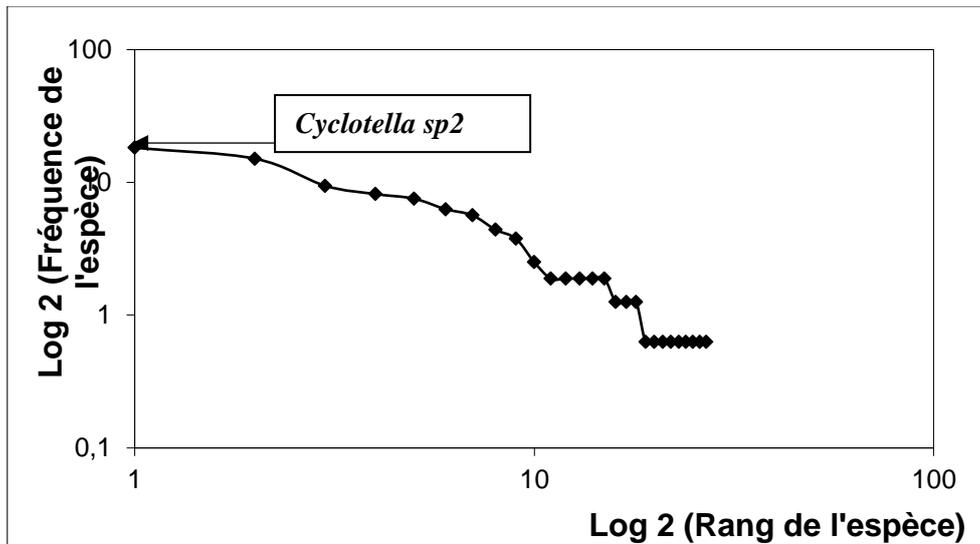


Fig. 30 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station D

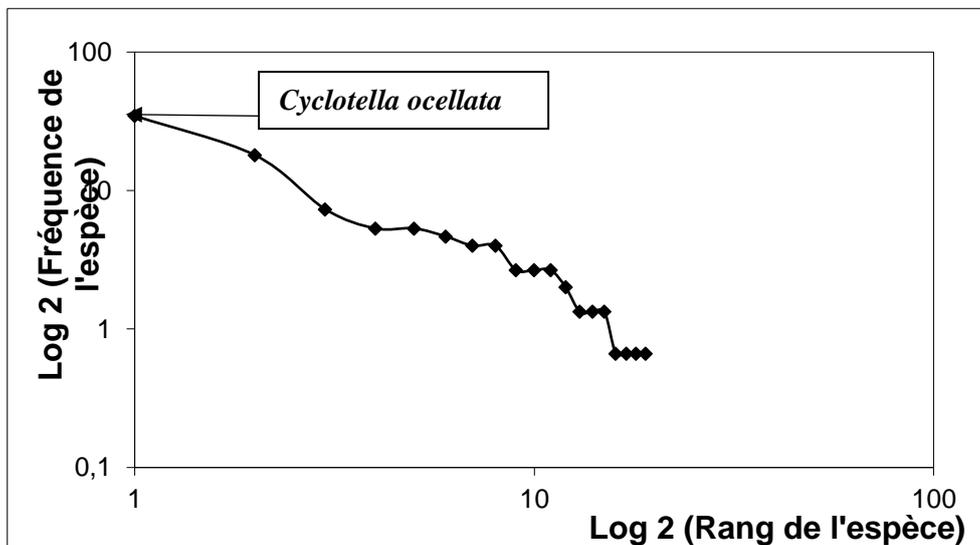


Fig. 31 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station E

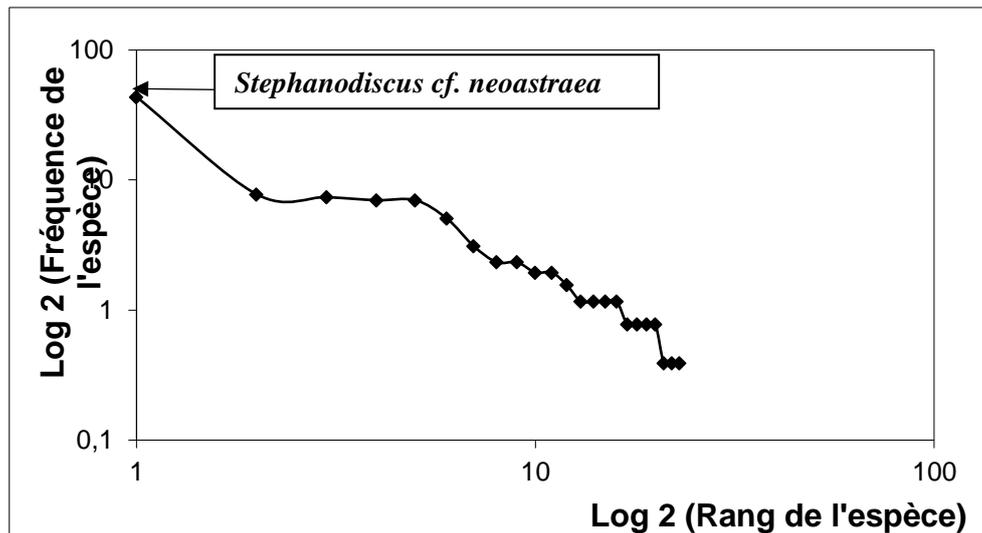


Fig. 32 : Variation de l'allure de la courbe Rang Fréquence de station F

III.7.2. Indice Diatomique Générique l'IDG :

Le calcul de l'IDG doit obligatoirement passer par deux étapes ; une analyse qualitative qui consiste à une identification des espèces en les rattachant à leurs genres correspondants, et une analyse quantitative qui consiste à un dénombrement ou comptage des frustules à partir des échantillons prélevés.

A titre informatif nous avons dressé une liste de présence de genres des diatomées (**Tab. VII**) observées au niveau des stations S1 à S6 en eau libre :

III.7.2.1. Dénombrement :

Le comptage d'individus de diatomées, nous a permis de comptabiliser un total $7,23 \cdot 10^7$ individus/L, regroupés dans 11 genres identifiés, et de noter que les effectifs les plus élevés sont attribués aux genres *Cyclotella* et *Stephanodiscus* avec respectivement $3,47 \cdot 10^7$ et $2,13 \cdot 10^7$ individus.

III.7.2.2. Calcul de l'Indice Diatomique Générique IDG :

Les différentes étapes de calculs de l'IDG ont abouti aux résultats présentés dans le tableau VIII.

✚ Station A :

Selon le tableau de l'IDG nous avons observé que la station A est de qualité médiocre par rapport aux autres stations qui peut être expliqué par la localisation de la station en amont du barrage et reçoit les deux affluents oueds Beni Amrane et oued El-Haad

Stations B, C, D et E

D'après les résultats de tableau de l'IDG nous constatons que les stations B, C, D et E ont une qualité d'eau passable, nous expliquons ces résultats que ces stations contiennent de bonnes

valeurs des éléments nutritifs et de chlorophylle « a », donc ça donne une diversité équilibrée des espèces des diatomées, et cela nous donne une qualité d'eau passable avec un taux de pollution moyen

Station F

La station F représente la station qui enregistre la valeur la plus faible de l'IDG. Cela est relié avec sa localisation (la digue) qui contient une charge élevée des éléments nutritifs et ça donne un peuplement diatomique non équilibré, du par l'accumulation des polluants organiques et minéraux accumulés dans cette zone (l'aval de barrage), pour ces raisons, nous obtenons une eau de qualité médiocre avec un taux de pollution élevé

L'IDG calculé pour le barrage de Keddara qui est 9.78 permet de conclure ce qui suit :

- ✓ La qualité biologique générale de l'eau est classée : passable.
- ✓ Caractère qualificatif de l'état général de la pollution (organique) : moyenne Pollution.

On notera aussi que nous n'avons pas utilisées deux genres *Aulacoseira* et *Craticula* dans le calcul de l'IDG à cause de leur absence dans la table des genres utilisés dans le calcul de l'indice diatomique générique parce qu'ils sont des nouveaux genres.

Tab. VIII : Récapitulatif des IDG calculés et caractérisation de chaque station

Dans le lac de barrage Keddara

Station	A	B	C	D	E	F	Barrage Keddara
IDG	8,54	10,32	10,1	10,81	11,25	7,71	9,78833333
Classe de qualité biologique	Mediocre	Passable	Passable	Passable	Passable	Mediocre	Passable
Caractérisation	P.F	P.M	P.M	P.M	P.M	P.F	P.M

(P.M) : pollution moyenne

(P.F) : pollution forte

CONCLUSION

Conclusion :

Notre étude, basé sur un suivi mensuel (du mois de janvier 2018 au mois d'avril 2019) dans six stations représentatives du barrage de Keddara, a été réalisée dans le but d'utilisée les diatomées dans la biosurveillance des eaux de ce dernier.

L'étude climatologique montre que le lac du barrage de Keddara appartient à l'étage bioclimatique subhumide à hiver chaud.

L'étude écologique de ce barrage, nous a permis d'évaluer les paramètres biotiques et abiotiques tout au long de la période d'étude et de connaître les concentrations de certains éléments essentiels. Suite à cette étude nous pouvons conclure que :

La température moyenne estimée dans la période de notre étude est de 15,41 °C.

Les variations de pH des eaux sont en moyenne de l'ordre de 8,4. Cette valeur montre que les eaux de ce dernier se trouvant dans un intervalle de pH nécessaire au maintien de l'équilibre naturel.

La conductivité semble être très élevée dans les eaux de notre barrage, cela témoigne une bonne minéralisation des eaux.

Selon les résultats des éléments nutritifs nitrite, nitrates, azote ammoniacale et phosphate qui ont des moyennes (0.1, 1.3, 0.06 et 0.07) mg/l respectivement nous avons conclure que l'état écologique de barrage de keddara est de bonne qualité pour la plupart des paramètres mesurés.

L'analyse de la composition qualitative et quantitative du peuplement diatomique montre que :

La communauté diatomique compte 8 ordres : Coscinodiscales, Naviculales, Achnanthales et Diatomales qui renfermant 34 espèces réparties en onze genres à savoir : (*Nitzschia*, *Navicula*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Aulacoseira*, *Craticula*, *Pinnularia*, *Surirella* et *Cymatopleura*). Avec une nette abondance de l'espèce *Stephanodiscus cf. neoastraea* et les *Cyclotella ocellata*.

L'indice de Shannon du lac du barrage de Keddara est varié entre (3.91-4.82 bits/individu. Ces valeurs expliquées par la dominance remarquable de *Stephanodiscus cf. neoastraea*. La richesse spécifique durant la période d'étude varie entre (17-27), on note que la valeur la plus élevée de l'indice de Shannon a été enregistrée à la station A (4.82 bits/individu) et la valeur la plus faible enregistrée dans la station F (3.91 bits/individu). Ces valeurs élevées révèlent que le peuplement est composé d'un grand nombre d'espèces qui présentent une répartition équilibrée.

L'étude de l'indice diatomique générique IDG montre que : IDG = 9.78. Donc les eaux de lac du barrage de Keddara sont de qualité biologique passable avec un caractère d'état de pollution organique moyenne.

Les résultats de l'IDG dans les six stations est varié entre qualité médiocre et passable des eaux.

L'allure de diagramme de Frontier est entièrement convexe, ce qui correspond au stade 2, indiquant des écosystèmes matures et équilibrés

A l'issue de cette étude, et lors de l'interprétation des résultats, il nous est apparu utile de suggérer quelques perspectives en vue de protéger de la qualité des eaux du milieu étudié :

- ✚ Un suivi régulier physico-chimique et biologique de l'eau est imposé sur une durée plus importante, afin de constituer une base des données de ce site, particulièrement le dosage de l'azote total et le phosphore total.
- ✚ Poursuivre l'étude du phytoplancton, afin de déterminer les espèces existantes naturellement et celles liées à la pollution ponctuelle provenant des bassins versants, cet aspect a été étudié dans le cadre d'un projet national de recherche 2015-2020 ;
- ✚ Contrôler les déversements des déchets urbains, domestiques et agricoles dans les oueds alimentant ce lac tout en plaçant des stations d'épurations des eaux usées à proximité des sources de pollution.

Références Bibliographiques

- **A .N.B.T, 1981** . Agence national des barrages et transfert .barrage keddara
- **A.N .B.T, 2019**. Agence national des barrages et transfert .rapport technique barrage Keddara wilaya de boumerdes
- **A.N.B.T, 2018**. Agence national des barrages et transfert. Rapport technique barrage Keddara wilaya de boumerdes.4 p
- **Abdesselem,A. 1999**. Suive De La Qualité Microbiologique Et Physicochimique De Trois Serres Alimentant De La Région De Tlemcen, Mémoire d'ingénieur institut de biologie, université de Tlemcen. pp 2-18
- **Agnieszka P, , Ma''gorzata P, 2009**, Phytoplankton based assessment of the ecological status of four shallow lakes (Eastern Poland) according to Water Framework Directive – a comparison of approaches, *Limnologia*, p 2
- **Aminot, A. 1983**. Dosage de la chlorophylle et des phéopigments par spectrophotométrie (Lorenzen). Manuel des analyses chimiques en milieu marin : pp 72-143
- **Angelier, E. 2003**. Introduction à l'écologie. Des écosystèmes naturels à l'écosystème humain. Edit : Tec et Doc, paris. 230 p.
- **Aouchiche M et Salhi M, 2013**. Memoires Les algues et la qualité de l'eau du barrage Tichi haf (Bejaia).Université BEJAIA. 63p.
- **Arab A., 1989**. Etude des peuplements d'invertébrés et de poissons appliquée à l'évaluation de la qualité des eaux et des ressources piscicoles des oueds Mouzaia et Chiffa. Thèse de magistère en hydrobiologie, 23- 39-139 p. Univ. des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (Alger).
- **Attou F et Arab A., 2019**. Biology and Ecology of the accidentally introduced bleak, *Alburnus alburnus* (ActinopterygII: Cypriniformes: Cyprinidae), in Keddara Dam Lake, Algeria. Article in *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*. 49 (2): 119–132.
- **Azizou A.et Madani H., 2014**. Contribution à l'étude climatique et bioclimatique du barrage Ghrib dans la wilaya d'Ain Defla, U. Khemis Miliana.42p.
- **Baars, J.W., 1983**. Autoecological investigations on freshwater diatoms. 1. Generation times of some species. . *Archiv für Hydrobiologie Supplement* 67, 11-18
- **Bérard-Therriault L, Poulin M, Bossé L ; 2000** « Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires » Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 128 Jbtha mn these Etude de la composition et de l'évolution de la biodiversité des peuplements phytoplanctoniques de la côte algérienne (mer d'Alboran et Bassin Algérien) et influence des zones d'enrichissement esmha these mus 18112019
- **Bernadet C, Touron-Poncet H., N. Bargier, R. Céréghino, C. Mondy, O. Monnier, 2020**. Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer, OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITE, p1.
- **Blandine R ,2015**. les cahiers de l'eau du réseau des CPIE. P11
- **Blanc L, 2000**. Données spatio-temporelle en écologie et analyses multi tableaux : examen d'une relation. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard. Lyon I. 266p

- **Boudjenah, M, 2019**, Etude de la composition et de l'évolution de la biodiversité des peuplements phytoplanctoniques de la côte algérienne (mer d'Alboran et Bassin Algérien) et influence des zones d'enrichissement , p 118
- **Bourrelly , P. 1981**. Les algues d'eau douces : initiation à la systématique –les algues jaunes et brunes. Tome II. éd N. Boubée et Cie. 517 p.
- **Bouziane, 2016**. Effet toxiques des pesticides sur la croissance et la diversité de la flore microalgale : cas de diatomées. Mémoire de magistère. 53p.
- **Canter-Lund, H. et Lund, J-W. 1995**. Freshwater Algae. Their microscopic world explored. Biopres Limited. Bristol
- **Cebbron A. 2004**. Nitrification, bactéries nitrifiantes et émissions de N₂O. Thèse de doctorat, université Paris VI-Pierre et Marie Curie, p : 289
- **Cemagref, 2007**. Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation et d'observation du phytoplancton en plan d'eau. Rapport Cemagref. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée- Corse. Lyon. 19 p.
- **Cherbi M., 1984**. Contribution à l'étude des peuplements zooplanctonique de trois lacs de barrage Hamiz, Ghrib et Boughzoul. Thèse 3ème cycle. USTHB. Alger. 134p
- **Dajoz, 1985**. Précis d'écologie. Ed. DUNOD 5ème édition :505p
- **Dajoz, 2000**. Précis de l'écologie 7eme ED, Edition DUNOD. P615.
- **De reviers, B. 2003**. Biologie et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences. Tome 2. 255p
- **Debenest, T., Silvestre, J., Coste, M., Delmas, F. and Pinelli, E. 2009**. A new cell primoculture method for freshwater benthic diatom communities. J Appl Phycol 21P
- **Djerrah S et Rahmani H, 2003** . etude prèliminaire physico-chimique et phytoplanctonique du barrage Djorf Torba (Wilaya de Bechar). Memoire d'ingèniorat. USTHB.Alger .45p
- **El ghachtoul Y ., Alaoui M., Mhamdi H et Gabi H., 2005**. eutrophisation des eaux de retenues des barrages Smir et sahla (Maroc) : causes, consèquences et consignes de gestion. revue des sciences de l'eau. P 75-89.
- **El Haouati, H. 2015**. Adaptation d'un indice phytoplanctonique pour l'évaluation de la qualité des eaux des écosystèmes lacustres algériens. Thèse de Doctorat en Sciences.U.S.T.H.B. 242 p
- **El Haouati H. 2009**. Suivi de la caractéristique physico-chimique et phytoplanctonique de lac de Réghaia (wilaya d'Alger) thèse magister USTHB. Alger.22-160p.
- **F. Lugoli a,*, M. Garmendia d, S. Lehtinenb, P. Kauppila b, S. Monchevac, M. Revilla d, L. Roselli a, N. Slabakovac, V. Valencia d, K.M. Dromphe, A. Basset, 2012**, Ecological Indicators, p 338-355.
- **F.A.O, 1984**. " Food and agricultur organization " : l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- **Falciatore, A. and Bowler, C. 2002**. Revelaling the molecular secets of marine diatoms. Annu Rev Plant Biol 53: 109-30.
- **Fogg G.E ET Thake B., 1987**. Algal cultures and phytoplankton ecology. 3ème édition. USA: University of Wisconsin Press. 1266p

- **Frontier S et Etienne, 1990.** Etude de la diversité spécifique par le moyen des diagrammes Rangs Fréquences : modélisation, variabilité d'échantillonnage. Biométrie et océanographie, 10 Actes de colloques, IFREMER : 145-177p
- **Frontier S. 1969.** Méthodes d'analyses statistiques applicables à l'écologie du plancton. Doc. Sci-Centre O.R.S.T.O.M. Nosy Be. 7. Multigr. 45p.
- **Frontier. S et Pichod-viale. D, 1999.** Ecosystème, structure, fonctionnement, évolution. 2^{ème} édition : pp 447
- **Gailhard I., 2003.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations micro-algales côtières observées par le « Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II). 97 p.
- **Germain, H. 1981.** Flore des Diatomées. Eaux douces et saumâtres. Soc. Nouv. éd. Boubée. Paris. pp.1- 444.
- **Gray , R-D et kennedy,M. 1994.** perpetual constraints on optimal for AGING. reason for departures from the ideal free distribution Animal Behaviour 47 :469-471
- **Gregorio ,C et Pierre-Mari, B. 2007.** Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés, Presses Univ. Franche-Comté, 356 p.
- **Hufty A, 2005.** Introduction à la climatologie .Ed .Québec, Canada. P235.
- **Iglesias et al., 2006 ; Not et al., 2007 ; Saez et al., 2008.** intraspecific genetic diversity in the marine coccolithophore *emiliania huxleyi* prymnesiophyceae. The use of microstallite analysis in marine phytoplankton population studies. Journal of phycology.42.pp.526-536.
- **Iltis, 1966.** Les algues d'eau douce initiation à la systématique. Tome1 : les algues vertes, Edition N. Boubée et Cie 3. Place Saint-André-Des-ART, part, PARIS-6 e .Pb. 9-10.
- **Jacquet S.,Domaizon I., Masquelier S., Lepère C., Guillou L , Chambouvet A, Debroas D., Sime-Negando T. 2011.** courrier de l'environnement de l'INRA n° 60, mai2011, virus, bactéries et protistes pathogènes du phytoplancton le rôle insoupçonné des parasites dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques , 1 INRA, UMR 42, centre alpin de recherches sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques (CARRTEL), station d'hydrobiologie lacustre, 74203 thonon-les-bains cedex 2 station biologique de roscoff, UMR 7144 et UPMC
- **John, D-M. 1994.** Alternation of generations in algae : its complexity, maintenance and evolution. Biology Review.69.pp.275-291.
- **Judit Padisačk1,* , Ga'bor Borics2, Istva'n Grigorszky3 & E'va Soro'czki-Pinte'r1 2006** Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage indexHydrobiologia (2006) 553:1–14
- **Kelly, M. 2000.** Identification of common benthic diatoms in rivers. Field Studies, 9. pp. 583-700.
- **Lacaze J-C., 1996.** L'eutrophisation des eaux marines et continentales, Paris: Ellipses. 192p.

- **Lacaze, 1996.** Eutrophisation des eaux marines et continentales : causes manifestation, conséquence et moyens de lutte. Edition Ellipse. 191p.
- **Lachevane J., 1980.** Les manifestations de l'eutrophisation des eaux dans un grand lac profond de Léman, département de biologie végétale. Université de Genève. 151p
- **Lacoste et Salanon, 2001.** Lacoste A et Salanon R , 2001. Eléments de biogéographie et d'écologie. 2^{ème} Edition NATHAN Université. 300p.
- **Lebart, L., Piron, M et Morineau, A. 2006.** Statistique Exploratoire Multidimensionnelle, « Visualisation et Inférence en Fouille de Données ». 4^{ème} ed. Dunod. 480p.
- **Legendre, P. et Legendre, L. (1998).** Numerical ecology, *2nd English edn. Elsevier Science, Amsterdam.* 853 p.
- **Leveque, C 2001.** Ecologie de l'écosystème à la biosphère. Edition IRD. 159p.
- **Leveque.C ,1996.** Ecosystèmes aquatique, les fondamentaux, édition hachette, paris, 270p.
- **Llyod M et Ghelardi R.J., 1964.** A table for calculating the "Equitability" component of species diversty. J. Anim. Ecol. 33: 217-225
- **Mahiddine, F. 2017.** Etude comparative de la répartition du phytoplancton en fonction du degré de pollution dans le lac de Réghaia (wilaya d'Alger) et le barrage de Ghrib (wilaya d'Ain Defla).Mémoire de master, Université de Blida 1. 60p
- **Malhauser, B., Monniers, G.1995.**Guide de la faune et de la flore des lacs et des étangs d'Europe, Edition Delachaux et Niestle ; p335.
- **Masoudi S, 2014.** Dynamique du phytoplancton et caractérisation physiologique et moléculaire de trois espèces autotrophes de la saline de Sfax(Tunisie), un milieu extrémophile. these de doctorat. Université Nantes Angers Le Mans. 194p.
- **Mollo P et Noury A., 2013.** Le manuel du plancton, Edition Charles Léopold Mayer, Essai N° 195, France, 198p
- **Nehar B , 2016.** These de doctorat. Contribution a l'étude des diatomées benthiques de quelques cours d'eau de l'oranie : taxnomie et ecologie, universite d'Oran. 175p.
- **Ngansoumana B.A., 2006.** La communauté phytoplanctonique du lac de guiers (Sénégal) :types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs de régulation.Thèse de Doctorat de 3e Cycle. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 135p.novembre 2005, INOC. 29-30
- **O.C.D.E, 1982.** Eutrophisation des eaux : méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte. Organisation de coopération et de Développement Economiques. Paris.
- **O.N.M, 2019.** Office National de Météorologique, Données climatiques de l'année 2019 .
- **Omari S et Lahmame A, 2019, 2019,** les diatomées bioindicateurs de l'eau, p 20 .
- **Orabi et Cheriet, 2019.** Evaluation des ressources aquacoles (phytoplancton et poissons) du lac de barrage Keddara w. Boumerdes. Université BLIDA 1. 51p
- **Pourriot R, Capblancq J., Champ P. & Meyer J. A., 1982.** Ecologie du plancton des eaux continentales, Masson Ed, 206p.
- **Prygiell J et Coste M. 2000.** Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Agences de l'Eau-Cemagref, 134 p.

Références Bibliographiques

- **R Development core team 2011.** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Austria. ISBN: 3-900051-07-0.
- **Ramade, F. 1984.** Ecologie fondamentale. Éd. Mc Graw Hill, Paris.
- **Ramade, F. 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions – les polluants de l’environnement à l’homme. Edi science, Paris. p 127-129-144.
- **Rejsek, F. 2002.** Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Ed. CRDP Aquitaine. 360p.
- **Rodier J, 1996 .** L’analyse de l’eau, Dunod (8ème édition). 1383p.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H et Rodi L. 1996.** L’analyse de l’eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 8e édition. Dunod, Paris. 1383p
- **Rodier J., Legube B., Merlet N. et Coll, 2009.** L’analyse de l’eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 9ème édition, Dunod, Paris, p : 50, 107, 118.
- **Rodier., 2005.** L’analyse de l’eau : eau naturel, résiduaires, et eau de mer. édition: Dunod, 1365p
- **Roland V, 2003.** Eau, environnement et santé publique. 2ème édition. 198p
- **Rosowski, J.R., 2003.** Photosynthetic Euglenoids. Dans : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Round (F.E.) 1965.** - The biology of the algae. Edward Arnold, London, 269 pages.
- **Sane, S. 2006.** Contrôle environnemental de la production primaire du lac de Guiers au nord du Sénégal. Thèse de doctorat de 3ème cycle. 180 p
- **Sayoud, 2017.** Contribution à l’évaluation de la qualité des eaux du Lac de Réghaia par Indice Diatomique Générique –IDG. Université de Boumerdes, 41 P .
- **Sirpa Lehtinen (SYKE), Pirkko Kauppila (SYKE), Seppo Kaitala (SYKE), Alberto Basset (USALENTO), Federica Lugoli (USALENTO), Snejana Moncheva (IO-BAS), John Icely (IMAR), Peter Henriksen (AU), Anna-Stiina Heiskanen (SYKE), 2012,** Manuscript on the review of multispecies indicators synthesised with WP results, WISER, 3 pp
- **Stickney HL, Hood RR et Stoecker DK., 2000.** The impact of mixotrophy on planktonic marine ecosystems. Ecol. Model., 125 (2-3): 203-230.
- **Thioulouse, J. et Dray, S. 2007.** Interactive multivariate data analysis in R with the ade4 and ade4TkGUI packages. Journal of Statistical Software 22. pp. 1-14.
- **Thioulouse, J., Chessel, D., Dolédec, S. et Olivier, J-M., 1997.** ADE 4: a multivariate analysis and graphical display software. Stat. Comput 7. pp. 75-83.
- **Travers M., 1964.** Diversité du microplankton du Golf de Marseille. Station Marine d’Endoume et Centre d’Océanographie, Marseille, France : 308-343.
- **Treguer, P., Nelson, D.M., Van, Bennekom, A.J., DeMaster, D.J. and Leynaert, A. 1995.** The silica balance in the world ocean: a reestimate. Science 268: 375-79
- **Treguer, P., Nelson, D.M., Van, Bennekom, A.J., DeMaster, D.J. and Leynaert, A. 1995.** The silica balance in the world ocean: a reestimate. Science 268: 375-79.

Références Bibliographiques

- **Utermöhl, H. (1958).** Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton- Methodik. Mitt. Int. Verein. Limnol., 9. pp. 1-38.
- **Verlaque, 1977.** Etude du peuplement phytobenthique au voisinage de la centrale thermique de Martique-ponteau sur le Macrophyt benthos Golf de Fos. Fr. Méditer. Thèse de 3ème cycle. Unive. Aix-Marseille. Fr.172p.

Annexe 1

Facteurs abiotiques

1) Méthodes de dosage des différents paramètres Méthode de dosage :
Spectrophotométrie (Rodier et *al.*, 2005)

Tab. 1 : Nitrites

Paramètre	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
Nitrites	<ul style="list-style-type: none"> - Solution de Sulfanilamide. - Solution de N-Naphtyléthylènecliamine 	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre 50 ml de l'eau à analyser. - ajouter 1 ml du réactif 1 - agiter et laisser reposer 2 à 8min. - ajouter 1 ml du réactif 2, et attendre 10min. - mesurer l'absorbance à la longueur d'onde de 543 nm. 	-La teneur en Nitrites exprimée en mg/L.

Tab. 2 : Nitrates

Paramètre	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
Nitrates	<ul style="list-style-type: none"> - Solution de salicylate de sodium - Acide sulfurique concentré. - Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium. 	<ul style="list-style-type: none"> -Prendre 10 ml de l'eau à analyser. -Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium. -Agiter et laisser reposer 10mn. Evaporer à sec et laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré, attendre 10mn. -Ajouter 15ml d'eau distillé puis 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium. -Mesurer l'absorbance à la longueur d'onde de 415nm. 	-La teneur en nitrates exprimée en mg/L.

Méthode de dosage : Colorimétrique (Rodier *et al.*, 2005)

Tab.3 : Phosphates

Paramètre	Réactifs	Mode opératoire	Expression des Résultats
Phosphates	<ul style="list-style-type: none"> • Solution de molybdate d'ammonium • Solution d'oxytatrate de potassium et d'antimoine -Acide sulfurique -Acide ascorbique 	<ul style="list-style-type: none"> -Préparer le mélange. -Ajouter le mélange aux échantillons. -Attendre 30 mn et mesurer l'absorbance à 885nm. 	-La teneur en phosphates exprimé en mg/L.

Tab.4 : Azote ammoniacal

Paramètre	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
Azote ammoniacal	<ul style="list-style-type: none"> - Solution de Phénol-Nitroprussiate de Sodium. - Solution d'alcaline d'hypochlorite. 	<ul style="list-style-type: none"> -Prendre 100 ml de l'eau filtrée à analyser. -Ajouter 3ml du réactif 1, homogénéiser. -Ajouter 3 ml du réactif 2 et agiter -Placer immédiatement à l'obscurité pendant 6 à 8h. -Mesurer l'absorbance à 630nm 	-Les teneurs de l'azote ammoniacal exprimées en mg/L.

2) Illustration du matériel utilisé :



Fig. 1 : Multi-paramètres



Fig. 2 : Spectromètre



Fig. 3 : Plaque chauffante agitateur



Fig. 4 : Disque de Secchi

3) Quelques photos du lac de barrage Keddara :



ANNEXE 2

Facteurs biotiques

2

1) Dosage de la chlorophylle « a » :

En l'absence d'un capteur de chlorophylle in situ, un sous échantillon, issu du prélèvement pour analyse des pigments chlorophylliens au laboratoire est requis. Un litre d'eau stocké dans des flacons propres, à usage unique, est en général employé et suffisant quel que soit le niveau de trophie du plan d'eau (CEMAGREF, 2007). Dans la mesure du possible, les échantillons sont filtrés à l'aide d'une pompe à vide après homogénéisation de l'échantillon, sur un filtre en fibre de verre (type GF/ 45µm de WATHMAN). Nous avons filtré un volume v d'eau, qui dépend de la nature et de la quantité de matières en suspension présentes dans l'eau, en s'assurant que la durée de filtration n'excède pas 10 minutes et que la dépression nécessaire à la filtration est la plus faible possible (Anonyme, 1999).

Le filtre est alors placé dans un tube à centrifugation de 15 ml puis stocké immédiatement à l'obscurité jusqu'à la congélation. Nous inscrivons sur le tube le nom du lac, la date et le volume filtré.

Rappel : il ne faut en aucun cas toucher les filtres avec les doigts mais utiliser des pinces pour les manipuler (risque de détérioration par l'acidité des mains).

On traite ces filtres à l'acétone 90%, déchiquetés puis centrifugés 24 heures après pendant 15 mn. La lecture se fait au spectrophotomètre aux longueurs d'ondes 665 nm et 750 nm. Le calcul des concentrations de la chlorophylle active est fait à partir de l'équation de Lorenzen (CNEXO, 1983), c'est la méthode monochromatique.

$$\text{Chl (mg/m}^3\text{)} = \frac{[26,7(A_{665na} - A_{665a}) * v]}{V * L}$$

Où :

V : volume d'eau filtrée (litres).

v : volume de solvant d'extraction (acétone) en ml (10 ml).

L : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (1 cm).

A_{665na} : densité optique corrigée de la turbidité avant acidification.

$$A_{665na} = A_{b665na} - A_{b750na}$$

A_{b665na} : absorbance à 665nm avant l'acidification.

A_{b750na} : absorbance à 750nm avant acidification.

A_{665a} : densité optique corrigée de la turbidité après acidification.

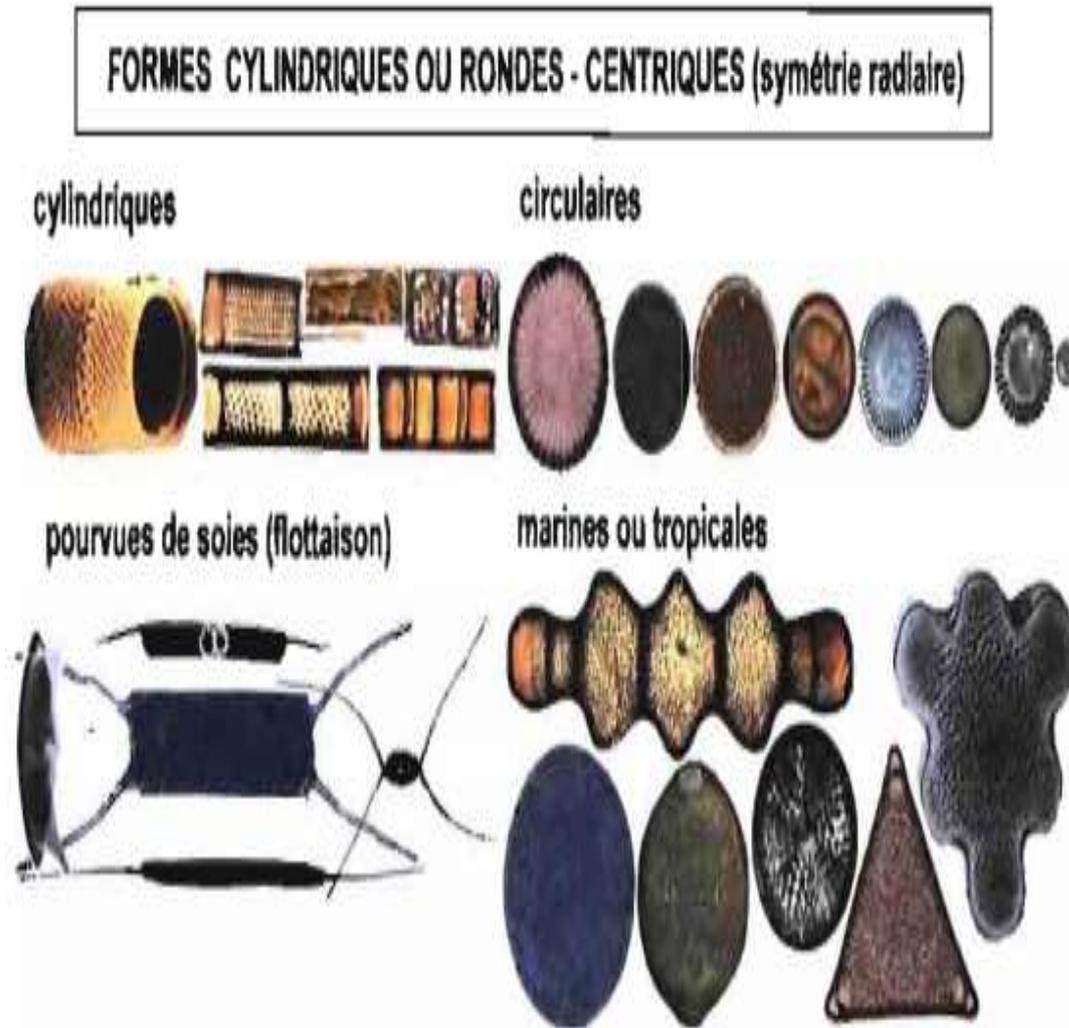
$$A_{665a} = A_{b665a} - A_{b750a}$$

A_{b665a} : absorbance à 665 nm après acidification.

A_{b750a} : absorbance à 750 nm après acidification.

2

2) Quelques photos représentées des espèces des diatomées du barrage keddara :



FORMES DIFFERENTES - PENNEES (symétrie bilatérale)

Araphidées
(dépourvues de raphé)

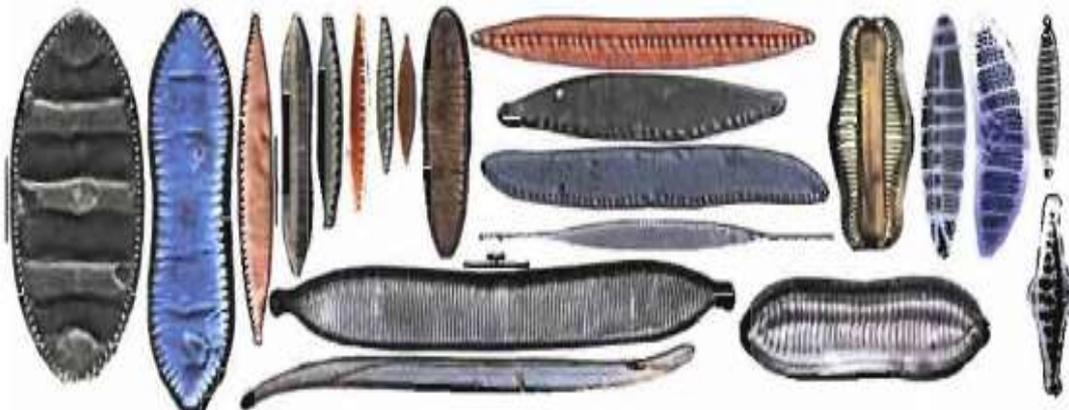
Brachy ou monoraphidées
(raphé réduit ou présent sur une seule valve)



Biraphidées sans fibules



Biraphidées avec fibules

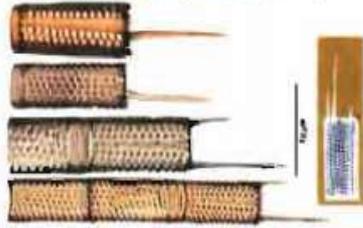


Clé simplifiée d'identification des Diatomées

2

FORMES CYLINDRIQUES : parois ponctuées (aréoles) *Aulacoseira*, parois lisses *Melosira*

grosses aréoles - valve prolongée par des épines:
Aulacoseira granulata (Ehr.) Simonsen (AUGR)



petites aréoles, cylindre parfois incurvé avec piquants :
Aulacoseira granulata var. *angustissima* (O.M.) Simonsen (AUGA)



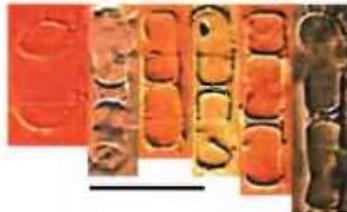
Cylindre à paroi lisse sans épine :
Melosira varians Agardh (MVAR)



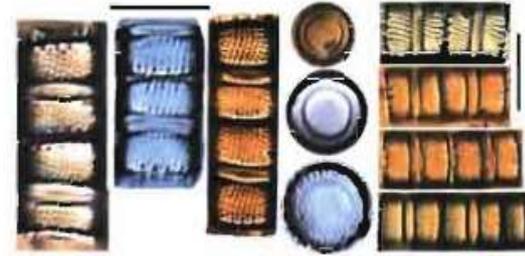
petites aréoles, cylindre sans piquant :
Aulacoseira ambigua (Grun.) Simonsen (AAMB)



Cylindre très petit à paroi lisse avec petites épines :
Skeletonema potamos (Weber) Hasle (SKPO)



petites aréoles, petites épines, cellules + courtes que le diamètre :
Aulacoseira distans (Ehr.) Simonsen et var. (AUDI+ALIR)



Centrophycidées ou Centriques

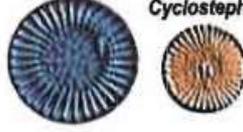
FORMES DISCOÏDES - Clé des genres

RAYONS SE PROLONGEANT JUSQU'AU CENTRE DE LA VALVE

épines bien visibles à la périphérie
Stephanodiscus



épines peu visibles :
rayons élargis en côtes en périphérie
Cyclostephanos



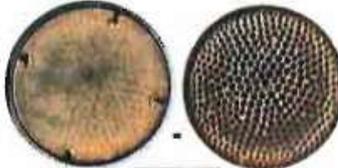
RAYONS SINUEUX
ET ONDULES
Thalassiocyclus



Valves avec processus labié ± visible
Thalassiosira



processus labié et pseudonodules
Actinocyclus



rayons formés de gros aréoles
Coscinodiscus



RAYONS DISCONTINUS : *Cyclotella*



2

3) Matériels utilisés pour l'étude phytoplanctonique :



Fig.1: Pilulier



Fig.2 : Chambre de
Sédimentation (10ml)



Fig. 3: Microscope inversé



Fig.4: Filters Whatman



Fig. 5 : centrifugeuse



Fig. 6 : Filet planctonique

Abstract :

The EU Water Framework Directive includes phytoplankton as one of the four biological elements to be used in assessing the ecological status of surface waters. In this study, we establish the ecological status of the Keddara dam lake of wilaya de. Boumerdes on the basis of phytoplankton and physicochemical data of the lake water and using the generic diatomic index IDG.

The monitoring of the evolution of the nine abiotic parameters carried out (temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, transparency, hydrogen potential, ammoniacal nitrogen, nitrites, nitrates and phosphates) and biotic parameters (quantitative and qualitative evaluation of the diversity of diatomic stands and chlorophyll "a") was carried out during the period from January 2018 to April 2019 in six representative stations of the dam.

The results of the abiotic parameters show that the waters of the Keddara dam are classified as good to very good quality waters. In addition, the diatomic study shows that the site is home to 34 species dominated by the species *Stephanodiscus cf. neoastraea*. According to the results of the IDG, the waters of the Keddara dam are of fair quality.

Keywords: phytoplankton, Keddara dam, generic diatomic index IDG, water quality.

ملخص

ويتضمن التوجيه الإطاري للمياه الصادر عن الاتحاد الأوروبي العوالق النباتية كأحد العناصر البيولوجية الأربعة التي ستستخدم في تقييم الحالة الإيكولوجية للمياه السطحية. في هذا العمل، نحدد الوضع البيئي لبحيرة سد كدارة في ولاية IDG. بومرداس على أساس العوالق النباتية والبيانات الفيزيائية الكيميائية لمياه البحيرة واستخدام المؤشر الدياتومي العام تم رصد تطور المعلمات اللاأحيائية التسعة التي تم تنفيذها (درجة الحرارة والأكسجين الذائب والتوصيلية الكهربائية والشفافية وإمكانات الهيدروجين والنيتروجين الأمونيا والنترت والنترات والفوسفات) والمعلمات الحيوية (التقييم الكمي والنوعي لتنوع المدرجات الدياتوميك والكلوروفل "أ" خلال الفترة من يناير 2018 إلى أبريل 2019 في ست محطات تمثيلية للسد

وتبين نتائج البارامترات اللاأحيائية أن مياه سد كدارة تصنف على أنها مياه جيدة إلى ذات نوعية جيدة جدا. بالإضافة إلى ذلك، تظهر الدراسة الدياتومية أن الموقع هو موطن ل 34 نوعا تهيمن عليها الأنواع

Stephanodiscus cf. neoastraea

ووفقا لنتائج مجموعة IDG

فإن مياه سد كدارة ذات جودة عادلة

الكلمات الرئيسية: العوالق النباتية، سد كدارة، مؤشر ثنائي الدياتومي العام IDG جودة المياه