

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences de l'Environnement
et des Sciences Agronomiques



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم المحيط و العلوم الفلاحية

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : **Master académique en sciences de la nature et de la vie**

❖ Filière: Ecologie

❖ Option : Ecologie Fondamentale et Appliquée

Thème

Impact des paramètres physico-chimiques sur la structure du phytoplancton des cours d'eau intermittents

Membres du Jury

Présidente : Dr. MOHDEB R.

Examinatrice : Dr. AMIRA W.

Encadrant : Dr. BOULDJEDRI M.

Présenté par

M^r : HANNACHE Khaled

M^{elle} : GAREF Houda

Année Universitaire 2021-2022

Session : juillet 2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

REMERCIEMENT

Nous remercions Dieu qui aide à réaliser les bonnes œuvres et qui nous a créés, nous ont donné le courage et la volonté d'étudier et de devenir ce que nous sommes aujourd'hui.

Nous tenons à remercier avec beaucoup de gratitude notre enseignant Mr. BOULDJEDRI MOHAMED que Dieu le garde, pour son effort à nous orienter et corriger et qui s'est montré très disponible tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos chaleureux remerciements s'adressent aux membres du jury, qui ont vaillamment accepté d'examiner et d'évaluer ce modeste mémoire de fin d'études.

Toutes nos expressions de reconnaissances et de gratitude sont présentées à tous les enseignants et le personnel administratif, pour leurs apports de qualité durant notre formation universitaire.

Nous remercions le Pr. Mayache B. directeur du laboratoire de recherche LBES et le Pr. Debieche T-H directeur du laboratoire de recherche LGG, pour leur aides et assistance durant la réalisation de notre travail de laboratoire.

Nos remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

À tous, un grand merci

DÉDICACES

Avec ma profonde gratitude, je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents pour leurs sacrifices, leurs encouragements
et leurs soutiens vers le chemin de la réussite. Que
dieu les garde pour moi.*

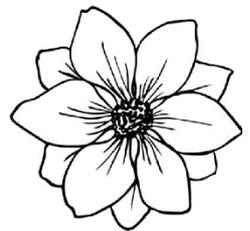
A ma chère soeur et mes chers frères.

A tous les membres de ma famille GAREF.

A tout(es) les enseignant (es) qui ont contribué à ma formation.

A tous mes amis (es) sans exception.

HOUDA



DEDICATION

with a special feeling of gratitude, I dedicate my dissertation work to :

**My loving parents, whose words of encouragement
and push for tenacity still ring in my ears.**

**My brothers and sisters, who have never left
my side and are very special.**

**My friends, especially the ones that I made along
this incredible journey for knowledge.**

**without forgetting all the teachers, laboratory staff, and every single
person who helped and assisted me in completing this work.**

To everyone that I love, with no exceptions.

KHALED



Sommaire

Sommaire	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des annexes	vii
Liste des abréviations	viii
Introduction	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Généralités sur le phytoplancton	2
1. 1. Différents mode de reproduction	2
1. 1. 1. La reproduction sexuée	2
1. 1. 2. La reproduction asexuée	2
1. 2. Classification du phytoplancton	3
1. 2. 1. Critères de la classification	3
1. 2. 2. Les phytoplanctons procaryotes	3
A. Embranchement des Cyanophytes	3
1. 2. 3. Les phytoplanctons eucaryotes	4
A. Embranchement des Glaucophytes	4
B. Embranchement des Rhodophytes	5
C. Embranchement des Cryptophytes	5
D. Embranchement des Haptophytes	6
E. Embranchement des Ochrophytes	6
F. Embranchement des Dinophytes	7
G. Embranchement des Chlorophytes	7
H. Embranchement des Euglenophytes	8
2. Structure morphologique du phytoplancton	9
2. 1. Les formes d'organisation des phytoplanctons	10
2. 1. 1. Forme unicellulaire	10
2. 1. 2. Formes colonial	10
2. 1. 3. Forme filamenteuse	11

2. 1. 4. Forme Pseudo-filamenteuse	11
2. 1. 5. Forme Parenchymatous	12
2. 1. 6. Forme Coenocytic	12
2. 2. Les Biofilms Phytoplantonique	12
2. 2. 1. Rôle du biofilm dans le traitement des eaux usées	13
2. 2. 2. Rôle du biofilm en agriculture	13
2. 2. 3. Biofilm et Biocarburant	14
2. 3. L'hydrodynamisme et la diversité phénotypique	14
2. 3. 1. Phytoplanton des eaux calmes	15
2. 3. 2. Phytoplanton des eaux courantes	16
2.4. Intérêt du phytoplanton dans l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques	16
2. 4. 1. Les diatomées, et l'Indice Biologique Diatomées	17
3. Phytoplanton et production primaire	18
3. 1. Une mode de mesure de la production primaire	18
3. 2. Facteurs limitant de la croissance phytoplantonique	19
3. 2. 1. La lumière	19
3. 2. 2. La température	20
3. 2. 3. Le substrat	20
3. 2. 4. Les nutriment	20
3. 2. 5. La physico-chimique du milieu	21
A. Le potentiel hydrogène	21
B. Oxygène dissous	21
C. Salinité	22
3. 2. 6. Le broutage par le zooplancton	22
3. 3. Rôles écologiques du phytoplanton	22
3. 4. Relation diversité et productivité	23
4. Impact des cycles hydrologiques saisonniers sur la diversité fonctionnelle du phytoplanton	23
4. 1. La diversité fonctionnelle et les groupes fonctionnelle	23
4. 2. Les cycles hydrologiques saisonniers et la diversité du phytoplanton	24

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Description du site : l'Oued Nil et son bassin versant	25
2. Géomorphologie et relief du bassin versant d'Oued Nil	25
3. Stratigraphie du bassin versant	26
3. 1. Formations perméables	26
3. 2. Formations imperméables	27
4. Conditions stationnelles	27
5. Prélèvement et analyse des échantillons	28
5. 1. Précautions prises au moment de l'échantillonnage	28
5. 2. L'analyse au laboratoire	28

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultat et discussion de l'analyse biologique	29
1. 1. Composition de la flore phytoplanctonique des différentes stations	29
1. 2. Fréquence d'occurrence des différentes espèces	30
2. Les paramètres abiotiques	32
2. 1. Température (°C)	32
2. 2. Potentiel Hydrogène (pH)	33
2. 3. L'oxygène dissous	33
2. 4. Conductivité électrique	35
2. 5. Eléments nutritifs	35
2. 5. 1. Nitrate (NO_3^-)	36
2. 5. 2. Orthophosphates (PO_4^{3-})	37
3. Analyse en composante principale (ACP)	39
3. 1. Structure typologique	41
Conclusion et perspectives	42
Références bibliographiques	43

Annexes

Résumé

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
N° 1	<i>Cyanophora paradoxa</i>	4
N° 2	<i>Cyanidium caldarium</i>	5
N° 3	<i>Goniomonas Truncata</i>	5
N° 4	<i>Pavlova Gyrams</i>	6
N° 5	<i>Diatoma Tenuis</i>	6
N° 6	<i>Alexandrium catenella</i>	7
N° 7	<i>Chroococcus turgidus</i>	7
N° 8	<i>Euglena ehrebergii</i>	8
N° 9	Formes unicellulaires de phytoplancton d'eau douce	10
N° 10	Formes colonial de phytoplancton d'eau douce	10
N° 11	Formes filamenteuse de phytoplancton d'eau douce	11
N° 12	Formes Pseudo-filamenteuse de phytoplancton d'eau douce	11
N° 13	Forme Parenchymatou et Coenocytic de phytoplancton d'eau douce	12
N° 14	Aperçu des domaines d'applications des biofilms phytoplanctoniques	13
N° 15	Biofilms à base d' <i>Anabaena</i> avec des bactéries et des champignons importants pour l'agriculture	14
N° 16	Certaines phytoplancton des eaux calmes	15
N° 17	Certaines phytoplancton des eaux courantes	16
N° 18	Réseau hydrographique de l'Oued Nil	25
N° 19	La pleine du Nil et la partie avale de l'Oued Nil (le cours d'eau indiqué par une ligne rouge)	26
N° 20	Assemblage important des biofilms phytoplanctonique	27
N° 21	Pourcentage de représentativité des différentes familles phytoplanctoniques observés dans les stations échantillonnées le long de l'Oued Nil	30

N° 22	Groupement des espèces en fonction de leur fréquence d'occurrence	31
N° 23	Variation de la température des eaux de l'Oued Nil en fonction des stations . .	32
N° 24	Variation du pH en fonction des stations	33
N° 25	Variation de l'oxygène dissous en fonction des stations (en mg/l)	34
N° 26	Variation de l'oxygène dissous en fonction des stations (en % de saturation) .	34
N° 27	Variation de la conductivité électrique en fonction des stations	35
N° 28	Les concentration des nitrates (NO_3^-) en fonction des stations	36
N° 29	Les concentration des phosphate (PO_4^{3-}) en fonction des stations	37
N° 30	Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques de l'eau selon le plan (F1xF2)	39
N° 31	Carte espèce F1xF2	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
N° 1	La Systématique des phytoplanctons procaryotes	4
N° 2	La Systématique des phytoplanctons eucaryotes	8
N° 3	Les espèces du phytoplanctonique inventoriées dans les 8 stations étudiées de l'Oued Nil (+ : présente, - : absence)	29
N° 4	Grille de classification de la qualité des eaux de surface continentales naturelles en Algérie	36

LISTE DES ANNEXES

Annexe	Titre	Page
I	Grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles	I
II	Protocole de dosage de Nitrate	II
III	Protocole de dosage de Phosphate	IV
IV	Courbes d'étalonnage	VI

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	:	Analyse en composantes principales.
As	:	Arsenic
CE	:	Conductivité Electrique
Cd	:	Cadmium
CO₂	:	Dioxyde de carbone
Cr	:	Chrome
Cu	:	Cuivre
°C	:	Degré Celsius
DMS	:	Diméthylsulfure
DMSP	:	Diméthylsulfoniopropionate
Fr	:	Francium
Hg	:	Mercure
IBD	:	Indice Biologique Diatomées
Mg	:	Magnésium
Mo	:	Molybdène
NH₄⁺	:	Ammonium
NO₂⁻	:	Nitrite
NO₃⁻	:	Nitrate
Pb	:	Plomb
pH	:	Potentiel hydrogène
PO₄³⁻	:	Orthophosphate
SNV	:	Science de la Nature et de la Vie
Sp	:	Espèce
St	:	Station
T	:	Température
Zn	:	Zinc
µm	:	Micromètre
µs/Cm	:	Micro semences par Centimètre

Introduction

Le phytoplancton est un groupe des organismes aquatiques, photosynthétiques et généralement unicellulaires. Bien qu'ils soient microscopiques, ils sont taxonomiquement diversifiés et merveilleusement distincts, avec des milliers d'espèces différentes et des centaines de formes corporelles. Soit dans les eaux océaniques ou continentales, les phytoplancton jouent de nombreux rôles critiques, y compris la conversion du dioxyde de carbone et de l'énergie du soleil en matière organique par la photosynthèse, la production de l'oxygène (Falkowski, et al., 2003).

Par ailleurs, le phytoplancton est illustré comme le principal producteur primaire, constitue le premier maillon dans la chaîne trophique (Keller, 1988). En conséquence, toute la chaîne alimentaire sera massivement influencée par tous les changements qualitatifs et quantitatifs qui se produisent au niveau des communautés phytoplanctoniques (Thyssen et al., 2008).

Le phytoplancton a une plasticité écologique importante. Ces espèces sont très ubiquistes colonisent les biotopes aquatiques et les biotopes terrestres, et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre et même les eaux salées (Bensafia, 2005). A cause de cela, les communautés phytoplanctoniques peuvent être considérées comme des bioindicateurs de la dégradation de la qualité des eaux continentales par diverses pollutions (Cadier, 2016). De nombreuses études sont déjà été réalisées sur les communautés de phytoplanctons et leurs structures dans de nombreux endroits du monde.

L'objectif général de cette modeste contribution dans le cadre de préparation d'un diplôme de fin d'études, est la réalisation d'un inventaire de phytoplancton et la recherche de paramètres physico-chimiques qui interviennent dans la distribution de ces entités biologiques le long de l'Oued Nil pendant la période d'échantillonnage, afin d'expliquer la structure et l'évolution des communautés phytoplanctoniques le long de ce cours d'eau à écoulement intermittent.

Il est donc question de faire un prélèvement d'échantillons à partir de différentes stations de ce cours d'eau, identifier les espèces présentes, et faire le lien entre la distribution des espèces et la qualité physico-chimiques. Pour répondre à cet objectif, le manuscrit de ce travail de recherche est organisé en trois chapitres interdépendants :

Un premier chapitre représentant la synthèse bibliographique qui aborde des généralités sur le phytoplancton, leur classification, et leur croissance.

Dans le deuxième chapitre on expose le matériel et les méthodes suivies pour la réalisation de ce travail, tandis que le troisième chapitre sera consacré à la présentation des résultats et discussion. On termine par une conclusion et des perspectives.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

1. Généralités sur le phytoplancton

Les phytoplanctons, selon Jeffrey et al., (1997) sont des organismes microscopiques, chlorophylliens et autotrophe, vivant en suspension dans l'eau et capable de se déplacer avec les courants ou flottent librement dans les eaux de surface.

Lalli et Parsons, (1997) indiquent que la majorité des plantes océaniques sont considérées comme des divers types de phytoplancton unicellulaires, soit procaryotes ou eucaryotes. Alors que certains sont assez grands et peuvent être collectés dans des filets à mailles fines, beaucoup d'autres ne peuvent être collectés que par la filtration et la centrifugation de volumes d'eau importants.

Selon le type et le genre, la taille du phytoplancton peut varier. En effet, la taille est considérée comme un critère permettant de séparer les groupes de phytoplancton. On fait mention le Picoplancton (des phytoplanctons inférieur à 2 μm), le Nanoplancton (entre 2 μm et 20 μm) et le Microplancton (au-delà 20 μm) (Alvain, 2005).

1. 1. Différents modes de reproduction

D'après Abdennadher, (2014) les micro-organismes phytoplanctoniques sont caractérisés par des stratégies de reproduction efficaces, et ont une capacité à se reproduire rapidement par la voie sexuée et asexuée selon les conditions disponibles.

1. 1. 1. La reproduction sexuée

Elle implique la recombinaison de matériel génétique pour produire un zygote avec un génome diploïde unique. La biodiversité au sein d'une population aide une espèce à s'adapter à des conditions défavorables telles que la chaleur ou la sécheresse.

En parlant de cela, les diatomées produisent et libèrent des gamètes mâles et femelles diploïdes - spermatogonies et ovogonies - qui se divisent par la méiose pour devenir du sperme ou un ovule. Un ovule fécondé par du sperme se développe en un zygote appelé auxospore qui peut entrer en dormance. La cellule se développera dans les bonnes conditions et libérera ensuite des diatomées de taille normale (Dowd, 2019).

1. 1. 2. La reproduction asexuée

Lorsque les conditions de croissance sont bonnes, le phytoplancton se multiplie rapidement par divers moyens de reproduction asexuée.

La simplicité du plancton leur permet de se reproduire avec facilité :

La fission : Les dinoflagellés à croissance rapide se divisent généralement par fission binaire. Une cellule mère réplique son noyau et se divise en deux cellules identiques qui se diviseront encore et encore. Des filaments peuvent se former si les cellules ne se séparent pas complètement lors de la division cellulaire (Dowd, 2019).

La fragmentation : Les cellules rectangulaires du *Spirogyre* (phytoplancton algal) s'attachent bout à bout, formant de très longues chaînes appelées filaments. Lorsqu'un filament se divise, chaque section flottant sur l'eau se transforme en un nouveau filament par simple mitose (Dowd, 2019).

Les spores : Les algues vertes peuvent produire des spores qui continuent à se diviser à l'intérieur de la cellule mère. Les endospores matures sont libérées pour former une progéniture identique (Dowd, 2019).

1. 2. Classification du phytoplancton

Le terme phytoplancton englobe un ensemble remarquable de micro-organismes qui ont une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres, avec au moins 200 000 espèces différentes entre des procaryotes et des eucaryotes (Person, 2011).

1. 2. 1. Critères de la classification

La grande diversité du phytoplancton a rendu la définition des embranchements et des classes des phytoplanctons très complexe et régi par de nombreux critères (Reviere, 2002) :

- Forme des crêtes mitochondriales.
- Glucanes de réserves.
- Nombre de membranes plastidiales.
- Appareil photorécepteur.
- Appareil flagellaire.
- Pigments.

1. 2. 2. Les phytoplanctons procaryotes

A. Embranchement des Cyanophytes

Les Cyanophytes ou les Cyanobactéries sont le seul embranchement des phytoplanctons procaryotes. Morphologiquement, elles sont très divers allant des petites formes unicellulaires ou picoplancton, aux formes plus grandes, filamenteuses ou coloniales. Les cyanobactéries ont la particularité de présenter des propriétés communes à la fois aux organismes photosynthétiques

eucaryotes (comme la présence de chlorophylle) et aux bactéries (comme l'absence de membranes nucléaires et plastidiales) (Cécile, 2014).

D'après Bouamra et Hajd, (2004) on dénombre deux classes, 5 ordres et 2000 espèces (Tableau 1).

Tableau 1. La systématique des phytoplanctons procaryotes (Bouamra et Hajd, 2004).

Embranchements	Classes	Nombre d'ordres	Exemple d'espèce	Nombre des espèces
Cyanophytes	Coccolgonophyceae	02	<i>Chroococcus turgidus</i>	2000
	Hormogonophyceae	03	<i>Anabaena spiroides</i>	

1. 2. 3. Les phytoplanctons eucaryotes

On dénombre 8 embranchement leur classification est expliquée dans Tableau 2 :

A. Embranchement des Glaucophytes

L'embranchement des Glaucophytes, contient une seule classe, les Glaucocystophyceae. Elle comprend un petit groupe d'organismes unicellulaires et coloniaux dépourvus de flagelles avec des vacuoles contractiles persistantes, et dépourvus de tout caractère de mastigotes au stade végétatif (coccoïde). Actuellement, 4 genres sont connus avec au moins 15 espèces. Les glaucophytes vivent de manière autotrophe avec la photosynthèse à l'aide de leurs plastes uniques. On pense que les glaucophytes sont le phylum le plus ancien des eucaryotes phototrophes, bien que les données moléculaires fournissent des données non concluantes concernant cette hypothèse (Price et al., 2017).



Figure 1. *Cyanophora paradoxa* (Source : *algaebase*, 2022).

B. Embranchement des Rhodophytes

Les Rhodophytes, ou algue rouge, sont une lignée bien caractérisée et morphologiquement diversifiée de phytoplanctons photosynthétiques. Ils ont des filaments unicellulaires aux grands thalles pseudo parenchymateux cylindriques (jusqu'à 3 mm) en forme de lame, y compris les formes crustacées et dressées (Yoon et al., 2017).

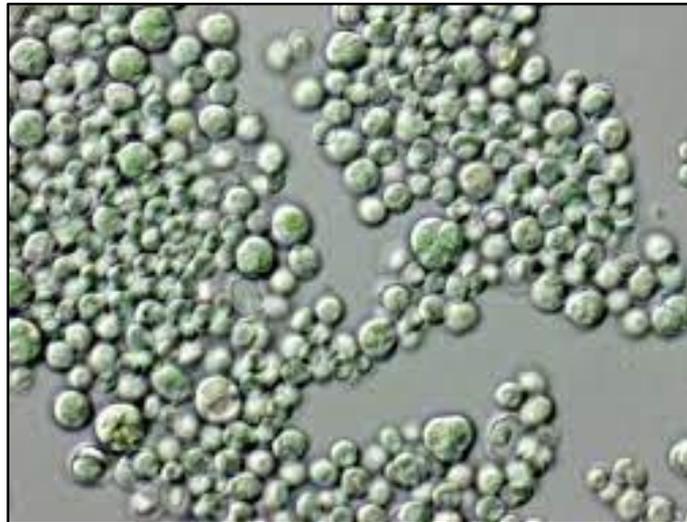


Figure 2. *Cyanidium caldarium* (Source : [algaebase, 2022](#)).

C. Embranchement des Cryptophytes

Les Cryptophytes sont de petits protistes biflagellés (~ 5 – 50 μm) trouvés dans divers habitats d'eau douce, saumâtre et marins. Ils sont capables de reproduction sexuée et caractérisés par une asymétrie cellulaire distincte et la présence d'organites extrusives appelées des éjectosomes. De nombreuses cryptophytes sont photosynthétiques; leurs plastes sont divers en pigmentation et en coloration. La taxonomie des cryptophytes était traditionnellement basée sur la morphologie et inclut désormais la prise en compte de caractéristiques ultra structurales telles que la forme cellulaire, la structure péri plastique et le type d'invagination cellulaire présent (Hoef-Emden et Archibald, 2017).



Figure 3. *Goniomonas Truncata* (Source : [algaebase, 2022](#)).

D. Embranchement des Haptophytes

Les Haptophytes sont des phytoplanctons caractérisés par l'haptonème, un troisième appendice utilisé pour la fixation et la manipulation des aliments, deux flagelles similaires, deux chloroplastes brun doré et des écailles corporelles organiques qui servent à l'identification des espèces. Ils sont des acteurs importants du cycle global des carbonates via la photosynthèse et la calcification. L'Haptophyta constitue, avec ceux des Dinophyta et des Ochrophyta un des trois grands groupes de producteurs primaires du milieu marin. Phylogénétiquement, les Haptophyta forment un groupe bien défini et sont divisés en deux classes Pavlovophyceae et Prymnesiophyceae. Actuellement, environ 330 espèces sont décrites (Eikrem et al., 2017).

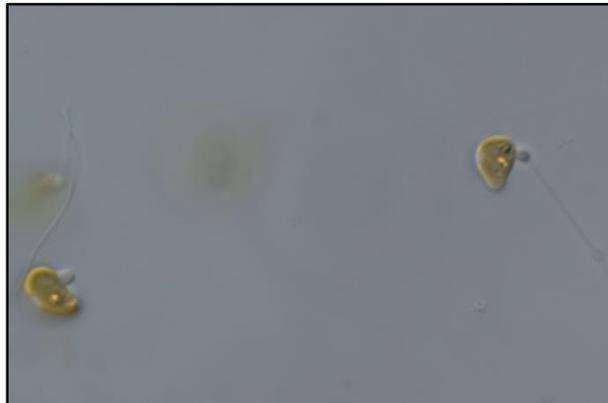


Figure 4. *Pavlova Gyraans* (Source : *algaebase*, 2022).

E. Embranchement des Ochrophytes

Les Ochrophytes se trouvent dans presque tous les milieux où il y a de l'eau libre, avec une intervalle remarquable allant des plus petites uni cellules, y compris les diatomées, aux plus grandes, y compris les algues géantes. Les Ochrophytes sont les phytoplanctons les plus diversifiés, ce phylum comprend de nombreuses classes dont Bacillariophyceae (encore appelés Diatomées), constituent une partie importante de la biomasse aquatique. Les chloroplastes des Ochrophytes sont entourés de quatre membranes, reflétant leur origine symbiotique d'un eucaryote (Harper et al., 2012).

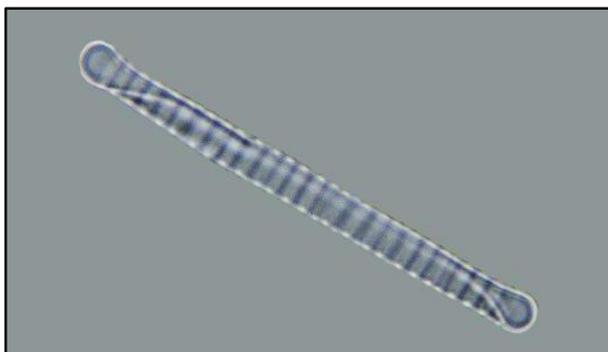


Figure 5. *Diatoma Tenuis* (Source : *algaebase*, 2022).

F. Embranchement des Dinophytes

Les dinoflagellés (ou les Dinophytes) sont des eucaryotes unicellulaires caractérisés par deux flagelles et le pigment péridinine en association avec la chlorophylle. Une grande partie de ces micro-organismes est mixotrophe, combinant photosynthèse et phagotrophie lorsque les nutriments sont rares. Ce groupe fonctionnel de microalgues a une occurrence marine primaire mais se trouve également couramment dans les environnements d'eau douce et estuariens. Les dinoflagellés sont un groupe très diversifié et abondant des espèces de phytoplancton, et en termes de taille de cellule ils sont sensiblement plus petits que les diatomées. Les dinoflagellés ont été étudiés en ce qui concerne leur production de divers métabolites secondaires, et même de toxines qui pouvant avoir des effets nocifs sur les organismes supérieurs, tels que les poissons, les oiseaux et les mammifères (Oliveira et al., 2020).

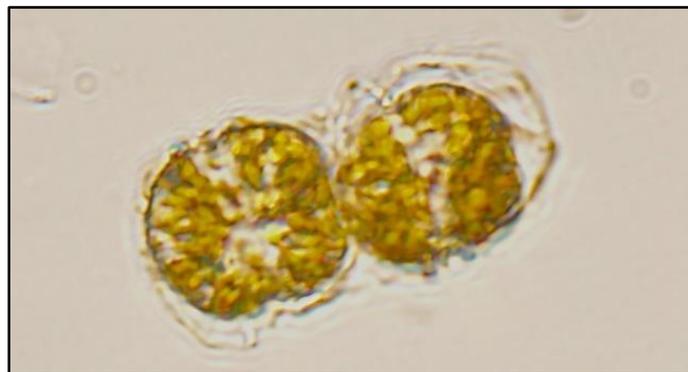


Figure 6. *Alexandrium catenella* (Source : [algaebase, 2022](#)).

G. Embranchement des Chlorophytes

Les Chlorophytes sont des eucaryotes à noyau bien individualisé, possèdent des plastides d'un vert franc contenant de la chlorophylle. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille. Les Chlorophytes groupent plus de 600 genres et plusieurs milliers (7000 - 8000) d'espèces, dont 4/5 vivent en eau douce (Iltis, 1980).

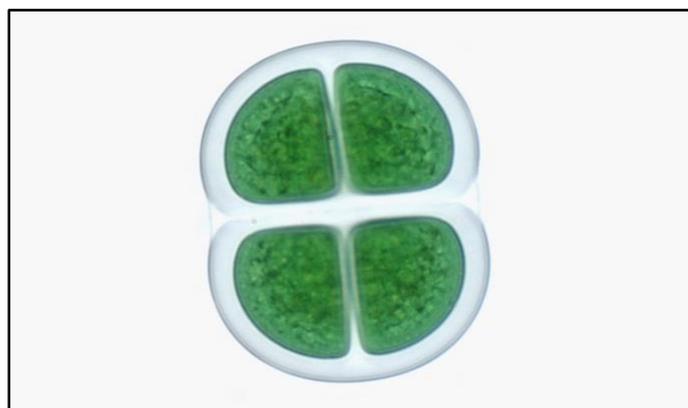


Figure 7. *Chroococcus turgidus* (Source : [algaebase, 2022](#)).

H. Embranchement des Euglénophytes

Les Euglénophytes sont des phytoplancton unicellulaires, mobiles et flagellées, avec des plastes verts de la chlorophylle. Les réserves sont constituées de grains de paramylon, substance non colorable par la solution iodo-iodurée de lugol, mais présentant en lumière polarisée le phénomène de la croix noire. Les Euglénophytes sont présentes plus particulièrement dans les milieux riches en substances organiques (Iltis, 1980).



Figure 8. *Euglena ehrenbergii* (Source : *algaebase*, 2022).

Tableau 2. La systématique des phytoplanctons eucaryotes
(Reviere, 2004 ; *algaebase*, 2022).

Embranchements	Classes	Nombre d'ordres	Exemple d'espèce	Nombre des espèces
Glaucophytes	Glaucocystophyceae	03	<i>Cyanophora paradoxa</i>	15
Rhodophytes	cyanidiophyseae	01	<i>Cyanidium caldarium</i>	7491
	Bangiophyceae	06	<i>Porphyridium cruentum</i>	
Cryptophytes	Cryptophyceae	02	<i>Goniomonas truncata</i>	211
Haptophytes	Pavlovophyceae	01	<i>Pavlova gyraus</i>	330
	Prymnesiophyceae	04	<i>Prymnesium patelliferum</i>	
Ochromphytes	Bacillariophyceae (Diatomophyceae)	02	<i>Diatoma tenuis</i>	4474
	Bolidophyceae	01	<i>bolidomonas pacifica</i>	

	Parmophyceae	01	<i>Tetraparma insecta</i>	
	Pelagophyceae	02	<i>Aureoumbra lagunensis</i>	
	Dictyochophyceae	04	<i>Dictyocha sp.</i>	
	Raphidophyceae	01	<i>Vacuolaria virescens</i>	
	Phaeothamniophyceae	01	<i>Phaeobotrys solitaria</i>	
	Chrysomerothamniophyceae	01	<i>Chrysomeris ramosa</i>	
	Eustigmatophyceae	01	<i>Nannochloropsis oculata</i>	
	Pinguicophyceae	01	<i>phaeomonas parva</i>	
	Chrysophyceae	06	<i>Synura uvella</i>	
Dinophytes	Dinophyceae	10	<i>Desmocapsa sp.</i>	4000
	Blastodiniophyceae	01	<i>Blastodinium pruvoti</i>	
	Noctiluciphyceae	01	<i>Noctiluc sp.</i>	
	Syndiniophyceae	01	<i>Syndini sp.</i>	
Chlorophytes	Euchlorophycées	03	<i>Pocillomonase flosaquae</i>	7000 à 8000
	Ulothricophycées	04	<i>Microspora sp.</i>	
	Zygophycées	01	<i>Mougeoliella collospora</i>	
Euglenophytes	Euglenophyceae	03	<i>Euglena ehrebergii</i>	650 à 1050

2. Structure morphologique du phytoplancton

D'après Cavalla, (2000) on peut résumer que le phytoplancton se divise en deux grandes catégories selon la structure morphologique de leurs cellules, les eucaryotes et les procaryotes.

Chaque cellule phytoplanctonique possède une paroi cellulosique. Les euglènes n'ont pas de paroi rigide, le cas particulier ici est l'embranchement d'Euglenophyta qui n'a pas cette paroi, ce qui leur donne une mobilité caractéristique lors de leur mouvement euglénoïde (Cavalla, 2000).

Chez les eucaryotes, le noyau est présent et la chlorophylle est contenue dans les chloroplastes. Les flagelles sont présents en permanence chez certaines cellules comme *Chlamydomonas*, chez d'autres espèces, ils sont absents ou présents seulement sur les spores (Cavalla, 2000).

2. 1. Les formes d'organisation des phytoplanctons

2. 1. 1. Forme unicellulaire

Selon [Sahoo et Seckbach, \(2015\)](#) cette catégorie de phytoplancton regroupe toutes les espèces qui vivent comme des cellules solitaires, certaines pouvant être motiles à l'aide soit de leurs flagelles soit par d'autres moyens. Parmi les formes unicellulaires, il y a quelques exemples qui sont illustrés dans la Figure 9.

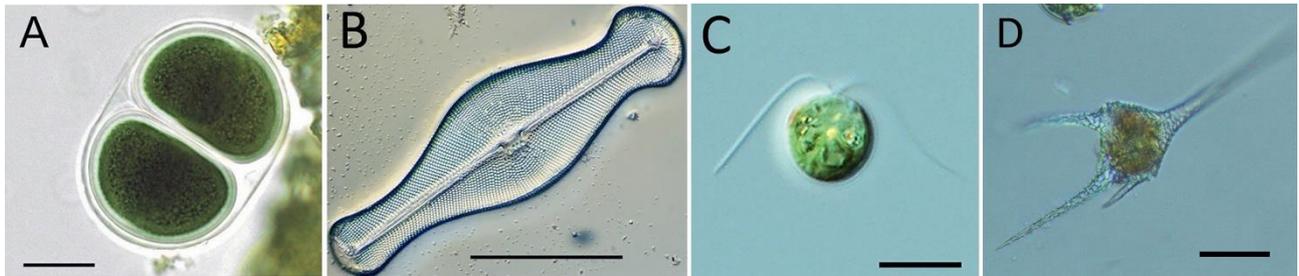


Figure 9. Formes unicellulaires de phytoplancton d'eau douce : **A.** *Chroococcus giganteus* (Échelle = 25µm) : les cellules contenu dans une gaine gélatineuse. **B.** *Didymosphenia geminata* (Échelle = 50µm) : cellules aux formes, parois et marques complexes. **C.** *Dunaliella sp.* (Échelle = 10µm) : cellules avec deux flagelles de longueur égale. **D.** *Ceratium hirundinella* (Échelle = 50µm) : Les cellules tirées dans des projections en forme de corne. (Source : [Sheath et Wehr, 2015](#)).

2. 1. 2. Formes colonial

Une colonie signifie deux ou plusieurs cellules vivant ensemble en étroite association, les cellules d'une colonie peuvent provenir en même temps de la même cellule, ou elles peuvent être le produit accumulé de divisions cellulaires ou de production de spores sur plusieurs générations (Figure 10) ([Sahoo et Seckbach, 2015](#)).

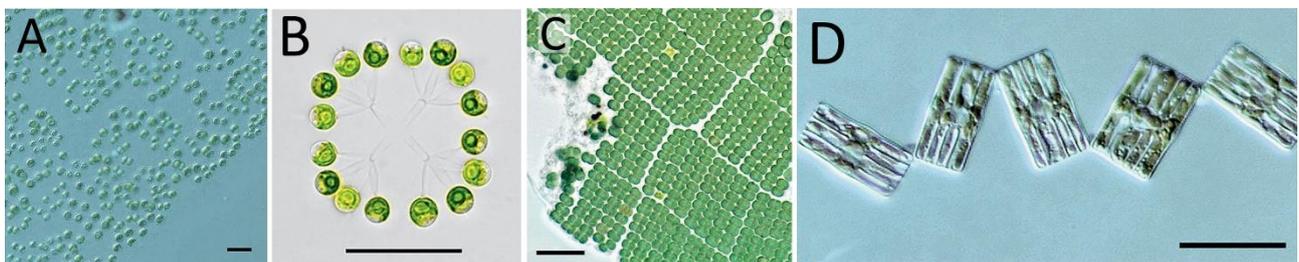


Figure 10. Formes colonial de phytoplancton d'eau douce : **A.** *Tetraspora lubrica* (Échelle = 25µm) : une colonie avec des cellules irrégulièrement disposées dans une matrice gélatineuse. **B.** *Dictyosphaerium granulatum* (Échelle = 25µm) : une colonie avec des cellules sphériques attachées ensemble. **C.** *Merismopedia sp.* (Échelle = 25µm) : une colonie de nombreuses cellules disposées en rangées rectangulaires. **D.** *Tabellaria flocculosa* (Échelle = 25µm) : une colonie de cellules rectangulaires attachées à leurs bords. (Source : [Sheath et Wehr, 2015](#)).

2. 1. 3. Forme filamenteuse

La forme filamenteuse est lorsque les cellules sont disposées bout à bout dans ce qui ressemble à une chaîne, dans laquelle elles partagent une paroi transversale commune. (Figure 11) cette forme se distingue des colonies linéaires par le fait que les cellules ne possèdent pas la totalité des parois dans la forme filamenteuse, contrairement à la forme coloniale (Sharma, 2015).

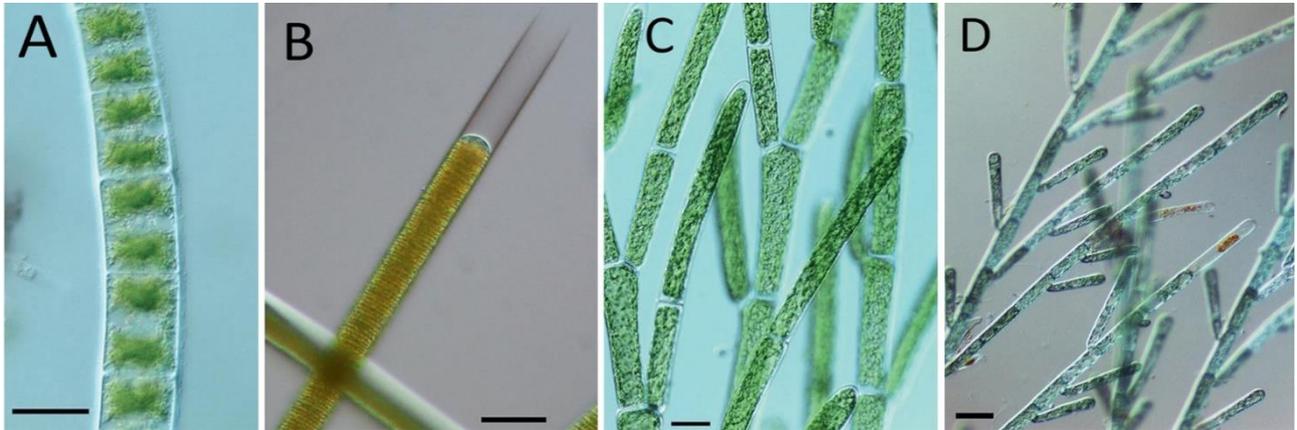


Figure 11. Formes filamenteuse de phytoplancton d'eau douce : **A.** *Zygnema sp.* (Échelle = 25µm) : un filament non ramifié sans matrice gélatineuse. **B.** *Limnographis sp.* (Échelle = 25µm) : un filament non ramifié de courtes cellules discoïdes dans une gaine gélatineuse. **C.** *Cladophora glomerata* (Échelle = 25µm) : un filament avec dichotomique. **D.** *Batrachospermum Macrosporium* (Échelle = 25µm) : le stade chantransia alternativement ramifié (Source : Sheath et Wehr, 2015).

2. 1. 4. Forme Pseudo-filamenteuse

Une agrégation de cellules bout à bout comme la forme des filaments, avec une différence que les cellules ne sont pas directement connectées les unes aux autres (Figure 12) (Sharma, 2015).

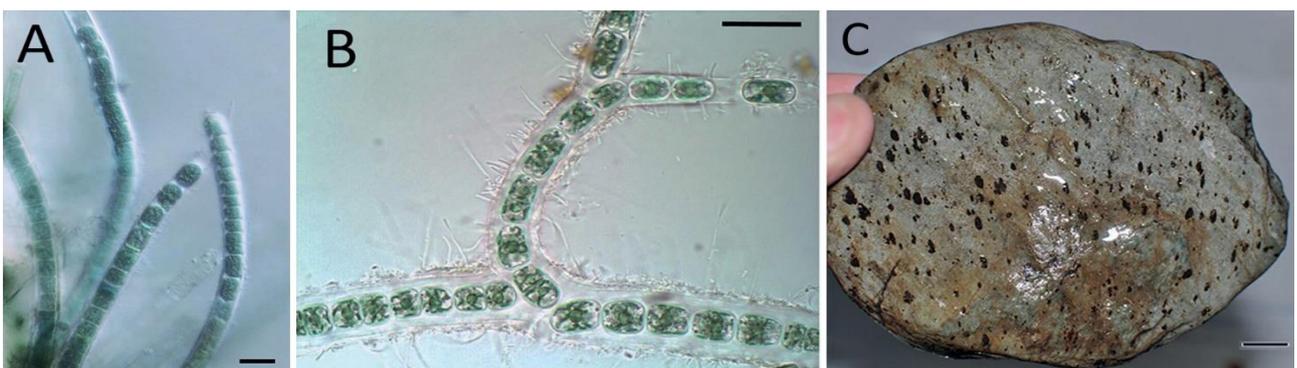


Figure 12. Formes Pseudo-filamenteuse de phytoplancton d'eau douce : **A.** *Stichosiphon willei* (Échelle = 10µm) : une série de cellules individuelles dans une gaine mucilagineuse commune. **B.** *Chroodactylon sp.* (Échelle = 25µm) : un pseudo-filament avec des cellules disposées à distance selon un motif bout à bout. **C.** *Chamaesiphon sp.* (Échelle = 1cm) : formant des plaques de croûtes brunes sur un rocher Dans un cours d'eau rapide (Source des photos : Sheath et Wehr, 2015).

2. 1. 5. Forme Parenchymatous

Sont des vrais tissus composés d'une masse solide de cellules tridimensionnelles, de formes variées, et non filamenteuses ou de construction coloniale. (Figure 13. A , B) (Sahoo et Seckbach, 2015).

2. 1. 6. Forme Coenocytic

Grandes et multi-nucléées avec des formes diverses sans parois transversales pour séparer les noyaux ou d'autres organites (Figure 13. C) (Sheath et Wehr, 2015).

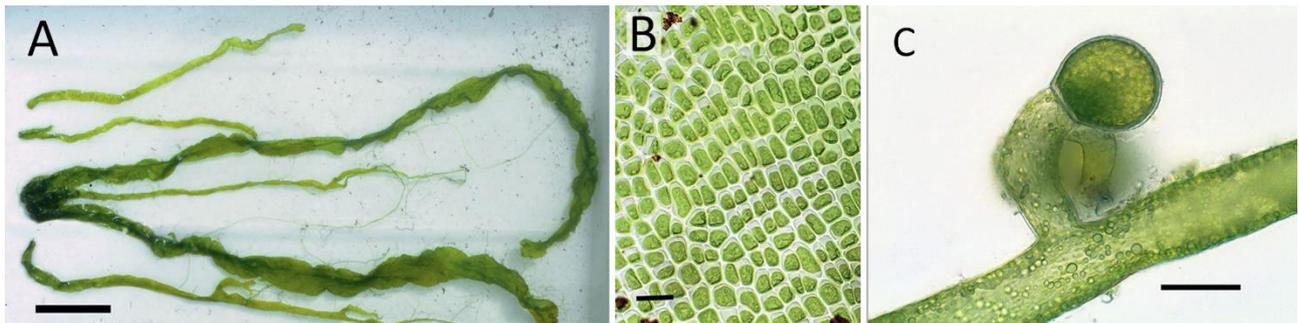


Figure 13. Forme Parenchymatou (A, B) et Coenocytic (C) de phytoplancton d'eau douce : **A.** *Ulva flexuosa* (Échelle = 5cm) : une algue parenchymateuse formant de gros tubes et sacs macroscopiques. **B.** *Ulva flexuosa* (Échelle = 25 μ m) : détail des cellules corticales sur la surface externe. **C.** *Vaucheria geminata* (Échelle = 50 μ m) : un thalle siphoneux sans parois transversales séparant les noyaux et les multiples chloroplasts (Source : Sheath et Wehr, 2015).

2. 2. Les Biofilms Phytoplanctonique

Les biofilms phytoplanctonique ou biofilms de microalgues sont des assemblages complexes de microalgues qui prolifèrent avec d'autres micro-organismes, formant des tapis épais submergés sur les plans d'eau et les surfaces humides. Les biofilms de phytoplancton dans les corps aquatiques sont principalement dominés par les diatomées, qui on les trouve aussi en abondance dans les eaux marines sous forme de plancton. Les biofilms de Cyanophyta et Chlorophyta se trouvent principalement dans les surfaces terrestres (Thapa et al., 2017).

Bien qu'ils soient reconnus comme une nuisance lorsqu'ils se trouvent dans des structures artificielles (comme les tuyaux de drainage ou les bassins d'eau) (Thapa et al., 2017). Les différents rôles joués par les biofilms algaux ont une immense importance dans l'environnement. Ils ont des applications prometteuses dans de nombreux domaines, un aperçu des domaines d'applications des biofilms algaux est illustré dans la Figure 14.

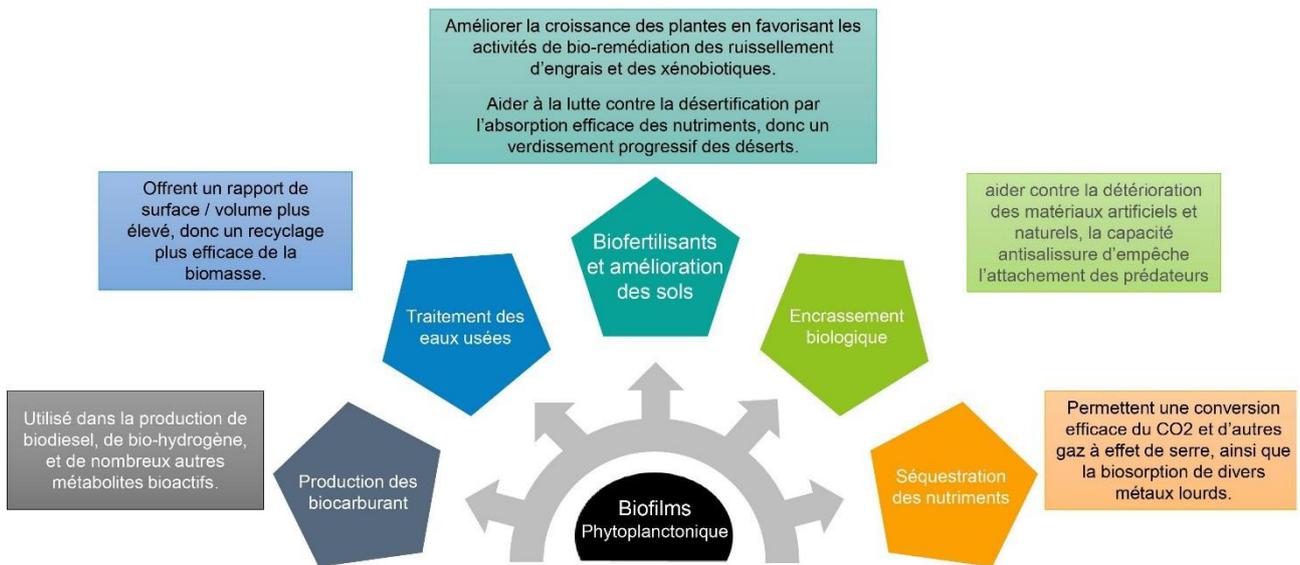


Figure 14. Aperçu des domaines d'applications des biofilms phytoplanctonique (Source : Thapa et al., 2017).

2. 2. 1. Rôle du biofilm dans le traitement des eaux usées

Étant donné que les phytoplanctons font partie de la microflore potentielle adaptée à la croissance, même dans des eaux de mauvaise qualité telles que les eaux usées, leur utilisation pour le traitement biologique est l'un des processus les plus fiables, à la fois du côté économiquement réalisable et écologiquement sûr (Kesaano et Sims, 2014).

L'utilisation de biofilms phytoplanctoniques dans le traitement des eaux usées assure une productivité de la biomasse plus élevée et son immobilisation offre un meilleur rapport surface/volume par rapport aux cultures en suspension (Kesaano et Sims, 2014).

Ces communautés de phytoplancton en forme des biofilms sont un moyen efficace d'élimination des métaux lourds et des éléments radioactifs par absorption intracellulaire, adsorption de surface ou précipités de sulfures ou de phosphates. Ils ont été rapportés dans l'absorption de certains ions métalliques (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Fe, etc.) (Thapa et al., 2017).

2. 2. 2. Rôle du biofilm en agriculture

Les biofilms cyanobactériens qui se développent sous forme d'assemblages dans l'eau sont les principaux habitants des écosystèmes rizicoles des zones humides. L'efficacité de l'utilisation de cyanobactéries comme fixateurs d'azote dans la culture du riz a eu un succès (Singh et al., 2011).

Avec certains types de bactéries et de champignons, ces biofilms cyanobactériens sont capables d'augmenter les niveaux de nutriments dans le sol, d'améliorer leur absorption et de susciter une résistance à de nombreux types de stress (Thapa et al., 2017).

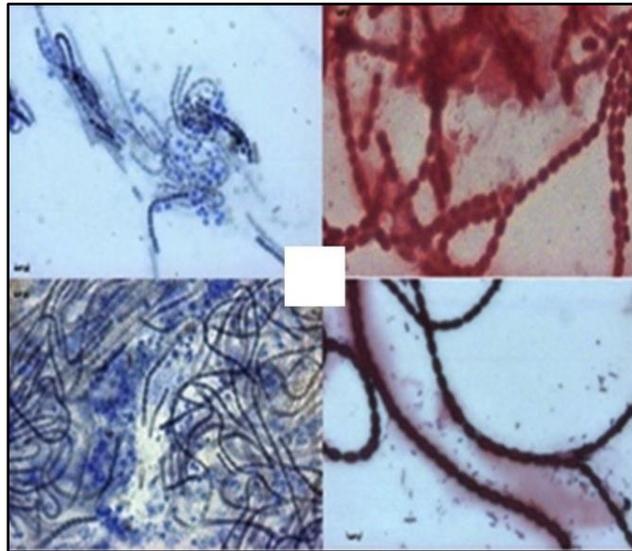


Figure 15. Biofilms à base d'*Anabaena* avec des bactéries et des champignons importants pour l'agriculture. (Source : Thapa et al., 2017).

2. 2. 3. Biofilm et biocarburant

En tant qu'alternative précieuse à l'épuisement des sources d'énergie pétrolières non renouvelables, le biocarburant sous des formes telles que le biodiesel est l'une des sources d'énergie renouvelables fournies par la biomasse algale (Demirbas, 2009).

Les biofilms ont été peu étudiés pour la production de biocarburant du fait des difficultés d'entretien. Cependant, des études ont révélé que le mode de croissance du biofilm offre la facilité d'une simple récolte mécanique. En outre, la production de biomasse était significativement élevée aux efficacités respectives de conversion de la lumière. Ce qui devrait faciliter le processus de production de biocarburant (Chisti, 2007).

L'hydrogène est un substitut propre et idéal aux combustibles fossiles en raison de sa haute densité et de l'eau comme sous-produit. La production biologique d'hydrogène pourrait fournir une source d'énergie renouvelable. Les enzymes cyanobactériennes se sont révélées capables de produire biologiquement du photo-hydrogène. Cependant, cette technologie est encore en phase d'essais expérimentaux et sa commercialisation nécessite des recherches intensives (Demirbas, 2009).

2. 3. L'hydrodynamisme et la diversité phénotypique

On décrit par l'hydrodynamisme l'étude des fluides en mouvement et qui intègre plusieurs mécanismes physiques. Elle se manifeste principalement par les vagues et la houle, les marées et les courants (Burel, 2020).

L'hydrodynamisme est difficile à appréhender dans sa totalité et nécessite plusieurs types de mesure complémentaires. Les différentes techniques utilisées pour sa mesure sont destinées à donner une

évaluation quantitative ou qualitative de différents paramètres de l'hydrodynamisme sur le terrain (Denny, 2014). En raison de ces paramètres hydrodynamiques, les eaux peuvent être divisées en deux types principaux, les eaux calmes, comme les lacs, les marais, etc. et les eaux courantes, y compris les oueds, les rivières et les ruisseaux (Burel, 2020).

Le lien entre l'hydrodynamisme et la diversité phénotypique ou l'aspect morphologique du phytoplancton, peut être trouvé par l'observation de la forme de phytoplancton et des microalgues habitant les eaux calmes et la forme de celles des eaux courantes (Burel, 2020).

2. 3. 1. Phytoplancton des eaux calmes

Dans la recherche effectuée par Kim (2018) sur la diversité des espèces de phytoplancton dans un lac de Corée du Sud, des échantillons ont été prélevés à intervalles mensuels de mai 2017 à avril 2018 afin qu'ils puissent être examinés.

Il y a 376 taxons ont été identifiés à partir de sept grands groupes de phytoplancton. On trouve 148 Charophyceae, le groupe le plus abondant. Viennent ensuite les Chlorophyceae avec 103 taxons, les Chrysophytes avec 53, les Euglenophytes 49, les Cyanophytes 13, les Dinophytes 8 et les Cryptophytes avec 2 taxons (Kim, 2018). Certaines espèces sont représentées dans la Figure 16.

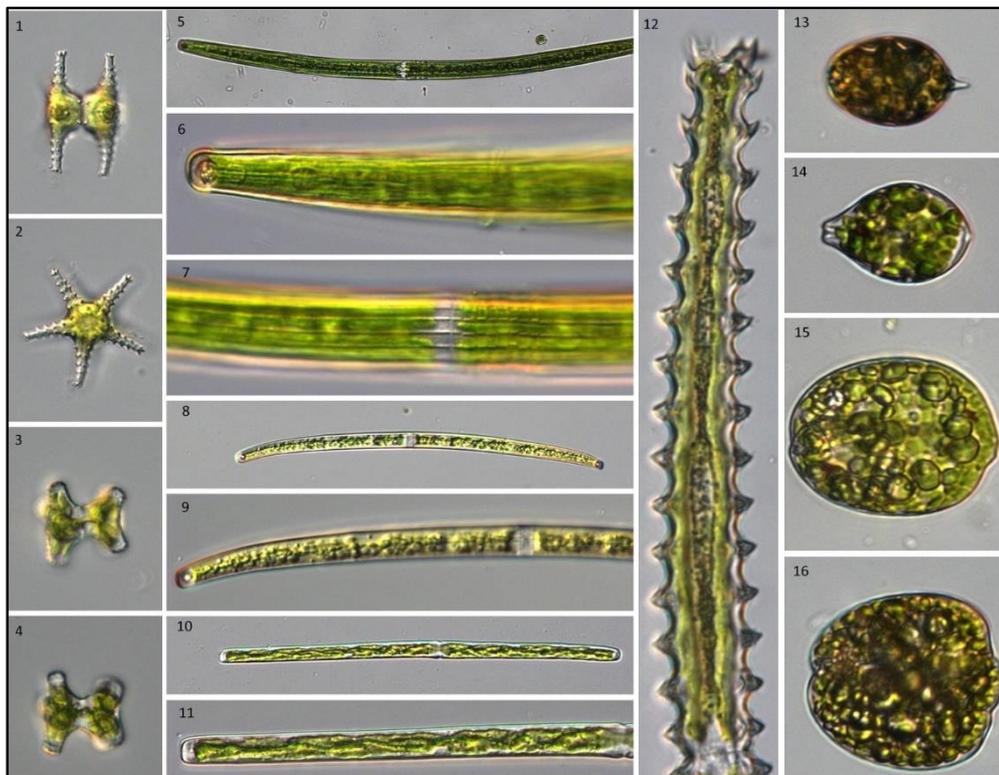


Figure 16. Certaines phytoplancton des eaux calmes : 1, 2. *Xanthidium octocorne*. 3, 4. *Staurastrum cyrtocerum* var. *inflexum*. 5–7. *Closterium angustatum*. 8, 9. *Closterium juncidum*. 10, 11. *Haplotaenium minutum* var. *elongatum*. 12. *Triploceras gracile* 13. *L. pseudoovum*. 14. *L. fusiformis* var. *amphirhynchus*. 15. *Phacus brevicaudatus*. 16. *P. lefevrei* (Source : Kim, 2018).

2. 3. 2. Phytoplancton des eaux courantes

Dans un autre travail de recherche de [Bourrelly, \(1964\)](#) sur les phytoplanctons ou les algues des eaux courantes de Madagascar, Quarante-quatre collections de ruisseaux et rivières du sud de Madagascar ont été étudiées. En excluant les diatomées, 82 espèces de phytoplancton ont été trouvées. Les Chlorophycées dominent avec 37 espèces, viennent ensuite les Cyanophycées avec 29 et les Rhodophycées avec 6. Certaines de ces formes d'espèces sont représentées dans la Figure 17.

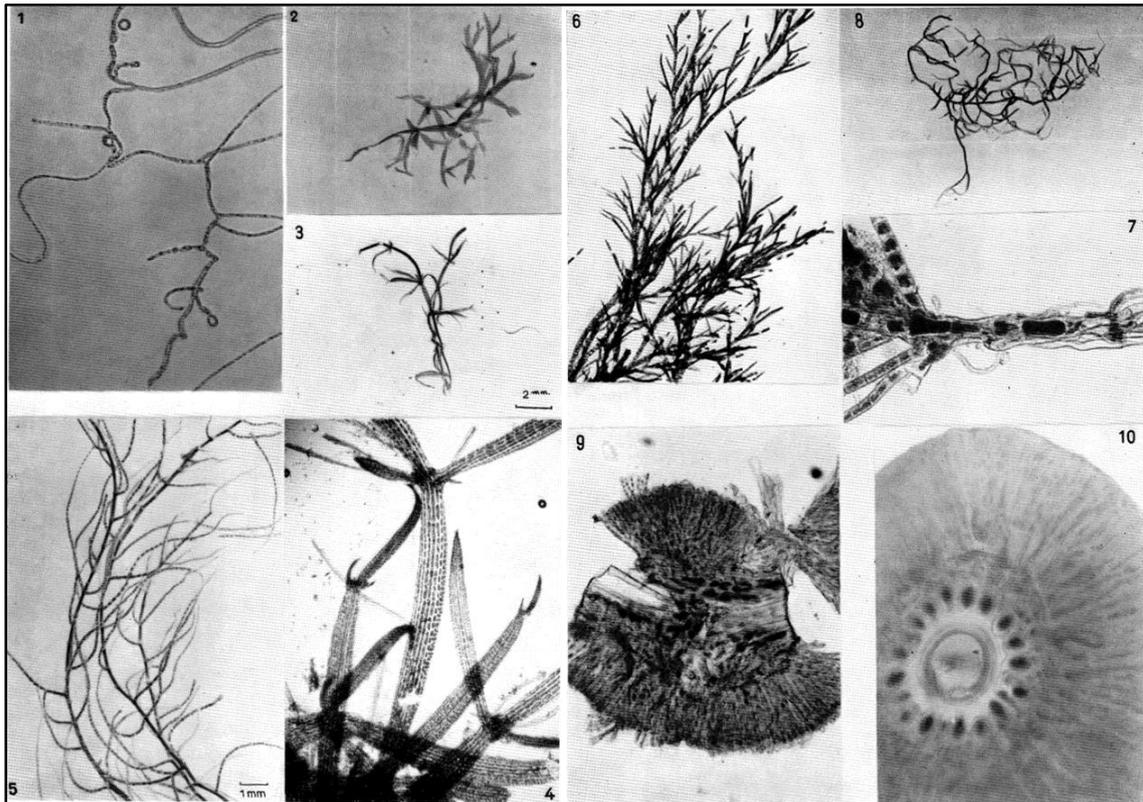


Figure 17. Certaines phytoplancton des eaux courantes : **1.** *Nostochopsis lobatus* : hétérocystes pédicellés et ramification en V. **2.** *Caloglossa Leprieuri*. **3.** *C. ogasawaraensis* à faible grossissement. **4.** *C. ogasawaraensis* plus fortement grossi. **5.** *Sirodotia huillensis*. **6.** *Cloniophora spicata* à faible grossissement : remarques dans la partie droite les zoosporanges vides. **7.** Base de *Cloniophora spicata* à fort grossissement avec rhizoïdes. **8.** *Tuomeya nov. Sp.* A faible grossissement (quadrillage blanc de 1 cm de côté). **9.** Section longitudinale de *Tuomeya nov. Sp.* à l'endroit d'un nœud. **10.** section transversale de *Tuomeya nov. Sp.* (Source : [Bourrelly, 1964](#)).

2.4. Intérêt du phytoplancton dans l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques

Le phytoplancton est utilisé depuis longtemps comme un moyen efficace d'évaluer la qualité des milieux aquatiques en le considérant comme un excellent bioindicateur sensible aux changements environnementaux. Certaines espèces prospèrent dans des eaux fortement eutrophes, tandis que d'autres sont très sensibles à la pollution à des concentrations variables ([Sakset et Chankaew, 2012](#)).

Exemple des genres de phytoplancton étant des bioindicateurs de la qualité des milieux aquatiques :

Eau propre : *Melosira sp.* et *Cyclotella sp.*

Eaux polluées : *Nitzschia sp.*, *Microcystis sp.* et *Aphanizomenon sp.*

Eaux eutrophes : *Chlamydomonas sp.*, *Euglena sp.*, *Scenedesmus sp.* et *Microcystis sp.*

Eaux phosphatées : *Aphanizomenon sp.*, *Microcystis sp.* et *Ceratium sp.*

Eaux à faible teneur en azote : *Anabaena sp.*

Selon [Palmer, \(1969\)](#) qui a répertorié soixante genres de plancton les plus tolérants à la pollution organique. *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nitzschia*, *Navicula* et *Stigeoclonium* sont les huit principaux genres qui peuvent indiquer une pollution organique dans les eaux. [Peerapornpisal et al., \(2007\)](#) de leur part ont développé une méthode pour évaluer la qualité de l'eau dans les masses d'eau en utilisant un système de notation du phytoplancton dominant qui est une méthode d'évaluation simple sans exigence chimique. Les résultats étaient cohérents à plus de 90 % avec les paramètres physiques et chimiques.

2. 4. 1. Les diatomées, et l'indice biologique diatomées

L'indice Biologique Diatomées, ou l'IBD, a été conçu pour une application à l'ensemble des cours d'eau, à l'exception des zones naturellement salées. L'IBD s'applique à tous les types de cours d'eau à condition que soient respectées les recommandations pour l'échantillonnage. Ainsi, dans les cours d'eau pauvres en nutriments, les diatomées peuvent être peu abondantes ; il faudra alors augmenter la taille de la surface à échantillonner. De même, dans les cours d'eau lents, la sédimentation de diatomées du phytoplancton et la présence de diatomées mortes "fossiles" peut fausser le diagnostic ([Prygiel et Coste, 2000](#)).

D'une façon générale, l'IBD peut être appliqué en vue de ([Prygiel et Coste, 2000](#)) :

- Evaluer la qualité biologique d'une station bien définie (étude ponctuelle).
- Suivre l'évolution temporelle de la qualité biologique d'une station (saisonnnière ou pluriannuelle).
- Suivre l'évolution spatiale de la qualité biologique d'un cours d'eau (comparaison entre l'amont et l'aval).
- Evaluer les conséquences d'une perturbation sur le milieu (comparaison entre l'amont et l'aval d'un rejet).

3. Phytoplancton et production primaire

Le terme production primaire fait souvent référence à la quantité de biomasse accumulée par la photosynthèse au fil du temps. Le phytoplancton sont des plantes dominantes dans l'océan et sont présents dans toutes les régions éclairées de toutes les mers, y compris sous la glace dans les zones polaires, leur rôle dans la chaîne alimentaire marine est d'une importance primordiale (Lalli et Parsons, 1997).

Le phytoplancton est le principal producteur primaire du domaine pélagique, convertissant les matériaux inorganiques (par exemple le nitrate, le phosphate) en nouveaux composés organiques (par exemple les lipides, les protéines) par le processus de photosynthèse et démarrant ainsi la chaîne alimentaire marine (Lalli et Parsons, 1997).

Selon Harper et al., (2012), les phytoplanctons sont les principaux producteurs primaires dans de nombreux écosystèmes. Des estimations récentes de la production primaire mondiale montrent que 46 % sont d'origine océanique et 54 % terrestre (Field et al., 1998). L'énorme productivité fournie par les phytoplancton dans l'océan constitue la base des réseaux trophiques qui soutiennent directement et indirectement la quasi-totalité de la population animale de la mer (Harper et al., 2012).

Parmi les phytoplanctons, les dinoflagellés ont une importance écologique en ce qui concerne la production primaire car ils sont responsables d'une fraction très importante de la production primaire marine dans le monde et ils sont juste derrière les diatomées en tant que surveillants primaires marins (Archibald et al., 2017) qui probablement représentent environ 20 % de la production primaire nette mondiale (Mann, 1999).

3. 1. Un mode de mesure de la production primaire

La méthode la plus populaire pour mesurer la productivité en mer est la méthode ^{14}C . Dans cette méthode, une petite quantité mesurée de bicarbonate radioactif (HCO_3^-) est ajoutée à deux bouteilles d'eau de mer contenant du phytoplancton (Lalli et Parsons, 1997).

Une bouteille est exposée à la lumière et permet la photosynthèse et la respiration ; l'autre est à l'abri de toute lumière afin que seule la respiration ait lieu. La quantité de carbone radioactif absorbée par unité de temps est ensuite mesurée sur le phytoplancton lorsqu'il est filtré des échantillons d'origine.

Cette radioactivité est mesurée à l'aide d'un compteur à scintillation et la productivité primaire est calculée à partir de :

$$Production\ primaire = \frac{(RL - RD) \times W}{R \times t}$$

R : la radioactivité totale ajoutée à un échantillon

t : le nombre d'heures d'incubation

RL : le comptage radioactif dans l'échantillon de la bouteille "illuminée"

RD : le comptage de l'échantillon "sombre"

W : le poids total de toutes les formes de dioxyde de carbone dans l'échantillon

Cette méthode est appliquée à des échantillons d'eau prélevés à une série de profondeurs (Lalli et Parsons, 1997).

3. 2. Facteurs limitant de la croissance phytoplanctonique

En biologie, un facteur limitant est défini comme un facteur ou une variable environnementale qui a la capacité de restreindre la croissance, l'abondance ou la distribution d'une population dans un écosystème. Lorsque ces facteurs sont présents en quantité limitée, les organismes ont tendance à se disputer leur disponibilité limitée dans l'écosystème.

Concernant les phytoplanctons, il existe plusieurs facteurs qui ont un effet limitant sur leur croissance, que ce soit par leur présence ou leur absence, parmi eux nous citons :

3. 2. 1. La lumière

Considérant que la majorité du phytoplancton sont des organismes autotrophes, la lumière est un facteur essentiel qui joue un rôle dans la création de l'énergie à travers les processus photosynthétiques (Doré-Deschênes, 2009), dans ces processus, l'énergie lumineuse est utilisée pour convertir le dioxyde de carbone en composés organiques (Juneja et al., 2013).

En plus d'être l'un des facteurs les plus importants pour la croissance photosynthétique des phytoplanctons, elle a un effet sur leur composition cellulaire par la photoadaptation (Hu, 2004).

Le processus de photoadaptation ou de photoacclimatation chez les phytoplanctons entraîne des modifications des propriétés cellulaires en fonction de la disponibilité de la lumière et une augmentation de l'efficacité photosynthétique (Dubinsky et al., 1995). L'adaptation peut se produire par le biais de plusieurs mécanismes tels que des changements dans les types et les quantités de pigments, le taux de croissance, et elle s'accompagne de changements dans le volume cellulaire (Berner et al., 1989).

L'énergie radiative de la lumière ne s'accumule pas, c'est pour cela que la lumière doit être fournie en permanence. Ainsi la lumière peut jouer le rôle de facteur limitant dans de nombreux cas, soit par son absence totale, soit par sa présence à faible intensité, soit par une intensité bien supérieure à celle nécessaire (Lucchetti, 2014).

3. 2. 2. La Température

La température est considérée comme l'un des facteurs environnementaux les plus importants qui ont une influence directe sur le métabolisme du phytoplancton, leur taux de croissance, la taille des cellules, la composition biochimique et les besoins en nutriments (Juneja et al., 2013).

Selon Rhee, (1982) elle est démontré que le degré d'assimilation des nutriments est significativement lié à la température, et que la température optimale pour effectuer une bonne absorption diffère d'une espèce à une autre selon le degré de tolérance, ainsi on trouve 3 catégories.

- Phytoplancton thermophile : 35 - 85 C°, comme *Aphanocapsa Thermails* (Cyanobactérie).
- Phytoplancton mésophile : 15 - 35 C°, comme *Microcystis aeruginosa* (Cyanobactérie).
- Phytoplancton caryophile : < 0 - 15 C°, comme *Chlamydomonas Nivalis* (Chlorophyte).

D'après Eppley, (1972), lorsque la température de l'eau est trop inférieure à l'intervalle de leur tolérance, la photosynthèse des phytoplanctons est complètement inhibée. Dans le cas contraire où la température est largement supérieure à l'optimum, la croissance des espèces montrent un déclin brusque.

3. 2. 2. Le Substrat

L'effet du substrat en tant que facteur limitant peut être minime lorsqu'il s'agit de la plupart des phytoplanctons et des cyanobactéries car ce sont des organismes autotrophes qui flottent dans l'eau, par conséquent, ils ne puissent pas leurs nutriments directement à partir du substrat lui-même. Mais il est considéré comme un facteur limitant majeur dans le cas des microalgues qui y adhèrent. (Barberousse, 2007).

Un des principales raisons de l'effet limitant du substrat sur le phytoplancton est sa topographie. L'étude de Callow et al., (2002) sur un certain genre d'algue (*Enteromorpha*) montrent que l'adhérence de ses spores pourrait être contrôlée par la topographie de surface du substrat. c'est-à-dire que la cycle de vie et la croissance des spores en cellules phytoplanctoniques développées dépend de la nature du substrat. le substrat peut donc être un facteur limitant dans certains cas.

3. 2. 4. Les Nutriment

Selon ce que Reviere, (2002) a écrit, la productivité végétale est commandée par la présence de lumière suffisante et les besoins nutritionnels essentiels, qui comprennent l'azote, le phosphore et les métaux tels que Mg, Cu, Zn et Mo. La même chose s'applique pour le phytoplancton puisqu'il s'agit d'organismes photosynthétiques.

L'azote est l'élément le plus important pour la croissance des phytoplanctons, car leur taux de croissance est à peu près identique selon les sources d'azote utilisées (urée, nitrite, nitrate) (Lucchetti, 2014).

Le phosphore en revanche, est un macronutriment important la métabolisme cellulaire. Malgré son effet est beaucoup plus faible par rapport au cas de l'azote, un déficience dans la concentration phosphore peut entraîner des accumulations de pigments chez certaines phytoplancton (Becker, 1994).

Pour les métaux, Le fer est un oligo-élément essentiel pour la croissance des phytoplanctons de par son implication dans le transport des électrons dans le processus de la photosynthèse, les phytoplanctons ont aussi des besoins de potassium et de silice pour les diatomées (Hu, 2004).

3. 2. 5. Physico-chimique du milieu

La plupart des organismes ont une gamme optimale de conditions physico-chimiques dans lesquelles ils se développent (Reed, 1924). Parmi les nombreux paramètres physico-chimiques, nous mentionnons les quelques-uns ayant l'effet le plus limitant sur la croissance du phytoplancton :

A. Potentiel hydrogène

Selon une étude de Leavitt et al., (1999), lorsque le potentiel hydrogène (pH) a été abaissé de 6,6 à 5,0, l'abondance de phytoplancton a augmenté, c'est pourquoi on peut s'attendre à ce que l'abondance des phytoplanctons diminue lorsque le pH augmente.

On a observé que la croissance du groupe de phytoplancton tolérantes au pH était réduite lorsque le pH dépassait 9,5. Dans un autre cas, les espèces sensibles au pH ont diminué en abondance lorsque le pH a été élevé à 8,8 et n'ont pas poussé du tout lorsque le pH a dépassé 9,0 (Pendersen et Hensen, 2003). Cela peut s'expliquer par leur capacité réduite à photosynthétiser dans l'eau basique. Le dioxyde de carbone disponible pour la photosynthèse diminue à mesure que l'alcalinité (pH) augmente (Singh, 1974). On peut donc conclure que le pH a un grand effet limitant sur la croissance des phytoplancton.

B. Oxygène dissous

Les concentrations élevées d'oxygène dissous peuvent être capables d'inhiber la croissance de micro-organismes photosynthétiques, tels que différentes classes de phytoplancton. La culture de *Chlorella vulgaris*, une phytoplancton eucaryote, dans un photo-bioréacteur de forme torique avec une lumière constante et pour différentes concentrations d'oxygène dissous (O_2), a montré une perte de productivité de la biomasse à une concentration $\geq 31 \text{ g.m}^{-3}$ (Kazbar et al., 2019).

Dans l'étude de [Raso et al., \(2012\)](#) et celle de [Sousa et al., \(2013\)](#), il a été montré qu'il y avait une diminution de l'efficacité photosynthétique avec l'augmentation de la concentration de l'Oxygène dissous, et les mêmes conclusions ont été tirées par les deux études, voyant que la perte de productivité de la biomasse était le résultat d'une activité de photorespiration. Cette dernière est définie comme un processus, dépendant de la lumière, dans lequel il y a une consommation d'oxygène et production de CO₂, le processus est limitant pour la croissance des micro-organismes photosynthétiques car il provoque une diminution de leur productivité ([Moroney et al., 2013](#)).

C. Salinité

Le stress lié à la salinité peut avoir des effets significatifs sur la croissance et la composition biochimique des phytoplancton ([Pandit et al., 2017](#)). Si l'on exclut le cas des espèces euryhalines qui sont capables de supporter de grandes variations de salinité, la salinité a un énorme effet limitant sur les phytoplancton, car elle influence la pression osmotique des cellules, ce qui signifie que si la salinité est trop faible, la cellule elle-même peut éclater, et à l'inverse, si la salinité est très élevée, la cellule va perdre son eau ([Reviere, 2002](#)).

3. 2. 6. Le broutage par le zooplancton

L'étude réalisée par [Levine et al., \(1999\)](#), concernant l'impact du broutage du zooplancton sur la composition et la biomasse des espèces de phytoplancton dans le lac Champlain aux États-Unis, a fourni des données indispensables sur les taux de mortalité du phytoplancton dus au broutage du zooplancton. Dans cette étude, certaines espèces ont perdu jusqu'à 58 % de leur biomasse par jour au profit des brouteurs, tandis que d'autres n'ont pas été affectées. Quelques-uns avaient des taux de broutage négatifs, indiquant qu'ils se développaient plus rapidement lorsque le zooplancton était abondant que lorsqu'il était rare. Ces espèces sont probablement immunisées contre le broutage et bénéficient de la suppression d'espèces de phytoplancton plus vulnérables, soit parce que cette suppression libère des ressources pour leur utilisation, soit parce que les espèces supprimées sont actives dans la production allélochimique.

3.3 Rôles écologiques du phytoplancton

L'importance écologique des phytoplanctons dans le milieu aquatique est due à leur situation à la base du cycle biologique existant dans l'eau. Utilisant l'énergie lumineuse, elles sont parmi les seuls organismes qui synthétisent des hydrates de carbone et de la matière organique à partir des éléments minéraux dissous dans le milieu. Une bonne connaissance du plancton végétal existant permet donc une appréciation sur la qualité de l'eau et sa valeur pour la production primaire aquatique ([Ittis, 1980](#)). De manière générale, le phytoplancton consomme actuellement une quantité de gaz carbonique équivalente approximativement à celle consommée par toute la végétation terrestre ([Field](#)

et al., 1998). Autre que la consommation de CO₂, certains groupes de phytoplancton ont la capacité de produire le diméthylsulfoniopropionate (DMSP), qui est le précurseur biogénique du gaz de diméthylsulfure (DMS) qui a un effet de refroidissement climatique (Caruana, 2010).

Enfin, comme c'est mentionné plus tôt, le phytoplancton constitue un très bon indicateur biologique de pollution des eaux douces. Dans les régions tempérées, les eaux les plus pures sont peuplées par des Rhodophycées. Lorsque la pollution atteint son maximum, les phytoplancton disparaissent presque entièrement et sont remplacées par des bactéries (Ittis, 1980).

3.4. Relation diversité et productivité

La relation entre diversité et productivité a fait l'objet de vifs débats au cours des dernières décennies (Strong, 2010). Selon Corcoran et Boeing, (2012) plus la diversité d'un écosystème est grande, plus il aura un fonctionnement stable et plus sa productivité sera grande qui rejoint l'avis de Cardinale et al., (2006) qui soulignent qu'une perte de biodiversité conduirait à une réduction des fonctions et services écosystémiques.

Concernant cette relation diversité-productivité, et selon l'hypothèse de l'Intermédiaire Disturbance émet par les chercheurs Reynolds et al., (1993) et Smith, (2007), la productivité et la diversité au sein des écosystèmes présentent un maximum pour des niveaux intermédiaires de perturbation. Une façon pour clarifier cette hypothèse a été mentionnée par Huston, (1979) en prenant comme exemple le zooplancton broutant le phytoplancton : Lorsque le pâturage est très faible, l'exclusion compétitive se met en place, d'autant plus rapidement que les taux de croissance élevés. De même, dans le cas d'un broutage trop important, la compétition exclusive conduit à la disparition d'espèces dont les taux de croissance trop faibles et ne permettent pas une reconstitution. En revanche, pour des niveaux intermédiaires de pâturage, la cohabitation est possible et la diversité accrue.

4. impact des cycles hydrologiques saisonniers sur la diversité fonctionnelle du phytoplancton

4. 1. La diversité fonctionnelle et les groupes fonctionnels

L'immense diversité phénotypique observée au sein du phytoplancton implique un nombre considérable de caractéristiques physiologiques. Certains de ces organismes peuvent néanmoins être regroupés selon certains critères fonctionnelles, crée ce qu'on peut appeler des groupes fonctionnels (Ptacnik et al., 2008).

Un critère fonctionnel est donc un paramètre qui influence les performances ou la survie d'un individu ou une espèce, et son effet sur le fonctionnement de l'écosystème par rapport aux conditions environnementales (McGill et al., 2006).

Le premier des critères distinctifs des groupes fonctionnels au sein du phytoplancton, concerne les attributs biologiques, y compris la gamme de taille qui s'étend de moins de un micromètre (Cyanobactéries) jusqu'à plusieurs centimètres pour certains organismes (diatomées). De la même façon, la forme varie elle aussi largement entre les espèces, et bien d'autres caractéristiques écologiques comme la vitesse de sédimentation, résistance à la prédation. Ces différences physiologiques provoquent des disparités en fonction des conditions ambiantes, donc l'acquisition de nutriments ou l'efficacité photosynthétique dépendra de ces caractéristiques morphologiques et physiologiques (Chisholm et al., 1992).

4. 2. Les cycles hydrologiques saisonniers et la diversité du phytoplancton

Les études menées par Reyssac, (1966). et Sournia, (1969) montrent que la biomasse phytoplanctonique et la production primaire sont les plus élevées autours des saisons froides, du point de vue qualitatif, les Dinoflagellés tendent supplanter les diatomées pendant les périodes chaudes.

Dans un travail préliminaire sur les eaux côtières de Porto-Rico dans la Mer des Caraïbes (Margalef, 1961) qui expose la composition de récoltes au filet réalisées dans cette région pendant 13 mois consécutifs, elle a montré la persistance des mêmes caractéristiques du plancton végétal tout au long de l'année, comme attendu de la constance relative des conditions environnementales. Cependant, des perturbations hydrologiques peuvent modifier en certaines occasions la proportion d'espèces océaniques.

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Description du site, l'Oued Nil et son bassin versant

Dans sa partie amont, l'Oued Nil draine l'extrémité occidentale des chaînes numidiques où il creuse des gorges très encaissées qui débouchent dans la plaine du Nil qui commence de la région des Sbetes jusqu'au Djimar.

A l'instar de Oued Djendjen, Oued el-Kebir, l'Oued Nil est considéré parmi les cours d'eau les plus importants de la région de Jijel, son bassin versant est subdivisé en quatre sous bassins versants qui sont drainés par les 4 cours d'eau suivants: Oued Nil (principal cours d'eau), Oued Saayoud, Oued Boukraa et Oued Tassifte. Le lit de l'Oued s'élargie et se rétrécit en fonction du substrat et de la topographie des zones traversées (Figure 18).



Figure 18. Réseau hydrographique de l'Oued Nil

(Source : Google Earth, 2022)

2. Géomorphologie et relief du bassin versant d'Oued Nil

La plaine alluviale d'Oued Nil, qui se trouve dans la partie aval du bassin est caractérisée par une assez faible pente de 15 à 30% d'altitude. Cette plaine par la fertilité de ses sols offre de grandes opportunités à l'exploitation agricole comme le montre la photo de la Figure 19. La plaine est graduée par différents niveaux de terrasses quaternaires caractérisées par de nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermées ou marécages sont engorgés par les fortes précipitations. Cette plaine recèle deux grands marécages qui ont un grand intérêt hydrologique et écologique sur le plan local et régional qui sont :

- Le marécage d'El-Kannar (Ghedir Beni Hamza)
- Le marécage de Rajela (Ghedir El-Merdj) situé dans la commune de Taher.

Après avoir traversé la plaine, l'Oued Nil sillonne un cordon dunaire littoral avant de se jeter dans la mer Méditerranée (Figure 19).

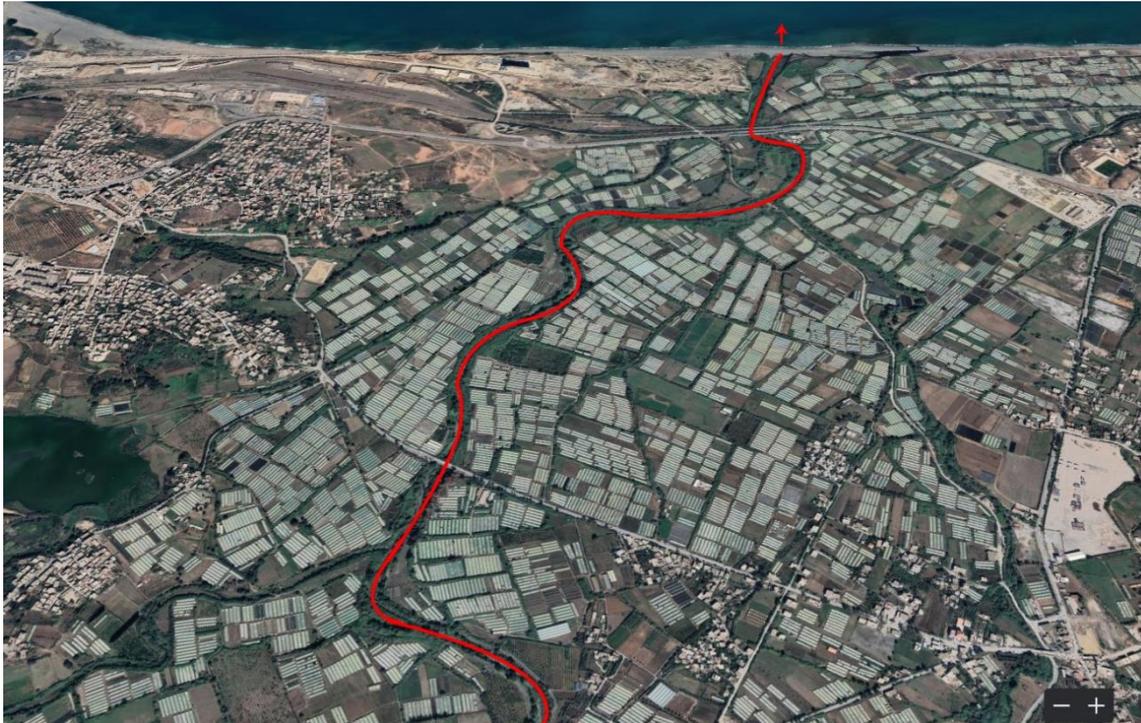


Figure 19. La plaine du Nil et la partie aval de l'Oued Nil (le cours d'eau indiqué par une ligne rouge) (Source : Google Earth, 2022)

Les zones montagneuses occupent surtout les bordures du bassin versant dont les principaux sont : Djebel El kel'A (311 m), Seddet (956 m), Touzlant (921 m), Echla'la (843 m), Tazamt (851 m) et El Medayene (791 m).

3. Stratigraphie du bassin versant

La série stratigraphique reconnue dans le bassin versant est représentée par des terrains métamorphiques qui affleurent largement en aval du bassin versant. La plaine d'Oued Nil est constituée par le remplissage alluvionnaire d'une ancienne vallée creusée dans les marnes éocènes à l'Ouest (rive gauche d'Oued Nil) et les terrains métamorphiques à l'Est (rive droite d'Oued Saayoud). Sur ces alluvions se déposent des formations dunaires plus au moins récentes comme celle de Bazoul et d'El-Kannar (Lehtihet, 1983). La géologie locale de la plaine alluviale, d'un point de vue hydrogéologique est composée de deux types de formation :

3. 1. Formations perméables

- dunes de sable fin.
- Alluvions du Quaternaire.
- Formations du Miocène moyen.

3. 2. Formations imperméables

- Formations du Miocène supérieur « le Sahélien » (marnes bleues).
- Formations du Miocène inférieurs « le Burdigalien » : affleurent dans la partie Ouest de la plaine, constituées essentiellement des marnes grises parfois sableuses.
- Formations gréseuses du paléogène (Numidien et Mauritanien) : ces formations affleurent au Sud de la plaine.

4. Conditions stationnelles

La majorité des stations d'échantillonnage choisies se situent dans des zones de confluence entre le cours d'eau principale de l'Oued Nil et les petits cours d'eau et les ravinements connexes afin de voir les changements sur le plan biotique et abiotique qui peuvent avoir lieu suite aux nouveaux apports. Les espèces végétales caractéristiques de l'habitat sur le site, on trouve :

- Les espèces herbacées : *Phragmites australis*, *Arundo donax*, *Scirpoides holoschoenus*, *Cyperus eragrostis*, *Schoenus nigricans*, *Mentha pulegium*, *M. rotundifolia*.
- Les espèces arborescentes et ligneuses : *Salix alba*, *Alnus glutinosa*, *Populus alba*.
- Certaines stations sont couvertes par un biofilm de phytoplancton (Figure 20).



Figure 20. Assemblage important des biofilms phytoplanctonique.

(Source : photo prise in situ)

5. Prélèvement et analyse des échantillons

L'échantillonnage est effectué, durant le mois de juin 2022, période où le phytoplancton atteint son apogée de développement ; certains paramètres sont mesurés in situ à l'aide d'un multi-paramètre de terrain de marque WTW, cet appareil préalablement étalonné nous a permis de mesurer le pH, la Température (°C), l'Oxygène dissous (mg/l) et la Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$). La sonde est placée au milieu en plein courant d'eau à une profondeur d'environ 50 cm ou à mi-profondeur si la hauteur de l'eau est inférieure à 50 cm (Rodier, 2005).

Les prélèvements d'échantillons d'eau pour compléter notre étude au laboratoire, sont faits à la surface de la zone euphotique de chaque station dans des bouteilles en Polyéthylène Téréphtalate destinées pour emballage des eaux minérales.

5. 1. Précautions prises au moment de l'échantillonnage

Les flacons sont rincés trois fois avec l'eau du cours d'eau avant d'être remplis et fermés hermétiquement. L'étiquetage doit être rigoureux pour éviter tout risque de confusion sur l'identité des échantillons, on ajoute des gouttes de Lugol pour la conservation du phytoplancton. Ce type de fixation apporte deux avantages :

(1) les flagellés conservent en majorité leurs flagelles et (2) les cellules phytoplanctoniques sont colorées en brun clair ce qui facilite l'observation microscopique (Thronsen, 1978).

5. 2. Analyses au laboratoire

Au niveau du laboratoire de biologie de la Faculté SNV, les méthodes utilisées pour le dosage des nitrates et des phosphates sont volumétriques, colorimétriques et spectrophotométriques moléculaires, selon les méthodes décrites dans le guide d'analyse de l'eau (Rodier, 2009 ; Priso et al., 2012), le protocole suivi pour faire le dosage est inclus dans l'ANNEXE II pour les nitrates et l'ANNEXE III pour les phosphates. Les courbes d'étalonnage sont indiquées en ANNEXE IV. La lecture s'est faite à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Analytik-Jena (Capacité : 200 VA ; Fréquence : 50 – 60 Hz), à des longueurs d'onde de 415 nm et de 700 nm.

L'étude et l'identification du phytoplancton a été effectuée sur des échantillons d'eau brute. Cette flore est identifiée pour chaque échantillon à l'aide d'un microscope optique de type Olympus. L'identification a nécessité des clefs de détermination spécialisées (Bellinger et Sigeo, 2010 ; Laplace-Treytore et al., 2014 ; Marshal, 1987).

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Résultat et discussion de l'analyse biologique

1.1. Composition de la flore phytoplanctonique des différentes stations

Les résultats de l'observation microscopique des échantillons prélevés nous révèle la présence de 23 espèces et genres appartenant à 6 embranchements, 7 classes et 16 familles, la famille des Fragilariacées est la plus représentée, les autres ont presque le même nombre d'espèces.

Les phytoplancton rencontrées dans les 8 stations sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3. les espèces du phytoplanctonique inventoriées dans les 8 stations étudiées de l'Oued Nil (+ : présente, - : absence).

Embranchement	Genre / Espèces	St1	St2	St3	St4	St5	St6	St7	St8
Chlorophytes	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	+	-	-	-	-	-	+	-
	<i>Chlorella sp.</i>	-	-	-	-	-	+	-	+
Cyanophytes	<i>Microcoleus vaginatus</i>	-	-	-	-	-	-	+	-
	<i>Plectonema sp.</i>	+	+	+	+	+	-	+	+
Charophytes	<i>Hyalotheca sp.</i>	-	-	-	-	-	+	-	-
	<i>Cosmarium granatum</i>	+	+	+	-	-	-	-	-
	<i>Spirogyra sp.</i>	-	+	-	-	-	-	-	-
Cryptophytes	<i>Rhodomonas sp.</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
Ochrophytes	<i>Caloneis amphisbaena</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	-	-	-	-	-	+	+	+
	<i>Cyclotella sp.</i>	-	-	+	-	+	-	+	-
	<i>Rhopalodia sp.</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
	<i>Guinardia flaccida</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
	<i>Lauderia annulata</i>	-	-	+	-	-	-	-	-
	<i>Navicula kotschy</i>	-	+	+	-	-	-	-	-
	<i>Navicula sp.</i>	+	-	-	+	+	-	+	-
	<i>Fragilaria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	+
	<i>Diatoma sp.</i>	-	+	-	-	-	-	-	-
	<i>Synedra sp.</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
	<i>Synedra ulna</i>	+	+	+	-	-	-	-	-
	<i>Thalassiosira sp.</i>	+	-	+	-	+	-	-	-
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	
Euglenophytes	<i>Euglena viridis</i>	-	-	-	-	-	-	+	+

Il est à signaler que plusieurs espèces n'ont pas été identifiées, à cause de leur petite taille et leurs traits d'identification (cilles, flagelles, ornements...) qui dépasse largement le pouvoir de résolution du microscope optique utilisé. Les résultats d'analyse biotique des stations échantillonnées sont représentés par la diagramme circulaire de la Figure 21.

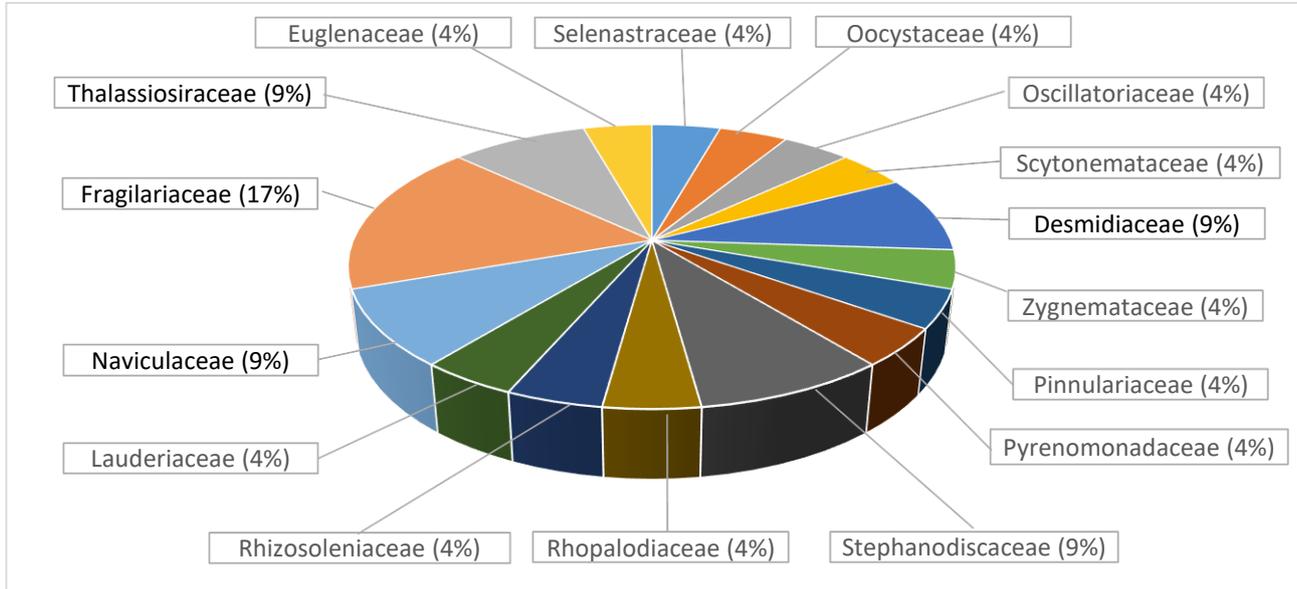


Figure 21. Pourcentage de représentativité des différentes familles phytoplanctoniques observés dans les stations échantillonnées le long de l'Oued Nil.

La composition en pourcentage des différents groupes du phytoplancton identifiés, illustrée par la Figure 21, indique que les eaux de l'Oued Nil sont caractérisées par l'abondance des Fragilariaceae (17%) suivi par certain familles de classe Bacillariophyceae comme des Stephanodiscaceae, Naviculaceae, et Thalassiosiraceae (9%). Puis multiple autre familles des différentes classes, qui ont presque la même contribution en nombre de taxons.

1. 2. Fréquence d'occurrence des différentes espèces

La fréquence d'occurrence désigne le degré de fréquence avec lequel une espèce se rencontre dans les prélèvements. Elle est calculée par la formule suivante :

$$Fo = \frac{P}{R} \times 100$$

Avec **P** : le nombre de relevés contenant l'espèce.

et **R** : le nombre de relevés effectués.

En fonction de cette fréquence d'occurrence on distingue les groupes d'espèces suivantes :

Si $75\% < Fo < 100\%$, l'espèce est dite Omniprésente.

Si $50\% < Fo < 74\%$, l'espèce est dite Régulière.

Si $25\% < Fo < 49\%$, l'espèce est dite Constante.

Si $05\% < Fo < 24\%$, l'espèce est dite Accessoire

Si $Fo < 05\%$, l'espèce est Rare.

D'après cela, les espèces échantillonnées ont été regroupées en fonction de leur fréquence d'occurrence, comme il est mentionné dans le diagramme circulaire de la Figure 22.

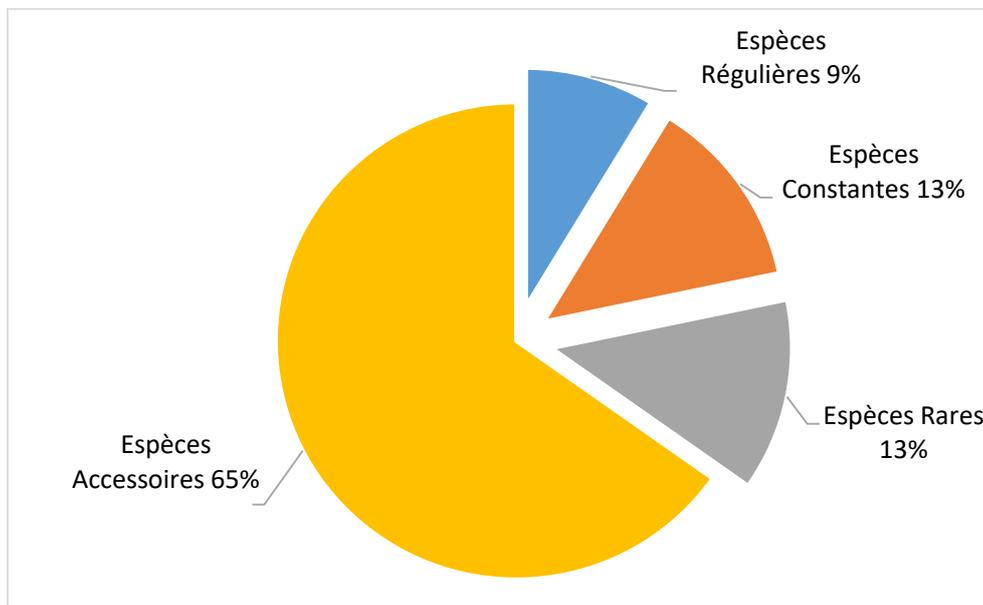


Figure 22. Groupement des espèces en fonction de leur fréquence d'occurrence.

On a 2 espèces Régulières soit 9%, 3 espèces Constantes soit 13%, 15 espèces Accessoires soit 65%, et 3 espèces Rares soit 13%.

On remarque que la composition phytoplanctoniques des différentes stations échantillonnées est hétérogène de point de vue fréquence d'occurrence des différents taxons, dont 65% des espèces sont considérées comme accessoires et 13% sont rares, alors 5 espèces (2 espèces régulières + 3 espèces constantes) sont considérées comme espèces pionnières qui apparaissent souvent dans chaque station le long de l'Oued Nil à savoir : *Synedra sp.*, *Plectonema sp.*, et *Cyclotella sp.*

Le genre *Plectonema sp.* est fréquent dans les différentes stations échantillonnées, cette abondance élevée peut s'expliquer par leur appartenance à l'embranchement des cyanobactéries. les genres et espèces de l'embranchement de cyanobactéries sont bien connus pour leur capacité à s'adapter à un large éventail de conditions environnementales (Muraille, 2018), cette plasticité

augmente considérablement la capacité d'une espèce à s'adapter et à survivre à des conditions changeantes (Godhe et Ryneason, 2017).

En outre, l'abondance et la richesse spécifique élevée des *Bacillariophyceae* (ou *Diatomophycées*) tout le long de l'Oued Nil est dû à leur capacité à se diviser et à se multiplier plus rapidement que les autres groupes de phytoplancton. Tandis que le stress du pâturage sélectif est la cause de ces faibles densités (Furnas, 1990).

2. Les paramètres abiotiques

2. 1. Température (°C)

La température de l'eau Oued Nil trace une évolution stationnelle influencée directement par l'heure de prélèvement de l'échantillon et l'exposition au rayonnement solaire de la station échantillonnée. Les valeurs obtenues sont présentées par les histogrammes de la Figure 23.

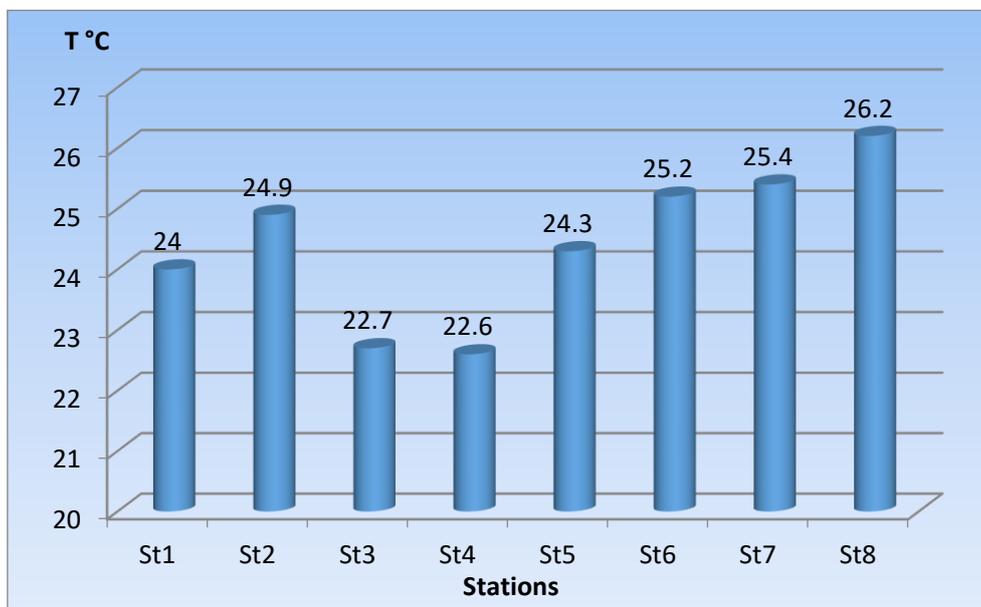


Figure 23. Variation de la température des eaux de l'Oued Nil en fonction des stations.

Comme il souligne Smruti, (2016), la lumière et la température sont deux facteurs limitants de la croissance algale. La température présente une légère augmentation de l'amont vers l'aval (de St1 vers St8), la valeur la plus basse (22,6°C) est au niveau de la station N°4 cette dernière est ombragée par des arbres d'aulne et de peuplier, et la valeur la plus élevée est au niveau de St8 (26,2°C) en aval qui se trouve très exposée au rayonnement solaire de même l'heure de prélèvement était 14h. Donc on peut expliquer ces fluctuations thermiques par les variations d'altitude, de la largeur et de la profondeur de la lame d'eau et sans doute l'heure de prélèvement et l'ombrage des stations. Ces variations ont sans doute un impact direct sur le développement et la diversité des populations algales et ce par leur grande influence sur l'activité photosynthétique.

Cependant les températures enregistrées indiquent que les eaux d'Oued Nil sont de qualité variée de l'amont en l'aval et ceci selon la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles établie par [Monod, \(1989\)](#) indiqué en ANNEXE I, la qualité des eaux de l'Oued Nil est moyenne à médiocre selon les stations.

2. 2. Potentiel Hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène ou le pH, caractérise l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. C'est un indicateur de la quantité et de la nature des ions minéraux en solution dans l'eau. Ce paramètre a une influence sur la croissance et le développement du phytoplancton ([Groga, 2012](#)).

Nous avons enregistré des valeurs de pH qui varient entre 7,41 et 8,63 (Figure 24). Ces valeurs indiquent que le pH est légèrement neutre à alcaline. Cette alcalinité serait probablement en relation avec la nature du terrain que traverse le cours d'eau de l'Oued Nil. D'après [Arrignon, \(1976\)](#), les valeurs du pH que nous avons enregistré dans les différentes stations se situent dans l'intervalle de tolérance pour la plupart des espèces aquatiques et favorise une bonne productivité du phytoplancton, ces valeurs permettent aussi de protéger et maintenir l'équilibre de la vie aquatique.

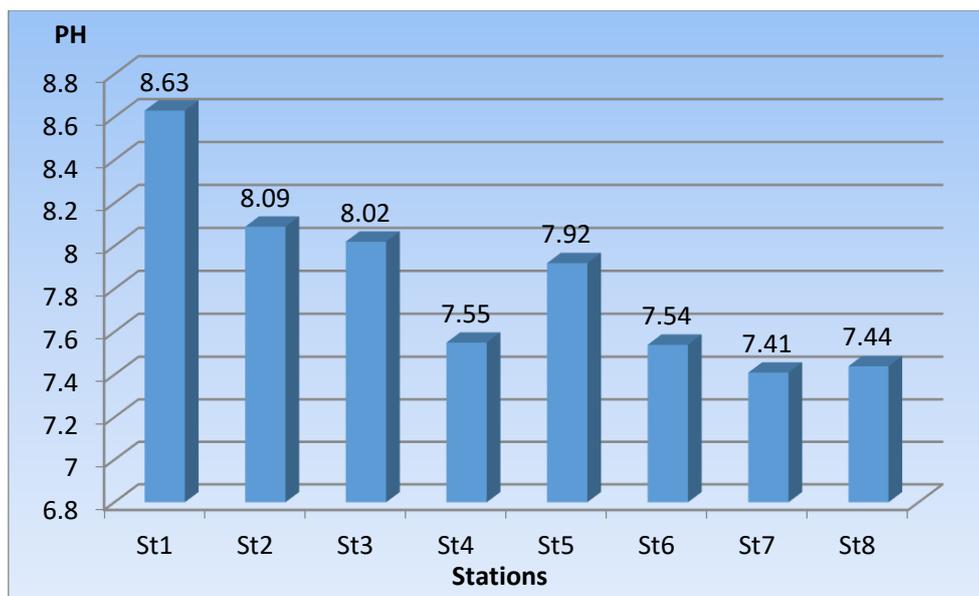


Figure 24. Variation du pH en fonction des stations.

2. 3. L'oxygène dissous

Les teneurs enregistrées en oxygène dissous exprimées en mg/l et % de saturation, sont très variables et principalement ne suivent pas une loi régulière, elles varient généralement en relation inverse avec la température de l'eau et l'activité photosynthétique des organismes aquatiques principalement le phytoplancton. En effet, les valeurs élevées sont enregistrées en amont de l'Oued dans St3 avec un maximum de 7,9 mg/l (Figure 25), marquant une saturation de 91.10 % (Figure 26).

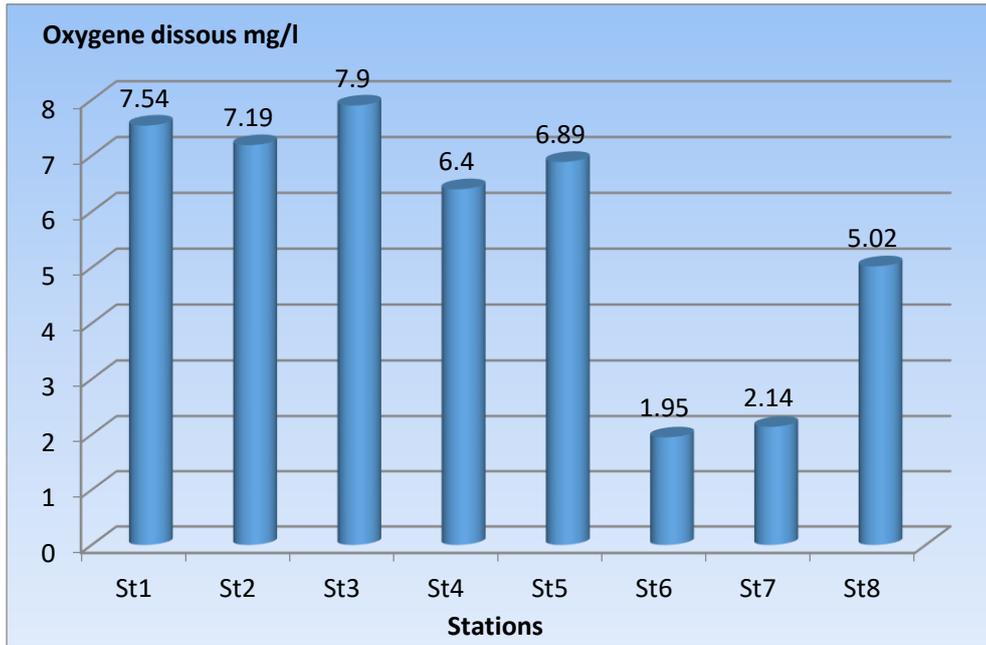


Figure 25. Variation de l'oxygène dissous en fonction des stations (exprimées en mg/l).

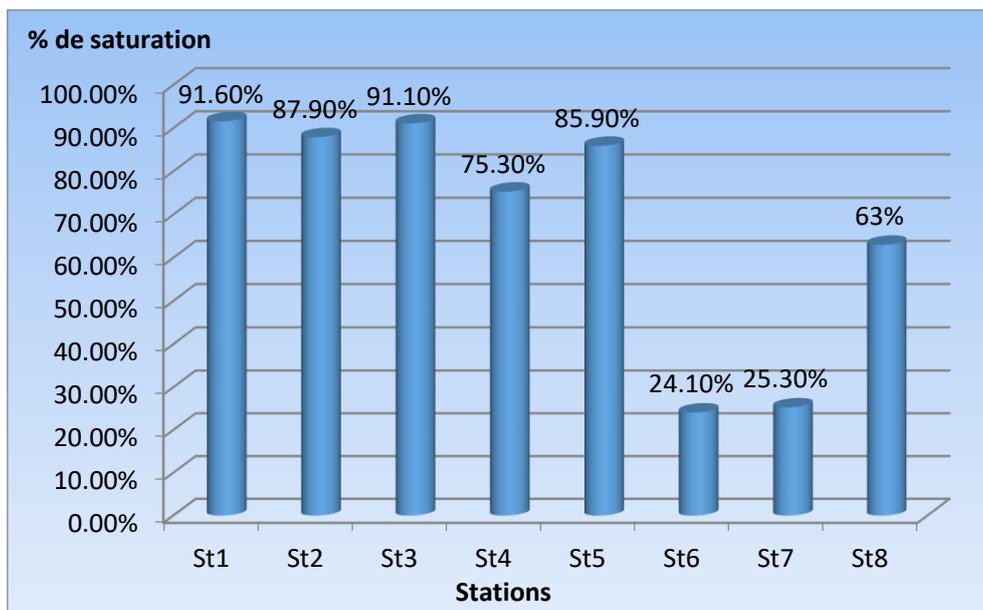


Figure 26. Variation de l'oxygène dissous en fonction des stations (exprimées en % de saturation).

Cependant, pendant la saison estivale, l'augmentation de la température de l'eau et le faible débit d'écoulement de l'Oued provoquent sans doute une diminution de la dissolution de l'oxygène dans l'eau, cette situation est aggravée par une augmentation de la consommation de l'oxygène par les organismes vivants dans le milieu ce qui peut conduire à un état d'asphyxie du milieu, ces conditions obligent le phytoplancton à flotter en surface et développer un biofilm algale comme le montre la photo de la Figure 20. Présentée dans la section conditions stationnelles.

2. 4. Conductivité électrique

La conductivité est une mesure générale de la qualité de l'eau, qui indique la quantité totale des sels dissous, autrement dit, la mesure de la conductivité électrique d'un échantillon d'eau nous renseigne sur le degré de minéralisation globale de l'eau (Rejsek, 2002). Les sels minéraux sont de bons conducteurs alors que la matière organique ne l'est pas. En général, plus la conductivité est élevée, plus il y a de minéraux dissous dans l'eau, les résultats obtenus sont présentés par la figure 27:

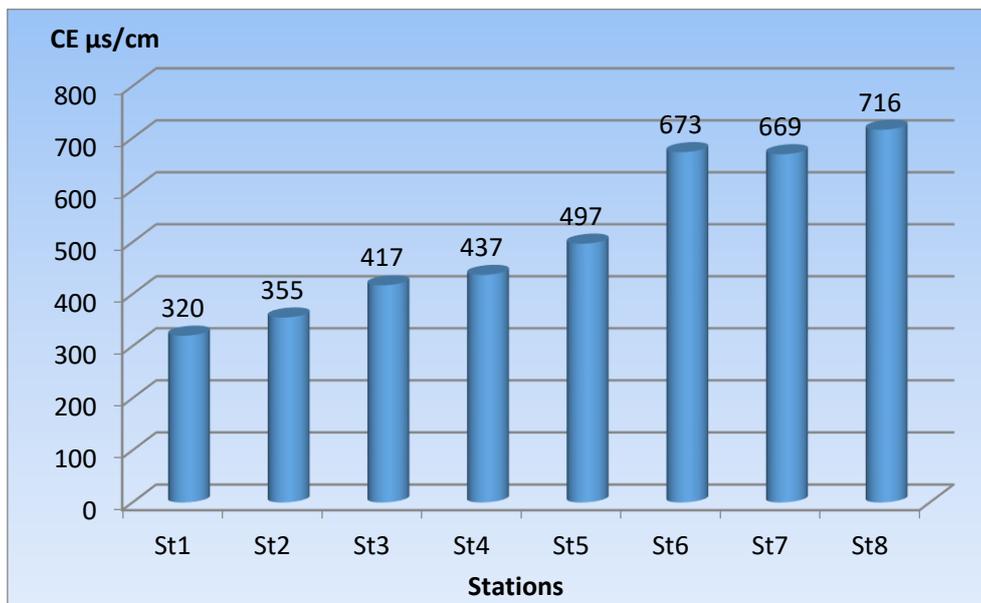


Figure 27. Variation de la conductivité électrique en fonction des stations.

On remarque qu'il y'a une minéralisation croissante de l'amont à l'aval de l'Oued Nil (St1 vers St8), cette minéralisation a une tendance à s'accroître suite aux rejets polluants d'origine domestique et agricole, observés aux alentours des stations de prélèvement, et les apports des affluents des différents Oueds.

2. 5. Eléments nutritifs

Les petits cours d'eau en amont ont un rôle prépondérant sur les écosystèmes situés en aval du réseau hydrographique puisqu'ils ont la capacité de retenir et transformer d'importantes quantités d'azote inorganique et organique. De plus les milieux agricoles, ont un impact d'autant plus important que l'épandage des fertilisants organiques et minéraux engendre un excédent de nutriments dans les sols par rapport aux besoins des cultures. Cet excédent aboutit dans les ruisseaux et les rivières principalement sous la forme de NO_3^- et NH_4^+ pour l'azote, et de PO_4^{3-} pour le phosphore. En effet, il est généralement admis que les nitrites s'oxydent facilement en nitrates et pour cela il se retrouve rarement en concentration importante dans les eaux naturelles (Corriveau, 2009).

L'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) est responsable de l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales, elle a donné une classification de la qualité des eaux selon les concentrations des éléments nutritifs (tableau 4).

Tableau 4. Grille de classification de la qualité des eaux de surface continentale naturelles en Algérie (Benkhedda et al., 2017).

	Bonne	Moyenne	Pollué	Excessivement pollué
NO ₃ ⁻ (mg/l)	≤ 10	10 - 20	20 - 40	> 40
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	≤ 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 3	> 3

2. 5. 1. Nitrate (NO₃⁻)

Les résultats des échantillons analysés indiquent la présence de nitrates avec des teneurs faible variant entre 0,106 mg/l et 1,249 mg/l (Figure 28).

En effet, les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique, ils se trouvent naturellement dans les eaux de surface et souterraines. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux (Rejsek, 2002). Les effets néfastes des teneurs élevées de nitrates sur le fonctionnement des écosystèmes se résume dans le développement du phénomène d'eutrophisation des eaux (Rejsek, 2002).

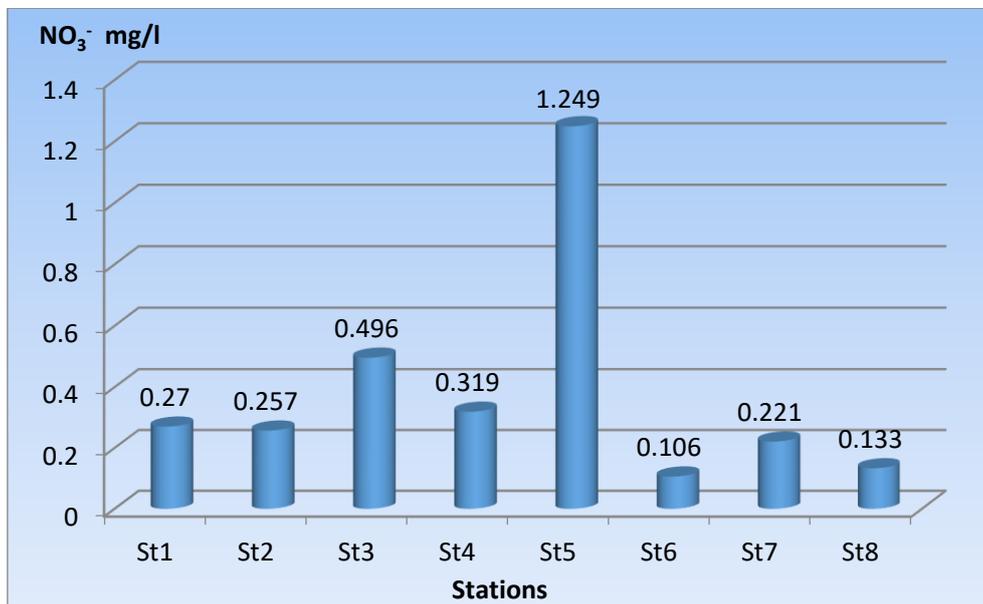


Figure 28. Les concentration des nitrates (NO₃⁻) en fonction des stations

La valeur du nitrate la plus basse est enregistrée dans la station St6 en aval et la valeur la plus élevée est notée en station St5 au milieu. La concentration en nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par des déchets d'origine humaine ou animale et les rejets urbains.

Dans la région d'étude l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates, avec des pratiques culturelles inadaptées comme l'élevage intensif des animaux (Ecurie, poulailler...) et une fertilisation azotée excessive des plantes cultivées dans la plaine du Nil à vocation cultures maraîchères sous serres comme le montre la photo Google Earth de la Figure 19.

De manière générale, nous pouvons dire que la qualité de l'eau des stations étudiées est bonne avec des concentrations de nitrate moins de 0.5 mg/l à part la station St5 qui a une concentration de 1.249 mg/l qui est plus élevée que les autres.

Selon la classification algérienne de la qualité des eaux de surface continentale naturelles en Algérie (tableau 4), on peut dire que la qualité de l'eau des stations d'Oued Nil est bonne (≤ 10 mg/l).

2. 5. 2. Orthophosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Selon [Rodier, \(2005\)](#), des teneurs en phosphate supérieures à 0,5 mg/l constituent un indice de pollution des eaux naturelles.

Dans les 8 stations d'Oued Nil, les teneurs des phosphates sont très faibles, elles varient de 0 mg/l (St1 - St5) à 0,00647 mg/l, la valeur la plus élevée est notée au niveau de station St7 (Figure 29).

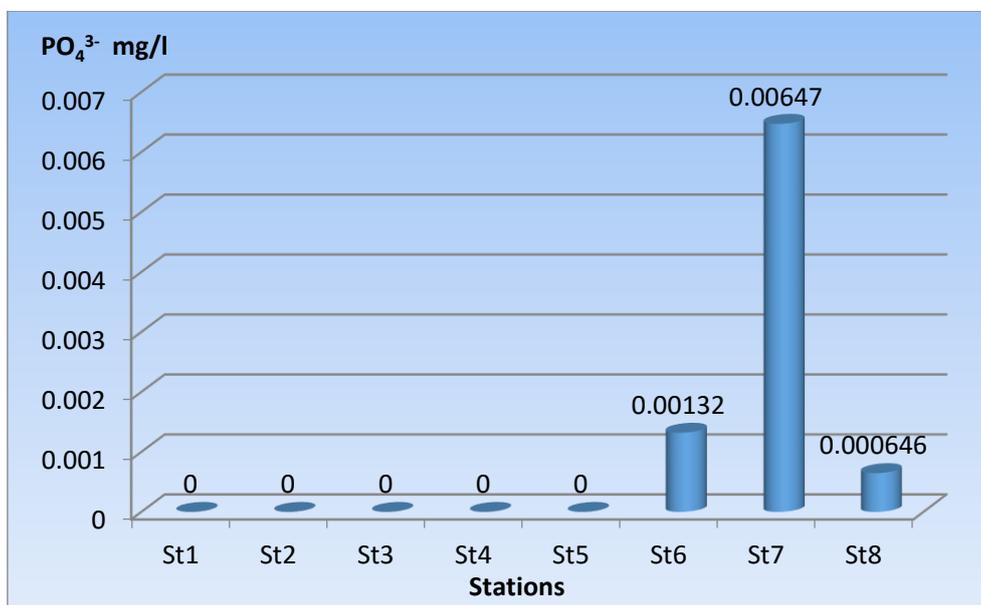


Figure 29. Les concentrations des phosphates (PO_4^{3-}) en fonction des stations

Par ailleurs, [Potellon, \(1998\)](#) rapporte que les teneurs de phosphates supérieures à 0,2 mg/l favorisent la prolifération des algues et des phytoplanctons et peuvent conduire à l'eutrophisation des lacs, des cours d'eau et il en résulte une véritable dégradation de la vie aquatique.

La norme algérienne à propos les teneurs de phosphates dans les eaux naturelles mentionné dans le tableau 4, indiquent que la qualité d'eau de toutes les stations étudiées est bonne avec des concentrations de phosphate ≤ 0.01 mg/l.

Les eaux de surface peuvent être contaminées par des rejets domestiques ou par le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ; malgré l'Oued Nil traverse une zones agricole nos résultats d'analyse montrent une faible teneur en phosphates, voir des teneurs nulle dans les stations en amont du cours d'eau, ceci peut être expliqué par la faible quantité d'engrais phosphaté utilisée et la rétention des phosphates par le sol.

3. Analyse en composante principale (ACP)

Application de l'ACP en utilisant les paramètres physico-chimiques de l'eau des différentes stations échantillonnées. L'analyse des résultats permet de constater que la majeure partie des informations est expliquée par les deux premiers axes factoriels. Les 2 axes pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables liées aux structures spatiales, détiennent à eux seuls 76,81% de l'information totale avec respectivement 61,90% pour l'axe 1 et 14,91% pour l'axe 2 (Figure 30).

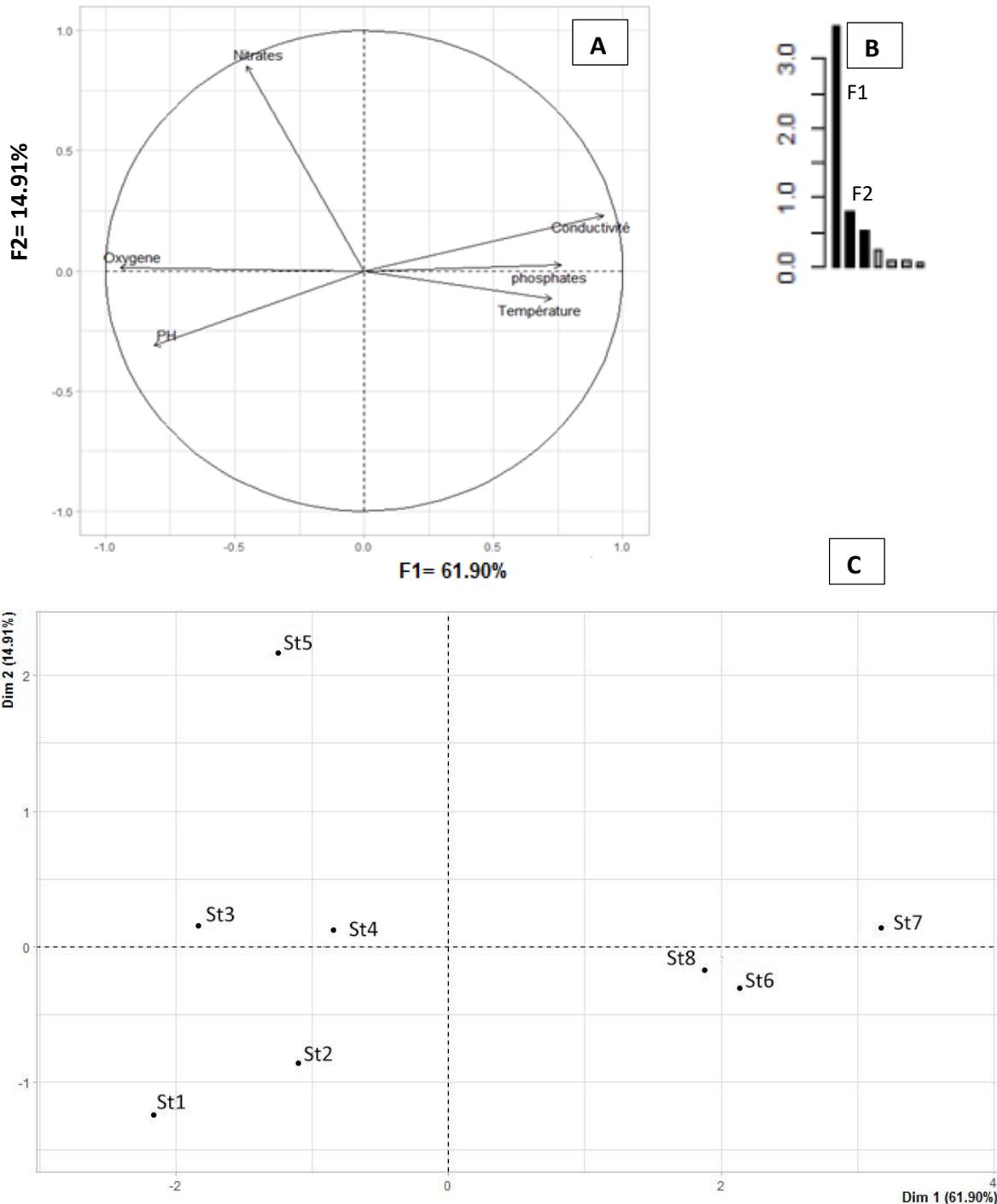


Figure 30. Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques de l'eau selon le plan (F1xF2). A : carte factorielle des variables ; B : Répartition de l'inertie entre les axes ; C : Carte factorielle des stations.

Dans le cercle de corrélation (Figure 30 A), la 1ère dimension (F1), contribuant avec 61,90 % d'inertie, cet axe oppose des paramètres de minéralisation (conductivité et phosphates) aux paramètres de l'oxygène dissous et le pH.

La 2ème dimension (F2) contribue avec une inertie de 14, 91 %, elle est définie par le paramètre : nitrates du côté positif. L'examen de la matrice de corrélation entre les variables révèle la présence : d'un premier ensemble de variables, constitué de variables bien corrélées négativement entre elles. Il s'agit de :

- ◆ pH avec les paramètres : conductivité et température
- ◆ Conductivité avec le pH, et l'Oxygène dissous
- ◆ Température avec l'Oxygène dissous
- ◆ Phosphates avec l'Oxygène dissous et le pH

Et d'un deuxième ensemble de variables constitué de variables bien corrélées positivement entre elles qui sont :

- ◆ l'Oxygène dissous et le pH
- ◆ Conductivité et la Température
- ◆ Phosphate et la Conductivité

La carte factorielle des stations montre que les eaux des stations 6, 7 et 8 sont beaucoup plus minéralisées que les stations qui se trouvent en amont du cours d'eau. Ces 3 stations sont les plus riches en différentes formes de sels dissous qui proviennent de différents affluents qui rejoignent l'Oued Nil.

Le 1er axe factoriel oppose ces 3 stations au station (St1, St2, St3, St4) qui se caractérisent par des paramètres (pH, Oxygène), la station 5 se caractérise par la plus élevée des nitrates qui est probablement due à sa proximité de poulailles, elle est fortement corrélée au 2ème axe.

3. 1. Structure typologique

La structure typologique dégagée par le plan F1xF2 (Figure 31) montre l'individualisation de trois groupements des espèces le long d' Oued Nil.

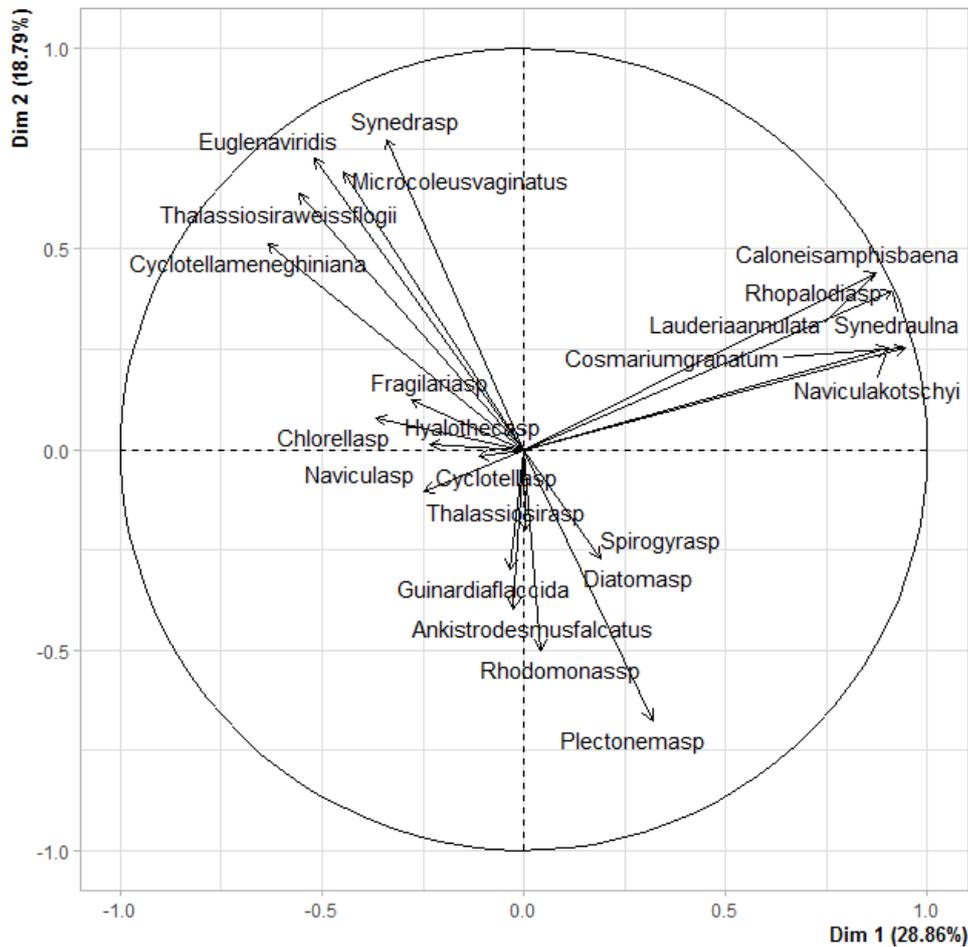


Figure 31. Carte espèce F1xF2.

Ces groupements des espèces sont les suivants :

- Groupement des espèces nitrophiles (milieu riche en azote) :
Euglena viridis ; *Cyclotella meneghiniana*.
- Groupement des espèces minéralophiles (milieu pauvre en matière organique) :
Synédra ulna ; *Cosmarium granatum*.
- Groupement des espèces mésophiles (milieu moyenne) :
Thalassiosira sp. ; *Hyalotheca sp.*

Conclusion
et
Perspectives

Ce travail *in situ* et au laboratoire constitue une étape essentielle à la compréhension du fonctionnement de notre hydrosystème lotique soumis à différentes pressions anthropiques. Cette étude a permis d'étayer certaines connaissances sur le fonctionnement écologique du cours d'eau du Nil à caractère intermittent. En effet, la dynamique des groupements algaux est fortement liée aux variations des facteurs abiotiques ces derniers sont dépendant des variations saisonnières.

L'inventaire phytoplanctonique a révélé la présence de 23 taxons appartenant à 16 familles taxonomiques. Dans les huit stations les Bacillariophyceae ou Diatomophycées sont le groupe le plus fréquent et le plus abondant. Ce dernier est le composant phototrophique dominant dans beaucoup d'environnements d'eau douce, leur diversité indique une bonne qualité des eaux d'où l'indice diatomée utilisé pour évaluer la qualité des eaux de surface.

Les éléments abiotiques montrent des affinités positives avec l'abondance des espèces phytoplanctonique, traduisant une faible pollution organique dans certaines stations (St5, St6, St7, St8).

Le résultat montre des teneurs en éléments nutritifs qui ne sont pas encore alarmantes mais la situation risque de s'aggraver avec les différents apports de pollution qui ne cesse d'augmenter en allant de la première station St1 qui se trouve en amont vers la station la plus en aval St8 à l'embouchure.

L'Analyse en Composantes Principales en utilisant les paramètres physico-chimiques et la répartition des espèces sur l'ensemble des stations échantillonnées nous a permis de différencier une zonalité de la qualité de l'eau du cours d'eau. La qualité de ces eaux varie d'une station à l'autre en fonction des différents apports et affluents. En effet, l'ACP nous a permis aussi de décrire la structure par gradients de minéralisation de l'amont vers l'aval du cours d'eau

Ce travail confirme par ailleurs tout l'intérêt que revêt la dynamique des populations algales dans l'appréciation de la qualité de l'eau de ces écosystèmes particuliers (Oued Nil à écoulement intermittent). Ainsi nous suggérons des études ultérieures étendues sur un cycle annuel pour une bonne évaluation de la structure et la dynamique des communautés de phytoplancton.

Références Bibliographiques

A

Abdennadher, M. (2014). Étude Taxonomique & Écophysiological des dinoflagellés toxiques du Golfe de Gabès : *Alexandrium minutum*, *Prorocentrum lima*, *Coolia* spp. & *Ostreopsis ovata*. Sciences Biologiques, SFAX. Thèse de doctorat. 10-12p.

Alvain, S. (2005). Étude de la distribution des principaux groupes de phytoplancton par télédétection satellitaire: Développement de la méthode PHYSAT à partir des données GeP et CO et application à l'archive SEAWIFS entre 1998 et 2004. thèse de doctorat. Spécialité : Climatologie. Université Paris-Diderot .p. 23.

Archibald, J.M., Simpson, A.G.B., Slamovits, C.H. (2017). Handbook of the Protists, Springer, 1-65p.

Arrignon, J. (1976). Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Ed Gauthier-Villard, Paris, 329 p.

B

Barberousse, H. (2006). Etude de la diversité des algues et des cyanobactéries colonisant les revêtements de façade en France et recherche des facteurs favorisant leur implantation. Ecologie, Environnement. Museum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS. Français. 24p.

Bellinger, E.G. et Sigeo, D.C. (2010). A Key to the More Frequently Occurring Freshwater Algae. In : Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. 137-244p.

Benkhedda, B., Belguermi, A., Achour, T. (2017). Protection des eaux de surfaces continentales en algerie : quelle strategie faut-il adopter pour les dix prochaines annees ?. Larhyss journal. 7-17p.

Bensafia, N. (2005). Les peuplements de Cyanobacteries de deux plans d'eau douce (lac oubeira, lac tonga inventaire et dynamique spatiotemporelle. Département des sciences de la mer, Université Badji-Mokhtar, Annaba. Magister en Sciences de la Mer. 110p.

Berner, T., Dubinsky, Z., Wyman, K., Falkowski, P.G. (1989). Photoadaptation and the "package" effect in *Dunaliella tertiolecta* (chlorophyceae). J. Phycol. 25, 70-78p.

Bouamra, F. et Hadj A.B. (2004). Contribution a l'inventaire qualitatif des Algues dans la region de Ouargla. Mémoire d'ingénieur d'Etat en biologie. Université de Ouargla. 88p.

Bourrelly, P. (1964). Les algues des eaux courantes de Madagascar, SIL Proceedings, 1922-2010, 15:2, 758-763p.

Burel, T. (2020). Effet de l'hydrodynamisme sur la structure des communautés macroalgales et sur les interactions macroflore / macrofaune en zone intertidale. *Ecologie, Environnement*. Université de Bretagne occidentale - Brest. Français. 135-150p.

C

Cadier, M. (2016). Diversité des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux en mer d'Iroise : approche par la modélisation 3D, Bretagne occidentale. doctorat: 338p.

Callow, M.E., Jennings, A.R., Brennan, A.B., Seegert, C.E., Gibson, A., Wilson, L., Feinberg, A., Baney, R., Callow, J.A. (2002). Microtopographic cues for settlement of zoospores of the green fouling alga *Enteromorpha*. *Biofouling* 18: 237-245p.

Cardinale, B.J., Srivastava D.S., Duffy, J.E., Wright, J.P., Downing, A.L., Sankaran, M., Jouseau, C. (2006). "Effects of Biodiversity on the Functioning of Trophic Groups and Ecosystems." *Nature* 443, no. 7114 : 989-992p.

Caruana, A. (2010). DMS and DMSP production by marine dinoflagellates. *Environmental Sciences*, Université de East Anglia. 305 p.

Cavalla, M. (2000). les algues et les micro-algues.

Cécile, B. (2014). Les cyanobactéries et leurs toxines, *Revue Francophone des Laboratoires*, Volume 2014, Issue 460, 2014, 53-68p, ISSN 1773-035X,

Chisholm, S. W. (1992). "Phytoplankton Size Primary Productivity and Biogeochemical Cycles" in *the Sea*. Springer US, 213-237p.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.* 25 294-306.

Corcoran, A. A. et Boeing W.K. (2012). "Biodiversity Increases the Productivity and Stability of Phytoplankton Communities." *PLoS One* 7, no. 11 : e49397, 01-03p.

Corriveau, J. (2009). Étude des concentrations toxiques de nitrite dans les cours d'eau d'un bassin versant agricole. Thèse de doctorat en sciences de l'eau. Université du Québec, INRS-ETE.

D

Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Convers. Manage.* 50 14-34p.

Denny, M. (2014). Biology and the mechanics of the wave-swept environment. Princeton University Press, 329p.

Doré-Deschênes, F. (2009). utilisation des microalgues comme source d'énergie durable. en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. Centre Universitaire de Formation en Environnement. Université De Sherbrooke. Canada. 40p.

Dowd, Mary. (2019). "How Do Phytoplankton Reproduce?" sciencing.com, <https://sciencing.com/phytoplankton-reproduce-4913871.html>. 2 April 2022

Dubinsky, Z., Matsukawa, R., Karube, I. (1995). Photobiological aspects of algal mass culture. J. Mar. Biotechnol.2, 61–65p.

E

Eikrem, W., Medlin, K.L., Henderiks, J., Rokitta, S., Rost, B., Probert, I., Throndsen, J., Edvardsen, B. (2017). Haptophyta In : Archibald J.M , Simpson A.G.B et Slamovits C.H , Handbook of the Protists , Springer. 893-954p.

Eppley, R.W. (1972). Temperature and phytoplankton growth in the sea. FISHERY BULLETIN. Vol. 70, 4, 1063- 1085p.

F

Falkowski, P.G., Laws, E.A., Barber, R.T., Murray, J.W. (2003). Phytoplankton and Their Role in Primary, New, and Export Production. In: Fasham, M.J.R. (eds) Ocean Biogeochemistry. Global Change — The IGBP Series (closed). Springer, Berlin, Heidelberg 99-100p.

Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. Science 281: 237–240p.

Furnas, Miles J. (1990). In situ growth rates of marine phytoplankton: approaches to measurement, community and species growth rates. , 12(6), 1117–1151.

G

Godhe, A., Rynearson, T. (2017). The role of intraspecific variation in the ecological and evolutionary success of diatoms in changing environments. Philos. Trans. R. Soc. B. 372: 20160399.

Groga N. (2012). Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse Université de Toulouse, 180p.

H

Harper, M., Cassie, V.C., Chang, F., Nelson, W., Broady, P. (2012). Phylum Ochrophyta: brown and golden-brown algae, diatoms, silicoflagellates, and kin. in : New Zealand Inventory of Biodiversity, Vol. 3, Kingdoms Bacteria, Protozoa, Chromista, Plantae, Fungi 114-163p.

Hoef-Emden, K. et Archibald M.J. (2017). Cryptophyta in : Archibald J.M , Simpson A.G.B et Slamovits C.H , Handbook of the Protists , Springer. 851-892p.

Hu, Q. (2004). Environmental effects on cell composition In : Richmond, A. Handbook of Microalgal Culture - Biotechnology and Applied Phycology Blackwell Publishing Ltd, 566p.

Huston, M. (1979). A General Hypothesis of Species Diversity. The American naturalist 113, 81-101p.

I

Iltis, A. (1980). Les algues. In : Durand Jean-René (ed.), Lévêque Christian (ed.). Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne : tome 1. Paris : ORSTOM, 9-61p.

J

Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W. (1997). Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods. Monographs on Oceanographic Methodology. 661p.

Juneja, Ankita., Ceballos, R., Murthy, G. (2013). Effects of Environmental Factors and Nutrient Availability on the Biochemical Composition of Algae for Biofuels Production: A Review. Energies, 6(9), 4607–4638p.

K

Kazbar, A., Cogne, G., Urbain, B., Marec, H., Le-Gouic, B., Tallec, J., Takache, H., Ismail, A., Pruvost, J. (2019). Effect of dissolved oxygen concentration on microalgal culture in photobioreactors, in Algal Research Volume 39, , 22-25p 101432, ISSN 2211-9264.

Keller, A. (1988). Estimating phytoplankton productivity from light availability and biomass in the MERL mesocosms and Narragansett Bay. Marine Ecology Progress Series. Vol. 45, 1-2, 159-168p.

Kesaano, M., Sims, R.C. (2014). Algal biofilm based technology for wastewater treatment, Algal Res. 5 231-240

Kim, H. (2018). Diversity of phytoplankton species in Cheonjin Lake, northeastern South Korea. j ecology environ 42, 29p.

L

- Lalli, M.C. et Parsons, R.T. (1997).** Biological Oceanography: An Introduction (Second Edition), Butterworth-Heinemann, ISBN 9780750633840.
- Laplace-Treyture, C., Peltre, M.-C., Lambert, E., Rodriguez, S., Vergon, J.-P., Chauvin, C. (2014).** Guide pratique de détermination des algues macroscopiques d'eau douce et de quelques organismes hétérotrophes.
- Leavitt, P.R., Findlay, D.L., Hall, R.I., Smol, J.P. (1999).** Algal responses to dissolved organic carbon loss and pH decline during whole-lake acidification: Evidence from paleolimnology. *Limnol. Oceanogr.*, 44(3, part 2): 757–773p.
- Lehtihet, A.M. (1983).** Étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Nil (Région de Jijel). Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger, 67p
- Levine S.N., Borchardt M.A., Braner M., Shambaugh A.D. (1999).** The Impact of Zooplankton Grazing on Phytoplankton Species Composition and Biomass in Lake Champlain (USA-Canada), *Journal of Great Lakes Research*, Volume 25, Issue 1, 1999, 61-77P, ISSN 0380-1330.
- Lucchetti, A. (2014).** Modélisation et conception d'un système de culture de microalgues. Génie des procédés. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris,. Français. NNT : 2014ENMP0048. 16-18p.

M

- Mann, D.G. (1999).** The species concept in diatoms. *Phycologia*, 38, 437–495p.
- Margalef, R. (1961).** Fitoplancton de las costas de Puerto Rico. *Investigación*. 6, 39-52p.
- Marshal, H. G. (1987).** Identification Manual for Phytoplankton of the United States Atlantic Coast. 132p.
- McGill, B.J., Enquist. B.J., Weiher, E., Westoby. M. (2006).** Rebuilding Community Ecology from Functional Traits. *Trends Ecol Evol* 21, no. 4 : 178-185p.
- Monod, T. (1989).** Méharées géographie. France loisire. 233p.
- Moroney, J.V., Jungnick, N., DiMario, R.J., Longstreth, D.J. (2013).** Photorespiration and carbon concentrating mechanisms: two adaptations to high O₂, low CO₂ conditions. *Photosynth Res* 117, 121–131p.
- Muraille, E. (2018).** Diversity generator mechanisms are essential components of biological systems: the two queen hypothesis. *Front. Microbiol.* 9: 223.

O

Oliveira C.Y.B., Oliveira C.D., Müller M., Santos E., Dantas, D.M.D., Galvez A. (2020). A Scientometric Overview of Global Dinoflagellate Research. Publications. 8. 50p.

P

Palmer, C.M. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution, *Phycol*; 5: 78-82p.

Pandit, P.R., Fulekar, M.H., Karuna, M.S.L. (2017). Effect of salinity stress on growth, lipid productivity, fatty acid composition, and biodiesel properties in *Acutodesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24 (2017), 13437-13451p.

Peerapornpisal, Y., Pekkoh, J., Powangprasit, D., Tonkhamdee, T., Hongsirichat, A., Kunpradid, T. (2007). Assessment of water quality in standing water by using dominant phytoplankton (AARL-PP score), *J. Fisheries Technol. Res.*; 1(1): 71-81p.

Pendersen, M.F., Hensen, P.J. (2003). Effects of high pH on the growth and survival of six marine heterotrophic protists. *Mar Ecol Prog Ser. Vol. 260*: 33–41p.

Person J. (2011). Algues, filières du futur. Edition: Adebitech Romainville.France.182p.

Price, D.C., Steiner, J.M., Yoon, H.S., Bhattacharya D. (2017). Glaucophyta . In : Archibald J.M, Simpson A.G.B et Slamovits C.H , *Handbook of the Protists* , Springer. 23-88p.

Priso, R.J., Oum, G.O., Ndongo, D. (2012). Utilisation des macrophytes comme descripteurs de la qualité des eaux de la rivière Kondi dans la ville de Douala (Cameroun-Afrique Centrale). *J. Appl. BioSci.*, 53: 3797-38911.

Prygiel, J., Coste, M. (2000). Guide methodologique pour la mise en oeuvre de l'indice biologique diatomees, NF T 90-354 340p.

Ptacnik, R., Solimini, A.G., Andersen, T., Tamminen, T., Brettum, P., Lepisto, L., Willen, E., Rekolainen, S. (2008). Diversity Predicts Stability and Resource Use Efficiency in Natural Phytoplankton Communities. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105, no. 13 : 5134-5138p.

R

Raso, S., Genugten, B., Vermuë M., Wijffels, R.H. (2012). Effect of oxygen concentration on the growth of *Nannochloropsis* sp. at low light intensity. *J Appl Phycol* 24, 863–871p.

Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série : Sciences et techniques de l'environnement. Paris, 360p.

- Reviere, B. (2002).** Biologie et phylogénie des algues. tome 1. Edition .Belin .Paris. 225P.
- Reviere, B. (2004).** Biologie et phylogénie des algues. tome 2. Edition .Belin .Paris. 225P.
- Reynolds, C.S., Padisak, J., Sommer, U. (1993).** "Intermediate Disturbance in the Ecology of Phytoplankton and the Maintenance of Species Diversity: A Synthesis." *Hydrobiologia* 249 : 183-188p.
- Reyssac, J. (1966).** Quelques données sur la composition et l'évolution annuelle du phytoplancton au large d'Abidjan (mai 1964 - mai 1965). Off. Rech. scient, tech. Outre-Mer, (O.R.S.T.O.M.) Dec. scient, prov. 003, 1-31p.
- Rhee, G-Y. (1982).** Effects of environmental factors and their interactions on phytoplankton growth. *Advances in Microbial Ecology*. Vol. 6, 33-74p.
- Rodier J. (2005).** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8ème Ed. DUNOD. Paris.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009).** L'analyse de l'eau. 9ème Ed. DUNOD. Paris, 326, 345p.

S

- Sahoo, D. et Seckbach, J. (2015).** General Characteristics of Algae. In: *The Algae World*. Springer New York Dordrecht Heidelberg, London, 2015. P: 10-32- 35- 51- 308.
- Sakset, A. et Chankaew W. (2012).** Phytoplankton as a Bio-indicator of Water Quality in the Freshwater Fishing Area of Pak Phanang River Basin (Southern Thailand). *Rajamangala University of Technology Srivijaya*. 344-355p.
- Sharma, O.P. (1986).** Textbook of Algae. Tata McGraw-Hill Education, 1986. P: 22-23
- Sheath, R.G. et Wehr, J.D. (2015).** Introduction to the Freshwater Algae. In: Wehr J.D, Sheath R.G et Kociolek J.P, *Freshwater Algae of North America* , Academic Press, San Diego, 1- 11p.
- Singh, J.S., Pandey, V.C., Singh, D.P. (2011).** Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development, *Agric. Ecosyst. Environ.* 140 (3-4) 339-353
- Singh, P.K. (1974).** Effect of pH on Growth and Nitrogen Fixation in *Aphanothece* (Cyanophyta). *Oikos* 25 (1):114-116p.
- Smith, V.H. (2007).** "Microbial Diversity-Productivity Relationships in Aquatic Ecosystems." *FEMS Microbiol Ecol* 62, no. 2: 181-186p.

Smruti, S. (2016). A Review of Phytoplankton Ecology in Freshwater Rivers and Lakes India International Journal of Science Technology & Engineering 3: 19-21p.

Sournia, A. (1969). Cycle annuel du phytoplancton et de la production primaire dans les mers tropicales. , 3(4), 287–303p.

Sousa, C., Compadre, A., Vermuë, M.H., Wijffels, R.H. (2013). Effect of oxygen at low and high light intensities on the growth of *Neochloris oleoabundans*. Algal Res 2, 122–126p.

Strong, D.R. (2010). Evidence and inference: shapes of species richness-productivity curves. Ecology 91, 2534–2535p.

T

Terada, A., Yuasa, A., Tsuneda, S., Hirata A., Katakai, A., Tamada, M. (2005). Elucidation of dominant effect on initial bacterial adhesion onto polymer surfaces prepared by radiation-induced graft polymerization. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 43: 99-107p.

Thapa, S., Bharti, A., Prasanna, R. (2017). Algal Biofilms and Their Biotechnological Significance. In : Rastogi Rajesh Prasad, Madamwar Datta, Pandey Ashok (2017) Algal Green Chemistry. 285-303p. ISBN 9780444637840.

Thronsen, J. (1978). Preservation and storage. In Sournia. [Ed.] Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology 6. Unesco, Paris, 69-74p.

Thyssen, M., Mathieu, D., Garcia, N., Denis, M. (2008). Short-term variation of phytoplankton assemblages in Mediterranean coastal waters recorded with an automated submerged flow cytometer. Journal of Plankton Research. Vol. 30, 9, 1027–1040p.

Y

Yoon, H.S., Nelson, W., Lindstrom, C.S., Boo, S.M., Poeschel, C., Qiu, H., Bhattacharya, D. (2017). Rhodophyta. In : Archibald J.M , Simpson A.G.B et Slamovits C.H , Handbook of the Protists, Springer. 89-134p.

Les sites web :

AlgaeBase. Des données de taxonomie sur les espèces d'algues, [en ligne], disponible sur < <https://www.algaebase.org/browse/taxonomy> >. (10/05/2022).

Google earth. Situation géographique de l'Oued Nil, un cour d'eau dans la de la wilaya de Jijel. [en ligne], disponible sur < <https://earth.google.com> >. (29/06/2022).

Annexes

Annexe I

Grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles (d'après Monod, 1989)

Température	Qualité	Class
<20°C	Normale	1A
20°C – 22°C	Bonne	1B
22°C – 25°C	Moyenne	2
25°C – 30°C	Médiocre	3
> 30°C	Mauvaise	4

Annexe II

Protocole de dosage de Nitrate :

∞ Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique.

∞ Matériel :

- Capsule de 60 mL environ.
- Bain-marie.

∞ Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 1% à renouveler toutes les 24 heures.
- Acide sulfurique concentré (d= 1.84).
- Solution d'hydroxyde de sodium :

Hydroxyde de sodium		200 g
Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique		50 g
Eau permutée	q.s.p.	1000 ml

Dissoudre avec précaution l'hydroxyde de sodium dans 80 ml d'eau permutée ; jouter le sel sodique EDTA. Après dissolution et refroidissement. Transvaser la solution dans une fiole jaugée, ajuster le volume à 100 ml. Conserver cette solution dans un flacon de polyéthylène.

- Solution d'azoture de sodium

Azoture de sodium		50 mg
Eau permutée	q.s.p.	100 ml

- Solution mère étalon d'azote de nitrique à 100 mg/l

Nitrate de potassium anhydre		722 mg
Eau permutée	q.s.p.	1000 ml

À renouveler tous les deux mois

- solution fille étalon d'azote nitrique à 5 mg/L.

Amener 50 ml de la solution mère à 1000 ml avec l'eau permutée

∞ Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement

Numéro des capsules	T	I	II	III	IV
Solution fille étalon d'azote nitrique 0.5mg/ml (ml)	0	1	2	5	10
Eau permutée (ml)	10	9	8	5	0
Correspondance en mg/L d'azote nitrique	0	0.5	1	2.5	5
Solution d'azoture de sodium (ml)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Acide acétique	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Attendre 5 minutes puis évaporer à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80 °C (ne pas surchauffer ni chauffer trop longtemps). Ajouter 1 mL de solution de salicylate de sodium, mélanger puis évaporer. Laisser refroidir.

Reprendre le résidu par 1ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau permutée puis 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm. Soustraire des unités d'absorbance, lues pour les étalons, la valeur pour le témoin.

Construire la courbe d'étalonnage

∞ Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau dans une capsule de 60 ml des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/l, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau permutée. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

∞ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO₃), multiplier ce résultat par 4,43.

Annexe III

Protocole de dosage de Phosphate :

∞ Principe :

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

Certaines formes organique pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

∞ Réactifs

- solution d'acide sulfurique ($d=1,84$) à 15% environ en volume.
- solution de molybdate d'ammonium à 40 g/l.

Molybdate d'ammonium tétrahydraté		20 g
Eau permutée	q.s.p.	500 ml

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4°C.

- solution d'acide ascorbique à 20 g/l

Acide ascorbique		2 g
Eau permutée	q.s.p.	100 ml

À préparer chaque jour

- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/l.

Tartrate double d'antimoine et de potassium		0.28 g
Eau permutée	q.s.p.	100 ml

- Réactifs combiné :

Solution d'acide sulfurique		50 ml
Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium		5 ml
Solution de molybdate d'ammonium		15 ml
Eau permutée	q.s.p.	100 ml

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4°C.

- Solution mère étalon à 50 mg/l de phosphore :

Dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100 °C		219.7 mg
Eau permutée	q.s.p.	100 ml

Acidifier de la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

- Solution fille étalon à 1 mg/l de phosphore.

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau permutée au moment de l'emploi.

∞ **Etablissement de la courbe d'étalonnage**

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml

Numéro des capsules	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à 1 mg (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau permutée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en milligrammes de phosphore	0	0.001	0.005	0.010	0.015	0.020

Introduire dans chaque fiole 1ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm.

Construire la courbe d'étalonnage.

∞ **Mode opératoire**

Vérifier le PH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter de solution, d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.

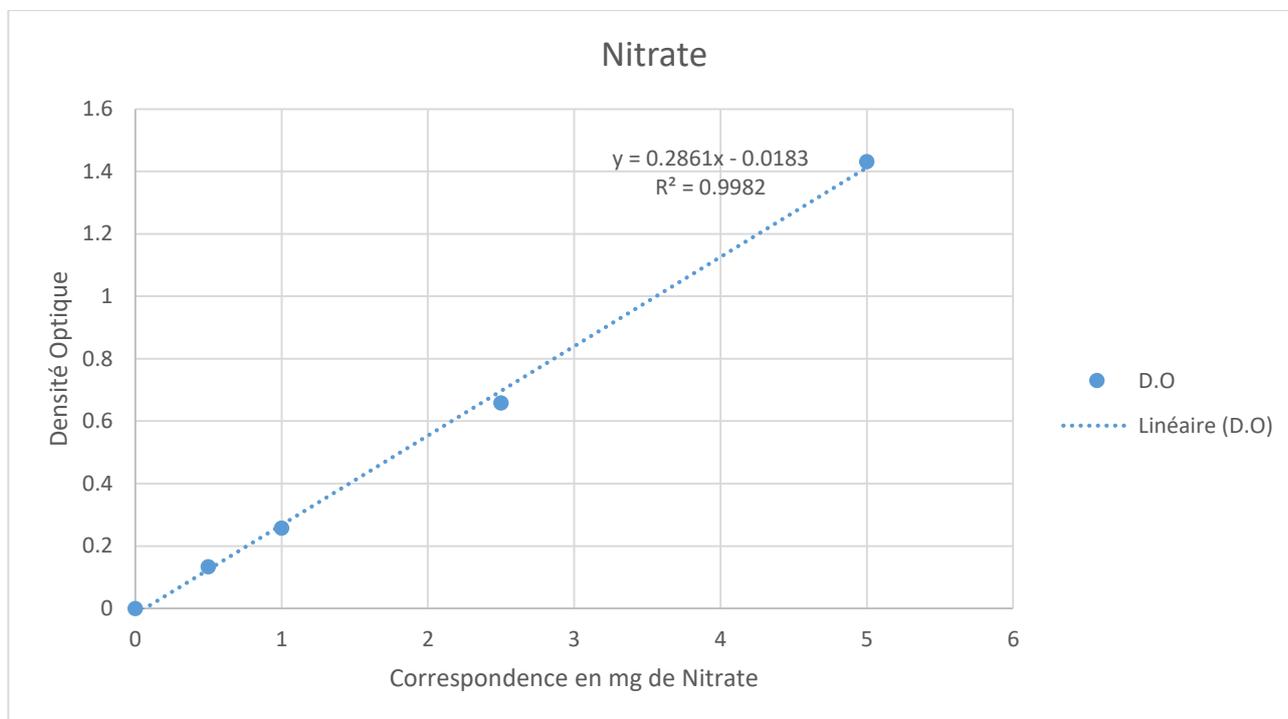
∞ **Expression des résultats**

La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

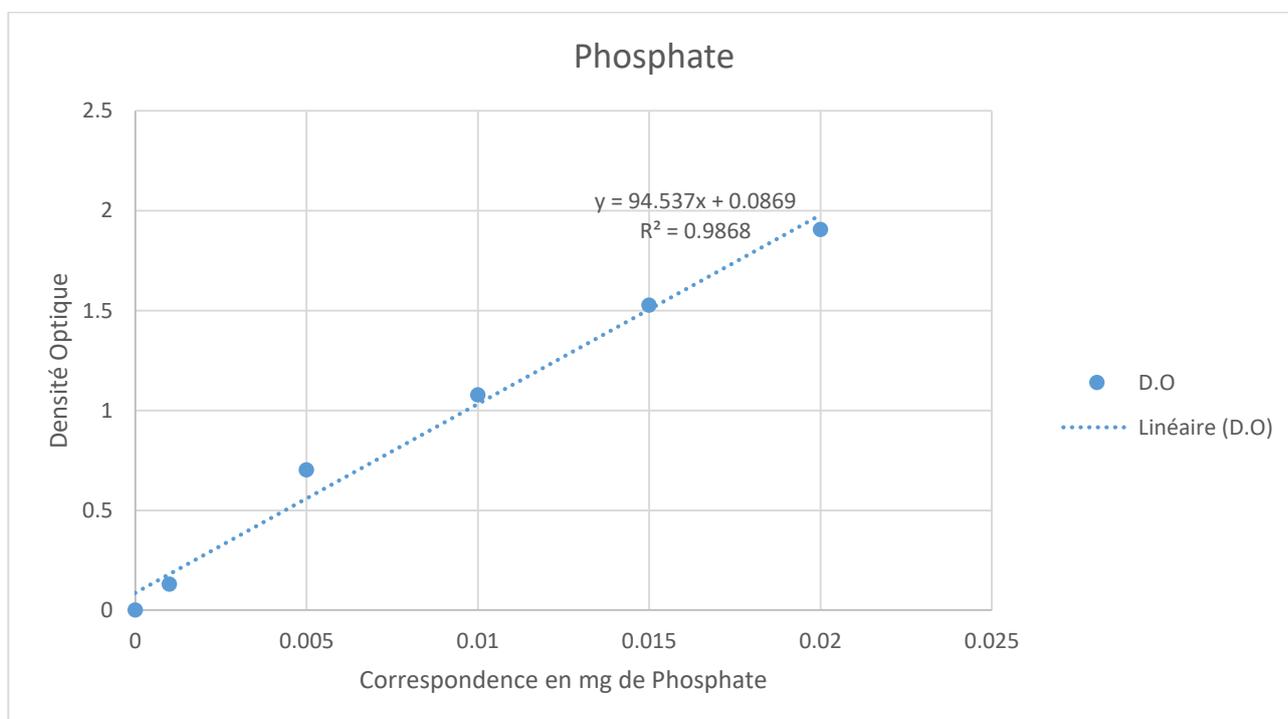
Annexe IV

Courbes d'étalonnage :

∞ Courbe d'étalonnage de Nitrate :



∞ Courbe d'étalonnage de Phosphate :



Impact des paramètres physico-chimiques sur la structure du phytoplancton des cours d'eau intermittents

Préparé par : M^r HANNACHE Khaled
M^{elle} GAREF HOUDA

Résumé :

Les phytoplanctons occupent la plupart des niches écologiques, ces entités biologiques sont considérés comme la base des réseaux trophiques qui soutiennent la quasi-totalité des populations aquatiques. De ce fait, pour ce travail qui concerne le cours d'eau intermittent de l'Oued Nil, huit points de prélèvement (station) ont été sélectionnés. Le prélèvement des échantillons a été accompagné par des mesures des paramètres physico-chimique pour chaque station, qui inclut la Température, le pH, l'Oxygène dissous et même la Conductivité électrique.

Un total de 23 taxons ont été identifiés pendant l'inventaire du phytoplancton. L'analyse physico-chimique a montré que les eaux de 8 stations présentent une qualité de moyenne à bonne par rapport aux descripteurs : T, pH, CE, l'oxygène dissous, et même pour quelques éléments nutritifs (nitrates : NO₃⁻ et phosphates : PO₄³⁻).

L'Analyse en Composantes Principales ou ACP a montrée qu'il y a une zonalité de la qualité de l'eau du cours d'eau en fonction des différents apports et affluents. Il nous a permis aussi de décrire la structure par gradients de minéralisation de l'amont vers l'aval du cours d'eau. L'ACP montre aussi l'individualisation de trois groupements des espèces le long d' Oued Nil (nitrophiles ; mésophiles ; minéralophiles).

Mots clés : Phytoplanctons, Oued Nil, Eau à écoulement intermittent, Paramètres physico-chimiques.

Abstract :

Phytoplanktons occupy most ecological niches, these biological entities are considered the basis of food webs that support almost all aquatic populations. Therefore, for this work which concerns the intermittent watercourse of the Oued Nil, eight sampling points (station) were selected. The sampling was accompanied by the measurements of some physico-chemical parameters for each station, which includes temperature, pH, dissolved oxygen and even electrical conductivity.

A total of 23 taxa were identified during the phytoplankton inventory. The physico-chemical analysis showed that the waters of 8 stations have a quality of average to good compared to the descriptors: T, pH, EC, dissolved oxygen, and even for some nutrients (nitrates: NO₃⁻ & phosphates: PO₄³⁻)

The Principal Component Analysis or PCA has shown that there is a quality zonation for this watercourse, according to the different inputs and tributaries. It also allowed us to describe the structure by mineralization gradients from upstream to downstream of the river. The PCA also shows the individualization of three groups of species along the Oued Nil (nitrophiles; mesophiles; mineralophiles).

Key words : Phytoplanktons, Oued Nil, Water of intermittent flow, Physico-chemical parameters.

الملخص :

تحتل العوالق النباتية معظم المأوى البيئية ، تعتبر هذه الكيانات البيولوجية أساس الشبكات الغذائية في اغلب الأنظمة المائية. لذلك ، بالنسبة لهذا العمل الذي يتعلق بالمجرى المائي المتقطع لوادي النيل ، تم اختيار ثماني نقاط لأخذ العينات (محطات). وقد رافق أخذ العينات اجراء قياسات لبعض المتغيرات الفيزيائية والكيميائية لكل محطة ، والتي تشمل درجة الحرارة ، ودرجة الحموضة ، والأكسجين المذاب وحتى التوصيل الكهربائي.

تم تحديد ما مجموعه 23 نوعاً خلال جرد العوالق النباتية. أظهر التحليل الفيزيائي والكيميائي أن مياه 8 محطات ذات جودة متوسطة إلى جيدة مقارنة بالواصفات: الحرارة ، ودرجة الحموضة ، التوصيل الكهربائي و الأكسجين المذاب ، وحتى بالنسبة لبعض العناصر الغذائية ك النترات والفسفات.

أظهر تحليل المكون الرئيسي "analyse en composantes principales" أن هناك تقسيم نوعي لمناطق هذا المجرى المائي ، وفقاً للمدخلات والروافد المختلفة. كما أتاح لنا وصف الهيكل تدرجات التمدن من أعلى مجرى النهر إلى أسفله. يُظهر PCA أيضاً تفرد 3 مجموعات من الأصناف على طول وادي النيل : محبة للمعادن (minéralophiles) محبة للوسط المعتدل (mésophiles) محبة للوسط الغني بالنترات (nitrophiles).

الكلمات المفتاحية : العوالق النباتية ، واد النيل ، مياه التدفق المتقطع ، المعلمات الفيزيائية والكيميائية.