

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عمّار ثليجي بالأغواط

UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Mémoire de MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie végétale et environnement
Option : Steppes et oasis

Par:

Abdelaziz Nassima

THEME

Evaluation de la qualité physicochimique et biologique des cours d'eau de la région de Laghouat et Djelfa

Soutenu publiquement devant le jury composé de:

Mme. Bentahar Fatiha

M.A.

Présidente

Mlle. Sellam Nassima

M.A.B

Examinatrice

Mr. Chaibi Rachid

M.A.

Rapporteur

Année Universitaire 2011/2012

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عمّار ثليجي بالأغواط

UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم و علوم المهندس

قسم :

مذكرة

للحصول على شهادة الماستر في :

ميدان علوم الطبيعة والحياة
فرع بيئة نباتية ومحيط
تخصص سهوب وواحات

الاسم واللقب

نسمة عبد العزيز

الموضوع

تقييم النوعية الفيزيوكيميائية والبيولوجية لمجري الأودية الطبيعية بمنطقتي الأغواط والجلفة

نوقشت علنا أمام اللجنة المكونة من

رئيسا	أستاذ مساعد أ	الأستاذة بن الطاهر فتحة
ممتحنا	أستاذ مساعد أ	الأستاذة سلام نسمة
مؤظرا	أستاذ مساعد أ	الأستاذ شايبي رشيد

السنة الجامعية 2011/2012

Evaluation de la qualité physicochimique et biologique des cours d'eau de la région de Laghouat et de Djelfa

Résumé

Cette étude contribue à l'évaluation de la qualité des cours d'eau de la région de Laghouat et Djelfa à travers deux variables environnementales, les propriétés physico-chimiques et la pression anthropique.

Les analyses menées sur une période de 4 mois nous ont permis d'inventorier 20 genres de phytoplancton repartis en 4 classes où les Diatomées dominent avec plus de 75% de la masse algale. 10% des genres recensés présente des espèces toxiques : *Oscillatoria sp* (Hépatotoxique) et *Lyngbya sp* (Dermatotoxique).

Les activités anthropiques affectent la qualité physico chimique d'oued Taadmit et influent généralement la distribution des phytoplanctons ainsi que l'équilibre de l'écosystème, par ailleurs oued M'zi est la station, la plus stable et favorable pour le développement, la reproduction et la propagation des espèces planctoniques.

Mots clés : Oued, Phytoplancton, qualité physico-chimique, activités anthropiques.

ملخص

تساهم هذه الدراسة في تقييم نوعية مجاري الأودية الطبيعية لمنطقتي الأغواط و الجلفة، و ذلك بالتطرق لعاملين بيئيين مهمين وهما : الخصائص الفيزيوكيميائية و تأثير النشاطات البشرية على صحة النظام البيئي.

من خلال الدراسة التي امتدت أربعة أشهر، قمنا بالتعرف على 20 نوع، متوزع على 4 عائلات . كما لاحظنا سيادة قسم الطحالب Diatomées بنسبة 75 % . كما نشير أيضا الى وجود نسبة 10% :أنواع جد سامة.

تأثير النشاطات الإنسانية السلبية على نوعية المياه و توزع العوالق المائية تخلّ بالنظام البيئي في واد تعضيميت ، على عكس ذلك يعتبر واد مزي النظام البيئي الأكثر إتزاناً لنمو و تكاثر و توزع العوالق المائية.

الكلمات الدالّة : الأودية الطبيعية ، الخصائص الفيزيوكيميائية ، العوالق المائية .

Abdelaziz Nassima

Evaluation of the physico-chemical and biological quality of the streams of the region of Laghouat and Djelfa

Abstract

This study is a contribution for an evaluation of watercourse's quality at Laghouat and Djelfa through physicochemical properties and anthropogenic pressure.

Analyses led over a period of 4 months allowed us to inventory 20 kinds of phytoplankton restarted in 4 classes, whose Diatomées dominates with more than 75 % of the algale mass. 10 % of the listed kinds presents toxic sorts: *Oscillatoria sp* (Hépatotoxique) and *Lyngbya sp* (Dermatotoxique).

The anthropological activities affect the physicochemical quality of oued Taadmit and influence generally the distribution of phytoplankton's genius as well as the balance of the ecosystem, besides oued M'zi is the station, the most stable and favorable for the development, the reproduction and the distribution of phytoplankton's genus.

Key words: watercourse, physicochemical properties, anthropogenic pressure, phytoplankton.

SOMMAIRE

Dédicace	I
Remerciements	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
Introduction	1
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE PHYTOPLANCTON	4
1. Définitions.....	4
1.1.Le phytoplancton	4
2. Habitat et écologie	5
2.1.Distribution spatiale.....	7
2.1.1. Distribution horizontale	7
2.1.2. Distribution verticale.....	7
3. Diversité spécifique et diversité écophysiological.....	8
3.1.Les principales classes de phytoplancton	9
4. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique	15
5. L'importance des micro-algues.....	16
6. Sources de nuisance des phytoplanctons	17
6.1.Effets sur le zooplancton.....	17
6.2.Effets sur les poissons.....	18
6.3.Intoxications humaines.....	19
6.4.Le phénomène d'eutrophisation	21
CHAPITRE II : Matériel et méthodes	23
1. Présentation des régions d'étude.....	23
1.1.Situation géographique des régions d'étude	23
1.2.Caractéristiques climatiques	25
1.3.La synthèse climatologique	27
1.3.1. Le diagramme ombrothermique.....	28
1.3.2. Climagramme d'EMBERGER	30
2. Méthodes d'études	31
2.1.Choix des sites et fréquences d'échantillonnage	31
2.1.1. Fréquence d'échantillonnage.....	31
2.2.Méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	32

2.2.1. Méthode de prélèvement de l'eau.....	32
2.2.2. Analyses physico-chimiques.....	32
2.3.Méthodes et techniques d'étude du phytoplancton.....	34
2.3.1. Prélèvement du phytoplancton.....	34
2.3.2. Etude qualitative et quantitative	34
2.4.Exploitation des résultats par des indices écologiques.....	36
2.4.1. Application d'indices de structure et d'organisation.....	36
2.4.2. Application d'indices de diversité des peuplements.....	36
2.5.Analyses statistiques.....	38
2.5.1. Analyses statistiques univariées.....	38
2.5.2. Analyses statistiques bivariées	38
CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS	39
1. Paramètres physicochimiques de l'eau et leurs variations mensuelles	39
1.1.Température	39
1.2.Le potentiel d'hydrogène (pH)	40
1.3.Conductivité	41
1.4.Salinité	43
1.5.Nitrites (NO ₂ ⁻)	44
1.6.Nitrates (NO ₃ ⁻)	45
1.7.Orthophosphate (PO ₄ -3)	46
2. Etude qualitative et quantitative du peuplement du phytoplancton	47
2.1.Composition taxonomique de la flore micro-algale recensée	47
2.2.Densité moyenne globale	50
2.3.Les fréquences d'occurrence	52
2.4.Evolution de l'abondance relative par classes de phytoplancton recensées	53
2.5.Indice de similitude de SORENSEN	54
2.6.Variation des paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique	55
3. Analyse des corrélations	57

CONCLUSION	60
Références bibliographiques	62
Annexe	71

LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
Figure 1	Les Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques	14
Figure 2	Domaines d'application des algues microscopiques	16
Figure 3	Situation géographique de la station d'étude « oued M'zi » Laghouat	23
Figure 4	Situation géographique de la station d'étude « O. Taadmit » Djelfa	24
Figure 5	Diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN de la région de la région de Laghouat 1996-2011 (A) et de la région de Djelfa 1999-2010 (B)	27
Figure 6	Climagramme pluviométrique d'Emberger	30
Figure 7	La situation géographique des sites d'étude.	31
Figure 8	Schéma représentatif d'un filet à plancton	34
Figure 9	Schéma synthétique de la technique de comptage du phytoplancton.	35
Figure 10	Variations mensuelles de la température (°C) de l'eau des deux stations prospectées.	40
Figure 11	Variations mensuelles du pH des deux stations prospectées.	41
Figure 12	Variations mensuelles de la conductivité de l'eau des deux stations d'étude.	42
Figure 13	Variations mensuelles de la salinité de l'eau des deux stations d'étude.	43
Figure 14	Variations mensuelles de la valeur des nitrites de l'eau des deux stations d'étude.	44
Figure 15	Variations mensuelles de la valeur des nitrites de l'eau des deux stations d'étude	45
Figure 16	Variations mensuelles de la valeur d'orthophosphates de l'eau des deux stations d'étude.	46
Figure 17	Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, à oued Taadmit	48
Figure 18	Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, à oued M'zi.	49
Figure 19	La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par stations.	50
Figure 20	La variation mensuelle du phytoplancton recensé dans les deux stations d'étude.	51
Figure 21	Les fréquences en pourcentage des différentes classes par station	53
Figure 22	Variation de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.	56
Figure 23	Variation mensuelle de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Laghouat en 1996-2011.	25
Tableau2	Les températures moyennes mensuelles enregistrées à Laghouat entre 1996-2011.	25
Tableau3	Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Djelfa en 1999-2010.	26
Tableau4	Températures moyennes mensuelles enregistrées à Djelfa en 1999-2010.	26
Tableau5	Les fréquences d'échantillonnage du phytoplancton	31
Tableau6	Protocoles de mesures des paramètres physico-chimiques	32
Tableau7	Analyses descriptives des paramètres physicochimiques de l'eau	39
Tableau8	Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée.	43
Tableau9	Inventaire taxonomique de répartition par station du phytoplancton recensé	47
Tableau10	Pourcentages en nombre de genres, d'ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, à oued Taadmit et oued M'zi.	48
Tableau 11	Les principaux genres phytoplanctoniques reconnus potentiellement toxiques	49
Tableau12	La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par stations.	50
Tableau13	Fréquences d'occurrence (%) des classes phytoplanctoniques recensées dans les deux stations d'étude par mois et par station	52
Tableau14	Les fréquences en pourcentage des différentes classes par station	53
Tableau15	Indice de similitude de SORENSEN des 4 mois suivis à la station de Taadmit	54
Tableau16	Indice de similitude de SORENSEN des 4 mois suivis à la station de M'zi	54
Tableau 17	Les paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique	55
Tableau18	Corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'eau entre eux et la masse algale globale d'oued Taadmit.	58
Tableau19	Corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'eau entre eux et la masse algale globale d'oued M'zi	59

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

En témoignage de ma gratitude, de ma reconnaissance, pour tous leurs sacrifices, ainsi que pour toute la confiance qu'ils m'ont donnée.

A mes chers frères Brahim, Maamar, Aissa et ma sœur Dalila

A Baha Walid Pour ses encouragements, sa confiance et son soutien moral

A ma chère cousine Widad, mes nièces Ferial, Khadidja, Fatima Zahra, et à toute ma famille.

Que Dieu vous garde!

NASSIMA

I

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette année universitaire.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur CHAIBI Rachid, qui, en tant qu'encadreur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur MECHRAOUI Brahim : chef de service du laboratoire de l'algérienne des eaux, pour sa générosité et sa grande patience. J'exprime ma gratitude à tous les consultants et internautes rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse.

Je tiens à exprimer mes remerciements envers Mme BENTAHAR Fatíha et Melle SELLAM Nassima.

Liste d'abréviations

DCE : Directive Cadre de l'Eau

CO₂ : Dioxyde de Carbone

DSP : Diarrhéiques

PSP : Paralysantes

ASP : Amnésiantes

D.P.A.T : Direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la wilaya de Laghouat

ONM : Office nationale de la météorologie

Gr : Grandissement

log₂ : Logarithme à base 2

T°C : Température par Degré *Celsius*

pH : Potentiel Hydrogène

NO₂⁻ : Nitrites

NO₃⁻ : Nitrates

PO₄⁻³ : Orthophosphate

T°C : Température

Cond : Conductivité

S ‰ : Salinité par mille

Cel/l : Cellule par litre



INTRODUCTION

Introduction

Les eaux de surface occupent la plus grande partie du globe terrestre. Environ 98% de ces eaux forment les océans et les mers. Les 2% restant constituent les eaux continentales représentées par les fleuves, les rivières, les lacs, les étangs... etc.

A cause de leurs utilisations multiples, les eaux continentales sont d'une très grande importance pour les activités humaines : domestiques (consommation et loisirs), agricoles, halieutiques et industrielles.

Les eaux continentales attirent et concentrent de nombreuses populations actives qui en retour doivent veiller à leur gestion et à leur pérennité. Face à l'explosion démographique actuelle, on se rend compte que les ressources en eau douce sont épuisables, et que les activités humaines représentent l'une des causes majeures du stress des écosystèmes aquatiques (Vasquez et Favila, 1998; Dokulil *et al.*, 2000; Tazi *et al.*, 2001).

La dégradation de la ressource eau découle essentiellement des pollutions ponctuelles, des diffuses et de la modification des caractéristiques physico-chimiques (Malmqvist et Rundle, 2002). Dans la mesure où la distribution des organismes colonisant les milieux aquatiques est principalement dictée par des processus autoécologiques (Vannote *et al.*, 1980; Dolédec *et al.*, 1999), les perturbations anthropiques ont une répercussion très forte sur la biodiversité aquatique (Sweeney *et al.*, 2004). En outre, les modifications des communautés peuvent découler directement des introductions et/ou de la disparition des espèces induites plus ou moins directement par les activités humaines (Malmqvist et Rundle 2002; Bollache *et al.*, 2004).

De par le monde, de nombreux plans d'eau sont ainsi irréversiblement endommagés par la pollution et/ou l'eutrophisation. Les plus vulnérables étant ceux situés proches des grandes agglomérations humaines (Zohary *et al.*, 1996). Il y a unanimité pour considérer que le phosphore joue un rôle prépondérant dans le processus d'eutrophisation (Lacaze, 1996). Mais la vulnérabilité établie des écosystèmes lacustres tropicaux appelle à plus de vigilance et d'investigations hydrobiologiques en Afrique en vue de rechercher des facteurs qui pourraient lui être spécifiques.

Dans ces eaux continentales, le phytoplancton constitue la base de la chaîne trophique (Rolland, 2009). Ce phytoplancton peut former des efflorescences par suite de prolifération d'une ou de quelques espèces dans des conditions hydroclimatiques favorables et en particulier le déséquilibre du contrôle par la ressource nutritive ou par le broutage.

Ainsi, l'apparition de ces efflorescences est liée à plusieurs facteurs, notamment

- aux concentrations élevées en nutriments (Kilham et Kilham, 1984),
- à la stabilité hydrodynamique (Reynolds *et al*, 1993),
- à la température (Reynolds, 1998)
- à la lumière (Dusenberry *et al*, 1999).

Ces efflorescences peuvent avoir de nombreuses conséquences sanitaires, écologiques et économiques.

Le phytoplancton est constitué de l'ensemble des micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau, capables d'élaborer par photosynthèse leur propre substance organique, à partir de l'énergie solaire, de l'eau, de l'oxygène et des sels nutritifs.

De ce fait, les variations de la production biologique ont des conséquences majeures sur les flux de matières à l'intérieur de l'écosystème.

Ce second aspect constitue un thème central de l'étude des écosystèmes lacustres, car la compréhension des processus impliqués conditionne les options de gestion des ressources vivantes, par exemple des piscicultures.

Enfin, la croissance «massive» de certaines populations phytoplanctoniques peut entraîner des nuisances ou présenter un risque pour la santé publique ; certaines espèces phytoplanctoniques produisant des substances toxiques qui, lorsqu'elles sont accumulées par des organismes (*poissons, crevettes, ...*), sont dangereuses pour l'homme qui en est consommateur.

Les deux premières approches (le rôle joué par la production primaire dans les transferts et notamment d'oxygène entre les lacs et l'atmosphère, et les conséquences de ses variations sur le fonctionnement des écosystèmes lacustres) considèrent les populations phytoplanctoniques dans leur ensemble, en tant que producteurs autotrophes.

La composition spécifique des communautés phytoplanctoniques, l'abondance relative des différentes espèces, ainsi que la dominance d'une population par rapport à une autre sont autant de traits et de phénomènes en constante évolution qui caractérisent les successions phytoplanctoniques (Smayda, 1980). Suivant cette conception, la dynamique des populations phytoplanctoniques est examinée à travers la réponse globale de la communauté aux variations environnementales, à l'aide de variables synthétiques telles que la biomasse phytoplanctonique totale.

Cette approche «holistique» est essentielle pour comprendre le rôle des producteurs autotrophes dans le fonctionnement de l'écosystème pélagique, et plus particulièrement l'influence de l'activité biologique. En revanche, elle ne permet pas de répondre à d'autres

problématiques. En particulier, lorsque l'on s'intéresse à la caractérisation des phénomènes atypiques, tels que l'apparition d'efflorescences phytoplanctoniques "massives" ou d'événements toxiques, le phytoplancton ne peut plus être considéré comme un ensemble homogène.

Objectifs de ce travail

Dans le cadre d'une étude pluridisciplinaire nous avons défini comme thème:

Evaluation de la qualité physicochimique et biologique des cours d'eau de la région de Laghouat et de Djelfa.

Dans l'objectif de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les variables qui déterminent la dynamique du phytoplancton ?
- Le phytoplancton peut-il être considéré comme un bon indicateur de l'état trophique de l'oued ?
- Dans le cadre d'un suivi à long terme des cours d'eau, quels sont les paramètres les plus représentatifs à prendre en compte, ainsi que les stations de référence, les périodes de contrôle à recommander ?
- Plus généralement, en considérant l'ensemble des oueds et la population environnante, quels sont les éléments de gestions à privilégier, dans un contexte de monitoring et d'aménagement à moyen et long terme?

Nous avons contribué à l'acquisition d'une première base de données sur le phytoplancton, en termes qualitatif et quantitatif (composition, biomasse). Ces données, mise en relation avec les données limnologiques et météorologiques, peuvent permettre une meilleure compréhension du fonctionnement écologique visant :

- La caractérisation de l'environnement physico-chimique du milieu aquatique;
- L'élaboration d'un inventaire du phytoplancton;
- L'identification des facteurs déterminant la diversité phytoplanctonique des stations étudiées.



CHAPITRE I :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE PHYTOPLANCTON

1. Définitions

Dans toutes les pièces d'eau, on trouve de minuscules cellules photosynthétiques et de très petits animaux qui forment le plancton (Messamah, 2009).

Selon Dussart (1992), le terme plancton a été défini par Hensen (1887) comme l'ensemble des formes animales et végétales vivant en suspension dans les eaux, sans mouvements propre suffisant pour lutter efficacement contre les mouvements de ces eaux (vagues, courants ...). Les organismes planctoniques peuvent être regroupés selon leur taille, leur nature, les caractéristiques biologiques de leur cycle de développement, leur répartition verticale sur la colonne d'eau ou le type d'environnement qu'ils peuplent (Rossi, 2008).

1.1 Le phytoplancton :

Le phytoplancton (du grec *phyton* plante et *planktos* errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau (Rolland, 2009). Il s'agit de cellules, colonies ou filaments (i) qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou (ii) qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints (Guiselin, 2010). La principale source d'acquisition de l'énergie s'effectue par phototrophie chez ces organismes, à partir de la lumière (photosynthèse = processus d'absorption des sels minéraux et du carbone sous forme de CO₂ et de rejet d'oxygène sous l'effet de la lumière). Les organismes qui se procurent l'énergie nécessaire à leur croissance et à leur reproduction en combinant les modes de nutrition autotrophe et phagotrophe sont qualifiés de «mixotrophes» (Stickney et al, 2000). Par ailleurs, de nombreuses cellules phytoplanctoniques (les chrysophycées par exemple) sont capables de réaliser la mixotrophie, c'est-à-dire qu'elles possèdent des capacités hétérotrophes et elles utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme ou sont même capables d'ingérer des bactéries (Domaizon et al, 2003 ; Zubkov et Tarran, 2008). Leur forme est extrêmement variée, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité (flottaison, et mouvements verticaux) (Zeitzschel, 1978). La chlorophylle *a*, un des pigments chlorophylliens, est le pigment majoritaire impliqué dans ce processus. Le phytoplancton se situe le plus souvent dans la couche supérieure éclairée des masses d'eau, dite zone euphotique dont la limite inférieure correspond à la profondeur recevant 1% de la lumière incidente.

Si les organismes phytoplanctoniques représentent seulement 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques sur Terre, ils assurent 45% de la production primaire (Chisholm, 1995 ; Behrenfeld et *al*, 2001). Ils sont ainsi à la base de la chaîne trophique pélagique (Azam et Malfatti, 2007) et sont donc responsables d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques.

Les eaux douces et particulièrement les eaux de surface, qui représentent une ressource vitale pour l'homme, sont menacées par des pollutions diverses, d'origine anthropique.

Le phytoplancton réagit à ces altérations et peut être considéré comme un indicateur de la dégradation de la qualité des eaux continentales, proposé par la DCE comme élément de qualité biologique. La prolifération du phytoplancton a un impact direct sur les écosystèmes aquatiques entraînant des modifications de la diversité et de la dynamique des populations. En outre, certaines espèces, dont les cyanobactéries, sont susceptibles de synthétiser des toxines à l'origine d'intoxications plus ou moins graves, représentant des risques importants pour la santé humaine et animale (Chorus et Bartram, 1999). Les usages de l'eau peuvent ainsi être limités par ces contaminations (Groga, 2012).

2. Habitat et écologie

Les organismes qui constituent le phytoplancton sont d'une extrême plasticité écologique. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques (Fogg et *al*, 1973), et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée. Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures des lacs arctiques et antarctiques (Skulberg, 1996). Certaines espèces vivent en association avec des animaux comme des protozoaires, des éponges ou des ascidies (endozoïques), ou avec des végétaux comme des fougères aquatiques ou des angiospermes (endophytiques) (Couté et Bernard, 2001). Elles peuvent encore vivre en symbiose avec des champignons et des algues vertes comme dans le cas des lichens.

Au cas où elles sont strictement aquatiques, elles peuvent être planctoniques, vivant dans la colonne d'eau, ou benthiques, fixées ou très proches des divers substrats (roches, coraux, algues, animaux) et se développent même à l'intérieur des sédiments (Mur et *al*, 1999 ; Couté et Bernard, 2001).

Le phytoplancton comporte des organismes autotrophes qui possèdent, suivant les espèces, en plus de leurs remarquables possibilités d'adaptation à la température, une excellente adaptabilité aux variations lumineuses grâce à une composition pigmentaire qui leur permet d'utiliser une large gamme du spectre lumineux. Certaines espèces peuvent

aussi se déplacer dans la colonne d'eau grâce à des glissements, à des mouvements hélicoïdaux ou à la présence de vésicules à gaz. Ces éléments leur permettent d'aller se positionner au niveau de leur optimum lumineux dans la zone euphotique ou de descendre dans les couches inférieures chercher des concentrations plus importantes en nutriments.

D'autres peuvent s'affranchir partiellement des éléments nutritifs de par leurs capacités de stockage ou de transformation de l'azote atmosphérique.

Selon Chorus et Bartram (1999), dans le phytoplancton il y a des organismes «écostratégiques» pouvant adopter plusieurs comportements qui les conduisent à dominer les communautés algales :

- ❖ «Ecostratégiques dispersés ou stratifiants». C'est le cas des genres *Planktothrix* et *Limnothrix*. Ce sont des espèces filamenteuses sensibles aux fortes intensités lumineuses. La régulation de la flottabilité est moins efficace chez ces espèces qui se retrouvent alors dispersées dans l'épilimnion, arrivant parfois à éliminer les autres organismes phytoplanctoniques par simple ombrage. Cependant, ces espèces peuvent aussi adopter une stratégie différente en se développant au niveau de la thermocline où leur richesse en phycoérythrine leur permet d'absorber efficacement la lumière dans les longueurs d'ondes 490 à 570 nm (bleu et vert).
- ❖ « Ecostratégiques fixateurs d'azote ». Certaines espèces de cyanobactéries appartenant aux genres *Aphanizomenon*, *Nodularia*, et *Nostoc* peuvent profiter d'une limitation de la disponibilité en azote sous forme directement assimilable (NO_3^- ou NH_4^+) pour dominer les autres espèces grâce à leur fixation d'azote.

Dans les milieux aquatiques, la biomasse des cyanobactéries atteint parfois de telles proportions que l'eau se colore et il se forme une efflorescence ou « bloom » selon les Anglo-Saxons. Des couches parfois très épaisses et éventuellement des écumes apparaissent à la surface de l'eau avec une durée assez variable, de quelques heures à plusieurs mois. Ces efflorescences sont le plus souvent dominées par une ou un petit nombre d'espèces, possédant pour la plupart d'entre elles des vésicules à gaz (Reynolds, 1987).

2.1. Distribution spatiale

2.1.1. Distribution horizontale

D'après (Padisák, 2004) la répartition horizontale du phytoplancton de manière non homogène (« patchiness ») entraîne des différences majeures dans les assemblages en milieu marin ou d'eau douce. Cette distribution peut-être due aux variations des conditions physiques et chimiques en lien avec les systèmes de courants majeurs. La vitesse du courant est elle-même dépendante de la vitesse du vent et, par conséquent, les différences dans les assemblages sur le plan horizontal peuvent perdurer tant que le vent influe. Comme, de plus, le vent fluctue en intensité et en direction, il provoque de nouveaux schémas de distribution qui se superposent aux anciens. Ainsi, aucun organisme individuel n'adopte une position permanente et chaque individu est susceptible de se faire transporter. (Rolland, 2009).

Dans les petits lacs, des variations significatives dans la distribution horizontale des espèces planctoniques sont généralement observables sur de courtes périodes de temps, ces discontinuités étant souvent associées à l'interaction de la force et de la direction du vent avec la stabilité thermique de la colonne d'eau. En effet, le morcellement horizontal du phytoplancton peut se produire à de très petites échelles (de 1 à quelques mètres) mais il est très changeant et les schémas de répartition peuvent être très fréquemment modifiés ou supprimés avec le vent. La persistance temporelle de cette discontinuité est directement reliée à la dimension spatiale à l'intérieur de laquelle elle fluctue (Rolland, 2009). Ainsi, il est possible de subdiviser un habitat en plusieurs micro-habitats, formant ainsi une mosaïque de fragments qui contribuent ensemble à la formation d'une communauté phytoplanctonique pour un seul et même lac.

2.1.2. Distribution verticale

Les discontinuités dans la distribution spatiale du phytoplancton, celles qui persistent des heures ou des jours, voire de manière continue, sont mieux connues sur le plan vertical.

La distribution du phytoplancton peut en effet varier significativement avec la profondeur, le temps et la ségrégation physique de la colonne d'eau. Les schémas de distribution peuvent devenir encore plus complexes quand les gradients de lumière ou d'éléments nutritifs s'y rajoutent (Rolland, 2009). L'intensité lumineuse diminue avec la profondeur et sa composition spectrale change.

La concentration des éléments nutritifs augmente avec la profondeur. A cela s'ajoute aussi la migration verticale du zooplancton qui peut aussi avoir une influence sur la répartition verticale du phytoplancton. Ainsi, beaucoup d'espèces « cherchent » à atteindre une position optimale dans la colonne d'eau favorisant leur développement et s'adaptent de manière à coexister avec d'autres espèces pour former une communauté structurée. La stabilité physique des espèces dans le milieu dépend donc de la stabilité de la colonne d'eau ainsi que de la disponibilité et du taux de régénération des ressources dans les différentes strates (Padisak, 2004). Les éléments nutritifs (azote, phosphore, silice) sont consommés dans la zone euphotique, si bien que leur concentration va chuter jusqu'à une concentration qui va limiter la croissance algale.

Ainsi, les strates inférieures vont devenir plus riches en éléments nutritifs que les strates supérieures même si pour l'azote, par exemple, les concentrations qui permettent la croissance algale peuvent être restaurées grâce aux cyanobactéries fixatrices d'azote.

Cependant, l'oxygénation de la couche inférieure de la colonne va profondément affecter la forme, la quantité et la disponibilité des nutriments. Il en résulte que la stratification thermique va amener à une séparation entre une couche de surface bien illuminée, oxygénée mais dont les concentrations en éléments nutritifs diminuent rapidement et une couche profonde moins lumineuse, plus hypoxique et riche en éléments nutritifs. Dans de telles circonstances, l'assimilation des éléments nutritifs dans les couches profondes couplée à la photosynthèse dans les couches superficielles est une stratégie qui demande aux algues de changer périodiquement leur position verticale soit grâce à leurs vacuoles gazeuses soit grâce aux mouvements de leurs flagelles. Suivant les espèces, l'amplitude maximale de migration périodique peut varier entre 2,5 et 18 m sachant que les espèces flagellées de grande taille peuvent migrer sur de plus longues distances que les espèces flagellées de plus petite taille.

3. Diversité spécifique et diversité écophysiological

Les conséquences écophysiological associées à la richesse spécifique des populations phytoplanctoniques sont nombreuses. Les différentes espèces ne réagissent pas de la même manière aux facteurs du milieu, en particulier la turbulence.

Leurs taux de croissance, ainsi que leur dépendance vis-à-vis des nutriments, sont également variables. En outre, afin de faire face aux variations environnementales, les espèces phytoplanctoniques ont développé des stratégies adaptatives, telles que i) différents mécanismes favorisant leur mobilité, et leur migration vers des zones riches en nutriments et en lumière (phototaxisme, migration verticale, nage, agrégation), ii) le mode

de nutrition mixotrophe, iii) la compétition interspécifique par production de substances allélochimiques, iv) des mécanismes de défense contre la prédation (allélopathie). Le cycle biologique de chaque espèce phytoplanctonique participe ainsi à un réseau complexe de relations interspécifiques à l'intérieur d'un assemblage d'espèces (Groga, 2012).

Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytotologique essentiellement par la présence (eucaryotes) ou non (procaryotes) d'un noyau cellulaire (ADN confiné dans une enveloppe nucléaire) (Prescott et al. 2003).

Actuellement, la phylogénie est en pleine évolution, grâce notamment aux avancées technologiques en biologie moléculaire (Iglesias-Rodriguez et al, 2006 ; Not et al, 2007 ; Saez et al, 2008 et Rolland, 2009).

3.1. Les principales classes de phytoplancton

A ce jour, 8 principales classes différenciées selon des critères morphologiques, cytologiques, biochimiques et reproductifs sont recensées dans les milieux aquatiques. Nous en donnons une description sommaire ci-après (Fig 1).

❖ Les cyanobactéries

Organismes procaryotes, regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces dulçaquicoles (Blais, 2008). La plupart des cyanobactéries sphériques appartiennent à la famille des Chroococcacées et les filamenteuses aux familles des Nostocacées et Oscillatoriacées (Bourrelly, 1985a). Les cellules appartenant à cette classe se caractérisent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée. Les cyanobactéries (ou « algues bleues ») se distinguent des procaryotes hétérotrophes par la présence de chlorophylle *a* et de pigments accessoires (phycocyanine, phycoérythrine, caroténoïdes) (Ganf et al, 1991 ; Schagerl et Donabaum, 2003 ; Colyer et al, 2005). Certaines cyanobactéries possèdent des vacuoles gazeuses qui leur permettent de réguler leur position dans la colonne d'eau et de se maintenir à une profondeur où la température, la lumière et les éléments nutritifs sont favorables à leur développement. Un bon exemple de cette propriété physiologique est fourni avec l'espèce *Planktothrix rubescens* (Schanz et al, 1997 ; Bright et Walsby, 1999 ; Walsby et al, 2004 ; Walsby, 2005). D'autres cyanobactéries, également filamenteuses comme la précédente, possèdent deux types de cellules particulières : des hétérocystes et des akinètes. C'est par exemple le cas des genres *Anabaena* et *Nostoc* (Stewart, 1973 ; Mur et al, 1999). Les hétérocystes sont des cellules à membrane épaisse, à contenu cellulaire homogène et très clair, capables de fixer l'azote atmosphérique. Ces cyanobactéries sont donc avantagées en milieu limitant en azote assimilable. Les akinètes sont des spores durables et chargées de réserves qui, une fois

détachées en conditions favorables, forment un nouveau filament (Bourrelly, 1985a). Les cyanobactéries se divisent essentiellement par fission binaire ou division végétative, c'est à dire que la membrane cellulaire s'invagine et sépare la cellule mère en deux cellules filles isomorphiques. Généralement, cette division a lieu dans un, deux ou trois plans qui sont plus ou moins perpendiculaires les uns aux autres entre générations successives (Komárek, 2003). La diversité des cyanobactéries a été moins étudiée en milieu marin que dans les milieux d'eau douce. Cette différence résulte de l'occurrence de fortes efflorescences de cyanobactéries en milieu d'eau douce et du fait que les cyanobactéries marines sont constituées de deux principaux genres unicellulaires de petite taille (*Synechococcus* et *Prochlorococcus*) plus difficilement étudiables. *Prochlorococcus*, découverte en 1988 (Chisholm et al. 1988), est le genre photosynthétique le plus abondant de la biosphère (Partensky et al. 1999). Elle contribue jusqu'à 84% de la fixation du CO₂ dans certaines eaux oligotrophes.

❖ Les chlorophycées

Forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (John, 1994). Toutefois, la plupart des algues vertes planctoniques lacustres appartiennent à l'ordre des Volvocales et à celui des Chlorococcales qui font partie de la classe des Euchlorophycées (Bourrelly, 1985b).

Les cellules des Volvocales possèdent une paroi cellulaire glycoprotéique pourvue de 2, 4 ou 8 flagelles de même taille, 1 noyau et 2 vacuoles contractiles localisées à la base des flagelles. Les chloroplastes de la plupart des volvocales sont en forme de U et les chlorophylles *a* et *b* sont les pigments majeurs (Ettl, 1983). Les Chlorococcales sont unicellulaires ou coloniales avec une membrane bien définie, parfois de formes filamenteuses (Ettl et Gärtner, 1988). L'état végétatif est sous forme immobile et les flagelles sont absents au stade adulte. On distingue comme précédemment un noyau par cellule et les mêmes pigments majeurs (Bourrelly, 1985b). Pour assurer leur reproduction, les Volvocales et les Chlorococcales forment des zoospores à l'intérieur de la paroi cellulaire de la cellule mère. On distingue 3 types de zoospores : celles avec membrane et 2 fouets égaux, celles sans membrane et à fouets égaux et celles sans membrane et à fouets légèrement inégaux mais de même structure (Bourrelly, 1985b).

Dans les formes coloniales, chaque cellule de la colonie se divise par division végétative en n cellules formant $2 \times n$ cellules filles. On retrouve également 3 types de

reproduction sexuée : isogamie (2 gamètes de même taille), anisogamie (gamète male plus petit que gamète femelle) et oogamie (gamète femelle non flagellé et gamète mâle flagellé) (Nozaki, 2003).

❖ Les xanthophycées

Regroupent plus de 100 genres et environ 600 espèces dulçaquicoles. Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes (β -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte (Rolland, 2009). Les cellules mobiles possèdent deux flagelles de taille différente. La paroi cellulaire est souvent absente et quand elle est présente, elle contient une grande quantité de pectine et peut être siliceuse chez plusieurs espèces. Les xanthophycées se divisent essentiellement par fission binaire mais peuvent également former des zoospores. La reproduction sexuée, quand elle a lieu, est le plus souvent isogame (Ott et Oldham-Ott, 2003).

❖ Les chrysophycées

Sont des algues unicellulaires ou coloniales (rarement filamenteuses), dont certaines vivent dans une enveloppe protectrice appelée lorique (Rolland, 2009). Leurs cellules possèdent un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns à cause de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes (β -carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles *a* etc. (Wetzel et al, 2001). La plupart de ces cellules obtiennent leur énergie par mixotrophie, c'est à dire qu'elles sont capables d'autotrophie et d'hétérotrophie. Dans le dernier cas, elles se nourrissent en consommant de la matière particulaire comme des bactéries ou des protistes (phagotrophie) ou bien en absorbant des molécules organiques complexes (osmotrophie) (Sanders et al, 1990 ; Domaizon et al, 2003). Le nombre de flagelles est variable. La plupart des cellules sont uniflagellées mais d'autres possèdent deux flagelles généralement de même taille. Beaucoup des espèces appartenant à cette classe n'ont pas de paroi cellulaire mais sont juste entourées d'une membrane cytoplasmique. D'autres possèdent une surface cellulaire couverte de plaques ou d'écailles siliceuses ou calcaires. La multiplication se fait par fission binaire ou par zoosporulation. Les phénomènes sexuels, rarement signalés, sont de nature isogamique. En période de repos, la formation endogène de kystes siliceux, globuleux, percés d'un pore obstrué par un bouchon, est caractéristique des Chrysophycées (Rolland, 2009).

❖ Les diatomées (*Bacillariophycées*)

Engloberaient plus de 100 000 espèces et on estime que seulement près de 15 000 ont été identifiées à ce jour (Rolland, 2009). C'est un des groupes les plus importants du phytoplancton même si beaucoup d'espèces sont sessiles ou associées aux substrats littoraux. Leur caractéristique principale est la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustule (Germain, 1981 et Rossi, 2008). Le pourtour des valves est connecté avec des bandes qui constituent la ceinture de la cellule. Ces microorganismes sont unicellulaires ou coloniaux et sont communément divisés en deux groupes : les diatomées centriques qui ont une symétrie radiale et les diatomées pennées qui ont une symétrie bilatérale (Lavoie et *al*, 2008). Les valves des diatomées pennées présentent des parties de cellules plus épaisses et dilatées. Chez certaines espèces, une fente, nommée raphé, traverse une partie ou la cellule entière alors que chez d'autres espèces, on observe une dépression de la paroi cellulaire appelée pseudoraphé. Quatre groupes de diatomées pennées sont différenciés sur la base de ces structures : les Araphidées, les Raphidoidées, les Monoraphidées et les Biraphidées (Rolland, 2009). La reproduction végétative par division cellulaire est le mode le plus commun de multiplication (Canter-Lund et Lund, 1995).

❖ Les cryptophycées

Sont unicellulaires, mobiles de par la présence de deux flagelles (de taille égale) et dépourvues de paroi cellulaire. En effet, l'enveloppe qui les entoure est appelée périplaste et est composé de deux couches distinctes, le périplaste interne (succession de plaques protéiques) et le périplaste externe (membrane protéique unique) qui entourent la membrane plasmique (Kugrens et Clay, 2003). Les cellules sont aplaties dorso-ventralement et sont pourvues d'une invagination antérieure qui porte les deux flagelles. Les cellules contiennent une variété de pigments dont la phycoérythrine qui leur donne une couleur rougeâtre caractéristique. La reproduction se fait par fission binaire (Starmach 1974, Bourelly 1985a).

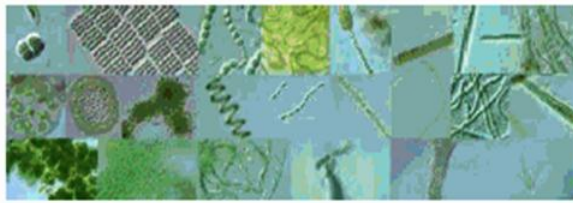
❖ Les dinoflagellés

Regroupent environ 300 espèces et sont des algues flagellées unicellulaires dont la plupart sont mobiles. Une ceinture transversale, le cingulum, encercle la cellule et la divise en une épithèque et une hypothèque alors qu'une invagination longitudinale, le sulcus, définit la face ventrale de la cellule. Ils possèdent des plaques de cellulose sur la partie externe de la membrane et la taxonomie de ces microorganismes est basée sur le nombre et l'arrangement de ces plaques (Rolland, 2009). Ces plaques peuvent être très fines et sont

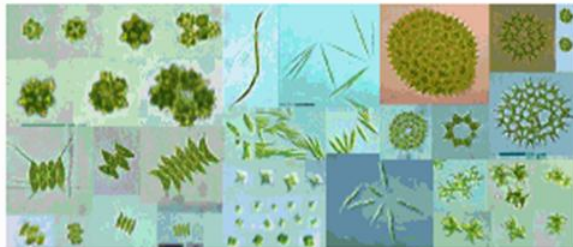
parfois difficiles à voir par microscopie optique. Des pores apicaux, des extensions de plaques et des épines peuvent aussi apparaître chez certaines espèces. La chlorophylle a et c2 sont deux pigments photosynthétiques majeurs des cellules de dinoflagellés. La péridinine qui fait partie des pigments accessoires de type caroténoïdes est responsable de la couleur dorée bien que les cellules puissent apparaître jaunâtre voire marron. Bien que la reproduction sexuée se produise de temps en temps, la reproduction asexuée par la formation d'aplanospores (spores non flagellés) prédomine. En période de diapause, la formation de kystes peut s'accroître considérablement (Carty, 2003).

❖ Les euglènes

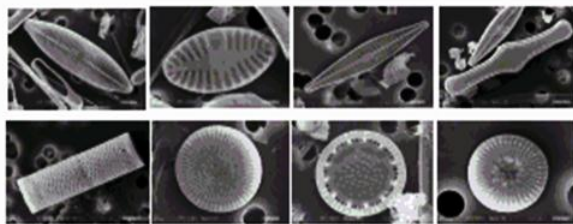
Sont répartis en 13 genres et plus de 2000 espèces. Ils sont presque tous unicellulaires, sans paroi cellulaire, possèdent un, deux ou trois flagelles qui émanent d'une invagination de la membrane cellulaire, une vacuole contractile et un stigma (« eyespot ») orange à rouge composé de globules de caroténoïdes (Rosowski, 2003). Bien que certaines euglènes soient non pigmentées, phagotrophes (capable d'ingérer des particules solides) et par conséquent considérés comme des protistes animaux (ex protozoaires), la plupart sont photosynthétiques et parfois hétérotrophes. Il reste que même si la phagotrophie peut constituer le mode d'assimilation de carbone principal, aucune de ces espèces n'en dépend uniquement. Ce dernier est toujours combiné à l'absorption de composés organiques dissous. En ce qui concerne leur mode de reproduction, la division cellulaire semble être la règle pour cette classe du phytoplancton.



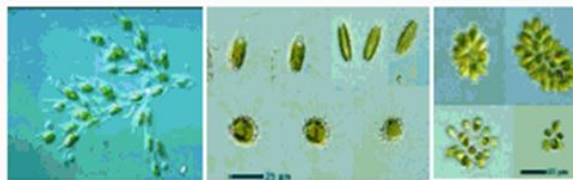
Les Cyanophycées ou cyanobactéries
 Pigments : chlorophylle *a*; phycobilines (phycocyanine, allophycocyanine, phycoerythrine)
 Substances de réserve : glycogène, cyanophycine
 Paroi cellulaire : peptidoglycane
 Morphologie : unicellulaire, coloniale, filamenteuse
 Reproduction : asexuée (fission binaire, fragmentation)



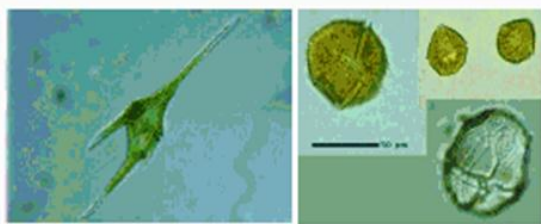
Les Chlorophycées ou algues vertes
 Pigments : chlorophylles : *a* et *b*; xanthophylles : lutéine, violaxanthine
 Substances de réserve : amidon intraplasmidial
 Paroi cellulaire : principalement cellulose
 Morphologie : unicellulaire, coloniale, filamenteuse, cénobiale, formes avec ou sans flagelles
 Reproduction : asexuée (fission binaire) et sexuée (isogamie, anisogamie et oogamie)



Les Bacillariophycées ou diatomées
 Pigments : chlorophylles : *a*, *c1*, *c2* et *c3*; xanthophylles : fucoxanthine, diatoxanthine, diadinoxanthine
 Substances de réserve : chrysolaminarine, lipides
 Paroi cellulaire : siliceuse ornementée (frustule)
 Morphologie : pennée (symétrie bilatérale) ou centrique (symétrie radiale)
 Reproduction : asexuée (division cellulaire) et sexuée (oogamie chez les centriques, isogamie chez les pennées)



Les Chrysophycées ou algues dorées
 Pigments : chlorophylles : *a*, *c1* et *c2*; xanthophylles : fucoxanthine
 Substances de réserve : chrysolaminarine, lipides
 Paroi cellulaire : écailles de silice et cellulose
 Morphologie : unicellulaire ou coloniale (rarement filamenteuse), cellules nues ou enveloppées par une structure protectrice (lorique), 1 ou 2 flagelles
 Reproduction : asexuée (fission binaire, zoosporulation) et sexuée (isogamie)



Les Dinophycées ou dinoflagellés
 Pigments : chlorophylles : *a* et *c2*; xanthophylles : peridinine, diadinoxanthine
 Substances de réserve : amidon, lipides
 Paroi cellulaire : si présente, constituée de cellulose
 Morphologie : principalement unicellulaire, cellules nues ou renforcées par des plaques polygonales, avec 2 flagelles perpendiculaires
 Reproduction : asexuée (fission binaire, formation d'aplanospores) et sexuée (isogamie, anisogamie)



Les Cryptophycées
 Pigments : chlorophylles : *a* et *c2*; phycobilines : phycocyanine, phycoerythrine
 Substances de réserve : amidon extraplasmidial
 Paroi cellulaire : généralement absente
 Morphologie : cellules nues, ovales et aplaties, avec 2 flagelles inégaux
 Reproduction : principalement asexuée (fission binaire)

(Saez et al. 2008).

Figure 1. Les classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques.

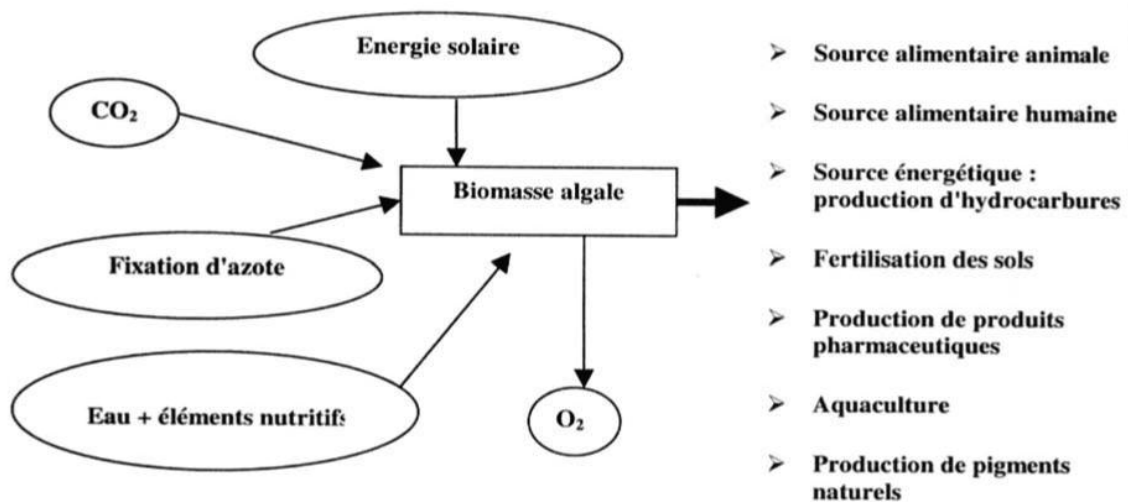
4. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique

Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés ou des poissons, les indicateurs biologiques (bio-indicateurs) sont basés sur le même principe.

La variété des taxons présents dans un prélèvement, leur assemblage, la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux. Ainsi, Blandin (1986) a donné au terme bio-indicateur la définition suivante : « *Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui – par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques – permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées* ». A cet effet, Reynolds et al, (2002) ont publié une description détaillée de 31 assemblages phytoplanctoniques qui peuvent être vus comme des groupes fonctionnels, c'est à dire des groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques internes au lac (profondeur de la zone de mélange, lumière, température, P, N, Si, CO₂ et pression de prédation). Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux (Padisak et al, 2006 ; Salsamo et al, 2006 ; Anneville et al, 2008), est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (Solheim et al, 2005). Ainsi, ce compartiment biologique a été proposé puis imposé par la DCE (directive cadre de l'eau, directive européenne du 23 décembre 2000) comme élément de qualité biologique pour les lacs et est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau. Trois paramètres relatifs au phytoplancton peuvent être utilisés pour l'évaluation de l'état écologique des lacs et la définition des statuts « très bon », « bon » et « moyen ». Il s'agit de i) l'abondance et la composition phytoplanctonique, ii) la biomasse phytoplanctonique (via les estimations de la concentration de chlorophylle *a* et du biovolume moyen) et iii) l'intensité et la fréquence des blooms planctoniques.

5. L'importance des micro-algues

La biodiversité des micros algues est énorme puisqu'on estime qu'il y a entre 200. 000 et plusieurs millions d'espèces. Une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie (Cadoret et Bernard, 2008). Outre l'intérêt écologique considérable comme agents épurateurs des eaux usées, les algues microscopiques jouent un rôle important dans de nombreux domaines elles sont utilisées en agriculture comme engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, en particulier les sols sahariens squelettiques dont la structure est amoindrie par l'abondance des ions sodium dans l'eau d'irrigation, ce qui engendre des conditions asphyxiantes très défavorables, ainsi l'apport d'algues microscopiques riches en azote à ce type de sol, peut corriger l'insuffisance en matière organiques (Chader et touzi, 2001). Par ailleurs, ces mêmes algues représentent une source potentielle de protéines alimentaires non négligeable (50 à 60 % du poids sec) pour l'homme et l'animal qu'il soit terrestre ou aquatique. En effet, ces organismes sont considérés comme le premier maillon de la chaîne alimentaire (phytoplancton) pour les producteurs secondaires (poissons, crustacés, ...), elles représentent indéniablement le nutriment essentiel en aquaculture (croissance et développement des poissons).



(Chader et Touzi, 2001).

Figure 2: Domaines d'application des algues microscopiques

Les micro-algues fabriquent aussi une certaine catégorie de produits chimiques qui leurs sont propres : agaragar, alginates, carraghénanes et bien d'autres polysaccharides. Certaines sont capables de s'adapter à des salinités importantes en accumulant dans leurs cellules du glycerol (*Dunaliella*), du sorbitol (*Stichococcus*), du mannitol (*platymonas*).

Les micro-algues sont des espèces aquatiques à structures relativement molles. Elles sont totalement dépourvues de lignines, ce qui pourrait en faire une biomasse très avantageuse pour un certain nombre de fermentations telles que la production de méthane ou même d'alcools à des fins énergétiques. D'autres fabriquent des hydrocarbures (*Botryococcus*, *Dunaliella*), des lipides (*Neochloris*, *Chlorococcum*), d'autres encore des antibiotiques (*Stichochrysis*) (Chader et touzi, 2001).

6. Sources de nuisance des phytoplanctons

Les aspects positifs du phytoplancton en milieu piscicole « mobilisation des substances azotées, oxygénation de l'eau, source de nourriture pour de très nombreux organismes » l'emportent largement sur les aspects négatifs, ces derniers étant surtout liés aux proliférations d'algues bleues (Billard, 1998).

Il y aurait environ 4.000 espèces constituant la flore phytoplanctonique marine mondiale dont quelques 40 espèces toxiques (Sournia et al, 1990 ; Sournia, 1995 in Therriault et al, 1999).

Certaines toxines produites par les micro-algues sont libérées dans l'eau et sont directement nocives, voire mortelles, pour les animaux qui vivent dans le milieu aquatique. D'autres toxines s'accumulent dans les animaux aquatiques se nourrissant de phytoplancton, ceux-ci n'en sont pas affectés, mais ils deviennent eux-mêmes toxiques pour qui les consomme.

La sensibilité aux toxines varie en fonction de la taille et du poids de l'animal mais aussi selon les espèces et plus particulièrement selon leurs capacités de bio transformation des toxines ainsi que du degré de résistance acquis vis-à-vis de ces dernières (adaptation génétique) (Thébaud et al, 2005).

Pour ce qui est des facteurs externes, outre la toxicité intrinsèque de l'espèce incriminée, interviennent la densité cellulaire d'algues toxiques, le ratio avec les micro-algues accompagnatrices non toxiques, et enfin la durée de l'épisode de prolifération. Trois types d'évènements toxiques sont actuellement observés en France et ne doivent pas être confondus car ils sont liés à trois genres différents de micro-algues (*Dinophysis*, *Alexandrium*, et *Pseudo-nitzschia*) produisant trois types de toxines différentes (DSP, PSP et ASP) les toxines (diarrhéiques, paralysantes ou amnésiantes).

6.1. Effets sur le zooplancton

De nombreux travaux mettent en évidence des phénomènes d'inhibition directe du compartiment zoo-planctonique par les cyanobactéries toxiques et /ou leurs toxines (Fremy et Lassus, 2001), Kirk et Gilberg (1992) *in* Fremy et Lassus (2001), signalent que la filtration des petites formes de phytoplancton par les petits cladocères et les rotifères, en sélectionnant les formes coloniales et filamenteuses des cyanobactéries, pourrait favoriser leurs dominances dans le milieu. De plus, Kumayer et Juttner (1999) *in* Fremy et Lassus (2001), suggèrent qu'il peut exister des phénomènes de coévolution biochimiques entre le zooplancton brouteur et les cyanobactéries toxiques. Ainsi la présence de zooplancton sélectif vis-à-vis des toxines, favoriserait la production de celles-ci par les cyanobactéries du milieu (Demott et Moxter, 1991 *in* Fremy et Lassus, 2001).

6.2. Effets sur les poissons

Outre les effets indirects possibles des cyanobactéries sur le poisson à travers leur impact sur le zooplancton, il convient aussi de ne pas oublier que les périodes de blooms provoquent également des phénomènes d'anoxie dans le milieu qui peuvent avoir des conséquences mortelles pour les peuplements piscicoles (Fremy et Lassus, 2001),

Les mortalités de poissons liées aux cyanobactéries sont, en fait, surtout imputables à une désoxygénation résultante de la décomposition d'une fleur d'eau. En plus les cyanobactéries libèrent des substances geosmines donnant ce désagréable goût de vase à la chair du poisson. Ce type de nuisances apparaît aussi en hiver avec le développement d'une espèce *Phormidium* qui vit à la surface de la vase. (Billard, 1998).

De nombreux articles ont décrit expérimentalement, les effets des toxines cyanobactériennes et plus particulièrement des microcystines sur la truite et la carpe. Ces travaux ont montré que les principaux organes touchés étaient le foie, les reins et les branchies. En revanche, peu de publications traitent de l'impact en milieu naturel des toxines cyanobactériennes sur le poisson. Des travaux ont cependant montré que les microcystines causaient des dommages au même de l'épithélium branchial de populations sauvages de truites, ainsi que de brèmes et de gardons (Fremy et Lassus, 2001). Ces espèces également reconnues comme toxiques ont provoqué des hécatombes de poissons notamment de carpes (Billard, 1998).

De plus, sur les côtes américaines et Canadiennes, Anderson et al (1993) *in* Fremy et Lassus (2001), ont déclaré qu'une maladie hépatique a touché des saumons d'élevage. Cette maladie est attribuée à la présence de microcystines, même si l'organisme producteur n'a pas été identifié. Enfin, Rodger et al (1994) ; Tencalla et al (1994) *in* Fremy et Lassus,

(2001), signalent que des mortalités de poissons ont été attribuées à l'ingestion par ces derniers de cyanobactéries toxiques.

Les toxines des dinoflagellates peuvent présenter une protection contre la prédation, mais un dinoflagellate récemment découvert au moins, *Pfiesteria piscidina*, utilise sa toxine mortelle dans une stratégie d'alimentation « ni vu ni connu ». Un poisson, le Mehaden, par exemple, stimule la germination des cystes benthique de *Pfiesteria* en cellules produisant une toxine qui paralyse le système respiratoire du poisson et provoque sa mort par asphyxie, en cours de sa décomposition, les dinoflagellates allongent leurs pédoncules et se nourrissent en grand nombre et très rapidement de petits fragments de la chair du poisson (Raven et al, 2003).

Concernant les transferts dans les chaînes trophiques, et selon Sahin et al (1996), Tencalla et Dietrich (1997) in Fremy et Lassus (2001), il a été montré que les microcystines s'accumulent principalement dans le foie des poissons. De ce fait, Fremy et Lassus (2001), notent que la consommation de cet organe peut donc potentiellement présenter un risque lors des blooms cyanobactériennes, mais malgré ça aucun travail n'a jusqu'à présent tenté d'évaluer ce risque.

6.3. Intoxications humaines

Les toxines de cyanobactéries sont essentiellement des endotoxines qui s'accumulent à l'intérieur des cellules algales. Elles agissent soit après ingestion de ces microalgues, soit après libération de la lyse algale (Freymy et Lassus, 2001). L'ingestion des fruits de mer ayant concentré des toxines d'algues dans leurs tissus peut provoquer des symptômes neurologiques, digestifs et musculaires pouvant entraîner la mort. En eau douce également, lorsque les conditions sont favorables, des microalgues toxiques prolifèrent, provoquant des morts massives d'animaux et pouvant nuire à la santé des baigneurs, les troubles allant de la simple affection dermatologique à des lésions neurologiques ou hépatiques irréversibles (Fernandez, 2002).

➤ Cas d'allergie de contact

Elder et al (1993) ; Falconer, (1996) ; Jochimsen et al (1998), in Freymy et Lassus (2001), déclarent que chez les humains, les réactions d'allergie aux cyanobactéries, après des baignades dans des eaux contaminées, sont relativement fréquentes. Les symptômes développés après un contact avec des eaux contenant des toxines de cyanobactérie incluent éruption cutanées, oedème, irritation de la peau, conjonctivites, inflammation des oreilles et de la gorge, problèmes respiratoires de type asthme allergique, rhume des foins,

pneumonie, associés à des vertiges importantes. Parfois, des signes digestifs de type gastro-entérite viennent s'ajouter au tableau clinique.

En revanche, pour Falconer (1996) *in* Fremy et Lassus (2001), des deux principaux groupes de toxines, neurotoxines et hépatotoxines, il est en général impossible de déterminer lequel est responsable de ces symptômes, et ceux-ci pourrait aussi être complètement sans relation avec les toxines des cyanobactéries car, dans certains cas, l'allergie responsable des symptômes était un pigment, la phycocyanine.

➤ **Intoxication par ingestion**

- **Intoxication aigue**

L'absorption de faibles doses d'hépatotoxines par ingestion accidentelle d'eau de boisson contaminée est à l'origine de maux d'estomac et de troubles intestinaux « diarrhées, vomissements, gastro-entérites » (Turner et *al* 1990 *in* Fremy et Lassus 2001),

Selon Fremy et Lassus (2001), le premier cas d'intoxication humaine liée aux cyanobactéries a été rapporté par Tisdale en 1931. Un important bloom hépatotoxique de *Microcystis sp.*, dans les rivières Ohio et Potomac « USA » ayant provoqué l'intoxication de plusieurs milliers de personnes ayant consommé l'eau de ces rivières. De même, en 1966, un bloom de *Microcystis sp.*, dans un réservoir d'eau potable à Harare (Zimbabwe) a provoqué de nombreux troubles gastro-intestinaux chez des enfants ayant consommé l'eau de réservoir (Zilberg, 1966 *in* Fremy et Lassus, 2001).

En 1983, à Palm Island, « une île proche de la côte tropicale du Nordeste de l'Australie », selon Bourke *et al* (1983) *in* Fremy et Lassus (2001), une épidémie d'hépatite et d'entérite a été provoquée par un bloom de cyanobactéries cytotoxiques dans un réservoir d'approvisionnement en eau, la digue de Salomon. A peine une semaine après le traitement du bloom par du sulfate de cuivre, 148 personnes dont 138 enfants ayant bu cette eau ont été sévèrement malade. Au cours de la même année, dans la petite ville d'Armidale en Australie, une élévation de l'activité de certaines enzymes du foie a été observée chez les habitants dont l'eau de boisson provenait d'un réservoir contenant un bloom *Microcystis aeruginosa* (Fremy et Lassus, 2001).

En 1993, par suite d'un bloom d'*Anabaena sp.*, et de *Microcystis sp.*, dans un barrage à Itaparica en Brésil, 2.000 personnes ont été intoxiquées avec des signes de gastro-entérites aiguës. Cette grave intoxication a causé la mort de 88 malades, en majorité des enfants (Teixera et *al* 1993 *in* Fremy et Lassus, 2001). Une autre intoxication mortelle a eu lieu en 1996 et a coûté la vie de plus de 50 personnes dans un centre de dialyse à Caruaru, au Brésil, en raison d'un développement massif de *Microcystis*, *Anabaena* et *Anabaenopsis* et

la présence d'hépatotoxines « microcystines et nodularines » dans un réservoir d'eau utilisé par le centre (Fremy et Lassus, 2001).

- Intoxications chroniques

Les expositions chroniques et subchroniques aux hépatotoxines favorisent l'apparition de tumeurs chez les animaux (Carmichael et Falcorner, 1993 *in* Fremy et Lassus, 2001).

Chez les humains, les dégâts provoqués par la consommation répétée de faibles quantités de toxines sont probablement plus fréquents que les intoxications aiguës. (Fremy et Lassus, 2001). En effet, de nombreux aspects concernant ces toxines restent inconnus, notamment ceux relatifs à l'effet cancérigène de microcystines (Carmichael, 1993 *in* Fremy et Lassus, 2001).

6.4. Le phénomène d'eutrophisation

Au cours des années 1970, le problème environnemental de l'accroissement de la pollution suscita un intérêt pour ce qui détermine la productivité primaire des lacs, des égouts et le ruissellement des engrais provenant des fermes et des jardins ajoutent des nutriments aux lacs. Dans de nombreux lacs, des communautés de phytoplancton où régnait Diatomées « Bacillariophycées » et Algues vertes « Chlorophycées » finissent par être dominées par les Cyanobactéries. Ce processus est appelé eutrophisation (Campbell *et al*, 2006).

Certains écologistes font le lien entre cette augmentation et la diminution, à l'échelle du globe, de la qualité des eaux provoquée par la croissance démographique. Quand l'homme pollue les systèmes aquatiques, certaines algues peuvent se libérer de ces contraintes et leurs populations s'accroître jusqu'à prendre des proportions indésirables « elles fleurissent » (Raven *et al*, 2003).

Merceron (1999), déclare que l'extrême abondance du phytoplancton « des millions, voire des dizaines de millions de cellules par litre » obscurcit alors l'eau, empêchant toute photosynthèse sur une épaisseur de plusieurs mètres au-dessus du fond et provoquant une intense respiration puis une dégradation aérobie du phytoplancton (Campbell *et al*, 2006). Selon les conditions physiques et chimiques du plan d'eau, on peut observer soit la formation d'une masse bleu-verdâtre laiteuse à la surface de l'eau, soit une coloration uniforme « bleu-vert, jaune, rouge, verte » de la colonne d'eau (Fremy et Lassus, 2001). D'après Fremy et Lassus (2001), la plus ancienne mention d'un tel phénomène a été faite par De Candolle (1825), propos d'une prolifération d'*Oscillatoria rubescens*, colorant en rouge vif le lac de Morat « Suisse », événement connu sous le nom de « sang des bourguignons ». Aussi La couleur verdâtre de certains ours polaires dans les zoos est due à

la présence de colonies de cyanobactéries qui se développent à l'intérieur des poils creux de leurs fourrures (Raven et *al*, 2003).

Ce phénomène d'eutrophisation, a généralement des conséquences indésirables pour les humains notamment la perte possible des poissons dans les lacs (Campbell et *al*, 2006).

➤ **Impact sur les écosystèmes aquatiques**

Les liens entre les nutriments, l'eutrophisation, l'hypoxie et les proliférations d'algues nuisibles ainsi que leurs impacts sur les écosystèmes marins sont multiples et difficiles à quantifier. Les "zones mortes" désignent des régions marines où la concentration en oxygène dissout est déficitaire (hypoxie). La plupart sont dépourvues de toute vie aquatique, elles sont connues dans le monde entier et entraînent un déclin de la diversité biologique. Les algues microscopiques mortes se décomposent au fond des océans sous l'action bactérienne qui consomme une bonne part de l'oxygène dissout des eaux profondes. Les eaux océaniques estivales étant stratifiées, les eaux profondes ainsi isolées demeurent hypoxiques et deviennent inhospitalières. Dans certains cas l'oxygène se raréfie si rapidement que la faune n'a pas le temps de fuir et provoque une mortalité massive de poissons (Puiz et *al*, 2008).

Ce sont des cyanophycées qui sont responsables de la couleur verte du Nil vert (*Oscillatoria erythraea*, *Aphanizome non kaufmanni*), de la couleur rouge de la mer rouge et des lacs de Morat (Suisse) ou de Nantua (France) (*Oscillatoria rubescens*) (Jaag, 1953 in Dussart, 1992).

La biodiversité côtière est la plus élevée parmi les biotopes océaniques, mais aussi la plus touchée par la pollution. Les proliférations d'algues nuisibles côtières ont ainsi un effet dévastateur sur les écosystèmes marins les plus riches – un impact difficilement quantifiable en terme monétaire. A travers la chaîne alimentaire, ces "blooms" nuisent aux mammifères marins tels que les baleines, les dauphins, les otaries et les lamantins. Il est clair que la perte de ressources marines non-commerciales peut avoir de graves conséquences (Piuz et *al*, 2008).

CHAPITRE II:
MATERIELS ET METHODES

ETUDE DU BIOTOPE ET PRESENTATION GENERALE DES REGIONS D'ETUDE

1. Présentation des régions d'étude

1.1. Situation géographique des régions d'étude

Les prélèvements effectués le long de toute la période d'étude appartiennent à deux régions distinctes du point de vue climatique et écologique. La station de l'oued M'zi dans la wilaya de Laghouat et la station de l'oued Taadmit dans la wilaya de Djelfa.

❖ *Laghouat*

La wilaya de Laghouat est située au cœur du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya s'étend sur une superficie de 25.052 km². Située à plus de 750 mètres d'altitude sur les hauts plateaux, la wilaya de Laghouat est traversée par la chaîne de l'Atlas Saharien avec des sommets qui dépassent les 2.000 mètres ("Djebel AMOUR" 2.200 mètres).

Laghouat est limitée au Nord et à l'Est par la Wilaya de Djelfa, au Nord-Ouest par les Wilayas de Tiaret et El Bayad et au Sud par la wilaya de Ghardaïa (D.P.A.T 2010).

Notre site d'étude, Oued M'zi est un type naturel, c'est un oued d'eau douce à écoulement permanent (Annexe.02), cet oued prend naissance à Djbel chebka à une altitude de 1536 m, sa salinité est inférieure à 1,2 g/l (Fig.03).

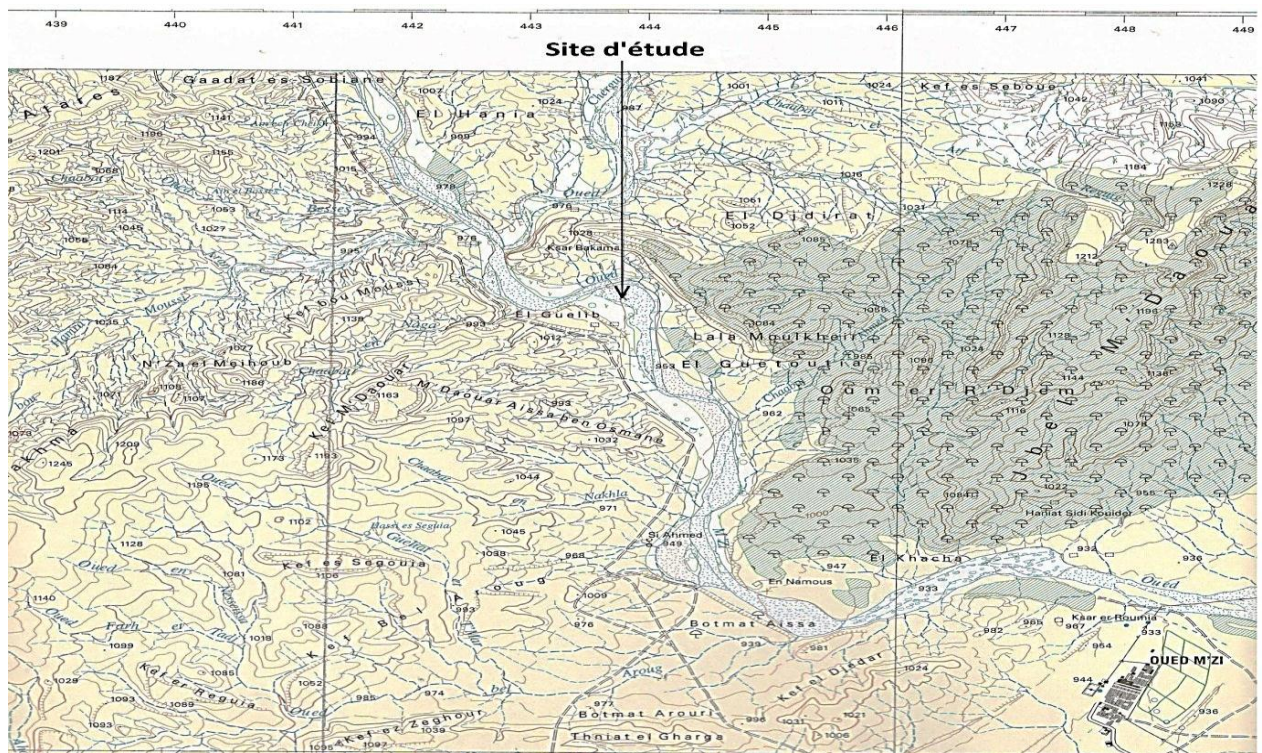


Figure 03: Situation géographique de la station d'étude « oued M'zi » Laghouat.

❖ Djelfa

La Wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au-delà des piémonts Sud de l'Atlas Tellien. Le chef-lieu de Wilaya est à 300 Km au Sud de la capitale Alger. La wilaya est limitée, au Nord par les wilayas de Médéa et Tissemsilt, au Sud Ouargla, El Oued et Ghardaïa, à l'Est : M'sila et Biskra, à l'Ouest : Laghouat et Tiaret.

La wilaya de Djelfa 36 communes. La commune de Taadmit est située à 60 km au sud-ouest de Djelfa (Guermiti ; 2005), à la limite de la wilaya de Laghouat. Djelfa couvre une superficie de 788.58 Km², elle fait partie du territoire de l'Atlas Saharien.

L'écoulement des eaux de pluies dans la commune de Taadmit se fait par un réseau hydrographique représenté par un ensemble d'oueds permanents, les plus importants sont Oued Taadmit (notre zone d'étude) qui traverse l'agglomération chef-lieu, Oued Taadmit est un type naturel d'eau douce à écoulement permanent. Le débit est variable en fonction des saisons, la profondeur de l'oued est variable entre quelques centimètres en période chaude et 2 à 3 mètres en période pluvieuse (Annexe. 01).

Le site d'étude est un site qui subissant plusieurs phénomènes de coloration d'eau en fonction de l'augmentation de la température.

Cet oued traverse la commune de Taadmit et subit l'influence des différents rejets anthropiques riches en N et P (Fig.04).



Google earth 2012.

Figure 04: Situation géographique de la station d'étude « O. Taadmit » Djelfa.

1.2. Caractéristiques climatiques

• Laghouat

Pour caractériser l'état climatique de la région et mettre en évidence les impacts probables de ces facteurs sur la bio écologie des organismes vivants, on a pris en considération les observations homogènes sur une période de 15 ans (du 1996 à 2011) recueillies au niveau de la station météorologique d'El khenég (ONM, 2011).

a) La pluviométrie

La pluviométrie annuelle varie selon plusieurs paramètres locaux caractéristiques de chaque région dont l'altitude, l'exposition et l'orientation jouent le rôle principal.

A partir des données enregistrées sur une période de 15 ans (1996-2011). La précipitation moyenne annuelle est d'environ 171,35 mm. Les mois de septembre et avril sont les plus pluvieux avec des moyennes de 27,96 et 24,22 mm. On enregistre une valeur inférieure au mois de juillet. (Tab.1)

Tableau 1: Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Laghouat en 1996-2011.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P(mm)	15	7,02	12,81	24,22	12,47	10,46	5,04	14,23	27,96	18,8	8,56	14,78	171,35

(ONM; Laghouat, 2011)

b) La température

Les données thermométriques caractérisant la région de Laghouat durant la période 1996-2011 sont reportées dans le (Tab.2).

En analysant les données nous constatons que janvier est le mois le plus froid avec une température de 8,05 °C ainsi que juillet est le mois le plus chaud avec une moyenne de 31,82°C. Les valeurs maximales dépassent 30°C pour les mois de juillet et août. Les valeurs thermiques comprises entre 20 et 30°C sont enregistrées en mai, juin et septembre.

Tableau 2: Les températures moyennes mensuelles enregistrées à Laghouat entre 1996-2011.

Mois	J	F	M	A	M	j	Jt	At	S	O	N	D
T (°C)	8,05	9,98	13,68	16,46	22,38	27,69	31,82	30,04	25,2	19,41	12,63	9,45

(ONM; Laghouat, 2011)

- **Djelfa**

Pour caractériser l'état climatique de la région et mettre en évidence les impacts probables de ces facteurs sur la bio écologie des organismes vivants, on a pris en considération les observations homogènes sur une période de 12 ans (1999 à 2010).

a) La pluviométrie

A partir des données enregistrées sur une période de 12 ans (1999-2010), La précipitation moyenne annuelle est d'environ 299mm. Les précipitations atteignent une valeur maximale de 36,74 mm pour le mois de Mai. On enregistre des moyennes de 28,76 et 28,03 mm pour les mois d'octobre et avril respectivement. La valeur minimale est enregistrée au mois de juillet avec 10 mm. (Tab.03).

Tableau 3: Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Djelfa en 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Cumul
P (mm)	26,45	24,32	18,11	28,03	36,74	10,15	10,0	25,68	36,01	28,76	27,13	27,55	299

(O.N.M; Djelfa, 2010)

b) Les températures

Les données enregistrées de la région de Djelfa révèlent que juillet est le mois le plus chaud avec une moyenne de 27°C et janvier est le mois le plus froid avec une moyenne de 4,9°C.

De juin à septembre les moyennes varient entre 20°C et 30°C ainsi les moyennes entre 10°C et 20°C sont enregistrées de mars à mai et le mois d'octobre. Les moyennes enregistrées sont inférieures à 10°C pour les mois de janvier, février et novembre, décembre (Tab. 4).

Tableau 4: Températures moyennes mensuelles enregistrées à Djelfa en 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
T (°C)	4.9	6.5	10	12.7	17.5	23.3	27	26.2	20.7	16.3	9.3	6.1

(O.N.M; Djelfa, 2010)

1.3. La synthèse climatologique

1.3.1. Le diagramme ombrothermique

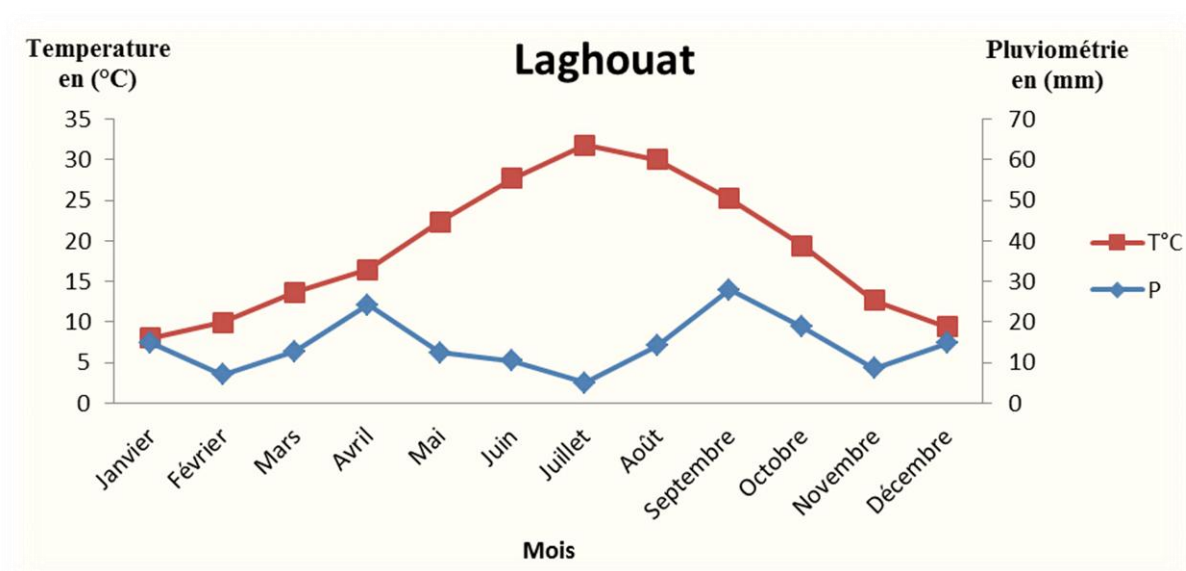
Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN permet de déterminer les périodes sèches et humides de n'importe quelle région à partir de l'exploitation des données des précipitations mensuelles (Dajoz, 2003).

D'après Frontier et *al.*, (2004), les diagrammes ombrothermique de GAUSSEN sont constitués en portant en abscisses les mois et en ordonnées, à la fois, les températures moyennes mensuelles en (°C) et les précipitations mensuelles en (mm). L'échelle adoptée pour les pluies est double de celle adoptée pour les températures dans les unités choisies. Un mois est réputé «sec» si les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne, et réputé«humide »dans le cas contraire (Frontier et *al.*, 2004).

Pour localiser les périodes humides et sèches des deux sites d'étude, nous avons tracé deux diagrammes ombrothermiques pour les périodes allant de 1996-2011 pour la région de Laghouat et 1999-2010 pour la région de Djelfa.

Le diagramme ombrothermique de la région de Laghouat (Fig.05 « A ») pour la période allant de 1996 à 2011, fait apparaître une seule période sèche s'étalant sur les 12 mois de l'année. Cependant la période sèche et chaude a Djelfa dure 6 mois en allant de Mai jusqu'à Octobre, alors que la période humide et froide s'étale sur les mois allant de Janvier jusqu'à Mai et de Novembre à Décembre (Fig.05 « B »).

(A)



(B)

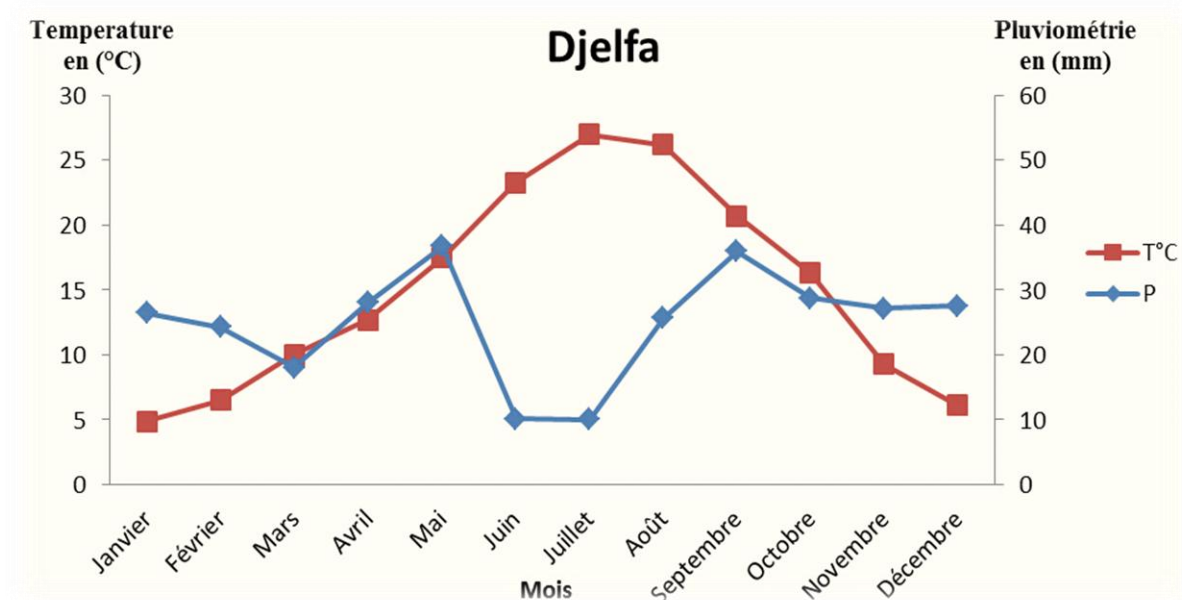


Figure 05: Diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN de la région de la région de Laghouat 1996-2011 (A) et de la région de Djelfa 1999-2010 (B).

1.3.2. Climagramme d’EMBERGER :

Le système d’EMBERGER permet la classification des différents climats méditerranéens (Dajoz, 2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels, d’une part la sécheresse représentée par le quotient pluviothermique Q en ordonnées et d’autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses. Il est défini par la formule simplifiée suivante (Stewart, 1969) :

$$Q = 3.43 \times \frac{P}{M - m}$$

P : pluviométrie annuelle en mm.

M : température moyenne maximale de mois le plus chaud en °C.

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

Le quotient pluviothermique est d’autant plus élevé que le climat est plus humide (Dajoz, 2003). Cet indice n’est vraiment établi que pour la région méditerranéenne et qu’en fonction de la valeur de ce coefficient on distingue les zones suivantes :

Humides pour : $Q > 100$;

Tempérées pour : $100 > Q > 50$;

Semi arides pour : $50 > Q > 25$;

Arides pour : $25 > Q > 10$;

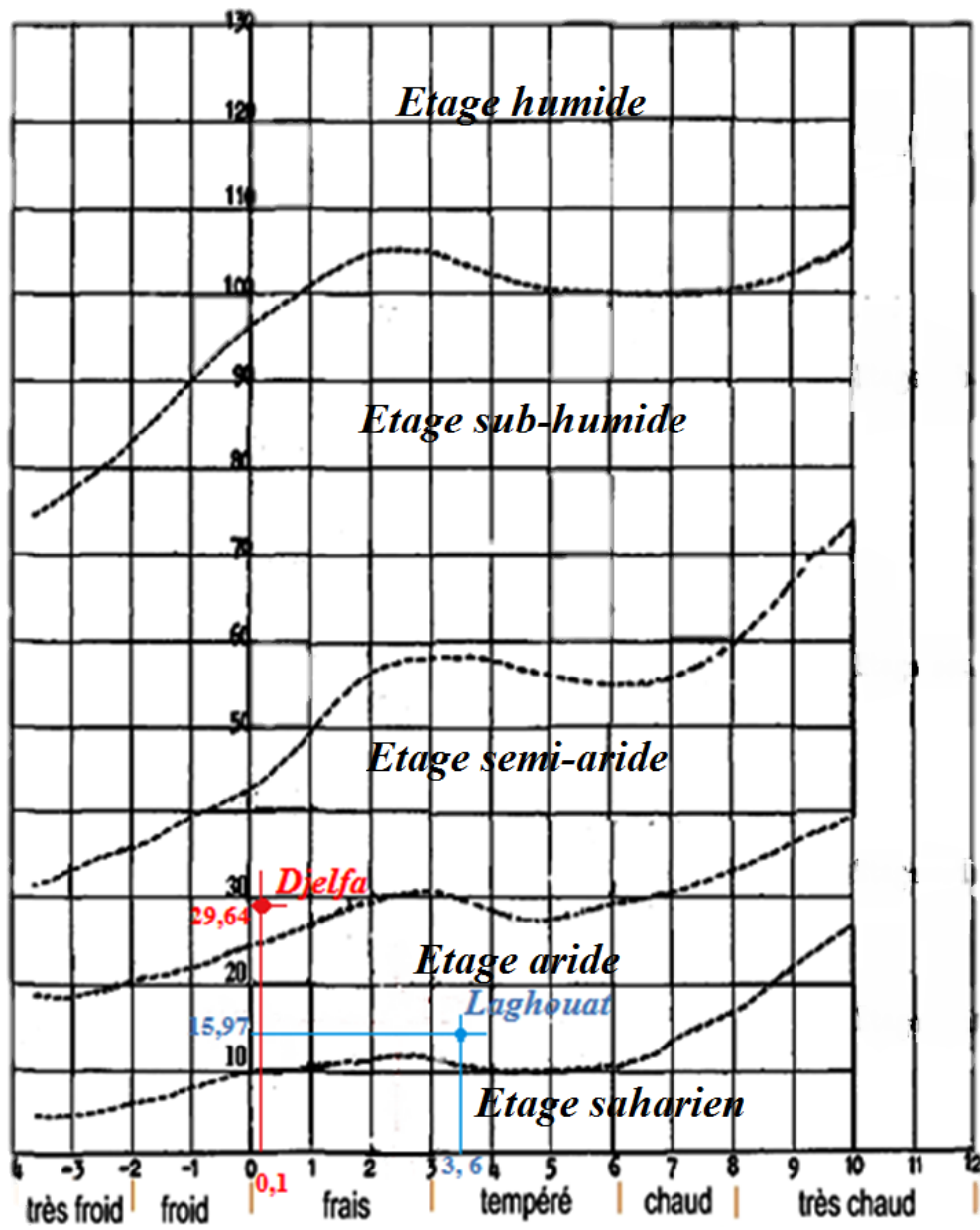
Désertiques pour : $Q < 10$.

Afin de déterminer l'étage bioclimatique de la région de Laghouat et Djelfa et les situer dans le climagramme d'EMBERGER, nous avons calculé le quotient pluviothermique Q avec les données climatiques calculées sur deux périodes, de 15ans Q1 (1996-2011) et de 12 ans Q2 (1999-2010).

$$Q_1 = 3,43 \times \frac{171,35}{(40,4 - 3,6)} = 15,97$$

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{299}{(34,7 - 0,1)} = 29,64$$

La région de Djelfa est toujours classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais ($Q_2 = 29,64$. moyenne des températures minimales du mois le plus froid janvier est de $0,1$ °C pour la période 1999-2010), cependant la région de Laghouat est classée dans l'étage bioclimatique aride ($Q_1 = 15,97$) (Fig.6).



(Emberger., 1950).

Figure 6: Climagramme pluviométrique d'Emberger.

2. Méthodes d'études

2.1. Choix des sites et fréquences d'échantillonnage

Afin de choisir des stations les plus représentatives, tant du point de vue naturel que du point de vue pression humaine, nous avons opté à la prospection au niveau de 2 sites d'étude : oued M'zi Laghouat et oued Taadmit Djelfa (Fig.7).

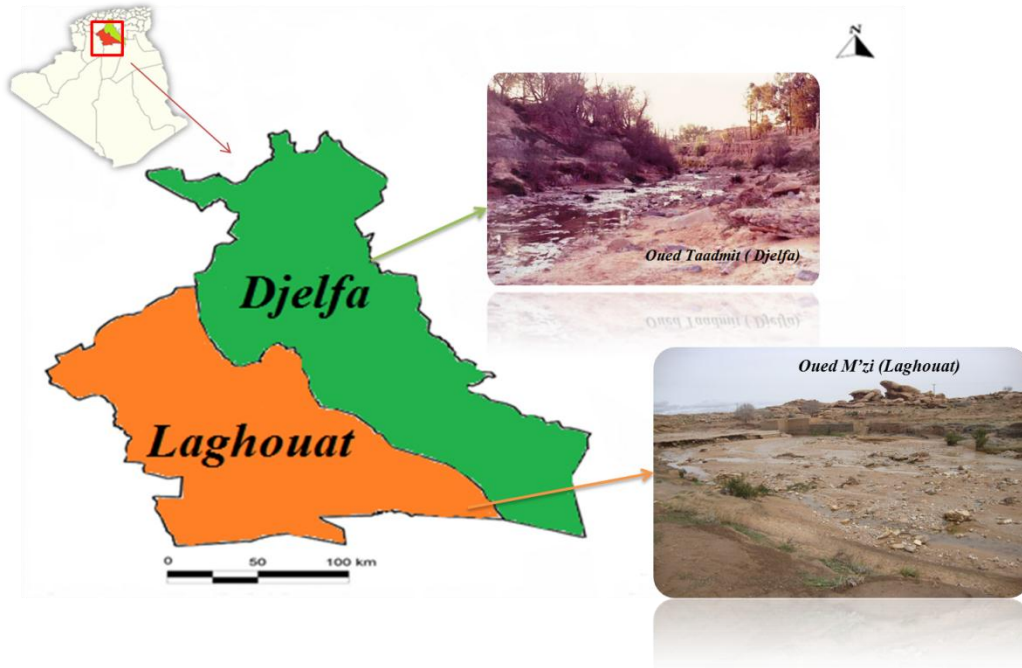


Figure 7 : La situation géographique des sites d'étude.

2.1.1. Fréquence d'échantillonnage

Les sorties du terrain sont étalées sur une période de quatre mois allant de Janvier à Avril 2012 avec une chronologie résumée dans le tableau ci-dessous.

Tableau5 : Les fréquences d'échantillonnage du phytoplancton

		Mesures physico-chimiques		Etude phytoplanctonique	
		O.Taadmit	O.M'zi	O.Taadmit	O.M'zi
P1	12/01/2012	+	+	+	+
P2	28/02/2012	+	+	+	+
P3	15/03/2012	+	+	+	+
P4	13/04/2012	+	+	+	+

2.2. Méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau

2.2.1. Méthode de prélèvement de l'eau

Le prélèvement consiste à réaliser un échantillon représentatif d'une colonne d'eau, d'un litre et demi d'eau brute de surface dans une bouteille en plastique.

2.2.2. Analyses physico-chimiques

En vue de la caractérisation de la qualité de l'eau de deux sites prospectés, nous nous sommes intéressés à 7 paramètres physico-chimiques. Il s'agit de : la température, le pH, la conductivité électrique, la salinité, les nitrites, les nitrates et les Ortho phosphate. Ces paramètres ont été étudiés au niveau du laboratoire de l'Algérienne des Eaux. Les détails concernant tous ces paramètres sont notés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6: Protocoles de mesures des paramètres physico-chimiques

Paramètre mesuré	unité	Matériel utilisé	Mode opératoire
Température	°C	Thermomètre a mercure	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoncez le thermomètre dans l'eau - Attendez quelques minutes et lisez la valeur indiquée.
pH	/	pH mètre (Baroid, petrlum industries)	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre environ 100 ml de l'échantillon à mesurer - Immerger l'électrode dans le bécher contenant l'eau à analyser - Laisser stabiliser un moment et noter le pH indiqué
Conductivité	µS/cm	Conductimètre (HACH COMPANY)	<ul style="list-style-type: none"> - Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité - Faire la mesure dans un récipient contenant de l'eau à examiner en prenant soin que les électrodes soient bien émergées.
Salinité	‰	Conductimètre (HACH COMPANY)	A partir de la conductivité (lecture directe).

NO ₃ ⁻ (Taux de nitrates)	mg/l	Spectrophotomètre (modèle HACH ODYSSEY)	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre 10 ml d'eau à analyser - Ajouter 4 gouttes d'acide acétique - Ajouter 8 gouttes de nitrure de sodium (NaN₃) - Attendre 5 minutes - ajouter une pincée de salicylate de sodium. - sécher à l'étuve à 200°C avec ventilation et laisser refroidir. - Reprendre le résidu avec 16 gouttes d'acide sulfurique concentré (8N). - laisser reposer 15 mn puis ajouter 10ml de NaOH (20%)
NO ₂ ⁻ (Taux de nitrites)	mg/l	Spectrophotomètre (modèle HACH ODYSSEY)	<ul style="list-style-type: none"> Prendre 50 ml d'eau à analyser - Ajouter 2 ml de réactif de Zambelli. - laisser 10 min. - Ajouter 2 ml d'ammoniaque - lecture à 435 nm.
PO ₄ ⁻³ (Ortho phosphate)	mg/l	Spectrophotomètre (modèle HACH ODYSSEY)	<ul style="list-style-type: none"> -Prendre 10 ml de l'échantillon. - Ajouter 1 ml d'acide ascorbique (10%). - lecture à 699 nm.

2.3. Méthodes et techniques d'étude du phytoplancton

2.3.1. Prélèvement du phytoplancton

Afin d'obtenir des données d'ordre qualitatives et quantitatives de la communauté microalgale des deux plans d'eau, nous avons utilisé un filet à plancton fabriqué traditionnellement (Fig.8) dont le principe de fonctionnement est de faire passer une quantité d'eau à plusieurs reprises (une dizaine de litres) afin de récupérer un volume de (100 ml) appelé le filtrat. Puis, le filtrat est versé dans des flacons ambrés en ajoutant 10 ml de formol à 10% afin d'assurer une meilleure fixation et de faciliter la décantation des espèces phytoplanctoniques pour une investigation microscopique ultérieure. Une autre méthode de fixation d'ordre qualitative adoptée par Sournia (1978), dans laquelle, une quantité de 20 ml de formol aldéhyde (10 %) est ajoutée à chaque flacon d'un litre d'eau.

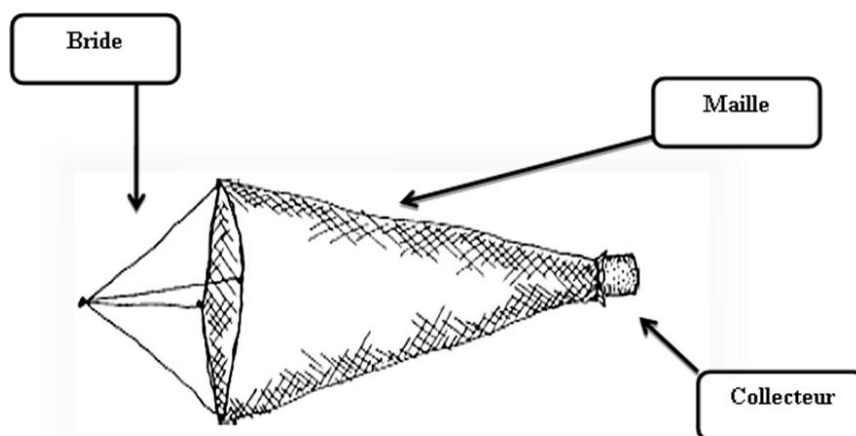


Figure 8: Schéma représentatif d'un filet à plancton.

2.3.2. Etude qualitative et quantitative

Plusieurs classes d'algues ont fait l'objet de notre étude telles que, les diatomées, les cyanophycées, Zygnophycées, Zygnematophycées.

❖ Identification et dénombrement du phytoplancton au laboratoire

Au laboratoire, l'échantillon est immédiatement fixé avec du lugol. Au minimum 8 gouttes pour 100 ml sont ajoutées. L'idéal étant d'obtenir une couleur orangée (mais pas brun foncé). En fonction du type de milieu (acidité de l'eau), la couleur orangée est obtenue avec un nombre nettement supérieur de gouttes (Druart et Rimet, 2008).

L'identification des genres de chaque récolte est réalisée à l'aide d'un microscope optique par l'observation des caractères morpho anatomiques (la forme de la colonie ou du

trichome ainsi que la taille et la couleur) représentant les clés d'identification de différents genres.

La détermination de toutes les espèces observées s'est arrêtée au niveau des genres en se basant sur les clés (Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du Canada, guide d'identification des fleurs d'eau des cyanobactéries...).

Le dénombrement du phytoplancton se fait suivant les étapes suivantes :

- Agiter le flacon pour assurer l'homogénéité de l'échantillon.
- Prélever un sous échantillon d'eau (le volume est choisi en fonction de la densité algale) et le déposer dans une chambre de comptage.
- Observer à l'aide d'un microscope optique, en utilisant l'objectif (Gr x 40).
- Compter les micro-algues rencontrées sur les parcours horizontaux effectués sur toute la longueur de la bande. Cette opération est répétée 3 fois.

Le comptage ne concerne pas l'ensemble de la surface de la chambre, mais seulement une « sous chambre » de superficie de 2 cm² (1 cm x 2 cm) (Fig.9).

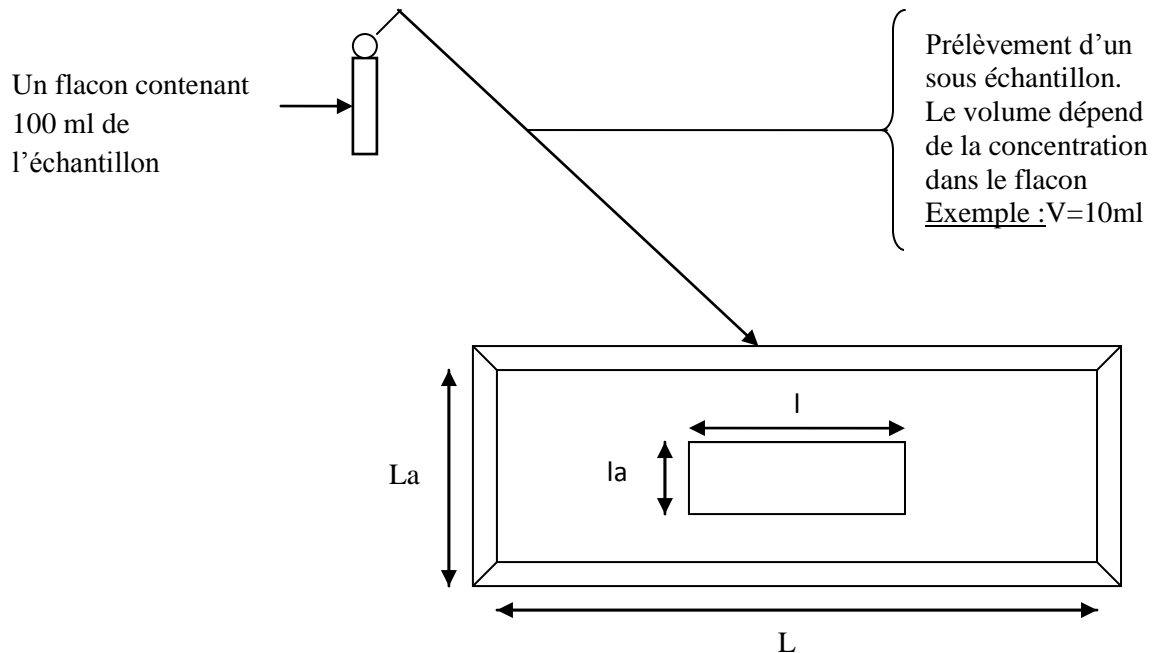


Figure 9: Schéma synthétique de la technique de comptage du phytoplancton.

2.4. Exploitation des résultats par des indices écologiques

2.4.1. Application d'indices de structure et d'organisation

a) Fréquence en nombre (abondance relative)

La fréquence centésimale (Fc), représente l'abondance relative et correspond au pourcentage d'individus d'une espèce (ni) par rapport au total des individus recensés (N) d'un peuplement. Elle peut être calculée pour un prélèvement ou pour l'ensemble des prélèvements d'une biocénose (Dajoz, 2003).

$$F_c = \frac{ni}{N} \times 100$$

b) Constance ou indice d'occurrence :

La constance (C) est le rapport du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée (Pi) au nombre total de relevés (P) exprimé en pourcentage (Dajoz, 2003).

$$C\% = \frac{Pi}{P} \times 100$$

Bigot et Bodot (1973), distinguent des groupes d'espèces en fonction de leur fréquence d'occurrence :

- Les espèces constantes sont présentes dans 50 % ou plus des relevés effectués.
- Les espèces accessoires sont présentes dans 25 à 49 % des prélèvements.
- Les espèces accidentelles sont celles dont la fréquence est inférieure à 25 %.
- Les espèces très accidentelles qualifiées de sporadiques, ont une fréquence inférieure à 10%.

2.4.2. Application d'indices de diversité des peuplements :

La diversité des peuplements vivants s'exprime généralement par la richesse spécifique totale qui est le nombre total (S) d'espèces dans un biotope et la richesse moyenne (*Sm*) qui est la moyenne du nombre d'espèces observées dans une série de prélèvements. Elle peut être également représentée par des indices différents.

a) Richesse générique totale

Par définition ; la richesse totale (S) est le nombre d'espèces contractées au moins une seule fois au terme de N relevés effectués.

L'adéquation de ce paramètre à la richesse réelle est bien entendu d'autant meilleure que le nombre de relevés est plus grand (Blondel, 1979).

b) Richesse générique moyenne :

La richesse spécifique moyenne (S_m) est utile dans l'étude de la structure des peuplements. Elle est calculée par le nombre moyen d'espèces présentes dans un échantillon (Ramade, 1984).

$$S_m = \frac{\text{nombre total d'espèces recensées lors de chaque relevé}}{\text{nombre de relevés réalisés}}$$

c) Indice de diversité de SHANNON :

L'indice de diversité de SHANNON dérive d'une fonction établie par SHANNON et WIENER. Cet indice symbolisé par la lettre H' . La diversité est fonction de la probabilité de présence de chaque espèce dans un ensemble d'individus. La valeur de H' représentée en unités binaires d'information ou bits et donnée par la formule suivante (Dajoz, 2003)

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i$$

Où : P_i représente le nombre d'individus de l'espèce i par rapport au nombre total d'individus recensés (N) :

$$P_i = \frac{ni}{N}$$

Cet indice renseigne sur la diversité des espèces d'un milieu étudié. Selon Magurran (1988), la valeur de cet indice varie généralement entre 1,5 et 3,5. Il dépasse rarement 4,5. Lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, l'indice de diversité est égal à 0 bits. Cet indice est indépendant de la taille de l'échantillon et tient compte de la distribution du nombre d'individus par espèce (Dajoz, 2003).

d) Indice d'équirépartition des populations (équitabilité) :

L'indice d'équitabilité ou d'équirépartition (E) est le rapport entre la diversité calculée (H') et la diversité théorique maximale (H'_{max}) qui est représentée par le \log_2 de la richesse totale (S) (Blondel, 1979).

$$E = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Où : H' est l'indice de Shannon : $H'_{max} = \log_2 S$

Cet indice varie de zéro à un. Lorsqu'il tend vers zéro ($E < 0,5$), cela signifie que la quasi-totalité des effectifs tend à être concentrée sur une seule espèce. Il est égal à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Barbault, 1981).

2.5. Analyses statistiques

2.5.1. Analyses statistiques univariées

En analyse statistique univariée, nous avons calculé pour chaque variable les paramètres de base qui sont les statistiques descriptives : la moyenne, l'écart-type (s), les valeurs max et min, la médiane...etc (Dagnelie, 2000).

2.5.2. Analyses statistiques bivariées

L'analyse statistique bivariée consiste à calculer les corrélations linéaires simples entre les différentes variables deux à deux (Dagnelie, 2000).

Ce coefficient est compris entre -1 et +1, il est en valeur absolue, d'autant plus proche de 1 que la liaison entre les deux séries d'observation est nette, pour autant que cette liaison soit linéaire ou approximativement linéaire.

Au contraire, si le coefficient est nul ou approximativement nul c'est que les deux variables ne sont pas corrélées entre elles.

D'autre part, le signe de coefficient de corrélation indique si la relation entre les deux variables (séries d'observations) est croissante ou décroissante. En effet, lorsque le coefficient de corrélation est positif, les valeurs élevées d'une variable correspondent, dans l'ensemble, aux valeurs élevées de l'autre variable et vice-versa.

- Si $p > 0.05$ → il n'existe pas de corrélation.
- Si $p \leq 0.05$ → il existe une corrélation significative → *
- Si $p \leq 0.01$ → il existe une corrélation hautement significative → **
- Si $p \leq 0.001$ → il existe une corrélation très hautement significative → ***

P : C'est la probabilité qui met en évidence les différences significatives entre la valeur du coefficient de corrélation « r » et la valeur zéro.

Tous les calculs des analyses univariées et bivariées ont été exécutés avec le logiciel MINITAB d'analyse et de traitement statistique des données.



CHAPITRE III:
RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Paramètres physicochimiques de l'eau et leurs variations mensuelles

Les données caractérisant la nature physico-chimique de l'eau mesurées selon les méthodes décrites plus haut, ainsi que sa variation mensuelle sont rapportées dans le tableau (Annexe.02). Le tableau (7) montre l'analyse descriptive des paramètres physicochimiques de l'eau.

Tableau 7.Analyses descriptives des paramètres physicochimiques de l'eau.

Oued Taadmit					
Variables	Nombre de relevés	Moyenne	Médiane	Ecart type	Ecart type moyen
T°C	4	11,2	11,2	4,91	5,19
pH	4	7,89	7,89	0,62	2,53
Cond (µs/cm)	4	3820	3820	1204,69	1504,8
S‰	4	2,03	2,03	0,67	0,82
NO ₃ ⁻ (mg/l)	4	11,2	11,2	10,63	8,14
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	4	0,06	0,05	0,05	0,03
NO ₂ ⁻ (mg/l)	4	0,1	0,1	0,03	0,03
Oued M'zi					
T°C	4	9,7	8,75	3,26	2,3
pH	4	7,6	7,65	0,53	0,45
Cond (µs/cm)	4	2488,3	2314,16	1024,14	695,83
S‰	4	1,3	1,2	0,58	0,4
NO ₃ ⁻ (mg/l)	4	6,65	5,95	2,98	2,07
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	4	0,021	0,01	0,01	0,01
NO ₂ ⁻ (mg/l)	4	0,1	0,09	0,04	0,02

1.1.Température

La température de l'eau présente des variations tout le long de la période d'étude, pour oued Taadmit (Fig.10), la valeur la plus basse est enregistrée au mois de février (7,1°C) et la plus élevée au mois d'avril (15,7°C). Les relevés de la température font apparaître l'existence de deux périodes : l'une froide et l'autre chaude.

Au niveau de la station d'oued M'zi (Fig. 10) la température la plus basse est enregistrée au mois de janvier (7°C), alors qu'au mois de février, une augmentation légère

de la température est enregistrée avec (9,7°C). La valeur maximale enregistrée est celle du mois d'avril avec (14,3°C).

Des résultats similaires, ont été rapportés par de nombreux auteurs qui signalent l'existence de périodes chaude et froide (Lahziel, 2007 dans le barrage de Tadjmout, Nadjem et Ladjreb, 2011 à oued el Ghaicha).

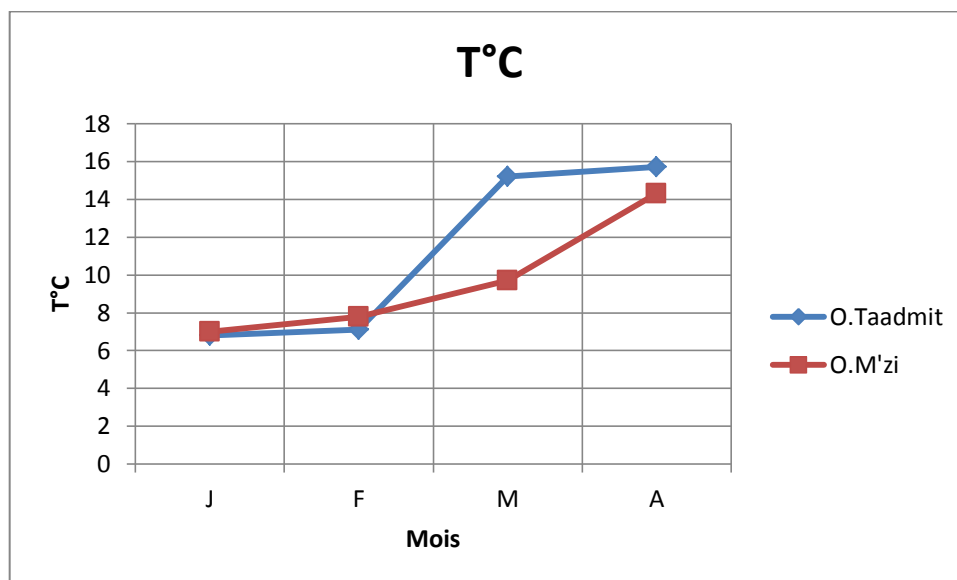


Figure 10. Variations mensuelles de la température (°C) de l'eau des deux stations prospectées.

La température, considérée par les scientifiques le paramètre clé et le stimulateur de toute activité biologique, influe sur cette dernière dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (Hamdi et Ait kaci, 2008). La composition du phytoplancton, dépend de la température de l'eau. Selon (Goffart, 2012) quand les eaux sont froides, les diatomées sont nombreuses. Ce sont des composantes du phytoplancton intéressantes car elles ont une valeur nutritive élevée pour le zooplancton. En coulant, elles exportent du CO₂ vers les couches profondes. Comme la température moyenne hivernale de l'eau augmente, nous constatons qu'il y a moins de diatomées dans l'eau (Beans et al, 2008).

1.2.Le potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs moyennes du pH enregistrées dans les sites de Taadmit et de M'zi sont respectivement 7,89 et 7,60 (fig. 11). Ces valeurs montrent que l'eau des deux stations est légèrement alcaline. Les valeurs du pH dépassant 7,5 sont enregistrées en janvier (8,72), avril (7,9) à oued Taadmit et en janvier (8), février (8,1) à oued M'zi, ce qui correspond à des dépôts incrustants. En revanche la valeur la plus basse pour les deux stations est

enregistrée en mois de Mars (7,25) à oued Taadmit et (7) à oued M'zi. Cette alcalinité serait en relation avec la circulation des eaux et l'absence d'une source de pollution réelle comme les eaux usées par exemple.

Le pH de l'eau dépend de la géologie, de la géochimie des roches et de l'activité biologique des sols du bassin versant (Hade ,2002). Ce paramètre permet de classer l'eau en trois catégories selon l'échelle adoptée par (Hecker et *al*, 1996) : Eau acide (pH < 5,5), eau neutre (pH = 5,5 à 7,4), eau alcaline (pH > 7,4). En pratique, les eaux ayant un pH supérieur à 8 ou inférieur à 6 sont rares mais on peut rencontrer des pH plus élevés dans des situations d'eutrophisation d'eau.

Selon (Mauguit, 2012) et (Scott et *al*, 2005) l'augmentation de l'acidité du milieu aquatique influence la croissance des phytoplanctons dont elle est fortement ralentie puisque la calcification est entravée, et pourrait à terme causer la perte de nombreuses espèces algales. En revanche (Thorsten et *al*, 2012) viennent de déclarer que les résultats d'une année d'expériences menées sur du phytoplancton exposé à diverses concentrations en CO₂, montre que certaines algues unicellulaires peuvent très bien s'adapter à l'acidification du milieu.

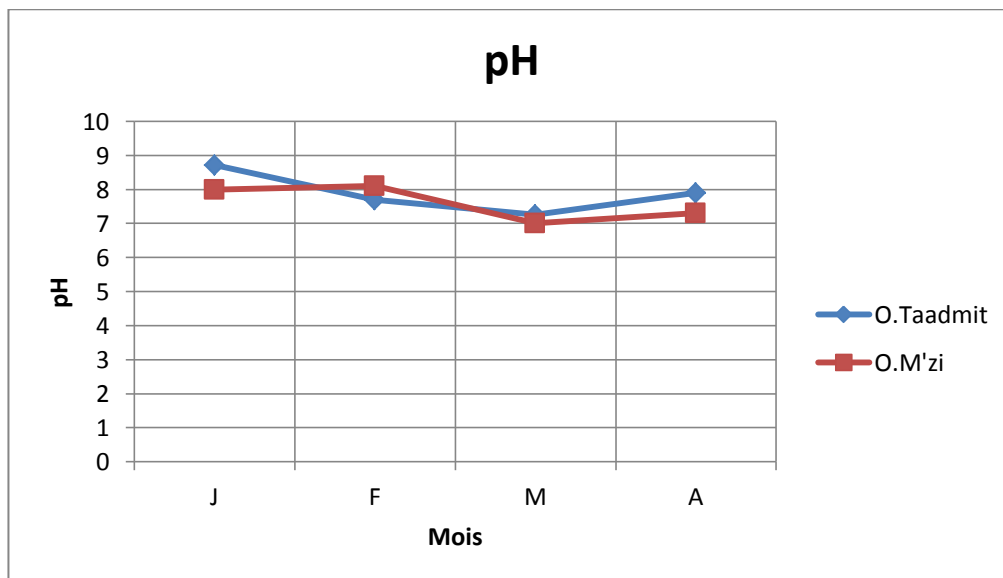


Figure 11. Variations mensuelles du pH des deux stations prospectées.

1.3. Conductivité

Pour les deux sites, ce paramètre représente des fluctuations remarquables d'un site à un autre et d'un mois à l'autre. Les valeurs les plus basses à oued Taadmit sont enregistrées au mois d'avril, le mois le plus chaud, avec 2350 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la valeur maximale est celle du mois de mars (soit 5280

$\mu\text{s}/\text{cm}$). La station d'oued M'zi enregistre une valeur maximale au mois de février et minimale au mois d'avril, soient 3880 et 1445 $\mu\text{s}/\text{cm}$ respectivement (Fig.12).

Les résultats de la conductivité à oued Taadmit présentent des similitudes avec ceux de (Terbah ; 2007) dont les valeurs dépassent le seuil de 2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

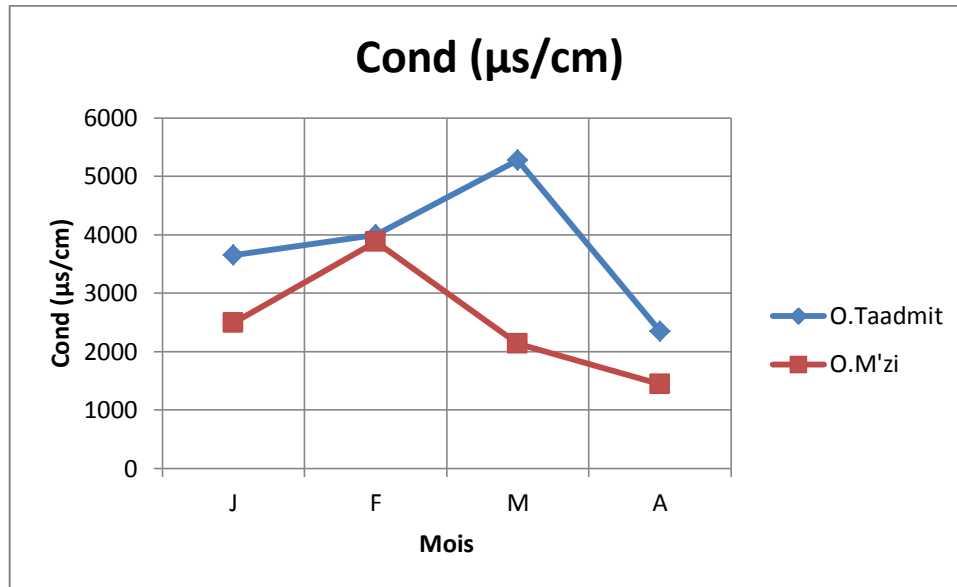


Figure 12. Variations mensuelles de la conductivité de l'eau des deux stations d'étude.

La plus part du temps, la conductivité a une origine naturelle due au lessivage des terrains. Ce lessivage entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux. Elle peut également avoir pour origine l'activité humaine causée par les effluents agricoles, industriels ou domestiques qui contiennent des sels contribuant eux aussi à l'accroissement de la conductivité.

Selon (Hade, 2002) la conductivité est influencée par divers paramètres tels que :

- ✓ La géologie du bassin versant.
- ✓ Les apports d'eau souterraine.
- ✓ La température de l'eau.
- ✓ Les variations de débit des ruisseaux et des rivières qualimentent l'oued (la conductivité augmente lorsque le débit est faible, car il y a une plus grande concentration d'ions, et diminue lorsque le débit est élevé).
- ✓ Les apports d'eau contaminée provenant des activités humaines (déglacage des routes, agriculture, développement urbain, activités industrielles).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Rejsek, 2002). Le tableau (8) exprime une relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité.

Tableau 8. Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée.

Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation de l'eau
<100	Très faible
entre 100 et 200	Faible
200 et 333	Moyenne à forte
333 et 666	Moyenne accentuée
666 et 1000	Importante
> 1000	Elevée

En effet, Egborge (1974) a trouvé que la production de phytoplancton est étroitement liée à la conductivité et à la transparence des eaux (Welcomme, 1975).

1.4.Salinité

Les valeurs moyennes de la salinité d'oued Taadmit et oued M'zi sont respectivement 2,02 ‰ et 1,3 ‰, les teneurs en sels sont plus élevées à oued Taadmit avec une valeur maximale de 2,8 ‰ en mois de mars, et une valeur minimale de 1,2 pour le mois d'avril. Oued m'zi est moins salin dont les valeurs varient entre 0,7 ‰ en avril à 2,1‰ pour le mois de février. L'évolution de la salinité mensuelle montre des écarts remarquables entre les deux stations due aux activités anthropiques détectées à oued Taadmit. (Fig.13)

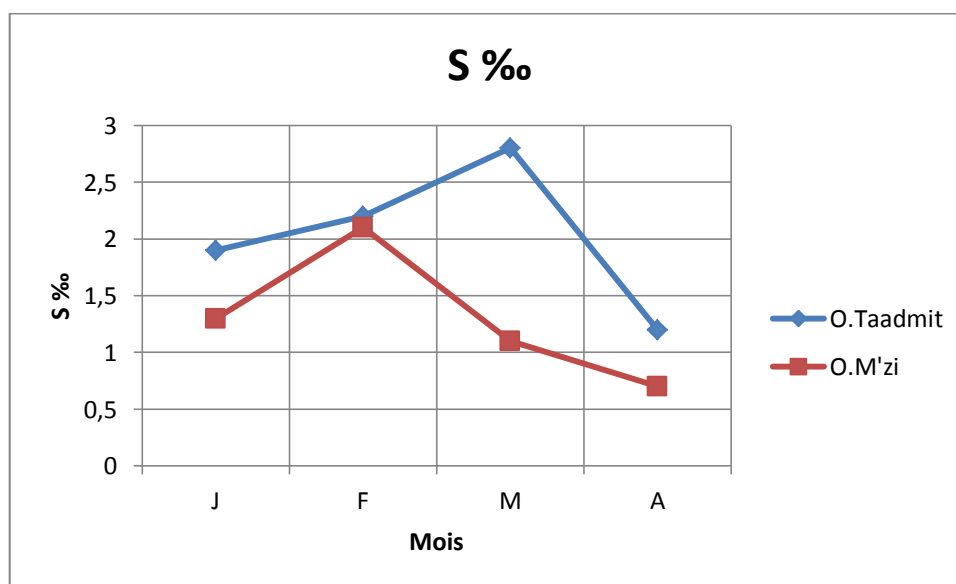


Figure 13. Variations mensuelles de la salinité de l'eau des deux stations d'étude.

La salinité est définie à l'origine comme la quantité de sels dissous présents dans l'eau (Bouchar, 2010). Ce paramètre varie proportionnellement avec la conductivité (Terbah khadidja, 2007). L'eau est dure ou calcaire si elle est riche en sels de calcium, ou en sels minéraux en général, au contraire elle est douce lorsqu'elle est pauvre en ces éléments (Rejsek, 2002).

Le degré de salinité permet de classer l'eau selon les catégories suivantes : Eau douce (< 0,5 g/l), eau douce à saumâtre (0,5 à 5 g/l), eau saumâtre à salée (18 à 30 g/l) et eau salée (> 30 g/l) (Hecker et al, 1996).

A cet effet, nous pouvons dire que l'eau des deux stations d'étude est une eau douce.

1.5.Nitrites (NO_2^-)

Les teneurs moyennes en azote nitreux d'oued Taadmit et oued M'zi sont 0,06 mg/l et 0,02 mg/l respectivement. La station de Taadmit marque une valeur maximale en mois de Mars (0.135 mg/l), les mois de janvier, février et avril enregistrent des teneurs inférieures à 0.1 qui sont respectivement 0,052; 0,038 et 0,063 mg/l. (fig.14)

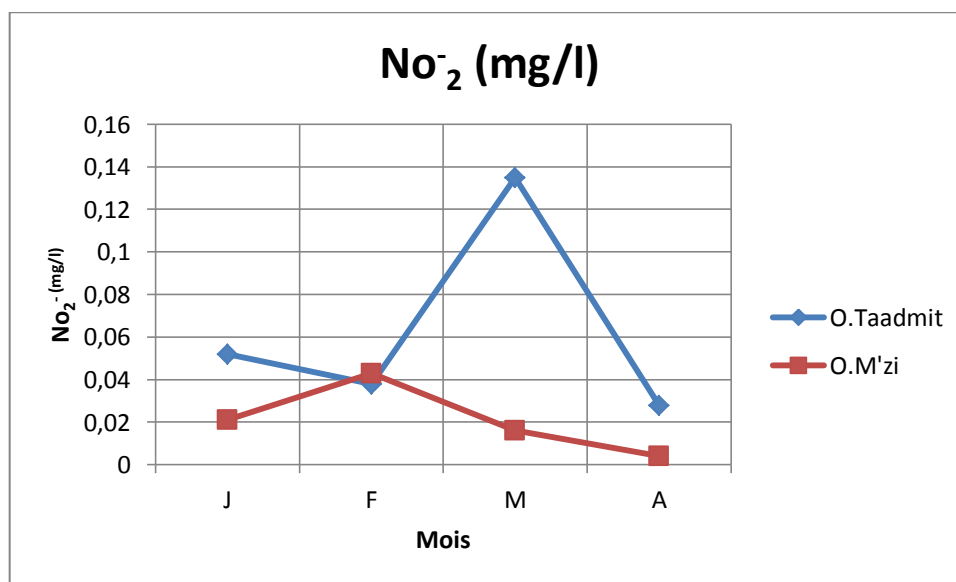


Figure 14. Variations mensuelles de la valeur des nitrites de l'eau des deux stations d'étude.

La présence de nitrites dans une eau peut être due à une oxydation incomplète de composés azotés (azote organique ou ammoniacal) ; elle correspond à un stade intermédiaire et leur concentration est en général inférieure à 1 mg/l (Rejsek, 2002).

Les classes proposées pour les nitrites sont : (0 - 0,01) Bonne - (0,01 - 0,1) Moyenne - (0,1 - 3) Mauvaise - (> 3) Très mauvaise (ANRH, 2003 in Messamah, 2009).

Donc nous pouvons dire que l'eau des deux stations est moyenne du fait que les moyennes des teneurs en nitrites sont comprises entre 0,01 et 0,1 mg/l.

1.6. Nitrates (NO_3^-)

Les résultats obtenus à partir des prélèvements effectués indiquent la présence de valeurs supérieures à 10 mg/l, les moyennes d'oued Taadmit et oued M'zi sont respectivement 11,6 mg/l et 6,65 mg/l. La station de Taadmit enregistre une valeur maximale en mois d'avril avec 25,7 mg/l et une valeur minimale de 2,49 mg/l pour le mois de janvier. La station d'oued M'zi enregistre une teneur moins importante que la station de Taadmit dont la valeur maximale est de 10,8 mg/l en mois de février et 5,25, 3,9 mg/l en avril, mars respectivement. (Fig.15)

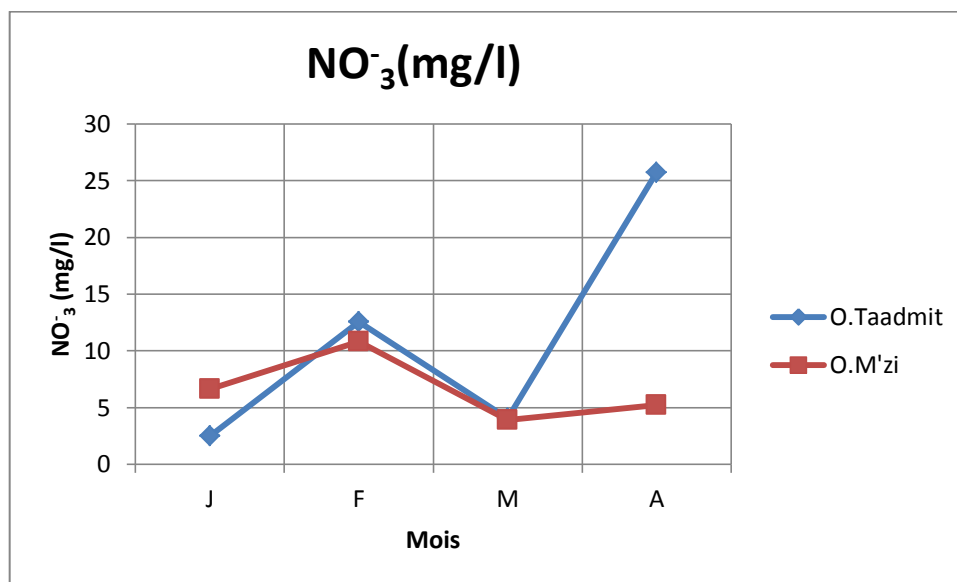


Figure 15. Variations mensuelles de la valeur des nitrites de l'eau des deux stations d'étude

La concentration naturelle en nitrates ne dépasse pas 3 mg / l dans les eaux superficielles. La nature des zones de drainage joue un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. Les variations saisonnières des teneurs en NO_3^- sont importantes et liées au développement du phytoplancton (Rejsek, 2002).

Les excédents d'azote sont dus à une fertilisation excessive et/ou à des pratiques culturales inadéquates. Dans certaines régions, ce sont les rejets azotés d'origine animale excessifs qui sont en cause.

1.7. Orthophosphate (PO_4^{-3})

Le dosage des orthophosphates des deux stations montrent de faibles teneurs en PO_4^{-3} , les moyennes de la station de Taadmit et oued M'zi sont respectivement 0,097 et 0,103 mg/l.(Fig.16)

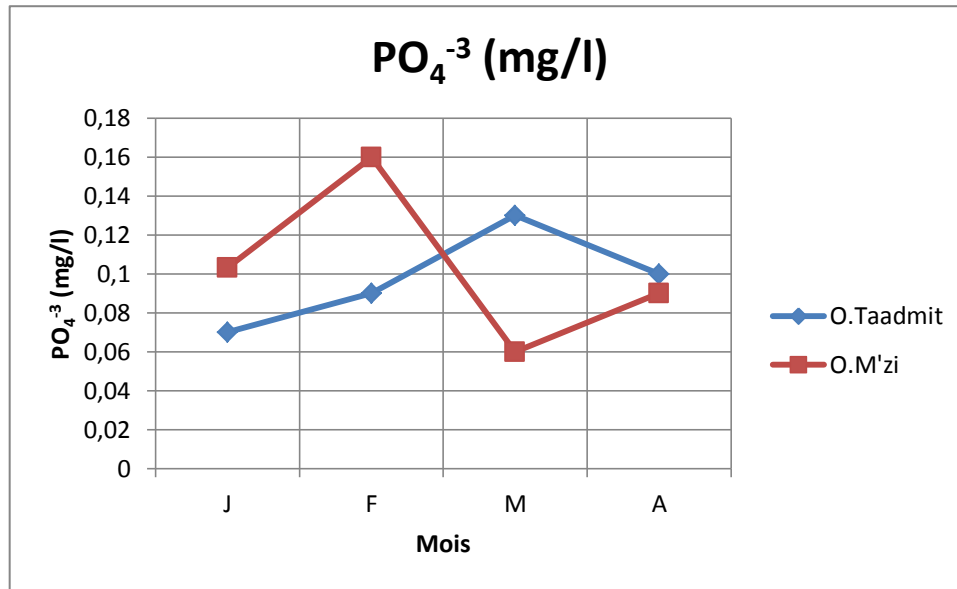


Figure 16 : Variations mensuelles de la valeur d'orthophosphates de l'eau des deux stations d'étude.

Les teneurs d'ortho phosphates supérieures à 0,5 mg / l permettent de suspecter la pollution d'eau. Les eaux de surface peuvent être contaminées par des rejets domestiques ou par le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains Pesticides. Cette contamination entraîne un développement important des algues microscopiques mais aussi macroscopiques, qui caractérise le phénomène d'eutrophisation.

On considère généralement que les phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation. (Rejsek, 2002).

2. Etude qualitative et quantitative du peuplement du phytoplancton

2.1. Composition taxonomique de la flore micro-algale recensée

Après l'examen microscopique des échantillons d'eau prélevés, nous présentons dans le tableau (9) la liste systématique du phytoplancton identifié suivant la classification établie par Burrelly (1970) et Sournia (1986).

Nos données montrent que la flore micro-algale recensée, dans les deux stations prospectées, est composée de 20 genres, appartenant à 13 familles, 12 ordres et 4 classes qui sont : Les *Zygothycées*, les *Diatomophycées*, les *Cyanophycées* et les *Zygnematophycées*. (Tab.9)

Tableau 9. Inventaire taxonomique de répartition par station du phytoplancton recensé (P : espèce présente; A : espèce absente; (*) : espèce toxique.)

Classe	Ordre	Famille	Espèce	Tadmit	M'zi	
Zygothycées	Zygnématales	Zygnémataceae	<i>Spirogira sp</i>	A	P	
Diatomophycées	Naviculales	Naviculaceae	<i>Campylodiscus sp</i>	A	P	
			<i>Cymbella sp</i>	P	P	
			<i>Navicula sp</i>	P	P	
			<i>Pinnularia sp</i>	P	P	
			<i>Caloneis sp</i>	P	P	
			Nitzschiaceae	<i>Nitzschia sp</i>	P	P
	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Melosira sp</i>	P	P	
	Diatomales	Diatomaceae	<i>Synedra sp</i>	P	P	
			<i>Tabellaria sp</i>	P	A	
	Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Cocconeis sp</i>	P	P	
	Fragilariales	Fragiliaceae	<i>Diatoma sp.</i>	P	P	
	Thalassiosirales	keletonemataceae	<i>Thalassionema sp</i>	P	P	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Hantzschia sp</i>	A	P	
<i>Pseudo-nitzshia sp</i>			A	P		
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp</i>	P	A		
Cyanophycées	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya sp.*</i>	P	A	
			<i>Oscillatoria sp.*</i>	P	P	
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa sp</i>	P	A	
Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Zygnema sp</i>	P	A	

Pour la station de Taadmit la classe des *Diatomophycées* regroupe les proportions les plus importantes du peuplement phytoplanctonique avec 12 genres (soit 75%), 8 familles (soit 73 %) et 9 ordres (soit 80 %). En revanche, la classe des Zygnematophyceae est la plus faiblement représentée avec un seul genre (soit 6%), un ordre (soit 10 %) et une famille (soit 9 %). Néanmoins la famille des Zygothécées est absente (Fig. 17)

A oued M’zi la classe des *Diatomophycées* domine avec 13 genres (soit 87%), 9 familles (soit 80%) et 8ordres (soit 78%). (tab.10) La présence des *Cyanophycées* et *Zygothécées* est faible avec un genre (soit 7%), une famille (soit 10%) et un ordre (soit 11%), on marque l’absence de la classe des *Zygnematophyceae*. (Fig. 18)

Tableau 10. Pourcentages en nombre de genres, d’ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, à oued Taadmit et oued M’zi.

Oued Taadmit			
Classe	Ordres	Familles	Genres
Diatomophycées	70%	73%	75%
Cyanophycées	20%	18%	19%
Zygnematophycées	10%	9%	6%
Oued M’zi			
Zygothécées	11%	10%	6%
Diatomophycées	78%	80%	87%
Cyanophycées	11%	10%	7%

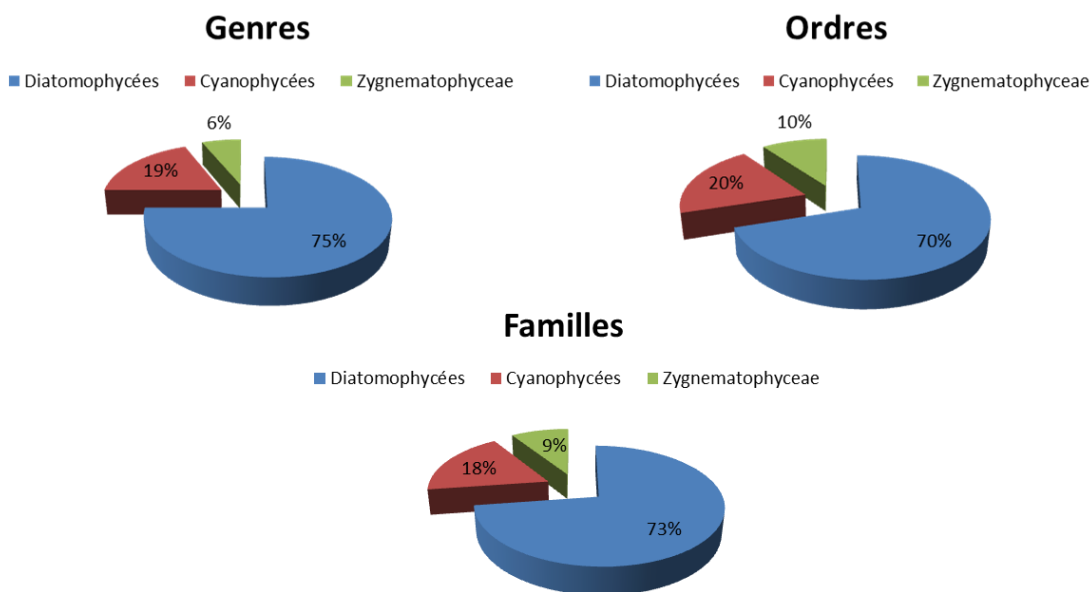


Figure 17. Pourcentages en nombre de genres, d’ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, à oued Taadmit

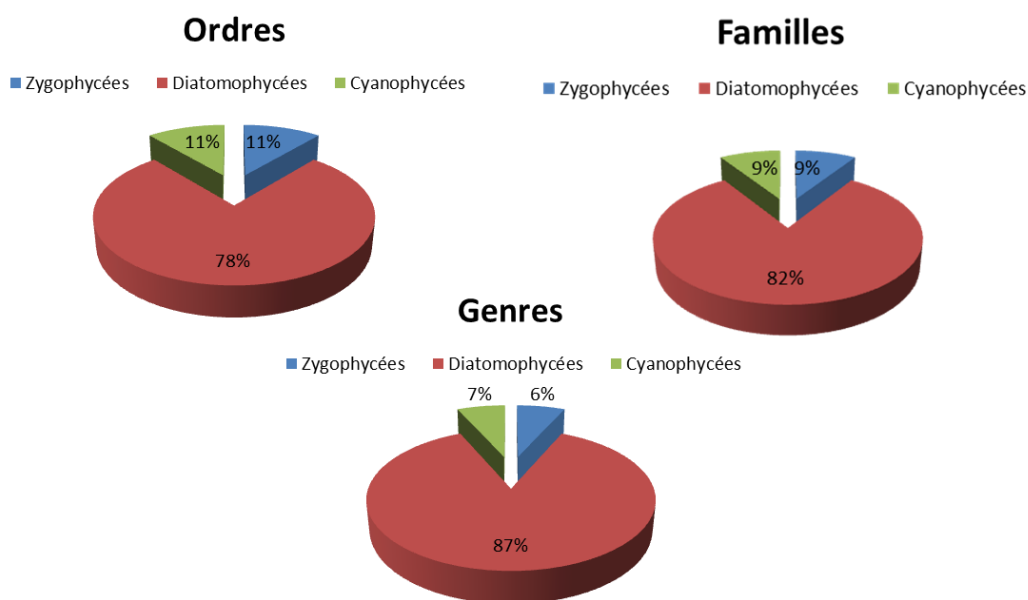


Figure 18. Pourcentages en nombre de genres, d’ordres et de familles des classes de phytoplancton identifiées, à oued M’zi.

Nos données montrent que sur 20 genres identifiés, 2 sont potentiellement toxiques (soit 10% de la population phytoplanctonique) appartenant à la famille des *Cyanophycées*. (Tab.11)

Tableau 11. Les principaux genres phytoplanctoniques reconnus potentiellement toxiques

Type de toxicité	Genre
Hépatotoxique	<i>Oscillatoria sp.</i>
Dermatotoxique	<i>Lyngbya sp.</i>

Les *Cyanophycées* présentent trois formes de toxicité : hépatotoxiques tel le cas d’*Oscillatoria sp* et dermatotoxique avec l’espèce *Lyngbya sp* et neurotoxique (Benoufella et al, 1995 in Messamah, 2009).

Selon Sournia et al. (1990), le phytoplancton aquatique se compose de plus de 6.000 espèces d’algues unicellulaires. Parmi elles, près de 600 espèces sont connues pour provoquer occasionnellement, par leur pullulation, une modification de la couleur de l’eau ; d’autre part, une quarantaine d’espèces provoquent des nuisances diverses telles que des intoxications pour l’homme ou la mortalité.

La majorité des micro-algues répertoriées dans les deux oueds sont des espèces cosmopolites à large spectre écologique qui peuplent aussi le barrage de Timgad et le lac Oubeira (l'un des grands lacs d'eau douce en Algérie) telles que *Cocconeis sp.*, *Navicula sp.*, *Merismopedia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Navicula sp* et *Pinnularia sp.*

2.2.Densité moyenne globale

❖ **Densité moyenne globale par classe**

Les résultats de notre comptage des deux stations Oued Taadmit et Oued M'zi font apparaître la prédominance des individus de la classe des Diatomées qui comptabilisent une densité moyenne proche de 232716 ind/l et 83332 ind/l (soit 99,71% et 99,88% de la biomasse algale) respectivement (Tab.12); ces derniers sont suivis par les Cyanophycées et les Zygnematophyceae qui représentent moins de 0,2% de la biomasse.(Fig.19)

Tableau 12. La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par stations.

Classe	ni (ind/l)	
	Taadmit	M'zi
Zygomphycées	0	31
Diatomophycées	232716	83332
Cyanophycées	629	62
Zygnematophycées	47	0

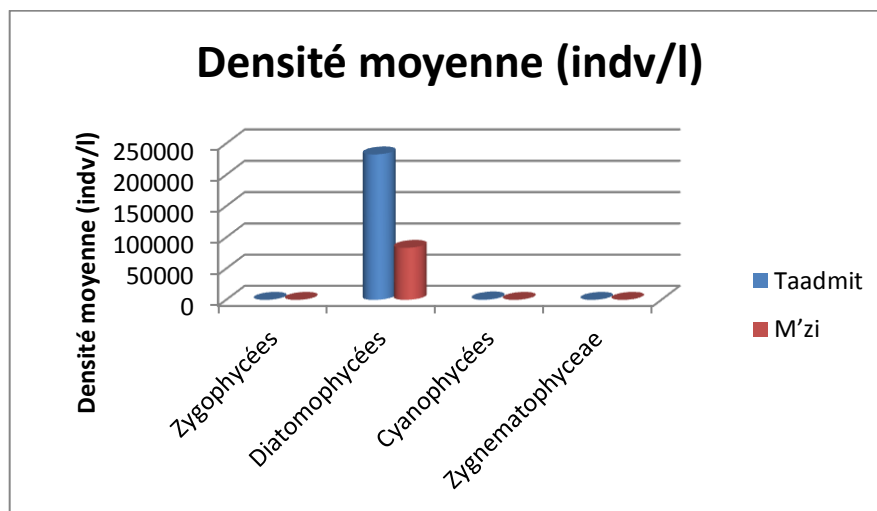


Figure 19. La densité moyenne globale par classe des micro-algues recensées par stations.

L'évaluation des densités phytoplanctoniques en fonction des mois montre que les densités les plus fortes sont relevées en Avril pour la station d'oued Taadmit et en février pour la station d'oued M'zi représentant respectivement 48% et 68% de la biomasse algale. En revanche, les densités les plus faibles enregistrées sont en mois de mai (oued Taadmit avec 5%) et avril (oued M'zi 1%) (Fig. 20)

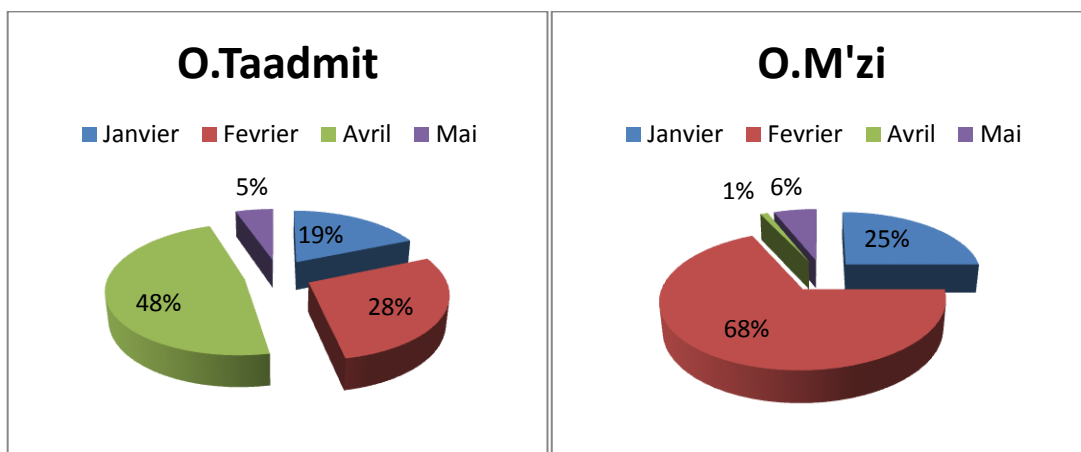
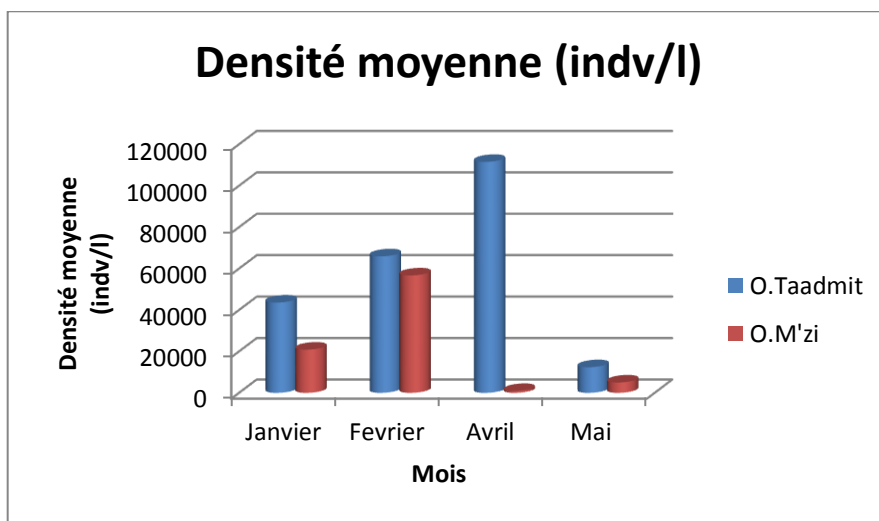


Figure 20. La variation mensuelle du phytoplancton recensé dans les deux stations d'étude.

La qualité de l'eau caractérisant le milieu pourrait être indiquée par la dominance notée des diatomées par rapport aux autres classes, que ce soit dans les deux stations ou bien au cours des différents mois. Toutefois c'est la période printanière qui est la plus favorable au développement quantitatif et qualitatif du phytoplancton.

2.3. Les fréquences d'occurrence

Les fréquences d'occurrence sont calculées afin de définir l'organisation et la structure du peuplement de phytoplancton inventorié. Les résultats obtenus sont énumérés dans le tableau (13).

Tableau 13. Fréquences d'occurrence (%) des classes phytoplanctoniques recensées dans les deux stations d'étude par mois et par station.

Classe	C (%)			
	Taadmit		M'zi	
Zygophyceae	-	-	50	constantes
Diatomophyceae	52	constante	70	constantes
Cyanophyceae	33	accessoires	75	constantes
Zygnematophyceae	25	accessoires	-	-

Les résultats obtenus pour la station de Taadmit indiquent que les fréquences d'occurrence varient entre 25% et 52%, la majorité des classes sont accessoires à l'exception de la classe Diatomophyceae qui est constante (soit 52%), la dominance des espèces accessoires indique le rôle limitant du milieu. En revanche la station de M'zi enregistre une majorité d'espèces constantes (soit 100%).

L'absence des classes des Zygophyceae à oued Taadmit et les Zygnematophyceae à oued M'zi est en relation avec la faiblesse du nombre de genres (un genre pour chacune des classes citées) d'une part et les exigences bioécologiques de ces classes phytoplanctoniques d'une autre part.

2.4. Evolution de l'abondance relative par classes de phytoplancton recensées

❖ Fréquences en nombre par classe recensées

Les fréquences en nombre sont calculées pour marquer l'importance numérique des différentes classes phytoplanctoniques recensées. (Tab. 14).

Tableau 14. Les fréquences en pourcentage des différentes classes par station

Classe	Fréquences (%)	
	Taadmit	M'zi
Zygophycées	/	0,04
Diatomophycées	99,71	99,89
Cyanophycées	0,27	0,07
Zygnematophyceae	0,02	/
Total	100	100

D'une manière globale, c'est la classe des Diatomées qui représente la majorité des effectifs de phytoplancton recensé dans les deux stations, d'oued Taadmit et d'oued M'zi avec 99,71 % et 99,89% respectivement. En seconde position se classent les cyanophycées à oued Taadmit (soit 0,27%) et à oued M'zi (soit 0,07%). Les autres classes se présentent avec des pourcentages inférieurs à 0,2%. (fig. 21)

La présence des conditions favorables et l'absence des facteurs limitants pour la classe des Diatomées favorisent son abondance en nombre dans les deux stations. En revanche, les faibles pourcentages notés pour les autres classes sont dus aux exigences particulières de chaque classe, mais aussi peuvent être en relation avec des phénomènes de concurrence ayant lieu entre les différentes classes.

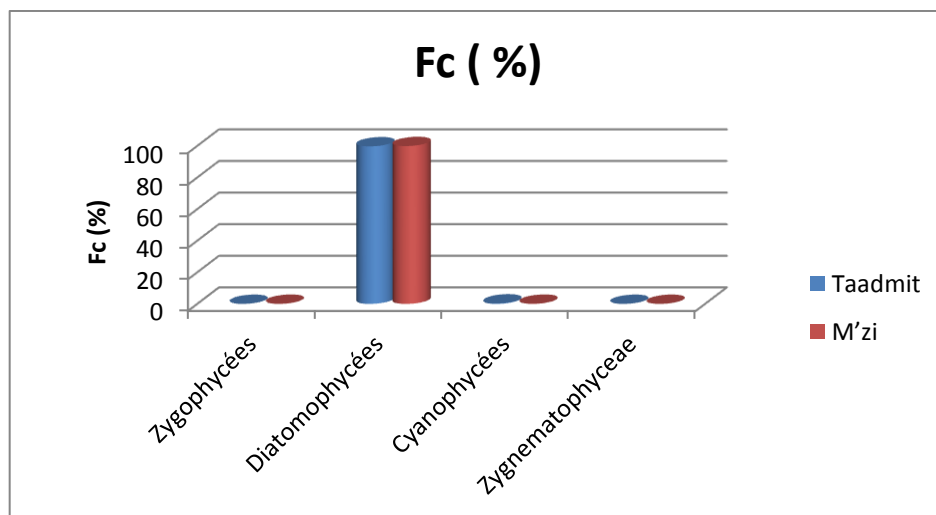


Figure 21. Les fréquences en pourcentage des différentes classes par station

2.5. Indice de similitude de SORENSSEN

En se basant sur la présence ou l'absence des espèces, nous avons comparé à l'aide du calcul de l'indice de similitude de SORENSSEN, la composition du peuplement phytoplanctonique des deux stations, ainsi que des 4 mois explorés pris deux à deux. Cet indice est obtenu à partir des espèces communes entre les relevés pris deux à deux. (tab. 15 et 16).

Tableau 15. Indice de similitude de SORENSSEN des 4 mois suivis à la station de Taadmit

Station de Taadmit				
	Janvier.2012	Février.2012	Mars.2012	Avril.2012
Avril.2012	72,73	46,15	25	100
Mars.2012	47,05	73,68	100	
Février.2012	57,14	100		
Janvier. 2012	100			

Tableau 16. Indice de similitude de SORENSSEN des 4 mois suivis à la station de M'zi

Station de M'zi				
	Janvier.2012	Février.2012	Mars.2012	Avril.2012
Avril.2012	72,73	66,66	25	100
Mars.2012	72,73	40	100	
Février.2012	66,66	100		
Janvier. 2012	100			

❖ Similitude dans l'espace

L'indice de similitude calculé est égal à 66,66 %, cette similitude entre les deux stations s'explique par le fait qu'elles offrent généralement les mêmes conditions écologiques au peuplement du phytoplancton présent.

❖ Similitude dans le temps

La valeur maximale de l'indice de similitude, à la station de Taadmit, est notée entre les mois de janvier, avril et les mois de février, mars.

Par ailleurs la station de M'zi enregistre deux valeurs maximales de similitude en mois de Janvier, avril et janvier, mars (soit 72,73%).

Dans les deux stations d'étude, le mois de janvier présente le plus de similitude avec les autres mois de l'étude prises deux à deux avec des taux supérieurs à 70 %.

La ressemblance dans le temps n'est trop importante qu'en mois de janvier qui représenterait un mois modèle, cela est en relation avec la variation des conditions climatiques (saisonnalité).

2.6. Variation des paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique

Afin d'évaluer la composition du peuplement du phytoplancton, nous avons calculé la richesse spécifique totale (S) et moyenne (Sm), l'indice de diversité de SHANNON et celui de l'équitabilité pour les deux stations d'étude (Tab. 17).

Tableau 17. Les paramètres de diversité de la communauté phytoplanctonique

	Oued Taadmit	Oued M'zi
« S »	16	14
« Sm »	4	3,5
« H' »	0,22	0,31
« H max »	4	3,81
« E »	0,05	0,08

❖ Richesse générique totale (S)

La plus grande valeur de la richesse totale est notée dans la station de Taadmit avec 16 genres et 14 genres pour la station de M'zi (Fig. 22). De même pour la richesse moyenne, il n'existe pas de différence entre les deux stations (soit 4 et 3,5 pour les stations de Taadmit et M'zi respectivement).

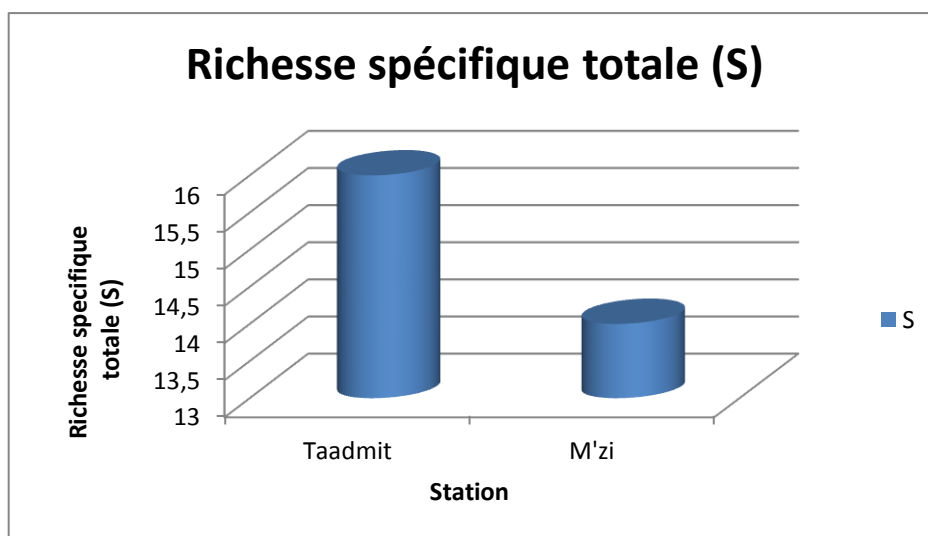


Figure 22. Variation de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.

Dans le temps, la richesse totale varie d'un mois à un autre, le mois de mars enregistre le plus grand effectif en genres à la station de Taadmit (soit 11 genres), suivi par les mois de janvier, février avec respectivement 8 et 5 genres, cependant la station de M'zi le mois de janvier est le plus riche en espèces suivi par février, avril avec 7 et 8 genres respectivement. Le mois de janvier révèle une richesse faible avec 6 genres à Taadmit. Sont les mois de février, mars qui permettent le développement d'un peuplement plus diversifié en nombre d'espèces. (Fig. 23)

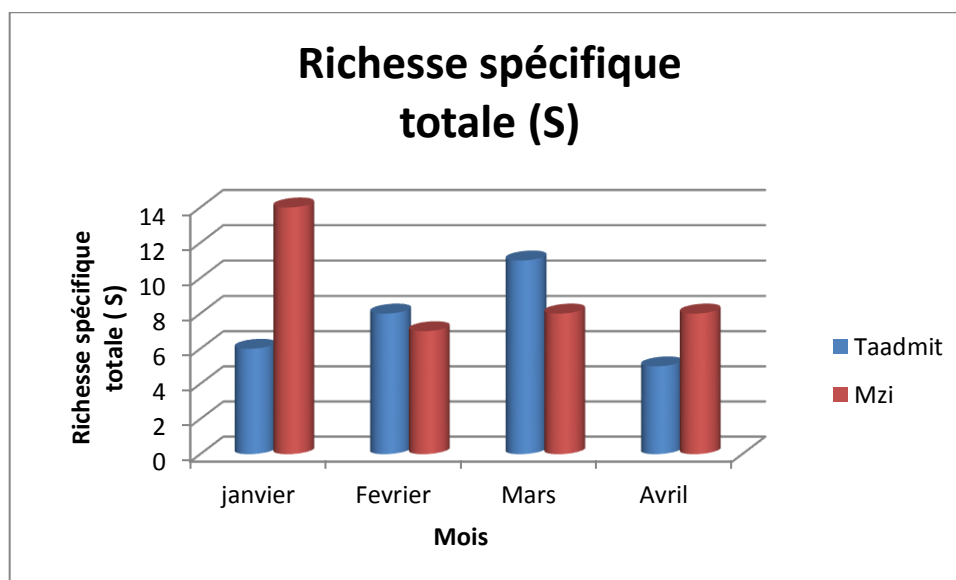


Figure 23. Variation mensuelle de la richesse spécifique totale (S) par station d'étude.

❖ Indice de diversité de Shannon H'

L'indice de diversité de Shannon H' calculé des deux stations d'étude indique que le peuplement du phytoplancton n'est pas diversifié avec des valeurs de 0,22 à Taadmit et 0,30 à M'zi. La basse valeur de cet indice est expliquée par la dominance du genre *Nitzschia sp* de la classe des diatomées.

❖ Indice d'équitabilité E

Les valeurs d'indice d'équitabilité obtenues pour la station de Taadmit et M'zi sont respectivement 0,05 et 0,08, ces résultats tendent vers 0 ($E < 0,5$), cela signifie que la quasi-totalité des effectifs tend à être concentrée sur une seule espèce.

3. Analyse des corrélations

3.1. Analyse des corrélations entre les paramètres physico-chimiques eux même et le peuplement phytoplanctonique

Afin de montrer la possible corrélation existant entre les paramètres physicochimiques entre eux et avec la densité phytoplanctonique étudiés, nous avons réalisé une analyse des corrélations. Les résultats obtenus sont démontrés dans les tableaux ci-dessous.

❖ Oued Taadmit

Au seuil d'un niveau de signification $\alpha = 0,05$, l'analyse des corrélations des paramètres physico-chimiques entre eux même et celle de la biomasse algale nous a permis de rapporter les résultats suivants :

La salinité est fortement corrélée à la conductivité électrique de l'eau dont $r = 0,989$, selon Montegut (1996) et Hade (2002), la conductivité électrique augmente proportionnellement à la salinité (Tab.18).

La biomasse algale et celle des Diatomées sont fortement corrélées avec les valeurs de la conductivité et la salinité respectivement d'où le coefficient de corrélation « r » est de 0.989 pour les deux ensembles.

On déduit que la conductivité et la salinité sont les facteurs favorables au développement des phytoplanctons et spécialement des diatomées. Cependant les cyanophycées sont fortement corrélées aux taux de nitrites (Tab.18).

Tableau 18.Corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'eau entre eux et la masse algale globale d'oued Taadmit.

	Cond	S‰	NO ₂	PO ₄	Cel/l
Cel/l	r = 0,989 p = 0,01 **				
Diatomophycées	r = 0,985 p = 0,015 *	r = 0,984 p = 0,016 *			
Cyanophycées			r = 0,971 p = 0,029 *		
S‰	r = 0,997 p = 0,003 **				

❖ Oued M'zi

De très forte corrélations sont enregistrées (Annexe.04) avec un coefficient $r = 0,999$ entres les taux de nitrates, la conductivité et la salinité. On remarque que les nitrates et les orthophosphates sont fortement corrélés avec $r = 0,993$, de même la masse algale marque aussi des corrélations avec $r = 0,993$ et $r = 0,973$ avec les nitrates et l'orthophosphates respectivement (Tab.19).

Les nitrates proviennent du lessivage des engrais et des rejets urbains et industriels. Leur présence associée aux autres éléments nutritifs, stimule le développement de la flore aquatique. Le développement excessif des végétaux aquatiques s'observe au-delà de 2 à 5 mg/l. De même les orthophosphates sont comme un nutriment majeur de la flore et peuvent entraîner sa prolifération à partir de 0,2 mg/l. On considère généralement que les phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation, l'importance de ces deux éléments explique leur corrélation avec les diatomées (Tab.19).

Tableau 19. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'eau entre eux et la masse algale globale d'oued M'zi

	Cond	S‰	NO₃	NO₂	PO₄	Cel/l
Cel/l	-	-	r = 0,993 p = 0,007 **	-	r = 0,973 p = 0,027 *	-
Diatomophycées	r = 0,985 p = 0,015 *	r = 0,984 p = 0,016 *				
Cyanophycées				r = 0,971 p = 0,029 *		
PO₄	-	-	r = 0,993 p = 0,007 **			
NO₃	r = 0,999 p = 0,001 ***	r = 0,999 p = 0,001 ***				
S‰	r = 1 p = 0 ***					



CONCLUSION

CONCLUSION

Dans le but de caractériser l'environnement physico-chimique du milieu aquatique; l'élaboration d'un inventaire du phytoplancton; ainsi que l'identification des facteurs déterminant l'état de qualité des eaux des oueds Taadmit et M'zi, le suivi de quatre mois des stations nous a permis de déduire les conclusions suivantes :

- L'analyse physico-chimique indique la légère alcalinité des eaux des deux oueds, malgré la localisation de la deuxième station (O.Taadmit) sous l'influence anthropique.
- Les nitrates atteignent les valeurs supérieures à Oued Taadmit où 25,7 mg/l ont été enregistrés, alors que de faibles valeurs de l'ordre de 2,8 mg/l ont été prélevées à oued M'zi.
- L'analyse des aspects qualitatifs du peuplement phytoplanctonique, révèle la présence de 20 genres repartis en 12 ordres, 13 familles et 4 classes qui sont : *Diatomophyceae*, *Cyanophyceae*, *Zygnematophyceae* et les *Zygophyceae*.
- La quasi-totalité de la diversité algale, soit 75% des genres recensés, appartient à la classe des diatomées,

Sur les 20 genres identifiés, 10% sont connus potentiellement toxiques : *Oscillatoria sp* (Hepatotoxique) et *Lyngbya sp* (Dermatotoxique), cela indique que ces écosystèmes ne sont pas à l'abri d'éventuelles activités anthropiques.

L'étude de la distribution temporelle montre que, la période printanière est la plus favorable au développement des phytoplanctons (en particulier les Diatomées) à l'Oued Taadmit, dont la densité est maximale au mois de Mars.

Cependant à Oued M'zi la densité est concentrée en période hivernale au mois de février.

L'analyse des indices écologiques montre que la population algale est peu diversifiée dont l'indice de Shannon tend vers le zéro. Les classes identifiées sont constantes à Oued M'zi ce qui le rend plus stable et favorable au développement des micro-algues par rapport à Oued Taadmit.

La qualité physicochimique de l'eau analysée conditionne le développement de la population algale. A partir de l'analyse des corrélations on déduit que la conductivité, la salinité, les taux de nitrates et d'orthophosphates sont les paramètres clés au développement des classes phytoplanctoniques. Cette analyse indique que les classes

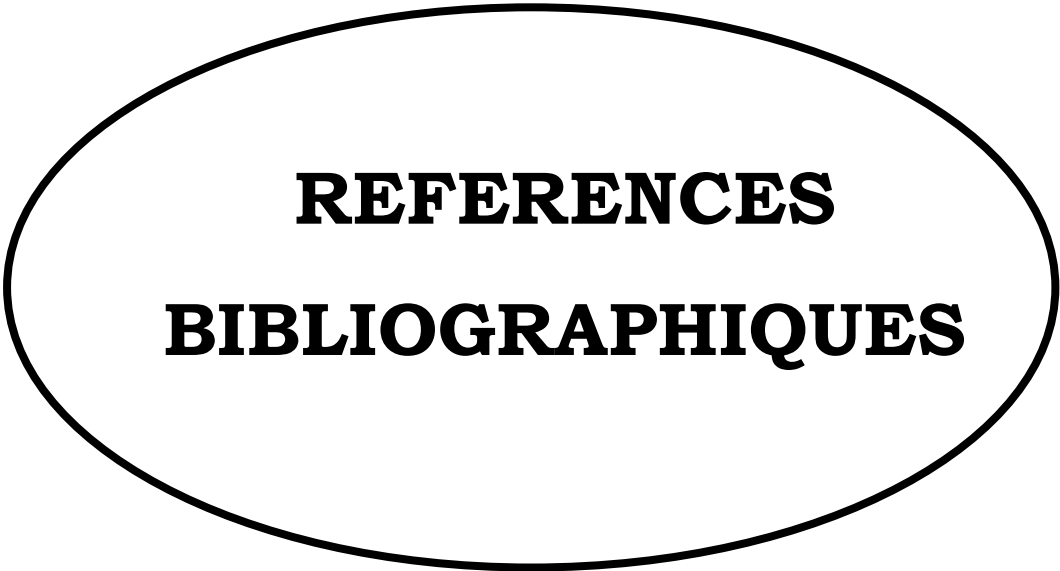
phytoplanctoniques identifiées possèdent des relations de corrélations généralement négatives ce qui entrainerait la présence des phénomènes de compétitions.

Donc, d'une manière générale, les activités anthropiques affectent la qualité physico-chimique d'oued Taadmit et influent généralement sur la distribution des phytoplanctons ainsi que sur l'équilibre de l'écosystème, par ailleurs l'oued M'zi est la station la plus stable et la plus favorable pour le développement, la reproduction et la propagation des espèces.

Ce travail vient compléter les travaux menés par (Lehzial, 2007 ; Othman, 2010 et Nadjem et Ladjreb ,2011) permettant de mieux connaître la qualité tant physico-chimique que biologique de l'eau, notamment par la connaissance de quelques aspects relatifs à la vie aquatique.

Toutefois, il serait intéressant de compléter ces résultats dans l'avenir par des études spécifiques concernant le phytoplancton, ainsi que d'autres éléments de la biocénose qui présentent de grands intérêts surtout du point de vue écologique.

Ces recherches devraient être menées sur des périodes plus longues et plus régulières afin d'assurer un suivi rigoureux et de pallier à d'éventuelles perturbation bioécologiques des eaux des oueds.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Anneville O., Kaiblinger C., Tadonlécé R.D., Druart J.C. et Dokulil M.T. 2008.** Contribution of Long-Term Monitoring to the European Water framework Directive Implementation. Proceedings of Taal 2007 : The 12th World Lake Conference. Sengupta, M. et Dalwani, R. (eds). pp 1122-1131
- **Barbault R. 1981.** Écologie des populations et des peuplements. Éd. Masson, Paris, 200 p.
- **Beans C. Hecq J.H., Koubbi P., Vallet C., Wrigth S. and Goffart A., 2008.** A study of the diatom-dominated microplankton summer assemblages in coastal waters from Terre Adélie to the Mertz Glacier, East Antarctica (139°E–145°E). *Polar Biology*, 3: 1101–1117.
- **Behrenfeld M. J., Randerson J.T., McClain C.R., Feldman G.C., Los S.O., Tucker C.J., Falkowski P.G., Field C.B., Frouin R., Esaias W.E., Kolber D.D et Pollack N.H. 2001.** Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science*. 291 : 2594–2597.
- **Azam, F. et Malfatti, F. 2007.** Microbial Structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*. 5 : 782-791.
- **Billard R. 1998.** Les carpes, biologie et élevage. Ed. Quae. Paris. 388 p.
- **Blais S. 2008.** Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières, 3e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550- 52408-3 (version imprimée), 54 p.
- **Blandin P. 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'écologie*, 17 : 215-307.
- **Blondel J. 1979.** Biologie et écologie. Éd. Masson, Paris, 173p.
- **Bollache L., Devin S., Wattier R., Chovet M., Beisel J. N., Moreteau J. C. & Rigaud T. 2004.** Rapid range extension of the Ponto-Caspian amphipod (*Zohary et al.* 1996). *Dikerogammarus villosus* in France: potential consequences. *Archiv für Hydrobiologie* 160: 57-66.
- **Bouchar F. 2010.** Mesure de Salinité- réalisation d'un conductimètre. TENUM Toulouse.
- **Bourrelly P. 1985a.** Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome I: Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.

- **Bourrelly P. 1985b.** Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome III: Les algues Vertes. Editions N. Boubée & Cie, Paris.
- **Bright D.I. et Walsby A.E. 1999.** The relationship between critical pressure and width of gas vesicles in isolates of *Planktothrix rubescens* from lake Zurich. *Microbiology*. 145 : 2769-2775.
- **Cadore J. P. & BERNARD O. 2008.** La production de biocarburants lipidiques avec des microalgues : promesses et défis. *Journal de la société de biologie*. 202(3). pp 201-
- **Campbell N.A., REECE J.B. & MATHIEU R. 2006.** *Biologie*. Ed. De Boeck Université. 2ième édition. Belgique. 1482 p.
- **Canter-Lund H et Lund J.W.G. 1995.** *Freshwater Algae : Their microscopic world explored*. Biopres Limited, Bristol.
- **Carty, S. 2003. Dinoflagellates. Dans Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification.** Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Chader S. et A. Touzi . 2001.** Biomasse Algale : Source Energétique et Alimentaire. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse, (2001) 47-50*. Laboratoire de Bioinasse, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger.
- **Chisholm S.W. 1995.** The iron hypothesis : Basic research meets environmental policy. *Reviews of Geophysics*. 33 : 95RG00743.
- **Chisholm S.W., Olson R.J., Zettler E.R., Goericke R., Waterbury J.B. et Welschmeyer N.A. 1988.** A novel free-living prochlorophyte abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature*. 6180 : 340-343.
- **Chorus I., Bartram J., 1999.** *Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E & FN Spon: London. 416 p. (Reynolds 1987).
- **Chorus I., Bartram J. 1999.** *Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E & FN Spon: London. 416 p.
- **Colyer. C.L., Kinkade, C.S., Viskari, P.J. et Landers, J.P. 2005.** Analysis of cyanobacterial pigments and proteins by electrophoretic and chromatographic methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 382 : 559-569.
- **Conservations des forets (C.D.F., 1998).** Présentation de sous-secteur des forets Laghouat, 35p.

- **Couté A., Bernard C. 2001.** Les cyanobactéries toxiques. In: Toxines d'algues dans l'alimentation, Frémy, J. M. & Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, 21-37.
- **Couté A., Bernard, C. 2001.** Les cyanobactéries toxiques. In: Toxines d'algues dans l'alimentation, Frémy, J. M. & Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, 21-37.
- **Dagnelie .2000.** Statistiques théoriques et appliquées. Bruxelles Université De Boeck et LARCIER : pp 659.
- **Dajoz R. 2003.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615p.
- Direction de planification et d'aménagement des territoires (D.P.A.T., 2010).
<http://www.dpat-oran.dz/>.
- **Dokulil M., Chen,W. and Cai Q. 2000.** Anthropogenic impacts to large lakes in China: the Tai Hu example. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3: 81 – 94.
- **Dolédec S, Statzner B. & Bournaud M. 1999.** Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biology*, 42, 737-758
- **Domaizon I., Viboud S. et Fontvieille D. 2003.** Taxon-specific and seasonal variations in flagellates grazing on heterotrophic bacteria in the oligotrophic Lake Annecy - importance of mixotrophy. *FEMS Microbiology Ecology*. 46 :317-329.
- **Druart J.C. & RIMET F. 2008.** Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA-Thonon, Rapport SHL 283, 96 p.
- **Dusenberry J. A., Olson R. J., Chisholm S. W. 1999.** Frequency distributions of phytoplankton single cell fluorescence and vertical mixing in the surface oceans. *Limnol. Oceanogr.*; 44:431-435.
- **Dussart B .1992 .**Limnologie ; L'étude des eaux continentales. Ed. N. Boubée & Cie, 2ieme édition, Paris, 736 p.
- **Emberger, L. 1950.** Report on the arid and semi-arid regions of North Africa. Unesco. International Union of Agricultural Sciences.
- **Ettl H. et Gärtner G. 1988.** Chlorophyta II (Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart
- **Ettl H. 1983.** Chlorophyta I (Phytomonadina). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- **Fernandez F. 2002 .**Le monde des algues. La Garance Voyageuse No : 57.

- **Fogg G.E., Stewart W.D.P., Fay P., Walsby A.E. 1973.** The blue-green algae. Academic Press-London and New York. pp. 9-297.
- **Fremy J.M & LASSUS P. 2001** .Toxine d'algues dans l'alimentation. Ed. Quae. 553p.
- **Frontier S., pichod-viale D., Lepretre A., Davoult D. et Luczak CH. 2004** . Ecosystème, Structure, Fonctionnement, Evolution. 3e édition. Ed. Dunod, Paris, 549p.
- **Ganf G.G., Heaney S.I. and Corry J. 1991.** Light absorption and pigment content in natural populations and cultures of a non-gas vacuolate cyanobacterium *Oscillatoria bourellyi* (= *Tychomema bourellyi*). *Journal of Plankton Research*. 13 : 1101-1121.
- **Germain H. 1981.** Flore des diatomées : eaux douces et saumâtres. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.
- **Goffart A., Hecq J.H. and Legendre L. 2012.** How is phytoplankton of the oligotrophic Bay of Calvi (Corsica, Northwestern Mediterranean) responding to ongoing global change.
- **Groga N. 2012.** Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire).
- **Guermi Lotfi. TAÂDMIT (DJELFA) Une ferme-pilote... et des gravures rupestres** Source : Liberté, Lundi 25 Juillet 2005.
- **Guiselin N. 2010-** Etude de la dynamique des communautés phyto-planctoniques par microscopie et cytométrie en flux, en eaux côtières de la Manche orientale
- **Hade A. 2002.** Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.
- **Hamdi M ., Ait kaci I. 2008.** Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'embouchure de l'oued _Beni-Messous.
- **Hecker N., Costa L T., Farinha J.C. et Tomas Vives P. 1996.** Inventaire des zones humides Méditerranéennes : Collecte des données. Publication Med Wet / Wetlands International / Instituto da Conservação da Natureza. Volume II, Lisbonne. 99p.
- **Iglesias-Rodriguez M.D., Schofield O.M., Batley J., Medlin L.K. et Hayes P.K. 2006.** Intraspecific genetic diversity in the marine coccolithophore *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae): The use of microsatellite analysis in marine phytoplankton population studies. *Journal of phycology*. 42 : 526-536.

- **James C. Orr., Victoria J., Fabry²., Olivier., Scott C. Doney .2005.** Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437, 681-686.
- **John, D.M. 1994.** Alternation of generations in algae: its complexity, maintenance and evolution. *Biology Review*. 69: 275-291.
- **Kai T. Lohbeck, Ulf Riebesell & Thorsten B. H. Reusch. 2012.** Adaptive evolution of a key phytoplankton species to ocean acidification. *Publication Nature Geoscience* 5, 346–351.
- **Kilham S.S. and Kilham P. 1984.** The importance of resource supply rates in determining phytoplankton community structure, p. 7-27. In *Trophic interactions within aquatic ecosystems*. Am. Assoc.
- **Komárek, J. 2003.** Coccoid and colonial cyanobacteria. Dans : *Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Kugrens, P. et Clay, B.L. 2003.** Cryptomonads. Dans : *Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Lacaze J-C. 1996.** L'eutrophisation des eaux marines et continentales. Ellipses, Paris, 191 p.
- **Lavoie I., Hamilton P., Campeau S., Grenier M ; Dillon, P.2008.** Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du Canada. l'Université du Québec.
- **Malmqvist B., Rundle S. 2002.** Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation* 29 (in press).;
- **Mauguit Q. 2012.** Le phytoplancton pourrait s'adapter à l'acidification des océans. Par, Futura-Sciences
- **Montegut G.1996.** chimie de l'eau de mer. Edition institut oceanographique. Californie. p 50.
- **Mur L.R., Skumberg O.M., et Utkilen H. 1999.** Cyanobacteria in the Environment. In: Chorus, I. et Bartram, J. (eds.). *Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management*. WHO Ed. E & FN SPON. pp 41-111.

- **Not F., Valentin K., Romari K., Lovejoy C., Massana R., Tobe K., Vaultot D. et Medlin L.K. 2007.** Picobiliphytes: A marine picoplanktonic algal group with unknown affinities to other eukaryotes. *Science*. 5809 :253-255.
- **Nozaki H. 2003.** Flagellated Green Algae. Dans : *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Office National de la Météorologie (O.N.M).2011 :** Bulletin d'information climatique. Centre climatique national, Khneg, Laghouat.3p.
- **Ott, D.W. et Oldham-Ott, C.K. 2003.** Eustigmatophyte, Raphidophyte and Tribophyte Algae. Dans : *Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Padisak J. 2004 Phytoplankton.** In : Anne Rolland, 2009. *Dynamique et diversité du phytoplancton dans le réservoir marne (bassin versant de la seine)*.
- **Padisák J., Borics G., Grigorszky I. et Soróczyki-Pinter E. 2006.** Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive the assemblage index. *Hydrobiologia*. 553 : 1-14.
- **Partensky F., Hess W.R. et Vaultot D. 1999.** Prochlorococcus, a marine photosynthetic prokaryote of global significance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 63 : 106-124. planktonic marine ecosystems. *Ecol. Model.*, 125 (2-3): 203-230.
- **Puiz A., Kluser S. et Peduzzi P. 2008** Les activités humaines causant la prolifération d'algues nuisibles. *Bulletin d'Alerte Environnementale* 12.
- **Raven PH., Evert R F., Echlom S.E et Bouharmont J. 2003.** *Biologie végétale*. Ed. De Boeck, Belgique, 968 p.
- **REJSEK F. 2002.** *Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques*. Ed. CRDP Aquitaine. 360p.
- **Reynolds C. S. et Melo S. (2000).** Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow *Hydrol. Process*. 14, 3119±3132.
- **Reynolds C.S., Padisák J.; Sommer U. 1993.** Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hydrobiologia* 249: 183-188.
- **Reynolds R W., Smith, T M. 1998.** A High-Resolution Global Sea Surface Temperature Climatology for the 1961–90 Base Period. *J. Climate*, 11, 3320–3323.

- **Rolland A. 2009.** dynamique et diversité du phytoplancton dans le réservoir marne (bassin versant de la seine) , thèse de doctorat, université de Sa Voie
- **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.
- **Rossi N. 2008.** Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (Toulon, France).
- **Saez A.G., Zaldivar-Riveron A. et Medlin L.K. 2008.** Molecular systematics of the Pleurochrysidaceae, a family of coastal coccolithophores (Haptophyta). *Journal of Plankton Research.* 30 : 559-566.
- **Salsamo N., Morabito G., Buzzi F., Garibaldi L., Simona M. et Mosello, R. 2006.** Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia.* 563 : 167-187.
- **Sanders R.W., Porter K.G. et Caron D.A. 1990.** Relationship between phototrophy and phagotrophy in the mixotrophic chrysophyte *Poterioochromonas malhamensis*. *Microbial Ecology.* 19 : 97-109.
- **Schagerl M. et Donabaum K. 2003.** Patterns of major photosynthetic pigments in freshwater algae. 1. Cyanoprokaryota, Rhodophyta and Cryptophyta. *Annales de Limnologie.* 39 :35-47.
- **Skulberg O.M.1996.** Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland watershealth and environment. In : *Chemical data as a basis of geomedical investigations.* ed.Lag. J., the Norwegian Academy of Sciences and Letters, Oslo. pp. 131-148.
- **Smayda T. J. 1980.** Phytoplankton species succession. In: Moms, I. (ed.). *The physiological ecology of phytoplankton.* Blackwell, Oxford, p. 493-570..
- **Solheim A.L. 2005.** Reference Conditions of European Lakes. Indicators and methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference conditions. Version 5. REBECCA Working Group. 105 pp.
- **Sournia A., erard-le denn E., Grzebyk D., Lassus P., Partensky F. 1990.** Plancton nuisible sur les côtes de France. *Pour la Science* 153, 60-67.
- **Sournia A. 1978.** *Phytoplankton Manuel. Manographes en océanographique méthodologie - N°6.* UNESCO, Paris, p337.

- **Starmach K. 1974.** Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. Flora Slodkowodna Polski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- **Stewart P. 1969.** Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. Bull. Int. Nati. Agro. El Harrach : 24 – 25.
- **Stickney Hl, Hood Rr, Stoecker Dk. (2000).** The impact of mixotrophy on
- **Tazi O., Fahde A. and El Younoussi . 2001.** Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca, Maroc. Sécheresse, 12: 129 – 134.
- **Terbah K; 2007.** Contribution à l'étude de quelques paramètres physico-chimiques, hydrobiologies (phytoplanctons) et bactériologiques des eaux (cas de l'oued Tadmit).
- **Thébaud O., Véron G., Spyros F. 2005.** Incidences des épisodes d'efflorescences de micro algues toxiques sur les écosystèmes et sur les pêcheries de coquillages en baie de Douarnenez – R.INT.DCB/DEM – DCB/STH/UDPP 05-010.
- **Therriault L.B., Poulin M. et Bosse L. 1999.** Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint- Laurent. Ed. NRC : Research press. Paris. 387 p.
- **Vannote R. L., G. W. Minshall., K. W. Cummings ., J. R. Sedell and C. E. Cushing. 1980.** The River Continuum Concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 130-137.
- **Vazquez G. and Favila M.E.1998.** Status of the health conditions of subtropical Atezea lake. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1: 245 – 255.
- **Walsby A.E., Ng G., Dunn C. et Davis P.A. 2004.** Comparison of the depth where Planktothrix rubescens stratifies and the depth where the daily insolation supports its neutral buoyancy. New Phytologist. 162 : 133-145.
- **Walsby. A.E. 2005.** Stratification by cyanobacteria in lakes: a dynamic buoyancy model indicates size limitations met by Planktothrix rubescens filaments. New Phytologist. 168 : 365-376.
- **Welcomme, R.L. 1975.** L'ÉCOLOGIE DES PÊCHES DANS LES PLAINES INONDABLES AFRICAINES. Doc.Tech.CPCA, (3):51 p.
- **Wetzel, R.G. 2001.** Limnology: Lake and River Management. London: Academic Press.
- **Zeitzschel B.1978.** Why study phytoplankton ? In: Sournia A (ed) Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology - UNESCO: 1-6.

- **Zubkov M.V., et Tarran G.A. 2008.** High bacterivory by the smallest phytoplankton in the North Atlantic Ocean. *Nature*. 455 : 224.

Cartes

Carte topographique de AIN-MADHI 2 (NI-31-IX-12). Echelle 1/50.000 nouvelle édition (2007).

Annexe 01. Les caractéristiques physiques des sites d'études.

Site d'étude	Ville administrative	Origine	Altitude (m)	Etage bioclimatique	écoulement	Salinité	Débit
O. Taadmit	Djelfa	Naturel	993	Semi-aride	Permanent	Eau douce	variable
O.M'zi	Laghouat	Naturel	903	Aride	Permanent	Eau douce	variable

Tableau 02. Les paramètres physico-chimiques mesurés par mois et par station.

Paramètres mesurés	Mois							
	Janvier		Février		Mars		Avril	
	O. Taadmit	O. M'zi	O. Taadmit	O. M'zi	O. Taadmit	O.M'zi	O. Taadmit	O.M'zi
T (°C)	6.8	/	7.1	7.8	15.2	9.7	15.7	14.3
pH	8.72	/	70.0	8.1	7.25	7	7.9	7.3
Cond (µs/cm)	3650	/	4000	3880	5280	2140	2350	1445
S (‰)	1.9	/	2.2	2.1	2.8	1.1	1.2	0.7
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2.49	/	12.57	10.8	4.04	3.9	25.7	5.25
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.052	/	0.038	0.043	0.135	0.016	0.028	0.004
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	0.07	/	0.09	0.16	0.13	0.06	0.1	0.09

Annexe 03. Corrélations : T°C; pH; Cond (*s); Salinité; No3; NO2; PO4; Cel/l;

• **Taadmit**

	T°C	pH	Cond (*s)	Salinité	No3	NO2	PO4	Cel/l
pH	-0,594 0,406							
Cond (*s)	-0,043 0,957	-0,506 0,494						
Salinité	-0,080 0,920	-0,522 0,478	0,997 0,003					
No3	0,442 0,558	-0,141 0,859	-0,782 0,218	-0,763 0,237				
NO2	0,391 0,609	-0,564 0,436	0,872 0,128	0,838 0,162	-0,617 0,383			
PO4	0,795 0,205	-0,914 0,086	0,521 0,479	0,506 0,494	0,041 0,959	0,749 0,251		
Cel/l	0,065 0,935	-0,626 0,374	0,989 0,011	0,989 0,011	-0,683 0,317	0,886 0,114	0,627 0,373	
Diatomop	0,095 0,905	-0,648 0,352	0,985 0,015	0,984 0,016	-0,663 0,337	0,893 0,107	0,652 0,348	0,999 0,001
Cyanophy	0,442 0,558	-0,740 0,260	0,877 0,123	0,857 0,143	-0,489 0,511	0,971 0,029	0,850 0,150	0,919 0,081
Zygnemat	-0,597 0,403	0,897 0,103	-0,094 0,906	-0,125 0,875	-0,546 0,454	-0,154 0,846	-0,733 0,267	-0,236 0,764
		Diatomop	Cyanophy					
Cyanophy		0,930 0,070						
Zygnemat	-0,261 0,739	-0,372 0,628						

Annexe 04. Corrélations : T°C; pH; Cond (*s); Salinité; No3; NO2; PO4; Cel/l;

• **M'zi**

	T°C	pH	Cond (*s	Salinité	No3	NO2	PO4	Cel/l
pH	-0,649 0,351							
Cond (*s	-0,741 0,259	0,740 0,260						
Salinité	-0,741 0,259	0,740 0,260	1,000 0,000					
No3	-0,489 0,511	0,864 0,136	0,893 0,107	0,893 0,107				
NO2	-0,733 0,267	0,713 0,287	0,999 0,001	0,999 0,001	0,882 0,118			
PO4	-0,389 0,611	0,846 0,154	0,837 0,163	0,837 0,163	0,993 0,007	0,825 0,175		
Cel/l	-0,566 0,434	0,850 0,150	0,940 0,060	0,940 0,060	0,993 0,007	0,931 0,069	0,973 0,027	
Diatomop	-0,566 0,434	0,850 0,150	0,940 0,060	0,940 0,060	0,993 0,007	0,931 0,069	0,973 0,027	1,000 *
Cyanophy	0,195 0,805	0,616 0,384	0,241 0,759	0,240 0,760	0,651 0,349	0,217 0,783	0,731 0,269	0,556 0,444
Zygophyc	-0,195 0,805	-0,616 0,384	-0,241 0,759	-0,240 0,760	-0,651 0,349	-0,217 0,783	-0,731 0,269	-0,556 0,444
		Diatomop	Cyanophy					
Cyanophy		0,556 0,444						
Zygophyc		-0,556 0,444	-1,000 0,000					