الجمهوريـة الجزائـريـة الديمقراطيـة الشعبيـة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليـم العالـي والبحـث العلمـي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Ref :……

Centre Universitaire

Abdelhafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et de la Technologie
Département de Science de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de Master

En : - Filière : Sciences biologiques

-Spécialité : Biologie Appliquée et Environnement : Gestion et Fonctionnement des Écosystèmes Aquatique et Forestiers

Thème
La variabilité saisonnière du phytoplancton d'un cours d'eau : cas de l'Oued Rhumel

Préparé par: BOULMIS Naziha

LAOUAR Fayza

Soutenue devant le jury :

Président : Mr. BOUNAMOUS Azdinne	**Grade : M.A.A**	**Centre Universitaire de Mila**
Examinatrice : Mme. DJEDDI Hamsa	**Grade : M C A**	**Centre Universitaire de Mila**
Promoteur : Mlle. KHERIEF N Saliha	**Grade : M A A**	**Centre Universitaire de Mila**

Année universitaire : 2014/2015

Remerciements

Avant tout nous remercions le bon dieu tout puissant qui nous a donnée la force, le courage et la volonté pour la réalisation de se travail

Tout d'abord nos vifs remercîments et notre gratitude vont tout droit à notre encadreuse Melle KHERIEF N Saliha d'avoir accepté de diriger cette étude, pour son aide et surtout sa patience.

Notre vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions tous les enseignants de département de la science de la nature et de la vie.

Nos remercions aux responsables du Laboratoire (ADE) de Zeghaia Monsieur NABIL et leurs équipes.

Nos remercions vont aussi à tous les personnels du laboratoire pédagogique du département de biologie de centre universitaire de Mila.

Nos remercions à tous ceux qui ont contribué techniquement ou moralement à l'aboutissement de ce travail.

D'autres personnes nous ont encouragés à finir ce travail par des gestes d'amitié dont nous sommes reconnaissants

Fayza et Naziha

Dédicace

Avant tout je remercie Dieu *qui m'a donné la puissance, la santé, la volonté et le courage pour achever ce travail.*

Je dédie ce modeste travail :

À la plus douce et belle femme au monde ; à ma formidable maman qui m'a tout donné. Je te remercie du fond de mon coeur et je t'aime infiniment

Je tiens aussi à remercier mon chère papa Le brave homme qui m'a soutenu tout au long de ma vie Que Dieu vous protège mes chers parents

À mes adorables frères et soeurs : Badro , Abdelhalim , Ali , Mounira , Soumia et le gâté de la famille Nour El Islem

A tous mes oncles, tantes, grand-mères et grands-pères, Je n'ai pas pu citer des noms par crainte d'oublier certains.

A mes cousins, mes cousines

Un grand merci à tous mes amis qui m'ont encouragé de près ou de loin.

A tous ceux que j'aim

Naziha

Dédicace

Avant tout *Je dédie ce travail à Dieu, ALLAH le tout puissant à qui je dois tout.*

A ma mère, Femme humble, généreuse, honnête et travailleuse. Tu représentes pour moi l'exemple de la bonté, du respect de l'autre, de la femme modèle. Ce travail est le fruit de tes longues années de patience, d'efforts et de sacrifices pour parfaire notre éducation et notre instruction. Tu n'as cessé de m'encourager tout au long de mes études et surtout aux moments les plus pénibles.

A mon père, Je ne pourrai jamais vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi. Tes conseils m'ont été très bénéfiques. Je prie Allah le tout puissant pour qu'il vous garde très longtemps parmi nous pour que vous puissiez profiter de ce travail qui est aussi le vôtre.

A mes frères et mes sœurs jumelles : Hamza, Mouhammed Amine Adil, Besma, Halima, Fatima et la joie de notre famille Manar, Que ce travail vous incite à mieux faire et qu'il soit un faible témoignage de l'affection de votre grande sœur. Je n'oublierai jamais les moments agréables et Difficiles passés ensemble. Je vous souhaite bon courage et bonne chance dans vos études et vos vies.

A mes nièces : les petites papillons de notre famille : Zeineb hibet Errahmen et joumana, douae et sojoude, je vous remercier pour la sympatie et la joie que vous créez dans notre vie et je vous souhaite un bon avenir.

. A mes cousins, mes cousines, mes nièces et mes neveux,

A tous mes oncles, tantes, grand-mères et grands-pères, je ne pourrai citer de nom par crainte d' oublier certains.

A mes meilleures amies. A tous ceux qui me sont chères.
A tous ceux qui m'aiment.
A tous ceux que j'aime

FAYZA

Liste des abréviations

List des abréviations

°C : Degré Celsius.

ABH : Agence des bassins hydrologiques.

ANB : Agence national des Barrage.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

C E : Conductivité Electrique.

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène.

DCE : Directive Cadre sur l'Eau.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DHW : Direction hydraulique willaya.

Fig : Figure.

H2O2 : Eau oxygéné.

H2S : Hydrogène sulfuré.

HCL : Acide chlorhydrique.

HESSO : La Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale.

IBD : Indice biologique des diatomées.

Km : kilomètre.

m : mètre.

MES : Matières en Suspension.

mg/l : milligramme par litre.

ml : millilitre.

mm : millimètre.

MO : Matière organique.

NPK : Engrais (Azote, Phosphore et Potassium).

O_2.d : oxygène dissout.

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONM : Office national de la météologie.

PCB : Polychlorobiphényle.

PH : Potentiel Hydrogène.

SO-NE : Sud Ouest -Nord Est.

T : Température.

Tab : Tableau.

TAC : Alcalinité.

TH : Titre hydrotimétrique.

U N : Union Européenne.

µg/l : microgramme par litre.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: Processus de l'eutrophisation 12
Figure 2: Les classes et indices de qualité 24
Figure 3: Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques 32
Figure 4 : Carte des sous bassin 37
Figure 5 : Profil en long de l'oued Kébir-Rhumel 39
Figure 6 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kébir-Rhumel 41
Figure 7 : Carte des principaux barrages du bassin du Kébir-Rhumel 44
Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement 46
Figure 9 : Variations spatio-temporelle des teneurs de température 56
Figure 10: Variations spatio-temporelle des teneurs du potentiel d'hydrogène 58
Figure 11 : Variations spatio-temporelle des teneurs de la conductivité électrique 59
Figure 12 : Variations spatio-temporelle des teneurs de l'oxygène dissout 60
Figure 13 : Variations spatio-temporelle des teneurs de la matière en suspension 62
Figure 14 : Variations spatio-temporelle des teneurs en TAC 63
Figure 15 : Variations spatio-temporelle des teneurs en phosphore 64
Figure 16 : Variations spatio-temporelle des teneurs en TH 65
Figure 17 : Variations spatio-temporelle des teneurs en calcium 66
Figure 18 : Variations spatio-temporelle des teneurs en magnésium 67
Figure 19 : Variations spatio-temporelle des teneurs en potassium 68
Figure 20 : Variations spatio-temporelle des teneurs en sodium 69
Figure 21 : Variations spatio-temporelle des teneurs en chlorure 71
Figure 22 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrite 72
Figure 23 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrate 73
Figure 24 : Variations spatio-temporelle des teneurs en phosphate 74
Figure 25 : Variations spatio-temporelle des teneurs en sulfate 76
Figure 26 : Variations spatio-temporelle des teneurs des différents paramètres physico-chimiques 77
Figure 27 : l'ACP des paramètres physico-chimiques, Cercle de corrélations et projection des variables 79
Figure 28 : Richesse diatomique par embranchement des eaux du rhumel 82
Figure 29 : Richesse diatomique de la station amont en mois d'octobre 85

Figure 30 : Richesse diatomique de la station avale en mois d'octobre 86
Figure 31: Quelques espèces des diatomées de la première compagne 87
Figure 32: Quelques espèces du phytoplancton de la première compagne 88
Figure 33 : Richesse diatomique de la station avale en mois de janvier 88
Figure 34 : Richesse diatomique de la station avale en mois de janvier 89
Figure 35 : Quelques espèces des diatomées des deuxièmes campagnes 90
Figure 36 : Quelques espèces du phytoplancton des deuxièmes campagnes 91

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Manifestation de l'eutrophisation en fonction de la typologie du cours d'eau 14
Tableau 2: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique 16
Tableau 3: qualité de l'eau en fonction de la dureté 18
Tableau 4: Qualité de l'eau en fonction de la DBO5 21
Tableau 5: Grille de qualité de 1971 simplifiée (les paramètres importants étant en caractère gras et soulignés) 22
Tableau 6: Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux de rivière 23
Tableau 7: Altérations du SEQ-Eau et paramètres associés 25
Tableau 8: Stations pluviométriques sur le bassin du kébir - Rhumel. (Cahiers de l'ABH, C .S.M, n02, 1999) 42
Tableau 9 : Température moyenne mensuelle en °C. (Station météorologique D'Ain El Bey, Constantine) 43
Tableau 10: Calendrier des prélèvements du compartiment sédimentaire 47
Tableau 11 : Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimique 48
Tableau 12 : Résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau d'oued Rhumel 55
Tableau 13 : La Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température 57
Tableau 14 : La qualité de l'eau en fonction de la conductivité 59
Tableau 15 : La grille d'appréciation de la qualité générale des eaux superficielles en France (Masson, 1988) 62
Tableau 16 : La grille de la qualité des eaux en phosphore 65
Tableau 17 : La grille de la qualité des eaux naturelle appliquée par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH, 2001) 72
Tableau 18: Grille de qualité des eaux en nitrates (ANRH, 2001) 74
Tableau 19 : Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques 78
Tableau 20 : Inventaire des algues et diatomées par embranchement des eaux du Rhumel 80
Tableau 21 : Inventaire diatomique dans le temps et l'espace des eaux de l'Oued Rhumel 83

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 01

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur l'eau 03

I.2. Les types d'eau douce 03

I.2.1. Les eaux souterraines 03

I.2.2. Les eaux de surface 03

I.3. Les cours d'eau 04

I.4. La pollution de l'eau 04

I.4.1. Pollution des cours d'eau 05

I.4.2. Les différents types de pollution 05

I.4.3. Origine de la pollution de l'eau 08

I.4.4. Les conséquences de la pollution de l'eau 10

I.5. L'eutrophisation 10

I.5.1. Définition 10

I.5.2. Mécanisme de l'eutrophisation 11

I.5.3. Caractéristiques et manifestations de l'eutrophisation 12

I.5.4. Des facteurs favorisant l'eutrophisation 13

I.5.5. Les conséquences de l'eutrophisation sur les cours d'eau 14

I.6. La qualité de l'eau superficielle 14

I.6.1. Principaux paramètres physico- chimiques de l'eau 14

I.6.1.1. Température T 14

I.6.1.2. potentielle hydrogène PH 15

I.6.1.3. Conductivité électrique 15

I.6.1.4. Potentiel redox 16

I.6.1.5. Matières en suspension 16

I.6.1.6. Chlorures et les sulfates 16

I.6.1.7. Dureté de l'eau 17

I.6.2. Substances d'eutrophisation: différentes formes d'azote et de phosphore 18

I.6.2.1. Nitrates 18

I.6.2.2. Nitrites **19**
I.6.2.3. Azote ammoniacal **19**
I.6.2.4. Phosphates **19**
I.6.3. Paramètres biologique **20**
I.6.3.1. Oxygène dissous **20**
I.6.3.2. Charge en matières organiques **20**
I.6.3.3. Métaux lourds **21**
I.6.3.4. Evaluation de la qualité des eaux **22**
I.6.3.5. Grille de qualité « multi-usages » de 1971 **22**
I.6.4. Système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau **23**
I.7. Le Phytoplancton **26**
I.7.1. Habitat et écologie **27**
I.7.2. Diversité spécifique et diversité écophysiologique **28**
I.7.3. Le cycle de développement de phytoplancton **33**
I.7.4. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique **34**

Chapitre II: Présentation de site

II.1. Présentation et description du bassin versant Kébir-Rhumel **35**
II.2. L'hydrographie de la région d'étude **36**
II.2.1. Le sou bassin de L'oued Rhumel **36**
II.3. Aspect géologique **37**
II.4. Morphologie et topographie **39**
II.5. Réseau hydrographique **40**
II.6. Climatologie **41**
II.6.1. Pluviométrie **42**
II.6.2. Température **42**
II.6.3. Le Vents **43**
II.7. Socio économie **43**
II.7.1. Population **43**
II.7.2. Alimentation en eau potable des agglomérations **43**
II.7.3. Barrages **44**
II.7.4. Assainissement **44**
II.7.5. Agriculture **45**

II.7.6. Industrie **45**

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Choix et localisation des sites de prélèvement au niveau d'Oued Rhumel **46**
III.1.1. Calendriers des prélèvements **47**
III.2.1.1.Matériel et méthodes d'analyses **48**
III.2.1. Analyses physico-chimiques des eaux **49**
III.2.1.1. Echantillonnage des eaux **49**
III.2.1.2. Paramètre mesurés sur terrain **49**
III.2.1.3. Paramètre mesurés au laboratoire **49**
III.2.1.3.1. paramètre physico-chimique **49**
III.2.1.3.2. Traitement statistique des résultats **52**
III.3. Etude de peuplement phytoplanctonique **52**
I III.3.1. Mode de conservation **52**
II.3.2. Mode de prélèvement du phytoplancton **52**
III.3.3. Observation du phytoplancton **53**
III.4. Echantillonnage et analyse des diatomées **53**
III.4.1. Observations, comptages et détermination taxonomique des diatomées. **54**

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Mesures physico-chimiques **55**
IV.1.1. Les paramètres physico-chimiques **56**
IV.1.1.1. Température de l'eau (T °c) **56**
IV.1.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) **57**
IV.1.1.3. Conductivité électrique (CE) **58**
IV.1.1.4. Oxygène dissous (OD) **60**
IV.1.1.5. Matières en suspension (MES) **61**
IV.1.1.7. TA **62**
IV.1.1.6. Alcalinité (TAC) **63**
IV.1.1.8. Phosphore (P) **64**
IV.1.1.9. Dureté de l'eau (TH) **65**
IV.1.2. Les cations **66**
IV.1.2.1. Calcium (Ca^{2+}) **66**
IV.1.2.2. Magnésium (Mg^{2+}) **67**
IV.1.2.3. Potassium (K^{+}) **68**

IV.1.2.4. Sodium (Na^+) **69**

IV.1.3. Les anions **70**

IV.1.3.1. Chlorure (Cl^-) **70**

IV.1.3.2. Nitrite (No_2^-) **71**

IV.1.3.3. Nitrate (No_3^-) **73**

IV.1.3.4. Phosphate (Po_4^{3-}) **74**

IV.1.3.5. Sulfates ($S0_4^{2-}$) **75**

IV.1.2. Etude Statistique **76**

V.1.2.1. Analyse des variances **76**

IV.1.2.2. Teste de corrélation entre les paramètres physico-chimique (ACP) **78**

IV.2. Résultat d'analyses phytoplanctoniques **80**

IV.2.1. Inventaire des diatomées **83**

IV.3. Fiche technique des espèces phytoplanctonique **93**

Conclusion

Référence bibliographique

Annexe

Introduction

Parmi les écosystèmes les plus complexes et les plus dynamiques celui des eaux douces. Cet écosystème joue un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité, le fonctionnement des organismes et les cycles de matière organique.

La pollution ponctuelle des cours d'eau est le résultat de rejets non traités. Elle est, la plupart du temps, associée comme suscitée aux industries, villes, exploitations agricoles ou élevages, rejetant une grande variété de produits chimiques. En général, les rejets sont identifiables, ce qui facilite leur contrôle. Malgré cela, des accidents peuvent causer des pollutions aiguës qui entraînent une perturbation momentanée des cours d'eau. Ainsi, la plupart de ces écosystèmes souffrent des effets anthropiques qui provoquent, la régression d'espèces, la diminution des stocks de poissons, l'épuisement des eaux souterraines, la dégradation de la qualité de l'eau par l'eutrophisation de plus en plus fréquente et intense.

L'eutrophisation des eaux de surface est devenue aujourd'hui un problème d'environnement d'ampleur et généralisé. La prolifération des plantes aquatiques (algues, cyanobactéries et macrophytes) s'est amplifiée ces dernières décennies avec l'utilisation accrue de fertilisants chimiques en agriculture et par le développement de l'élevage intensif. Les effluents industriels et les eaux usées domestiques favorisent également le phénomène en zones urbaines et industrielles. Les principaux paramètres indicateurs de l'état trophique sont les composés azotés, phosphorés et carbonés, mais de nombreux facteurs physico –chimiques tels que la température, le pH, la teneur en oxygène dissous doivent également être considérés. L'eutrophisation réduit considérablement les possibilités d'utilisation des eaux.

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution des cours d'eau et d'apprécier leur capacité à s'auto épurer.

L'étude réalisée se rapporte à l'Oued Rhumel situé dans la région de Constantine. Cette zone se caractérise par l'interférence des rejets industriels et urbains, par ailleurs l'agriculture est intensément pratiquée ce qui nécessite l'utilisation de beaucoup d'engrais.

La gestion des eaux douces courantes nécessite une bonne connaissance de leur état et de leur évolution au cours du temps. Dans ce contexte, notre travail porte sur deux parties essentielles.

La première partie est consacrée aux analyses des différents paramètres physico-chimiques, et la deuxième partie sera consacrée à l'étude du peuplement phytoplanctonique (algues et diatomées), comme des indicateurs biotiques de la qualité des eaux.

Le présent travail est divisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, un aperçu sur les cours d'eau, les types et les ressources de la pollution, ainsi que leurs conséquences ; les paramètres physico-chimiques ((T°, pH, CE, O_2.d, MES, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_2^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{3-}, P, TA, TAC et TH) et nous terminons ce chapitre avec un aperçu sur la communauté phytoplanctonique.

La localisation et les caractéristiques du site d'étude sont présentées dans le deuxième chapitre.

Les modes opératoires réalisés, et les résultats obtenus sont détaillés dans le troisième et le quatrième chapitre.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur l'eau

Nom féminin du latin aqua, l'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide, à la température ordinaire et composé d'hydrogène et d'oxygène (H_2O). L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre. Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70 % de leur poids en moyenne) (Aissaoui, 2013).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous états ; solide, liquide, et gazeux dépondant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimique assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organique, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électrochargés (Michard, 2002).

I.2. Les types d'eau douce

Il existe deux types d'eau douce qui sont les eaux souterraines et les eaux de surface.

I.2.1. Les eaux souterraines

Ce sont des eaux des nappes phréatiques qui correspondant à 22% des réserves d'eaux douces, soit environ 1000 milliard de m^3 leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol les eaux souterraines son habituellement à l'abri des sources des pollutions, elles sont donc d'excellente qualité physico-chimique et microbiologique par apport aux eaux de surface (Mebarki, 1982).

I.2.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface se repartissent en eaux véhiculées par les cours d'eau, ou contenu dans les lacs, ou maintenu derrière les barrages recevoir. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit des ressemblances des eaux des ruissellements. La composition chimique des eaux de surface dépond de la nature des terraines traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de sont cheminement, l'eau dissout de différents éléments constitutifs des terraines, elle est onc généralement riches en gaz dissouts, en

matière en suspension et matière organique ainsi qu'en plancton. Les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique (Ministère de développement durable, environnement et parcs, 2012).

I.3. Les cours d'eau

D'après (Louise, 2012), un cours d'eau est un chenal bien délimité ou s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. En fait, on distingue :

- Les fleuves, cours d'eau permanents ayant un débit important, de nombreux affluents et se jetant, à quelque exception prés, dans la mer par un estuaire ou un delta ;
- Les rivières, cours d'eau moyens à écoulement continu ou intermittent se jetant dans un fleuve en un point appelé confluent ou dans un lac ou encore dans une autre rivière ;
- Le torrent, cours d'eau peu profonds, à vitesse rapide ayant une eau transparent bien aérée et dévalant sur une pente supérieure en moyenne de 0.05 mètre par mètre;
- Les ruisseaux, ruisselets, rus, cours d'eau peu larges à faible débit ;
- Les oueds, cours d'eau temporaires des zones arides et semi-arides ;
- Les ravines, cours d'eau des iles tropicales se jetant dans la mer et dont le débit peut être très important lors des crues ;
- Le lit d'un cours d'eau est l'espaces qu'il occupe en permanence ou temporairement. on distingue :
- Le lit mineur, délimité par les berges et occupé en période de pluviosité normale ;
- Le lit majeur, ou plain d'inondation, occupé lors des crues ;
- Le lit d'étiage, occupé pendant la période de sécheresse et correspondant au niveau des basses eaux normales.

I.4. La pollution de l'eau

Le terme pollution désigne la présence d'une substance au-delà d'un seuil pour lequel des effets négatifs sont susceptible de se produire (Ramade, 2000).

La pollution de l'eau est l'introduction de l'importe quelle action substance dans une rivière un cours d'eau, an lac, ou dans l'océan qui altère les ressources naturelles de cet environnement (Bouzred et Boutoutou, 2005).

On parle de pollution de l'eau lorsque celle-ci renferme des substances dont les teneurs sont telles que cette eau présente des risques pour la santé. 4 des 5 maladies les plus répandues dans le Tiers Monde sont transmises par l'eau : le choléra, la typhoïde, l'hépatite B, les gastro-entérites. Dans le monde, on n'estime que la mauvaise qualité de l'eau soit à l'origine de la mort de 25 millions de personnes par an (Metiche, 2004).

I.4.1. Pollution des cours d'eau

En dépit des améliorations de l'état des cours d'eau apportées ces dernières années et de la mise en place de réseaux de surveillance, de nombreux cours d'eau, des lacs, des nappes souterraines sont encore pollués, en particulier à cause des activités humaines et de la modification du milieu physique. Les différents contaminants qui arrivent dans les eaux de surface et souterraines à partir des effluents des stations d'épuration, des effluents des aires d'élevage, des rejets industriels et hospitaliers, des décharges, des eaux de pluie, menacent l'équilibre naturel des écosystèmes et la santé humaine. La pollution de l'eau peut être chronique ou accidentelle, localisée ou diffuse (Louise, 2012).

I.4.2. Les différents types de pollution

a. La pollution biologique

La présence des microorganismes dans l'eau est un phénomène naturel et constitue un aspect primordial de la décomposition de la matière organique et du recyclage des éléments nutritifs essentiels au maintient des organismes aquatiques et de la chaîne trophique. Cependant lorsque le milieu reçoit des déjections d'origine animale ou humaine, le nombre et le type des microorganismes peuvent rendre l'eau non appropriée pour certaines activités.

Parmi les microorganismes susceptibles d être présents dans l'eau, on peut mentionner, les virus, les bactéries, les protozoaires, des helminthes, les cyanobactéries (Burkart et Kolpin, 1993).

La contamination microbiologique des eaux peut causer des maladies grave en particuliers dans les pays en voie de développement : méningites, infections hépatiques, typhoïdes, choléra, troubles respiratoires, dysenterie…… en Europe, les germes pathogènes sont surtout à l'origine de maladies diarrhéiques : gastroentérites causant des

nausées, diarrhées, fièvre, maux d'estomac, affection cutano-muqueuses.la contamination peut avoir lieu par contacte avec les eaux de baignade et par la consommation de coquillages (moules, huitres, coques, palourdes, coquilles Saint-Jacques, bulots….) (Louise, 2012).

b. Pollution organique

Les composées organiques représentent l'ensemble de toutes matières vivantes ou de substances dont l'origine est une matière vivante.

Les composées organiques peuvent êtres naturelles (végétaux, excréments) ou de synthèse (hydrocarbures, pesticides, et solvants). La plupart des substances organiques ne deviennent polluantes que lorsque elles sont en excès dans le milieu notamment dans l'eau (Benoit P et *al*., 2000, in djama, 2014 ; Bonton J, 1993 ; Bouzred F et Boutoutou A, 2005).

La pollution organique peut être considérée comme le résultat de diverses activités agricoles, urbaines, industrielles, artisanales et rurales. Chaque activité rejette des composés spécifiques biodégradables ou non **(**Boulton et Brock, 1999 ; Bontoux et *al*., 1979 in djama, 2014).

La pollution organique désigne la pollution engendrée par le rejet de déchets organiques provenant des ordures ménagères, des lisiers et des industries (tanneries, papeteries, laiteries, sucreries, etc.). Ces déchets sont souvent biodégradables et, quand ils ne sont pas trop important, ils sont dégradés et éliminés par auto-épuration grâce à des processus physico-chimiques et aux organismes présents dans le milieu aquatique. Dans le cas où l'apporte de matière organique est en excès, leur dégradation va consommer beaucoup d'oxygènes et occasionner une fort perturbation de l'écosystème avec la disparition de nombreuses espèces animales en particulier les poissons (Louise, 2012).

c. Pollution chimique

La Pollution minérale des eaux résulte de la libération dans ces dernières de divers métaux toxique et de substances inorganiques telles les nitrates, les phosphates et autre sels minéraux nutritifs utilisés en agriculture, divers métaux lourds et des pesticides… ect. Les problèmes des pollutions des cours d'eau atteignent aujourd'hui des dimensions catastrophiques (Bouzred et Boutoutou, 2005).

Le risque chimique est lié à la présence de constituants géologiques ou de contaminants issus des activités humaines (aménagement, industrie, agriculture) (Ménana, 2010).

De très nombreux polluants chimiques sont rejetés dans les stations d'épuration par les effluents industriels, domestiques et agricoles. Ils ne sont pas tous éliminés et sont encore présents dans les fleuves, les estuaires, les zones littorales et même dans les aquifères (Louise, 2012).

d. Pollution physique

Les trois principaux, agents physiques de la pollution sont la chaleur, le transport des matières solides en suspension et la radioactivité.

- **Pollution thermique**

Les rejets d'eau chaude en particulier par les centrales électronucléaires peuvent provoquer une élévation anormale de la température, ce qui provoque des effets écologiques sur la vie aquatique (développement des microorganismes comme les algues, et disparition d'autres espèces sensibles à la température). L'élévation de la température diminue la solubilité de l'oxygène, un déficit renforcé par l'accroissement de l'activité biologique qui en consomme (Barnaud et Fustec, 2007 ; Bélamie et *al*., 1997 ; Bartlett et James, 1979 in Djama S, 2014).

- **Polluants radioactifs**

Les déchets radioactifs demeurent le polluant physique le plus dangereux, les centrales nucléaires ne dégagent que des quantités limitées de déchets, mais le risque d'accidents subsiste et les problèmes de stockage des déchets radioactifs sont loin d'êtres résolus. En effet du fait de leurs propriétés radioactives, les déchets restent toxiques pendants des périodes allant de quelques siècles à plusieurs millions d'année (Barnaud et Fustec, 2007 ; Belkhiri, 2011 ; Benderradji, 2000).

I.4.3. Origine de la pollution de l'eau

A cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont susceptibles d'être contaminées par des pollutions accidentelles ou chroniques. Suivant l'origine des substances polluantes on peut distinguer :

A. Les phénomènes naturels

Certains phénomènes naturels peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux et sont identifiés en relation avec les éruptions volcaniques (sulfures, acides, poussières), des épanchements sous –marins, d'hydrocarbures, le contact avec les filons, ou gisements d'éléments toxiques (mercure, arsenic, éléments radioactifs), la présence d'une source thermominérale (Alloway, 1990 ; Anonyme, 2013).

B. Pollution d'origine domestique

Selon (Baize, 2002), les rejets directs des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbent l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Elle est caractérisée par :

- La présence des germes fécaux ;
- Des sels minéraux (azote, potassium et phosphore) ;
- Les détergents ;
- Des fortes teneurs en matière organique.

C. Pollution urbaine

En milieu urbain les sources de pollution sont facilement identifiables (Benoit, 2000 In Djama, 2014). Ce sont essentiellement les eaux pluviales, les résidus de traitement de la pollution domestique, ainsi que les résidus de traitement des ordures ménagères. Elle est caractérisée par :

- Une teneur importante de matières minérales en suspension (sables, gravier, Poussières).
- La présence de nombreux détritus solides.
- Des fortes concentrations en métaux toxiques et hydrocarbures provenant essentiellement de lessivage des parkings, résidus d'échappements des véhicules**,** résidus de corrosion des équipements métalliques**.**

D. Pollution industrielle

Le secteur industriel et manufacturier continue clairement d'être l'un des plus grands pollueurs des ressources en eau à l'échelle mondiale. Un grand nombre

d'opérations industrielles et manufacturières diverses rejettent des agents polluants directement ou indirectement dans les sources d'eau environnantes (Barriuso et Koskinen, 1996).

D'après (Baker et Senft, 1995 ; Anonyme, 2013), ces polluants sont caractérisés par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau dans le processus de refroidissement, lavage, extraction, mise en solution …etc., et l'activité des usines (chimie de traitement de surface, agro-alimentaire……..etc.).

On peut retrouver dans l'eau qui est un bon solvant, tous les sous-produits possibles d'activité humaine :

- Matière organique et graisse (industrie agro-alimentaire, abattoir) ;
- Hydrocarbures (raffineries) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques et pharmaceutiques) ;
- eau chaude des centrales thermiques.
- Matière radioactive (centrales nucléaires, centres de recherches hôpitaux).
- Métaux lourds (traitement de surface, métallurgie).

Ils peuvent avoir un effet toxique sur les organismes vivants et nuire le pouvoir d'autoépuration, de l'eau ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, substances radioactives) (Baker, Senft, 1995).

E. La pollution agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles (Domaizon et *al*., 2003).

Les pollutions agricoles sont chroniques et diffuses, à l'inverse des pollutions industrielles de l'eau qui sont désormais largement maitrisées, ou revêtent un caractère occidentale, et des pollutions en provenance de collectivités locale qui ont fait des efforts importantes pour améliorer les rejets d'eau usées (christian et Alain, 2012).

La dégradation des eaux, tant de surface que souterraines, liée à la présence de nitrate ou de produit phytosanitaire (pesticide notamment) est incontestable. Selon l'Ifen en 2002, plus de 60% des captages en France étaient altérés par les pesticides, et prés de 30%

à un niveau qui n'aurait pas permis leur utilisation pour l'eau potable (christian et Alain, 2012).

I.4.4. Les conséquences de la pollution de l'eau

La pollution des écosystèmes aquatiques provoque une multitude de conséquences tant au niveau des diverses biocénoses qu'au niveau de leurs habitats.
La pollution de l'eau, quelque soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique,…) peut avoir des conséquences désastreuses, en se traduisant par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres aux milieux aquatiques (Ramade, 2002). En effet, les microorganismes aérobies engendrent une autoépuration des eaux qui se traduit par un épuisement de l'oxygène présent dans l'eau, lequel est indispensable pour la faune aquatique. Cette régression du taux d'oxygène conduit à une asphyxie chez les espèces animales aquatiques, ainsi qu'à la disparition de la faune des eaux propres en aval d'un émissaire d'égout (Nollet, 1996 In Melghit, 2012). Ainsi, l'accumulation des agents polluants dans un cours d'eau, affecte progressivement son équilibre dynamique naturel et conduit à sa pollution, essentiellement si l'agent polluant n'est pas ou peu biodégradable ; le processus d'autoépuration est alors inopérant, les substances s'accumulent dans l'écosystème, intoxiquant les espèces vivantes qui les intègrent (Chow-Toun in Melghit, 2012).

Les activités de production agricole sont susceptibles d'affecter la qualité des eaux de diverses façons : par lessivage de nitrates, phosphates, pesticides, herbicides etc., contenus en quantité excessive dans les sols ou par contamination microbiologique. Or, l'enrichissement des eaux superficielles en nitrates et phosphates est à même d'entrainer une multiplication excessive de végétaux aquatiques et de déclencher un phénomène d'eutrophisation de cours d'eau, de lacs ou d'étangs (Rainey et *al.*, 2003).

I.5. L'eutrophisation

I.5.1. Définition

Le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) définit l'eutrophisation comme :

"Une forme singulière mais naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières assimilables par les algues et que celles-ci prolifèrent".

Les définitions scientifiques de l'eutrophisation anthropique peuvent être assimilées celle de l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) :

L'eutrophisation est un accroissement de la biomasse végétale du un enrichissement des eaux en éléments nutritifs qui entraîne des dégradations et des nuisances manifestes (accumulations de micro-algues, poussées intenses de phytoplancton, coloration des eaux, fortes désoxygénations, changements d'espèces, perte de biodiversité) (Bavard, 2010).

I.5.2. Mécanisme de l'eutrophisation

Selon (Guasmi et *al*., 2006) Les mécanismes qui conduisent à l'eutrophisation, c'est-à-dire. Ce nouvel état de l'environnement aquatique, sont complexes et inter dépendants. La figure décrit le processus de l'eutrophisation.

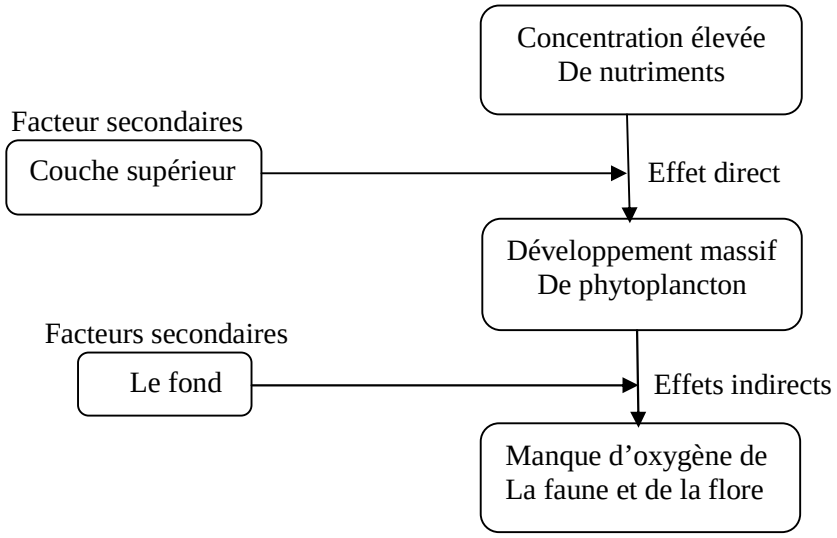


Figure 1: Processus d'eutrophisation.

La principale cause d'eutrophisation est l'apport massif de nutriments dans une masse d'eau. Le résultat principal est un déséquilibre dans la chaine alimentaire qui conduit à des concentrations élevées en phytoplancton dans des eaux stratifiées. Elle peut entrainer des proliférations algales.

Les facteurs favorisant ce processus peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils soient liés . la disposition des nutriments et à la croissance du

phytoplancton, ou aux variations de la teneur en oxygène prés du fond de l'eau, liée au confinement de certaines masses d'eau, à la pénétration de la lumière ou aux mouvements de l'eau.

Les causes de l'eutrophisation et les facteurs favorisants sont de deux origines :

- **Origine naturelle** qui se manifeste par trois voies, le ruissellement, l'érosion et la percolation. Ceci est favorisé par la présence de zones

agricoles fertilisées, les rejets d'eaux résiduaires urbaines et les rejets industriels. A cela s'ajoute le dépôt atmosphérique d'azote provenant de l'élevage animal et des gaz de combustion.

- **Origine anthropique** qui se traduit le ruissellement des terres agricoles expliquant ainsi la présence d'azote. L'implantation d'industries des détergents explique par ailleurs la présence de phosphore.

I.5.3. Caractéristiques et manifestations de l'eutrophisation

D'après (Bavard, 2010), le processus d'eutrophisation peut être décomposé en différentes étapes. La première est un approvisionnement du milieu en nutriments supérieur à la normale. Celui-ci induit alors la multiplication rapide des végétaux aquatiques (algues, macrophytes…) mais aussi bactéries.

A partir du moment où les végétaux sont implantés, on assiste à un fonctionnement cyclique :

- Pendant la journée : production d'oxygène par tous les organismes capables de faire la photosynthèse conduisant à une sursaturation des eaux en oxygène et à une augmentation du pH
- Pendant la nuit : la respiration des organismes et la décomposition des matières produites (algues mortes) par les bactéries consomment l'oxygène produit la journée et peuvent être si importantes qu'elles conduisent l'épuisement du stock d'oxygène. On assiste alors à la mort des organismes aérobies les plus fragiles.

La principale manifestation observable à l'œil nu de l'eutrophisation est donc le développement excessif d'organismes végétaux (algues, zooplancton, macrophytes…). Celui-ci peut prendre différentes formes selon la typologie du cours d'eau comme le montre le (Tab1).

Tableau 1 : Manifestation de l'eutrophisation en fonction de la typologie du cours d'eau (Agence de l'eau RMC, 1996).

Forme végétale	Aspect	Milieux concernés
Phytoplancton (algues microscopiques en suspension)	Coloration de l'eau (verte, brune, rouge selon les espèces) réduction de la transparence	Plans d'eau (lacs, lagunes). Cours d'eau lents et parfois milieu marin
Diatomées fixées (algues microscopiques)	Dépôt sur le fonds des cours d'eau, galets glissants	Cours d'eau lents ou rapides
Algues filamenteuses fixées	Grandes algues, envahissant parfois toutes la masse d'eau. Cladophores : longs filaments de plusieurs mètres	Cours d'eau
Microalgues vertes marines	Aspect de laitues	Lagunes languedociennes
Végétaux supérieurs (potamots, renoncules, myrophylles, etc.)	Allure de végétaux terrestres	Tronçons de cours d'eau lents à fonds déposés et plans d'eau

I.5.4. Les facteurs favorisant l'eutrophisation

La population importante et croissante implique une très grande production de rejets domestiques qui favorise l'augmentation des concentrations en nutriments dans les cours d'eau, plus particulièrement sur le littoral. De plus, le climat méditerranéen amplifie le phénomène durant les périodes de forte chaleur et de sécheresse. En effet, la température de l'eau augmente ce qui favorise le développement d'organismes végétaux et les débits diminuent. La capacité des milieux récepteurs à recevoir des effluents chargés pollués diminue alors. La dilution est plus faible et les nutriments plus facilement disponibles pour les plantes. De plus, les populations consomment plus d'eau pour l'usage domestique, les piscines, le lavage des voitures ou autres usages nécessitant l'utilisation de produits chimiques potentiellement riches en nutriments (phosphates en particulier) (Bavard, 2010).

I.5.5/ Les conséquences de l'eutrophisation sur les cours d'eau

Dans les étangs et les rivières lentes, l'apport constant de substances nutritives (nitrates et surtout phosphates) peut entrainer une prolifération de végétaux aquatiques et par voie de conséquence une destruction des espèces sensibles, en colmatant les ouïes des poissons et les branchies des mollusques. De même, en colmatant le fond et les berges du

lac ou de la rivière, les matières en suspension interdisent la reproduction aux espèces de poissons qui frayent sur des graviers (Nollet, 1996 In Melghit, 2012).

Enfin, la pollution des rivières et des cours d'eau entraine des effets nuisibles aussi bien pour le petit organisme que pour le grand, et peut induire le développement de nouvelles espèces tolérantes par cette pollution. Ces espèces sont des bioindicateurs, car leur présence révèle une pollution de l'eau (Rodolph, 1990 In Melghit, 2012).

I.6. La qualité de l'eau superficielle

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau (Villers, 2005).

I.6.1. Principaux paramètres physico- chimiques de l'eau

I.6.1.1. Température

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 °C. L'activité métabolique des organismes aquatiques est également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes (Villers et *al*., 2005).

La température d'une eau potable doit être inférieure en été, supérieure en hiver à la température de l'air (Rodier, 1984).

La source principale de nuisance thermique pour les eaux de surface est constituée par les centrales thermiques (70 à 80 %), le reste étant lié à la métallurgie, aux industries chimiques et alimentaires…..etc (Pesson, 1976 ; Ramade, 1982 in Mrabet, 2010).

L'élévation de la température s'accompagne d'une diminution de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et d'une diminution de la solubilité des gaz, en plus cette augmentation de la température favorise l'autoépuration, et accroit la vitesse de sédimentation (Luop, 1974 in Mrabet, 2010).

I.6.1.2 Potentiel hydrogène PH

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'anhydride carbonique, l'alcalinité et la température (Rodier, 1984).

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6 (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010). Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (Villers et *al*., 2005).

I.6.1.3. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 1984).

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm. L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau (tab 2). La connaissance du contenu en sels dissous est importante, dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres (Villers et *al*., 2005).

Tableau 2: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique (Nalco, 1983 in Mrabet, 2010).

Conductivité électrique (µs/cm)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Médiocre mais eau utilisable
> à 1500	Minéralisation excessive

I.6.1.4. Potentiel redox

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe…). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand la concentration d'oxygène diminue, le milieu devient plus réducteur; ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox (Villers et *al*., 2005).

I.6.1.5. Matières en suspension

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques…) (Villers et *al*., 2005).

I.6.1.6. Chlorure et sulfate

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates ($SO4^{--}$) font généralement l'objet d'un suivi particulier.

Les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés (Rodier, 1984). Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 mg/l à 100 mg/l (Nalco, 1983). Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées.

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux (Bremond et Vuichard, 1973 ; Rodier, 1984 in Mrabet, 2010).

Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200 mg/l (Rodier, 1984). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates.

Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes (Villers et *al*., 2005).

I.6.1.7. Dureté de l'eau

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés **(**Bernard D, 1966). Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na+, K+) et H+. Elle est souvent due aux ions Ca++ et Mg++. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux (Villers et *al*., 2005). On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonaté ou dureté permanente qui provient des sulfates et chlorures.

Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés détergentes des lessives et savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau.

Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb (Tab 3) (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

Tableau 3: Qualité de l'eau en fonction de la dureté (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

Dureté (mg/l)	Qualification de l'eau
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
>180	Très dure

I.6.2. Substances d'eutrophisation: différentes formes d'azote et de phosphore

Les éléments tels que l'azote (N) et le phosphore (P) constituent des éléments nutritifs indispensables aux végétaux. L'azote représente l'azote organique (acides aminés, urée) et l'azote ammoniacal. Quant à l'azote « total », il correspond à la somme de l'azote organique, de l'azote ammoniacal, des nitrites et des nitrates (Villers et *al.*, 2005).

I.6.2.1. Nitrate

L'azote des nitrates, comme celui des nitrites et de l'ammoniac, constitue l'un des éléments nutritifs des plantes et à ce titre a donné lieu, avec le phosphore, à des études intensives sur le terrain.

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux, proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

Les eaux naturelles non polluées contiennent généralement peu de nitrates. Les nitrates présents dans l'eau peuvent provenir de sources indirectes ou directes (Villers et *al*., 2005).

Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée…), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH^{4+}) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés « nitrification », sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses (Villers et *al*., 2005)

I.6.2.2. Nitrites

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne) (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

Des concentrations élevées en nitrites, témoignent souvent de la présence de matières toxiques. Les nitrites sont surtout nuisibles pour les jeunes poissons. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de plus de 3 mg NO2 -/l. En absence d'oxygène, des bactéries anaérobies transforment les nitrates et produisent de l'ammoniac (NH^3) ou de l'ammonium (NH^{4+}) (Villers et *al*., 2005).

I.6.2.3. Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme

assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH3/l (Villers et *al*., 2005).

I.6.2.4. Phosphate

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique…) (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 µg P/l) (Villers et *al*., 2005).

I.6.3. Paramètres biologiques

I.6.3.1. Oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

Une valeur d'oxygène inférieure à 1 mg d'O2 par litre d'eau, indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui

disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments (Villers et *al*., 2005).

I.6.3.2. Charge en matières organiques

I.6.3.2.1. Demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO), représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries, pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau. L'indicateur utilisé est généralement la DBO5 qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/ l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée (Villers. et *al*., 2005). L'analyse de la DBO5 est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).
Le tableau suivant, classe les eaux du point de vue qualité selon les valeurs de DBO5.

Tableau 4: Qualité de l'eau en fonction de la DBO_5 (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

DBO_5	Qualification de l'eau
< 1 mg/l d'O2	Excellente qualité
= 2 mg/l d'O2	Bonne qualité
= 3 mg/l d'O2	Qualité moyenne
= 5 mg/l	Eau moyennement polluée
> 10 mg/l	Eau polluée

I.6.3.2.2. Demande chimique en oxygène

Les matières organiques sont des substances consommant indirectement de l'oxygène et leur dosage s'exprime en quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation à partir d'un oxydant commun (KM_nO_4, $K_2Cr_2O_7$, C_{l2} ….). En fait, il est très difficile de doser quantitativement les matières organiques, leurs composés s'oxydent plus ou moins complètement. Il est toutefois, possible de se faire une idée de la quantité de matières organiques présente par utilisation de tests simples. Les oxydants les plus couramment

utilisés sont le bichromate de potassium et le permanganate de potassium (Bremond et Vuichard, 1973 in Mrabet, 2010).

La différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport entre la DBO et la DCO constitue une mesure indicative de la « dégradabilité » biochimique des composés présents dans l'eau. La DBO et la DCO se mesurent en mg d'O_2 par litre (Villers et *al*., 2005).

I.6.3.3. Métaux lourd

Le suivi des concentrations en métaux lourds est particulièrement important, vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement (Villers et *al*., 2005).

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide. Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide L'analyse de ces solides permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu. Généralement, ils caractérisent certains types de pollution. La présence de cuivre et de nickel, est un signe des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux. Le chrome dénonce la présence d'une tannerie. Le plomb est lié à des pollutions diffuses (apports dus aux transports routiers et à l'existence de sites industriels). Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages, tels que le laiton et le bronze. Il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés (ex. toitures métalliques). Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures (Merabet, 2010).

I.6.3.4. Evaluation de la qualité des eaux

Différents outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau sont utilisés. La qualité physico-chimique des eaux est évaluée selon la grille d'évaluation de 1971 ou selon le système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau) (Boissonneault, 2009).

I.6.3.5. Grille de qualité « multi-usages » de 1971

La grille de qualité associe, pour une série de paramètres principalement physicochimiques, des valeurs seuils à 5 classes de qualité. Cette grille dite « multi-usages » est construite sur la base d'une évaluation sommaire des aptitudes de l'eau aux principaux usages anthropiques et à la vie des poissons (Tabl 5 et 6).

La qualité générale d'une eau est celle du paramètre important le plus défavorable. Cependant, deux paramètres secondaires sont nécessaires pour déclasser une eau.

Tableau 5: Grille de qualité de 1971 simplifiée (les paramètres importants étant en caractère gras et soulignés) (Boissonneault, 2009).

Paramètres	**Bonne ou très bonne qualité**	**Qualité Acceptable**	**Qualité médiocre**	**Mauvaise ou très mauvaise qualité**
O_2 dissous mg/l	≥5	≥3	≥1	< 1
O_2 dissous %	≥70	≥50	≥10	< 10
DBO_5 mg/l	≤ 5	≤10	≤25	> 25
DCO mg/l	≤ 25	≤ 40	≤80	> 80
NO_3^- mg /l	≤ 25	≤ 50	≤ 80	> 80
NH_4^+ mg/l	≤ 0,5	≤2	≤8	> 8
NO_2^- mg/l	≤0,3	≤1	> 1	-
NTK mg/l	≤2	≤3	≤10	> 10
PO_4^{-3} mg/l	≤0,5	≤1	≤2	> 2
MeST mg/l	≤70	-	> 70	-
Phosphore total mg/l	≤0,3	≤0,6	≤1	> 1
Conductivité	≤2000	-	> 2000	-
pH	≥6,5 et ≤8,5	-	< 6 ou > 8	-

Tableau 6: Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux de rivière (Merabet. 2010)

O_2 dissous	DBO_5	DCO	NH_4^+	Phosphore total	Coliformes fécaux
mg/l	mg O_2 /l	mg O_2 /l	mg NH4/l	mg P/l	par 100 ml
> 7	< 3	< 20	< 0,1	< 0,1	< 20
7 – 5	3 – 5	20 – 25	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	20 - 2000
5 – 3	5 – 10	25 – 40	0,5 – 2	0,3 – 0,5	2000 - 20
3 – 1	10 – 25	40 – 80	2 – 8	0,5 – 3	> 20000
< 1	> 25	> 80	> 8	> 3	-

Excellente
Bonne
Moyenne
Mauvaise
Très mauvaise

I.6.4. Système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)

Le Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau, permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités. Les évaluations sont réalisées au moyen de plusieurs paramètres physico-chimiques et chimiques regroupés en 16 indicateurs, appelés altérations. Ces altérations comprennent des paramètres de même nature ou ayant des effets comparables sur le milieu aquatique ou les usages. En identifiant les altérations, le SEQ E, permet un diagnostic précis de la qualité de l'eau et contribue à définir les actions de correction nécessaires pour son amélioration en fonction des utilisations souhaitées.

La qualité de l'eau est décrite, pour chacune des altérations, à l'aide de 5 classes de qualité allant du bleu pour la meilleure, au rouge pour la pire et d'un indice variant en continu de 0 (le pire) à 100 (le meilleur) (Figure 2). L'indice de qualité permet de juger de l'évolution de la qualité de l'eau à l'intérieur d'une même classe, sans même qu'il y ait de changement de classe. Ce qui permet une évaluation précise (Boissonneault, 2009).

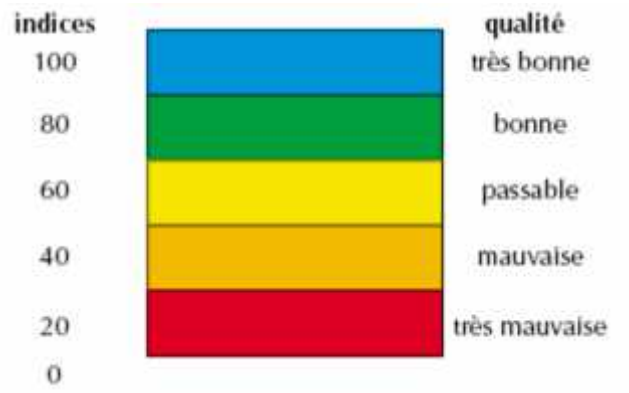


Figure 2: Les classes et indices de qualité (Boissonneault, 2009).

Tableau 7: Altérations du SEQ-Eau et paramètres associés (Boissonneault, 2009).

Altération	Paramètre	Effet
Matières organique et Oxydables	O_2d, DCO, Carbone organique, NH_4^+, NKJ.	Consomment l'oxygène de l'eau
Matières azotées hors nitrates	NH_4^+, NKJ, NO_2^-.	Contribuent à la prolifération d'algues et peuvent être toxiques (NO_2^-)
Nitrates	NO_3^-	Gênent la production d'eau potable
Matières phosphorées	PO_4^{3-}, P total	Provoquent la prolifération d'algues
Prolifération végétale	Chlorophylle a + algues, O_2 % et pH	Trouble l'eau et fait varié l'oxygène et l'acidité. Gêne la production d'eau potable.
Particules en suspension	MES, Turbidité, transparence Disque de SECCHI	Troublent l'eau et gênent la pénétration de la lumière
Température	Température	Trop élevée, elle perturbe la vie des poissons.
Acidification	pH, Aluminium (dissous)	Perturbe la vie aquatique.
Minéralisation	Conductivité, Résidu sec à 105°C, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, TAC, Dureté.	Modifie la salinité de l'eau
Couleur	Couleur	Gêne la production d'eau potable et la baignade
Micro-organisme	Coliformes thermotolérant, coliformes totaux, Escherichia Coli, Streptocoques fécaux	Toxiques; gênent la production d'eau potable
Micropolluants minéraux	Antimoine, Arsenic, baryum, bore, cadmium, Chrome total, Cuivre, Cyanures libre, Etain, Mercure, Nickel, Plomb, Sélénium, Zinc.	Toxiques; gênent la production d'eau potable
Pesticides	Atrazine, Simazine, Lindane, Diuron…	Toxiques; gênent la production d'eau potable
Hydrocarbures aromatiques polycyclique (HAP)	Anthracène, Fluoranthéne,…..	Toxiques; gênent la production d'eau potable
Polychlorobiphényles (PCB)	PCB 28, PCB 52, PCB 77	Toxiques; gênent la production d'eau potable
Micropolluants organiques	Benzène, chloroforme, Pentachlorophénol	Toxiques; gênent la production d'eau potable

I.7. Le Phytoplancton

Le phytoplancton (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou 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. Il s'agit de cellules, colonies ou filaments qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints.

La principale source d'acquisition de l'énergie s'effectue par phototrophe 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).

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 inferieure 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.

I.7.1. Habitat et écologie

Les organismes qui constituent le phytoplancton est d'une extrême plasticité écologique. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques (Fogg *et al.,* 1973 In Groga, 2012), et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée.

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.

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 stratifian**

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.

- **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 ($NO3^-$ ou $NH4^+$) pour dominer les autres espèces grâce à leur fixation d'azote.

I.7.2. Diversité spécifique et diversité écophysiologique

Les conséquences écophysiologiques 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 différents

mécanismes favorisant leur mobilité, et leur migration vers des zones riches en nutriments et en lumière (phototaxisme, migration verticale, nage, agrégation), le mode de nutrition mixotrophe, la compétition interspécifique par production de substances allélochimiques, 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.

Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytologique 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). 8 principales classes différenciées selon des critères morphologiques, cytologiques, biochimiques et reproductifs sont recensées dans les milieux aquatiques.

- **Les cyanobactéries**

Organismes procaryotes, regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces dulçaquicoles. 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 présence de chlorophylle *a* et de pigments accessoires (phycocyanine, phycoérythrine, caroténoïdes) (Ganf *et al.*, 1991 In Groga N, 2012 ; 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 In Groga, 2012 ; Walsby *et al.*, 2004 ; Walsby, 2005).

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).

- **Les chlorophycées**

Forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygophycées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ500 genres, représentant plus de 15000 espèces (John, 1994 In Groga, 2012). 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 (Bourelly, 1985b In Groga, 2012).

Dans les formes coloniales, chaque cellule de la colonie se divise par division végétative en *n* cellules formant 2 x *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 (Ettl, 1978 In Groga, 2012).

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. Leurs cellules possèdent un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns à cause de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes (*β*-carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles *a* etc (Wetzel *et al.,* 2001).

La plupart de ces cellules obtiennent leur énergie par mixotrophie, c'est à dire qu'elles sont capables d'autotrophie et d'hétérotrophie. Dans le dernier cas, elles se nourrissent en consommant de la matière particulaire comme des bactéries ou des protistes (phagotrophie) ou bien en absorbant des molécules organiques complexes (osmotrophie) (Sanders *et al.,* 1990; Domaizon *et al.,* 2003). Le nombre de flagelles est variable. La plupart des cellules sont uniflagellées mais d'autres possèdent deux flagelles généralement de même taille. Beaucoup des espèces appartenant à cette classe n'ont pas de paroi cellulaire mais sont juste entourées d'une membrane cytoplasmique.

- **Les diatomées (Bacillariophycées)**

La taille varie entre 2 et 400 µm. Elles possèdent une enveloppe externe, siliceuse. Certaines espèces constituent des colonies de formes diverses. Les Diatomées peuvent produire des substances actives sur d'autres organismes du plancton et des substances bactéricides. Quelques espèces secrètent des toxines, les diatomées engloberaient plus de 100 000 espèces et on estime que seulement près de 15 000 ont été identifiées à ce jour. 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).

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. Les valves des diatomées pennées présentent des parties de cellules plus épaisses et dilatées.

- **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 In Groga, 2012).

- **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 (Kofoid, 1909 In Groga, 2012).

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.

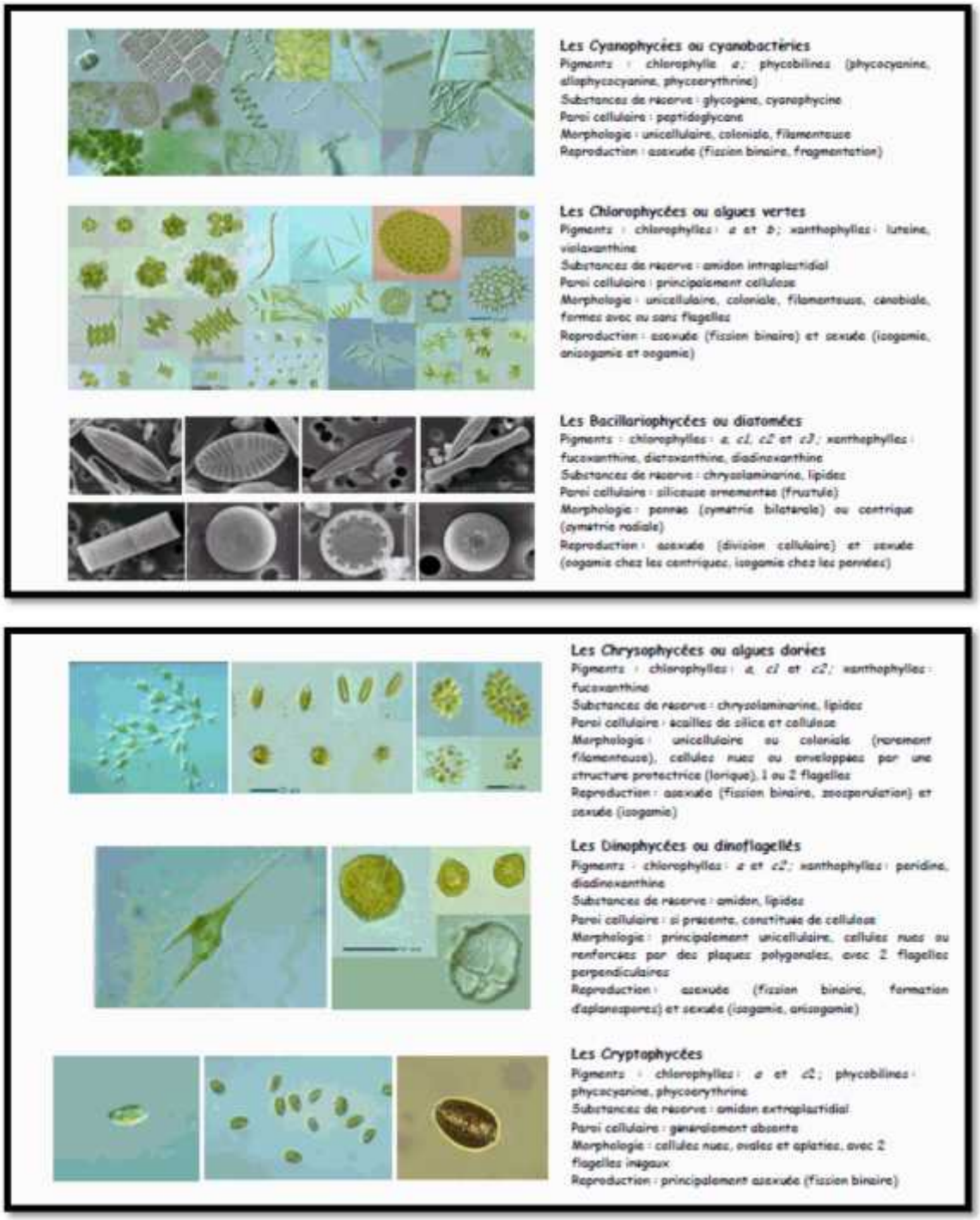


Figure 3 : Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques (Saez *et al*., 2008).

La péridinin 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'accentuer considérablement (Carty, 2003).

- **Les euglènes**

Sont réparties 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 caroténoides (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.

Le premier niveau de classification est basé sur les pigments photosynthétiques, les produits de réserve et leur localisation cytoplasmique, ainsi que leur niveau de complexité intracellulaire. Plus communément d'autres critères tels que la reproduction, la nature du squelette, la mobilité permettent de ranger les algues en plusieurs classes telles que : les Cyanophycées ou cyanobactéries, les Chlorophycées, les Diatomophycées ou Bacillariophycées, les Dinophycées, les Cryptophycées et les Chrysophycées entre autres.

I.7.4. Le cycle de développement de phytoplancton

Le phytoplancton transforme le CO2 dissous, en O2 et en matière organique grâce à l'énergie fournie par la lumière. Certains nutriments sont également nécessaires à la réalisation du cycle biogéochimique du phytoplancton, telles que la présence de fer qui agit sur la chaîne respiratoire, la synthèse de la chlorophylle et dans le processus de réduction enzymatique des nitrates. (Gaëlle et *al.*, 2012)

Le développement de tel ou tel groupe de phytoplancton dépendra par ailleurs fortement des facteurs climatiques (lumière et température), hydrodynamiques (débit, vitesse du courant, turbidité), et des proportions et disponibilité des différents nutriments. D'autres facteurs (pression de broutage par le zooplancton, présence de toxines…) peuvent entraîner des modifications importantes de biomasse et composition des communautés. Les communautés phytoplanctoniques présentent une importante variabilité spatio-temporelle, due à la croissance rapide des individus et à l'hétérogénéité de la masse d'eau dans laquelle ils se développent: le phytoplancton présente une variabilité nycthémérale et hebdomadaire telle que ses densités peuvent augmenter de 10 à 50% entre matin et soir, et que sa biomasse peut doubler en 2 à 3 jours pour les petites espèces. (Luis Felipe A et Fabrice L, 2009)

I.7.5. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique

Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés ou des poissons, les indicateurs biologiques (bio-indicateurs) sont basés sur le même principe. La variété des taxons présents dans un prélèvement, leur assemblage, la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux. Ainsi, Blandin (1986) a donné au terme bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui – par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques – permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écocomplexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

A cet effet, (Reynolds *et al*., 2002) ont publié une description détaillée de 31 assemblages phytoplanctoniques qui peuvent être vus comme des groupes fonctionnels, c'est à dire des groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques internes au lac (profondeur de la zone de mélange, lumière, température, P, N, Si, CO2 et pression de prédation). Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux (Padisak *et al.,* 2006; Salsamo *et al.,* 2006; Anneville *et al.,* 2008), est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (Solheim *et al.,* 2005). Ainsi, ce compartiment biologique a été proposé puis imposé par la DCE (directive cadre de l'eau ; directive européenne du 23 décembre 2000) comme élément de qualité biologique pour les lacs et est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau.

Chapitre II :
Présentation de site

II.1. Présentation et description du bassin versant Kébir-Rhumel

Un bassin est défini comme une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitations essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur. «Les processus de transfert d'eau s'expriment dans les réseaux hydrographiques, considérés comme des éléments linéaires, par opposition aux bassins versants, éléments de la surface terrestre » (Bravard et Petit, 2000 in Mébarki, 2005). Cette unité de drainage est essentielle en hydrologie, affirme (Mébarki, 2005) : « pas seulement parce qu'elle permet le calcul de bilans mais aussi parce qu'elle représente une unité fonctionnelle, qui rend compte d'une dépendance rigoureuse de l'amont à l'aval.. ».

L'Oued Kébir-Rhumel, est un cours d'eau très important dans l'Est algérien. Il a contribué au façonnement du ravin Constantinois qui est célèbre dans toute l'Algérie par son pittoresque. L'oued Rhumel s'écoule sur une distance d'environ 208 Km et son bassin versant déborde largement les limites géographiques du Constantinois. Il s'étend des marges septentrionales des Hautes Plaines des sebkhas à la mer Méditerranée au Nord. Il est juxtaposé au bassin de la Seybouse à l'Est et au bassin de la Soummam à l'Ouest. Les limites du Kébir- Rhumel sont très pertinentes sur la partie tellienne où les lignes de crêtes vivent rigoureusement. En conséquence, le calcul de la superficie du bassin versant Kébir-Rhumel diffère souvent d'un opérateur à un autre ; elle est de l'ordre de 8795 km^2, cependant selon les données de l'ANRH elle est de 8815 km^2 (Melghit, 2012).

Le bassin Kébir-Rhumel, se caractérise par son appartenance à deux zones géographiques nettement différenciées. Au Sud, se sont les hautes-plaines semi-arides drainées par l'Oued Rhumel, et au Nord, on trouve les massifs du tell, subhumides à humides, drainés par l'Oued Kébir. C'est de la confluence Rhumel-Endja, que résulte l'Oued El Kébir, lequel franchit les monts de la petite Kabylie d'EL Milia, et rejoint plus au Nord la mer méditerranée, à la ville de Jijel (Aidat, 2008).

II.2. L'hydrographie de la région d'étude

Le basin versant Kebir-Rhumel se caractérise par un réseau hydrographique assez dense formé essentiellement de deux grandes sous bassins (Djama, 2014).

Le sous bassin de Rhumel (170 km), drainant une superficie de 5315 Km^2, prend sa source vers 1160 m dans les marges méridionales du tell, au nord ouest de Blaa, il traverse les hautes plaines constantinois, avec une orientation sud ouest, nord este jusqu'à Constantine. Il change brusquement de direction et tourne presque à angle droit pour couler en oblique vers le nord –ouest et confluer avec l'Oued Endja aux environs de Sidi-Marouane. Le long de son chemin, Oued Rhumel collecte quelques affluents entres autres : Oued Derki, Oued Athménia, Oued Seguin, Oued Bou-Merzoug, Oued Smendou et Oued El-Ktone (Djama, 2014).

Le sous bassin d'Oued Endja (140 Km) drainant une superficie de 2160 Km^2 a sa source prés de Douar Tassadane situé au nord-ouest de Ferdjioua. Il suit une direction sud ouest à travers les reliefs montagneux du Tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au nord. Cet Oued voit grossir son débit régulièrement par l'intermédiaire des affluents d'Oued Bouslah, Oued Rama, Oueds (Redjas, Melah et Kebir) (Djama, 2014).

II.2.1. Le sou bassin de L'oued Rhumel

Le bassin versant Kébir-Rhumel est l'un des plus grands bassins hydrographiques importants en Algérie. Il couvre une superficie de 8115 Km2 et possède une façade maritime d'environ 7 Km. Il est centré 36° de latitude Nord, de 7° de longitude Est. Il est subdivisé en 7sous bassins.

Le Kébir-Rhumel prend sa source vers 1160 m dans les marges méridionales du Tell, au Nord-Ouest de Belaà. Il drainant une superficie de 5315 km Il traverse les hautes plaines Constantinoises, avec une orientation Sud - Ouest et Nord –Est jusqu'à Constantine. La, il change brusquement de direction et tourne presque à angle droit pour couler en oblique vers le Nord-Ouest et confluer avec l'Oued Enndja aux environs de sidi Mérouane. Le long de son parcours, l'Oued Rhumel collecte quelques affluents entre autres : l'Oued Décris, l'Oued Atménia, l'Oued Seguin, l'Oued Smendou et Oued El Ktone (Benalia, 2005).

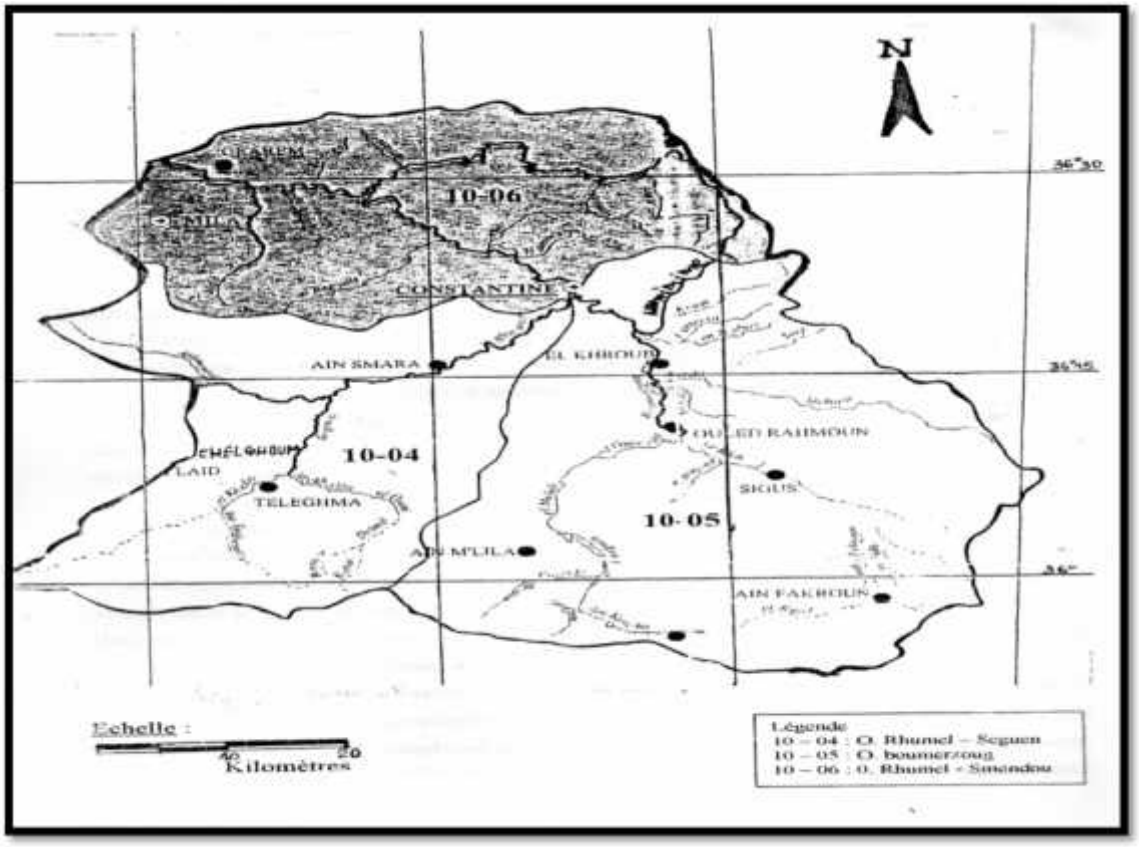


Figure 4 : Carte des sous-bassins (Laouar et Djeddi, 2001)

II.3. Aspect géologique

La géologie de l'importante surface du bassin versant du Kébir-Rhumel reflète clairement l'aspect lithologique de la zone centrale de l'Est Algérien.

L'oued Kébir-Rhumel, long de 200 km, draine plusieurs domaines géologiques et hydrogéologiques très différents. Il va de soi que cette hétérogénéité du bassin versant provoque des influences différentes sur le régime des cours d'eau conjointement à celles dues à la répartition des précipitations.

De la source à la mer, on rencontre schématiquement 5 grands domaines géologiques et hydrogéologiques.

- **Le domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises**

Il est constitué de deux grandes unités lithologiques:

- Les massifs carbonatés du néritique constantinois: Composés de 1 000 à 1 200 m de calcaires jurassiques et crétacés, ils émergent en horsts très karstiliés de 10 à 100 km^2 limités par des abrupts imposants. Au pied de ces massifs, dans la zone

d'éboulis, émergent de grosses sources karstiques: Ain Fesguia à la base du Guérioun, AïnFourchi (pompages de 300 Ils aux fins de l'irrigation) au sud d'Ain M'lila et à l'est du Djebel Nif Ennser, Aïn Bou-Merzoug au nord du massif du Fortas.

- Les plaines captées alimentent les oueds (haut-Rhume1 et Bou Merzoug) qui drainent les différentes plaines quaternaires cloisonnées par les djebels calcaires.

Sur l'ensemble de ces plaines, les nappes phréatiques sont activement exploitées pour l'irrigation par gravité des cultures maraîchères.

- **Le bassin néogène de Constantine-Mila**

Ce bassin mio-pliocène est à dominance argileuse à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres renfermant des ressources exploitées localement. Par ailleurs, émergent de nombreux horsts de calcaires néritiques d'âge jurassique-crétacé donnant lieu à des aquifères karstiques hydrothermaux tel le système de Hammam Bouziane-Constantine.

- **La dorsale Kabyle et des massifs gréseux numidiens**

Ce domaine, localisé au niveau de la confluence de l'oued Endja et de l'oued Rhumel au nord de Grarem, est constitué essentiellement de grès numidiens sous lesquels apparaissent des calcaires jurassiques très tectonisés de la dorsale kabyle. Ces calcaires donnent naissance à des émergences dont le débit n'est pas négligeable.

- **Le socle granitique et cristallophyllien de la petite Kabylie d'El-Milia**

Au sud d'El-Milia, la vallée du Kébir-Rhumel s'encaisse dans les formations du socle. De telle vallée, large de 1 à 2 Km, renferme des graviers et des sables alluviaux très abondants. La nappe alluviale, en partie exploitée, constitue à l'opposé des formations du socle, la ressource hydraulique la plus importante du secteur (Mébarki, 1984).

- **Le domaine des «nappes» tectoniques de Djemila**

A l'ouest de Ferjioua de calcaires marneux (Jurassique des sources à débit relativement faible, excepté la source faiblement thermale d'AïnHamman qui contribue en partie à l'alimentation.

II.4. Morphologie et topographie

S'étendant entre la mer méditerranée au Nord et les Hautes plaines des lacs salés au Sud, le bassin du kébir Rhumel présente un relief compartimenté, reflet de la nette opposition topographique tell /Hautes plaines. Il est juxtaposé aux bassins de la Seybouse à l'Est et le bassin de la Soummam à l'Ouest.

Les limites du bassin du kébir Rhumel sont très nettes sur la partie tellienne ou elles suivent rigoureusement les lignes de crêtes.

Elles sont souvent plus floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin des lacs salés au sud car les limites sont localement imprécises de ce fait. Le calcul de la superficie du bassin diffère souvent d'une opération à l'autre (Loauar et Djeddi, 2001).

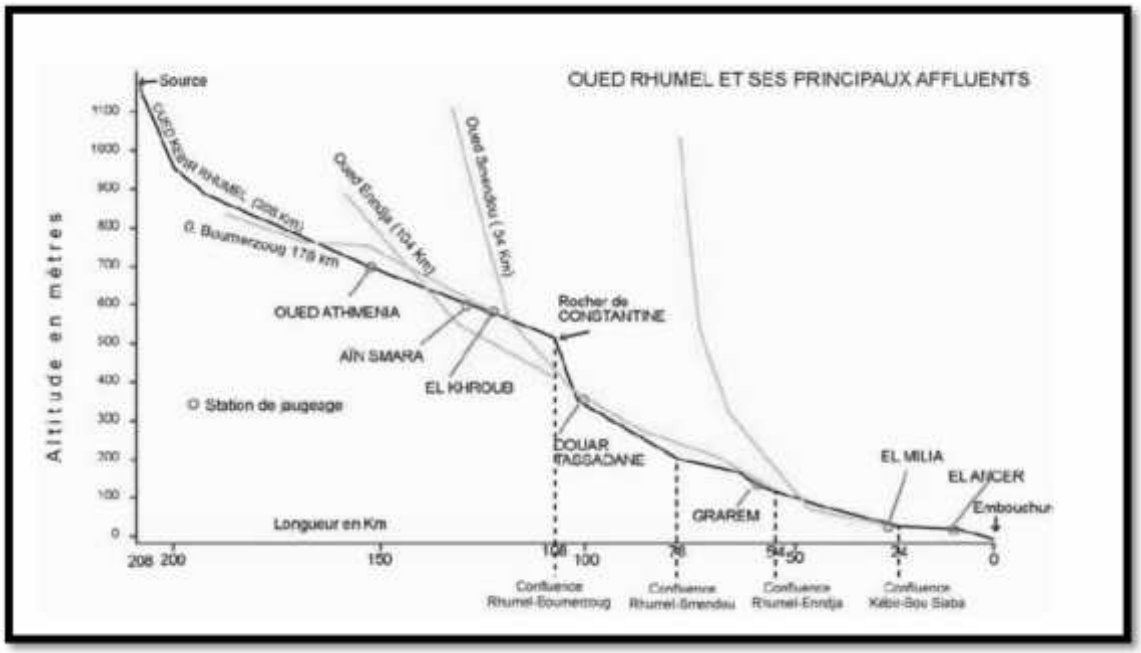


Figure 5 : Profil en long de l'oued Kébir-Rhumel (Mebarki, 1982).

II.5. Réseau hydrographique

Le bassin du Kébir-Rhumel dans la partie Sud et l'Oued Endja dans la partie Ouest. La confluence de ces deux oueds à l'aval de Grarem donne naissance à l'Oued El Kebir. Lequel rejoint plus au nord la Méditerranée.

- Oued Rhumel : d'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important du Kébir Rhumel. Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes, entaille les

gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kébir.

- Oued Enndja : d'un linéaire de 15 Km, il nait à la confluence de l'Oued El Kébir et de l'Oued Redjas. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage Beni- Haroun
- Oued El Kébir : prend sa naissance des deux oueds précédents, Rhumel et Endja, d'un linéaire de 56 Km et se déverse dans la mer.

Ainsi, le bassin du Kébir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense totalisant un réseau de plus de 4200 km

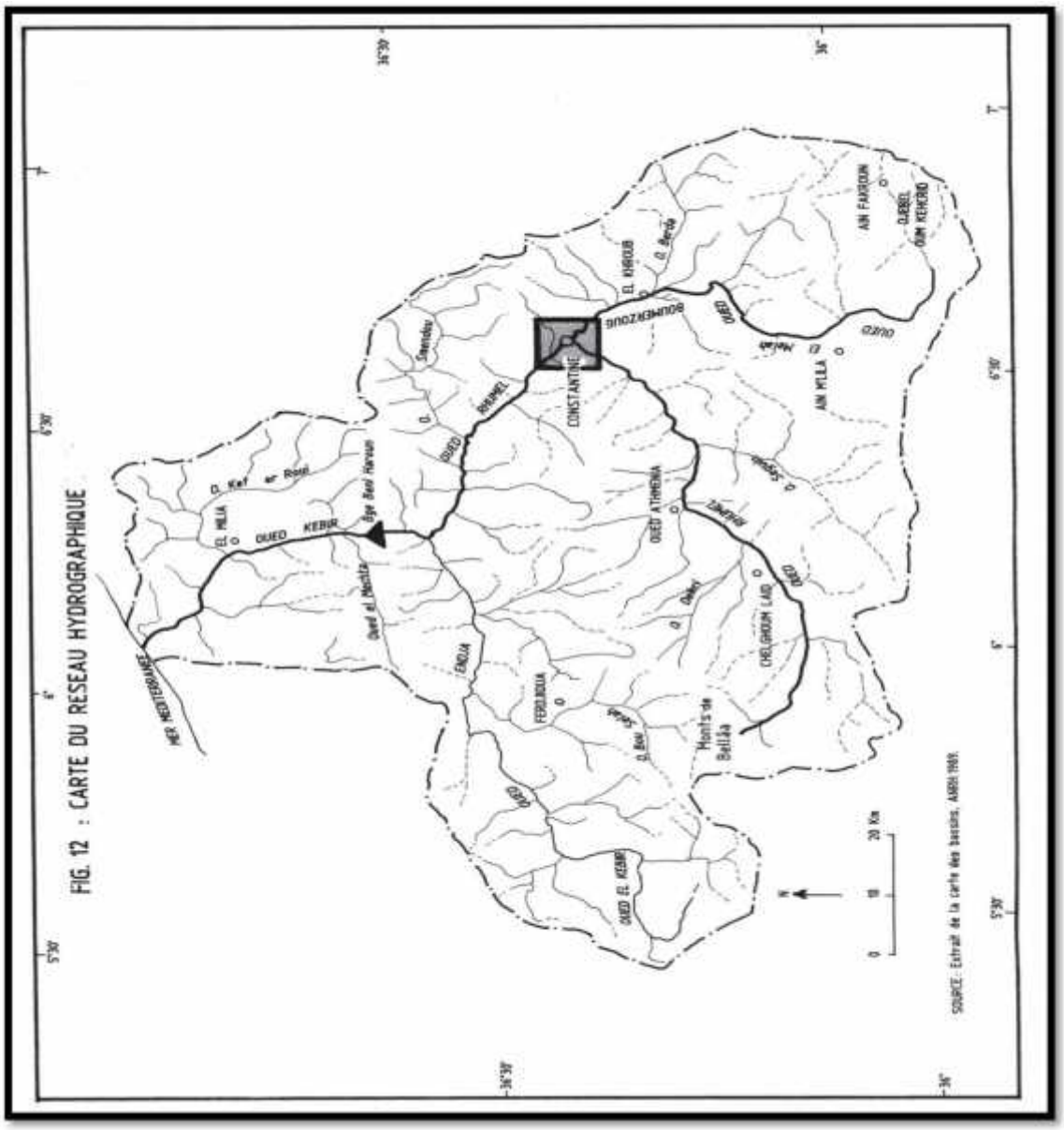


Figure 6 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kébir-Rhumel (ABH, 1999)

II.6. Climatologie

Les facteurs climatologiques sont dans l'ensemble des variables aléatoires permettant d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique. Le climat de la région est de type méditerranéen en général à tendance subhumide (semi-aride) marqué par une saison sèche et chaude et une autre humide et froide avec de courtes transitions. La saison humide s'étalant sur 8mois avec une pluviométrie annuelle qui varie entre 350mm et 700mm et une température minimale de 3°à 4° C au mois de janvier par contre la saison sèche à enregistrés des températures maximales de l'ordre 42°C au mois de juillet, les vents dominant sont du secteur Nord-Ouest et sont généralement suivi par des pluies, en hiver les vent du Nord et du Est sont peu fréquents cela est du aux obstacles (reliefs) par contre les vents dominants des gelées fréquentes en moyenne 30 jours par ans (Hadissi, 2010).

II.6.1. Pluviométrie

Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit, les matières en suspension et les phénomènes de dilution.

Le bassin versant kébir–Rhumel rassemble sur toute sa superficie vingt deux stations pluviométriques qui se répartit comme suit.

Tableau 8: Stations pluviométriques sur le bassin du kébir - Rhumel. (ABH, 1999)

Sous – bassins	***Nombre de stations pluviométriques***
Oued Dehamcha-Kébir Amont	4
Oued Kébir Amont-Endja	1
Oued Kébir Amont	5
Oued Rhumel-Seguen	3
Oued Boumerzoug	3
Oued Rhumel-Smendou	2
Oued Kébir-Maritime	4

Le bassin versant kébir – Rhumel présente des pluies d'automne ; d'hiver et de printemps, elles sont à la fois faibles et irrégulières.

II.6.2. Température

Le bassin du Kébir-Rhumel doit à sa position un climat méditerranéen avec des hivers Doux, des étés chauds et secs mais loin d'être désertique.
Les températures mensuelles et annuelles ne sont pas disponibles. De ce fait, nous avons Mentionné uniquement la température moyenne des années (2004, 2005 et 2006) pour la wilaya de Constantine.

Tableau 9 : Température moyenne mensuelle en °C. (Station météorologique D'Ain El Bey, Constantine).

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2004	7.2	8.8	10.6	11.9	15.1	21.4	25.7	26.9	21.0	19.4	9.9	7.9
2005	4.6	4.7	10.8	13.2	19.2	23.9	26.8	24.7	21.1	17.8	11.8	7.0
2006	5.5	6.9	11.0	15.6	20.1	24.9	26.8	24.4	21.0	19.1	12.5	8.4

II.6.3. Le Vent

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force. Les vents soufflant sur le bassin du Kébir-Rhumel sont ceux du Nord-Est qui apportent les pluies et qui sont souvent secs et froids (Malghite, 2009).

II.7. Socio économie

Le facteur socio-économique de la région d'étude est très important vu son impact sur l'interprétation du phénomène de pollution et ses diverses sources.

II.7.1. Population

Plus de 2.500.000 habitants selon l'estimation de 2002, répartis en 90 communes et 06 wilayas. 57 communes sont entièrement incluses dans le bassin et 33 partiellement l'agglomération de Constantine avec 921.893 habitants selon l'estimation de 2008, regroupe 22.5% de la population totale du bassin (ABH, 2009).

II.7.2. Alimentation en eau potable des agglomérations

Le bassin du Kébir-Rhumel compte cent (100) agglomérations de plus de 2000 habitants en 1998, regroupant une population de 1.432.424 habitants. Sur ces cent agglomérations quatre vingt douze agglomérations sont dotées d'un réseau de distribution qui totalise un linéaire de plus de 2075 km, et disposent d'un potentiel de stockage d'environ 210.000 m^3

II.8.3. Barrages

Le bassin du Kébir-Rhumel compte actuellement deux barrages en exploitation: Oued Ath mania et Beni Haroun, ainsi que plusieurs retenues collinaires

Figure 7 : Carte des principaux barrages du bassin du Kébir-Rhumel (ABH, 2012).

II.7.4. Assainissement

Parmi les cent agglomérations de plus de 2000 habitants en 1998, quatre vingt onze sont dotées d'un réseau hydrographique d'assainissement, qui totalise près de 1400 km.

Parmi ces quatre vingt onze agglomérations, une seule possède deux stations de relevage : s'agissant de stations d'épuration, deux agglomérations parmi les cent incluses dans le bassin en possèdent. La première localisée à Constantine fonctionnant selon le

principe de la boue activée, d'une capacité de 400.000 équivalents habitants, extensible à 800.000 équivalents habitants, dimensionnée pour un débit moyen de 800 l/s et traitant actuellement un débit de 150 l/s. La deuxième à Oued Atmania traitant les eaux usées de Chelghoum Laid fonctionnant selon le principe de la boue activée à faible charge, d'une capacité de 45.000 équivalents/habitants, extensible à 67.500 équivalents/ habitants, dimensionnée pour un débit de 46 l/s.

II.7.5. Agriculture

Le bassin du Kébir-Rhumel se caractérise par une agriculture mixte, traditionnelle (Irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture. La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm3.

Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture, afin d'atteindre la production nécessaire, il était important de développer des techniques et des stratégies de culture et d'autoriser l'usage de certains produits chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides pour améliorer les rendements et lutter contre les parasites et les maladies.

II.7.5.1. Engrais

Les engrais les plus utilisés en agriculture au niveau du bassin du Kébir-Rhumel sont Les ammonitrates (33%) et les superphosphates (45%).Les engrais augmentent sans doute les rendements, mais contribuent surtout par leur utilisation excessive à la pollution des sols, des sédiments et des cours d'eau où les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés le plus souvent élevées.

II.7.5.2. Pesticides

Comme pour les engrais, l'utilisation abusive et intense des pesticides organiques et ou minéraux conduit sans aucun doute à une contamination des sols, des eaux et des sédiments.

II.7.6. Industrie

Aux alentours du bassin versant Kébir-Rhumel, le tissu industriel est surtout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid, Hamma Bouziane, Mila,…). Plusieurs industries sont alimentées par leurs propres forages, ou leurs propres puits. Il n'a pas été possible d'accéder à toutes les installations, et les renseignements recueillis traduisent un volume global alloué à ces installations de 13.679 m3/j soit 4.99 hm3/an.

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Choix et localisation des sites de prélèvement au niveau du Rhumel

Deux stations (Amont et Avale) ont été retenues selon l'accessibilité et de façon à intégrer le mieux possible l'influence de certaines zones à forte pression anthropique et/ou industrielle (agglomération, industries, mines, agriculture…) dans le plus grand oued alimentant le barrage de Béni-Haroun.

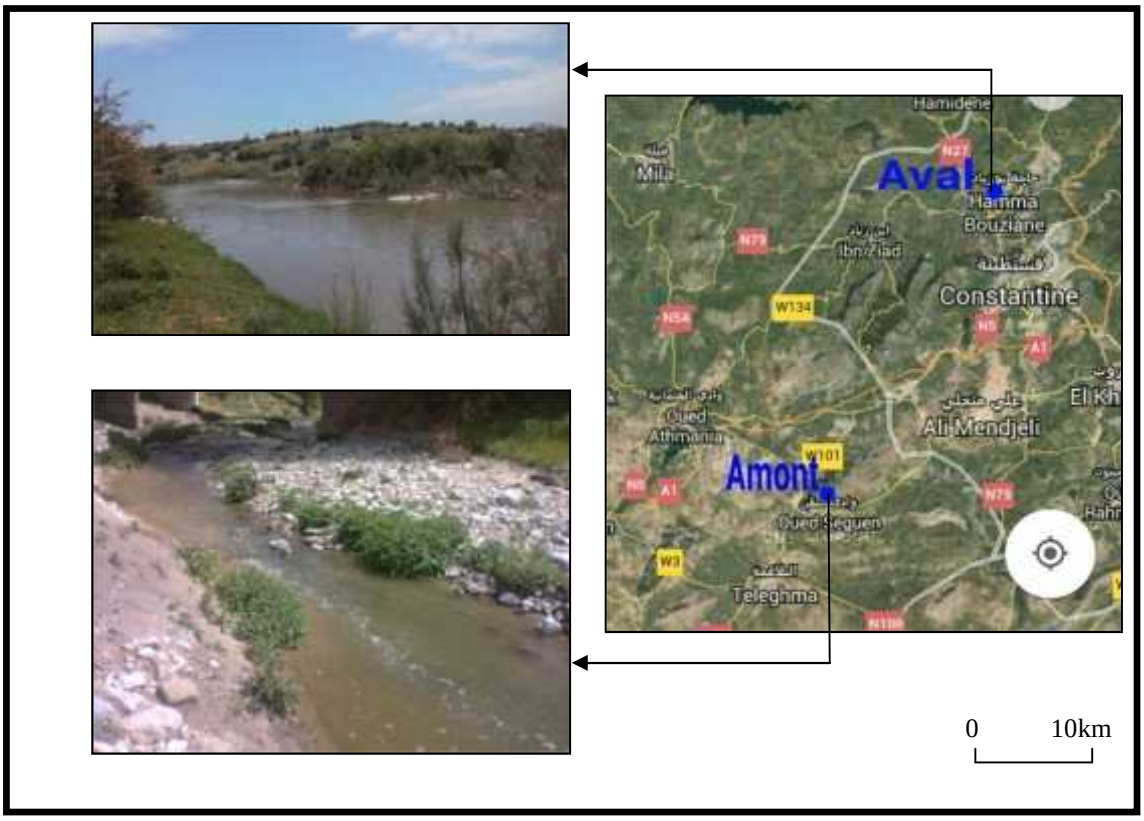


Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement

- **Station amont**

Située en amont de l'Oued Rhumel à environ 25 Km de Constantine. Cette station est située en avale de la confluence Rhumel-Seguen. Sous le pont en direction de Teléghma et Oued Seguen. Elle traduit la qualité de l'eau avant tout risque de pollution par la ville de Constantine et ses proximités (36°21'20"N, 6°40'78"E).

- **Station avale**

Située en avale de l'Oued Rhumel, au niveau de la route de Constantine Hamma-Bouziane, allant vers la ville de Mila, exactement avant la station d'épuration des eaux usées afin d'avoir une idée réelle sur le degré de pollution résultant des rejets diffus ainsi que les eaux de ruissellement. Elle traduit l'impact d'une agglomération importante sur la qualité physico-chimique des eaux (36°24'33"N, 6°33'1529"E).

III.1.1. Calendriers des prélèvements

Les prélèvements d'eau ont été pris saisonnièrement (Automne 2014, Hiver 2015, Printemps 2015). Pour le compartiment algue (phytoplancton et diatomées), deux prélèvement ont été réalisés respectivement la saison automnale de l'année 2014 et hivernal de l'année de 2015.

Tableau 10: Calendrier de prélèvement

Compagnes/ Stations	Amont et aval
1. Automne	25 Octobre 2014
2. Hiver	11 Janvier 2015
3. Printemps	30 Mars 2015

III.2.1.2.Matériel et méthodes d'analyses

Dans le tableau qui suit, nous présentons les différentes méthodes que nous avons utilisées dans notre travail.

Tableau 11 : Matériel et méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Symbole	Unité	Méthode d'analyse	Matériel	Source
Température	T	°C	Mesure directe	pH-mètre de type HANNA model HI 991001	–
Ph	pH				
Conductivité Electrique	C.E	µS/cm	Mesure directe	Conductimètre de terrain	–
Oxygène dissous	O_2. D	mg/l	Mesure directe	Oxymétrie de terrain	–
Matière en suspension	M.E.S	mg/l	Méthode de filtration	Dispositif de filtration sous vide	(Rodier et al, 2009)
Phosphore	P	mg/l	Méthode colorimétrique au Molybdate d'ammonium	Spectrophotomètre	(Rodier et al, 2009)
Dureté total	CaCo3	mg/l	Méthode volumétrique à l'EDTA	Matériel de titration	Norme AFNOR NF T90-003 (Rodier et al, 2009)
Dureté	Ca^{2+} Mg^{2+} (TH)	mg/l	Méthode volumétrique à l'EDTA	Matériel de titration	Norme AFNOR NF T90-003 (Rodier et al, 2005)
Sodium	Na^+	mg/l	Spectrophotomètre d'émission à flamme	Spectrophotomètre à flamme	(Rodier et al, 2009)
Potassium	K^+	mg/l			
Nitrite	NO_2^-	mg/l	Méthode colorimétrique au réactif de Zambelli	Spectrophotomètre	(Rodier et al, 2009)
Nitrate	NO_3^-	mg/l	Méthode au salicylate de sodium		
Alcalinité	HCO_3^-	mg/l	Méthode volumétrique	Matériel de titration	(Rodier et al, 2009)
Phosphate	Po_4^{3-}	mg/l	Méthode colorimétrique au Molybdate d'ammonium	Spectrophotomètre	(Rodier et al, 2009)
Chlorure	Cl^-	mg/l	Méthode volumétrique	Matériel de titration	(Rodier et al, 2009)
Sulfate	so_4^{2-}	mg/l	Méthode néphélométrique au chlorure de barium	Spectrophotomètre	(Rodier et al, 2009)

III.2. Analyses physico-chimiques des eaux

III.2.1. Echantillonnage des eaux

Afin d'avoir une évaluation de la qualité des eaux du Rhumel, 17 paramètre physicochimiques ont été analysés pour chaque station.

Un litre et demis d'eau est récolté dans des bouteilles en plastiques pour chaque point de prélèvement. Au moment de l'échantillonnage, les bouteilles ont été rincées avec l'eau à échantillonné.

Le prélèvement fait à une profondeur de 15 à 25 cm de la surface de l'eau, en évitent la pénétration de l'air.

Les échantillons sont ensuite transportés au laboratoire dans une glacière à température de 4 à 10°c.

L'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible. Les éléments comme les nitrates etc.… peuvent subir des modifications lors de la conservation (Coulibaly, 2005).

Les paramètres physicochimiques ont été analysés au niveau de laboratoire ADE de Zeghaia, et dans le laboratoire du centre universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila.

III.2.1.3. Paramètre mesurés sur terrain

Le potentiel hydrogène (pH), la température, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ respectivement par un pH-mètre de type Hanna (HI 991001) muni d'une sonde mesurant au même temps la température, un conductimètre de terrain (modèle WTW D812) et un oxymétrie de type (WTWOXI 330).

III.2.1.4. Paramètre mesurés au laboratoire

III.2.1.4.1. paramètre physico-chimique

A. Détermination de l'alcalinité HCO_3^-

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates (carbonates et hydroxydes). Leurs déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré. (Rodier et *al*., 2009).

Les résultats sont exprimes en mg/l par l'équation suivant:

TA= 12V dont V le volume de TA en ml.

TAC= 12.2 (V'-0.5) dont V le volume de TAC en ml.

B. Matière en suspensions

L'eau est filtrée en fibres de verre et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle (Rodier et al., 2009).

C. Les cations

- **Détermination de la Dureté (Ca^{2+}, Mg^{2+} et TH)**

Le (Ca^{2+}) et le (Mg^{2+}) sont dosés avec une solution aqueuse d'EDTA, a un pH de 10, ce dosage se fait en présence d'un indicateur coloré. L'EDTA réagit tout d'abord avec les ions de Calcium et de Magnésium libres, l'indicateur vire de la couleur rouge à la couleur violette, puis au point d'équivalence avec les ions Calcium et Magnésium combinés, la couleur passe du violet au bleu. (Rodier et *al*., 2009).

Les résultats sont exprimés par les équations suivant :

La dureté totale ⟶ $CaCO_3$ (mg/l) = V2x F x 20

Le calcium ⟶ Ca^{2+} (mg/l) = V1 x F x 8.016

Le magnésium ⟶ Mg^{2+} (mg/l) = (V2-V1) x F x 4.86

D'où

V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

V2: Volume total d'EDTA

F : Facteur.

- **Dosage de Sodium Na^+ et de potassium K^+**

La méthode permet de doser les alcalins (Na, K, Li) et les alcalinoterreux (Ca, BA, Mg, Sr).

L'échantillon est filtré au préalable pour éviter l'encrassement du brûleur avant le passage au dosage par spectrométrie d'émission de flamme (Rodier et *al*., 2009).

D. Les anions

- **Dosage des Nitrites**

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine Dichloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm. (Rodier et *al*., 2009).

- **Dosage des Nitrates (Méthode au salicylate de sodium)**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosonylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique à 415nm. (Rodier et al., 2009).

- **Détermination des Chlorures (Cl^-)**

Selon Rodier 2009, la réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement .Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.
Les résultats sont expriment en mg/l par l'équation :

$$[Cl^-] = \frac{(V_E - V_0) \times 0.02 \times 35\,453}{100}.$$

D'où
V_E le nombre de ml de la solution Ag NO_3 utilisés pour obtenir le virage de l'Echantillon.
V_0 le nombre de ml de la solution Ag NO_3 utilisés pour obtenir le virage du blanc.

- **Détermination des phosphates (PO_4^{-3})**

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700

nm, l'autre plus importante à 880 nm, la lecture est effectuée à 700nm. (Rodier et *al.*, 2009).

- **Détermination des sulfates (SO_4^{-2})**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de Ba cl_2.

$$Ba\ cl_2 + SO_4^{-2} \longrightarrow Ba\ So_4 + 2\ Cl^-$$

On effectue sur le trouble obtenu une mesure à 435nm. (Rodier et *al*, 2009).

III.2.1.4.2. Traitement statistique des résultats

L'ensemble des résultats obtenus sont traités sur un plan statistique en mettant en œuvre une Analyse en Composantes Principales (ACP) et une analyse de la Variance à un facteur (ANOVA) grâce au logiciel (XL STAT, 2015) dans deux stations avec 3 lectures pour chaque paramètre physico-chimique dans chaque station. Lorsque l'analyse de variance est significative ($p<0.05$), le test de Newman-Keuls et Bonferoni permet une classification des moyennes, en faisant ressortir des groupes homogènes. L'ACP permet de déceler et d'établir les différentes relations entre les stations étudiées d'une part, et d'autre part entre les différents paramètres mesurées et analysés. L'ANOVA permet d'identifier s'il y a des différences entre les différentes stations et les différentes campagnes de prélèvement.

III.3. Etude de peuplement phytoplanctonique

Les prélèvements ont été effectués, au niveau des mêmes points ayant été échantillonnés auparavant pour la partie physicochimique.

Dans cette partie nous avons fait deux types d'échantillonnage d'algues, l'un quantitatif et l'autre sur des substrats fixes afin de collecter des diatomées.

La détermination des algues à été réalisée au niveau de laboratoire du Centre Universitaire de Mila.

III.3.1. Mode de prélèvement du phytoplancton

Selon un échantillonnage quantitatif, et dont un but de déterminé la richesse phytoplanctonnique des eaux de notre oued.

Avec un filet à planctons, nous avons collecté une quantité d'eau, transmis dans des flacons en verre de 100 à 150 ml à large, bien sûr après nettoyage et rinçage de ces dernières avec de l'eau du cours d'eau.

III.3.2. Mode de conservation

L'échantillon du phytoplancton est fixé sur le terrain à l'aide d'une solution de Lugol afin d'obtenir une concentration finale d'environ 0,5 % dans l'échantillon, soit environ 8 gouttes pour 100 ml (ou 2,5 ml pour un flacon de 500 ml). Cette concentration finale peut s'apprécier à la couleur brun clair, orangée que doit avoir l'échantillon. En fonction du type de milieu (acidité de l'eau par exemple), la couleur orangée peut être obtenue avec un nombre nettement supérieur de gouttes.

L'échantillon ainsi fixé est conservé au froid et à l'obscurité entre 10 et 4 °C.

III.3.3. Observation du phytoplancton

Dans un premier temps les échantillons destinés à la détermination des espèces ont été analysés comme suit. Après le dépôt des espèces phytoplanctoniques au fond du flacon, une goutte d'eau est prélevée au fond à l'aide d'une pipette après homogénéisation. Cette goutte est déposée entre lame et lamelle puis observée au microscope optique à l'objectif 100x a l'aide d'huile d'émersion. Suivant la morphologie générale des taxons observés, une première détermination des espèces a été faite au laboratoire de biologie de centre Universitaire de Mila. En plus des observations, des photos sont pries pour chaque taxon grâce à une caméra numérique de type (Optica) (Annexe4), pour des observations plus aisées.

III.4. Echantillonnage et analyse des diatomées

Les prélèvements ont été effectués conformément à la norme NF T 90-354 de décembre 2007 in Roquet, 2010).

- Le prélèvement s'effectue sur des substrats stables, durs et inertes (de taille suffisante pour ne pas être déplacées par le courant). D'après la norme, la préférence ira vers des blocs de pierre de plus de 256 mm de diamètre ;
- Les prélèvements sont réalisés préférentiellement en faciès lotique ;
- Une surface de 100 cm^2 est prospectée et est répartie sur 5 à 10 substrats différents (10 à 20 cm^2 par substrat) ;

- Les diatomées sont récoltées par grattage de la surface supérieure des substrats à l'aide de brosses à dents. La brosse est idéale pour récupérer les diatomées fixées dans les interstices des supports, en particulier si ces derniers ne sont pas lisses ;
- Les prélèvements ont lieu à distance suffisante des évènements hydrologiques perturbant (assèchement, crues…) ;
- Le matériel biologique prélevé est immédiatement fixé au Lugol, et réparti dans des flacons en verre. Les renseignements suivants sont portés sur chaque flacon : code station, nom du cours d'eau, commune, date du prélèvement.

III.4.1. Observations, comptages et détermination taxonomique des diatomées

D'après (Cellamare, 2009), le protocole normalisé NF EN 13946 (AFNOR, 2003) a préconise un nettoyage par digestion de la matière organique : un traitement des échantillons formoles a l'eau oxygénée (H2O2) bouillante. La phase de chauffage peut durer de 24 à 48 heures, selon la quantité de matière organique présente dans l'échantillon.

L'opération est poursuivie jusqu'à l'obtention d'une solution légèrement blanchâtre. Un deuxième traitement, à l'acide chlorhydrique (HCl) bouillant pendant 5 minutes est parfois nécessaire pour obtenir un nettoyage satisfaisant des frustules.

Les résidus d'eau oxygénée et d'acide sont élimines par des cycles successifs de centrifugations (5 minutes) et de rinçages a l'eau distillée.

Cette opération consiste à éliminer la matière organique et le carbonate de calcium de l'échantillon et à préparer des lames d'observation microscopique de densité optimale pour le dénombrement et l'identification des diatomées

Une partie aliquote est déposée sur une lamelle propre et déshydratée par séchage. Le chauffage permet de chasser les bulles d'air et d'aboutir à la fabrication de lames permanentes.

L'identification des diatomées été réalisée d'après un examen microscopique de leur squelette siliceux, rendu possible par un traitement permettant de débarrasser les échantillons d'une grande partie de leur contenu organique et à l'aide de plusieurs guides de détermination (Bourrelly, 1968), (Al-Kandari et *al*., 2009), (Lavoie et *al*., 2008) et (Prygiel et Coste, 2000), (JC Taylor, WR Harding et CGM Archibald, 2007).

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 Mesures physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques sont regroupés dans le tableau ci dessous (T°, pH, CE, O_2.d, MES, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_2^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{3-}, P, TA, TAC et TH) illustrés par les figures, qui représentent les variations spatio-temporelles et l'évolution spatiale de chaque paramètre.

Tableau 12 : Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux du Rhumel.

Site	Oued Rhumel					
	Campagne 1 octobre		Campagne 2 janvier		Campagne 3 mars	
Paramètre	Amont	Avale	Amont	Avale	Amont	Avale
T °C			22.5	16.4	14.5	14.1
pH	7.71	7.63	7.94	8.052	7.002	6.986
CE mg/l	618	1744	1945	1698	2070	1673
O_2.d mg/l	10.64	9.06	9.56	6.22	6.89	8.88
MES mg/l			20	282	38	207
TAC mg/l	323.3	396.5	196.29	159.94	393.81	302.92
TA mg/l	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
P mg/l	0.18	1.88	0.640	0.855	0.034	0.0095
TH mg/l	600	714	284.48	338.67	660	479.6
Ca^{2+} mg/l	97.79	87.37	643.4	588.4	200.64	114.14
Mg^{2+} mg/l	86.50	120.5	16.13	62.35	38.73	47.33
K^{+} mg/l	10	13	10	9	11	5
Na^{+} mg/l	150	150	149	137	149	119
Cl^{-} mg/l	7.09	0.2	482.8	301.75	297.66	197.11
No_2^{-} mg/l	0.5	0.3	0,321	0.924	2.305	0.062
NO_3^{-} mg/l	2.033	2.49	0.0013	0.072	0.043	0.049
PO_4^{3-} mg/l	0.55	5.75	1.95	2.61	0.104	0.029
So_4^{2-} mg/l	90.15	82.65	190.7	156	79.33	52.33

IV.1.1. Les paramètres physico-chimiques

IV.1.1.1. Température de l'eau (T °C)

La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle contrôle le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et ainsi que l'activité biologique. La température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine (Roux, 1987) mais, Il est important de la connaître avec une bonne précision. En effet, la température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, sur la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et sur la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (Rodier, 2005).

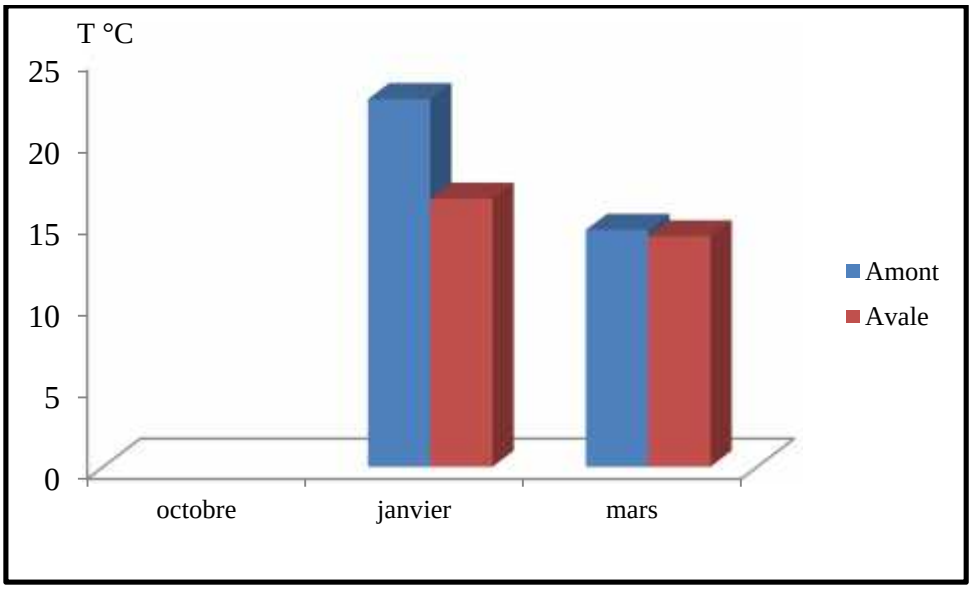


Figure 9 : Variations spatio-temporelles des teneurs de températures.

L'examen de la figure permet de constater que les valeurs des températures de l'eau sont variables d'une saison à une autre. Selon la figure, l'évolution de la température de l'eau est divergente dans les trois campagnes, Les valeurs extrêmes révélées sont (22.5 °C) en amont et (16.4°C) en avale au mois de janvier, et faible au mois de mars en avale (14.1°C) et en amont (14.5 °C). Avec une moyenne égale à (16. 87 °C).

Les basses températures peuvent affecter l'auto-épuration des rivières et des cours d'eau car les réactions d'oxydation sont freinées.

Selon la grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Tab13). Les eaux de l'Oued Rhumel sont de qualité normale à moyenne, (Classe 1A. 3).

Tableau 13 : la Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Masson, 1988).

Température	Qualité	Classe
≤ 20°C	Normale	1A
20 -22°C	Bonne	1B
22 -25°C	Moyenne	3
25 -30°C	Médiocre	4
≥ 30°C	Mauvaise	5

Selon le test de Bonferroni (tableau22), il existe une variance non significative entre les deux stations (amont et avale) avec un coefficient de variation (P = 0.887), un tel résultat indique un groupe homogène.

IV.1.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à (25°C). Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (IBGE, 2005).

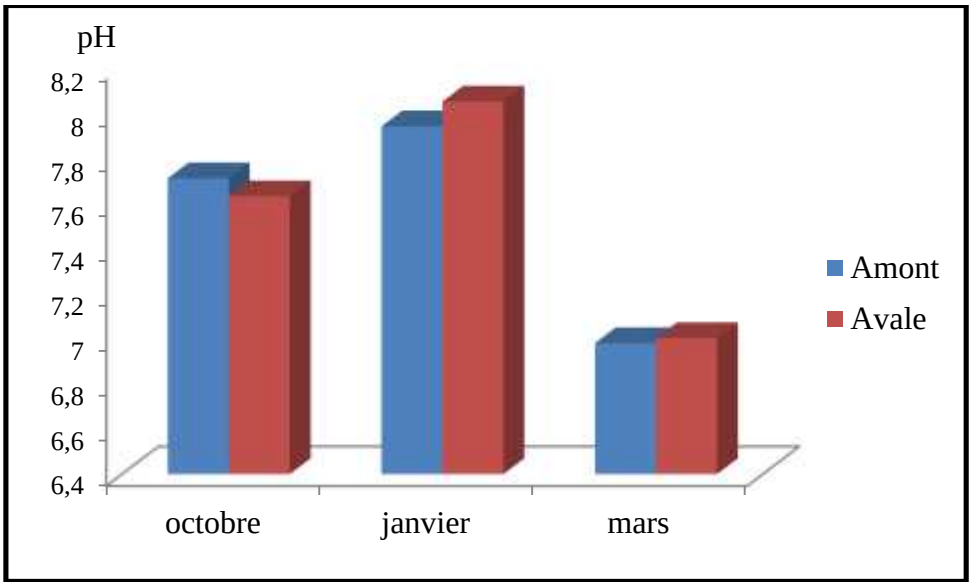


Figure 10 : Variations spatio-temporelles des teneurs du potentiel d'hydrogène.

Le pH des eaux de l'Oued Rhumel est faiblement alcalin. Il varie entre (6.9 et 8.05) la valeur la plus élevée est relevée au mois de janvier et la plus faible est enregistrée au mois de mars pour la même station avale et la valeur moyenne (7.55).

Les eaux de l'Oued Rhumel se caractérisent par une alcalinité faible. Ceci est attribué à la géologie calcaire du lit du bassin versant Rhumel.

Concernons le potentiel hydrogène pH et d'après le test statistique de Bonferroni (tableau 22) il y a une différence non significative entre amont et avale (P= 0.990), donnant un groupe homogène.

IV.1.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à (20 °C). La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre (50 et 1500 µS/cm) (IBGE, 2005).

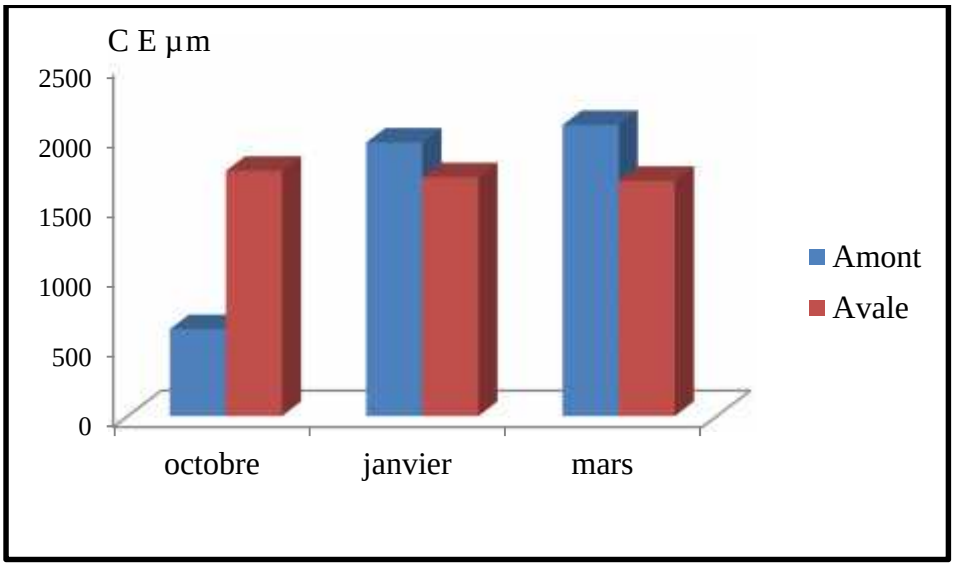


Figure 11 : Variations spatio-temporelles des teneurs de la conductivité électrique.

La qualité de l'eau en fonction de la conductivité est définit de la manière suivante (Tab 14) :

Tableau 14 : La qualité de l'eau en fonction de la conductivité (Detay, 1993).

Conductivité électrique (µs/cm)	**Qualité des eaux**
50 à 400 µS/cm	Qualité excellente
400 à 750 µS/cm	Bonne qualité
750 à 1500 µS/cm	Qualité médiocre mais eau utilisable
> de 1500 µS/cm	Minéralisation excessive

La conductivité électrique présente des variations irrégulières dans le temps et dans l'espace. Ces variations sont légèrement importantes d'une station à une autre à l'exception de la saison automnale où la variation est très importante entre amont et avale.

La valeur la plus élevée (2070 µS/cm) est enregistrée en mois de mars dans la station amont, et la plus faible (618 µS/cm) en mois d'octobre pour la même station et leur moyenne égale à (1624.66 µS/cm).

Selon Melghit (2012), la qualité des eaux du Rhumel sont caractérisées par une minéralisation très forte à excessive. D'après Boukazoula (2014), la qualité de ce dernier est Médiocre.

D'après nos résultats comparés avec la grille de qualité des eaux en fonction de la conductivité. La qualité des eaux de l'Oued Rhumel est de qualité médiocre avec une minéralisation excessive.

Selon le test statistique de Newmani-Keuls et Bonferrouni (tableau 22), il existe une variance non significative (P= 0.747) entre amont et avale et les valeurs obtenues forment un groupe homogène.

IV.1.1.4. Oxygène dissous (O_2.d)

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. Globalement, plus la concentration en oxygène dissous n'est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande (IBGE, 2005).

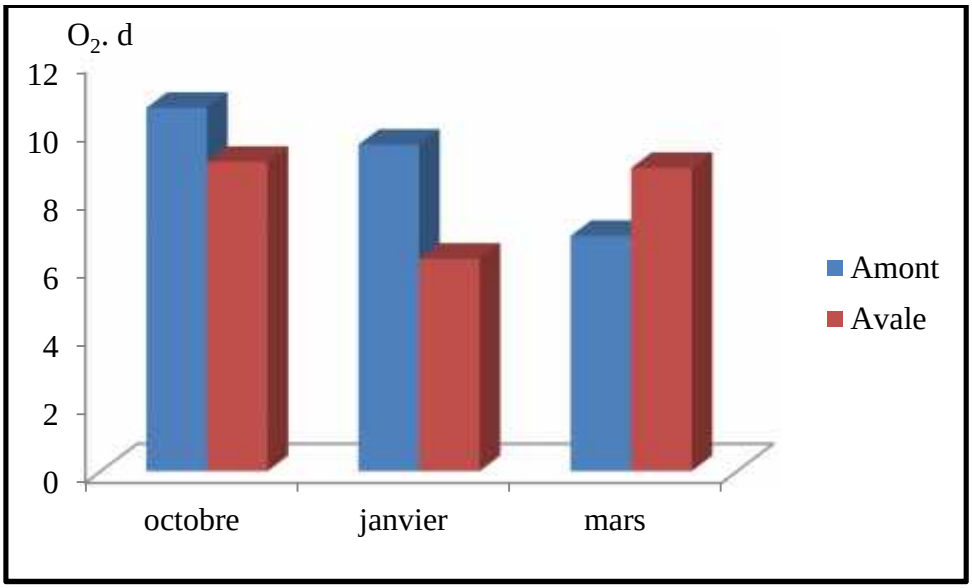


Figure 12 : Variations spatio-temporelles des teneurs d'oxygène dissous.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est un paramètre qui dépend essentiellement de la température. Les teneurs en oxygène dissous sont assez similaires dans les trois campagnes. La valeur maximum de l'oxygène dissout est enregistrée en mois d'octobre (10.64 mg/l) en amont, alors que la valeur minimale (6.22 mg/l) dans la station avale au mois de janvier avec un moyenne de (8.54 mg/l). D'après nos résultats, la station amont présente une forme de saturation, alors que la station avale est dans la norme décrite par l'OMS (5-7mg/l).

Selon Boukazoula (2014), il y a une diminution dans la quantité d'oxygène dissous, en amont et en avale. Un tel résultat peut être s'expliqué par la présence d'une activité photosynthétique grâce à l'enrichissement du milieu en matières organiques et minérales.

Selon le test de Bonferroni (tableau 22), les valeurs de l'oxygène dissout, présentent une différence non significative entre amont et avale avec un coefficient de variabilité ($p = 0.563$), en donnant un groupe homogène.

IV.1.1.5. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau.

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques…). Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l (IBGE, 2005).

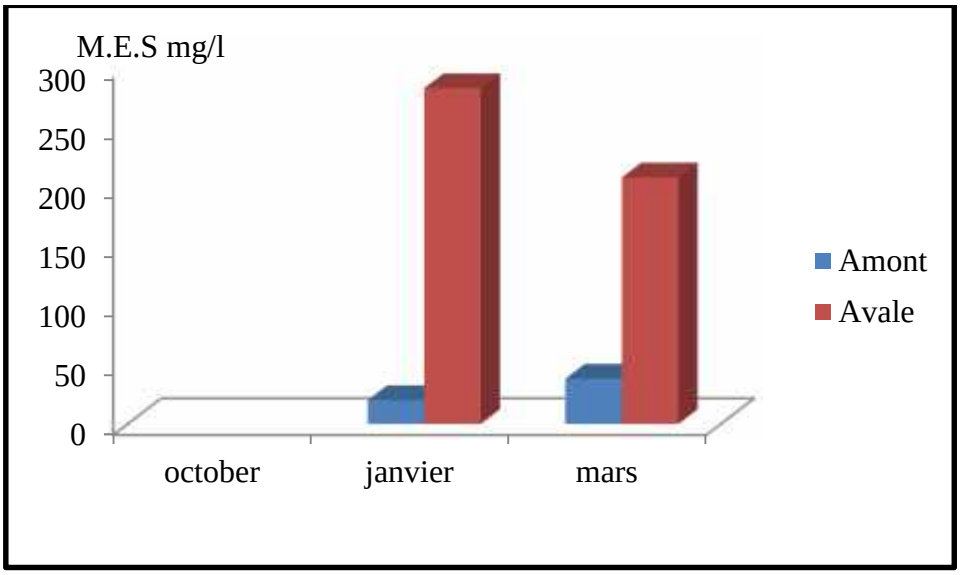


Figure 13 : Variations spatio-temporelles des teneurs de la matière en suspension.

Les teneurs de matière en suspension varient de manière régulière entre amont et avale, les taux maximaux sont enregistrés en avale (282- 207mg/l), respectivement pour le mois de janvier et mars, alors que les valeurs minimales ont été enregistrés en amont pour les mêmes mois.

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale des eaux superficielles en France (Tab 15), les résultats obtenus indiquent que les eaux de l'Oued Rhumel sont de qualité mauvaise, ce qui confirme ceux obtenus par Melghit en (2012), contrairement à ceux obtenus par Khaldi et Melghit en (2007), où les eaux de cet Oued été plus sains qu'au présent, ce changement pourrait être due aux apports du ruissellements des divers rejets diffus de la ville de Constantine et d'autres régions limitrophes.

Tableau 15 : la grille d'appréciation de la qualité générale des eaux superficielles en France (Masson, 1988).

Matière en suspension	Qualité
<30	Normale à médiocre
31à70	Pollution importante
> 70	Mauvaise (pollution excessive)

IV.1.1.6. TA

Les valeurs de TA sont égale à 0 mg/l, par ce que le pH de l'eau de oued Rhumel est inferieure à 8.3

IV.1.1.7. Alcalinité (TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Elle dépend aussi des rejets urbains (phosphates, ammoniaques, matières organiques,…) ou industriels (apport basiques ou acides). Elle peut donner une indication sur le degré d'oxydation des composés organiques, comme, elle permet de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenus dans l'eau. La norme (ISO 9963) définit différents types d'alcalinité (Aouissi, 2010).

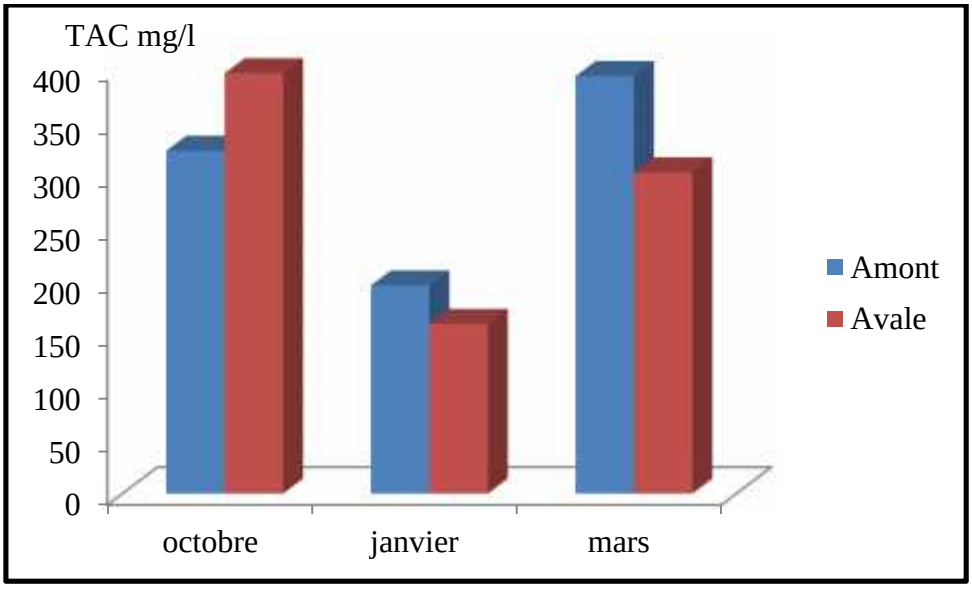


Figure 14 : Variations spatio-temporelles des teneurs en TAC.

Les teneurs de l'alcalinité est assez voisin entre amont et avale pour les trois compagnes, les valeurs les plus élevées sont obtenus en saison automnale et printanière (396.5 et 393,81mg/l) respectivement pour l'avale et l'amont, tan disque, la valeur la plus faible (159.94 mg/l) est enregistrée en mois de janvier pour la station avale avec un moyenne de (295.46 mg/l).

Donc et selon (Rodier et al, 2009), l'alcalinité peut donner une indication sur le degré d'oxydation des composés organiques et elle permet de déterminer les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenus dans l'eau. Nous pouvons déduire que le taux d'oxydation de la matière organique est plus fort

au mois d'octobre et mars qu'en janvier et ce ci peut être en relation avec la température et le degré d'écoulement des eaux.

D'après le test Newmani-Keuls et Benferrouni (tableau 22), il existe une variation non significative entre les deux stations amont et avale (P= 0.851), et les résultats présentent un groupe homogène.

IV.1.1.8. Phosphore (P)

Le phosphore est mesuré sous la forme de phosphore total et d'orthophosphates (PO_4^{3-}) Le phosphore, sous forme d'orthophosphates, est le facteur limitant de la croissance des végétaux.

En effet, la production algale dépend de la substance minérale essentielle qui se trouve en plus faible quantité dans l'eau (loi du minimum). Le phosphore, naturellement en quantité limitée, aura une influence directe sur la productivité des eaux dès que sa concentration augmente (Aouissi, 2010).

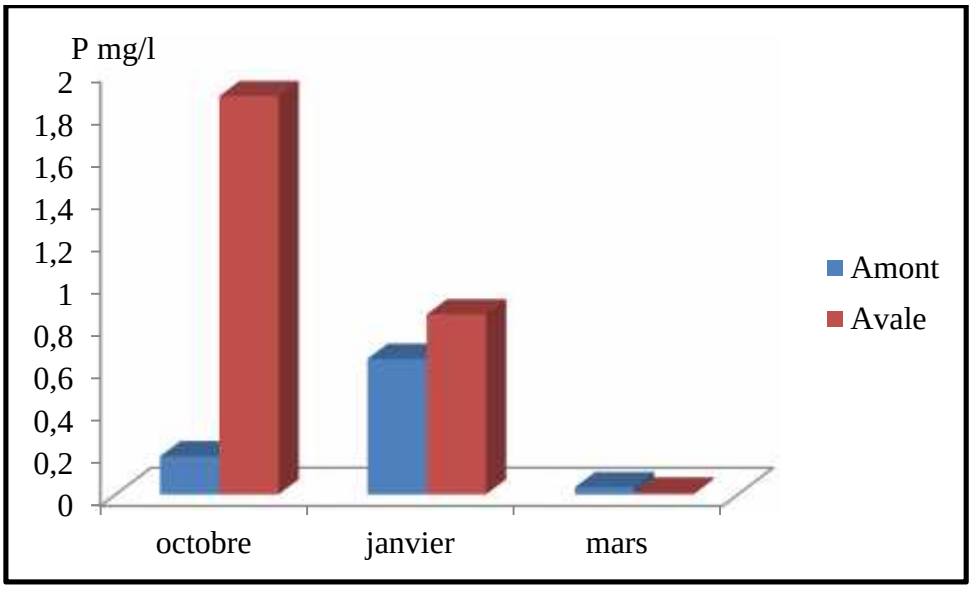


Figure 15 : Variations spatio-temporelles des teneurs en phosphore.

La teneur en phosphore des eaux analysées présente des variations irrégulières dans le temps et dans l'espace. La valeur la plus élevé est remarqué dans la station avale en mois d'octobre (1.88 mg/l), alors la valeur la plus faible est enregistrée (0.0095 mg/l) en mars pour la même station et leur moyenne égale à (0.60 mg/l).

Tableau 16: Grille de qualité des eaux en phosphore (Boissonneault Y. 2009)

Paramètre	Bonne ou très bonne qualité	Qualité Acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise qualité
Phosphore total (mg/l)	≤0,3	≤0,6	≤1	> 1

Selon le tableau de grille de qualité de l'eau (Tab 16) les teneurs en phosphore indique une qualité acceptable de l'eau de l'Oued Rhumel.

Pour ce paramètre, le teste statistique de Bonferroni, montre qu'il y a une différence non significative entre les valeurs du phosphore obtenues entre amont et avale (P= 0.332), en présentant un groupe homogène.

IV.1.1.9 Dureté de l'eau (TH)

La dureté d'une eau est due principalement à la présence de sels de calcium et de magnésium sous forme de bicarbonates, de sulfates et de chlorures. C'est donc la concentration en ions alcalino-terreux, que l'on mesure globalement par le titre hydrotimétrique TH (Detay, 1993).

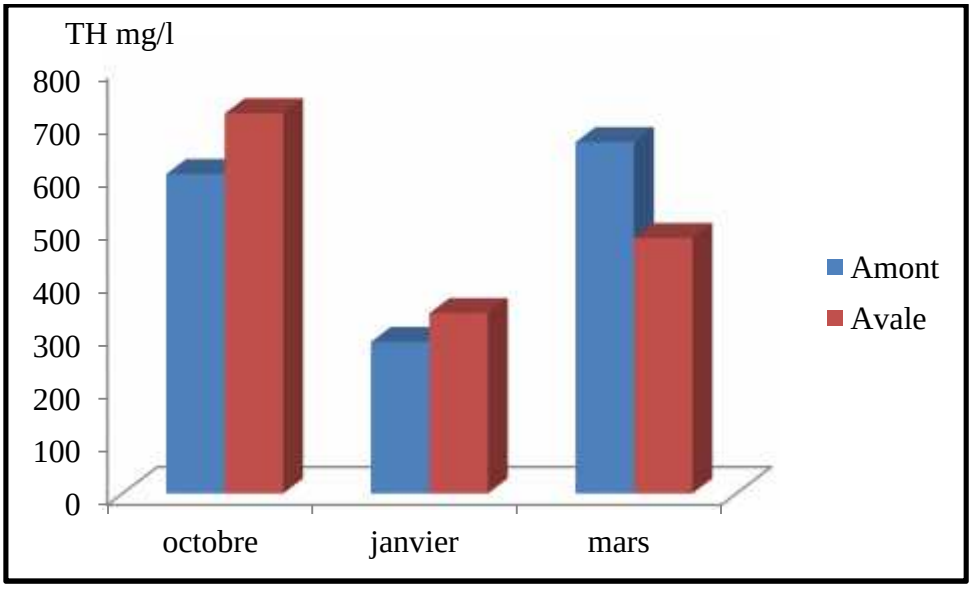


Figure 16 : Variations spatio-temporelles des teneurs en TH.

Les valeurs de la dureté totale (TH) sont assez similaires pour le mois d'octobre et mars où, nous avons enregistré les valeurs les plus élevées (714 et 284,48 mg/l) respectivement pour avale et amont. Les valeurs les plus faibles sont observées dans la

deuxième campagne, le mois de janvier dans la station amont (284.48 mg/l) avec un moyenne égale à (614.33 mg/l).

La dureté totale a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Hakmi, 2006; Hamdi, 2011). Ou bien à des facteurs externes tels que la pollution industrielle.

Concernant la dureté total TH et d'après le test de Benferroni (tableau 22), les résultats, présentent une variation non significative entre amont et avale (P=0.594) et présentent un groupe homogène.

IV.1.2. Les cations

IV.1.2.1. Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$), soit la dissolution des formations gypseuses ($CaSO_4$) (Saadali, 2007).

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme des carbonates, composant majeurs de la dureté de l'eau et qui est généralement l'élément dominant des eaux potables ; sa teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, de chlorures, etc... (Rodier, 1996).

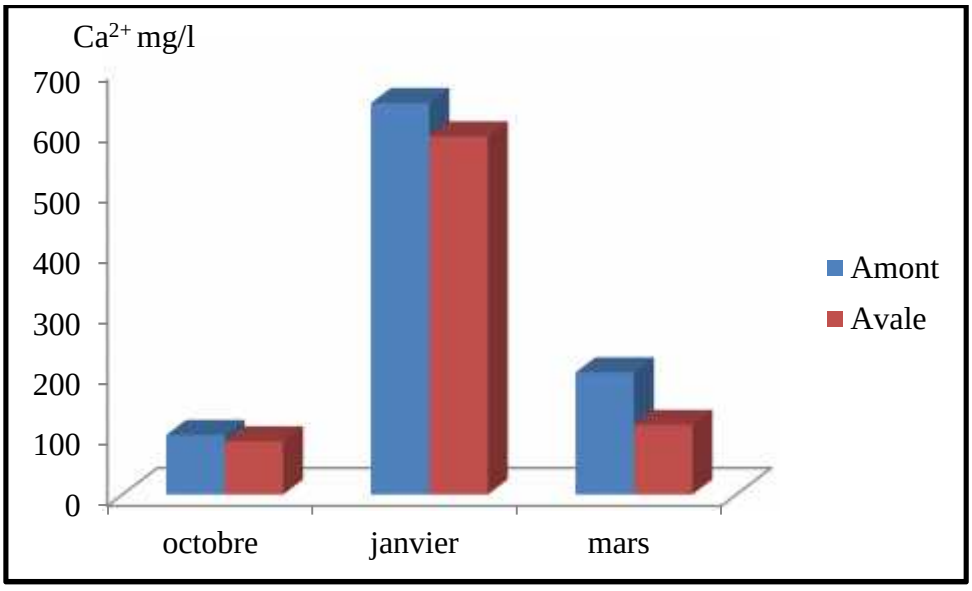


Figure 17 : Variations spatio-temporelles des teneurs en calcium.

La figure montre que les concentrations du Ca^{2+} varient d'une station à une autre et d'une saison à une autre. Les valeurs les plus faibles sont observées en mois d'octobre (97,79 et 87.37 mg/l) entre amont et avale ; par contre les valeurs les plus élevées sont enregistrées en mois de janvier avec la valeur (643.4 mg/l) dans l'amont et (588,2 mg/l) pour la station avale. Ceci peut être due à la dissolution des carbonates (calcite, calcite magnésienne), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques sur le bassin du Rhumel (Farah, 1991 ; Melghit, 2012).

D'après le résultat obtenu concernant ce paramètre (tableau 22), confirmé par le test de Newmani-Keuls, il existe une différence non significative entre les deux stations d'étude par (P= 0.995) et les valeurs forment un groupe homogène.

IV.1.2.2. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est l'un des éléments le plus répandu dans la nature; il constitue environ (2,1%) de l'écorce terrestre. La plut part de ses sels sont très solubles dans l'eau (Rodier, 1996). Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomites) (Debieche, 2002). Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau.

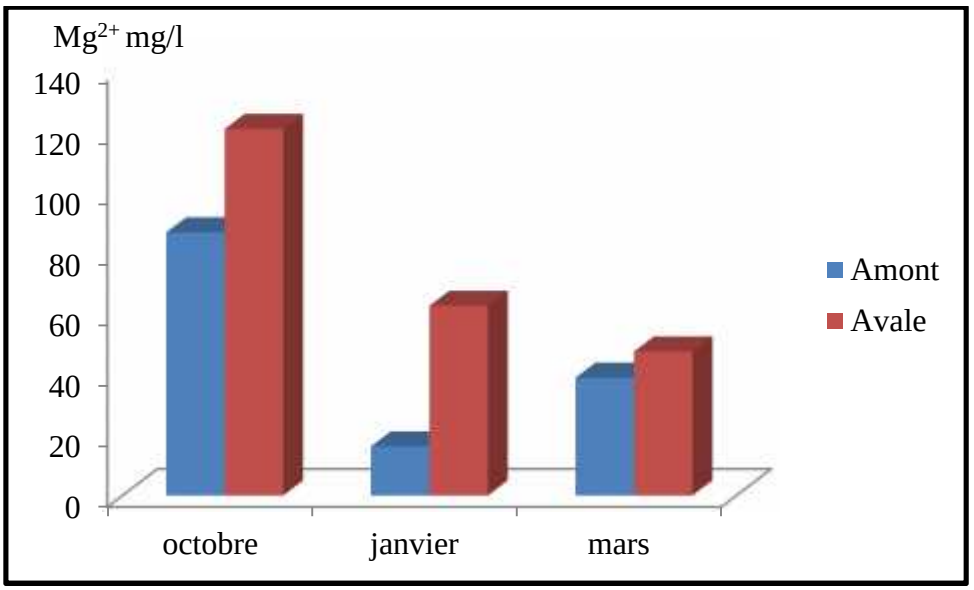


Figure 18 : Variations spatio-temporelles des teneurs en magnésium.

Selon les résultats, les valeurs du magnésium présentent une variation régulière dans le temps et dans l'espace. La première campagne, présente les valeurs les plus élevées (120.5 et 86,5 mg/l). La majorité de valeurs obtenues dépassent la teneur maximale

admissible par L'OMS (50 mg/l) avec une moyenne égale à (61.92 mg/l). D'après Boukazoula ce résultat peut être due à la fois aux divers rejets urbains et industriels de la ville de Constantine et autre fois à la nature géologique des terrains traversés.

Selon le test de Bonferroni (tableau 22), il y a une variation non significative entre les deux stations amont et avale (P= 0.386), ce qui forme un groupe homogène.

IV.1.2.3. Potassium (K^+)

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (Debieche, 2002). Farah (1991) souligne que le potassium dans les eaux du Rhumel peut provenir de l'altération des feldspaths, micas, illite ou autres minéraux contenus dans les argiles.

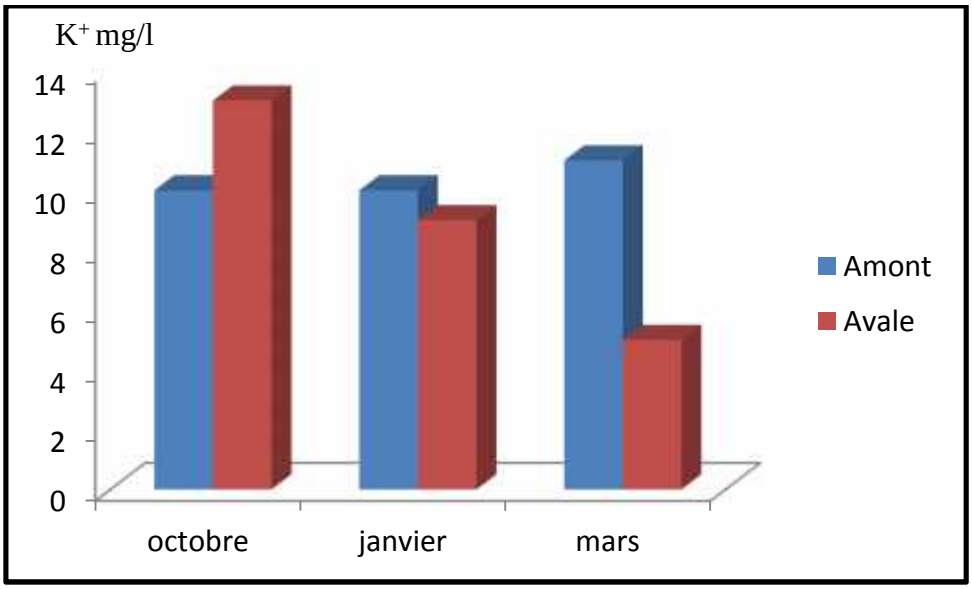


Figure 20 : Variations spatio-temporelles des teneurs en potassium.

Les teneurs en potassium, présentent des valeurs assez semblables, la valeur la plus élevée (13 mg/l) est obtenue en mois d'octobre pour la station amont, et la valeur le plus faible et de (5 mg/l) au mois de mars en station avale, leur moyenne et de (9.66 mg/l). En général, les teneurs restes relativement faibles par apport à ceux obtenues en (2012) par Melghit.

Pour le sodium selon le test de Newman-Keuls (tableau 22), il y a une variation non significative entre les valeurs obtenues pour le point amont et aval (P= 0.195), ce qui donne un groupe homogène.

IV.1.2.4. Sodium (Na^+)

Selon (Rodier 2005), le sodium est un élément constant de l'eau, toute fois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à (500 mg/l) et même au-delà. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir :

- De l'altération des minéraux silicatés, échanges de cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques;
- Des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères;
- Des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais chimiques qui augmentent aussi les concentrations en sodium;
- Des nombreux usages industriels;
- Des apports atmosphériques, etc...

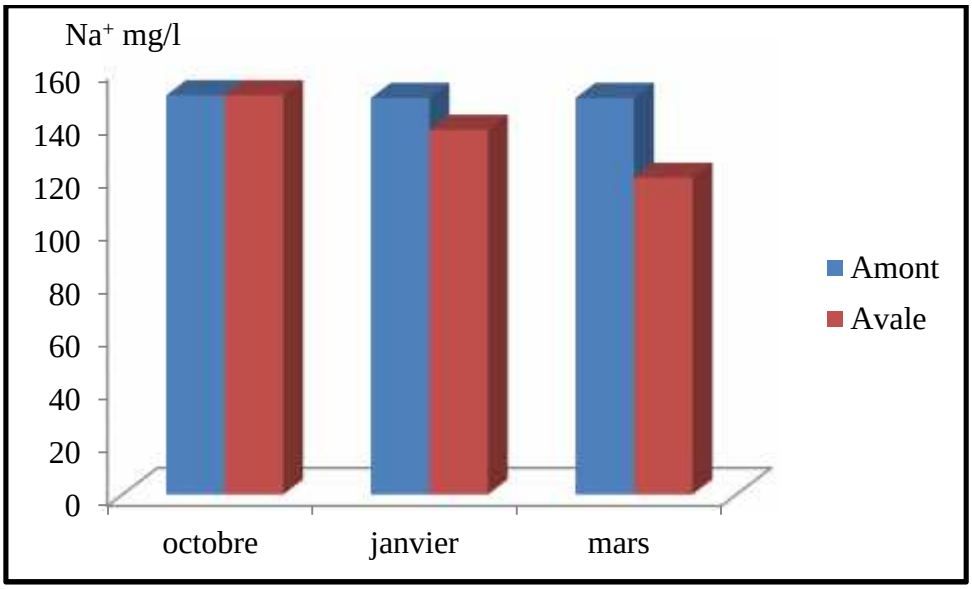


Figure 20 : Variations spatio-temporelles des teneurs en sodium.

Les teneurs en sodium sont assez similaires pour les trois saisons et dans les deux points de prélèvement. Les valeurs varient entre (150 et 119 mg/l) avec une moyenne (142.33 mg/l). Ces valeurs restes assez basses par apport a celles obtenues par Melghit (2012), où, les eaux de l'Oued Rhumel présentent des teneurs assez élevées en sodium au mois de juin. Ceci peut être attribué à la fois aux divers rejets de la commune de Ain Smara et à la nature du substrat du bassin du Rhumel. Or, les faibles teneurs en sodium

peuvent être dues à une végétation intense où l'assimilation de cet élément (Na^+) est importante.

D'après Farah (1991), le sodium qui provient de la pluie sur le bassin du Rhumel est inférieur à 5 mg /l. En effet, le sodium des eaux du Rhumel peut avoir une origine dans la dissolution des minéraux argileux (illite et montmorillonite) et des évaporites (halite) contenues dans les formations du Mio-Pliocène et du Trias. Ces évaporites constituent une source importante de Na^+.

La similarité des résultats est confirmé par le test de Newman-Keuls (P= 0.598), où, les valeurs présentent, une différence non significative et forment un groupe homogène.

IV.1.3. Les anions

IV.1.3.1. Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux.

Le chlorure est un sel mobile, non toxique, très répondu dans la nature sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium ($CaCl_2$). La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribue à la nature des terrains traversés, à la pénétration de l'eau de mer dans les régions côtiers, de manière naturelle ou par intervention humaine par pompage excessif, à la pollution provenant des rejets urbains et industriels. Chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux souterraines et les eaux superficielles. (Chaoui, 2007).

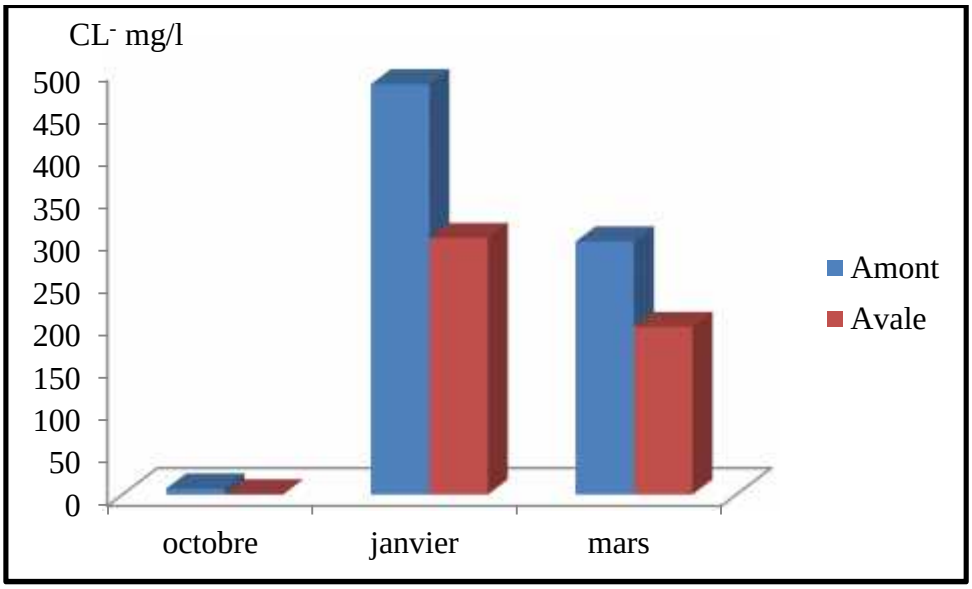


Figure 21 : Variations spatio-temporelles des teneurs en chlorure.

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables (Brémond et Vuichard, 1973). Selon Rodier et *al ;*(2005), la teneur en ion chlore des eaux naturelles est inférieure à 50 mg/l, mais peut subir des variations.

D'après les résultats obtenus, les teneurs en chlorures varient régulièrement dans l'espace et dans le temps. La station amont, présente les valeurs maximales pour les trois mois. Le mois de janvier et mars, présentent des teneurs supérieurs à la norme des eaux naturelles. Un tel résultat peut être attribué à la dissolution des roches salées du Trias et du Mio-Pliocène (Farah, 1991), à la quelle pourrait s'ajouter divers rejets urbains ou industriels de la ville de Constantine.

Cette variance non significative est confirmée par le teste de Bonferroni (tableau 22), avec un coefficient de variation (P= 0.590), ces résultats forment un groupe homogène.

IV.1.3.2. Nitrite (NO_2^-)

Les nitrites NO_2^- ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique.

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des

nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (Rejesk, 2002).

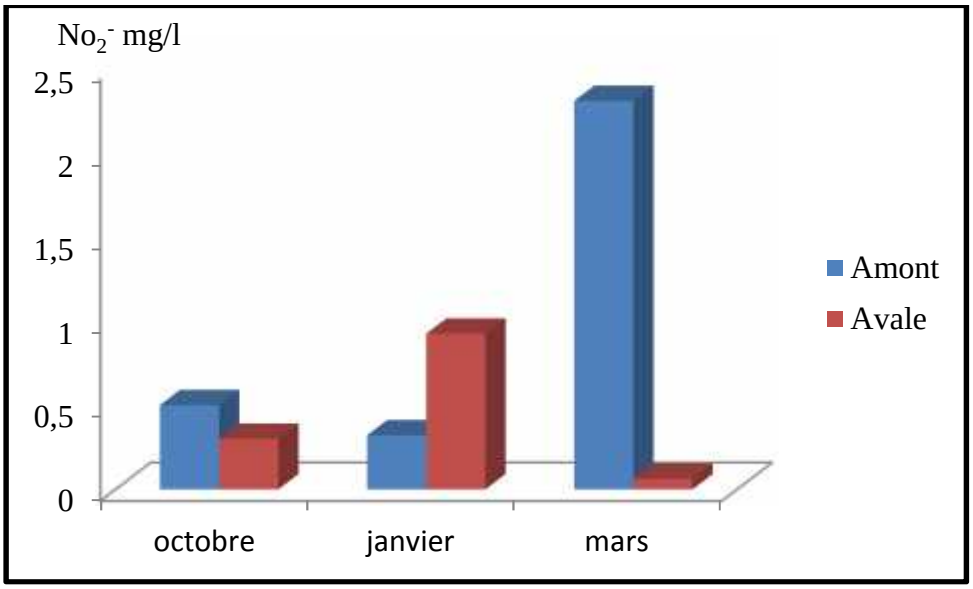


Figure 23 : Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrite.

Les teneurs en nitrites montrent des variations irrégulières dans le temps et dans l'espace. La teneur moyenne des nitrites pour la station amont est supérieure à 1mg/l. Pour la station avale la teneur moyenne égale à (0,73 mg/l). Un tel résultat classe les eaux du Rhumel comme passable à médiocre (Tab 17). Ces résultats confirment les travaux précédents (Melghit, 2012 ; Boukazoula, 2014).

Tableau 17 : Grille de la qualité des eaux naturelles appliquée par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH, 2001).

Teneurs en nitrites (NO_2^- mg /1)	Qualité de l'eau	Classe
<0.1	Excellente	1A
0.1< NO_2 < 0.3	Bonne	1B
0.3 <NO_2 < 1	Passable	2
1< NO_2 < 2	Médiocre	3
> 2	Excessive	4

Pour le nitrite et selon le teste de Bonferroni (tableau 22), la variance est non significative entre amont et avale (P= 0.420).

IV.1.3.3. Nitrate (No_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élève présent dans l'eau.

Les nitrates, NO_3^-, sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement assimilables par les plantes. Ils sont ajoutés au sol soit directement par les agriculteurs soit indirectement par le fumier ou le purin. A cause de leur bonne solubilité dans l'eau, les nitrates sont facilement éliminés du sol en direction de la nappe phréatique, en particulier quand le sol est en jachère, par exemple en hiver (Bliefert et *al*., 2001).

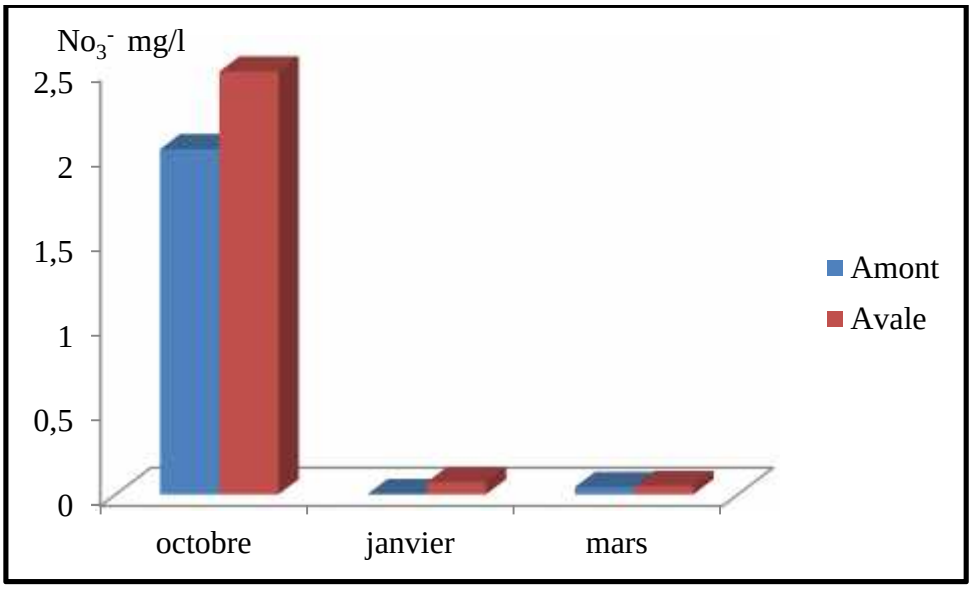


Figure 23 : Variations spatio-temporelles des teneurs en nitrate.

En général, les eaux de surface ne sont pas chargées en nitrates à plus de 10 mg/l NO_3^- (O.M.S, 1989). (Bontoux et *al.,* 1979) admettent des teneurs naturelles en nitrates dans les rivières de l'ordre de 3 mg/l NO_3^-.

Les teneurs en nitrates sont relativement faibles. La valeur la plus élevée (2.49 mg/l) est enregistrée en octobre pour le point avale. La valeur la plus faible (0.0013 mg/l) est observée en janvier pour la station amont avec des teneurs moyenne égale à (1.24 mg/l). Alors d'après ces valeurs obtenues, nous pouvons dire que, dans l'ensemble, les eaux du Rhumel sont acceptables (Tab 18). Ces résultats confirment les travaux précédant

(Melghit, 2012; Boukazoula, 2014). D'après le test de Benfrrouni, la variabilité de ce paramètre entre amont et avale est non significative (P= 0.434).

Tableau 18: Grille de qualité des eaux en nitrates (ANRH, 2001).

Teneurs en nitrate (NO_3^-) mg/l	**Qualité des eaux**
<10	Bonne
10<NO_3^-<20	Moyenne avec signe de pollution
20<NO_3^-<40	Polluée avec une pollution nette
>40	Pollution importante

IV.1.3.4. Phosphate (Po_4^{3-})

Le phosphore est naturellement présent dans les eaux superficielles en faible concentration. Compte tenu de son importance dans la constitution des êtres vivants, il joue souvent, vis-à-vis de leur développement, le rôle de ''facteur limitant''. En effet, selon Rodier et *al.* (2005), le phosphore joue un rôle très important dans le développement des algues ; il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs, où elles contribuent à l'eutrophisation (Melghit, 2012).

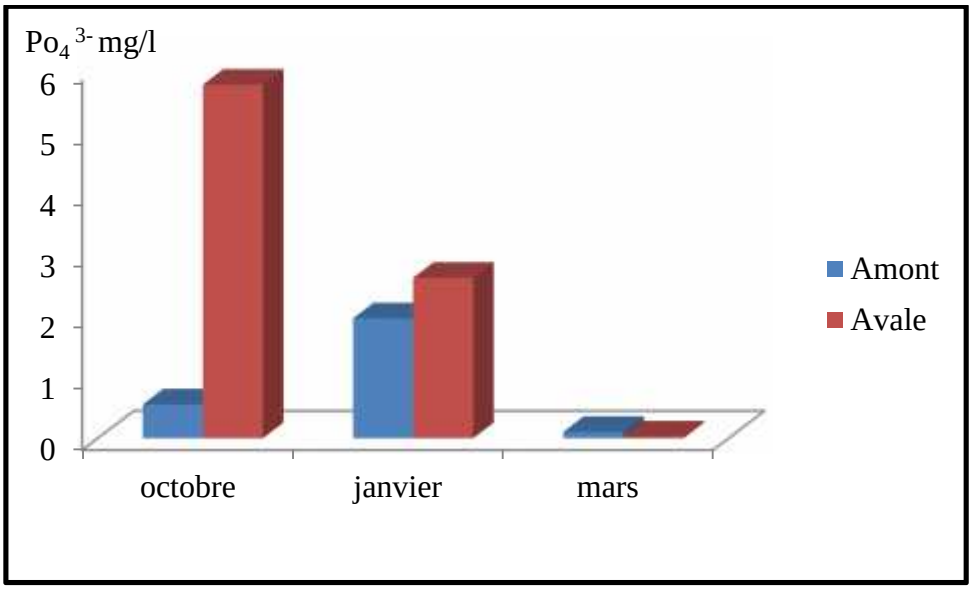


Figure 25 : Variations spatio-temporelles des teneurs en phosphate.

Les teneurs en phosphates présentent des variations importantes variant d'une saison à l'autre. La valeur le plus élevé est enregistrée à la station avale (5.75 mg/l) au

mois d'octobre, et la valeur le plus faible (0.029 mg/l) dans la station avale au mois de mars et leur teneur moyenne est égale à (1.83 mg/l).

La présence des phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à (0.1 ou 0.2 mg/l) est l'indice d'une pollution par des eaux vannes contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques ainsi que par les eaux de ruissellement. Nisbet et Verneaux (1973) et Afri-Mehennaoui (1998) admettent pour les eaux courantes la limite de 0.3 mg/l, au-delà de laquelle, il peut y retenir un caractère marqué d'eutrophisation et des risques de nuisances divers.

D'après Melghit (2012) Les eaux de l'Oued Rhumel présentent un taux en phosphates largement élevé et qui dépasse le plus souvent les limites, ce qui révèle une situation douteuse avec un état anormal et critique.

Nous trouvons que les valeurs de phosphate sont irrégulier et élevé et dépasse les limites citées précédemment qui peut être attribuée au lessivage des terres agricoles traitées par les engrais. Ils proviennent des eaux d'égouts domestiques. Ainsi qu'une grande partie des apports en phosphore dans les eaux superficielles provient des rejets industriels (industries agro-alimentaires, textiles, laveries, ateliers de traitement de surface…)

Le teste de Newman-Keuls, montre qu'il y a une variation non significatif (tableau22), entre amont et avale (P= 0.331) ; les teneurs donnent un groupe homogène.

IV.1.3.5. Sulfates ($S0_4^{2-}$)

La concentration en ions de sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être largement dépassé et atteindre jusqu'à 300 mg/l dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est très élevé. La combustion des produits fossiles (charbon, fuel) et l'utilisation des hydrocarbures émettant des composées soufrés contribuent à la formation des pluies acides avec une augmentation de la teneur en sulfates et sous l'action de bactéries sulfito-réductrices, peuvent se former des sulfures donnant lieu à des précipités de sulfure de fer dans certains terrains contenant des sulfures métalliques (fer, cuivre… etc.) (Ramade, 1982).

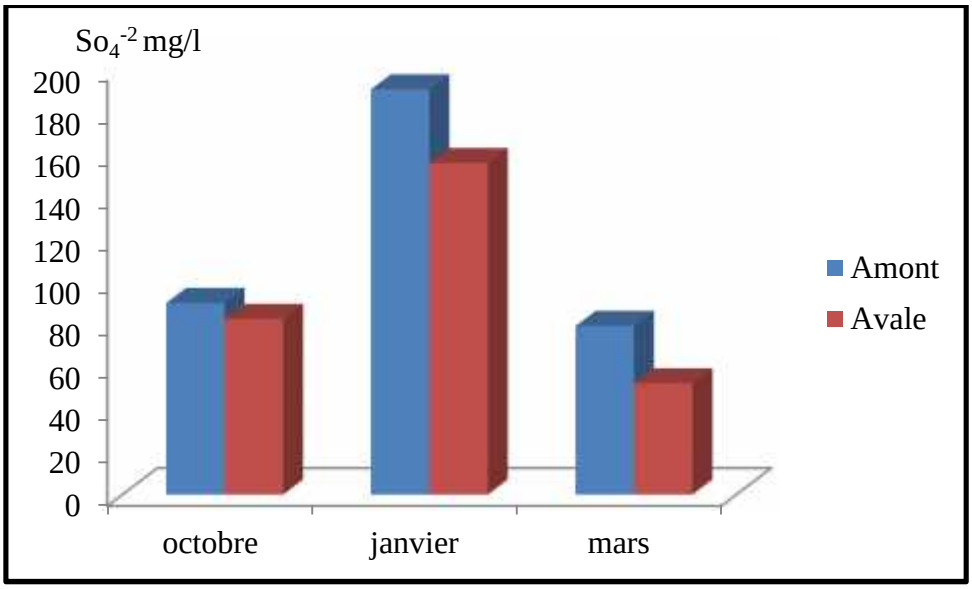


Figure 26 : Variations spatio-temporelles des teneurs en sulfate.

Les sulfates présentent des teneurs qui varient régulièrement entre amont et avale durant les trois campagnes. Les teneurs les plus élevés (190.7 et 156 mg/l), sont enregistrées en janvier pour les deux stations études. Dans l'ensemble, les teneurs sont supérieurs à (52.33 mg/l.) et leur teneur moyenne égale à (108.52 mg/l).Ceci, peut être dû à un phénomène de dilution et au lessivage des terrains traversés ainsi qu'aux rejets diffus de la ville de Constantine. La même observation a été rapportée par (Farah, 1991 ; Khaldi et Melghit, 2007 et Melghit, 2012).

Selon le teste de Newman-Keuls, il existe une différence non significative entre les valeurs de ce paramètre (P= 0.649) formant un groupe homogène.

IV.1.2. Etude Statistique

V.1.2.1. Analyse des variances

Les résultats du teste statistique analyse de la variance à un critère de classification (paramètre) dans le temps et l'espace par le teste de Newman-Keuls et Bonfrrouni sont présentés dans le tableau 22 et la figure 31.

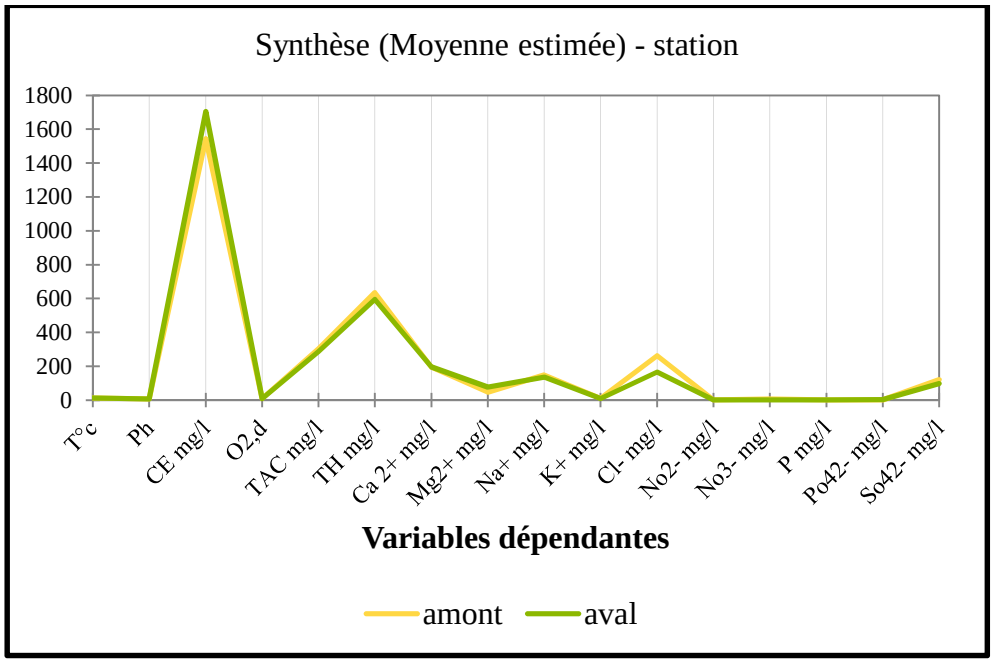


Figure 27 : Variations spatio-temporelles des teneurs des différents paramètres physico-chimiques.

La figure (31), montre une courbe de variabilité de l'ensemble de paramètres physico-chimique entre la station amont et avale. Cette variance est non significative entre les deux stations pour chaque paramètre. Ce ci est donné par le coefficient de variation P (tableau22). L'ensemble des paramètres physico-chimiques, forment des groupes homogènes à très homogènes.

IV.1.2.2. Teste de corrélation entre les paramètres physico-chimique (ACP)

A. Matrice de corrélation

Tableau 19: Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques.

Variables	T°C	pH	CE mg/l	O_2,d	TAC mg/l	TH mg/l	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	Cl^{-} mg/l	No^{2-} mg/l	No^{3-} mg/l	P mg/l	Po_4^{2-} mg/l	So_4^{2-} mg/l
T°C	**1**															
pH	0,095	**1**														
CE mg/l	0,730	-0,220	**1**													
O_2 d	-0,434	0,084	-0,606	**1**												
TAC mg/l	-0,625	-0,671	-0,053	0,199	**1**											
TH mg/l	-0,162	0,300	0,230	-0,014	0,349	**1**										
Ca^{2+} mg/l	0,735	0,540	0,409	-0,646	**-0,815**	-0,010	**1**									
Mg^{2+} mg/l	**-0,860**	0,140	-0,453	0,218	0,474	0,341	-0,527	**1**								
Na^{+} mg/l	-0,239	0,393	-0,100	0,195	0,248	**0,889**	-0,007	0,223	**1**							
K^{+} mg/l	-0,311	0,330	0,071	0,024	0,380	**0,984**	-0,064	0,456	**0,914**	**1**						
Cl^{-} mg/l	**0,974**	0,145	0,643	-0,395	-0,623	-0,090	0,765	**-0,908**	-0,081	-0,225	**1**					
No^{2-} mg/l	0,135	-0,329	0,345	-0,642	0,282	0,322	0,269	-0,255	0,337	0,315	0,246	**1**				
No^{3-} mg/l	-0,752	0,180	**-0,957**	0,643	0,202	-0,015	-0,458	0,426	0,342	0,137	-0,621	-0,174	**1**			
P mg/l	-0,198	0,501	0,177	-0,006	0,054	0,638	-0,002	0,639	0,348	0,629	-0,285	-0,313	-0,185	**1**		
$Po4^{2-}$ mg/l	-0,199	0,500	0,176	-0,006	0,055	0,638	-0,003	0,640	0,348	0,629	-0,286	-0,313	-0,185	**1,000**	**1**	
$So4^{2-}$ mg/l	0,622	0,811	0,215	-0,111	-0,802	0,240	0,799	-0,429	0,324	0,180	0,687	-0,080	-0,203	0,210	0,208	**1**

D'prés l'analyse en composantes principale (ACP) en constate que :

Il y a une corrélation négative entre certains paramètres physico-chimiques (la température et magnésium avec (r= -0.860), la conductivité électrique et le nitrate avec (r= -0.957), l'alcalinité et le calcium avec (r= -0.815), le chlorure et le magnésium avec (r= -0.908).

Il y a aussi une très forte corrélation positive entre d'autres paramètres physico-chimiques (La température et le chlorure avec (r=0.974), la dureté et le sodium avec r=0.889, la dureté et potassium avec R=0.984, le sodium et le potassium avec (r= 0.914) et entre le phosphate et le phosphore (r= 1).

B. Projection des variables

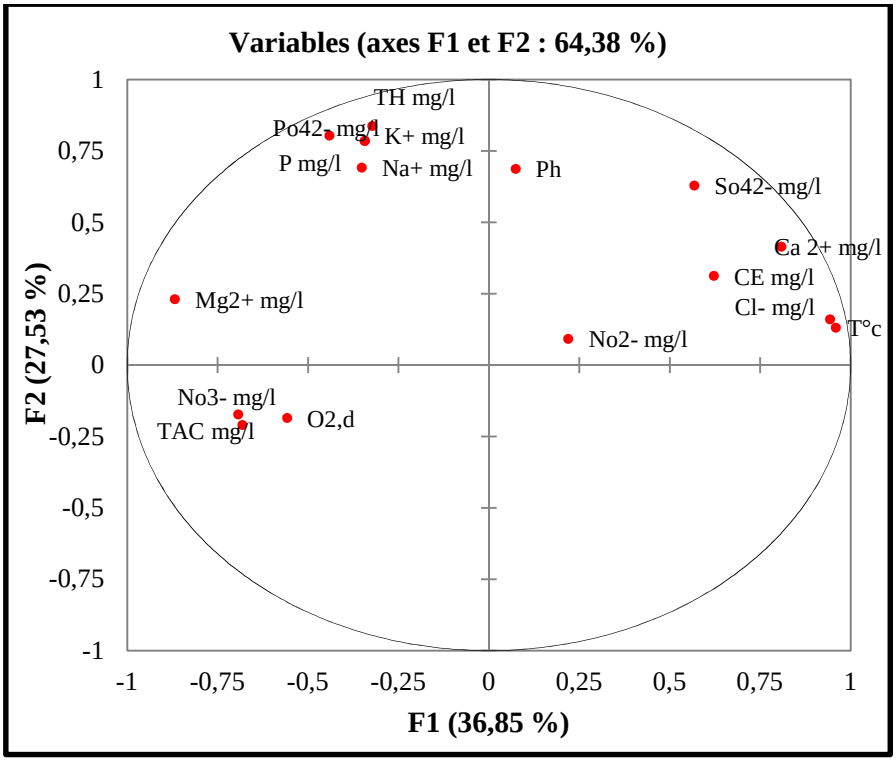


Figure 27 : l'ACP des paramètres physico-chimiques, Cercle de corrélations et projection des variables.

Le cercle de corrélation des paramètres physico-chimiques, contient trois groupes qui sont bien corrélés, le premier groupe constitué de (No_2^-/ CE/ pH/ Cl^-/ T/ Ca^{2+}/ So_4^{2-}). Ces derniers sont corrélés positivement entre eux et négativement avec le deuxième groupe (Mg^{2+}/ Po_4^{2-}/ k^+/Na^+/ P/ TH), ces paramètres sont corrélés positivement entre eux, et négativement avec le troisième groupe (TAC/ No_3^-/ O_2.d).

IV.2. Résultat d'analyses phytoplanctoniques

Cette partie indique les résultats de détermination et identification des espèces de phytoplancton qui existent dans l'Oued Rhumel au cours de trois campagnes aux mois d'octobre 2014, janvier et mars 2015.

Tableau 20 : Inventaire algal et diatomique par embranchement des eaux du Rhumel

Embranchement	Genre et Espèce	Caractère
Chorophyta	*Chlorella sp* *Closterium sp* *Bulbochaete sp*	Unicellulaire ou Pluricellulaire
Rhodophyta	*Audouinella sp*	Algue microscopiques
Euglénophyta	*Eugléna sp*	Algue microscopiques
Cryptophyta	*Cryptomonas ovata*	Algue microscopiques
Ochrophyta	*Tetrasporopsis perforata*	Algue microscopiques
Charophyta	*Mougeotia sp* *Cosmarium vexatum* *Staurastrum sp*	Algue microscopiques
Bacillariophyta	*Cymbella subleptoceros* *Cyclotell spmeneghiniana* *Diatomella parva* *Eunotia incisa* *Diatoma tenuis* *Surirella ovalis* *Cocconeis placentula* *Actinella species* *Gomphonema sp* *Gomphonema augur* *Gomphonema parvulius* *Gomphonema innocens* *Gomphonema micropus* *Gomphonema cymbelliclinum* *Gomphonema intricatum* *Gomphonema pseudoaugur* *Gmphonema urgeri* *Gomphonema acuminatum* *Gomphonema angustatum* *Gomphonema affine* *Navicula sp* *Navicula notha* *Navicula cryptocephala* *Navicula gregaria* *Navicula veneta* *Navicula zanonii* *Navicula antonii* *Navicula capitatoradiata*	Algue microscopiques

Bacillariophyta	*Navicula peregrine* *Navicula reinhardtii* *Navicula slesvicensis* *Navicula gragaria* *Navicula veneta* *Navicula vandamii* *Navicula viridula* *Navicula reichraditiana* *Navicula tripunctata* *Navicula cryptotenelloides* *Navicula weinzierlii* *Navicula riediana* *Navicula catalanogermanica* *Navicula crucicula* *Navicula cryptotenella* *Navicula radiosa* *Navicula recens* *Nitzschia sp* *Nitzschia nana* *Nitzschia archibaldii* *Nitzschia capitellata* *Nitzschia dubia* *Nitzschia palea* *Nitzschia perminuta* *Nitzshia hungarica* *Nitzshia intermedia* *Nitzschia siliqua* *Nitzschia tubicola* *Nitzshia recta* *Achnanthes sp* *Synedra genus* *Amphora ovalis* *pseudostaurosira brevistriata* *Fragilaria sp* *Fragilaria exigua* *Fragilaria ungeriana* *Fragilaria brevistriata* *Fragilaria capucina* *Neidium densestriatum* *Diadesmis confervacea* *Encyonopsis cesatii* *Lemnicola hungarica* *Geissleria decussis* *Stauroneis phoenicenteron* *Psammothidium bioretii* *Eolimna sp* *Eolimna minima* *Melosira varians* *Encyonema silesiacum* *Craticula sp*	

	Craticula cuspidata *Craticula ambigua* *Frustululia crassinervia* *planothidium lanceolatum* *Cavinula cocconeiformis* *Diadesmis confervacea* *Sellaphora pupula* *Fallacia pygmaea* *Caloneis bacillum* *Placoneis clementis* *Detonula pumila* *Bacillaria sp*	
Cyanobacteria	*Oscillatoria sp* *Anabaenopsis circularis* *Spirulina Subtilissima* *Chroococcus sp* *Chroococcus turgidus* *Gloeocapsa sp* *Lepocinclis oxyuris* *Aulacoseira granulata*	Algues microscopiques

D'après les résultats du recensement de la population algale présentés dans le tableau (20) ; Nous avons identifié 54 genres d'algues groupant 106 espèces différentes déterminées dans les deux stations et qui appartiennent à 8 embranchements différents : les *Bacillariophyta* avec 87 espèces, suivit par les *Cyanobacteria* avec 8 espèces, les *Chlorophyta* avec 3 espèces, les *Charophyta* par 3 genre, et finalement les *Euglénophyta*, Cryptophyta, *Ochrophyta*, et les *Rhodophyta* avec 1 seule espèce.

L'inventaire phytoplanctonique, révèle la présence des cyanobactéries caractérisées par des espèces qui développent des toxines ce qui explique l'état de pollution de ces eaux.

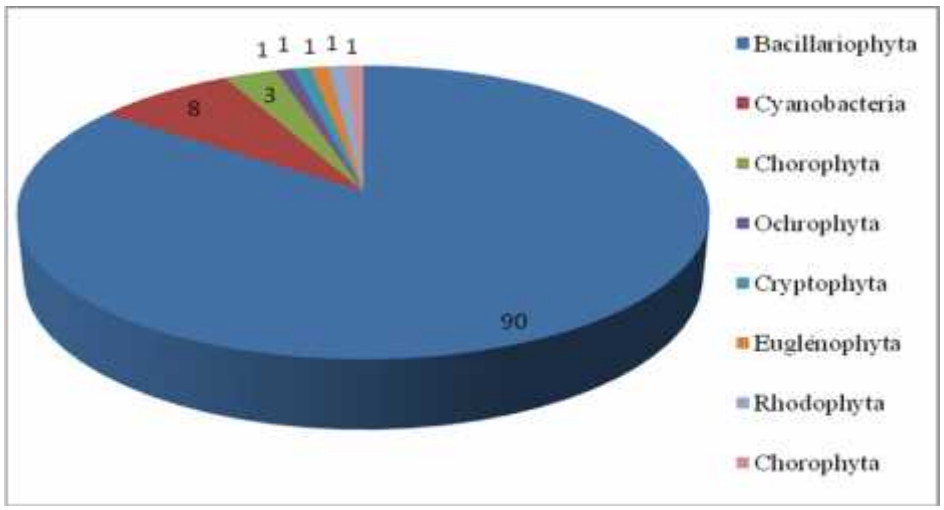


Figure 28 : Richesse diatomique par embranchement des eaux du rhumel

IV.2.1. Inventaire des diatomées

Tableau 21 : Inventaire diatomique dans le temps et l'espace des eaux de l'Oued Rhumel

Unité systématique			Campagne 1		Campagne 2	
Classe	**Famille**	**Genre et espece**	**Amont**	**Avale**	**Amont**	**Avale**
Chorophyceae	Chaetophoraceae	*Bulbochaete sp*				+
Zygnemophyceae	Closteriaceae	*Closterium sp*	+			
Trebouxiophyceae	Chlorellaceae	*Chlorella sp*	+		+	+
Florideophyceae	Acrochaetiaceae	*Audouinella sp*	+			
Euglenophyceae	Euglenaceae	*Eugléna sp*	+	+		
Bacillariophyceae	Cymbellaceae	*Cymbella subleptoceros*		+		
		Encyonopsis cesatii			+	
		Encyonema silesiacum				+
	Stephanodiscaceae	*Cyclotella meneghiniana*		+		
	Eunotiaceae	*Eunotia incisa*	+	+	+	
	Fragilariaceae	*Diatoma tenuis*				+
	Surirellaleae	*Surirella ovalis*			+	+
	Cocconeidaceae	*Cocconeis placentula*	+	+	+	
	Hygroiideae	*Actinella species*		+		
	Pinnulariaceae	*Diatomella parva*		+		
	Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	+	+	+	+
		Gomphonema affine	+			
		Gomphonema augur	+	+		
		Gomphonema parvulius	+			
		Gomphonema innocens		+		
		Gomphonema micropus			+	
		Gomphonema-cymbelliclinum				+
		Gomphonema intricatum			+	
		Gomphonema pseudoaugur			+	
		Gmphonema urgeri	+		+	
		Gomphonema acuminatum			+	
		Gomphonema angustatum	+	+		
	Naviculaceae	*navicula sp*			+	
		Navicula notha			+	+
		Navicula cryptocephala	+	+		+
		Navicula gregaria	+			
		Navicula veneta			+	+
		Navicula zanonii			+	
		Navicula antonii				+
		Navicula capitatoradiata				+
		Navicula peregrine				+
		Navicula reinhardtii				+
		Navicula slesvicensis				+
		Navicula gragaria				+
		Navicula vandamii			+	
		Navicula viridula	+	+	+	
		Navicula reichraditiana			+	
		Navicula tripunctata	+	+		
		Navicula cryptotenelloides		+		
		Navicula weinzierlii		+		
		Navicula riediana	+	+		
		Navicula catalanogermanica	+			
		Navicula crucicula	+			
		Navicula cryptotenella	+			
		Navicula radiosa	+			
		Navicula recens	+			
		Eolimna sp				+
		Eolimna minima		+		
		Caloneis bacillum	+			+
		Placoneis clementis		+		
		Frustululia crassinervia			+	

		Geissleria decussis(Navicula decussis)		+		
	Bacillariaceae	*Nitzschia sp*		+		+
		Nitzschia nana			+	
		Nitzschia archibaldii			+	
		Nitzschia capitellata		+	+	+
		Nitzschia dubia			+	
		Nitzschia palea	+	+	+	+
		Nitzschia perminuta		+		
		Nitzshia hungarica	+	+	+	
		Nitzshia intermedia			+	
		Nitzschia siliqua	+			
		Nitzschia tubicola	+			
		Nitzshia recta			+	
		Bacillaria sp			+	
	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*				+
		Fragilaria exigua		+		
		Fragilaria ungeriana		+		
		Fragilaria brevistriata			+	
		Fragilaria capucina	+	+	+	+
		Synedra genus	+	+	+	+
		Pseudostaurosira brevistriata	+	+	+	
		Neofragilaria virescens			+	
	Achnanthaceae	*Achnanthes sp*				+
		Lemnicola hungarica	+	+		
		Psammothidium bioretii		+		
		Planothidium lanceolatum			+	+
	Catenulaceae	*Amphora ovalis*			+	
Bacillariophyceae	Diadesmidaceae	*Diadesmis confervacea*			+	
	Stauroneidaceae	*Stauroneis phoenicenteron*	+			
		Craticula sp		+		
		Craticula cuspidata	+			
		Craticula ambigua	+			
	Cavinulaceae	*Cavinula cocconeiformis*				+
	Sellaphoraceae	*Sellaphora pupula*		+	+	+
		Fallacia pygmaea				+
	Skeletonemaceae	*Detonula pumila*		+		
	Neidiaceae	*Neidium densestriatum*				+
Coscinidiscophyceae	Melosiraceae	*Melosira varians*				+
	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira granulate*			+	
Cryptophyceae	Cryptomonadaceae	*Cryptomonas ovata*	+			
Cyanophyceae	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	+	+	+	+
	Pseudanabaenaceae	*Spirulina subtilissima*		+		
	Chroococcaceae	*Chroococcus sp*		+		
		Chroococcus turgidus				+
	Microcystaceae	*Gloeocapsa sp*	+			
	Nostocaceae	*Anabaenopsis aircularis*	+			
zygnematophyceae	Zegnemataceae	*Mougeotia sp*		+		
Conjugatophyceae	Desmidiaceae	*Cosmarium vexatum*			+	
Zegnemophyceae		*Staurastrum sp*			+	
Chrysophyceae	Chrysocapsaceae : Tetrasporopsisceae	*Tetrasporopsis perforata*				+
Total		**106**	**38**	**39**	**41**	**34**

- **La première Campagne de prélèvement**
- **Dans la station Amont**

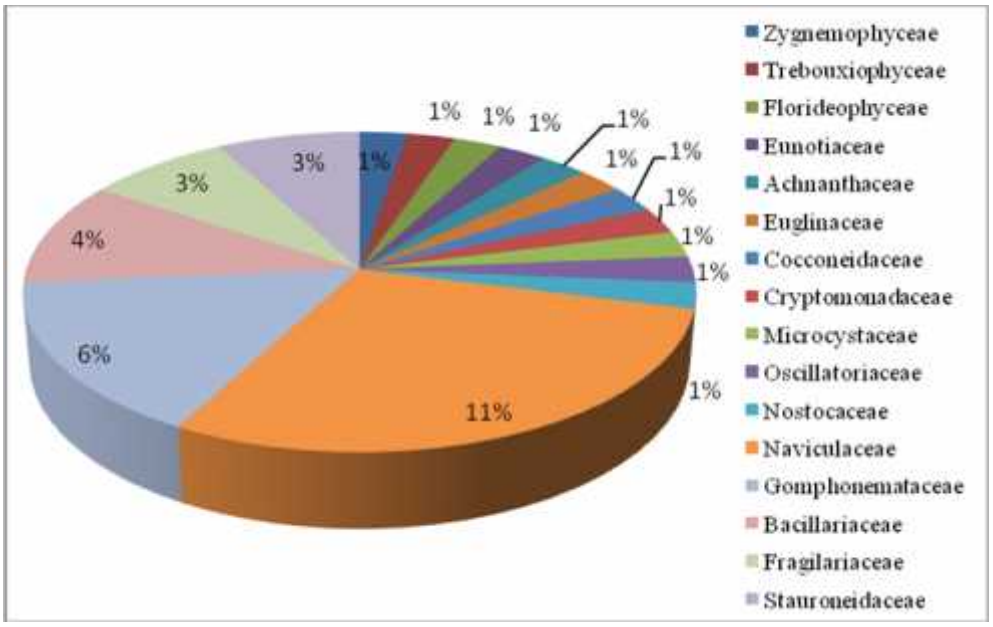


Figure 29 : Richesse diatomique de la station amont en mois d'octobre

Cette station présente 38 espèces repartie en 16 famille, la famille la plus abondante, c'est celle des Naviculaceae avec un pourcentage de 11%, suivie par la famille des Gomphonemataceae avec 6%, ensuite avec un pourcentage de 4%, les Bacillariophyceae ; 3% est présenté par deux familles (Fragilariaceae et Stauroneidaceae) et les autres familles prennent la dernière position avec le plus bas pourcentage (1%) pour chaque famille.

- **Dans la station avale**

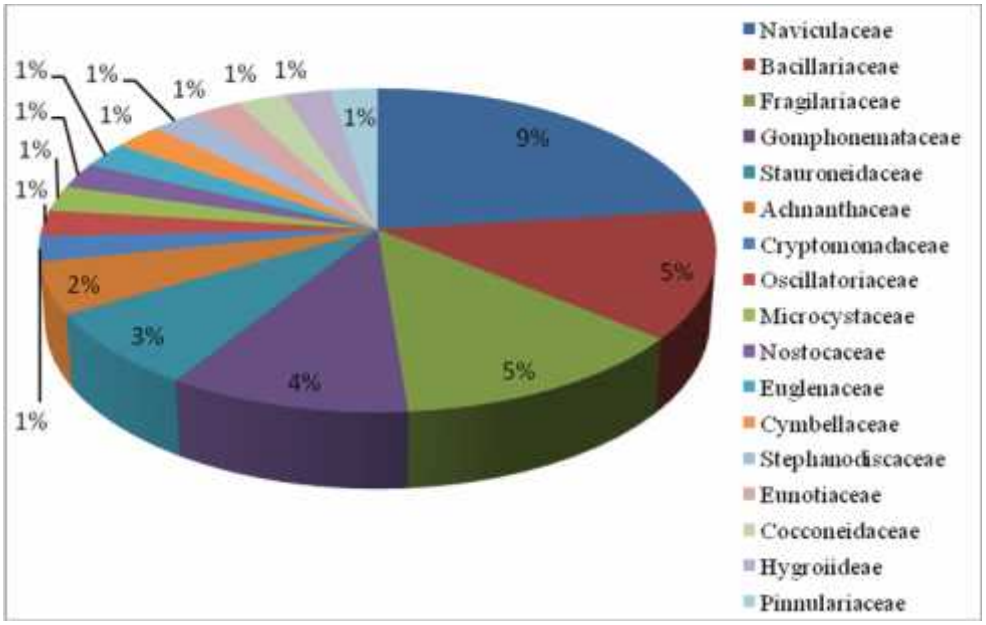


Figure 30 : Richesse diatomique de la station avale en mois d'octobre

Cette station caractérisée par un mélange d'algue unicellulaire. Les Naviculaceae viennent en première position avec le plus grand pourcentage 9% ; le pourcentage de 5%, est donné par les Bacillariaceae et les Fragilariaceae, suivie par la famille de Gomphonemataceae (4%), ensuite 3% pour les Stauroneidaceae ; 2% pour les Achnanthaceae alors que les autres familles avec 1% pour chacune.

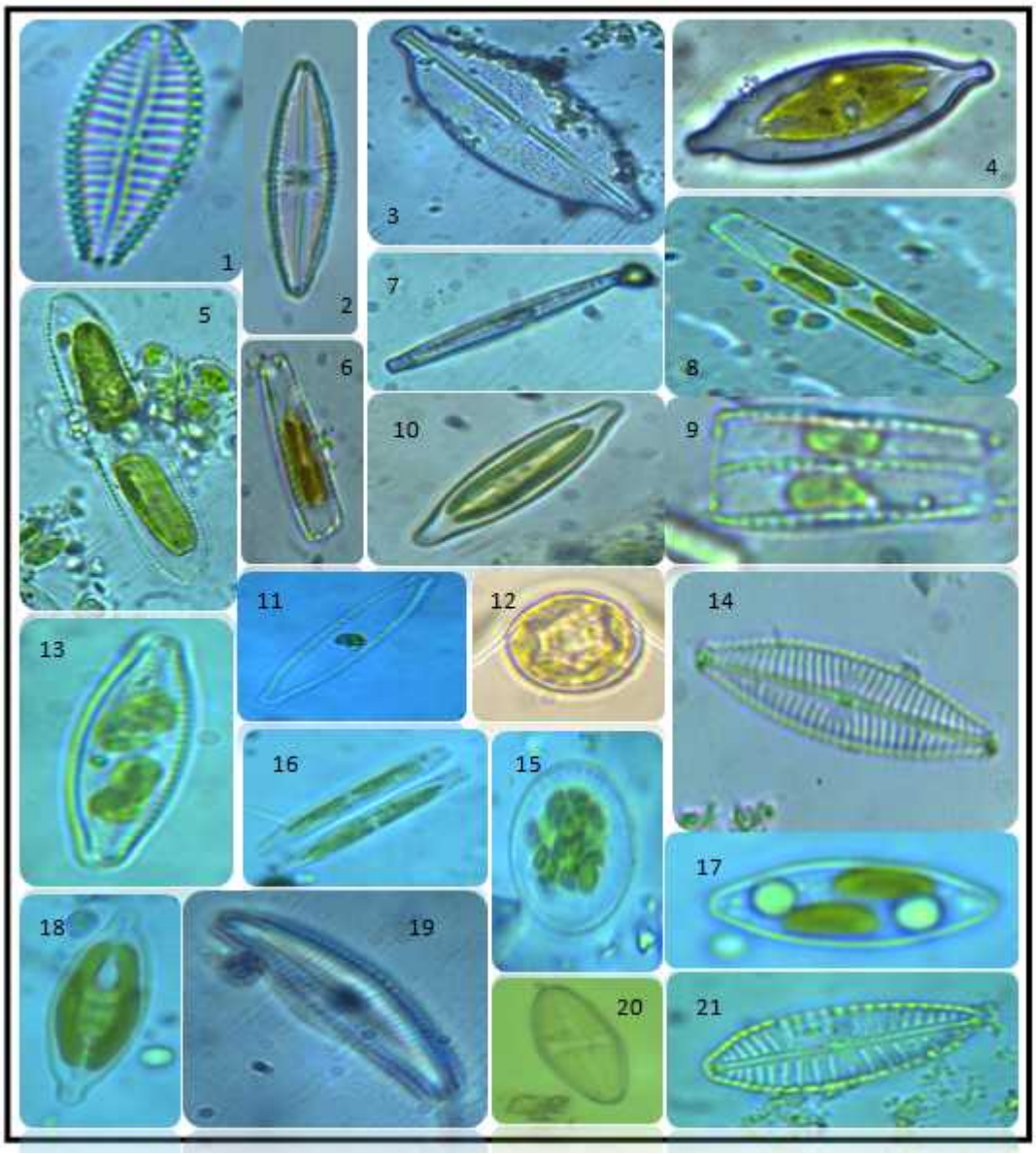


Figure 31 : Quelques espèces des diatomées de la première campagne.

1- *Gomphonema sp,* 2- *Limnicola sp,* 3- *Anomoeneis sphaerophora,* 4- *Craticula ambigua,* 5- *Calonies bacillum,* 6- *Eunotia incisa*, 7- *Fragilaria capucina*, 8- *Synedra genus*, 9- *Gomphonema acuminatum,* 10- *Navicula gregaria*, 11- *Nitzschia sp,* 12- *Cyclotella meneghiniana*, 13- Sellaphora pupula, 14- *Navicula viridula,* 15- *Cyclotella meneghiniana,* 16- *Fragilaria exigua,* 17- *Navicula antonii*, 18- *Placoneis clementis*, 19- *Cymbella subleptoceros*, 20- *Psammothidium bioretii*, 21- *Gomphonema innocens*.

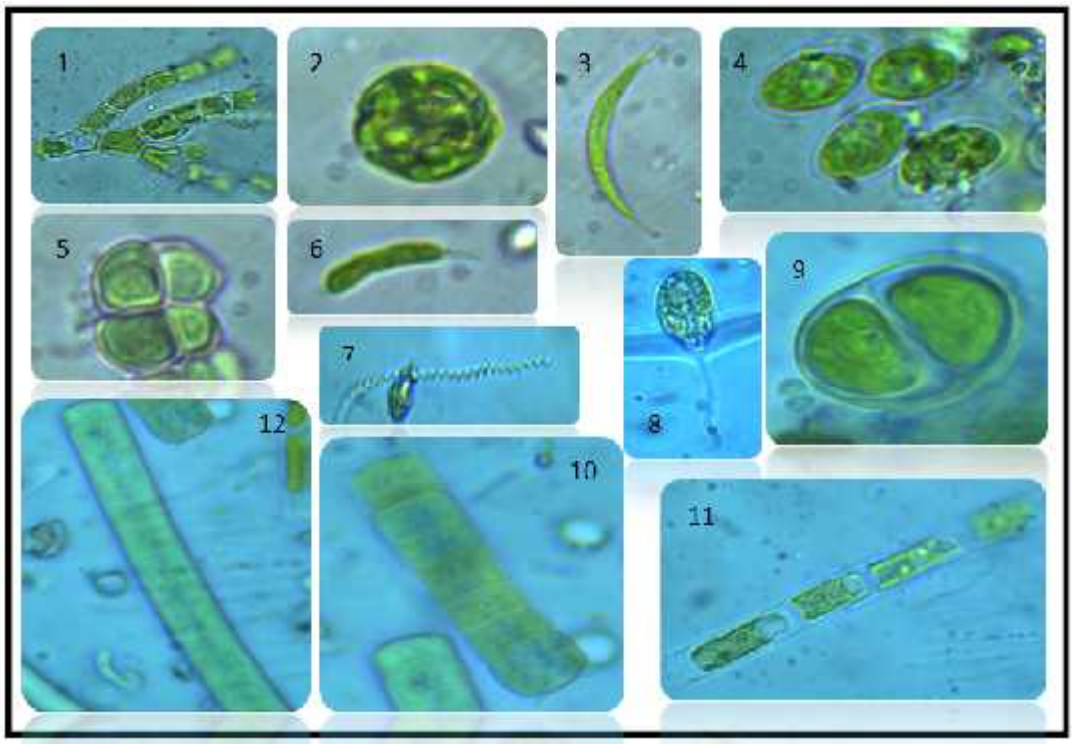


Figure 32 : Quelques espèces du phytoplancton de la première compagne

1- *Audouinella sp*, 2- *Chlorella sp*, 3- *Closterium sp*, 4- *Cryptomonas ovata*, 5- *Gloeocapsa sp*, 6- *Lepocinclis oxyuris*, 7- *Spirulina Subtilissima*, 8- *Eugléna sp*, 9- *Chroococcus sp*, 10- *Detonula pumila*, 11- *Mougeotia sp*, 12- *Oscillatoria sp*.

La deuxième campagne de prélèvement

- **En amont**

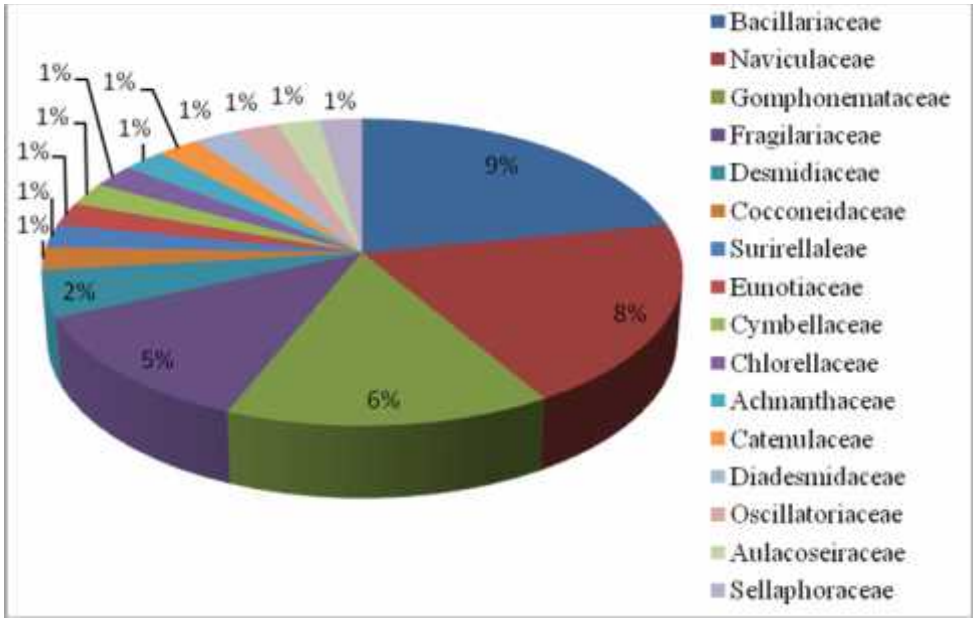


Figure 33 : Richesse diatomique de la station avale en mois de janvier

La figure (33), montre que cette station est caractérisée par un mélange d'algue diatomique, elle présente plus d'unité systématique, elle englobe au total 16 famille réparties en 5 classes. La famille la plus abondante c'est celle des Bacillariaceae avec un pourcentage de 9%. La famille des Naviculaceae, avec 8% ; suivie par les Gomphonemataceae avec 6% et les Fragilariaceae avec 5% ; la famille des Desmidiaceae avec 2% et dans la dernière position les autres familles avec 1%pour chaque famille.

- **En avale**

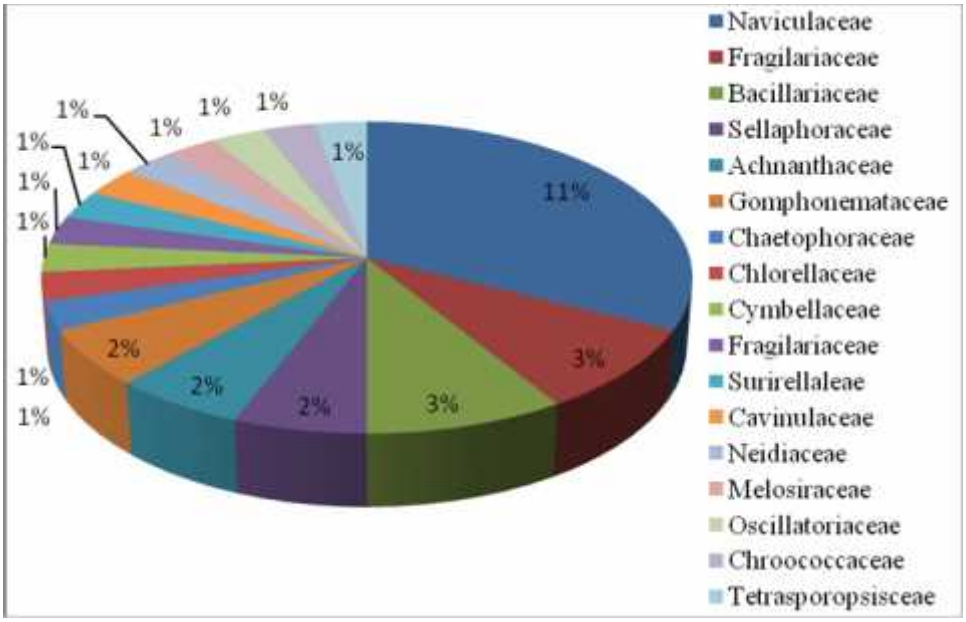


Figure 34 : Richesse diatomique de la station avale en mois de janvier

Selon la figure (34), cette station présente 34 espèces réparties dans 17familles. La famille des Fragilariaceae est la plus abondante avec un pourcentage de 11%, suivie par la famille des Bacillariaceae et Fragilariaceae avec un pourcentage de 3% pour chacune ensuite les Sellaphoraceae, Achnanthaceae et Gomphonemataceae avec 2% pour chaque famille et en fin les autres familles avec 1% pour chacune.

Les genres *Navicula*, *Gomphonema* et *Nitzschia* sont les plus abondants dans les deux stations au cours des deux campagnes.

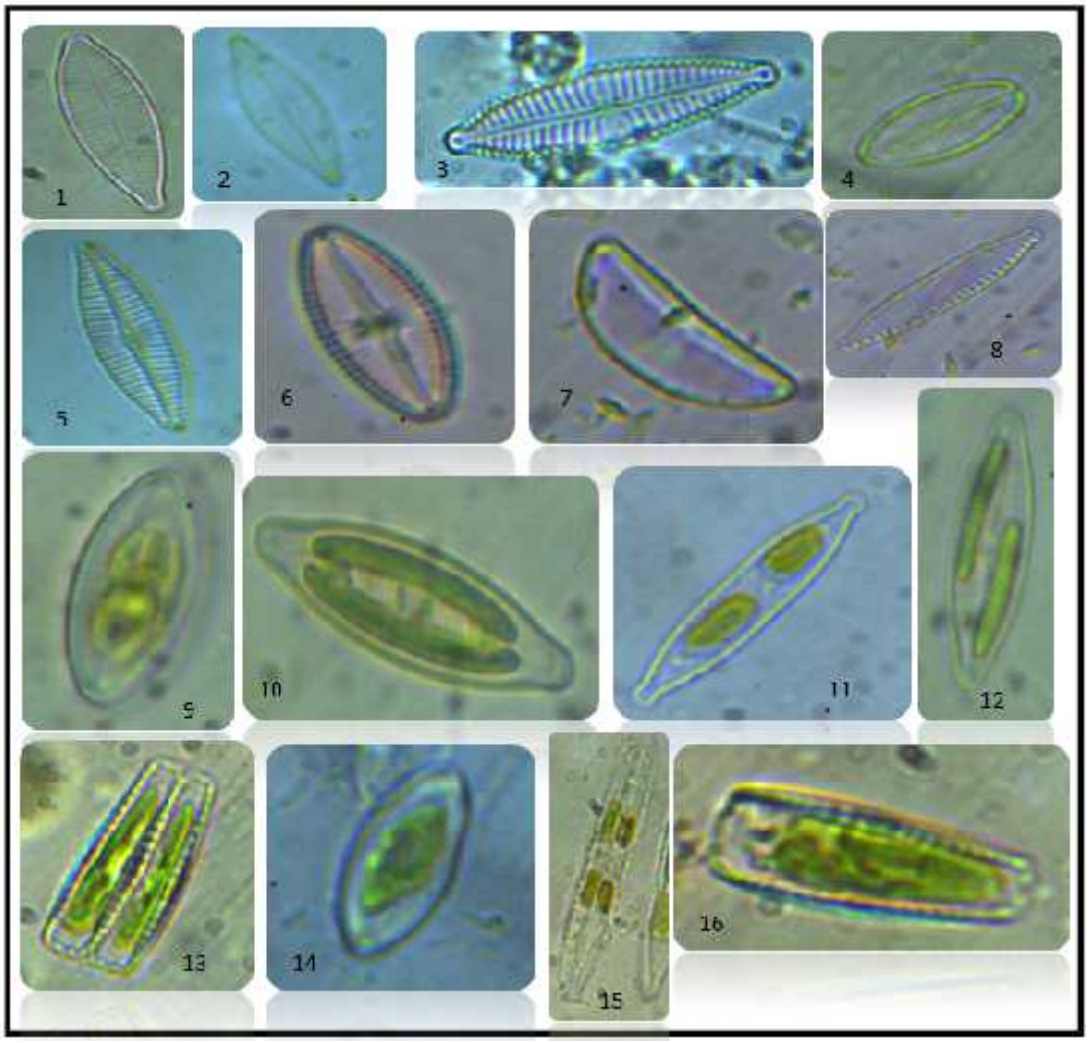


Figure 35 : Quelques espèces des diatomées des deuxièmes campagnes

1- *Gomphonema sp*, 2- *Diadesmis confervacea*, 3- *Encyonopsis cesatii* 4- *Planothidium lanceolatum*, 5- *Navicula viridula*, 6- *Cavinula cocconeiformis* 7- *Encyonema silesiacum*, 8- *Nitzshia capitellata*, 9- *Diadesmis confervacea*, 10- *Navicula gregaria*, 11- *Fragilaria capucina*, 12- *Navicula cryptocephala*, 13- *Pseudostaurosira brevistriata*, 14- *Cocconeis placentula*, 15- *Synedra genus*, 16- *Eunotia incisa*.

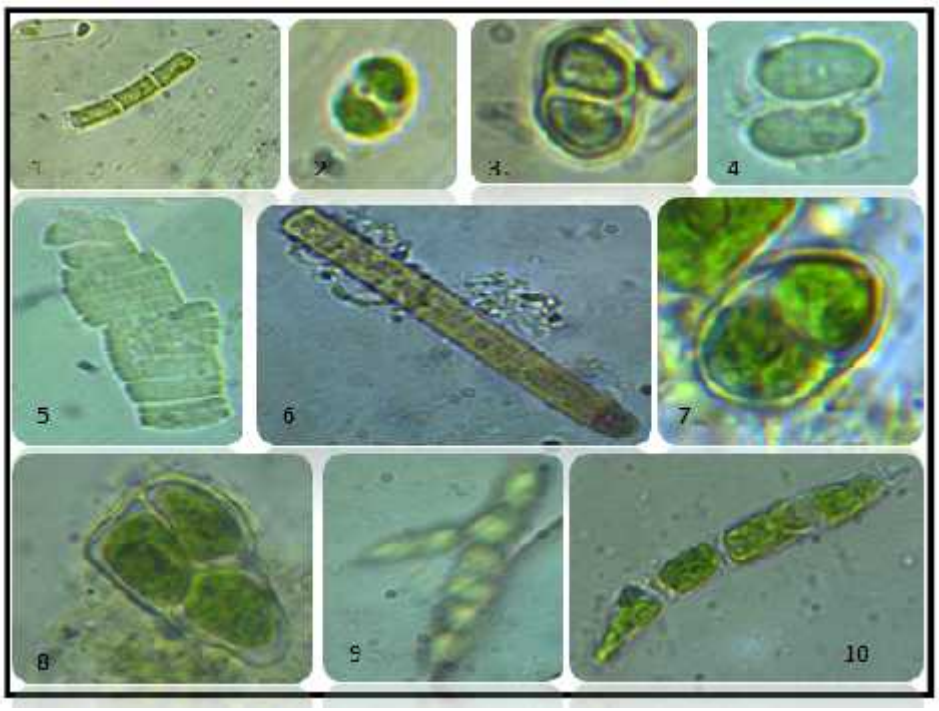


Figure 36 : Quelques espèces du phytoplancton des deuxièmes campagnes

1- *Aulacoseira granulata*, 2- *Clorella sp*, 3- *Cosmarium vexatum*, 4- *Staurastrum sp*, 5- *Bacillaria sp*, 6- *Tetrasporopsis perforata*, 7- *Oscillatoria sp*, 8- *Chroococcus turgidus*, 9- *Bulbochaete sp*, 10- *Melosira varians*.

❖ **Au niveau de la 3ème campagne**

Pour cette campagne réalisée pendant le mois de mars au niveau des deux stations amont et avale de l'Oued Rhumel, nous n'avons rien trouvé comme espèce phytoplanctonique à cause des basses températures et des précipitations très fréquent durant ce mois de l'année en cours (mars 2015).

Nous pouvons conclure que, nos stations de prélèvements sont caractérisées par une diversité phytoplanctonique très importante ce qui contre dit les résultats précédents (Boukazoula, 2014). Cette diversité est en relation avec les teneurs élevés en éléments nutritifs.

- Les genres les plus dominants dans la zone d'étude sont:

➢ Le genre navicula caractérise un milieu très sévèrement contaminé par la matière organique. La famille des Naviculaceaes caractérise les milieux eutrophies (SIAB, 2009).

- Le genre *Nitzschia* préfère des eaux très fortement minéralisées montrant des signes dystrophiques et est très tolérante à la pollution organique. Elle préfère des niveaux de pollutions intermédiaires à élevés. C'est donc un bon indicateur de rivières polluées (SIAB, 2009), et *Nitzschia palea* est considérée comme l'une des meilleures indicatrices de la pollution (Fekhaoui et *al*., 1988).

- Le genre *Gomphonema* reflète un certain niveau de pollution organique de l'eau.

  - Les genres rarement trouvée dans les deux stations sont :

- Les genres *Cocconeis* et *Achnanthes* caractérisent des cours d'eau peu perturbés, ou supportant une forte eutrophisation (SIAB, 2009).

- Les genres *Diatoma*, *Fragilaria*, sont souvent synonymes de bonne qualité d'eau.

- Le genre *Eunotia* généralement indicatrice de bonne qualité d'eau (SIAB, 2009).

- Les genres *Anabaena* et *Oscillatoria* sont bien connues pour produire des proliférations potentiellement toxiques en eau douce. Ces toxines peuvent causer des maladies ou la mort chez le bétail, ainsi que la gastroentérite, des dommages au foie et des irritations de la peau et des yeux chez les humains (DGSA, 2011).

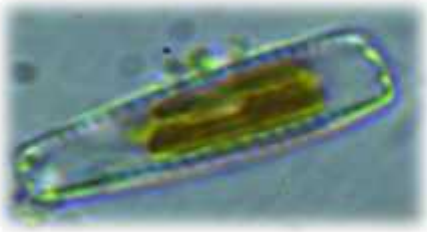
- Le genre *Cymbella* tolérants à la pollution organique (Boudou et *al*., 2007).

- Le genre *Synedra* est un autre indicateur de pollution ; elle est constamment présente dans les eaux contaminées par les rejets usés domestiques (Fekhaoui et al., 1988).

Concernant le résultat obtenu sur le peuplement phytoplanctonique et leur influence sur la qualité de l'eau nous avons trouvé que les eaux de Oued El Rhumel sont fortement pollués par les matières organique et minérales causée par les rejets industrielle est domestique ainsi que les activités agricoles aussi qu'il y a un risque de prolifération d'algue dans les années très proches.

IV.3. Fiche technique des espèces phytoplanctonique

- **Taxonomie d'Eunotia**



Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

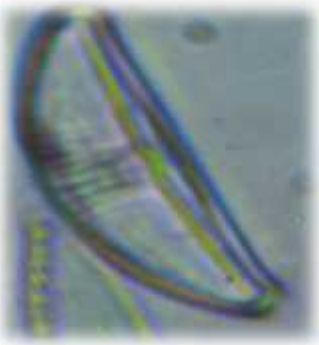
Ordre: Eunotiales

Famille: Eunotiaceae

Genre: Eunotia

Espèce : *Eunotia incisa*

- **Taxonomie d'Amphora**



Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Class: Bacillariophyceae

Ordre: Thalassiophysales

Famille: Catenulaceae

Genre: Amphora

Espèce : *Amphora ovalis*

- **Taxonomie de Geissleria**

Règne : Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Cymbellales

Famille: Gomphonemataceae

Genre: Geissleria

Espèce : *Geissleria decussis*

- **Taxonomie d'Aulacoseira**

Règne: Chromista

Embrachement: Bacillariophyta

Classe: Coscinodiscophyceae

Ordre: Aulacoseirales

Famille: Aulacoseiraceae

Genre: Aulacoseira

Espèce : *Aulacoseira granulate*

- **Taxonomie de Lepocinclis**

Règne: Protozoa

Embranchement: Euglenozoa

Classe: Euglenophyceae

Ordre: Euglenales

Genre: Lepocinclis

Famille: Phacaceae

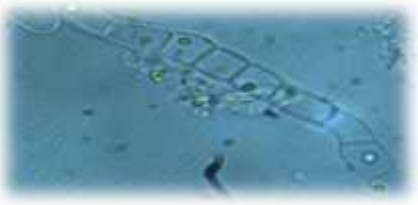
Espèce: *Lepocinclis oxyuris*

- **Taxonomie d'Anabaenopsis**

Règne: Eubacteria

Embranchement: Cyanobacteria

Classe : Cyanophyceae



Ordre: Nostocales

Famille: Aphanizomenonaceae

Genre: Anabaenopsis

Espèce : *Anabaenopsis Aircularis*

- **Taxonomie de Spirulina**

Règne: Eubacteria

Embranchement: Cyanobacteria

Classe: Cyanophyceae

Ordre: Spirulinales

Famille: Spirulinaceae

Genus: Spirulina

Espèce : *Spirulina Subtilissima*

- **Taxonoie de Neofragilaria**

Règne : Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Fragilariophyceae

Ordre: Fragilariales

Famille: Fragilariaceae

Genre: Neofragilaria

Espèce : *Neofragilaria virescens*

- **Taxonomie de Diadesmis**

Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Naviculales

Famille: Diadesmidaceae

Genre: Diadesmis

Espèce : *Diadesmis confervacea*

- **Taxonomie d'Audouinella**

Règne : Plante

Embranchement: Rhodophyta

Classe : Florideophyceae

Ordre : Acrochaetiales

Famille : Acrochaetiaceae

Genre : Audouinella

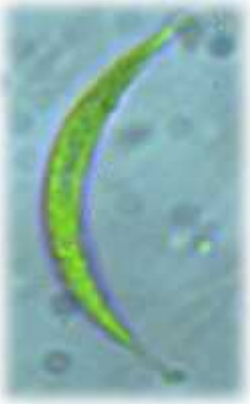
Espèce : *Audouinella sp*

- **Taxonomie de Closterium**

Régne: Protista

Embranchement: Chlorophyta

Classe: Zygnemophyceae



Ordre: Desmidales

Famille: Closteriaceae

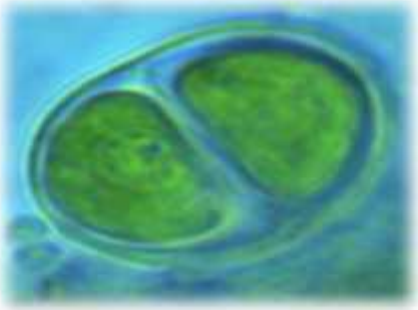
Genre: Closterium

Espèce: *Closterium calosporum*

- **Taxonomie de chroococcus**

Régne : Eubacteria

Embranchement: Cyanobacteria



Classe : Cyanophycées

Ordre : Chroococcacale

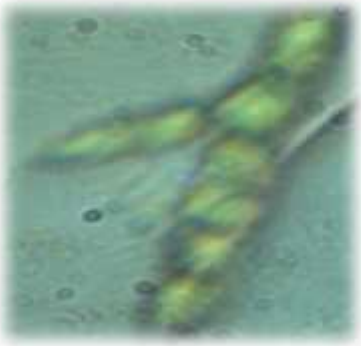
Famille : Chroococcacées

Genre : Chroococcus

Espece : *Chroococcus tuegidus*

- **Taxonomie de Bulbochaete**

Régne : plantae



Embranchement : Chlorophyta

Classe : Chlorophyceae

Ordre : Oedogoniales

Famille : Chaetophoraceae

Genre : Bulbochaete

Espèce : *Bulbochaete sp*

- **Taxnomie de Melosira**

Régne: Eukaryota

Embranchement : Bacillariophyta

Class: Coscinodiscophyceae

Order: Melosirales

Famille: Melosiraceae

Genre: Melosira

Espéce : *Melosira varians*

- **Taxonomie de Navicula**

Règne : Plantae

Embranchement : Heterokntophyta

Classe : Bacillariophyceae

Ordre : Naviculales

Famille : Naviculacées

Genre : Navicula

Espèce : *Navicula viridula*

- **Taxonomie de Nitzschia**

Règne: Plantae

Embranchement: Heterokntophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Surirellilale

Famille: Nitzschiacées

Genre: Nitzschia

Espece: *Nitzschia palea*

- **Taxonomie de Gomphonema**

Règne: Plantae

Embranchement: Heterokntophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Cymbellales

Famille: Gomphonemataceae

Genre: Gomphonema

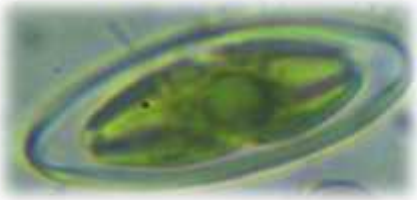
Espèce: *Gomphonema parvulius*

- **Taxonomie de Craticula**

Régne: Chromista

Embranchement : Bacillariophyta

Class: Bacillariophyceae



Order: Naviculales

Famille: Stauroneidaceae

Genre: Craticula

Espèce: *Craticula ambigua*

- **Taxonomie de Planothidium**

Régne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Order: Achnanthales

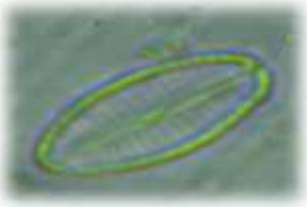
Famille: Achnanthaceae

Genre: Planothidium

Espéce: *Planothidium lanceolatum*

- **Taxonomie de cavinula**

Régne: Chromista



Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Naviculales

Famille: Cavinulaceae

Genre : Cavinula

Espèce : *Cavinula cocconeiformis*

- **Taxonomie de Sellaphora**

Rènge: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Naviculales

Famille: Sellaphoraceae

Genre : Sellaphora

Espèce : *Sellaphora pupula*

- **Taxonomie de fallacia**

Régne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Naviculales

Famille : Sellaphoraceae

Genre : Fallacia

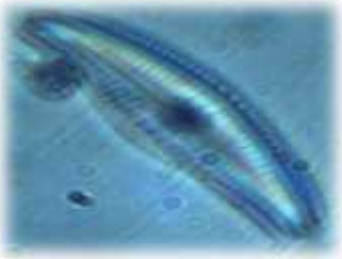
Espèce : *Fallacia pygmaea*

- **Taxonomie de Cymbella**

Règne: Chromalveolata

Embranchement: Heterokontophyta

Classe: Bacillariophyceae



Order: Cymbellales

Famille: Cymbellaceae

Genre: Cymbella

Espèce : *Cymbella subleptoceros*

- **Taxonomie d'Encyonopsis**

Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Cymbellales

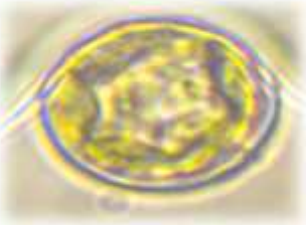
Famille: Cymbellaceae

Genre: Encyonopsis

Espèce: *Encyonopsis cesatii*

- **Taxonomie de Cyclotella**

Règne : Chromista



Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Mediophyceae

Ordre: Thalassiosirales

Famille: Stephanodiscaceae

Genre: Cyclotella

Espèce : *Cyclotella spmeneghiniana*

- **Taxonomie de Diatoma**

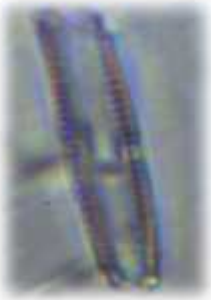
Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Fragilariophyceae

Ordre: Tabellariales

Famille: Tabellariaceae



Genre : Diatoma

Espèce : *Diatoma tenuis*

- **Taxonomie de Surirella**

Règne : Chromista

Embranchement : Bacillariophyta

Classe : Bacillariophyceae

Ordre : Surirellales

Famille : Surirellaceae

Genre : Surirella

Espèce : *Surirella ovalis*

- **Taxonomie de Cocconeis**

Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Cocconeidales

Famille : Cocconeidaceae

Genre : Cocconeis

Espèce : *Cocconeis placentula*

- **Taxonomie d'Oscillatoria**

Règne: Eubacteria

Embranchement : Cyanobacteria

Classe: Cyanophyceae

Ordre: Nostocales

Famille: Oscillatoriaceae

Genre: Oscillatoria

Espèce : *Oscillatoria sp*

- **Taxonomie de Cosmarium**

Règne: Chloroplastida

Embranchement: Charophyta

Classe: Zygnemophyceae

Ordre: Desmidiales

Famille: Desmidiaceae

Genre: Cosmarium

Espèce: *Cosmarium vexatum*

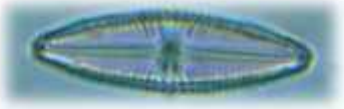
Taxonomie de Lemnicola

Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Cocconeidales



Famille: Achnanthidiaceae

Genre: Lemnicola

Espèce : *Lemnicola hungarica*

- **Taxonomie de Pseudostaurosira**

Règne : Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Fragilariophyceae

Ordre*:* Fragilariales

Famille*:* Fragilariaceae

Genre*:* Pseudostaurosira

Espèse : *Pseudostaurosira Brevistriata*

- **Taxonomie de Bacillaria**

Règne: Chromista

Embranchement: Bacillariophyta

Classe: Bacillariophyceae

Ordre: Bacillariales

Famille: Bacillariaceae

Genre: Bacillaria

Espèce : *Bacillaria sp*

Conclusion

Cette étude à été menée dans le but de déterminer la qualité physico-chimique de l'eau de l'Oued Rhumel et leur effet sur l'évolution de la biomasse algale. L'oued est la source hydraulique la plus importante dans le Constantinois. Cette région est soumise à des pressions démographiques et industrielles très importantes.

Les résultats obtenus des différents analyses physico-chimiques, nous montres que :

- ✓ Les eaux de l'Oued Rhumel sont caractérisées par un potentiel d'hydrogène moyen légèrement alcalin(7,55).
- ✓ Une dureté et une minéralisation élevées avec des teneurs faibles en phosphore, phosphate et en oxygène dissous durant les trois campagnes.
- ✓ Les teneurs de l'alcalinité (TAC) sont élevés dans les deux stations et pendant les trois campagnes.
- ✓ Le TA est nille zéro grâce à le pH est inferieur à 8.3 dans les trois campagnes.
- ✓ Des éléments minéraux majeurs ; dont les teneurs en cations (Mg^{2+} et Na^{+}) et en anion (cl^{-} et So_4^{2-}) sont généralement élevé aussi dans les deux stations pendant les trois campagnes.

D'après le résultat obtenu des analyses physico-chimiques et leur influence sur la qualité de l'eau ; nous pouvons dire que les eaux de l'Oued El Rhumel sont fortement pollués par les matières organique et minérales. Cette pollution est causée par les rejets industrielle est domestique ainsi que les activités agricoles. Ce ci est confirmé par la présence d'une diversité phytoplanctonique très importante (106 taxons), ce qui contre dit les résultats précédents (Boukazoula, 2014). Un tel résultat peut causer un risque de prolifération d'algue dans les années très proches.

Concernant notre étude sur le peuplement phytoplanctonique nous avons trouvée que il y a 106 espèces existe dans la zone d'étude dont :

- Les genres les plus dominants dans la zone d'étude sont :

➢ Le genre *navicula* caractérise un milieu très sévèrement contaminé par la matière organique. La famille des Naviculaceaes caractérise les milieux eutrophies (SIAB, 2009).

➢ Le genre *Nitzschia* préfère des eaux très fortement minéralisées montrant des signes dystrophiques et est très tolérante à la pollution organique. Et l'espèce *Nitzschia palea* est considérée comme l'une des meilleures indicatrices de la pollution (Fekhaoui M et *al*., 1988).

- Le genre *Gomphonema* reflète un certain niveau de pollution organique de l'eau.

- Les genres rarement trouvée dans les deux stations sont :

- Les genres *Cocconeis* et *Achnanthes* caractérisent des cours d'eau peu perturbés, ou supportant une forte eutrophisation (SIAB, 2009).

- Les genres *Diatoma, Fragilaria,* sont souvent synonymes de bonne qualité d'eau.

- Le genre *Eunotia* généralement indicatrice de bonne qualité d'eau (SIAB, 2009).

- Les genres *Anabaena* et *Oscillatoria* sont bien connues pour produire des proliférations potentiellement toxiques en eau douce (DGSA, 2011).

- Le genre *Cymbella* tolérants à la pollution organique (Boudou A et *al*., 2007).

- Le genre *Synedra* est un autre indicateur de pollution ; elle est constamment présente dans les eaux contaminées par les rejets usés domestiques (Fekhaoui M et al., 1988).

Pour remédier à ce problème, il serait important de mieux exploiter les stations d'épuration, par une collecte des eaux usées plus maitrisée et globale, tout en bien gérant les rejets industriels et urbains, qui sans aucun doute constituent un grand danger pour les eaux de l'Oued el- Rhumel et toute la région.

Références bibliographiques

Les Références bibliographiques

1. Agence de l'eau RMC. Note Technique SDAGE N°2 – Eutrophisation des milieux aquatiques : Bilan des connaissances et stratégies de lutte. Décembre 1996

2. Agence Nationale des Ressources hydrique (ANRH), rapport., 2001.

3. Aidat A., 2008. Typologie de rapports entre la ville de constantine et son Rhumel Boumerzoug. Université Mentouri –Constantine. Mémoire de magistere. Option projet urbaine.

4. Aissaoui A., 2013. Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou. En écologie végétale appliquée et gestion de l'environnement.

5. Al-Kandari M., Al-Yamani F. Y., Al-Rifaie K., 2009. Marine Phytoplankton Atlas of Kuwait's Waters. Kuwait Institute for Scientific Research.351P.

6. Alloway B. J., 1990. The origins of heavymetal in soils, in: Alloway, B.J. (ed), Heavy metals and in the falloutfrom the urban and rural stations of the Paris area. Science of total and isomerisation of HCH in stimulatedsediment/water system. Chemosphere 35: 1887-1894.

7. Anneville O., Kaiblinger C., Tadonléké R.D., Druart J.C. et Dokulil M.T., 2008. Contribution of Long-Term Monitoring to the European Water Framework Directive Implementation. Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference. Sengupta, M. et Dalwani, R. (eds). pp 1122-1131

8. Anonyme., 2013. Célébration de la journée mondiale des zones humides.

9. Aouissi A., 2010. Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie)

10. Atrouz F., Lefilfe A., 2014. Evaluation de la qualité des eaux de l'oued Rhume (paramétres physico-chimiques et biologiques). Mémoire de master. En Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers. Centre Universitaire de Mila.

11. Azam F., Malfatti, F., 2007. Microbial Structuring of marine ecosystems. Nature Reviews Microbiology. 5 : 782-791.

12. Baize D., 2002. Les éléments traces métalliques. Edition INRA.

13. Baker D. E., Senft J. P., 1995. Copper. Heavy metals in soils. BlackieAcademic&proffesional. London (Uk). AllowayB.j Vol Chapter 8, pp. 224-243.

14. Barnaud G., Fustec E., 2007. Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ?, Quae,Educagri, 295 p.

15. Barnaud G., Coïc B., 2011. Mesures compensatoires et correctives liées à la destruction des zones humides : revue bibliographique et analyse critique des méthodes. MNHN–SPN, ONEMA, 119 p.

16. Barriuso E., Koskinen W. C., 1996. Incorporating on extractable atrazine residuesintosoil size fractions as a function of time. SoilSci. Soc. Am. J., 60, 150-157.

17. Bavard J., 2010. Etude de la mise en place d'un réseau de mesure d'évaluation des processus dystrophiques en rivières du Languedoc Roussillon. L'Université de Strasbourg. Ingénieur diplômé de l'ENGEES et du Master STUE ISIE

18. Bélamie R., Calvet R., Chassin P., 1997. i Les transferts sol-eaux des produits phytosanitaires. L'eau dans l'espace rural, Production végétale et qualité de l'eau, INRA Editions, 231-248

19. Belkhiri L., 2011. Étude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel - Est Algérien, Doctorat en Sciences Université Hadj Lakhdar BATNA. 175p.

20. Benalia N., 2005. Evaluation des teneurs en plomb des sols et de deux espèces ligneuses des bordures de l'oued Rhumel peuplier blanc (popu lus alba) et tamaris (Tamarix gallica). 3, 4p.

21. Benderradji M. L., 2000. Les milieux humides de l'extrême Nord-Est algérien de Guerbes aux confins algéro-tunisiens : Eco géographie et aménagement. Thèse d'Etat, Université Mentouri- Constantine. 497p

22. Bliefert C., Perraud R., 2001. Chimie De L'environnement: Air, Eau, Sol, Déchet. *De Boeck*. 477 p.

23. Boissonneault Y., 2009 Etats des eaux WWW.BOISSONNEAULT.CA 1.8IiiVi9.296.2682

24. Bonton J., 1993. Introduction a l'étude des eaux de douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de bissons, 2émé édition cebedoc 170v diffusion Lavoisier, Paris.

25. Boubee N., 1970. Les algues d'eau douce, algue bleues et rouges.

26. Boulton A. J., BrockM A., 1999. AustralianFreshwaterEcology, Processes and Management. GleneaglesPublishing, Australia.. Allemagne. Spinger, 247-307 pp.

27. Boudou A, Le Thi Phuong Quynh4, DANG Dinh Kim., 2007. Les communautés de diatomées du périphyton : un outil d'évaluation de la qualité des eaux dans le Fleuve Rouge et les rivières de Nhué et de Tolich (Hanoi, Vietnam)

28. Bourrelly P., 1968. Les algues d'eau douces. Initiation à la systématiques.Tome II : Algues jaunes et brunes. Ed N. Boubée et Cie.433P.

29. Bouzred F., Boutoutou A., 2005 : évaluation des paramètres physico-chimique de l'eau du barrage de Béni Haroun (W. Mila) ; mémoire en vue de l'obtention de diplôme d'ingénier d'état en écologie végétale et environnement (option : pathologie des écosystèmes) ; université de Jijel faculté des sciences pp58.

30. Bright D.I., Walsby A.E., 1999. The relationship between critical pressure and width of gas vesicles in isolates of *Planktothrix rubescens* from lake Zurich. Microbiology. 145: 2769-2775.

31. Burkart M. R., Kolpin D. W., 1993. Hydrologic and land-use factors associated with herbicides andnitrate in near-surface aquifers. J. Environ. Qual., 1993, 22, n°4, pp 646-656

32. Canter-Lund H., Lund J. W. G., 1995. Freshwater Algae: Their microscopic world explored. Biopres Limited, Bristol.

33. Carty S., 2003. Dinoflagellates. *Dans* : Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. Wehr, J.D. ET Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

34. Chaoui W., 2007. Impact De La Pollution Organique Et Chimique Des Eaux De l'Oued Seybouse Et De l'Oued Mellah Sur Les Eaux Souterraines De La Nappe Alluviale De Bouchegouf (Guelma). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. 101p.

35. Chorus I., Bartram J., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon: London. 416 p.

36. Christian N., Alain R., 2012. Déchets, effluents et pollution, impact sur l'environnement et la santé. Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-057409-4. Pp 116.

37. Colyer C. L., Kinkade C. S., Viskari P. J., Landers J. P., 2005. Analysis of cyanobacterial pigments and proteins by electrophoretic and chromatographic methods. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 382 : 559-569.

38. Coste M., Boutry F., Delmas B., De Merona., Cerdon P., 2010. Diatomées des eaux courantes du guyane.

39. Coulibaly K., 2005. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. Thèse de doctorat, Université de Bamako. 69p.

40. 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.

41. Debieche T.H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat, Université de Constantine. 46p.

42. De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., 2005 Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

43. Djama S., 2014. Caractérisation morpho-analytique des mares temporaire du Complexe Humide de Guerbès-Sanhadja (Wilaya de Skikda). Mémoire de magister En Ecologie et Environnement. Université de Jijel.

44. Djannes N., Mecherbat S., Mimech S., 2003. Contribution à l'etude de la pollution des eaux d'oued mouttas par le chrome et le manganèse issus de la tannerie de Jijel. En vue de l'obtention du diplôme universitaire d'étude appliqué en biologie.

45. Detay M., 1993. Le Forage D'eau; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. Masson. 379p.

46. Domaizon I., Viboud S., Fontvieille D., 2003. Taxon-specific and seasonal variations in flagellates grazing on heterotrophic bacteria in the oligotrophic Lake Annecy - importance of mixotrophy. FEMS Microbiology Ecology. 46 :317-329.

47. Données de l'Environnement, qualité physico-chimique et chimique des eaux de surfac : cadre général novembre 2005.

48. Farah A. S., 1991. Etude du comportement hydrochimique d'un oued en zone méditerranéenne semi– aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques : l'Oued Rhumel, Constantinois, Algérie. Thèse de Doctorat en Géologie Appliquée (Hydrogéologie). Université d'Orléans, 217 pp.

49. FekhAOui M., Hamada S., Dakki M., 1988., Fonctionnement de l'O. Sebou à l'aval de la ville de Fès: étude du peuplement d'algues benthiques.

50. François R., 2000. Dictionnaire encyclopédique de la pollution. edition internationale. Paris. 755p.

51. Groga N., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) thèse du Doctorat de l'université de Toulouse, spécialité : Ecologie Fonctionnelle, pp 224.

52. Guasmi I., Djabri I., Hani A., Lamouroux C., 2006 pollution des eaux de l' Oued Medjerda par les nutriments. Département d'hydroulique, université d'annaba, algérie.

53. Hamdi W., 2011. Qualité hygiénique et caractéristiques physicochimiques des eaux domestiques de quelques localités de la cuvette d'Ouargla. Magister en Biologie. Université KASDI MERBAH–Ouargla–107p.

54. Iglesias-Rodriguez M. D., Schofield O. M., Batley J., Medlin L. K., Hayes P. K., 2006. Intraspecific genetic diversity in the marine coccolithophore Emiliania huxleyi (Prymnesiophyceae): The use of microsatellite analysis in marine phytoplankton population studies. Journal of phycology. 42 : 526-536.

55. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des données de l'Environnement. Novembre 2005, qualité phyisco-chimique et chimique des eaux de surface : cadre générale.

56. Lavoie I., Paul B., Hamiloton S. C., Martim G., Peter J. D., 2008. Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du canada. Presses de l'université du québec.

57. JC Taylor., WR Harding., CGM Archibald., 2007. An Illustrated Guide to Some Common Diatom Species from South Africa.

58. John D. M., 1994. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de spécialité : Ecologie Fonctionnelle.

59. 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.

60. Kugrens, P., Clay B. L. 2003. Cryptomonads. *Dans* : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

61. Laouar H., djeddi H., 2001. Pollution métallique et qualité biologique par les macroinvertébrés de l'oued Rhumel dans la zone de Constantine mémoire d'ingénieur et d'état en écologie université de Constantine. 11p.

62. Le Direction générale des services agroenvironnementaux canada 2011., Identification des algues Guide de laboratoire Agriculture et Agroalimentaire Canada.

63. Louise Schriver., Mazzuoli., 2012. La gestion durable de l'eau, ressources, qualité, organisation. Dunod, paris. Pp 58- 63.

64. Mebarki A., 1982. Le bassin du kebir rhumel, ressources en eaux et aménagement en Algérie, thése doctorat 3éme cycle, université de Nancy II, 303p.qualitée de l'eau.

65. Melghit M., 2012. Qualité physico-chimique, pollution organique et métalliquedes compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel,et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Mémoire de Magistère. Université Mentouri de Constantine. pp 131.

66. Ménana H., 2010 : Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photo catalyse ; Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse ; discipline ou spécialité chimie macromoléculaire et supramoléculaire pp189.

67. Merabt S., 2010. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage reservoir de beni haroun, mémoire de Magister, Spécialité : Chimie Analytique, université mentouri de constentin, pp 88.

68. Metiche M., 2004 : Enseignant Chercheur Chargé de Cours ; Environnement : Phénomènes De Pollution Et Techniques De Protection Centre Universitaire de Béchar pp48.

69. Michard G., 2002. Chimie des eaux naturelles. Principes de géochimie des eaux. Edition publisud, 565p.

70. Ministère de développement durable, environnement et parcs., 2012. Critères de qualité de l'eau de surface. Quebec, Canada. 230p.

71. Mur L. R., Skumberg O. M., Utkilen H., 1999. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de spécialité : Ecologie Fonctionnelle.

72. Nisbet M., Verneaux J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses. Ann. De limnologie. Tome 6, n°2, 161.

73. Not F., Valentin K., Romari K., Lovejoy C., Massana R., Tobe K., Vaulot D., Medlin L. K., 2007. Picobiliphytes: A marine picoplanktonic algal group with unknown affinities to other eukaryotes. Science. 5809 :253-255.

74. 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.

75. OMS (Organisation Mondiale de la Santé)., 1989. Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants.3ème rapport du comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires, rapport technique n°776 de l'OMS. Genève (Suisse). 156p.

76. OMS 1986. Directive Pour La Qualité De L'eau De Boisson. Volume 1 (Recommandations). *Organisation Mondiale De La Santé*. 2ième édition. 211p.

77. Ott D. W., Oldham-Ott C. K., 2003. Eustigmatophyte, Raphidophyte and Tribophyte Algae. *Dans*: Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. Wehr, J.D. ET Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

78. Padisák J., Borics G., Grigorszky I., Soróczki-Pinter E., 2006. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive the assemblage index. Hydrobiologia. 553 : 1-14.

79. .Partensky F., Hess W. R., Vaulot D., 1999. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de spécialité : Ecologie Fonctionnelle

80. Prescott L. M., Harley J. P., Klein D. A., 2003. Microbiologie, 2ème édition. De boeck Université, Bruxelles.

81. Prygiel J.,Coste M., 2000. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées. NF T 90-354. 340p.

82. Ramade F., 1982 Eléments d'écologie (écologie appliquée), DULOD, Paris. qualitée de l'eau.

83. Rainey M. P., Tyler A. N., Gilvear D. J., Bryant R. G., Mc Donald P., 2003. Qualité physico-chimique, pollution organique et métalliquedes compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. le diplôme de Magistère en Ecologie en Gestion des déchets. Université Mentouri de Constantine.

84. Rejsek F., 2002. Analyse des eaux techniques et aspects réglementaires. Scérèn CRDP Aquataine. Bordeaux. 358p.

85. Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-flores L., Melo S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research. 24 417-428.

86. Rodier J., 2005. L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème édition. *Dunod.* 1383 p.

87. Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau. Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème ED. Dunod. 1383 p.

88. Rodier J., 1984 L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, 7émeédition, DULOD, Paris.

89. Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H., Rodi L., 2005. L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème Ed. Dunod.1383 p.

90. Rodier J., Legube B., Merlet N., coll., 2009. L'Analyse de l'eau.9éme Ed. Dunod.1525p.

91. Rosowski J. R., 2003. Photosynthetic Euglenoids. Dans: Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

92. Roux M., 1987. Office International De L'eau: L'analyse Biologique De L'eau. *TEC& DOC.* Paris. 229p.

93. Saadali B., 2007. Etude De La Qualité Des Eaux Des Sources Issues Du Massif Dunaire De Bouteldja (Algérie Extrême Nord Orientale). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba. 83p

94. Saez A. G., Zaldivar-Riveron A., Medlin L. K., 2008. Molecular systematics of the Pleurochrysidaceae, a family of coastal coccolithophores (Haptophyta). Journal of Plankton Research. 3: 559-566.

95. Salsamo N., Morabito G., Buzzi F., Garibaldi L., Simona M., Mosello R., 2006. Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. Hydrobiologia. 563 : 167-187.

96. Schagerl M., Donabaum K., 2003. Patterns of major photosynthetic pigments in freshwater algae. 1. Cyanoprokaryota, Rhodophyta and Cryptophyta. Annales de Limnologie.39 :35-47.

97. Solheim A. L., 2005. Reference Conditions of European Lakes. Indicators and methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference conditions. Version 5. REBECCA Working Group. 105 pp.

98. Service Technique de l'Urbanisme (STU) (1994), Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales, Paris, Lavoisier Tec&Doc.

99. Stickney HL., Hood RR., Stoecker DK., 2000. The impact of mixotrophy on planktonic marine ecosystems. Ecol. Model., 125 (2-3): 203-230.

100. Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin de l'Arc., 2009. étude du peuplement diatomique de l'ARC et de jouine.

101. Tucker C. J., Falkowski, P.G., Field, C. B., Frouin, R., Esaias, W. E., Kolber D.D., Pollack N. H., 2001. Biospheric primary production during an ENSO transition. Science. 291.

102. Vaillancourt J., guertin R., bourget A., brodeur C., 1999. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de spécialité : Ecologie Fonctionnelle.

103. Valiron F., Tabuchi J-P., 1992, Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de spécialité : Ecologie Fonctionnelle

104. Walsby A. E., 2005. Stratification by cyanobacteria in lakes: a dynamic buoyancy model indicates size limitations met by Planktothrix rubescens filaments. New Phytologist. 168: 365-376.

105. Walsby A. E., Ng, G., Dunn, C., Davis P. A., 2004. Comparison of the depth where Planktothrix rubescens stratifies and the depth where the daily insolation supports its neutral buoyancy. New Phytologist. 162 : 133-145.

106. Wetzel R. G., 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3rd Edition. Academic Press, London.

107. Zubkov M. V., Tarran G. A., 2008. High bacterivory by the smallest phytoplankton in the North Atlantic Ocean. Nature.

Annexe

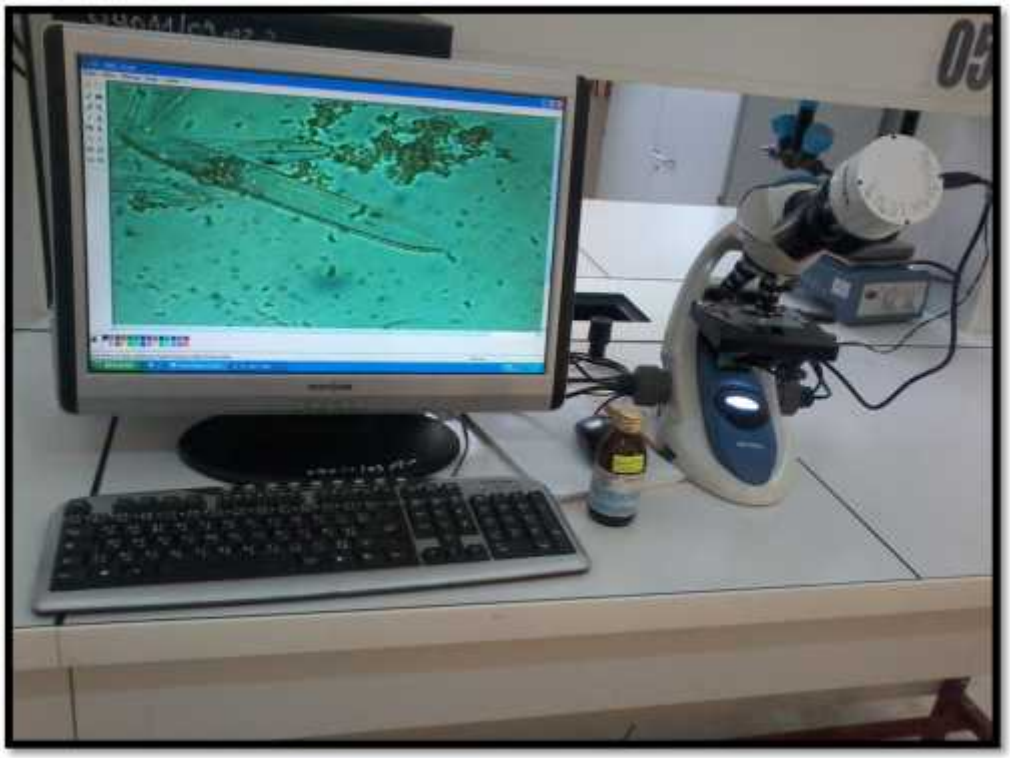
Annexes 1 : La valise multiparamètre de type Multi 3420 SET G S940-3, FDO925-3, TO925-3.

Annexe 2 : Balance de précision

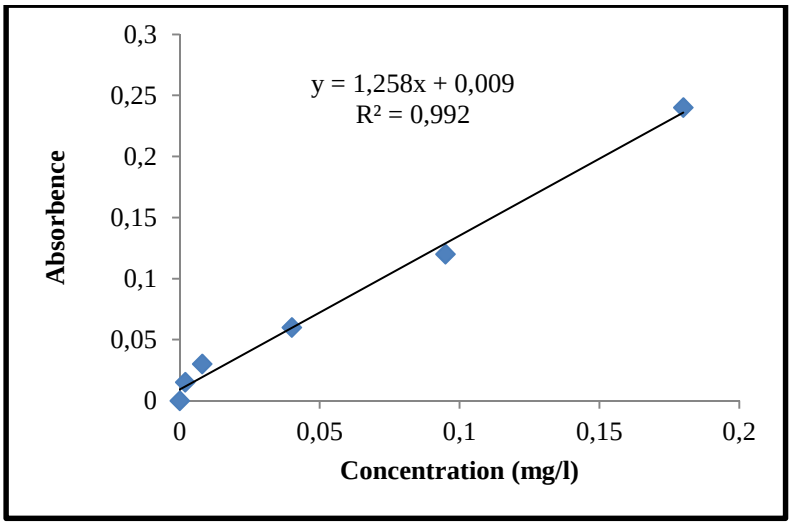
Annexe 3 : Spectrophotomètre a flamme

Annexe 4 : Spectrophotomètre

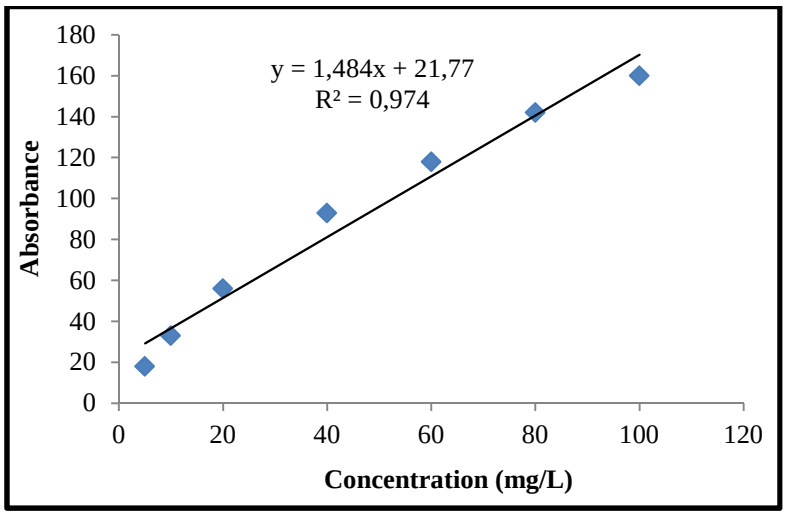
Annexe 5 : Le matériel utilisé pour l'observation microscopique des algues



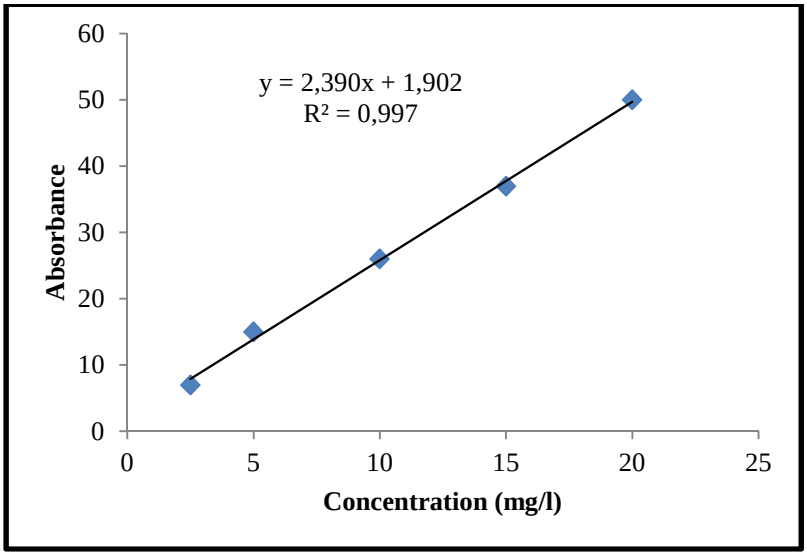
Annexe 6: La courbe d'étalonnage de phosphore P



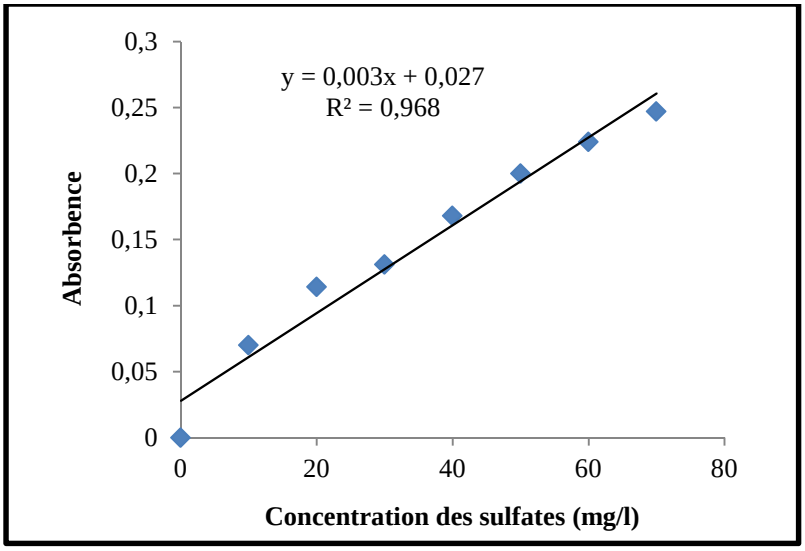
Annexe 7 : La courbe d'étalonnage de sodium Na^+



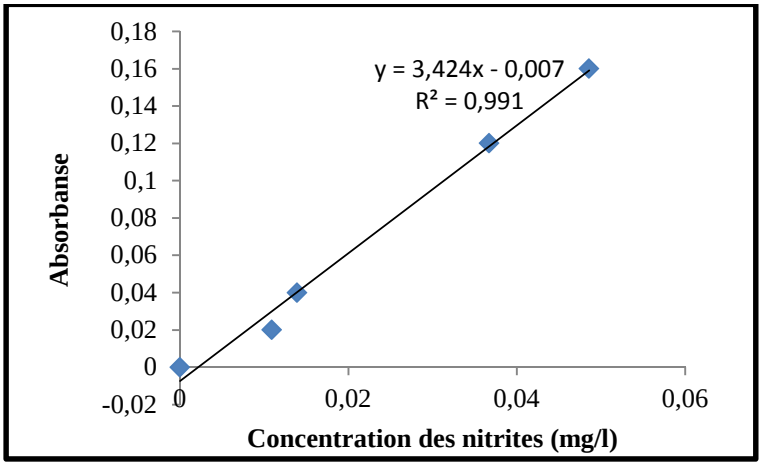
Annexe 8 : La courbe d'étalonnage de potassium K^+



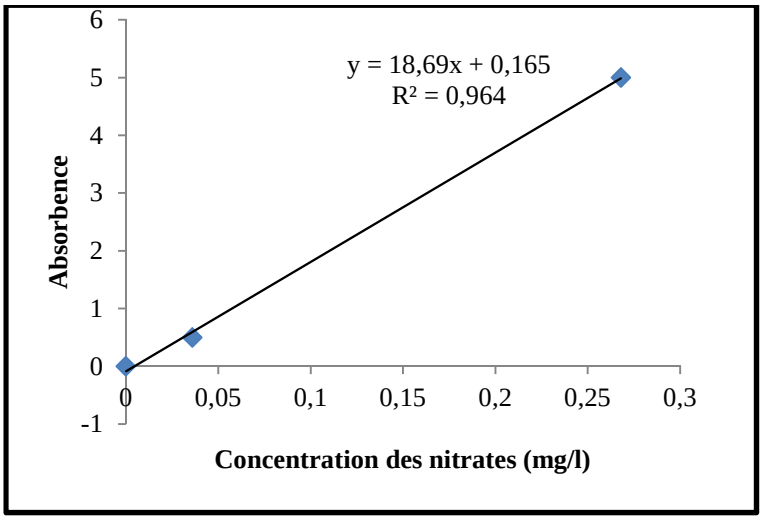
Annexe 9 : La courbe d'étalonnage de Sulfate So_4^{2-}



Annexe 10 : La courbe d'étalonnage de Nitrite No_2^-



Annexe 11 : La courbe d'étalonnage de nitrate No_3^-



Annexes 12 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de T

Modalité	Moyenne estimée(T°c)	Groupes
Avale	12,000	A
Amont	13,033	A

Annexes 13 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de pH

Modalité	Moyenne estimée(Ph)	Groupes
Amont	7,551	A
Avale	7,556	A

Annexes 14: Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de CE

Modalité	Moyenne estimée(CE mg/l)	Groupes
Amont	1544,333	A
Avale	1705,000	A

Annexes 15 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) d'O_2.d

Modalité	Moyenne estimée(O2,d)	Groupes
Avale	8,053	A
Amont	9,030	A

Annexes 16 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de TAC

Modalité	Moyenne estimée(TAC mg/l)	Groupes
Aval	286,453	A
Amont	304,467	A

Annexes 17 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de TH

Modalité	Moyenne estimée(TH mg/l)	Groupes
Avale	594,000	A
Amont	634,467	A

Annexes 18 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de Ca^{2+}

Modalité	Moyenne estimée(Ca^{2+} mg/l)	Groupes
Amont	194,303	A
Avale	195,060	A

Annexes 19 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de Mg^{2+}

Modalité	Moyenne estimée(Mg^{2+} mg/l)	Groupes
Amont	47,120	A
Avale	76,727	A

Annexes 20 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de Na^{+}

Modalité	Moyenne estimée(Na^{+} mg/l)	Groupes
Avale	135,333	A
Amont	149,333	A

Annexes 21 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de K^+

Modalité	Moyenne estimée(K^+ mg/l)	Groupes
Avale	9,000	A
Amont	10,333	A

Annexes 22 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de Cl^-

Modalité	Moyenne estimée (Cl^- mg/l)	Groupes
Avale	166,353	A
Amont	262,517	A

Annexes 23 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de No_2^-

Modalité	Moyenne estimée (No_2^- mg/l)	Groupes
Avale	0,429	A
Amont	1,042	A

Annexes 24 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de No_3^-

Modalité	Moyenne estimée (No_3^- mg/l)	Groupes
Avale	0,870	A
Amont	6,791	A

Annexes 25 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de P

Modalité	Moyenne estimée(P mg/l)	Groupes
Amont	0,285	A
Avale	0,915	A

Annexes 26 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de Po_4^{2-}

Modalité	Moyenne estimée(Po_4^{2-} mg/l)	Groupes
Amont	0,868	A
Avale	2,796	A

Annexes 27: Synthèse des comparaisons multiples par paires pour station (Bonferoni) de So_4^{2-}

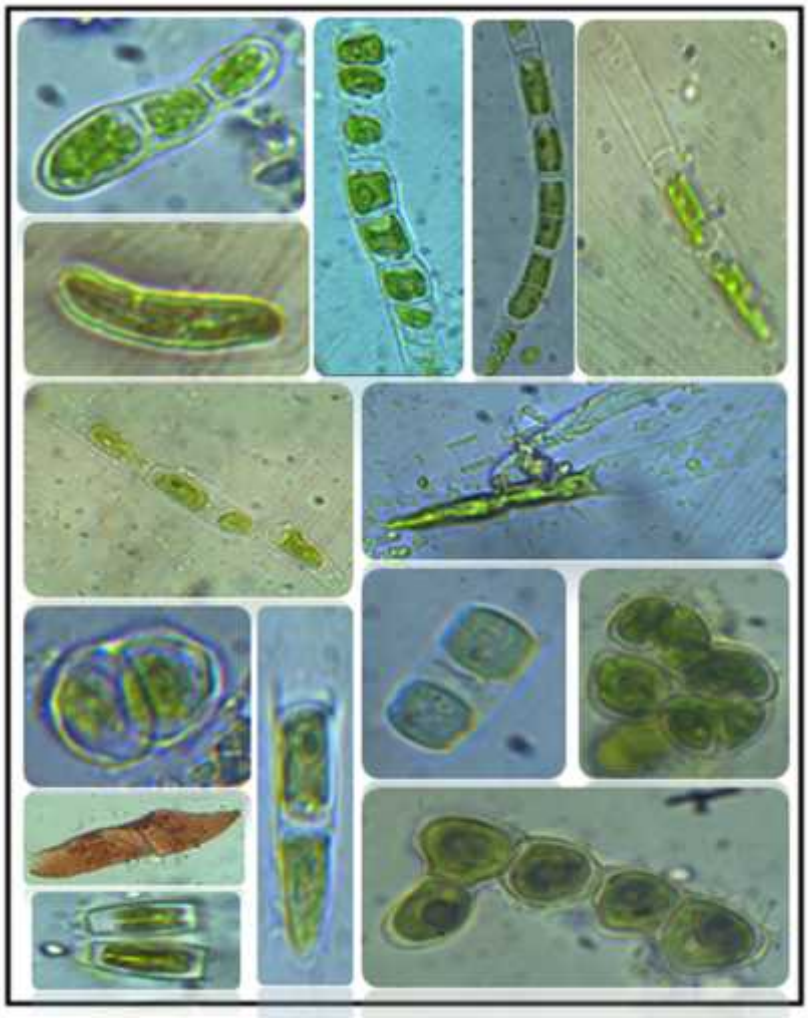
Modalité	Moyenne estimée(So_4^{2-} mg/l)	Groupes
avale	96,993	A
amont	120,060	A

Annexes 28: Analyse de la variance des paramètres physico-chimiques entre amont et avale

Station	T °C	pH	CE mg/l	O_2 d	TAC mg/l	TH mg/l	Ca^{2+} mg/l
Amont	13,033 a a	7,551 a a	1544,333 a a	9,030 a a	304,467 a a	634,467 a a	194,303 a a
Avale	12,000 a a	7,556 a a	1705,000 a a	8,053 a a	286,453 a a	594,000 a a	195,060 a a
Pr > F	0,887	0,990	0,747	0,536	0,851	0,594	0,995
Significatif	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Mg^{2+} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Cl^- mg/l	No^{2-} mg/l	No^{3-} mg/l	P mg/l	Po_4^{2-} mg/l	So_4^{2-} mg/l
47,120 a a	149,333 a a	10,333 a a	262,517 a a	1,042 a a	6,791 a a	0,285 a a	0,868 a a	120,060 a a
76,727 a a	135,333 a a	9,000 a a	166,353 a a	0,429 a a	0,870 a a	0,915 a a	2,796 a a	96,993 a a
0,386	0,195	0,598	0,590	0,420	0,434	0,332	0,331	0,649
Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Annexes 29 : Quelques espèces anonymes du phytoplancton



Abstract

The present study is a physicochemical quality assessment of the waters of the Oued Rhumel, through the analysis of 17 physicochemical parameters and their influence on the growth of algae.

Three sampling campaigns waters of this wadi, were conducted at two study sites (upstream and downstream) during the month of October of 2014, January and March of 2015.

This contribution is divided into two main parts. The first part was the subject of a series of physico-chemical analysis of water compartment. The second is devoted to the study of the biotic environment by identifying algal biomass colonizing this stream (diatoms as bio-indicators of water quality).

The results obtained show that all the physico-chemical parameters disclosed organic pollution with significant mineralization, it is recognized with high levels of alkalinity, the mean value is 295.46 mg / l. The hardness, magnesium, sodium, sulfate, respectively have the following average values (614.33, 61.92, 142.33 and 108.52 mg / l) and a content of dissolved oxygen is (8.54 mg / l) than the norm, with phosphorus average of 0.60 mg / l. and a slightly alkaline pH, the mean value is 7.55.

Among the different species of phytoplankton Oued el Rhumel the diatoms group is the most abundant. In general usage, diatoms are the most appropriate biological indicators to monitor water quality.

The genera Navicula, Nitzschia Gomphonema and are most abundant in the upstream station and downs of this river during the two sampling campaigns. In general the two stations are high in algal biomass. This important diversity is related to high nutrient levels.

In the end, we find that the Oued Rhumel is sowing to organic and inorganic pollution risk of algae proliferation in the future.

Keywords: the physicochemical quality, diatom, species phytoplankton, indicators.

تلخيص

قمنا بهذه الدراسة من اجل تقييم تأثير المعايير الفيزيائية والكيميائية (17 معيار) على تطور الكتلة الحيوية للطحالب في واد الرمال.

ثلاثة خرجات علمية قمنا بها لإحضار العينات من المحطتين في أعلى النهر و أسفله من واد الرمال في شهر أكتوبر 2014, جانفي و مارس 2015 بولايتي ميلة و قسنطينة.

وتنقسم هذه المساهمة إلى قسمين رئيسيين. الجزء الأول من الموضوع هو سلسلة من التحليلات الفيزيائية والكيميائية للماء. ويخصص الثاني لدراسة البيئة الحيوية عن طريق تحديد الكتلة الحيوية للطحالب المستعمرة لهذا التيار (diatomée كمؤشرات بيولوجية نوعية المياه).

وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن جميع المعايير الفيزيائية والكيميائية تبين وجود تلوث عضوي مع تمعدن كبير، فمن المسلم به وجود مستويات عالية من القلوية، والقيمة المتوسطة هي 295.46 ملغ / لتر. الصلابة والمغنيسيوم والصوديوم والكبريتات، لديها متوسط القيم التالية على التوالي (614.33، 61.92، 142.33 و108.52 ملغ/ لتر) ومحتوى الأكسجين المذاب (8.54 ملغ / لتر) اكبر من المعتاد، مع متوسط الفسفور 0.60 ملغ/ ل. ودرجة الحموضة القلوية قليلة، والقيمة المتوسطة هي 7.55.

ومن بين الأنواع المختلفة من العوالق النباتية في Oued El Rhumel مجموعة diatomée هي الأكثر وفرة. في الاستخدام العام،les diatomée هي المؤشرات البيولوجية الأكثر ملائمة لتحديد نوعية المياه.

الأجناس navicula، Nitzschia وGomphonema هي الأكثر وفرة في محطة المنبع وهبوطا من هذا النهر خلال حملتي أخذ العينات. عموما المحطتين على نسبة عالية من الكتلة الحيوية للطحالب. ويرتبط هذا التنوع المهم بمستويات المواد الغذائية العالية.

في النهاية، نجد أن واد Rhumel خاضع إلى مخاطر التلوث والعضوي المعدني من انتشار الطحالب في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: تلوث المياه، العناصر الغذائية، انتشار الطحالب.

Nom : Boulmis / Laouar
Prénom : Naziha / Fayza

Date de soutenance
04/06/2015

Titre

La variabilité saisonnière du phtoplancton d'un cours d'eau : cas de l'Oued Rhumel

Diplôme de Master en Biologie Appliqué et Environnement
Option : Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers

Résumé

La présente étude est une évaluation de la qualité physicochimique des eaux de l'Oued du Rhumel, à travers l'analyse de 17 paramètres physicochimique et leur influence sur la prolifération des algues.

Trois campagnes de prélèvement des eaux de cet Oued, ont été effectuées au niveau de deux stations d'étude (amont et avale) durant le mois d'octobre de l'année 2014, janvier et mars de l'année 2015.

Cette contribution est divisée en deux grandes parties. La première partie à fait l'objet d'une série d'analyse physico-chimiques du compartiment eau. La deuxième est consacrée à l'étude du milieu biotique par une identification de la biomasse algale colonisant ce cours d'eau (les diatomées comme des bioindicateurs de la qualité des eaux).

Les résultats obtenus montrent que l'ensemble des paramètres physico-chimique ont révélés une pollution organique avec une importante minéralisation, ce ci est comptabilisé avec des teneurs élevées en alcalinité dont la valeur moyenne est de 295.46 mg/l. La dureté, le magnésium, le sodium, le sulfate, présentent respectivement les valeurs moyennes suivantes (614.33, 61.92, 142.33 et 108.52 mg/l) et une teneur on oxygène dissous (8.54 mg/l) supérieur à la norme, le phosphore avec moyenne de 0.60 mg/l. et un pH légèrement alcalin dont la valeur moyenne est 7.55.

Parmi les différentes espèces phytoplanctonique de l'Oued el Rhumel le groupe des diatomées est le plus abondant. Dans l'usage général, les diatomées sont des bioindicateurs les plus appropriées pour contrôler la qualité des eaux.

Les genres *Navicula*, *Nitzschia* et *Gomphonema* sont les plus abondants dans la station amont et avale de ce cours d'eau durant les deux campagnes de prélèvement. En général les deux stations sont riches en biomasse algale. Cette diversité importante est en relation avec les teneurs élevés en éléments nutritifs.

En fin, nous trouvons que l'Oued Rhumel est semis à une pollution organique et minérale par un risque de prolifération d'algue dans la venir.

Mots clés : Pollution des eaux, Eléments nutritifs, Diatomées, Phytoplancton, Eutrophisation.

Promoteur : Melle. KHERIEF N Saliha.