

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Option : Ecologie Végétale et Environnement

THEME

Etude de la qualité physicochimique et phytoplanctonique
des quelques plans d'eau de la région de Laghouat

Présenté par :

BOUGHABA Messaoud et LOUIBDA Kaddour

Devant le jury composé de :

Président : LEBOUKHE mourad

MCA

ENS Ouargla

Examineur : GOUZI Hicham

Pr

UATL

Encadreur : CHAIBI Rachid

MCA

UATL

Co-encadreur : HAMIDA Amin

UATL

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Nous remercions Dieu ALLAH tout Puissant de nous avoir permis de mener à terme ce mémoire qui est pour nous le point de départ d'une merveilleuse aventure, celle de la recherche, source de remise en cause permanent et de perfectionnement perpétuelle, qui a bénéficié des conseils scientifiques des uns, de l'appui moral et du soutien financier des autres.

Dans l'impossibilité de citer tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail, nous adressons nos remerciements particulièrement à :

*Nous remercions Notre promoteur Monsieur **CHAIBI Rachid** chef de département de biologie à l'université de Laghouat, pour sa disponibilité, sa patience, les conseils qu'il nous a prodigués, et pour tout le temps et l'énergie qu'il a consacré à la réalisation de ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à **Mr. HAMIDA amin Co- encadreur** pour ses orientations et accompagnement*

*Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur **LEBOUKHE Mourad** ; Maître de conférences université de Ouargla pour sa gentillesse ; galanteries et son soutien morale. Qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance.*

*On veut exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **GOUZI Hicham**, Professeur à l'université de Laghouat; qui nous 'a fait l'honneur d'examiner ce mémoire ;*

Hommage respectueux et sincères remerciements.

*Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur **MECHRAWI abdlah** le chef de laboratoire de A D E la wilaya de Laghouat pour nous avoir bien accueillis au sein de son centre pour la réalisation de la partie (analyses physicochimique) de ce travail.*

Notre expression de profonde reconnaissance et respectueuse gratitude s'adresse à Nos supérieurs, nos formateurs et professeurs du Département de biologie de l'université d'Amar Telidji, Laghouat.; ainsi que tout le personnel du laboratoire du département de biologie, pour leurs vifs encouragements.

*Il serait ingrat de ne pas remercier nos **familles** pour leurs grandes participations aussi bien morales que matérielles.*

*Que nos **amis et collègues** de département trouvent à travers ces lignes l'expression de notre profond attachement. Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail trouvent ici l'expression de mes plus vifs remerciements.*

Dédicaces
Je dédie ce
modeste travail
À mes parents
pour leur soutien
et leur aide
permanent.

Sommaire

dédicaces

remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Définitions	4
I.1.1 Le phytoplancton	4
I.2. Habitat et écologie	4
I.2. Habitat et écologie	5
I.2.1 Distribution spatiale	7
I.2.1.1. Distribution horizontale	7
I.2.1.2. Distribution verticale	7
I.3. Diversité spécifique et diversité écophysiological	8
I.3.1. Les principales classes de phytoplancton	9
I.4. L'importance des micro-algues	14
I.5. Sources de nuisance des phytoplanctons	17
I.5.1. Le phénomène d'eutrophisation	17

Chapitre II matériels et méthodes

II.1. Délimitation géographique de la région d'étude et des sites d'étude.....	19
II.2. Considération bioclimatique	19
II.2.1. La température.....	19
II.2.2. La pluviométrie	20
II.2.3. Le diagramme ombrothermique.....	21
II.2.4. L'insolation	21
II.2.5. Le vent	21
II.3. Aspect géomorphologique et hydrographique	22
II.3.1. Données géomorphologiques	22
II.3.2. Données hydrologiques	23
II.4. Cadre Structural de la région de Laghouat	23
II.5. Les sites d'études	25
II.6. Méthode de caractérisation de la qualité de l'eau	28
II.6.1. Analyses physico-chimiques	28
II.6.2. Echantillonnage et caractérisation du peuplement phytoplanctonique.....	30
II.6.2.1. Prélèvement du phytoplancton	30
II.6.2.2 Identification et dénombrement des micro-algues	30
II.7. Exploitation et analyse statistique des données	32
II.7.1. Exploitation par des paramètres et des indicesécologiques et biologiques ...	32
II.7.1.1. Paramètres écologiques	32

II.7.2. Analyses statistiques	35
II.7.2.1. Analyses statistiques univariées	35
II.7.2.2. Analyses statistiques bivariées	36
II.7.2.2. Analyses statistiques bivariées	36

Chapitre III Résultats et discussions

1. Caractérisation de la qualité de l'eau	37
1.1. Qualité physicochimique	37
2. Structure et organisation du peuplement phytoplanctonique	46
2.1. Inventaire global de la flore microalgale recensée	46
2.2. Evaluation de la fréquence d'occurrence des peuplements phytoplanctoniques	48
2.3. Similitudes entre la structure des peuplements de phytoplancton (Indice de similitude de SORENSON)	49
2.4. Variation des paramètres de diversité des communautés phytoplanctoniques	50
2.4.1. Richesse générique totale (S)	50
2.5. Densité moyenne du phytoplancton recensé	50
2.6. Analyse des corrélations entre les paramètres physico-chimiques et la dynamique du peuplement phytoplanctonique	54

Conclusion

57

Référence bibliographiques

Liste des Figures

Figures	Page
Figure 01 : Les classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques.	14
Figure 02 : Domaines d'application des algues microscopiques.	16
Figure 03 : La wilaya de Laghouat selon A.N.I.R.E.F (2011).	19
Figure 04 : Carte des précipitations en Algérie (Dubief 1952).	20
Figure 05 : Diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN de la région de Laghouat.	21
Figure 06 : Les principales formations géographiques en Algérie (FAO, 2003).	22
Figure 07 : carte des bassins versants de l'Algérie du Nord (ABH, 2012). L'Atlas saharien (d'après Wildi)	24
Figure 08 : Cadre structural du Nord de l'Algérie, montrant les principales structures de L'Atlas saharien (d'après Wildi)	24
Figure 09 : Situation géographique des sites d'étude	25
Figure 10 : photographie satellitaire et ordinaire des sites étudiés.	27
Figure 11 : Schéma du filet à plancton utilisé.	30
Figure 12 : Schéma représentant les étapes de l'étude qualitative et quantitative du phytoplancton.	32
Figure 13 : Variations des températures (T °C) de l'eau dans les stations prospectées.	38
Figure 14 : Variations du pH de l'eau dans les stations prospectées.	39
Figure 15 : Variations de la Turbidité de l'eau en NTU dans les stations prospectées.	40
Figure 16 : Variations de la Salinité (‰) de l'eau dans les stations prospectées.	41
Figure 17 : Variations de la Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de l'eau dans les stations prospectées.	41
Figure 18 : Variations de la teneur en Nitrites (mg/l) dans les stations prospectées	43

Figure 19 : Variations de la teneur en Nitrates (mg/l) dans les stations prospectées.	44
Figure 20 : Variations des Orthophosphates(mg/l) dans les stations prospectées.	45
Figure 21 : Variations de L'amonium(mg/l) dans l'eau dans les stations prospectées.	45
Figure 22 : Pourcentages des différents genres identifiés.	47
Figure 23 : Fréquence d'occurrence (C en %) des différents genres phytoplanctoniques	49
Figure 24 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l'Oued de guraita.	51
Figure 25 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l'Oued de Bekhdache.	52
Figure 26 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l'Oued de Gulette.	52
Figure 27 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l'Oued de Tadjmout .	53
Figure 28 : Variation mensuelle de la densité globale du phytoplancton dans l'Oued de Tadjmout.	54

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 01 :	Températures moyennes mensuelles de la région de Laghouat.	20
Tableau 02 :	Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat.	20
Tableau 03 :	Caractérisations géographiques des sites étudiés	25
Tableau 04 :	Typologie générale des sites prospectés.	26
Tableau 05 :	Paramètres physicochimiques de l'eau mesurés dans les cinq sites prospectés.	28
Tableau 06 :	Appareillages et méthodes d'analyse et de mesures des différents paramètres physico-chimiques de l'eau.	29
Tableau 07 :	Variations des paramètres physicochimiques de l'eau dans quelques hydrosystèmes de la région prospectée.	37
Tableau 08 :	Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée .	42
Tableau 09 :	Inventaire taxinomique du phytoplancton recensé dans l'ensemble des sites prospectés	46
Tableau 10 :	Fréquence d'occurrence et échelle de constance de différents genres de phytoplancton recensés dans quelques hydrosystèmes.	48
Tableau 11 :	Indice de similitude de SORENSEN des cinq stations échantillonnées prises deux à deux.	49
Tableau 12 :	Richesse générique totale (S), richesse générique moyenne (Sm), indice de diversité de Shannon (H') et équirépartition (E) du peuplement phytoplanctonique.	50
Tableau 13 :	Résultats de l'analyse de la corrélation entre la densité algales et différents paramètres physico-chimique étudiés.	55

Introduction

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Objectifs de ce travail

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

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

Dans l'objectif de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les variables qui déterminent la dynamique du phytoplancton ?
- Le phytoplancton peut-il être considéré comme un bon indicateur de l'état trophique de l'oued ?

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

- La caractérisation de l'environnement physico-chimique du milieu aquatique;

- L'élaboration d'un inventaire du phytoplancton;
- L'identification des facteurs déterminant la diversité phytoplanctonique des stations étudiées.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**I.1. Définitions**

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

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

I.1.1. Le phytoplancton :

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

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

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

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

I.2. Habitat et écologie

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

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

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

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

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

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

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

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

I.2.1 Distribution spatiale

I.2.1.1. Distribution horizontale

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

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

I.2.1.2. Distribution verticale

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

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

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

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

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

I.3. Diversité spécifique et diversité écophysiological

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

Leurs taux de croissance, ainsi que leur dépendance vis-à-vis des nutriments, sont également variables. En outre, afin de faire face aux variations environnementales, les espèces phytoplanctoniques ont développé des stratégies adaptatives, telles que

i) différents mécanismes favorisant leur mobilité, et leur migration vers des zones riches en nutriments et en lumière (phototaxisme, migration verticale, nage, agrégation), ii) le mode de nutrition mixotrophe, iii) la compétition interspécifique par production de substances allélochimiques, iv) des mécanismes de défense contre la prédation (allélopathie). Le cycle biologique de chaque espèce phytoplanctonique participe ainsi à un réseau complexe de relations interspécifiques à l'intérieur d'un assemblage d'espèces (Groga, 2012).

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

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

I.3.1. Les principales classes de phytoplancton

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

❖ Les cyanobactéries

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

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

❖ Les chlorophycées

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

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

fouets égaux, celles sans membrane et à fouets égaux et celles sans membrane et à fouets légèrement inégaux mais de même structure (Bourrelly, 1985b).

Dans les formes coloniales, chaque cellule de la colonie se divise par division végétative en n cellules formant $2 \times n$ cellules filles. On retrouve également 3 types de reproduction sexuée : isogamie (2 gamètes de même taille), anisogamie (gamète male plus petit que gamète femelle) et oogamie (gamète femelle non flagellé et gamète mâle flagellé) (Nozaki, 2003).

❖ Les xanthophycées

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

❖ Les chrysophycées

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

globuleux, percés d'un pore obstrué par un bouchon, est caractéristique des Chrysophycées (Rolland, 2009).

❖ Les diatomées (*Bacillariophycées*)

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

❖ Les cryptophycées

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

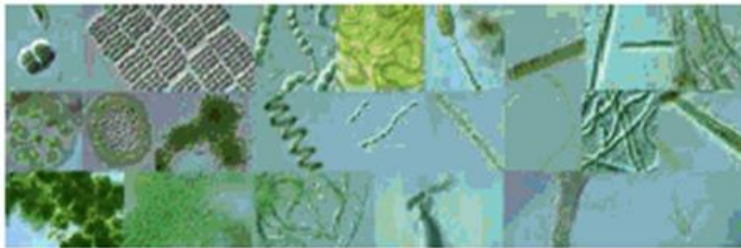
❖ Les dinoflagellés

Regroupent environ 300 espèces et sont des algues flagellées unicellulaires dont la plupart sont mobiles. Une ceinture transversale, le cingulum, encercle la cellule et la divise en une épithèque et une hypothèque alors qu'une invagination longitudinale, le sulcus, définit la face ventrale de la cellule. Ils possèdent des plaques de cellulose sur la partie

externe de la membrane et la taxonomie de ces microorganismes est basée sur le nombre et l'arrangement de ces plaques (Rolland, 2009). Ces plaques peuvent être très fines et sont parfois difficiles à voir par microscopie optique. Des pores apicaux, des extensions de plaques et des épines peuvent aussi apparaître chez certaines espèces. La chlorophylle a et c2 sont deux pigments photosynthétiques majeurs des cellules de dinoflagellés. La péridinine qui fait partie des pigments accessoires de type caroténoïdes est responsable de la couleur dorée bien que les cellules puissent apparaître jaunâtre voire marron. Bien que la reproduction sexuée se produise de temps en temps, la reproduction asexuée par la formation d'aplanospores (spores non flagellés) prédomine. En période de diapause, la formation de kystes peut s'accroître considérablement (Carty, 2003).

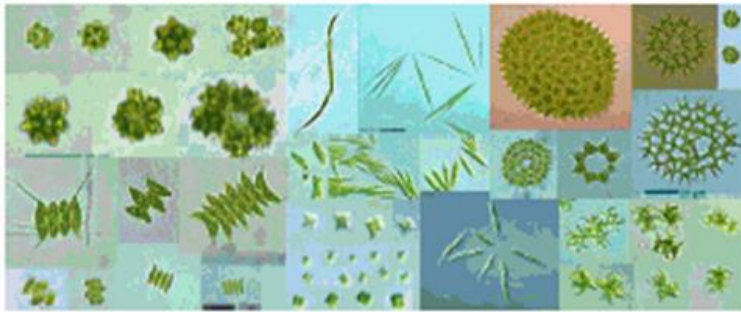
❖ Les euglènes

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



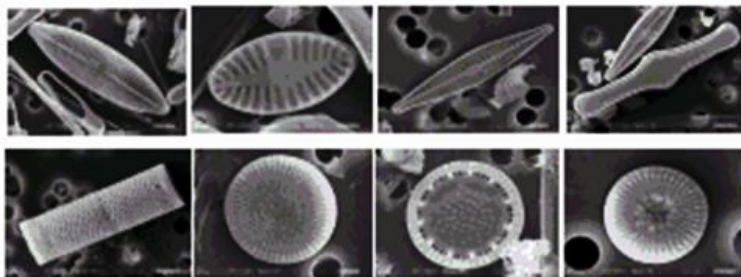
Les Cyanophycées ou cyanobactéries

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



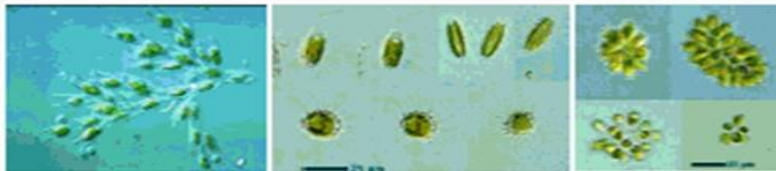
Les Chlorophycées ou algues vertes

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



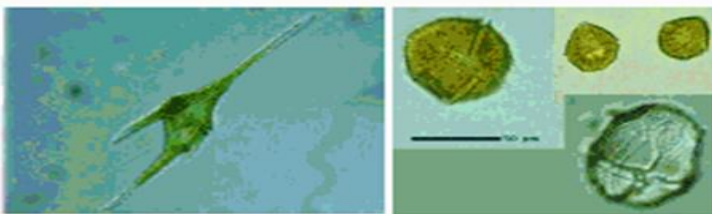
Les Bacillariophycées ou diatomées

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



Les Chrysophycées ou algues dorées

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



Les Dinophycées ou dinoflagellés

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



Les Cryptophycées

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

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

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

I.4. L'importance des micro-algues

La biodiversité des micros algues est énorme puisqu'on estime qu'il y a entre 200. 000 et plusieurs millions d'espèces. Une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie(Cadoret et Bernard, 2008).Outre l'intérêt écologique considérable comme agents épurateurs des eaux usées, les algues microscopiques jouent un rôle important dans de nombreux domaines elles sont utilisées en agriculture comme

engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, en particulier les sols sahariens squelettiques dont la structure est amoindrie par l'abondance des ions sodium dans l'eau d'irrigation, ce qui engendre des conditions asphyxiantes très défavorables, ainsi l'apport d'algues microscopiques riches en azote à ce type de sol, peut corriger l'insuffisance en matière organiques (Chader et touzi, 2001). Par ailleurs, ces mêmes algues représentent une source potentielle de protéines alimentaires non négligeable (50 à 60 % du poids sec) pour l'homme et l'animal qu'il soit terrestre ou aquatique. En effet, ces organismes sont considérés comme le premier maillon de la chaîne alimentaire (phytoplancton) pour les producteurs secondaires (poissons, crustacés, ...), elles représentent indéniablement le nutriment essentiel en aquaculture (croissance et développement des poissons).

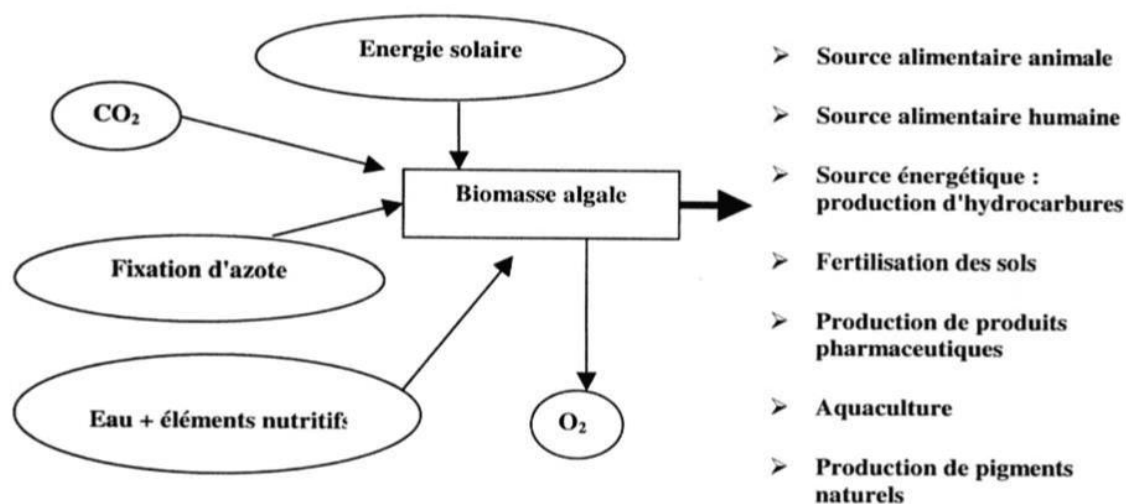


Figure 2: Domaines d'application des algues microscopiques (Chader et Touzi, 2001).

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

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

I.5. Sources de nuisance des phytoplanctons

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

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

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

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

Pour ce qui est des facteurs externes, outre la toxicité intrinsèque de l'espèce incriminée, interviennent la densité cellulaire d'algues toxiques, le ratio avec les micro-algues accompagnatrices non toxiques, et enfin la durée de l'épisode de prolifération.

Trois types d'évènements toxiques sont actuellement observés en France et ne doivent pas être confondus car ils sont liés à trois genres différents de micro-algues (*Dinophysis*, *Alexandrium*, et *Pseudo-nitzschia*) produisant trois types de toxines différentes (DSP, PSP et ASP) les toxines (diarrhéiques, paralysantes ou amnésiantes).

I.5.1. Le phénomène d'eutrophisation

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

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

Merceron (1999), déclare que l'extrême abondance du phytoplancton « des millions, voire des dizaines de millions de cellules par litre » obscurcit alors l'eau, empêchant toute photosynthèse sur une épaisseur de plusieurs mètres au-dessus du fond et provoquant une intense respiration puis une dégradation aérobie du phytoplancton (Campbell *et al*, 2006). Selon les conditions physiques et chimiques du plan d'eau, on peut observer soit la formation d'une masse bleu-verdâtre laiteuse à la surface de l'eau, soit une coloration uniforme « bleu-vert, jaune, rouge, verte » de la colonne d'eau (Fremyet Lassus, 2001). D'après Fremyet Lassus (2001), la plus ancienne mention d'un tel phénomène a été faite par De Candolle (1825), propos d'une prolifération d'*Oscillatoriarubescens*, colorant en rouge vif le lac de Morat « Suisse », évènement connu sous le nom de « sang des bourguignons ». Aussi La couleur verdâtre de certains ours polaires dans les zoos est due à la présence de colonies de cyanobactéries qui se développent à l'intérieur des poils creux de leurs fourrures (Ravenetal, 2003).

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

➤ **Impact sur les écosystèmes aquatiques**

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

II.1. Délimitation géographique de la région d'étude et des sites d'étude

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

Laghouat est limitée au Nord et à l'Est par la Wilaya de Djelfa, au Nord-Ouest par les Wilayas de Tiaret et El Bayadh et au Sud par la wilaya de Ghardaïa (D.P.A.T 2010)(Fig. 03).

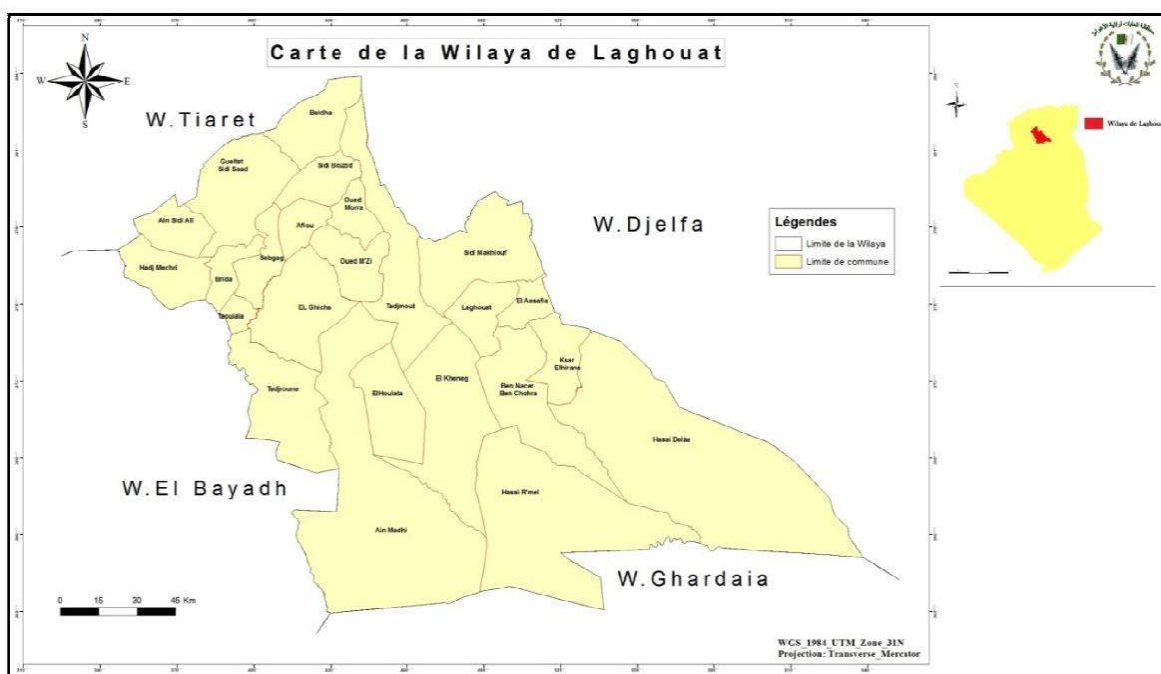


Figure 03: La wilaya de Laghouat selon A.N.I.R.E.F (2011).

II.2. Considération bioclimatique :

II.2.1. La température:

Les données thermométriques caractérisant la région de Laghouat durant la période 2006-2018 sont reportées dans le (Tab. 01). Nous constatons que les températures les plus basses sont enregistrées durant le mois de Janvier avec une température de 8,73 °C. Le mois de juillet devient plus chaud avec une moyenne de 32,2°C.

Tableau 01 : Températures moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2018).

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai.	juin.	juil.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.
$\bar{M} = \frac{M+m}{2}$ (°C)	8.73	9.88	13.62	18.04	22.61	28.01	32.20	30.94	25.36	19.99	12.89	8.97

(O.N.M. Laghouat, 2018).

II.2.2. La pluviométrie

A partir des données enregistrées sur une période de 12 ans (2006-2018). Le cumul annuel de précipitation moyenne est d'environ 155,27mm. Nous notons que le mois de septembre est le plus pluvieux avec un cumul de 27,53mm. Les valeurs de précipitations les plus faibles sont enregistrées pour le mois de juin (Tab.02).

Tableau 02 : Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat (2006-2018).

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai.	jun.	juil.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.	Moyenne
P (mm)	9.77	8.58	10.56	18.72	9.93	7.45	7.96	10.85	27.53	23.31	12.45	19.35	155.27

(O.N.M. Laghouat, 2018).

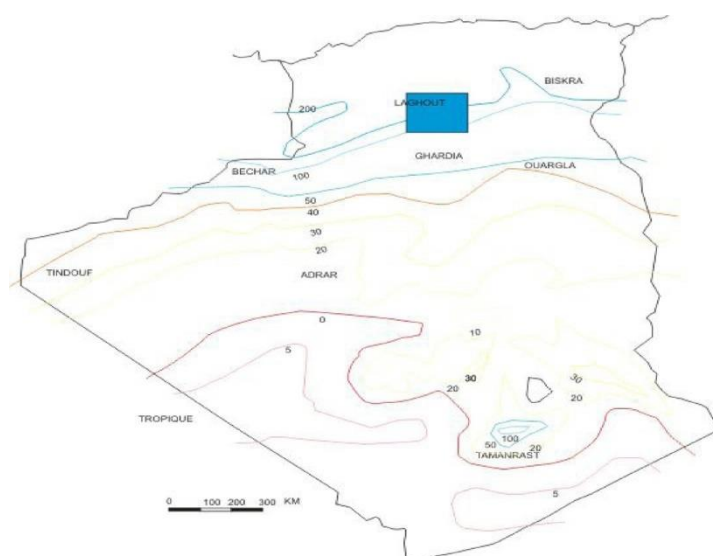


Figure 04: Carte des précipitations en Algérie (Dubief 1952).

II.2.3. Le diagramme ombrothermique

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

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

Pour localiser les périodes humides et sèches de la zone d'étude, nous avons tracé le diagramme ombrothermique pour les périodes allant de 2006-2018 pour la région de Laghouat. L'évolution de la température en fonction des précipitations fait apparaître une seule période sèche s'étalant sur 12 mois de l'année (Fig. 05).

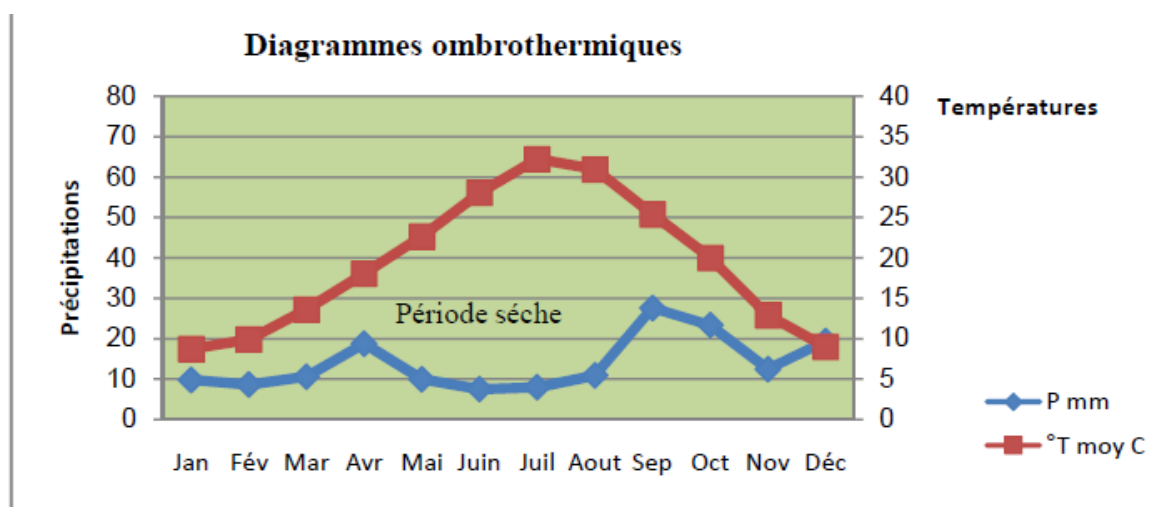


Figure 05: Diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN de la région de Laghouat.

II.2.4. L'insolation

L'ensoleillement est de 67 heures en décembre qui représente le minimum et 83 h en juillet comme maximum.

II.2.5. Le vent

Les vents, et notamment les vents de sable, jouent un rôle particulièrement desséchant. Les vents les plus fréquents soufflent de l'est le mois de juin. En hiver, ce sont les vents du

nord et d'Ouest, pour le printemps du nord et de L'Est, en été d'est et sud.(Aissaoui Asma 2016)

II.3. Aspect géomorphologique et hydrographique

II.3.1. Données géomorphologiques

Le relief d'Algérie du Nord se compose de deux principales chaînes montagneuses : l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien : ce sont deux ensembles parallèles qui parcourent le pays d'Ouest en Est, ils se rapprochent au centre du pays jusqu'à presque se confondre à l'extrême Est (Aurès) vers la Tunisie. Ces deux chaînes constituent des frontières naturelles entre lesquelles s'intercalent de vastes plaines et hauts plateaux (FAO, 2003). La partie sud est dominée par le vaste désert (Figure 06). Le point le plus bas d'Algérie se trouve au Chott Melrhir (-40m). L'Algérie présente une très grande variété de contextes géologiques. Morphologiquement,

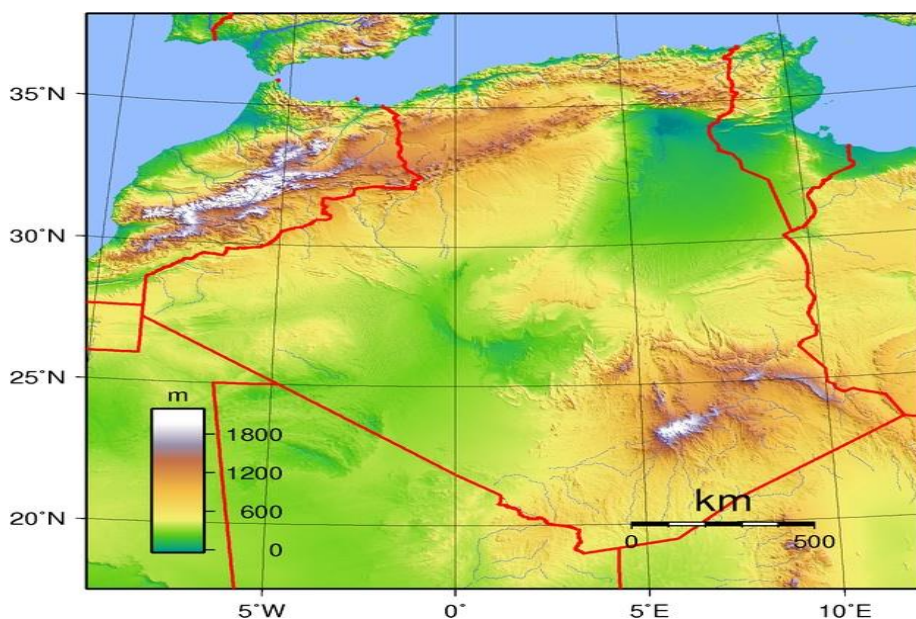


Figure 06: Les principales formations géographiques en Algérie (FAO, 2003).

Au Nord, au pied de l'Atlas Tellien, se trouvent les plaines côtières qui donnent directement sur la mer méditerranée. La bande du Tell, large de 80 à 190 km, s'étend sur près de 1200 km de côtes. Elle est formée par une chaîne de montagnes (l'Ouarsenis, le Djurdjura, les Babors, les Bibans...) qui longe le littoral. Ces montagnes sont, souvent,

séparées par des vallées parcourues de cours d'eau. Ce caractère confère à la région une richesse floristique et faunistique importante Terra (2006).

Entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, on trouve un ensemble de plaines et hauts plateaux semi-arides parsemés de nombreuses dépressions appelées «Chotts », lesquels se transforment en lacs salés à la saison des pluies. Selon Terra (2006), l'Atlas tellien (ou Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales s'étalant sur une bande de 100 à 150 kms. Dans cette région on distingue deux types de plaines :

- les côtières et sub-littorales, sont sous l'influence du climat méditerranéen.
- les plaines intérieures et alluviales, du climat continental de l'Atlas Tellien.

Les Hauts Plateaux occupent une bande de 300 à 350 kms et sont caractérisés par des espaces steppiques ou semi-arides à vocation agro-pastorale ou de céréaliculture. L'Atlas saharien, relie le Haut Atlas marocain à la frontière tunisienne où l'on y rencontre le massif des Ksour, le Djebel Amour, les Zibans et les monts Hodna qui rejoignent la bande du Tell à l'Est et continue pour finir dans les Aurès.

II.3.2. Données hydrologiques

Le bassin versant d'Oued M' Zi qui appartient au grand bassin versant de Chott Melhrir (Fig. 9) est l'un des grands bassins versants de l'Algérie il s'étend sur huit Wilayas dont la wilaya de Laghouat, où passe l'Oued M' Zi. Le Bassin versant de Chott Melhrir occupe une superficie de 68 750 km², il se compose de 30 sous bassins (dont le bassin versant de l'Oued M' Zi), il se distingue par un important cours d'eau, qui est celui de Oued Djedi.

II.4. Cadre Structural de la région de Laghouat :

Du point de vue stratigraphique le secteur d'étude est formé essentiellement par des terrains attribués au Secondaire, Tertiaire et Quaternaire. Le Jurassique constitue l'essentiel des grandes structures anticlinales, le Crétacé l'essentiel des synclinaux : Les formations gréseuses du Barrémien-Albien forment des synclinaux coffrés à fond plat. Les formations marno-carbonatées du Cénomaniens, Turonien et Sénonien : les synclinaux perchés.

Du point de vue structural notre secteur est à cheval entre deux domaines structuraux ; un domaine atlasique caractérisé par la succession d'anticlinaux et des

synclinaux perchée dont le centre est occupé par le crétacé supérieur et un domaine saharien.

Du point de vue lithologique les terrains affleurant ont une nature silico-clastique ce qui favorise le développement des systèmes phréatique à plusieurs niveau : superficiel pour les importantes alluvions Quaternaire, et profond pour les terrains du continental intercalaire.

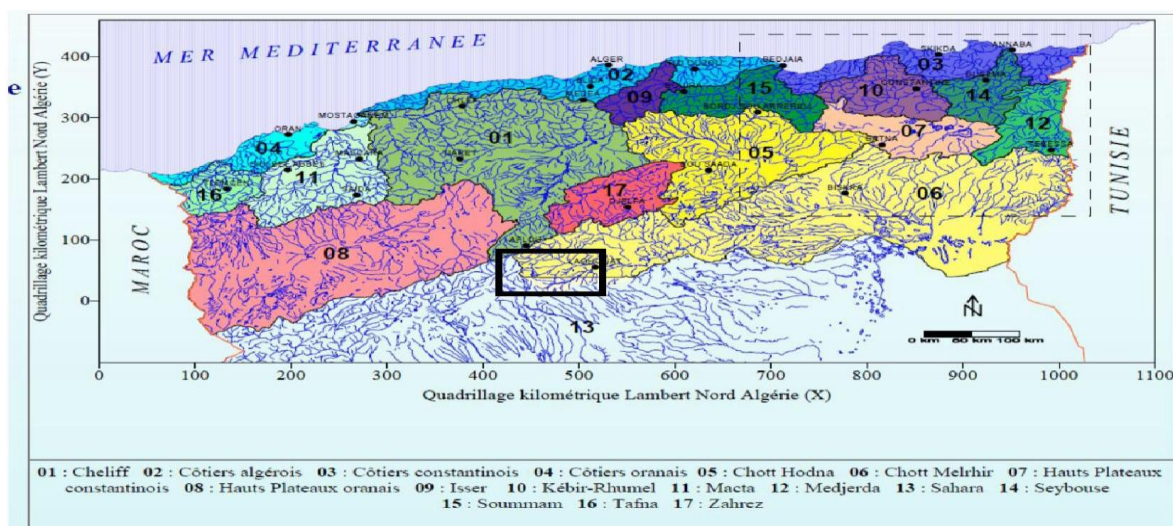


Figure 07 : carte des bassins versants de l’Algérie du Nord (ABH, 2012).
L’Atlas saharien (d’après Wildi)

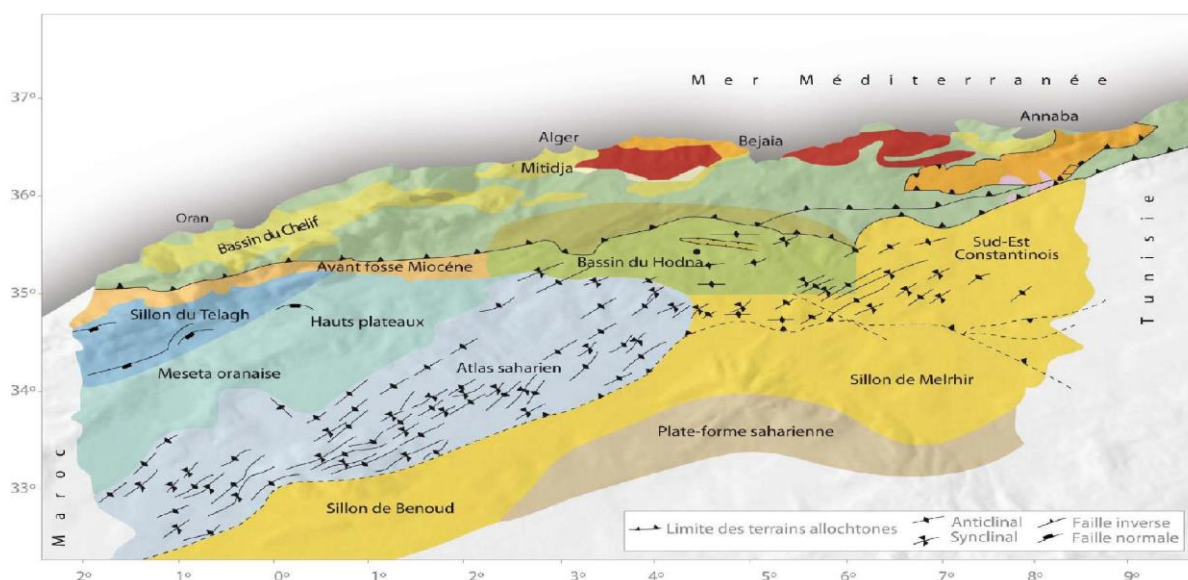


Figure 08 : Cadre structural du Nord de l’Algérie, montrant les principales structures de
L’Atlas saharien (d’après Wildi)

II.5. Les sites d'études

Dans cette étude, nous avons échantillonné un total de 05 sites représentés par des milieux aquatiques d'eau douce de Oued M'ziet ses affluents qui constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central, il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour, vers le Sud-est de Laghouat il rejoint l'Oued Messaad d'où il prend le nom de l'Oued Djedi qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 kms formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-aride (Havoup, 1974) (Fig. 09).

Tableau 03: Caractérisations géographiques des sites étudiés(N :naturel ;A :artificiel).

Sites	Nom du site	Wilaya	Commune	Altitude (m)	Longitude(m)	Latitude (m)	Nature
1	O.Guraita	Jelfa	Taadmit	916	34° 13'N	6,3	N
2	O. Bekhdache	laghouat	Sidi Makhoulouf	1500	35°34'N	6,04	A
3	O. Gulette		Sidi Makhoulouf	1006	34°01'N	6,04	N
4	O. Tadjmout		AIN Mahdi	901	33°54'N	6,13	N
5	O. Ksar Hiran		ksar Hiran	973	35°21'N	5,3	N

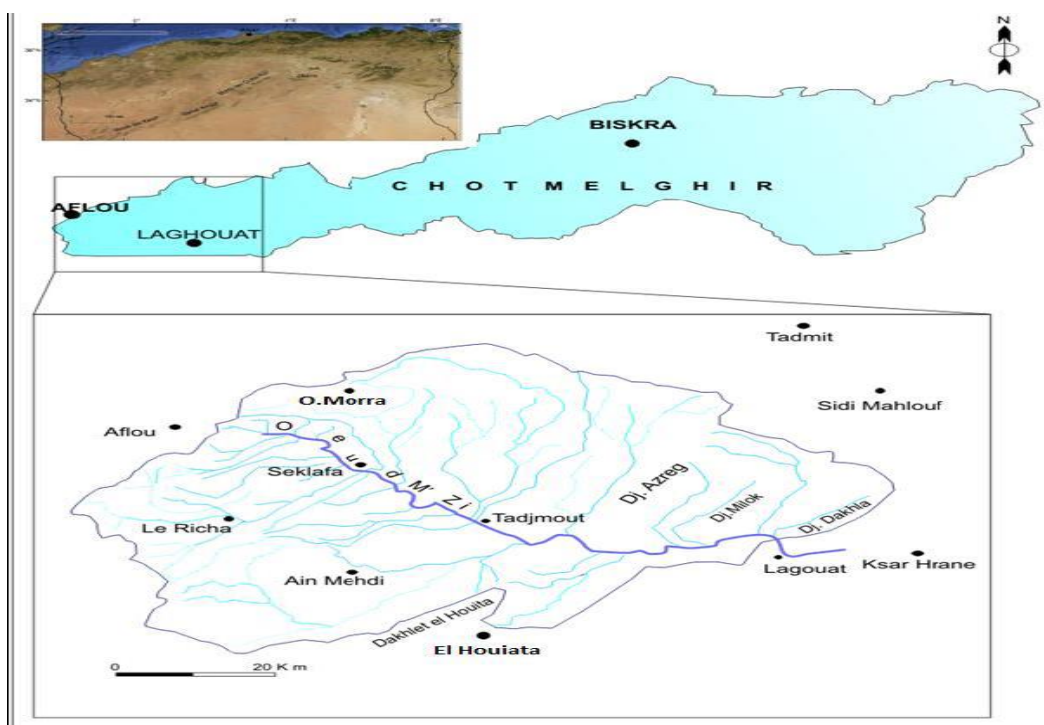


Figure 09: Situation géographique des sites d'étude

La typologie des sites prospectés fait ressortir un total de 03 milieux à eau stagnante site 01 (O. **Guraita**), site 02 (O. Bekhdache) et site 05 (O. Ksar hiran) et 02 sites à eau courantes site 03 (OuedGulette) et site 04 (Oued Tadjmout), Sur les 05 sites étudiés un seul site est de nature artificielles (Barrage) site 02 (Oued Bekhdach) alors que les reste sont naturels. (Tableau 04).

Tableau 04 :Typologie générale des sites prospectés (D : eau douce, S : eau saumâtre ; Origine : 1 : naturel, 2 : artificiel ; permanence : 1 : permanant, 2 : temporaire)

Nom des sites	Ecoulement		Origine	Salinité	Permanence
	courant	stagnant			
O.grita		*	1	D	1
O. bekhdache		*	1	D	1
O. gulette	*		1	D	1
O. tadjmout	*		1	D	1
O. Ksar hiran		*	1	D	1

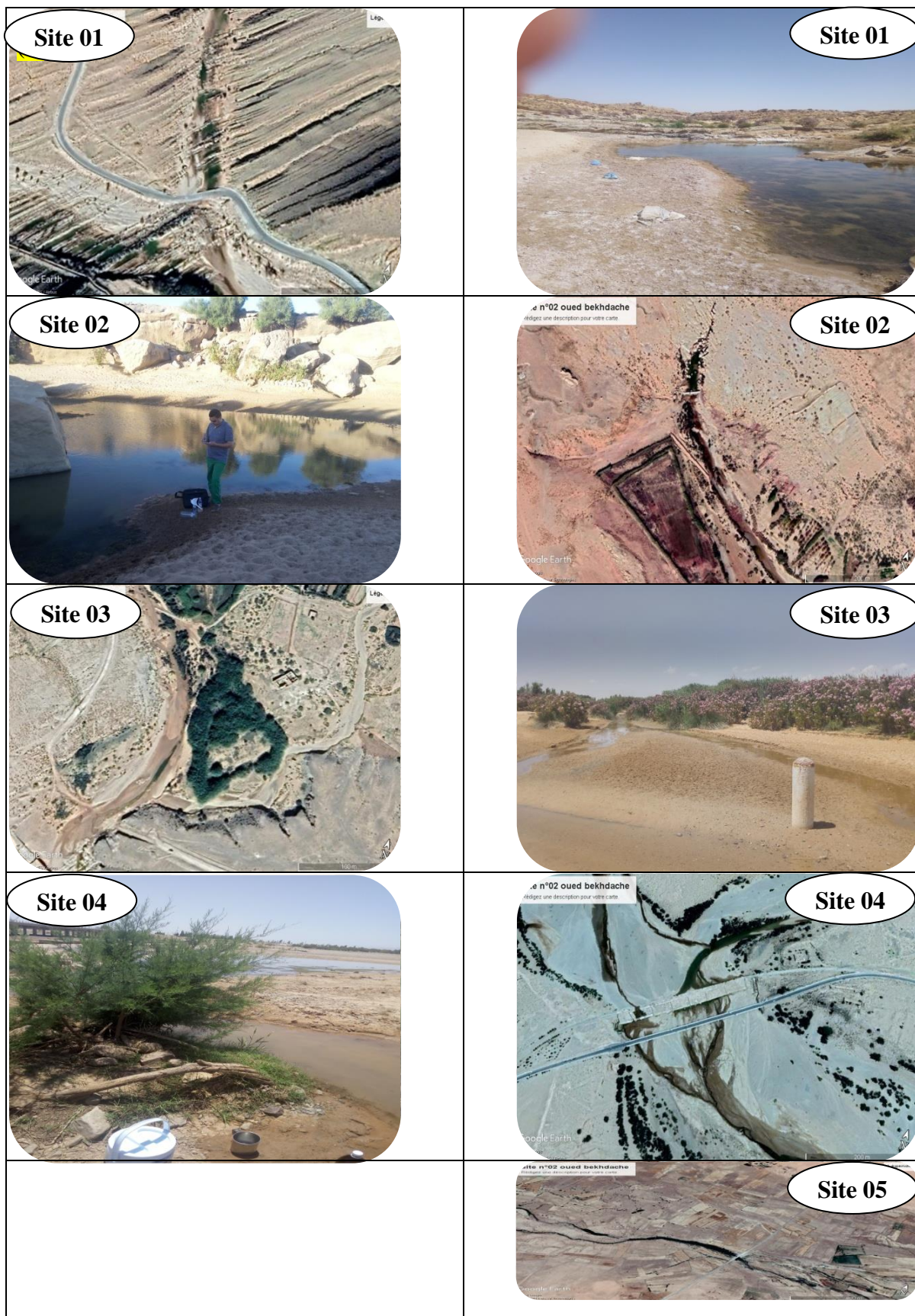


Figure 10 : photographie satellitaire et ordinaire des sites étudiés.

II.6. Méthode de caractérisation de la qualité de l'eau

II.6.1. Analyses physico-chimiques

Sur les sites que nous avons prospectés, nous nous sommes intéressés à 11 paramètres caractérisant la qualité de l'eau. Il s'agit de la température en °C, le pH, la turbidité (NTU) et la conductivité électrique (Cond μ S), mesurés *in-situ*. Les paramètres mesurés *in-vitro* sont: la Salinité (S‰), les Nitrates (NO_3), les Nitrites (NO_2), l'Ammoniac (NH_4), les Orthophosphates (PO_4), minéralisation, total des solides dissous (TDS). Les paramètres mesurés avec leurs unités ainsi que les périodes d'étude pour chaque site sont rapportés dans le Tableau 5. Les analyses de laboratoire ont été réalisées au niveau des laboratoires de l'Algérienne des eaux (A.D.E) de Laghouat.

Tableau 05: Paramètres physicochimiques de l'eau mesurés dans les cinq sites prospectés.

Paramètres physico-chimiques	Oued Graitia	Oued Bekhdache	Oued Gulette	Oued Tadjmout	Oued ksarhiran
T°C	*	*	*	*	*
pH	*	*	*	*	*
Cond (μ S)	*	*	*	*	*
S‰(mg/l)	*	*	*	*	*
TDS	*	*	*	*	*
NO_2 (mg/l)	*	*	*	*	*
NO_3 (mg/l)	*	*	*	*	*
PO_4 (mg/l)	*	*	*	*	*
Turbidité (NTU)	*	*	*	*	*
NH_4 (mg/l)	*	*	*	*	*
Minéralisation	*	*	*	*	*
Total	11	11	11	11	11

Tableau 06 : Appareillages et méthodes d'analyse et de mesures des différents paramètres physico-chimiques de l'eau.

Paramètres physico-chimiques	Appareillages De mesure	Méthodes d'analyses et Mode opératoire
T (T°C)	Thermomètre digital	-Enfoncez la sonde dans l'eau. - Attendez quelques minutes et lire la valeur indiquée
pH	pH mètre	- Enfoncez la sonde dans l'eau Attendez quelques minutes et lire la valeur indiquée
Cond (µS/cm)	Multi paramètres Conductimètre (CACH2100AN)	-Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
TDS (mg/l)		- Plonger l'électrode dans le flacon contenant l'échantillon.
S‰		-Lecture après la stabilisation de l'affichage numérique
Turbidité (NTU)	Turbidimètre (CACH2100AN)	- Remplir une cuvette propre jusqu'au trait avec de l'eau à analyser en évitant la formation de bulles d'air. - Tenir la cuvette par le bouchon et l'essuyer avec mouchoir doux sans pelucher pour retirer les gouttes d'eau et les traces des doigts. - Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot et lire et noter le résultat affiché.
No ₃ ⁻ (mg/l)	Spectrophotomètre (CACH ODYSSEY)	-Introduire dans un bêcher 10ml d'eau à examiner, puis ajouter 4 gouttes d'acide acétique et 8 gouttes de Nitrure de Sodium. Puis mélanger et laisser reposer 5 min. -Ajouter une pincée de Salicylate de Sodium à l'aide d'une spatule. - Agiter pour dissoudre et amener à sec par chauffage (à 200 °C). - Laisser refroidir, puis ajouter 16 gouttes d'acide Sulfurique et laisser en contact 15 min jusqu'à dissolution du précipité formé. - Ajouter environ 10ml de Soude caustique à 20 %, laisser mélanger. - La lecture de l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV à la longueur d'onde $\gamma = 455\text{nm}$ (NO ₃ ⁻ Loviband).
No ₂ ⁻ (mg/l)		-Introduire dans un bêcher 25ml de l'eau à examiner. -Ajouter, d'abord 1ml de réactif de Zambelli, puis laisser mélanger et reposer pendant 10min. -Ajouter, ensuite, 1 ml de NH ₃ ⁺ pure, puis mélanger et laisser refroidir. -La lecture de l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde $\gamma=435\text{nm}$. (Rodier et al, 2005)
NH ₄ ⁺ (mg/l)		- Prendre 100 ml de l'échantillon. - Ajouter à cela 10 ml du mélange réactif. - Attendre 5 mn et lire l'absorbance à la longueur d'onde $\lambda=885\text{nm}$. - Si l'échantillon est trouble ou coloré il convient d'ajouter 3 ml du réactif de compensation de turbidité et de coloration avant de mesurer.
Po ₄ ⁻² (mg/l)	Spectrophotomètre : (CACH ODYSSEY)	-Introduire dans un bêcher 10ml de l'eau à examiner. -Ajouter 1ml C ₆ H ₈ O ₆ à 10%. -Puis, ajouter 1ml de réactif de l'acide ascorbique, laisser mélanger et reposer.-La lecture de l'absorbance se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde 950nm (Rodier et al,2005)
Salinité	Conductimètre (HACH COMPANY)	A partir de la conductivité (lecture directe).

II.6.2. Echantillonnage et caractérisation du peuplement phytoplanctonique

II.6.2.1. Prélèvement du phytoplancton

Afin d'obtenir des données d'ordre qualitatives et quantitatives de la communauté microalgale de différents plans d'eau, nous avons utilisé un filet à plancton fabriqué traditionnellement dont le principe de fonctionnement est de faire passer une quantité d'eau à plusieurs reprises (quarante litres) afin de récupérer un volume de (100 ml) appelé le filtrat. Le filet utilisé présente un diamètre de 35 cm et une profondeur de 45 cm (Fig.11). Le filtrat est par la suite versé dans des flacons ombrés 10ml de formol à 10% afin d'assurer une meilleure fixation et de faciliter la décantation des espèces phytoplanctoniques pour une investigation microscopique ultérieure. Une autre méthode de fixation d'ordre qualitative adoptée par Sournia (1978), dans laquelle, 20 ml de formol aldéhyde (10 %) est ajouté pour chaque flacon d'un litre d'eau.

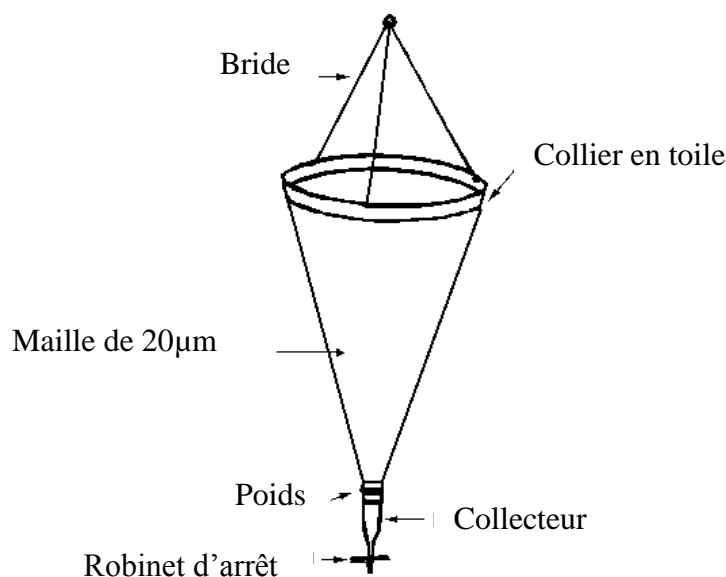


Figure 11 : Schéma du filet à plancton utilisé.

II.6.2.2 Identification et dénombrement des micro-algues

La détermination des algues est poussée jusqu'au genre. L'identification est réalisée à partir de l'observation microscopique, des critères morpho-anatomiques cités dans

différentes clés d'identification (Bourrelly, 1985), (Michel, 1987); (Gregoire et al., 1978). Nous nous sommes également référés à quelques sites web comme par exemple (*algaebase*) pour la connaissance de la position systématique de certaines espèces.

Les critères retenus lors de la détermination sont :

- La structure de la micro algue (cellulaire ou filamenteuse).
- La forme de la colonie ou du trichome.
- La taille et la couleur.
- La présence ou non : de gaine gélatineuse (couleur et aspect), d'akinètes, d'hétérocystes et de vacuoles gazeuses.

Dénombrement

Le dénombrement des algues recensées se base sur une méthode d'échantillonnage relative qui se déroule en plusieurs étapes :

- **Première étape (Fixation et sédimentation):** Afin de réaliser un dénombrement dans de bonnes conditions, il faut ajouter quelques gouttes de Lugol dans l'échantillon (filtrat) 250ml. Le Lugol tue les Algues, les alourdit (ce qui facilite leur sédimentation) et permet leur conservation pendant plusieurs mois.
- **Deuxième étape:** préparer un microscope, une lame porte objet, une cellule de comptage, pipette graduée et un appareil photo pour prise de vues instantanées.
- **Troisième étape:** Homogénéiser le flacon contenant l'échantillon d'algue par des simples mouvements, puis prélever un sous échantillon (le volume (10 à 20 ml) est choisi en fonction de la densité algale) et le déposer dans la cellule de comptage.
- **Quatrième étape (Comptage des micros algues):** Les dénombrements d'algues sont effectués à l'aide d'un microscope optique (**type SIZZ**), en utilisant les objectifs (Gr x 10) et (Gr x 40). Les comptages ne concerneront pas l'ensemble de la surface de la boîte, mais seulement une sous chambre repérée de superficie déjà connue (**2 cm²**) (Fig.12). Le comptage se fait par des parcours horizontaux sur toute la longueur de la sous chambre. Cette opération est répétée plusieurs fois (au moins 3 répétitions) pour avoir des valeurs moyennes plus proches des valeurs réelles.

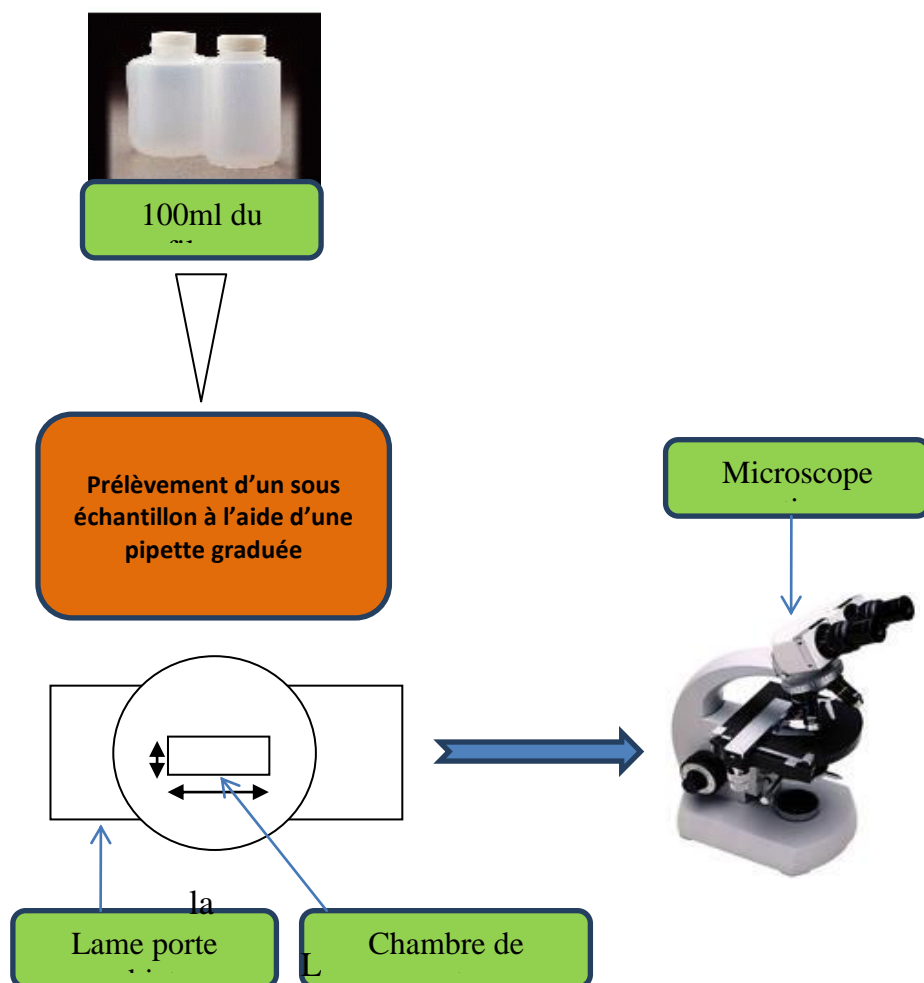


Figure 12 : Schéma représentant les étapes de l'étude qualitative et quantitative du phytoplancton.

II.7. Exploitation et analyse statistique des données

II.7.1. Exploitation par des paramètres et des indices écologiques et biologiques

II.7.1.1. Paramètres écologiques

✚ Fréquence en nombre :

La fréquence centésimale (F_c) représente l'abondance relative et correspond au pourcentage d'individus d'une espèce (n_i) par rapport au total des individus recensés (N) d'un peuplement. Elle peut être calculée pour un prélèvement ou pour l'ensemble des prélèvements d'une biocénose (Dajoz, 1985).

$$Fc\% = \frac{n_i}{N} 100$$

✚ La constance ou l'indice d'occurrence :

La constance (C) est le rapport du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée (P_i) au nombre total de relevés (P) exprimé en pourcentage (Dajoz, 1982).

$$C\% = \frac{P_i}{P} 100$$

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

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

✚ Analyse de similitude

✓ Indice de SORESENSEN :

Afin de pouvoir tester la similitude ou la différence existante dans la composition des peuplements d'une part dans l'espace, et d'autre part dans le temps, nous avons comparé la structure des relevés par une analyse discriminatoire en calculant l'indice de SORESENSEN ou le coefficient de similitude de SORESENSEN (Q_s) (Magurran, 1988) :

$$Q_s = \left[\frac{2c}{a+b} \right] \times 100$$

a : nombre d'espèces mentionnées dans le relevé 1,

b : nombre d'espèces décrites dans le relevé 2,

c : nombre d'espèces recensées simultanément dans les 2 relevés.

Pour notre cas, nous avons utilisé ce coefficient pour comparer la composition spécifique du peuplement phytoplanctonique des différents sites et pour différentes dates d'étude prises deux à deux.

🌈 Application d'indices de diversité des peuplements :

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

✓ Richesse totale :

Par définition ; la richesse totale (**S**) est le nombre d'espèces contractées au moins une seule fois au terme de N relevés effectués. L'adéquation de ce paramètre à la richesse réelle est bien entendu d'autant meilleure que le nombre de relevés est plus grand (Blondel, 1975).

✓ Richesse spécifique moyenne :

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

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

✓ Indice de diversité de SHANNON :

L'indice de diversité de SHANNON dérive d'une fonction établie par SHANNON et WIENER qui est devenue l'indice de diversité de Shannon. Il est parfois, incorrectement appelé indice de SHANNON-WEAVER (Krebs, 1989 ; Magurran, 1988). Cet indice symbolisé par la lettre **H'** fait appel à la théorie de l'information. La diversité est fonction de la probabilité de présence de chaque espèce dans un ensemble d'individus. La valeur de **H'** représentée en unités binaires d'information ou bits et donnée par la formule suivante (Blondel, 1979 ; Dajoz, 1985 ; Magurran, 1988) :

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

où

$$\log_2 P_i = \frac{\ln P_i}{\ln 2}$$

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

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

Cet indice indique l'état de diversité des espèces d'un biotope étudié. Lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, l'indice de diversité dans ce cas est égal zéro.

- ❖ Selon Magurran (1988), la valeur de cet indice varie généralement entre 1,5 et 3,5, il dépasse rarement 4,5.

Selon Dajoz (1984), cet indice est indépendant de la taille de l'échantillon et tient compte de la distribution. Lorsque :

- $H = 0$ → tous les individus appartiennent à la même espèce.
- $H < 1,5$ → le peuplement étudié est peu diversifié.
- $H > 1,5$ → le peuplement étudié est diversifié.

✚ Indice d'équirépartition des populations (équitabilité) :

C'est le rapport entre la diversité calculé H' et la diversité théorique maximale (H'_{max}) qui est représentée par \log_2 de la richesse totale S (Blondel, 1979).

$$E = \frac{H'}{H_{Max}}$$

Et

$$H_{max} = \log_2 S$$

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

II.7.2. Analyses statistiques

II.7.2.1. Analyses statistiques univariées

En analyse statistique univariée, nous avons calculé pour chaque variable

les paramètres de base qui sont les statistiques descriptives : la moyenne, l'écart-type (s), les valeurs max et min, la médiane...etc (Dagnelie, 2000).

II.7.2.2. Analyses statistiques bivariées

L'analyse statistique bivariée consiste à calculer, d'une part, les corrélations linéaires simples entre les différentes variables deux à deux et, d'autre part, les équations de régression linéaire simple par la méthode des moindres carrés (Dagnelie, 2000).

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

-si $P \leq 0,05 \Rightarrow$ il y a une corrélation entre les deux caractères.

1. Caractérisation de la qualité de l'eau

1.1. Qualité physicochimique

Afin de caractériser la qualité physico-chimique de l'eau des hydrosystèmes de notre région d'étude, nous avons rapporté les valeurs correspondantes à plusieurs paramètres clés donnant une image fidèle de cette qualité de l'eau. La variation spatiale des sites explorés différents par leurs typologies nous a permis de mettre la lumière sur les éventuelles variations entre ces sites. Ainsi ; nous avons étudié : Oued Guraita , Oued Bakhdach, Oued Gulette, Oued Tadjmout et Oued Ksar El hiran.

Les données caractérisant la nature physico-chimique de l'eau mesurée selon les méthodes décrites plus haut, sont rapportées dans les tableaux ci-dessous (Tableau 7).

Tableau 7 : Variations des paramètres physicochimiques de l'eau dans quelques hydrosystèmes de la région prospectée.

	Oued Guraita	Oued Bakhdach	Oued Gulette	Oued M'zi (Tadjmout)	Oued M'zi (Ksar El hiran)
T°C	24	20,3	19,8	22,1	23
Cond (µs)	16740	1584	816	2389	2342
pH	8,79	8,07	8,16	7,99	7,99
S (g/l)	5	0,7	0,4	1	1
TDs	8,38	796	406	1189	1171
Tur	0,477	1,86	1,15	2,19	2,07
Mineral ali	12698,02	1201,5	583,8	1812,1	1776,5
NO3	2,9	11,3	34,9	8,8	4,8
NO2	0	0,01	0,05	0,01	0,02
NH4	1,94	3,43	1,27	1,39	2,69
PO4	0,17	0,05	0,14	0,1	0,06

➤ La température (T°C)

La température de l'eau présente des variations bien visibles dans l'ensemble des stations prospectées; la valeur la plus basse est enregistrée au niveau d'Oued Gulette (19.8°C) et la plus élevée dans Oued Guraita (24°C). Nos relevés de la température font apparaître grossièrement que les plans d'eau de l'étage bioclimatique désertique sont les plus chauds. Les fluctuations de ce paramètre abiotique sont en relation avec les

conditions climatiques locales et régionales et plus particulièrement avec la température de l'air, ainsi que les phénomènes d'évaporation d'eau et de précipitations qui en résultent quand cette dernière augmente. Des résultats similaires, concernant d'autres plans d'eaux, ont également rapporté la forte influence de la température de l'air sur celle de l'eau. Aminot (1983), montre que la température est un facteur environnemental important pour la vie aquatique contrôlant l'ensemble des processus biologiques tels que la reproduction, la croissance et le préférendum thermique, liés à un environnement donné.

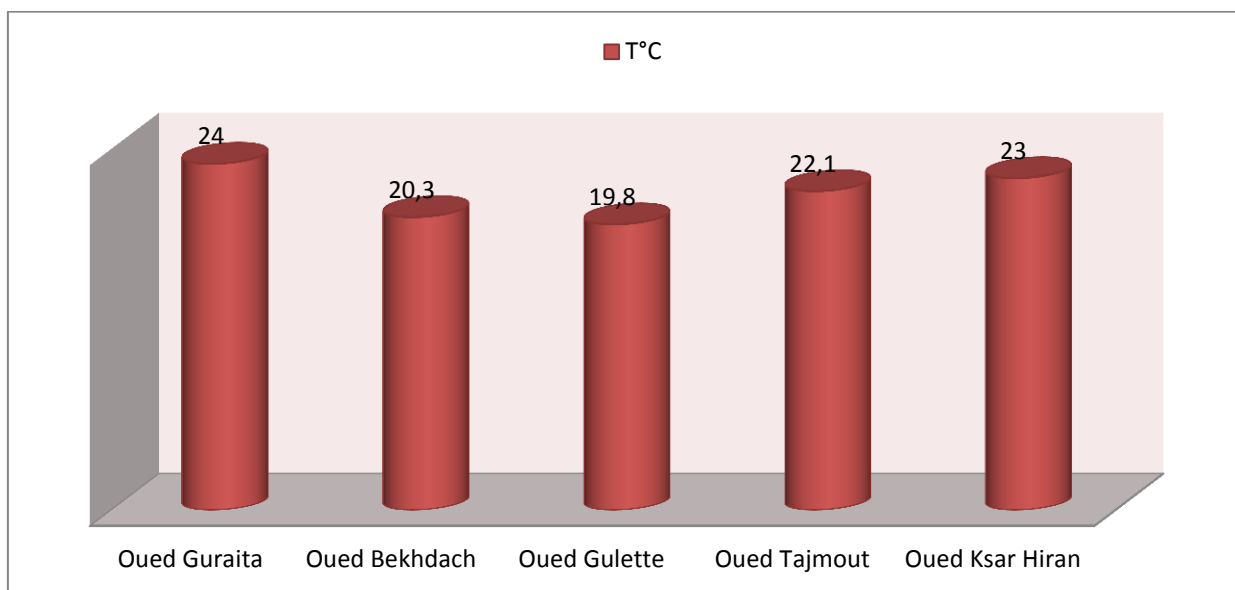


Figure 13 : Variations des températures (T °C) de l'eau dans les stations prospectées.

➤ Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH, ou potentiel d'hydrogène, 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 (Grogg, 2012). Il a un effet important sur le goût de l'eau, il indique aussi des possibles problèmes de corrosion et la possibilité de la présence des métaux toxiques. Les valeurs de pH enregistrées dans les cinq stations prospectées varient entre 7,99 dans Site 5 Oued Ksar El hiran et 8,79 dans Oued Guraita. Les sites 2, 3 et le site 4 présentent une valeur légèrement alcaline égale à généralement entre 7,99 et 8,16 (Fig14). Cette alcalinité s'expliquerait par l'absence d'une source de pollution réelle comme les eaux usées par exemple.

Silberged (1993) ; Lagadic et al (1997), rapportent que l'activité enzymatique peut être extrêmement sensible aux variations saisonnières du milieu, ainsi qu'à la contamination probable de l'environnement. Les eaux naturelles ont en général un pH qui

varie entre 6,5 et 8,5. Si le pH est en dessous de (4,5), des irritations des membranes muqueuses peuvent se produire et l'eau devient fortement corrosive, avec un goût aigre. Si le pH est au-dessus de 10, les mêmes irritations se produisent et le goût devient savonneux. Le pH de l'eau permet de classer celle-ci en trois catégories selon l'échelle adoptée par Hecker et *al*(1996). Eau acide (pH < 5,5), eau neutre (pH = 5,5 à 7,4), eau alcaline (pH > 7,4). En pratique, les eaux ayant un pH supérieur à 8 ou inférieur à 6 sont rares mais on peut rencontrer des pH plus élevés dans des situations d'eutrophisation d'eau.

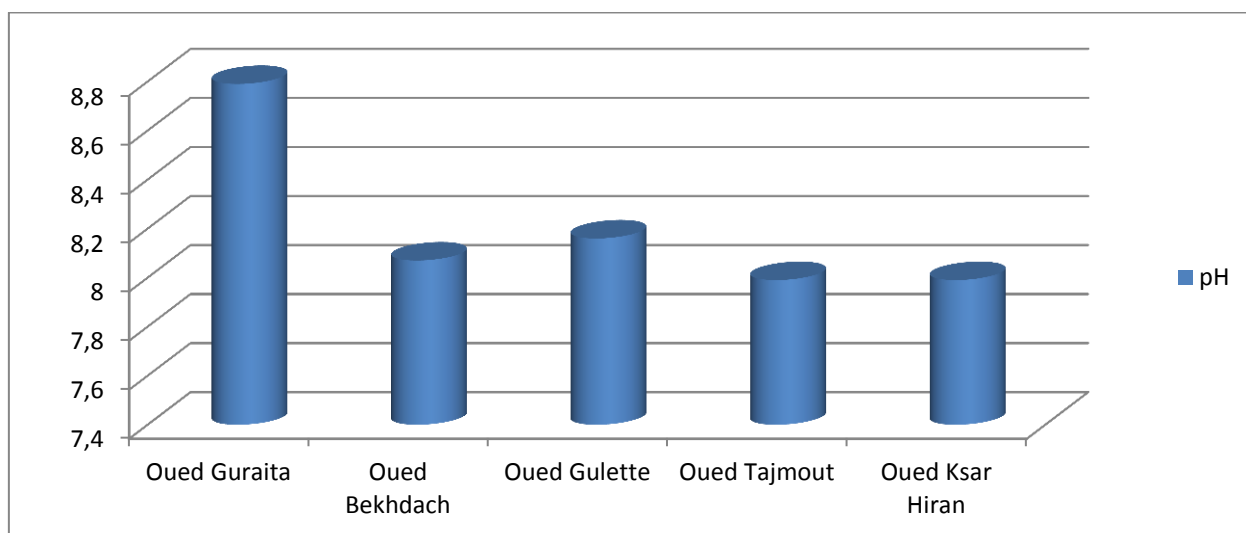


Figure 14: Variations du pH de l'eau dans les stations prospectées.

➤ Turbidité (NTU)

Dans l'ensemble des stations, nos résultats montrent que la turbidité de l'eau varie entre 0,477 et 2,19 NTU (Nephrometrie Turbidity Unit) (Fig15). La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute. Selon l'U.S. Environnement Protection Agency, l'intensité de la turbidité permet de classer l'eau suivant les normes ci-après (Anonyme, 1978) : NTU < 30 NTU : l'eau est claire ; 30 < NTU < 50 NTU : Eau moyennement trouble ; NTU > 50 NTU : pour une eau trouble.

Les résultats de la turbidité obtenus dans les cinq stations étudiées sont nettement inférieurs à la valeur de guide fixée à 30 NTU pour une eau de turbidité claire. Dussart (1992), a signalé que l'augmentation de la transparence a lieu parallèlement à la chute de la densité en microalgues. Dans un plan d'eau, la transparence varie en fonction de l'abondance des particules en suspension (argile, limon, ...) et du phytoplancton (Balvay, 1985).

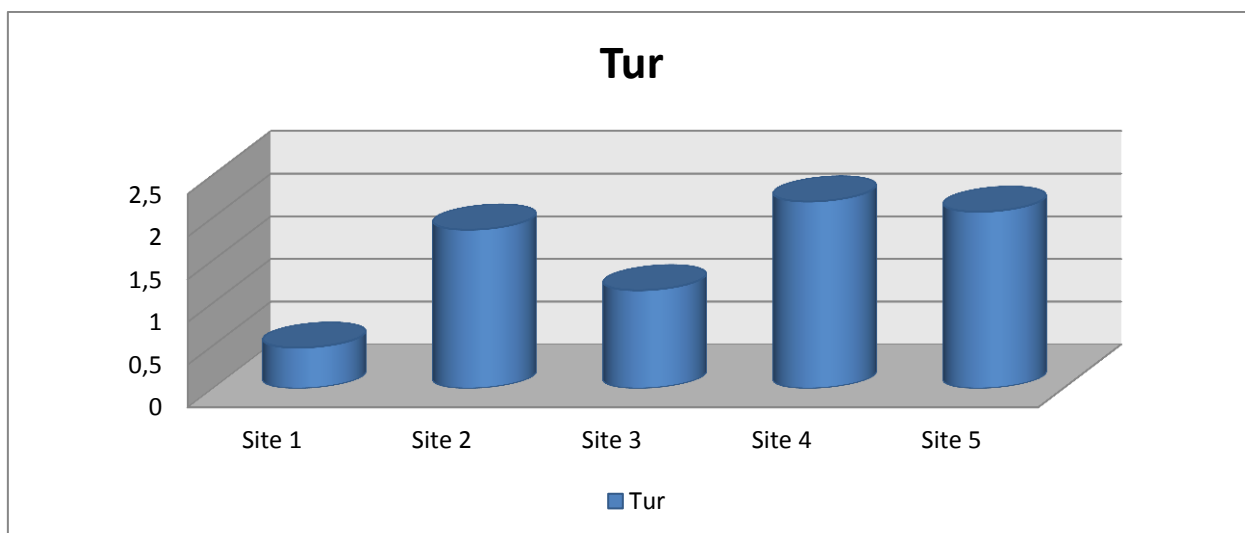


Figure 15 : Variations de la Turbidité de l'eau en NTU dans les stations prospectées.

➤ La Salinité (S‰)

La salinité est définie à l'origine comme la quantité de sels dissous présents dans l'eau (Bouchar, 2010). Ce paramètre varie proportionnellement avec la conductivité (Terbah, 2007). L'eau est dure ou calcaire si elle est riche en sels de calcium, ou en sels minéraux en générale. Au contraire, elle est douce lorsqu'elle est pauvre en ces éléments (Rejsek, 2002). Nous notons en effet, que la salinité enregistrée durant la période d'étude présente des variations remarquables entre les différents sites étudiés. Sachant que les teneurs notées varient entre 0,4 à 05 ‰ respectivement à site 3 et site 1 (Fig.16).

La valeur de salinité la plus élevée a été enregistrée dans le site 1 avec 5g/l

Le degré de salinité permet de classer l'eau selon les catégories suivantes : Eau douce ($S‰ < 0,5$ g/l), eau douce à saumâtre (0,5 à 5 g/l), eau saumâtre à salée (18 à 30 g/l) et eau salée ($S‰ > 30$ g/l) (Hecker et al, 1996). Dans notre cas, les résultats de la salinité obtenus nous permettent de classer les sites étudiés dans la catégorie d'une eau douce à saumâtre. Il est clair de dire que cette dernière est directement liée au rapport évaporation/précipitation. Cette constatation a été mise en évidence par les travaux de Hacini et al (2008) sur les variations de la salinité avec la température et l'évaporation.

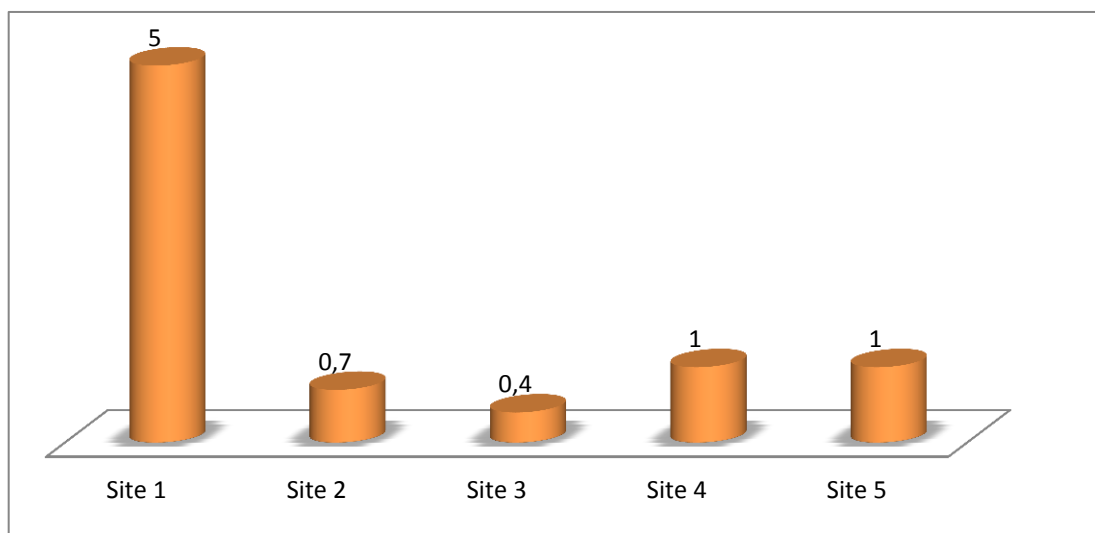


Figure16 : Variations de la Salinité (%) de l'eau dans les stations prospectées.

➤ La conductivité

La conductivité est une mesure générale de la qualité de l'eau, qui indique la quantité totale des sels dissous. Si la conductivité est élevée le goût de l'eau sera normalement salé (mais pas forcément). En plus, une haute conductivité indique la possibilité de la présence, à un niveau important, des ions dangereux à la santé et de la corrosivité de l'eau. La conductivité suit le rythme de la salinité dans l'ensemble des stations prospectées, elle dépasse les 16000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, dans Oued El-Guraita (Fig. 17).

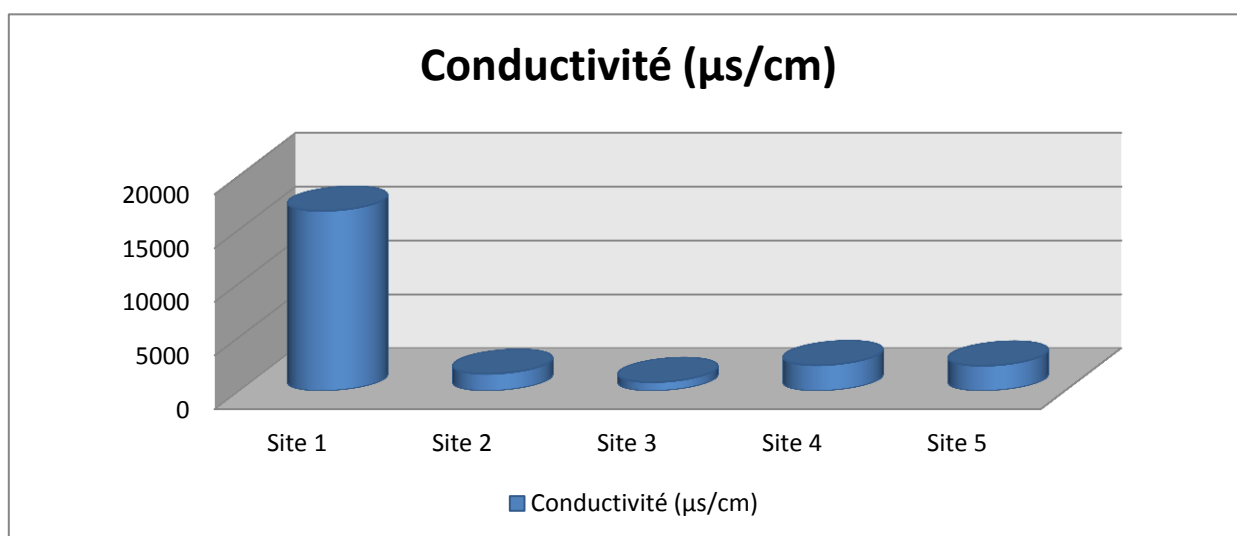


Figure 17 : Variations de la Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de l'eau dans les stations prospectées.

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

Tableau 8: Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (Rejsek, 2002).

Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation de l'eau	Conductivité mesurée
< 100	Très faible	
Entre 100 et 200	Faible	
Entre 200 et 333	Moyenne	
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée	
Entre 666 et 1000	Importante	Site 3(Oued Gulette)
>1000	Elevée	Site 1(Oued Guraita), Site 2 (Oued Bekhdach), Site 4 (Oued Tajmout), Site 5 (ksar Hiran)

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

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

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

➤ **Les nitrites (NO₂)**

Selon Dussart (1992), les nitrites représentent la forme intermédiaire et le résultat de l'oxydation des matièresorganiques azotées.

Nos données montrent que la teneur en azote nitreux est très faible et varie autour d'une moyenne de 0,018 mg /l avec une concentration maximale de 0,05 mg/l notée dans l'Oued Gulette (Fig. 18). La présence de nitrites dans une eau peut être due à une oxydation incomplète de composés azotés (azote organique ou ammoniacal). Elle correspond à un stade intermédiaire et sa concentration est en général inférieure à 1,0 mg/l (Rejsek, 2002). D'après ANRH (2003) *in*Houadef et Salem(2007), les classes proposées pour les nitrites sont : (0 à 0,01mg/l) pour une eau de bonne qualité, entre 0,01 et 0,1 mg/l pour une qualité moyenne et de mauvaise à très mauvaise qualité lorsque les valeurs de nitrites est de 0,1 à 3 mg/l et $\text{NO}_2 > 3$ mg/l. Donc, de manière générale, nous pouvons dire que la qualité l'eau des stations étudiées est de moyenne à bonne.

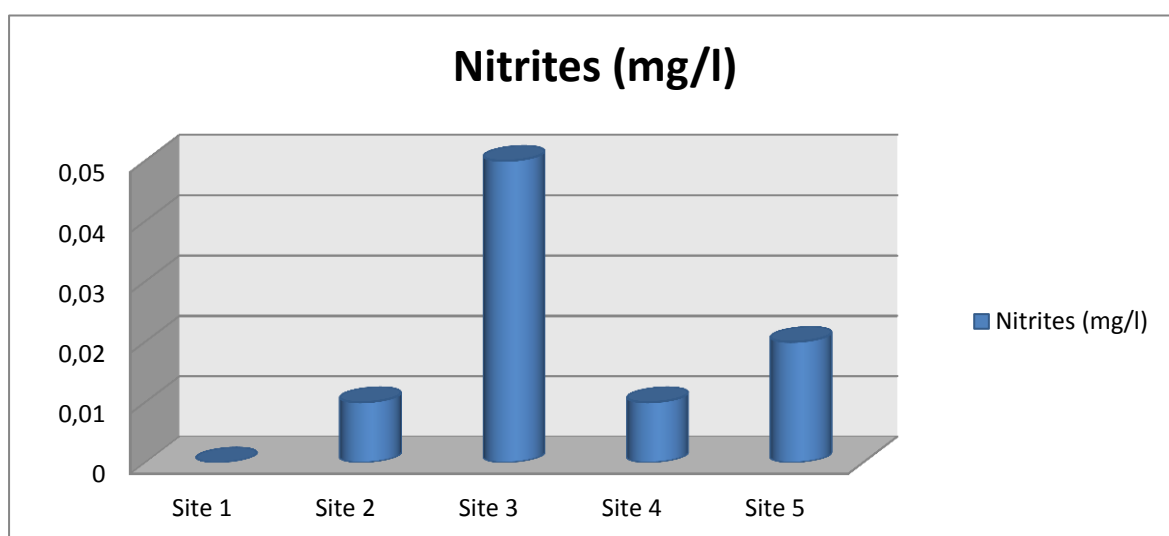


Figure 18 : Variations de la teneur en Nitrites (mg/l) dans les stations prospectées

➤ Les nitrates (NO_3)

Les résultats obtenus à partir de nos prélèvements indiquent la présence de teneurs supérieures à 3 mg/l pour les sites 2, 3, 4 et 5 avec des valeurs 11,3mg/l, 34,9mg/l, 8,8mg/l et 4,8mg/l respectivement en revanche dans le site 1 le teneur est de 2.9 mg/l (Fig.19).

La concentration naturelle en nitrates ne dépasse pas 3 mg/l dans les eaux superficielles. La nature des zones de drainage joue un rôle essentiel dans leurs présences et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. Certains auteurs ont montré que les nitrates sont en relation avec le régime pluviométrique (Romdhane 1986; Ben Rejeb 1989; Mouelhi 2000; Turki 2002). Les variations

saisonniers des teneurs en nitrates sont importantes et liées au développement du phytoplancton (Rejsek, 2002). Les excédents d'azote sont dus à une fertilisation excessive et/ou à des pratiques culturales inadaptées. Dans certaines régions ce sont les rejets azotés d'origine animale excessifs qui sont en cause

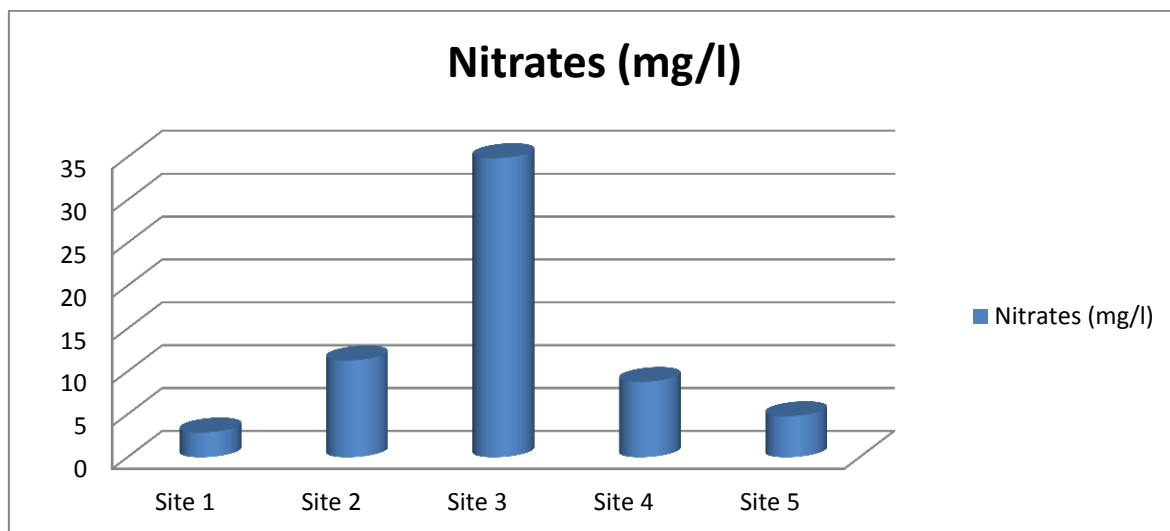


Figure 19 : Variations de la teneur en Nitrates (mg/l) dans les stations prospectées.

➤ Orthophosphate (PO_4^{3-})

Le phosphore, est le facteur limitant le plus fréquent dans les eaux douces et dans divers lacs eutrophes des régions tropicales (Sommer, 1989). Les orthophosphates (PO_4^{3-}), forme minérale soluble, constituent la source majeure du phosphore utilisé par le phytoplancton à des concentrations parfois très faibles (Grogg, 2012). Dans les milieux aquatiques, les orthophosphates sont rapidement assimilés par les végétaux mais aussi rapidement recyclés (Pourriot et Meybeck 1995).

Dans notre étude, le dosage des orthophosphates indique des valeurs totales faibles pour toutes les stations étudiées. La valeur maximale est enregistrée dans le site 01 oued de Guriata (0,17 mg/l), ce qui est inférieur à la valeur guide de 0,5 mg/l qui permet de suspecter la pollution d'eau (Fig. 20). Les eaux de surface peuvent être contaminées par des rejets domestiques ou par le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides. Cette contamination entraîne un développement important des algues microscopiques mais aussi macroscopiques, qui caractérise le phénomène d'eutrophisation (Rejsek, 2002). Par ailleurs, Rejsek (2002), signale que pour des pH compris entre 5 et 8, seules les formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} d'Orthophosphates existent en quantités appréciables.

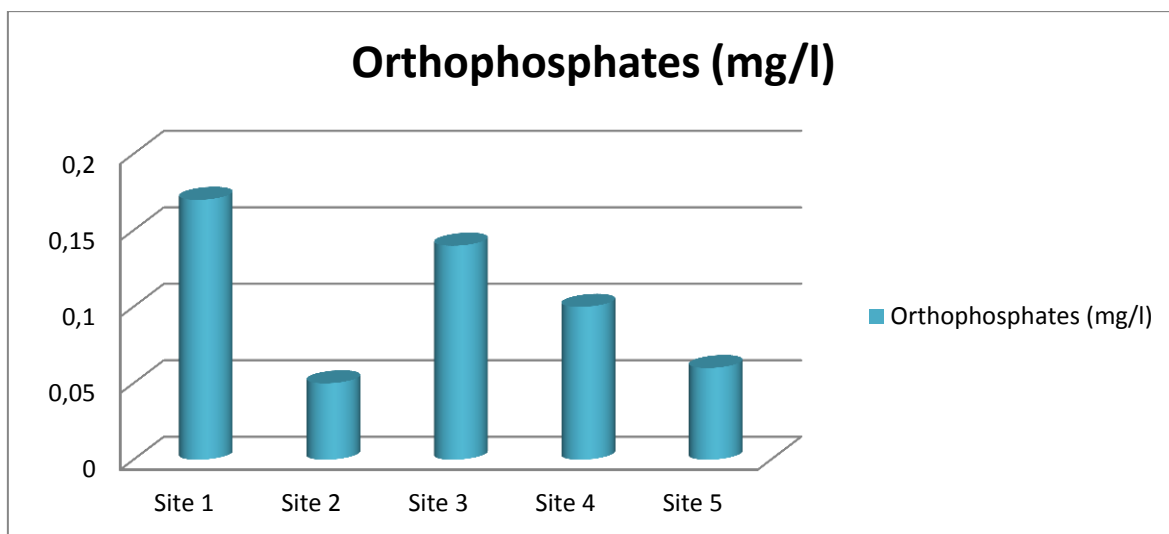


Figure 20 : Variations des Orthophosphates (mg/l) dans les stations prospectées.

➤ **NH₄**

Une concentration maximale de 03,43 mg/l est enregistrée dans l'Oued de Bekhdach et une concentration minimale de 1,27 mg /l pour le l'Oued de Gulette (Fig. 21).

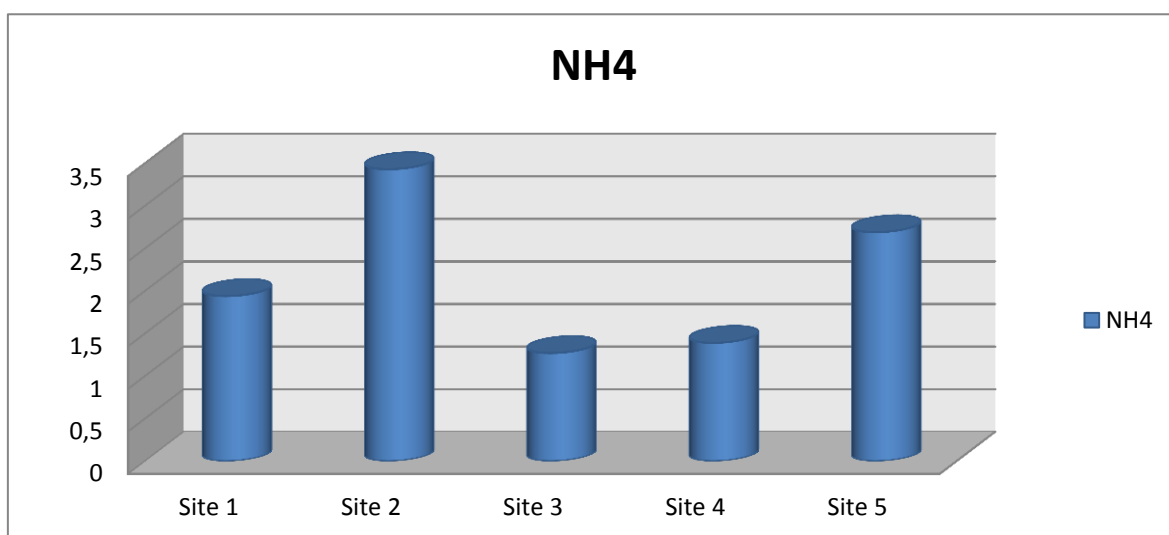


Figure 21 : Variations de L'amonium(mg/l) dans l'eau dans les stations prospectées.

2. Structure et organisation du peuplement phytoplanctonique

2.1. Inventaire global de la floremicroalgale recensée

Après l'examen microscopique des échantillons d'eau prélevés, nous présentons dans le Tableau 09 la liste systématique du phytoplancton collecté sur plusieurs sites suivant la classification établie par Bourrelly (1970), Sournia (1986). L'identification a été poussée jusqu'au genre seulement, ceci est due a la forte similitude entre les espèces qui représentent le meme genre.

Tableau 09 : Inventaire taxinomique du phytoplancton recensé dans l'ensemble des sites prospectés (1: Oued Guraita, 2: Oued Bekhdache, 3: Oued Gulette, 4: Oued Tajmout, 5: Oued ksar hiran).

Classes	Ordres	Familles	Genres
Zygnemophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>
	chlorellales	chlorellaceae	<i>actinastrum</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>
<i>Synedra</i>			

Nos données montrent que la flore microalgale recensée est composée de 8 genres, appartenant à 3 classes, 6 ordres et 7 familles, qui sont les : Zygnemataceae Chlamydomonadaceae, chlorellaceae, Cymbellaceae, Naviculaceae, Cocconeidaceae Fragilariaceae.

Le genre *Navicula* regroupe la proportion la plus importante du peuplement phytoplanctonique soit (28%), suivie par les *cocconeis* (soit 27%) et *Synedra* (soit 19 %) les autres genre sont les plus faiblement représentées entre 1 à 12% (Fig. 22).

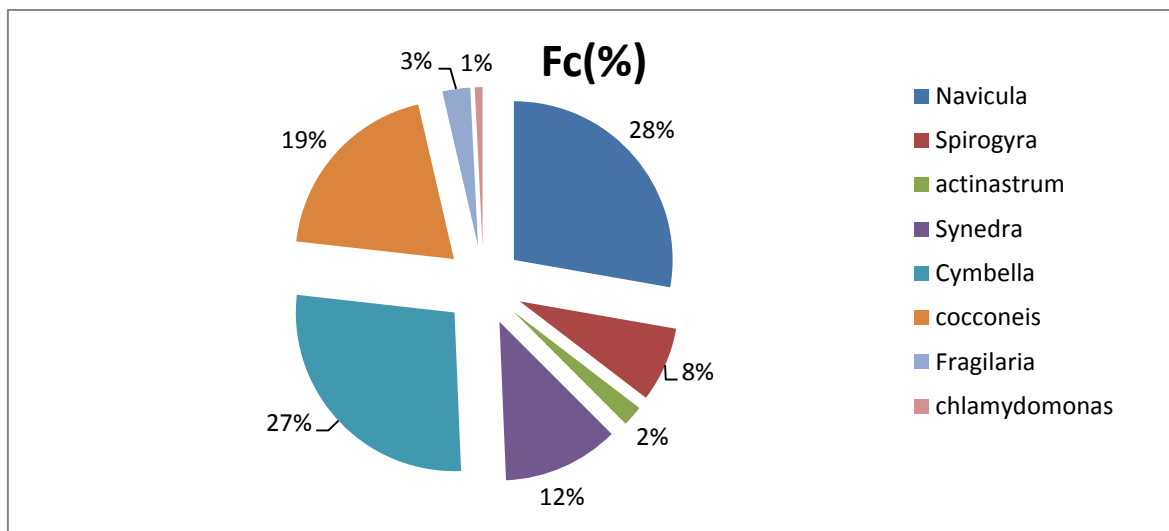


Figure 22 : Pourcentages des différentes genre identifiées.

Discussion

La majorité des algues répertoriées sont des espèces cosmopolites à large spectre écologique. Nous citons comme par exemple *Cocconeis* et *Navicula*. Touahria (2007), à signalé à l'Est du bassin d'Alger 192 espèces réparties entre les différents groupes phytoplanctoniques suivants: les Diatomées, les Dinoflagelles, les Coccolithophorides, les Cryptophycées et les silicoflagelles. Les Bacillariophyceae detiennent le premier rang avec 5 taxons, suivis des Chlorophyceae avec 2 espèces. Quelques taxons décrits par Manguin (1952) en Guadeloupe ont été aussi répertoriés comme *Navicula* et *Pinnularia*. Selon Reynolds et al, (2000), les représentatnts des groupes notamment les genres *Scenedesmus* et *Microcystis*, sont connus pour leur prédilection pour les milieux eutrophes.

Les communautés phytoplanctoniques sont constituées d'assemblages d'espèces présentant des caractéristiques morphologiques (taille, forme,...) et physiologiques (mode de nutrition, taux de croissance,...) très différentes dont l'organisation est une composante essentielle à la compréhension du fonctionnement d'un écosystème (Klug & Tiedje, 1993). Selon Karr (1991), la connaissance de la composition taxonomique des communautés constitue une source d'informations nécessaire. En effet, la composition taxonomique des communautés phytoplanctoniques permet d'établir devéritables outils de diagnostic et d'évaluation de la pollution, comme les indices diatomiques (Descy & Coste, 1990).

Les *Chlorophytes*, les *Cyanophycées* et les *Euglenophytes* sont les principales classes après celle de *Bacillariophyceae*. Thomas (2003), montre que ces classes sont des

groupes caractéristique de milieux pollués riches en substances organiques provenant de leur environnement. Cela s’explique par le rejet dans la plupart des sites étudiés d’importantes quantités d’eaux usées domestiques non traitées, comme le cas l’Oued Tadjmout.

2.2. Evaluation de la fréquence d’occurrence des peuplements phytoplanctoniques

Afin d’avoir une idée sur l’organisation et la structure des différents peuplements de phytoplancton inventoriés, nous avons calculé les fréquences d’occurrences des différentes genre D’algues recensées (Tab. 10).

Tableau 10 : Fréquence d’occurrence et échelle de constance de différents genres de phytoplancton recensés dans quelques hydrosystèmes.

Genres	C(%)	Echelle de constance
<i>Navicula</i>	100	Constante
<i>Spirogyra</i>	100	Constante
<i>actinastrum</i>	80	Constante
<i>Synedra</i>	100	Constante
<i>Cymbella</i>	100	Constante
<i>cocconeis</i>	100	Constante
<i>Fragilaria</i>	100	Constante
<i>Chlamydomonas</i>	40	Accessoire

Discussion

La fréquence d’occurrence ou la constance C en % renseigne sur les espèces caractéristiques des sites. Un total de 7 genres (soit 87 %), sont considérés comme constants ayant une répartition cosmopolite. Aussi, 1 genres (soit 13%) sont considérés Accessoire. En ce qui concerne la fréquence d’occurrence, (Fig.23). La majorité des espèces signalées constants tolèrent les divers paramètres abiotiques caractérisant leur habitat.

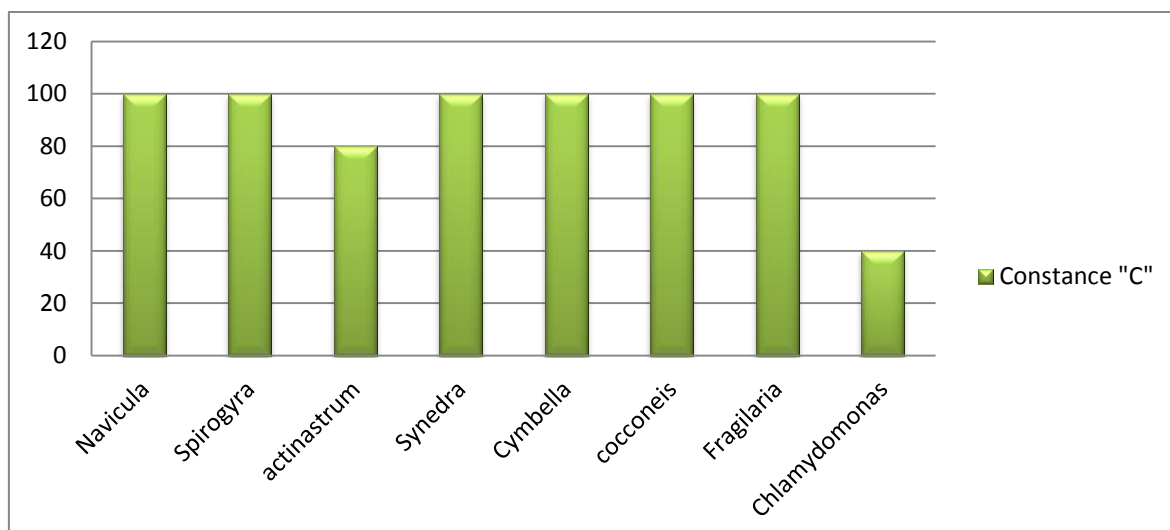


Figure 23 : Fréquence d'occurrence (C en %) des différents genres phytoplanctoniques inventoriés.

2.3. Similitudes entre la structure des peuplements de phytoplancton (Indice de similitude de SORENSON)

En se basant sur la présence ou l'absence des espèces dans les sites étudiées, nous avons comparé à l'aide du calcul de l'indice de similitude de SORENSON, la composition des peuplements phytoplanctoniques pris deux à deux. Cet indice est obtenu à partir des genres communs entre les relevés pris deux à deux (Tableau 11).

Tableau 11. Indice de similitude de SORENSON des cinq stations échantillonnées prises deux à deux.

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Site 1	100	100	93,33	100	85,71
Site 2		100	93,33	100	85,71
Site 3			100	93,33	93,33
Site 4				100	85,71
Site 5					100

Discussion

L'indice de similitude calculé est supérieur à 85% dans la plupart des cas de comparaisons entre les sites pris deux à deux. Le taux de ressemblance le plus élevé est noté entre site 2 et site 1 et entre 4 et 1 ; 4 et 2 où le coefficient de similitude est de 100%. La similitude entre les sites pris deux à deux s'expliquerait par le fait qu'elles offrent généralement les mêmes conditions écologiques au peuplement phytoplanctonique. Elle

n'est sûrement pas accidentelle, car elle reflète l'action des conditions écologiques situationnelles, notamment celles de l'action des propriétés physico-chimiques de l'eau sur le développement de ces microalgues.

2.4. Variation des paramètres de diversité des communautés phytoplanctoniques

Afin d'évaluer la diversité des peuplements du phytoplancton étudiés, nous avons calculé la richesse générique totale (S) et moyenne (Sm), l'indice de diversité de Shannon (H') et celui de l'équitabilité (E) (Tab. 12).

Tableau 12 : Richesse générique totale (S), richesse générique moyenne (Sm), indice de diversité de Shannon (H') et équirépartition (E) du peuplement phytoplanctonique.

S	8
Sm	7.2
H'	2.46
Hmax	3
E %	0.82

2.4.1. Richesse générique totale (S)

Les résultats de la caractérisation des peuplements phytoplanctoniques par les différents indices écologiques montre que :

La communauté phytoplanctonique présente une richesse totale de huit genres (*Navicula*, *Spirogyra*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Cymbella*, *Cocconeis*, *Actinastrum*) avec une richesse moyenne de 7.2 c'est dire on a une possibilité de récupérer 7.2 individus lors de chaque relevé. Une valeur de H' de Shannon égale à 2.46 ce qui indique que le peuplement est diversifié avec une équitabilité proche à 1 révélant que la majorité des genres ont la même densité.

2.5. Densité moyenne du phytoplancton recensé

Les densités globales du plancton ont été recensées dans 5 sites :

❖ Oued Graita

Les résultats de notre comptage font apparaître la prédominance des effectifs des *Cocconeis* qui comptabilisent une densité moyenne proche de 344,23 (soit 44% de la

biomasse algale). Elles sont suivies par le genre *Cymbella* qui représentent 28% et *Navicula* qui représente 13%. Pour les autres espèces, leurs densité moyenne cumulée est très faiblement représentée (Fig.24).

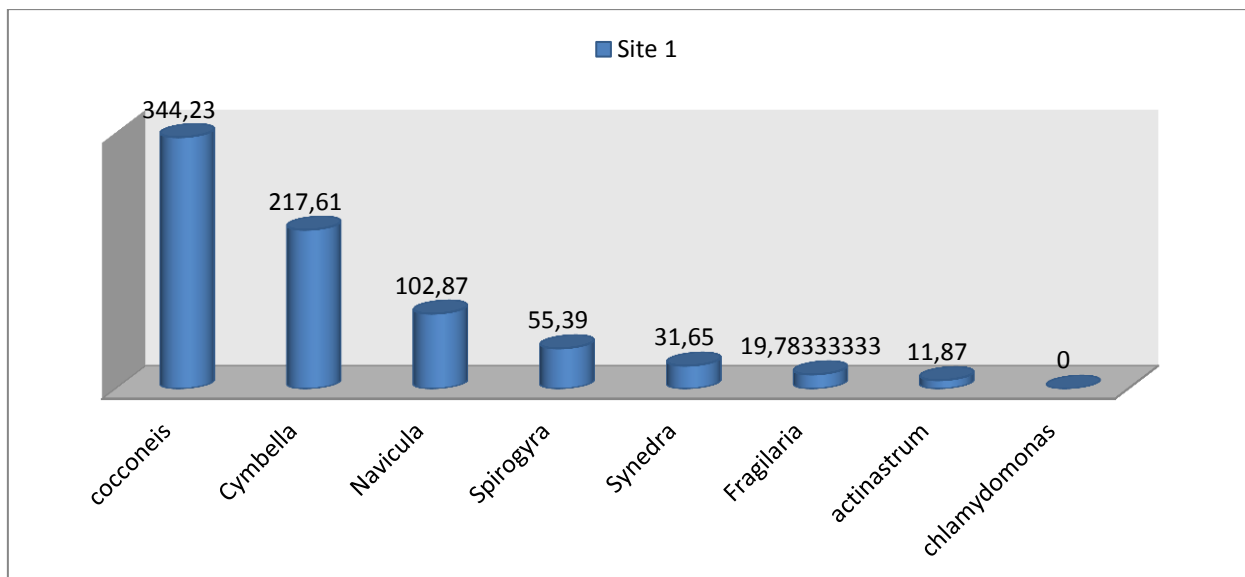


Figure 24 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l’Oued de guraita.

🚦 Oued Bekhdache

Les résultats de notre comptage font apparaitre la prédominance des effectifs des *cocconeis* qui comptabilise une densité moyenne proche de 276 ind/l soit (32%). Ces derniers sont suivis par les *Cymbella* qui représentent 30% de la biomasse enregistrée, *Navicula* qui représente 15%. En revanche, les autres genres représentent de faibles valeurs (Fig.25).

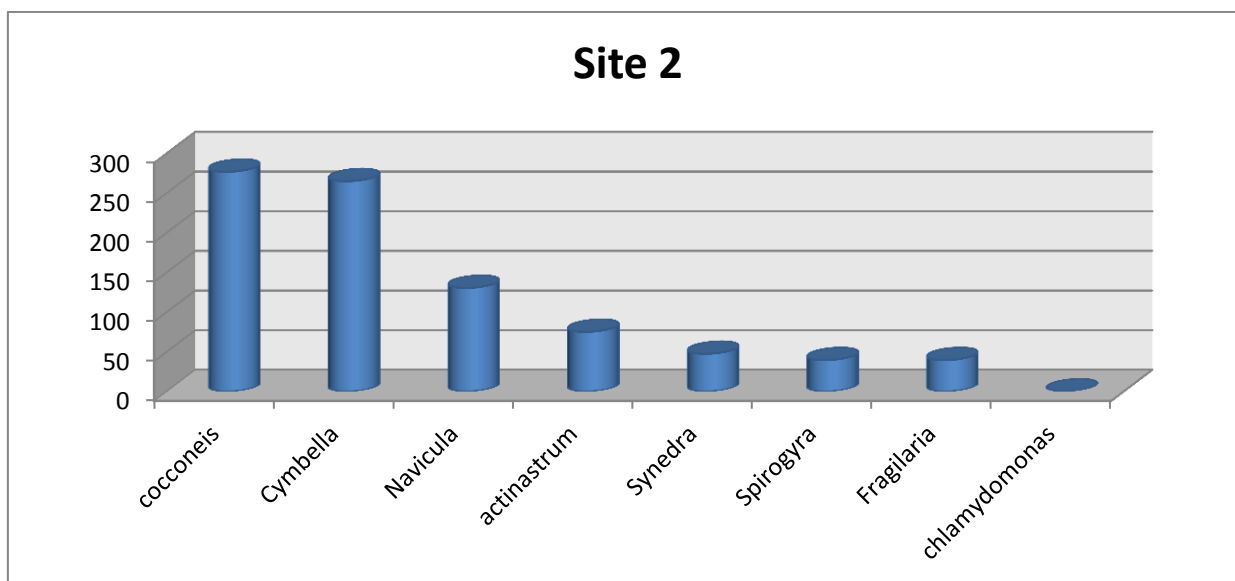


Figure 25 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l’Oued de Bekhdache.

✚ Oued Gulette

Les résultats de notre comptage font apparaitre la prédominance des effectifs des *synedra* qui comptabilise une densité moyenne proche de 1297,78 ind/l soit (47%). Ces derniers sont suivis par les *spirogyra* qui représentent 32% de la biomasse enregistrée, *Navicula* qui représente 07% En revanche, les autre genres représente des faibles valeurs (Fig.26).

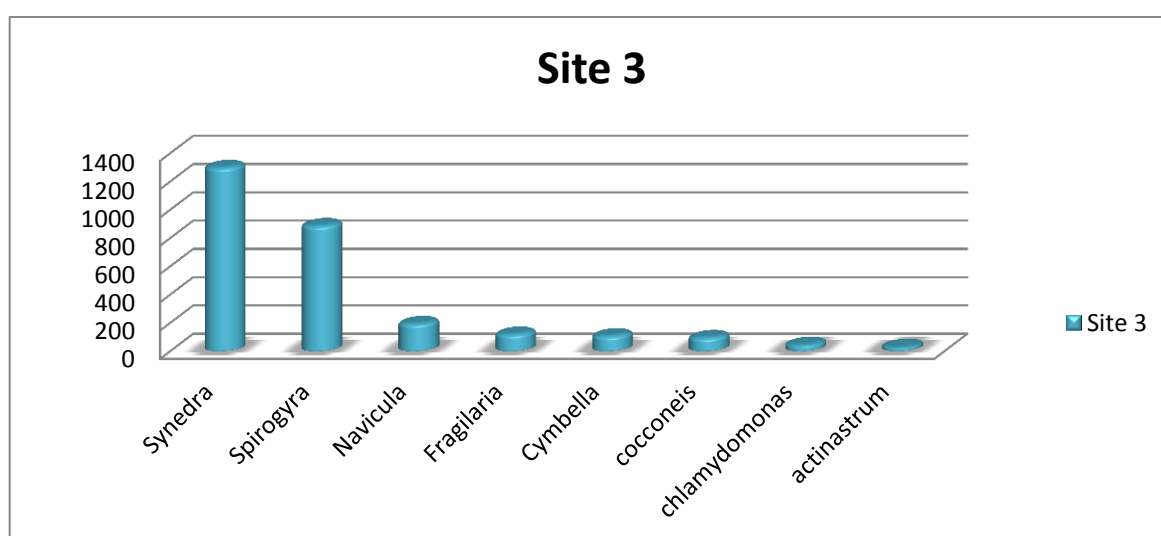


Figure 26 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l’Oued de Gulette.

✚ Oued Tadjmout

Les résultats de notre comptage font apparaitre la prédominance des effectifs des *Synedra* qui comptabilise une densité moyenne proche de 518,32 ind/l soit (41%). Ces derniers sont suivis par les *cocconeis* qui représentent 22% de la biomasse enregistrée, *Cymbella* qui représente 16% et *Spirogyra* qui représentent 14 % de la biomasse enregistrée, En revanche, les autre genres représente des faibles valeurs (Fig. 27).

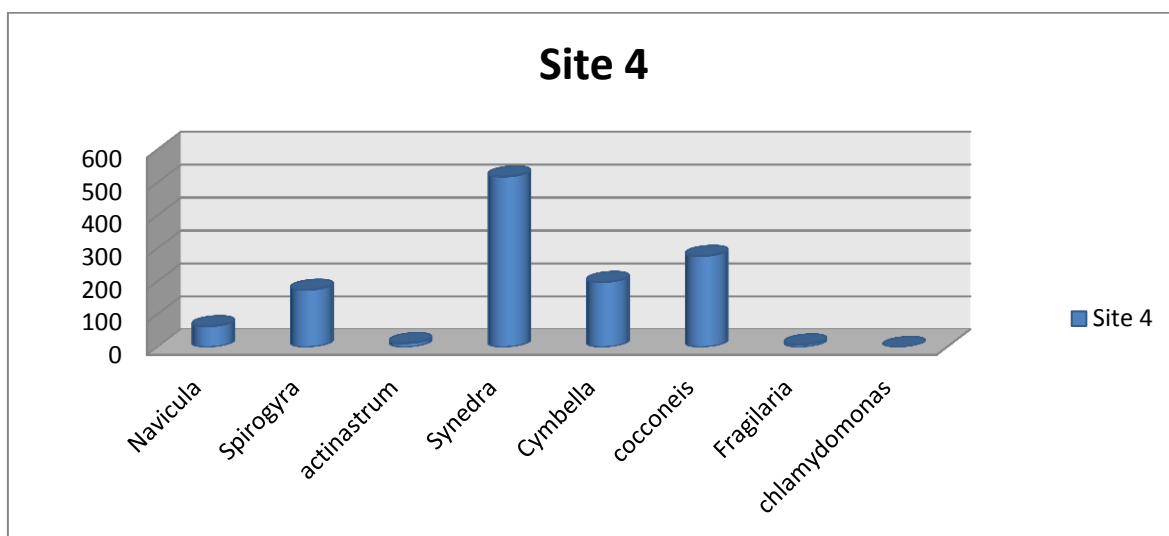


Figure 27 : Densités moyennes des différentes classes microalgales de l'Oued de Tadjmout .

✚ Oued Ksar El hiran

Les résultats de notre comptage font apparaitre la prédominance des effectifs des *cocconeis* qui comptabilise une densité moyenne proche de 87,04 ind/l soit (26%). Ces derniers sont suivis par les *Cymbella* qui représentent 25 % de la biomasse enregistrée, *Navicula* qui représente 22% et *Spirogyra* qui représentent 21 % de la biomasse enregistrée, En revanche, les autre genres représente des valeur faibles (Fig. 28).

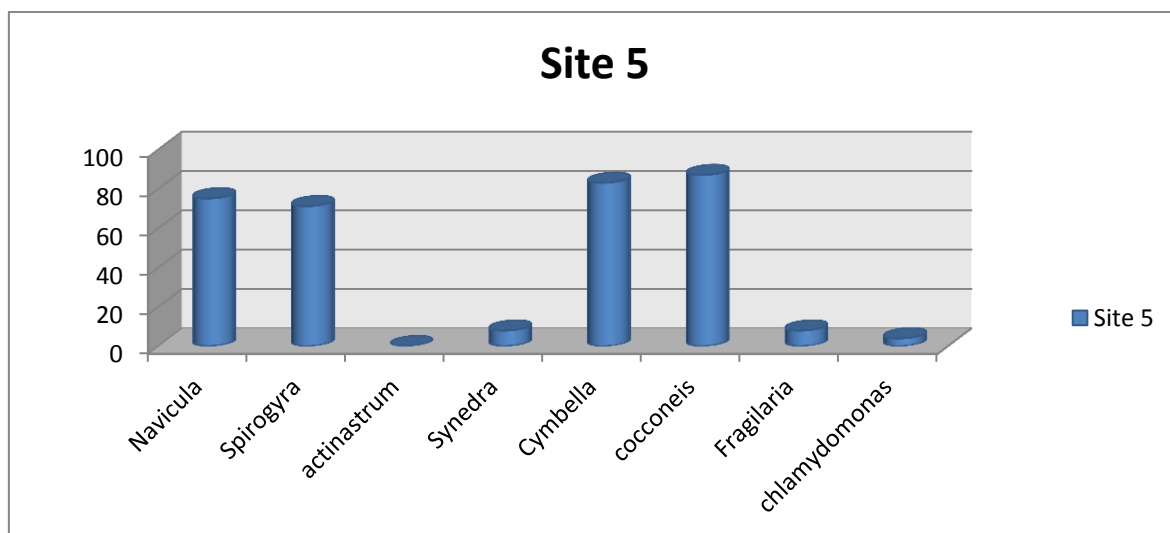


Figure 28 : Variation mensuelle de la densité globale du phytoplancton dans l'Oued de Tadmout.

2.6. Analyse des corrélations entre les paramètres physico-chimiques et la dynamique du peuplement phytoplanctonique

Afin de montrer les possibles corrélations existantes entre les paramètres physicochimiques et la densité phytoplanctonique, nous avons réalisé une analyse des corrélations (Tab.19).

très forte corrélations sont enregistrées entre la densité algale et les taux de NO_3 , NO_2 . Les nitrates proviennent du lessivage des engrais et des rejets urbains et industriels. Leur présence associée aux autres éléments nutritifs, stimule le développement de la flore aquatique. Le développement excessif des végétaux aquatiques s'observe au-delà de 2 à 5 mg/l.

au seuil de signification $\alpha = 0,05$ notre analyse statistique des différents genre de phytoplancton et les paramètres physicochimique montre : (i) Le genre *Navicula* et *Chlamydomonas*, présentent des corrélations significatives et positive avec NO_3 , NO_2 où les coefficients de corrélation sont respectivement $r = 0,970$ et $r = 0,954$.

. (ii) Chez les *Cymbella*, *Fragilaria*, on note d'une corrélation positive qui a été enregistrés avec NO_3 par les valeurs de coefficients de corrélation sont respectivement : $r = 0,973$; $r = 0,952$.

Tableau 13 : Résultats de l'analyse de la corrélation entre la densité algales et différents paramètres physico-chimique étudiés.

	T°C	Cond (µs)	pH	S (g/l)	TD S	Tur	Min	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄
Navicula								r = 0,970 p = 0,006	r = 0,922 p = 0,026		
Spirogyra actinastrum											
Synedra											
Cymbella cocconeis								r = 0,973 p = 0,005			
Fragilaria								r = 0,952 p = 0,013			
Chlamydomonas								r = 0,954 p = 0,012	r = 0,953 p = 0,012		

Discussion

Selon, Vollenweider (1968) et Reynolds (1978) la qualité d'une eau est le résultat de nombreux paramètres dont les fluctuations sont déterminantes pour la répartition des organismes vivants. Ces résultats confirment également que les variations des conditions physiques peuvent entraîner des changements significatifs dans la composition et la biomasse des espèces dominantes de phytoplancton (Wetzel, 2001).

CONCLUSION

Dans le but de caractériser l'environnement physico-chimique du milieu aquatique; l'élaboration d'un inventaire du phytoplancton; ainsi que l'identification des facteurs déterminant l'état de qualité des eaux d' Oued Guraita , Oued Bakhdach, Oued Gulette, Oued Tadjmout et Oued Ksar El hiran i, le suivi de quatre mois des stations nous a permis de déduire les conclusions suivantes :

- L'analyse physico-chimique indique la légère alcalinité des eaux des oueds étudiés, malgré la localisation de la troisième station sous l'influence anthropique.
- Les nitrates atteignent les valeurs supérieures à Oued Gulette où 34.9 mg/l ont été enregistrés, alors que de faibles valeurs de l'ordre de 2,9mg/l ont été prélevées à oued Guraita.
- L'analyse des aspects qualitatifs du peuplement phytoplanctonique, révèle la présence de 8 genres repartis en 6 ordres, 7 familles et 3 classes qui sont : Zygnemophyceae bacillariophaeae et les chlorophyceae
- La quasi-totalité de la diversité algale, , appartient à la classe des bacillariophaeae,

L'analyse des indices écologiques montre que la population algale est diversifiée dont l'indice de Shannon tend vers le 1.5. Les genre identifiées sont constantes qui le rend plus stable et favorable au développement des micro-algues contre *Chlamydomonas* est accessoire

La qualité physicochimique de l'eau analysée conditionne le développement de la population algale. A partir de l'analyse des corrélations on déduit que la NO₃ , la NO₂ sont les paramètres clés au développement des classes phytoplanctoniques.

Donc, d'une manière générale, les activités anthropiques affectent la qualité physico chimique influent généralement sur la distribution des phytoplanctons ainsi que sur l'équilibre de l'écosystème

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

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

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

Bibliographie

- **AMINOT A. et CHAUSSPIED M., (1983)** - Manuel des analyses chimiques en milieu.
- **A. de l'Algérie du N.R.H., (1993)** - Carte Pluviométrique Nord à l'échelle 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ministère de l'Équipement. Ed. I.N.C, Alger.
- **A.N.R.H., (2003)** – Schéma Directeur des ressources en Eau. Rapport de synthèse, phase II. Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire, Biskra, 56p.
- **Azam, F. et Malfatti, F., (2007)**- Microbial Structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*. 5 : 782-791.
- **BOURRELLY P., (1985)** - Les algues d'eau douce -, Vol 3. Les algues bleues et rouges. Boubée. Eds, Paris.
- **Balvay G., (1985)** - Structure et fonctionnement du réseau trophique dans les retenues artificielles. Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles. INRA, Paris. pp. 39-66.
- **Barbault C., (1981)** – Écologie des populations et des peuplements. Éd.Masson, Paris 200 p.
- **Blondel J., (1975)** – L'analyse des peuplements d'oiseaux. Élément d'un diagnostic écologique. La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P). *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* - Vol 29, (4) : pp 533-589.
- **Blondel J., (1979)** – Biogéographie écologique, Masson, Paris, 173 p.
- **Bouchar F., (2010)** – Mesure de Salinité- réalisation d'un conductimètre. TENUM Toulouse.
- **Bourrelly, P., (1985)** - Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome I: Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.
- **Burkhardt W. & Calci K.R., (2000)** - Selective accumulation may account for shellfish-associated viral illness. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 1375–1378.
- **CHAIBI. R., (2004)** - Caractéristiques physico-chimiques et évaluation du niveau.
- **Couté, A., Bernard, C., (2001)** - Les cyanobactéries toxiques. In: Toxines d'algues dans l'alimentation, Frémy, J. M. & Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, 21-37.
- **Canter-Lund, H et Lund, J.W.G., (1995)** - Freshwater Algae : Their microscopic world explored. Biopres Limited, Bristol.
- **Chorus, I., Bartram, J., (1999)** - Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. London. 416 p.

- **Chisholm, S.W., Olson, R.J., Zettler, E.R., (1988)** - A novel free-living prochlorophyte abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature*. 6180 : 340-343.
- **DUSSART B., (1965)** - Les différentes catégories de plancton - *Hydrobiologia* 26 (1/2) : 72-74.
- **Dagnelie P., (2000)** - Statistiques théorique et appliquées. Bruxelles Université de BOECK et LARCIER .pp659 .
- **Dajoz R., (1984)** - Les coleopteres tenebrionides des deserts. *Cahiers des Naturalistes* 40:25-67.
- **Dajoz R., (1985)** - Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 505p.
- **Dajoz R., (1982)** - Précis d'écologie. (4e édition).Gauthier-villars, Paris. 503 p.
- **Ettl, H. et Gärtner, G., (1988)** - Chlorophyta II (Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales)., Stuttgart.
- **Ettl, H., (1983)** - Chlorophyta I (Phytomonadina). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- **Fogg, G.E., Stewart, W.D.P., Fay, P., Walsby, A.E., (1973)**- The blue-green algae. Academic Press-London and New York. pp. 9-297.
- **Germain, H., (1981)** - Flore des diatomées : eaux douces et saumâtres. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.
- **Gregoire A. & Champeau A., (1978)** - Impact de plusieurs aménagements hydroélectriques sur la qualité physico-chimique de l'eau d'une rivière : le Verdon. *Cahiers de Montereau* (8) : 21-25.
- **Groga N., (2012)** – Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Univ-Toulouse (INP Toulouse)-224P.
- **Ganf, G.G., Heaney, S.I. and Corry. J., (1991)** - Light absorption and pigment content in natural populations and cultures of a non-gas vacuolate cyanobacterium *Oscillatoria bourrellyi* . *Journal of Plankton Research*. 13 : 1101-1121
- **Hacini M., Kherci N. & Oelkers E., (2008)** - Mineral precipitation rates during the complete evaporation of the Merouane Chott ephemeral lake. *Geochimica et cosmochimica Acta*,v.72,iss.6, 1597 p.
- **Hecker N., Costa L.T., Farinha J.C., & Tomas Vives P., (1996)** – Inventaire des zones humides Méditerranéennes : Collecte des données. Publication medwet/Wetlands International/Instituto da Conservação da Natureza. Volume II, Lisbonne. 99p.

- **Hade A.,(2002)** – Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.
- **Iglesias-Rodriguez, M.D., Schofield, O.M., Batley, J., Medlin, L.K. et Hayes, P.K., (2006)** - Intraspecific genetic diversity in the marine coccolithophore *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae): The use of microsatellite analysis in marine phytoplankton population studies. *Journal of phycology*. 42 : 526-536.
- **John, D.M. 1994.** Alternation of generations in algae: its complexity, maintenance and evolution. *Biology Review*. 69: 275-291.
- **Komárek, J., (2003)** - Coccoid and colonial cyanobacteria. *Dans* : *Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. and Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Krebs C.J., (1989)** - *Ecological methodology*. Harper Collins. New York, USA.
- **Kugrens, P. et Clay, B.L.,(2003)**. Cryptomonads. *Dans* : *Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, Academic Press, Paris.
- **Kilham S.S. & Kilham P., (1984)** - The importance of resource supply rates in determining phytoplankton community structure, p. 7-27.
- **Lagadic L., Caquet T., (1997)** - Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. *In* *Biomarqueurs en écotoxicologie, aspects fondamentaux*. Masson, Paris pp. 1-9.
- **LACAZE J.C., (1996)** – *L'eutrophisation des eaux marines et continentales -*, éditions Ellipse, Paris, 191p.
- **Mur, L.R., Skumberg, O.M., & Utkilen, H., (1999)** - Cyanobacteria in the Environment. *In* : Chorus, I. et Bartram, J. (eds.). *Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management*. WHO Ed. E
- **MICHEL R ., 1987.** Atlas du phytoplancton marin “DIATOMOPHYCEES Volume II Muséum National d’Histoire Naturelle.
- **Mebarki A. et Laborde J.P., 2012.** La cartographie, outil de valorisation des données de mesures. Application aux bilans d’eau de l Algérie du nord. Colloque international, ABHCSM, Constantine, 4-5 juin 2012.
- **Nozaki, H., (2003)** - Flagellated Green Algae. *Dans* : *Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.
- **Ozonda P.,(1998)** - les végétaux dans la biosphère. Dion éditeur. paris 432p.

- **Ouattara A., Podoor N. & Gourene G., (2001)** - Etudes préliminaires de la distribution spatio-temporelle du phytoplancton dans un système fluvio-lacustre africain (Bassin Bia ; Côte d'Ivoire). *Hydroécol. Appl.*, (13) : 113-132.
- **Ogutu-Ohwayo R, Robert E. Hecky, A. S. Cohen & Les Kaufman., (1997)** - Human impact in the African Great Lake. *Environmental Biology of Fishes* 50: 117–13.
- **Partensky, F., Hess, W.R. et Vaultot, D., (1999)** - Prochlorococcus, a marine photosynthetic prokaryote of global significance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.* 63 : 106-124.
- **Pourriot R. & Meybeck M., (1995)** - Limnologie générale. Masson, Paris. Collection *press, Belle W. Baruch libr. Mar. Sci., Il: 1-24.*
- **Ramade F., (1984)** - Eléments d'écologie: écologie fondamentale. Ed. Mc. Graw & Hill, Paris, 576 p. Krebs, 1989.
- **Reynolds R.W. & Smith T.M., (1998)** - A High-Resolution Global Sea Surface Temperature Climatology for the 1961–90 Base Period. *J. Climate*, 11, 3320–3323.
- **Reynolds C.S., Padisák J. & Sommer U., (1993)** - Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hydrobiologia* 249: 183-188.
- **Rejsek F., (2002)** – Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série : Sciences et techniques de l'environnement. Paris, 360p.
- **Romdhane, M.S., (1986)** - Lagune de Ghar El Melh. Milieu, Peuplement, Exploitation. Thèse, Université de Tunis. 245 p.
- **Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-flores, L. et Melo, S., (2002)** - Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research.* 24 417-428.
- **Schagerl, M. et Donabaum, K., (2003)** - Patterns of major photosynthetic pigments in freshwater algae. 1. Cyanoprokaryota, Rhodophyta and Cryptophyta. *Annales de Limnologie.*39 :35-47.
- **Stickney HL., Hood RR., Stoecker DK., (2000).** The impact of mixotrophy on planktonic marine ecosystems, *Ecol Model*, 125 (2-3): 203-230.
- **Silbergeld E.K., (1993)** -Neurochemical approaches as indicators of environmental biochemical markers of neurotoxicity : Review of current status and evaluation of future prospects. *Environ. Res.*, 63: 274-286.

- **Sournia A.**, (1978) - Phytoplankton Manuel. Monographes en océanographie méthodologie - N°6.UNESCO, Paris, p337.
- **Skulberg, O.M.**,(1996) - Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland watershealth and environment. In : Chemical data as a basis of geomedical investigations. ed. Lag. J., the Norwigan Academy of Sciences and Letters, Oslo. pp. 131-148.
- **Terra M.**, (2006) - Le secteur de l'eau en Algérie État des lieux Stratégie de développement.Ministère des Ressources en Eau.*Athènes, 6 et 7 novembre 2006.*
- **TERBAH K.**,(2007) – Contribution à l'étude de quelques paramètres physico-chimiques, hydrobiologies (phytoplanktons) et bactériologiques des eaux (cas de l'oued Tadmit).
- **UNESCO**, (1963) - Carte bioclimatique de la région méditerranéenne : Bioclimatic map of the Mediterranean region, Scale 1:5,000,000. Prepared by Emberger *et al.* and established by. Bagnouls, drawn by Rinaldo.Ed. UNESCO-FAO.
- **Zeitzschel B.**, (1978). Why study phytoplankton ? *In: Sournia A* (ed) Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology – UNESCO – p, 05 : 1-6.

RESUME

La présente étude porte sur la détermination des caractéristiques physicochimiques et biologiques des eaux de surface de la zone d'étude (échantillons provenant de cinq sites différents et séparés de la wilaya de Laghouat).

Les résultats obtenus pour les caractéristiques physico-chimiques des échantillons d'eau ont montré de légères différences d'un site à l'autre, notamment en ce qui concerne les sels minéraux, mais un déséquilibre a été enregistré sur le site n ° 01 oued Guraita , où un taux de salinité élevé a été enregistré 05 mg/l. et le site 03 Oued Gulette qui enregistrée une taux élevé des nitrate 34.9 mg/l.

l'analyse qualitative et quantitative de la communauté phytoplanctonique nous permis d'identifier huit (08) genres de phytoplanctones appartenant au trois classes Zygnemophyceae, Chlorophycée, Bacillariophycée.

La caractérisation de la communauté par l'application de quelque indices écologique montre que la quasi-totalité des genres ont presque la même densité.

Mots clés: phytoplanctones, Physico-chimique, genres, Laghouat.

ABSTRACT

The present study concerns the determination of the physicochemical and biological characteristics of the surface waters of the study area (samples from five different and separate sites in the Laghouat wilaya).

The results obtained for the physicochemical characteristics of the water samples showed slight differences from one site to another, especially as regards the inorganic salts, but an imbalance was recorded on site No. 01 Wadi Guraita, where a high salinity rate was recorded at 05 mg / l. and the site 03 oued gulette which engregitree a high rate of nitrate 34.9 mg / l.

The characterization of the community by the application of some ecological indices shows that almost all genera have almost the same density.

Key words: phytoplankton, physico-chemical, genera, Laghouat.

ملخص

هذه الدراسة بتحديد الخواص الفيزيوكيميائية والبيولوجية للمياه السطحية الخاصة بإقليم الدراسة (عينات من خمسة مواقع مختلفة ومتباعدة لولاية الاغواط) وتصيب في مجملها في الحوض المائي لواد مزي.

النتائج المحصل عليها للخصائص الفيزيوكيميائية لعينات المياه , تظهر اختلافات طفيفة من موقع إلى آخر ، خاصة فيما يتعلق بالأملاح المعدنية إلا انه تم تسجيل اختلال في الموقع رقم 01 واد القريطة حيث تم تسجيل نسبة ملوحة عالية 05 ملغ/لتر . والموقع رقم 3 واد القات اين سجلت نسبة نترات عالية 34.9 ملغ / لتر.

سمح لنا التحليل النوعي والكمي لمجتمع الطحالب النباتية بتحديد ثمانية (08) أجناس من العوالق النباتية المنتمة إلى الفئات الثلاث *Zygnemophyceae* و *Chlorophyceae* و *Bacillariophyceae*.

يظهر تصنيف الطحال من خلال تطبيق بعض المؤشرات البيئية أن جميع الأجناس لها نفس الكثافة تقريبًا.

الكلمات المفتاحية: الطحالب ، الفيزيائية الكيميائية ، الأجناس ، الأغواط.