

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

Université de BLIDA 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie et Physiologie Cellulaire

Filière : Hydrobiologie Marine et Continentale

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

Option : Eau, Environnement et Santé Publique

Thème

Etude physico-chimique et biologique des eaux
du barrage de BOUKOURDANE (TIPAZA).

Soutenu par : BOUTAHRAOUI IMENE

le 07 /10/2017

Devant le jury composé de:

M^{me} CHAICHI W.

MAA UB 01

Présidente

M^{me} BELMESKINE H.

MCB UB 01

Examinatrice

M^{me} RADJ N.

MAA UB 01

Promotrice

M^{me} MESBAIAH F.

M.R CNRDPA

Co-promotrice

Année universitaire 2016- 2017

Dédicace

Je remercie Dieu le Généreux pour m'avoir donné le courage et de m'avoir aidé à surmonter tous les obstacles pour mener ce travail à terme.

A la mémoire de méma Oum EL Khir qui m'a soutenue par ses prières et ses bénédictions, qu'elle repose en paix.

Je dédie affectueusement ce mémoire:

à ceux qui m'ont données la vie après Dieu, a la lumière de ma vie et ma raison de vivre, ma chère mère et mon cher père, qui m'ont toujours encouragé, conseillé et guidé vers le droit chemin et accordé une confiance énorme.

«Mama, Abi vous êtes les meilleurs parents au monde, merci d'être toujours à mes côtés et de m'avoir aimé telle que je suis, je ne pourrai jamais vous remercier assez, je vous aime énormément et je vous aimerai jusqu'à la fin de mes jours. »

A mes deux sœurs, Bouchera et Nada.

A mon unique frère Moussa.

A mon fiancé Rami, l'Homme de ma vie, qui m'a emmené au sommet et qui m'a aidé à surmonter avec courage toutes les difficultés et les obstacles rencontrées durant mes études, en suivant ses directives et ses conseils.

A mon amie et ma sœur Hadjer qui m'a soutenue durant les moments difficiles de ma vie.

Au groupe ISSH (Sarah, Selma et Hadjer) pour leurs bons moments et leur fidélité.

A khalo Mohamed qui est considéré comme un père et d'avoir été à mes cotés pendant la période de stage.

A khalo El Hadj ainsi que sa petite famille.

A mes tantes Nacera, Lalia, Lila, Khaddidja, Farida, Amina et amtou Messeouda qui m'ont considérée toujours comme leur fille.

A ma cousine Fatma qui a remplacé ma mère durant son absence.

A yema Khatima, baba Hamide, baba Aliouette et mama Samira qui m'ont accordé une place dans leur honorable et affectueuse famille.

Aux frères et sœurs Mohamed, Rania et Leila

A mon cousin Rafik et sa femme imene

A mon cousin Koukou.

A mon amie Fati ainsi que ses parents de m'avoir accueillie au sein de leur chaleureuse maison.

A amo Hassan et Bilel pour leur disponibilité.

A tous les amis du lycée, surtout Naima, et Karima.

A Mme RADI N. qui est considérée comme une grande sœur avant qu'elle soit une promotrice.

A toute la promotion Eau, environnement et santé publique, Rachid, Fati, Zina et Amira pour leur aide et générosité.

À toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Imene

Remerciements

Au terme de ce travail qui a été réalisé sous la direction de Madame RADJ N., maitre assistante à l'université de Blida 01. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour m'avoir encadré pendant la durée de cette étude, pour la confiance qu'elle m'a accordée, pour ses remarques pertinentes et son soutien moral lors de la rédaction de ce manuscrit.

Je tiens à remercier ma co-promotrice au niveau de CNRDPA Mme MESBAIH.F pour son aide et sa présence.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur MOURSLI E. H., Monsieur BOUDJNAH M. et Monsieur AMIROUCHE A. pour leur aide précieuse et leur disponibilité.

A Madame EL HOUATI H. je tiens à la remercier chaleureusement pour m'avoir consacré de son temps précieux et mis à ma disposition tout son savoir scientifique afin d'identifier les espèces phytoplanctoniques.

Au pêcheur Fateh qui était disponible dans toutes les sorties.

A tous les membres du CNRDPA (Salah et Amina), de la STEP (Rafika) et de la SEAAL de Koléa (Mme SALMI L.) pour leur disponibilité, leurs conseils scientifiques et leur sympathie.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury : Madame CHAICHI W (MAA). qui a bien voulu être présidente et Madame BELMESKINE H (MCB) pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, ma profonde reconnaissance va à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Notre étude vise à évaluer la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de surface de l'écosystème aquatique « Barrage de Boukourdane » sis à la Wilaya de Tipaza ainsi qu'à sa caractérisation phytoplanctonique.

Dis neuf paramètres physicochimiques ont été analysés à savoir la température, le pH, la salinité, la conductivité, l'oxygène dissous, la transparence, la DBO5, la DCO, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Fe_2^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} . Quant aux paramètres bactériologiques, il s'agit de la recherche des coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux. De plus, une étude qualitative et quantitative du peuplement phytoplanctonique a été réalisée.

Les résultats de l'analyse physicochimique révèlent une bonne à excellente qualité des eaux étudiées à l'exception de deux paramètres à savoir la température et les nitrites (JORA 2011). Concernant les analyses bactériologiques, les valeurs obtenues montrent une faible présence des germes recherchés.

L'étude phytoplanctonique a permis le recensement de 98 espèces phytoplanctoniques avec abondance de deux classes, les Diatomées avec 42% et les chlorophycées avec 40%. L'espèce la plus abondante est *cf Cosmarium* appartenant à la classe des Chlorophycées avec une densité maximale de $13,6 \cdot 10^8$ algues/l.

Mots clés : Eau, barrage, Boukourdane, Phytoplancton, qualité physicochimique, qualité bactériologique.

Our study aims at evaluating the physicochemical and bacteriological quality of surface water of the aquatic ecosystem 'Boukourdane dam', located in the wilaya of Tipaza, and its phytoplanktonic characterization.

Nineteen physicochemical parameters have been analyzed including temperature, the pH, the salinity, the conductivity, the dissolved oxygen, the transparency, the BOD5, the COD, NO_3 , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Fe_2^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} . Concerning the bacteriological parameters, it's the research of total and fecal coliforms, in addition to fecal streptococcus. Furthermore, a qualitative and quantitative study of the phytoplanktonic stand has been realized.

The results of the physicochemical analysis reveal a good to excellent quality of the studied water except two parameters which are temperature and nitrites. As far as the bacteriological analysis is concerned, the obtained values indicate a weak presence of the searched germs.

The phytoplanktonic study has allowed the census of 98 phytoplanktonic species with abundance of two classes, the Diatoms with 42% and the Chlorophyceae with 40%. The most abundant species is *cf Cosmarium* belonging to the chlorophyceae class with a maximum density of $13,6 \cdot 10^8$ algae/l

Key words : water, Boukourdane, phytoplankton, physical quality, bacteriological quality.

تهدف دراستنا إلى تقييم نوعية المياه السطحية الخاصة بالنظام البيئي المائي 'سد بوكردان' الواقع بولاية تيبازة، وذلك من الناحية الفيزيوكيميائية والجرثومية.

تم تحليل تسعة عشر معيار فيزيوكيميائي متمثلة في: الحرارة، درجة الحموضة، الملوحة، الناقلية، الأوكسجين المذاب، الشفافية، طلب الأوكسجين الكيميائي (ط.أ.ك)، طلب الأوكسجين البيوكيميائي (ط.أ.ب)، SO_4^- ، NO_3^- ، NO_2^- ، NH_4^+ ، PO_4^{3-} ، HCO_3^- ، Cl^- ، Fe_2^+ ، Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، بالنسبة للمعايير الجرثومية، الهدف هو البحث عن الكوليفور الكلي والجزئي، السبحية البرازية، إضافة إلى دراسة نوعية وكمية مستوطنات العوالق النباتية.

تشير نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية إلى نوعية مياه جيدة إلى ممتازة لكل المعايير ماعدا إثنين، هما الحرارة والنتريت. بالنسبة للتحاليل الجرثومية، تبين القيم، وجود ضعيف للجراثيم المستهدفة من البحث.

أتاحت دراسة العوالق النباتية إحصاء 98 نوع، مع وفرة قسمين منها: الطحالب بنسبة 42% والأشنيات الخضراء بـ 40%، النوع الأكثر كثافة هو *Cosmarium* cf الذي ينتمي إلى قسم الأشنيات الخضراء مع كثافة قصوى مقدرة بـ: $13,6 * 10^6$ طحلب/ لتر .

الكلمات المفتاحية: المياه , بوكوردان , العوالق النباتية , الجودة الفيزيائية , الجودة البكتريولوجية.

*Dédicace**Remerciements**Résumé**Liste des tableaux**Liste des figures**Liste des abréviations*

Introduction.....01

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralité sur l'eau.....02

I.1.1. Eaux douces02

I.1.2. Pollution de l'eau.....04

I.1.3. Principaux paramètres de qualité des eaux.....04

I.2. Présentation de la zone d'étude.....10

I.2.1. Situation géographique.....10

I.2.2. Bassin versant.....11

I.2.3. Caractéristiques morpho-métriques du barrage.....12

I.2.4. Synthèse climatique.....13

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1. Matériel17

II.2. Méthodes17

II.2.1. Conditionnement des moyens de prélèvement17

II.2.2. Choix du matériel de prélèvement17

II.2.3. Conservation18

II.2.4. Choix des sites 18

II.2.5. Prélèvement et échantillonnage20

II.2.6. Méthodes d'analyses physico-chimiques21

II.2.6.1. Paramètres *in situ*21

II.2.6.2. Paramètres mesurés au laboratoire22

II.2.7. Paramètres bactériologiques30

II.2.8. Etude du phytoplancton.....32

Chapitre III : Résultats et interprétation

III.1. Paramètres physico-chimiques mesurés in situ et au laboratoire	35
III.2. Estimation de la qualité chimique des eaux de surfaces du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015).....	51
III.3. Résultats des analyses bactériologiques	56
III.4. Analyse du peuplement planctonique	58
Conclusion	68
Références Bibliographiques.	

Tableau I : Données morphométriques du barrage Boukourdane (ANBT, 2017).	12
Tableau II : Caractéristiques des différentes stations	18
Tableau III : Valeurs caractéristiques du rapport R	24
Tableau IV : Valeur de la salinité des eaux de surface du barrage Boukourdane.....	38
Tableau V : Classification des eaux selon la salinité (Chevallier, 2007).....	38
Tableau.VI : Estimation temporelle de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)..	52
Tableau VII: Estimation spatiale de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015).....	53
Tableau VIII. : Estimation globale moyenne de la qualité des eaux de surface du barrage en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015).....	54

Figure.1 : Coupe schématique d'un barrage.....	04
Figure.2 : Barrage de Boukourdane (2017).....	10
Figure.3 : la situation géographique du barrage Boukourdane.....	11
Figure.4 : Localisation géographique du bassin versant du site du barrage de Boukourdane (A.N.B., 1994).....	12
Figure.5 : Station météorologique du barrage Boukourdane (2017).....	13
Figure. 6 : variation des précipitations mensuelles moyennes (SMBB, 2017).....	14
Figure.7 : variation des moyennes mensuelles de température (SMBB, 2017).....	14
Figure. 8 : Insertion du site de barrage de Boukourdane sur le climagrammepluviothermique d'Emberger.....	15
Figure.9 : Diagramme ombrothermique du barrage de Boukourdane entre 2006-2016. (SMBB,2017).....	16
Figure.10 : Localisation géographique des 5 stations de prélèvement au sein du barrage de Boukourdane.....	20
Figure.11 : Stations de prélèvement au niveau du barrage de Boukourdane (2017).....	20
Figure 12 : Evolution spatio-temporelle de la température des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	35
Figure.13 : Evolution spatio-temporelle du potentiel d'Hydrogène des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	36
Figure.14 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	37
Figure.15 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en oxygène dissous des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	39
Figure.16 : Evolution spatio-temporelle de la transparence des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	40
Figure.17 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en matières en suspension des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	41

Figure.18 : Evolution spatio-temporelle de la DCO des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	42
Figure.19 : Evolution spatio-temporelle de la DBO5 des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	43
Figure.20 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en nitrates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	44
Figure.21 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en nitrites (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	45
Figure.22 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en ammonium (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	45
Figure.23 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sulfates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	46
Figure.24 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en phosphates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	47
Figure.25 : Evolution spatio-temporelle de teneur en calcium (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	48
Figure.26 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en magnésium (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	49
Figure.27 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en bicarbonates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	49
Figure.28 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en chlorures (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	50
Figure .29 : Analyse en composante principale des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	55
Figure.30 : Evolution spatiale moyenne de la charge en coliformes totaux dans les eaux de surface du barrage de Boukourdane.30.....	56

Figure.31 : Variation spatio-temporelle de la charge moyenne en coliformes fécaux au niveau des eaux du barrage Boukourdane.....	57
Figure.32 : Variation spatio-temporelle de la charge moyenne en streptocoques fécaux au niveau des eaux du barrage de Boukourdane.....	57
Figure.33 : Composition taxonomique du phytoplancton des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	59
Figure.34.a. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Diatomées.....	60
Figure.34.b. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Cyanophycées.....	60
Figure.34.c. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Chlorophycées.....	61
Figure.34.d. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Dinophycées.....	61
Figure.34.e. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Euglénophycées.....	62
Figure.34.f. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Cryptophycées.....	62
Figure.35 : Evolution temporelle de la composition du compartiment algal en fonction de la densité des 6 groupes phytoplanctoniques au niveau des eaux de surfaces du barrage de Boukourdane.....	64
Figure.36 : Evolution temporelle de la densité algale des 6 groupes phytoplanctoniques au sein des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	65
Figure.37 : Variation spatiale de l'indice de Shannon et de la diversité spécifique.....	66
Figure.38 : Variation spatiale de l'équitabilité et de l'indice de Shannon.....	66
Figure.39 : Diagramme des rangs-fréquences (D.R.F) du compartiment algal des eaux de surface du barrage de Boukourdane.....	67

AEP : Alimentation en Eau Potable

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

CNRDPA : Centre Nationale de la Reproduction et du Développement de la Pêche et l'Aquiculture

Cond : Conductivité

MES : Matière en suspension

S : Station

SAA : Sécurisation d'Alimentation d'Alger en eau potable

Sal : Salinité

SMBB : Station Météorologique du Barrage Boukerdane.

Trans : Transparence

CT : Coliformes Totaux

CF : Coliformes Fécaux

STP : Streptocoques Fécaux



Introduction

L'eau est un élément naturel indispensable à la vie. C'est une richesse et une condition sine qua non à l'existence de l'homme, c'est aussi un patrimoine précieux d'une nation. Bien que l'eau recouvre 72 % de la surface terrestre, l'eau douce ne représente qu'une proportion très infime de ce volume.

En raison de la croissance incessante des besoins en eau douce qui dépassent les ressources naturelles conventionnelles en Algérie, la mobilisation des eaux superficielles reste l'une des préoccupations capitales des pouvoirs publics. En effet un programme de construction de barrages a été lancé dès les années quatre-vingts. Cependant la qualité des eaux est extrêmement variable et dépend de différents facteurs. Raison pour laquelle l'ANRH a établi une grille de classification de la qualité des eaux superficielles et veille à la surveillance de la qualité des eaux notamment de surface. **(ANRH, 2012)**.

Outre leur rôle de réservoir et d'approvisionnement des stations d'épuration par les eaux destinées à la production de l'eau potable destinée à la consommation humaine, les barrages servent à des fins touristiques comme parcs de détente et loisirs, aussi qu'à l'agriculture comme bassin d'élevage de poissons et d'irrigation des terres cultivées.

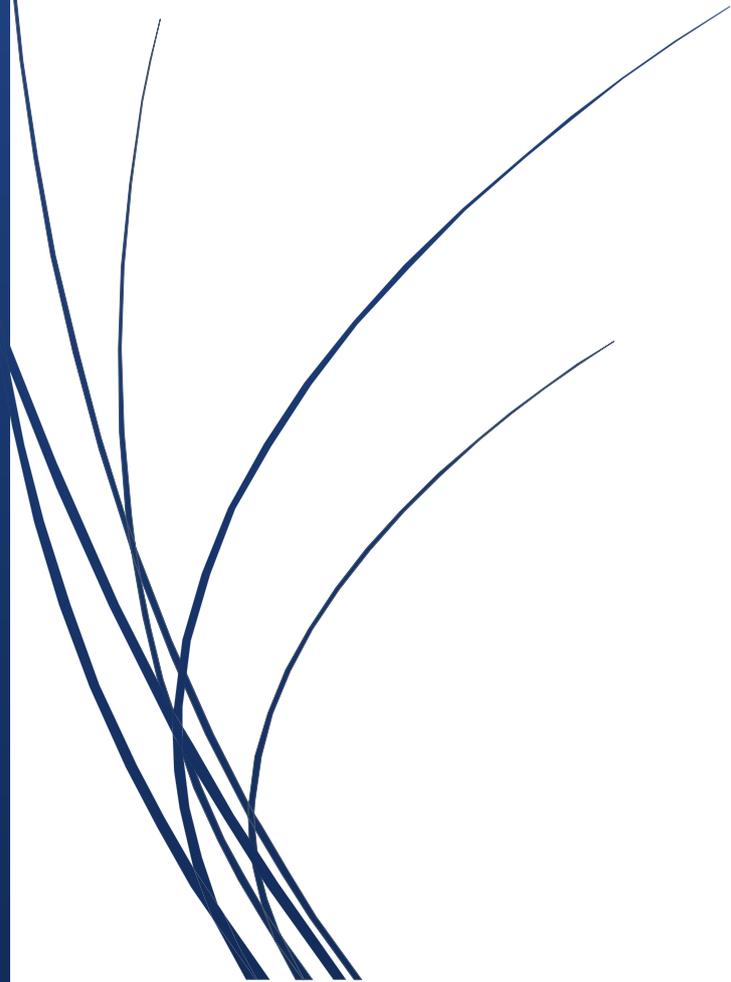
Toutefois, la qualité des eaux reste toujours une préoccupation majeure de l'opinion publique. Il existe de nombreux paramètres qui permettent d'estimer la qualité de l'eau à travers des indicateurs de la charge polluante.

Nous nous sommes intéressés dans notre présent travail à l'évaluation de la qualité des eaux de l'un des 65 barrages opérationnels en Algérie. **(ANRH, 2012)** ; Il s'agit bien du barrage de Boukourdane sis à la wilaya de Tipaza.

L'objectif de notre travail est le suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la qualité physicochimique, bactériologique et phytoplanctonique des eaux du barrage de Boukourdane pendant cinq mois allant du mois de mars au mois de juillet de l'année en cours au sein de cinq stations choisies au niveau dudit barrage.

Notre étude sera structurée en trois chapitres, commençant par un rappel bibliographique relatif à la qualité des eaux superficielles et la description de la zone d'étude, puis présentation du matériel d'étude et les méthodes de prélèvement et d'analyses mises en œuvre. A la fin les résultats et leurs interprétations constitueront le dernier chapitre.

Synthèse bibliographique



I.1. Généralité sur l'eau

L'eau recouvre 72 % de la surface terrestre et représente une réserve totale de 1350 milliard de m³ dans la biosphère. Cependant, l'eau se trouve en constant recyclage. L'eau douce ne représente que 2,5 % du stock total d'eau sur la planète ; or deux tiers de l'eau douce planétaire est concentrée dans les glaciers et la couverture neigeuse et un tiers dans les nappes souterraines difficiles d'accès. Il ne reste que 0,3 % de l'eau douce (soit 0,007 % de la totalité de l'eau de la planète) dans les rivières, les ruisseaux, les réservoirs et les lacs. Seule cette infime partie est aisément disponible et se renouvelle relativement rapide : 16 jours en moyenne pour une rivière, 17 ans pour un lac (**Mebarki, 2005**).

I.1.1. Eaux douces

Il existe deux types d'eaux douces qui sont les eaux souterraines et les eaux de surface

I.1.1.1. Eaux souterraines

Ce sont les eaux des nappes phréatiques qui correspondent à 22 % des réserves d'eaux douces. Leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure du sol. Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de pollution (**Mebarki, 1982**).

I.1.1.2. Eaux de surface

Les eaux de surface se répartissent en eaux véhiculées par les cours d'eau, ou contenues dans les lacs, ou maintenues derrière les barrages réservoirs. Elles ont pour origine ; soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit des rassemblements des eaux de ruissellement. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains, elle est donc généralement riches en gaz dissous, en matière en suspension et en matière organique ainsi qu'en plancton. (**Ministère du développement durable, environnement et parcs. 2012**).

Les eaux de surface sont exposées à toute sorte de pollution. Elles contiennent des matières en suspension, des micro-organismes provenant du sol, des déchets domestiques et industriels. De la façon dont sont réparties ces eaux dans la nature, on peut distinguer aisément :

- **Eaux de rivières** : qui peuvent être subdivisées en deux parties : la partie amont et la partie aval. Les eaux de rivière de partie amont sont souvent situées dans des régions

montagneuses et sont caractérisées par des températures froides, une contamination bactérienne faible, une turbidité élevée car elle transporte une grande quantité de matière en suspension. La partie aval, généralement située dans une région à forte population et agriculture développée, se caractérise par une contamination bactérienne élevée, une pollution organique et inorganique élevée (**Degrémont, 2005**).

- **Eaux de lac :** un lac est considéré comme un bassin de décantation naturelle. La turbidité de ces eaux est faible et la contamination est peu importante. Les caractéristiques des eaux de lac varient très lentement au cours de l'année, à l'exception de deux courtes périodes au printemps et à l'automne. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux de lac et augmenter ainsi brusquement la turbidité (**Degrémont, 2005**).
- **Eaux de barrage :** Un barrage est une étendue d'eau plus ou moins profonde dont la rétention des eaux est due à l'existence d'une contre-pente qui peut se remplir par ruissellement (ou par des apports d'eaux de sources), et qui ne subit pas l'influence des mers et des océans. La composition des eaux tient à la nature géologique des terrains du bassin versant et à celle du fond de la retenue. Elle subit des variations grâce au régime des vents par agitation de l'eau ; aux pluies qui amènent surtout des matières en suspension et à la température qui règle les cycles de circulation de la masse d'eau (**Degrémont, 2005**).

La surface des barrages est en contact avec l'atmosphère et possède une température sensiblement identique. Les parties les plus profondes sont occupées par de l'eau à une densité supérieure à celle de la surface. Si l'on effectue des mesures de température en fonction de la profondeur, on trouve une zone où la température décroît faiblement, une zone dite de saut thermique où la température baisse rapidement en quelques mètres et une zone profonde au sein de laquelle la température décroît plus lentement et atteint 4°C si le barrage est assez profond.

En effet, un relevé au niveau du barrage (**figure.1**) met en évidence la répartition d'eau en trois zones ou couches à comportement très distinct :

- **Zone supérieure ou épilimnion,** aérée, reçoit de la lumière et réchauffée en été, elle est le siège d'une vie intense. Les algues vertes qui y prolifèrent consomment le CO₂ dissous et rejettent de l'oxygène O₂ (assimilation chlorophyllienne).

- **Zone de transition ou mésolimnion** ; la teneur en oxygène dissous décroît du haut vers le bas de cette zone. Les espèces vivantes aérobies disparaissent progressivement au profit d'autres moins exigeantes et/ou strictement anaérobies.
- **Zone profonde ou hypolimnion**, totalement dépourvue d'oxygène, cette zone est le siège de fermentations anaérobies. Certaines bactéries libèrent de l'hydrogène sulfuré (H_2S), d'autres du méthane (CH_4) en décomposant les végétaux morts qui s'accumulent sur le fond. Ces fermentations permettent la solubilisation des minéraux qui constituent le fond du barrage (**Degrémont,2005**).

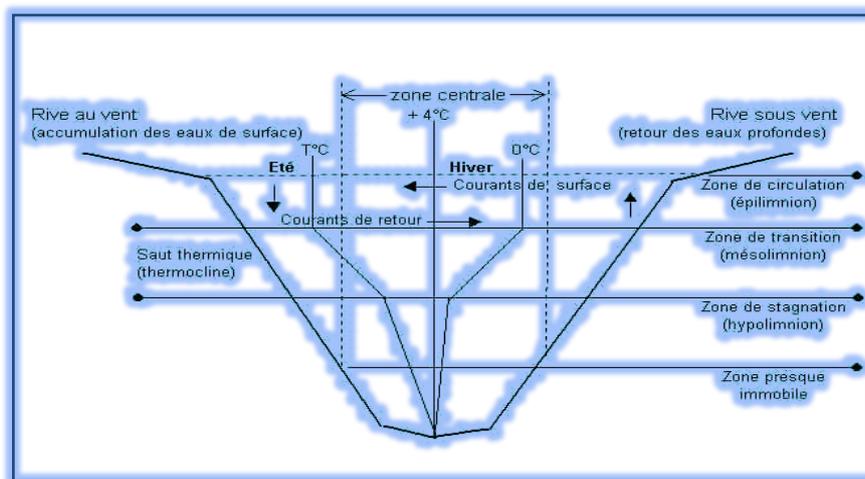


Figure.1 : Coupe schématique d'un barrage. (Degrémont, 2005)

I.1.2. Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement. Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes de substances plus ou moins toxiques, d'origine naturelle ou issue d'activités anthropiques.

L'activité humaine, qu'elle soit industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature qui sont à l'origine de différents types de pollution qui peuvent être permanente, périodique ou encore accidentelle ou aiguë, à la suite du déversement intempestif des produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou de lessivage des sols urbains lors de fortes pluies (**lévêque, 1996**).

I.1.3. Principaux paramètres de qualité des eaux

La qualité de l'eau s'évalue via différents paramètres et selon différentes méthodes et les principaux paramètres sont :

I.1.3.1. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physicochimiques généralement mesurés pour déterminer la qualité des eaux de surfaces sont principalement : la température, la salinité, le potentiel d'Hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), l'Oxygène dissous, la demande chimique en Oxygène (DCO), la demande biochimique en Oxygène (DBO), les matières en suspension (MES), la dureté de l'eau (ou titre hydrométrique), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), l'ammonium (NH_4^+), les ortho-phosphate (PO_4^{3-}), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), les sulfates (SO_4^{2-}), les chlorures (Cl^-) et les bicarbonate (HCO_3^-).

I.1.3.2. Paramètres microbiologiques

L'analyse microbiologique a pour objectif la recherche des micro-organismes dangereux dans l'eau. En effet, l'origine des contaminations par les bactéries pathogènes sont essentiellement fécale et ces organismes sont par conséquent des indicateurs de contamination fécale. Les principaux germes indicateurs de ce type de contamination sont :

I.1.3.2.1. Coliformes totaux (CT)

Les coliformes sont des batonnets, anaérobies facultatifs, Gram-, non sporulant permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C (OMS, 1979). Les coliformes regroupent les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia* et *Serratia* (Rodier et al., 1996 ; Joly et Reynaud, 2003).

I.1.3.2.2. Coliformes fécaux (CF)

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe de coliformes totaux. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (Elmund et al, 1999). La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermotolérants détectés. (Barthe al, 1998).

I.1.3.2.3. Streptocoques fécaux

Sont considérées comme streptocoques fécaux, toutes les bactéries gram + de forme oblongue ou sphérique légèrement ovales (Joly et Reynaud, 2003). Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistants, y compris dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6 on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs de la présence d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé (OMS, 1979).

I.1.3.3. Phytoplancton

I.1.3.3.1. Définition

Le phytoplancton est constitué d'un ensemble hétérogène de micro-végétaux unicellulaires ou pluricellulaires en suspension dans l'eau anciennement connus sous le nom d'algues. Ces organismes présentent la capacité de photosynthèse. Cette faculté à vivre sous le

régime de l'autotrophie s'explique par l'existence de pigments tels que la chlorophylle, pigments qui leur donnent, la plupart du temps, une couleur caractéristique. Le processus de la photosynthèse ne peut se réaliser qu'à partir de l'eau, les sels nutritifs, le dioxyde de carbone et la lumière solaire. Cette dernière est d'ailleurs un des facteurs essentiels qui conditionnent l'existence du phytoplancton au voisinage de la surface, plus précisément, au niveau de la zone euphotique. Par conséquent, ces organismes végétaux ne peuvent vivre que dans les premiers mètres sous la surface, tout en étant capable de survivre à des profondeurs qui approchent les 100 voire les 120m à condition que la clarté de l'eau permette un passage suffisant de la lumière (**Gailhard, 2003**).

De manière générale, leur taille varie de quelques microns (<20 µm) à quelques centaines de microns (200 µm). Leurs formes peuvent être extrêmement variées, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité (flottaison et mouvements verticaux) (**Zeitzschel, 1978**).

I.1.3.3.2. Systématique du phytoplancton

Le phytoplancton regroupe deux catégories bien marquées d'organismes en se basant sur un caractère cytologique, à savoir la présence ou l'absence de membrane nucléaire. Les individus qui en sont pourvus sont classés sous le nom d'eucaryotes ou algues vraies, ceux qui en sont dépourvus sous le nom de procaryotes ou Cyanobactéries (**Coute et Chauveau, 1994**).

I.1.3.3.3. Identification du phytoplancton

Selon qu'il s'agit d'algues vraies ou de Cyanobactéries, les clés permettant l'identification du phytoplancton peuvent être résumées comme suit :

I.1.3.3.3.1. Cas des algues vraies

Pour les algues vraies, les critères de classification proposée par **Bourelly (1985)** sont :

- ✓ la nature chimique des chlorophylles, des autres pigments et des réserves ;
- ✓ la cytologie du noyau et de l'appareil flagellaire ;
- ✓ les caractères cytologiques ;
- ✓ le mode de reproduction et la complexité structurale ;
- ✓ les caractères morphologiques.

I.1.3.3.3.2. Cas des Cyanobactéries

Les critères d'identification proposés par **Bourelly (1985)** sont essentiellement des caractères morphologiques à savoir :

- ✓ la structure de la micro-algue « cellulaire ou filamenteuse » ;
- ✓ la forme de la colonie ou du trichome ;
- ✓ la taille des cellules ;

- ✓ la gaine gélatineuse « couleur et aspect » ;
- ✓ la présence ou non, de structures cellulaires caractéristiques « akinètes, hétérocystes et vacuoles gazeuses ».

I.1.3.3.4. Composante du phytoplancton

Le phytoplancton est un groupe hétérogène d'organismes, qui peut être subdivisé en :

I.1.3.3.4.1. Cyanobactéries

Dénommées également algues bleues (**Ozenda, 2000**), les cyanobactéries ne possèdent pas de noyau à membrane définie, ce sont des bactéries à Gram négatif « procaryotes » (**Hoek et al, 1995**). Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : chlorophylle (*a*) et (*c*), phycocyanine, phycoérythrine, et les pigments d'accompagnements β -carotène et des xanthophylles. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffusés dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène généralement bleu-vert (**Bourelly, 1966**). Les cyanobactéries sont dépourvues de flagelles et leur appareil végétatif peut être unicellulaire, colonial ou filamenteux. Les réserves sont constituées par du glycogène, de la cyanophycine et des gouttelettes lipidiques. La multiplication s'effectue principalement par division cellulaire et par fragmentation chez les formes filamenteuses (**De Reviere, 2003**).

I.1.3.3.4.2. Chlorophytes

Les Chlorophytes ou algues vraies, constituent un groupe relativement homogène, malgré leur diversité morphologique (**Pierre, 2001**). Ces algues sont unicellulaires, à thalle massif pluricellulaires ou coenocytiques. Elles possèdent des plastes d'un vert franc, contenant de la chlorophylle (*a*) et (*b*) associée à l' α et β -carotène et des xanthophylles (**Gorenflot et Guern, 1989**). Les cellules mobiles sont isokontées et les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial. (**Larpen et Larpen-Gourgaud, 1997**)

I.1.3.3.4.3. Euglénophytes

Les Euglénophytes sont des algues vraies unicellulaires, contenant des plastes verts renfermant de la chlorophylle (*a*) et (*b*), associée à du β -carotène et des xanthophylles. Les réserves sont constituées de grains de paramylon extraplastidial (**Bourelly, 1968 ; Gorenflot et Guern, 1989**), et des gouttelettes lipidiques pouvant constituer des réserves supplémentaires (**De Reviere, 2003**). Les cellules mobiles possèdent un ou deux flagelles. (**Larpen et Larpen-Gourgaud, 1997**)

I.1.3.3.4.4. Chrysophytes

Les Chrysophytes sont des algues vraies, caractérisées par des plastes bruns, jaunes ou vert-jaunâtres. Elles ne possèdent jamais d'amidon (**Pierre, 2001**), leurs réserves sont

constituées de chrysolaminarine ou de laminarine, selon le cas (**Ba, 2006**). Les cellules mobiles sont hétérokontées (**Larpent et Larpent-Gourgaud, 1997**). Les Chrysophytes peuvent être divisés en :

Chrysophycées

Les Chrysophycées peuvent être unicellulaires ou coloniaux, rarement filamenteux à plastes jaunes ou bruns, renfermant des chlorophylles (*a*) et (*c*), du β -carotène et diverses xanthophylles, Elles forment souvent des logettes ou kystes siliceux plus ou moins sphériques (**Bourelly, 1968 ; Gorenflot et Guern, 1989**). Les cellules mobiles sont hétérokontées. (**Larpent et Larpent-Gourgaud, 1997**)

Xanthophycées

Les Xanthophycées sont des algues unicellulaires, pluricellulaires ou coenocytiques. Ils possèdent des plastes vert-jaune ou vert à peine jaunâtre où les chlorophylles (*a*) et (*c*), sont associées à plusieurs xanthophylles et du β -carotène. Les cellules mobiles sont hétérokontées (**Larpent et Larpent-Gourgaud, 1997; Pierre, 2001**).

Diatomophycées :

Les Diatomophycées sont des algues unicellulaires ou coloniales quelquefois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle (*a*) et (*c*), du β -carotène et plusieurs xanthophylles (**Gorenflot et Guern, 1989**). Les cellules synthétisent une enveloppe externe siliceuse souvent très ornementée (**Pierre, 2001**). Elles sont dépourvues de flagelles et les mouvements se font grâce à la sécrétion de mucilage. (**De Reviers, 2003**)

Raphidophycées

Les Raphidophycées sont des algues unicellulaires et solitaires, nageant à l'aide de deux flagelles de taille inégale, leurs pigments sont constitués par de la chlorophylle (*a*), du β -carotène et des xanthophylles (**Gorenflot et Guern, 1989**).

I.1.3.3.4.5. Pyrrophytes

Les Pyrrophytes sont des algues vraies, le plus souvent unicellulaires (**Larpent et Larpent-Gourgaud, 1997**), avec des plastes bruns, rarement rouges ou bleu-vert. Contenant des chlorophylles (*a*) et (*c*), du β -carotène et parfois des biliprotéines, leurs réserves sont constituées par de l'amidon extraplastidial. Les cellules mobiles possèdent deux flagelles (**Gorenflot et Guern, 1989**). On distingue deux classes :

Cryptophycées

Les Cryptophycées possèdent des formes unicellulaires, à fouets légèrement inégaux dirigés dans le même sens, sortant d'un cytopharynx (**Bourelly, 1968**).

Dinophycées

Les Dinophycées sont majoritairement unicellulaires, cependant ils existent quelques rares formes filamenteuses, pourvues de deux flagelles dirigés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, l'un longitudinal et l'autre transversal (**De Reviere, 2003**).

I.1.3.3.5. Rôle du phytoplancton dans les écosystèmes aquatiques

Le phytoplancton possède d'importants rôles, dont les plus connus sont :

I.1.3.3.5.1. Photosynthèse

L'importance du phytoplancton dans les milieux aquatiques est due à leur capacité de synthétiser des hydrates de carbone et de l'oxygène, à partir des éléments minéraux dissous dans l'eau et de l'énergie lumineuse, selon l'équation de Redfield (**Stumm et Morgan, 1996**). Lors de la photosynthèse, le phytoplancton est capable de fixer en milieu marin entre 20.10⁹ et 55.10⁹ tonnes de carbone (**Mann et Lazier, 1966**).

I.1.3.3.5.2. Chaîne trophique

Le phytoplancton est universellement reconnu comme étant le premier maillon de la chaîne trophique dans l'écosystème aquatique. Le phytoplancton se compose d'organismes que l'on qualifie de producteurs primaires et c'est à ce titre qu'il joue un rôle essentiel dans le développement et la survie de tous les organismes aquatiques vivants puisqu'il correspond en réalité au premier maillon d'une pyramide alimentaire, dans laquelle chaque échelle en sert de nourriture au suivant.

I.1.3.3.5.3. Autres rôles

En plus des deux rôles cités ci-dessus, le phytoplancton peut être utilisé dans de nombreux domaines. Certaines espèces du phytoplancton, peuvent être utilisées comme des indicateurs de pollution, ainsi *Chamaesiphon polonius* et *Calothrix sp* sont caractéristiques des eaux non polluées, par contre *Oxillatoria chlorina* et *Spirulina jenneri* peuvent survivre dans les milieux très pollués et pauvres en oxygène. Cependant *Phormidium sp* est présente dans les eaux moyennement polluées.

Certains genres de phytoplancton comme : *Euglena*, *Volvox* et *Spirogyra* sont des bio accumulateurs d'éléments radioactifs. Ils sont utilisés pour lutter contre ce type particulier de pollution. (**Champiat et Larpent, 1994**)

Certains genres des Cyanobactéries peuvent être utilisés comme engrais naturels dans les rizières grâce à leurs capacités de fixation de l'azote atmosphérique par des hétérocystes. (**Roger, 1996**)

Le phytoplancton est connu pour libérer dans le milieu des substances antibactériennes (**Barnabé et Barnabé-Quet, 1997**). Certaines espèces appartenant aux genres *Scenedesmus* et *Chlorella*, ont un effet inhibiteur sur *Bacillus cereus* et *Pseudomonas sp*, tandis que d'autres

espèces présentent un effet biocide marqué vis-à-vis des Coliformes et des Salmonelles (**Champiat et Larpent, 1994**). *Spirulina sp* est une cyanobactérie qui possède des qualités intéressantes pour l'alimentation et la santé, tant pour l'homme que pour les animaux car elle est riche en protéine et en vitamine B12 (**Rafiquil et al. 2005**). Alors que *Scenedesmus*, *Chlorella* et *Oxillatoria* sont utilisées en culture semi-industrielle en vue d'obtenir des produits riches en protéines utilisables pour l'alimentation humaine ou animale. (**Iltis, 1980**)

I.2. Présentation de la zone d'étude

I.2.1. Situation géographique

Le barrage de Boukourdane (**figure.2**) est situé dans la partie Nord-Ouest de la grande plaine de la Mitidja, il est localisé à environ 1.3 Km du village de Sidi-Amar (wilaya de Tipaza) (**figure.3**). Ce barrage est implanté dans une zone de collines s'étendant sur la direction Est-Ouest. Au Nord, il est distant de 11 Km de la mer Méditerranée et est délimité au Sud par la montagne de Bou-Maad. Le barrage de Boukourdane a été construit par une entreprise chinoise, en 1986, sur le lit de l'oued El-Hachem (au confluent des deux principaux oueds : Menaceur (Boukadir) et Fedjana qui donne naissance à l'oued El-Hachem). Les travaux ont pris fin en 1992. L'exploitation et la mise en eau du barrage ont débuté en 1996.

Le barrage est conçu pour l'irrigation de la Mitidja ouest et l'alimentation en eau potable (AEP) de la wilaya de Tipaza. A partir de 2002, il participe au renforcement de l'AEP d'Alger dans le cadre du projet SAA (Sécurisation d'Alimentation d'Alger en eau potable) (**S.T.E.P, 2015**).



Figure.2 : Barrage de Boukourdane (2017)

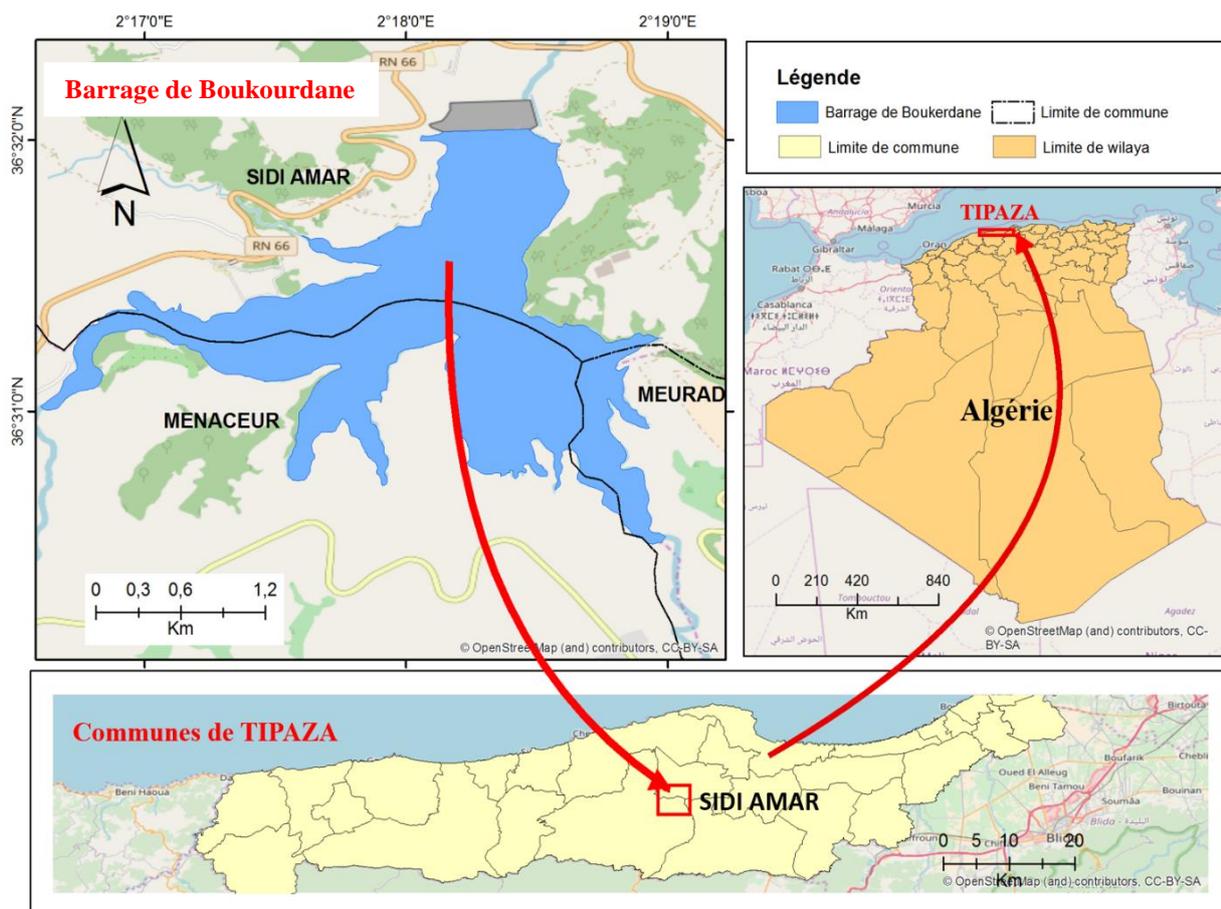


Figure.3 : la situation géographique du barrage Boukourdane.

I.2.2. Bassin versant :

Le bassin versant de l’oued El-Hachem s’étend de la montagne de Bou-Maad au sud jusqu’à la mer Méditerranée au nord (**figure.4**) sur une superficie de 177 Km² avec un périmètre de 58 km. La longueur de l’oued est de 34 km avec une pente longitudinale de 6,4%.

Dans le bassin versant le long de la vallée sont déposées des alluvions anciennes et récentes, on y trouve des terres provenant d’altération des roches sédimentaires et des roches ignées. À l’intérieur du bassin la couverture végétale est faible, cela est défavorable à la conservation des terres et des eaux. D’ailleurs plus on remonte plus la pente longitudinale du lit de l’oued est importante, ce qui aggrave davantage l’affouillement et l’érosion du sol (**A.N.B, 1994**).

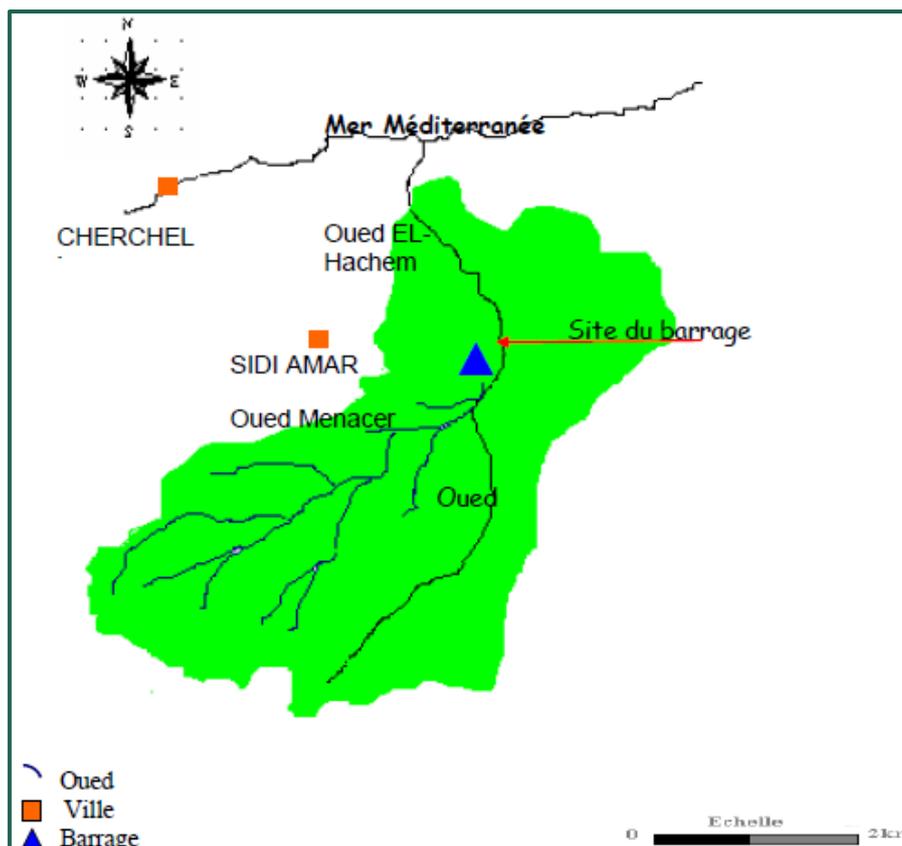


Figure.4 : Localisation géographique du bassin versant du site du barrage de Boukourdane (A.N.B., 1994).

I.2.3. Caractéristiques morpho-métriques du barrage

Les principales caractéristiques morphométriques du barrage de Boukourdane d’après (ANBT, 2017) sont résumées dans le tableau I

Tableau I : Données morphométriques du barrage Boukourdane (ANB.,1994).

Bassin Versant	
Superficie	177Km ²
Périmètre	58Km
Altitude maximale	1471 m
Altitude minimale	70m
Altitude moyenne	420m
Retenue	
Altitude de la retenue normale	119,50m
Altitude des plus hautes eaux	123m
Aire de la retenue au niveau normal	536 ha
Aire de la retenue au niveau exceptionnel	600 ha
Capacité totale de la retenue	101,5 Million m ³
Volume régularisé	49 Million m ³

Selon les dirigeants du barrage, la profondeur maximale du barrage Boukourdane au niveau de la digue est approximativement estimée à 35 mètres.

I.2.4. Synthèse climatique

Le barrage de Boukourdane est doté d'une station météorologique (**figure.5**) et les données climatiques prises quotidiennement par les techniciens du barrage notamment les précipitations et la température nous ont été fournies pour la période de dix ans 2006-2016 par le service d'exploitation du barrage de Boukourdane.(ANBT.,2017)

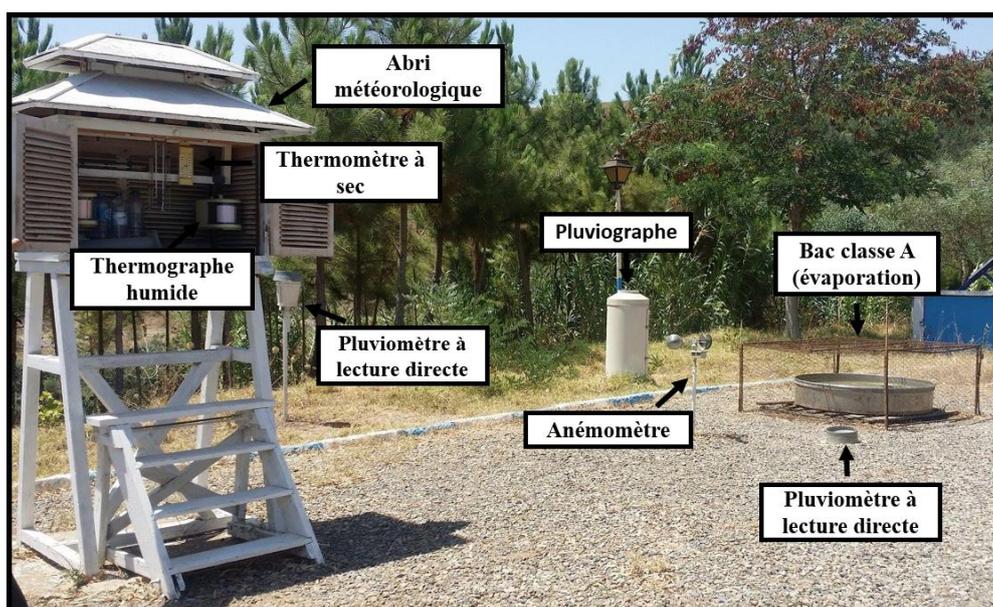


Figure.5 : Station météorologique du barrage Boukourdane (2017).

I.2.4.1. Précipitations

La variation des précipitations mensuelles de la zone d'étude est représentée sur le graphique (**figure.6**). En effet, le mois de novembre s'avère le mois le plus arrosé, tandis que juillet étant le mois le plus sec.

I.2.4.2. Température

La variation des températures mensuelles de la zone d'étude est représentée sur le graphique (**figure.7**). La courbe des températures moyennes indique que le mois le plus froid étant le mois de Janvier par contre le mois d'Aout s'avère le mois le plus chaud.

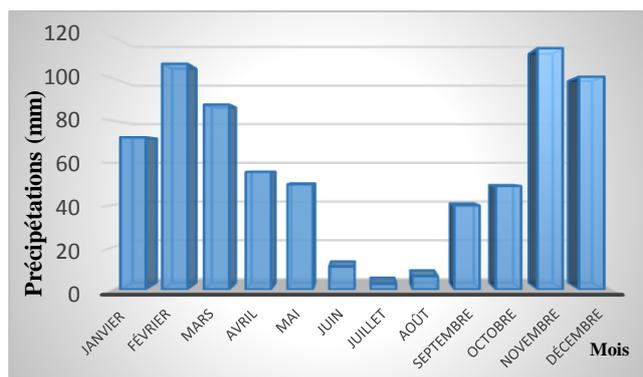


Figure. 6 : variation des précipitations mensuelles moyennes (SMBB, 2017).

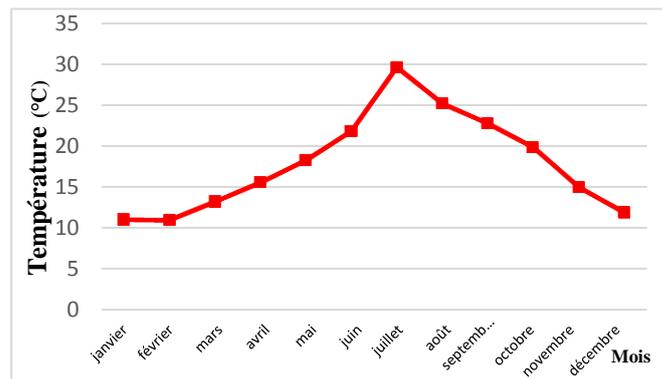


Figure.7 : variation des moyennes mensuelles de température (SMBB, 2017).

I.2.4.3. Détermination de l'étage bioclimatique du barrage Boukourdane

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen influencé par la localisation du pays à proximité de la mer méditerranée. Pour cela nous utilisons le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen (Emberger, 1955).

Le quotient pluviométrique est défini par l'équation de Q_2 :

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

Où :

P: précipitation annuelle en mm, $P=296.16$ mm

M: température maximale du mois le plus chaud en (K). M du mois de juillet $M= 302.82$

m : température minimale du mois le plus froid en (K). m du mois de janvier $m=284.11$

Q_2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2)= 126.78

À partir des valeurs de « Q_2 » et de « m » nous avons déterminé l'étage bioclimatique de ce site (Figure.8).

Le barrage de Boukourdane s'insère dans l'étage bioclimatique subhumide, à variante hiver très chaud.

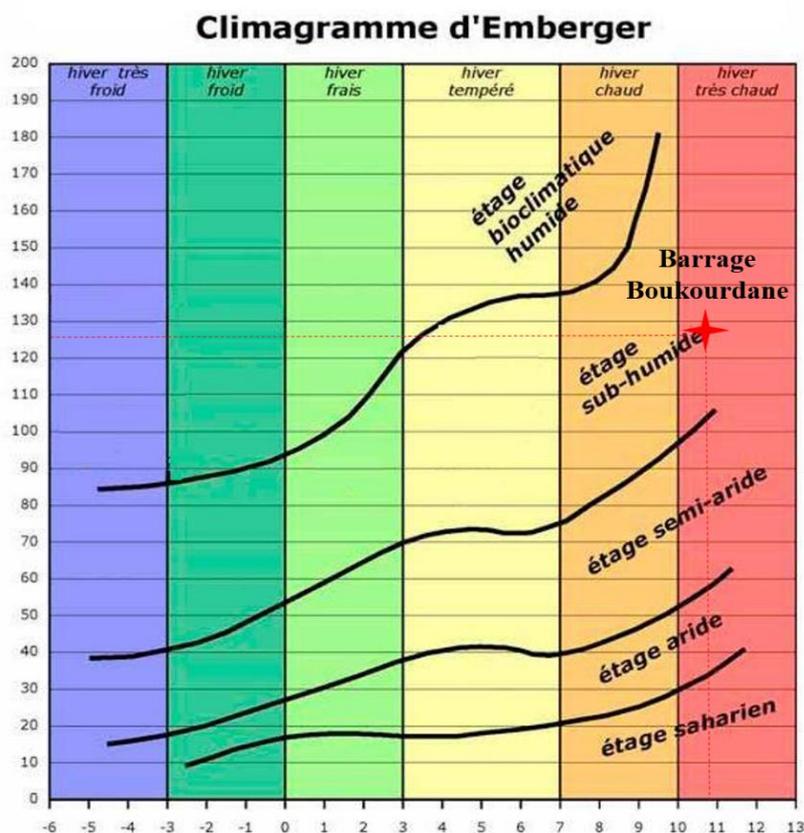


Figure. 8 : Insertion du site de barrage de Boukourdane sur le climagramme pluviométrique d'Emberger.

I.2.4.4. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953)

Le diagramme ombrothermique de **Bagnouls** et **Gausson** (figure.9) est établi pour évaluer la durée de la période sèche pendant l'année en utilisant la formule $P \leq 2T$.

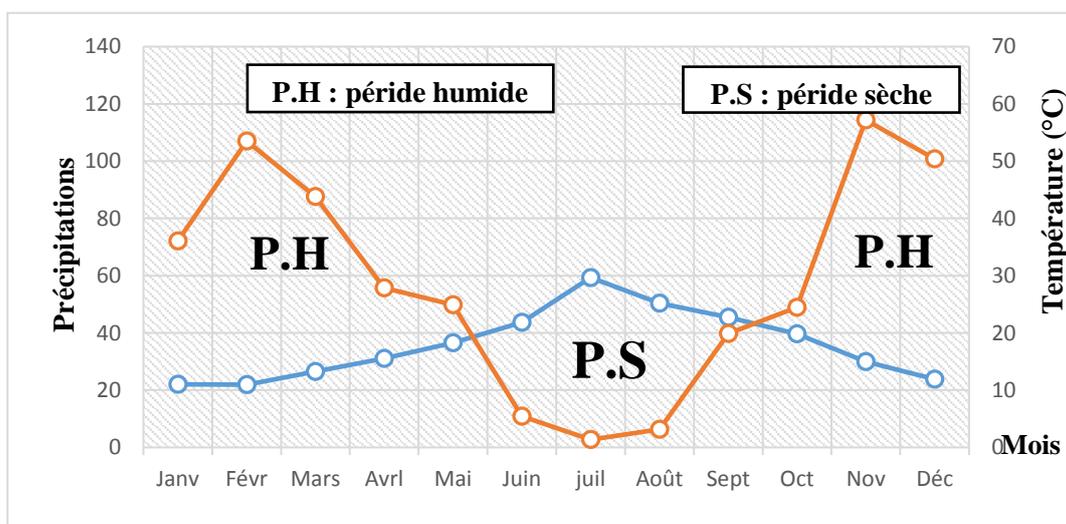


Figure.9 : Diagramme ombrothermique du barrage de Boukourdane entre 2006-2016. (SMBB, 2017)

La période sèche pour le barrage de Boukourdane s'étale de la fin mai à la fin du mois de septembre (4 mois) et le mois le plus sec étant le mois de juillet. Les mois restant de l'année représentent la période humide.

I.2.4.5. Géologie

Les formations géologiques du site du barrage sont divisées en trois (3) groupes à savoir les roches basiques et les produits de leur altération actuelle in situ, des roches sédimentaires tertiaires et les terrains qui s'y développent ainsi que les dépôts quaternaires, alluvions de l'oued et déjections torrentielles. (S.T.E.P., 2015)

I.2.4.6. Pédologie

Il y'a plusieurs types des sols dans cette région :

- des sols minéraux bruts d'érosion inaptes à toute mise en valeur (pente forte) situés en bordure de la plaine côtière ;
- des sols peu évolués alluviaux, de texture fine à dominance du groupe brunifié ;
- des vertisols, de texture fine à très fine de structure polyédrique à grumeleuse en surface et cubique avec des phases de glissement bien développées en profondeur.
- des sols calcimagnésiques, qui sont les plus importants du point de vue superficie. Ce sont des sols décarbonatés en surface (S.T.E.P, 2015).

I.2.4.7. Formation végétale

La zone d'étude renferme diverses formations végétales. Il s'agit des forêts claires, des maquis denses et clairs ainsi que des vergers. Les principales espèces végétales présentes étant le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le chêne vert (*Quercus ilex*) et le chêne liège (*Quercus suber*) (CF, 2013).

I.2.4.8. Faune disponible dans barrage : les poissons

Il s'agit principalement de la carpe royale, la carpe argentée, la carpe grande bouche, la carpe cuire, le barbeau, le cendre et le black basse (ANBT/BBK, 2017).

Matériel et méthodes



Notre travail porte sur l'appréciation de la qualité des eaux du barrage de Boukourdane en se basant principalement sur l'étude des paramètres physico-chimiques, bactériologiques, ainsi que sur la présence ou l'absence de certains micro-organismes aquatiques à savoir le phytoplancton. Pour ce, nous avons travaillé, durant la période allant du mois de mars jusqu'au mois de juillet de l'an 2017, au sein des laboratoires suivants :

- Le laboratoire de la SEAAL (Centre de Traitement Reguieg Kaddour) de Koléa et la station de traitement des eaux usées de Chenoua pour l'analyse des paramètres suivants : turbidité, nitrate, nitrite, ammonium, sulfates, phosphates, magnésium, calcium, bicarbonates, chlorures et le fer ainsi que la DBO₅ et la DCO.
- Le laboratoire du CNRDPA (Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de L'Aquaculture) de Bousmail pour les dosages des matières en suspension (MES) et les analyses bactériologiques.
- Le laboratoire du centre conchylicole de Bousmail pour l'étude du phytoplancton.

II. Matériel et méthodes

II.1. Matériel

- **Sur terrain** : le matériel qui nous a servi sur le terrain est essentiellement : une barque, des flacons de prélèvement, des glacières et pains de glaces, un multi-paramètre, un GPS et une carte de barrage, une fiche de terrain, un disque de Secchi, du lugol et une micropipette ainsi que de l'eau distillée.
- **Au laboratoire** : il s'agit de l'eau brute du barrage de Boukourdane, les appareils de mesure, les solutions et les réactifs, la verrerie et les milieux de culture.

II.2. Méthodes

II.2.1. Conditionnement des moyens de prélèvement

Afin de minimiser les risques de contamination, les moyens de prélèvement et de conservation ont subi un prétraitement.

II.2.2. Choix du matériel de prélèvement

Le choix des flacons dépend de l'élément à analyser :

- ✓ **Pour les analyses physico-chimiques** : des flacons en plastique d'une capacité d'un litre sont rincés deux fois à l'eau distillée avant toute utilisation.
- ✓ **Pour les analyses bactériologiques** : des flacons en verres de 300 ml sont stérilisés dans un autoclave à 120°C pendant 1h.

- ✓ **Pour le phytoplancton** : des flacons en plastiques de 500 ml sont rincés deux fois à l'eau distillée avant toute utilisation.

II.2.3. Conservation

La composition initiale de l'eau risque de subir des modifications dans les flacons après le prélèvement. De ce fait toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible.

Les échantillons ont été transportés dans des glacières et immédiatement déposés au réfrigérateur dès l'arrivée au laboratoire pour entamer les analyses.

II.2.4. Choix des sites

Selon **Lavage (1983)**, les stations d'étude doivent être choisies en fonction de différents critères à savoir :

- avoir un échantillonnage aussi complet que possible.
- les stations doivent être toutes suffisamment accessibles pour être mesurées simultanément.
- les stations doivent être situées à des endroits variables.

En se référant aux résultats des travaux antérieurs effectués dans ce domaine (**Amirouche et Touladi, 2002 ; Tidadini et Amdoum, 2003 ; Zourez-Quadda et ferhani, 2003 et Lourguioui, 2006**) et après une sortie de prospection sur les lieux, la stratégie d'échantillonnage a été définie en fonction des caractéristiques morphométriques du barrage.

Nous avons par conséquent choisi les zones d'échantillonnage au nombre de 05 (**figure.10 et figure.11**) dont les caractéristiques sont mentionnées sur le **tableau II**.

Tableau II : Caractéristiques des différentes stations

Stations	Localisation
S1	En aval du barrage près de la digue
S2	En amont droite près de l'embouchure d'oued Fadjana
S3	au milieu du barrage
S4	Un bras mort ambré
S5	En amont gauche du barrage près de l'embouchure d'oued Menaceur

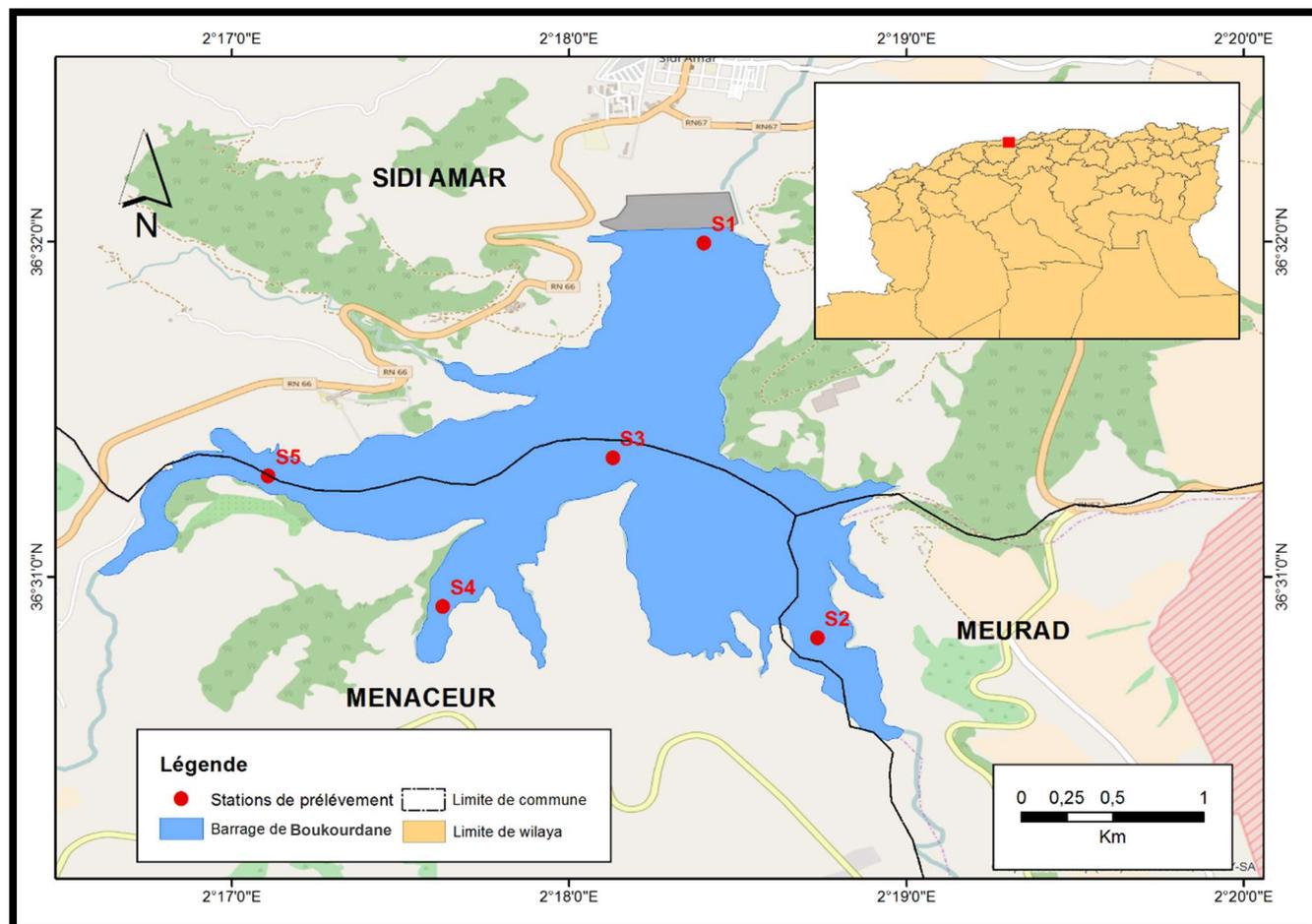


Figure.10 : Localisation géographique des 5 stations de prélèvement au sein du barrage de Boukourdane.

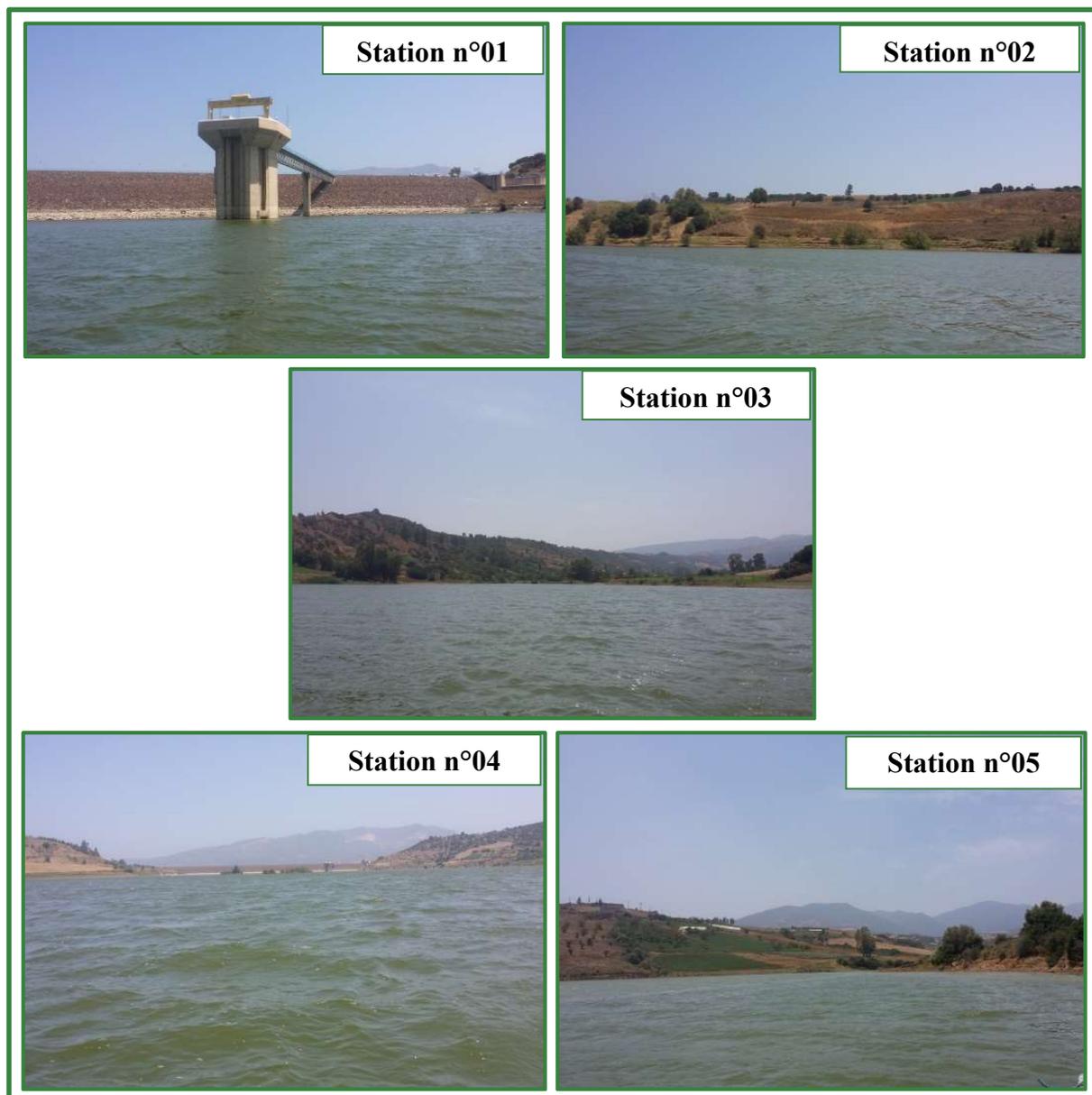


Figure.11 : Stations de prélèvement au niveau du barrage de Boukourdane (2017)

II.2.5. Prélèvement et échantillonnage

Le prélèvement des échantillons est une opération qui consiste à prendre un certain volume représentatif du milieu à étudier (Aminot et Kérouel, 2004).

Les prélèvements ont été effectués au niveau de l'eau de surface du barrage à environ 10cm de profondeur à raison d'un prélèvement par mois et ce au cours des mois de mars, avril, mai, juin et juillet de l'an 2017 à la même heure pratiquement.

✓ **Mode de prélèvement**

Le prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière qui s'adapte avec le type d'analyse à effectuer :

- **Pour les analyses physico-chimiques** : les flacons sont rincés 3 fois avec l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.
- **Pour les analyses bactériologiques** : l'ouverture et la fermeture des flacons en verre s'effectuent au-dessous de l'eau pour éviter toute contamination.
- **Pour le phytoplancton** : les flacons sont rincés 3 fois avec l'eau à analyser. Le flacon est ensuite rempli directement de la surface auquel 3 ml de lugol sont additionnés.

II.2.6. Méthodes d'analyses physico-chimiques

II.2.6.1. Paramètres *in situ*

À l'aide d'un analyseur multi paramètre (Multi 340 i set WTW et HANNA HI 9829). Nous avons mesuré les paramètres suivants : la température, le pH, la conductivité électrique, la salinité, l'oxygène dissous ainsi que la transparence de l'eau.

- ✓ **Température** : la température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (**Chapman et Kimstach, 1996**). Elle est déterminée en même temps et au même endroit que le prélèvement avec un multi-paramètre de type multi 340 i Set WTW. Elle est exprimée en °C.
- ✓ **Potentiel d'hydrogène (pH)** : ce paramètre mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau, et donc son acidité ou son alcalinité sur une échelle logarithmique de 0 à 14 (**Chapman et Kimstach, 1996**).
- ✓ **Conductivité électrique (CE)** : la conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre du multi-paramètre et exprimée en $\mu S/cm$.
- ✓ **Salinité** : elle est mesurée en immergeant l'électrode du conductimètre dans l'eau (**Mulhauser et Monniers, 1995**).
- ✓ **Oxygène dissous** : correspond à l'oxygène en solution dans l'eau et disponible à la respiration animale et végétale exprimé en (mg/l)
- ✓ **Transparence** : le disque Secchi est un disque d'une vingtaine de centimètres, noir et blanc (chaque quart alternativement). Le disque est fixé au bout d'une corde et lesté, qu'on laisse descendre jusqu'à disparition, puis on note la longueur de la corde. C'est un

dispositif permettant de mesurer la transparence d'une étendue d'eau. Cette dernière varie sous l'effet combiné de la couleur, de la turbidité et de l'intensité lumineuse.

II.2.6.2. Paramètres mesurés au laboratoire

II.2.6.2.1. Paramètres physicochimiques

II.2.6.2.1.1. Matière en suspension (MES)

- ✓ **Principe** : la méthode consiste à faire passer de l'eau à travers un filtre afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,45 µm. Le filtre est séché et pesé avant et après la filtration. La différence de poids permet de connaître le poids sec total de la matière en suspension dans le volume filtré correspondant (**Aminot et Chaussepied, 1983**).
- ✓ **Mode opératoire** : le dispositif de filtration est composé d'un erlenmeyer, d'un support filtre, d'un entonnoir gradué et d'une pompe à vide. Pour chaque échantillon, on filtre un volume représentatif d'eau (500ml) à travers un filtre (**Wattman GF/C**, diamètre : 47mm) préalablement conditionné et pesé (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Les concentrations sont calculées selon la formule suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{P2 - P1}{V}$$

MES : Concentration de la matière en suspension.

P1 : poids du filtre avant filtration (mg).

P2 : poids du filtre après filtration (mg).

V : volume filtré (litre).

II.2.6.2.1.2. Détermination de la Demande Chimique en Oxygène DCO (Norme ISO 6060)

- ✓ **Principe** : dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromates de potassium, en milieu fortement acidifié par de l'acide sulfurique et en présence d'un catalyseur (sulfate d'argent) et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Transférer 10 ml de l'échantillon dans le tube de l'appareil à reflux.
 - Ajouter 5 ml de la solution de dichromate de potassium de concentration 0.04 mol/l

- Ajouter, lentement et avec précaution, 15ml d'acide sulfurique–sulfate d'argent en agitant soigneusement le contenu.
- Relier les réfrigérants aux tubes de l'appareil a reflux.
- Mettre les tubes dans l'appareil a reflux pendant 2 heures, la température du mélange réactionnel doit être de 150°C.
- Rincer le réfrigérant avec un petit volume d'eau distillée.
- Enlever alors le réfrigérant, transvaser le contenu dans un Erlen Meyet et le compléter à 75 ml avec de l'eau distillée.
- Rajouter de 2 à 3 gouttes de l'indicateur coloré (ferroïne).
- Titrer l'excès de dichromate de ce contenu avec le sulfate de fer et d'ammonium de concentration 0.12 mol/l.
- Noter comme point de virage le changement brusque de couleur du bleu-vert au rouge-brun (voir annexe 03)
- A noter qu'en parallèle, deux essais sont effectués :

Essai à blanc : effectuer le même protocole en remplaçant l'échantillon de 10 ml d'eau à analyser par de l'eau distillée.

Essai témoin : pour chaque série d'essai, vérifier la technique ainsi que la pureté des réactifs par analyse de 1 ml de la solution étalon de référence (hydrogénophate de potassium référence $\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$ de concentration 2.0824 mmole/l) en suivant le même protocole que celui de la prise d'essai.

- ✓ **Calcul et expression des résultats** : la DCO se calcule comme suit :

$$\text{DCO} = \frac{8000 * C * (V_2 - V_1)}{v_0}$$

C : concentration de sulfate de fer et d'ammonium exprimée en mol/l (environ 0.12 mol/l).

V_0 : volume en ml de la prise d'essai avant éventuelle dilution.

V_2 : volume en ml de la solution de sulfate de fer et d'ammonium utilisée pour l'essai à blanc

V_1 : volume en ml de la solution et sulfate de fer et d'ammonium utilisé pour détermination de l'échantillon.

8000 : ½ masse molaire de l'oxygène par litre.

Les résultats sont exprimés en mg d'oxygène par l'eau.

II.2.6.2.1.3. Détermination de la demande biochimique en oxygène DBO₅ (Norme ISO 5815)

- ✓ **Principe** : repose sur le traitement de l'échantillon d'eau à analyser avec différentes quantités d'eau de dilution enrichie en oxygène dissous, et contenant un ensemencement de micro-organismes aérobies, avec suppression de la nitrification.

Vu la difficulté du choix du degré de dilution exact pour la mesure de la DBO, il est recommandé de conserver l'échantillon dans le congélateur à -18°C jusqu'à obtention des valeurs de la DCO servant à déterminer des intervalles caractéristiques pour le rapport R en fonction du type d'échantillon (**tableau III**) et cela afin de calculer la valeur de la DBO₅ présumée.

Tableau III : Valeurs caractéristiques du rapport R

Type d'eau à analyser	DBO ₅ /DCO
Eaux usées non traitées	0,35 à 0,65
Eaux usées traitées biologiquement	0,20 à 0,35

Il est recommandé de choisir une valeur appropriée de R à partir du tableau IV pour calculer la valeur de DBO₅ attendue :

$$DBO_5 = R * DCO$$

✓ **Mode opératoire**

- Porter l'échantillon à une température de 20°C.
- Agiter afin d'éliminer une éventuelle saturation en oxygène.
- Verser un volume connu de l'échantillon dans un flacon.
- Programmer le DBO mètre SKALAR SP 50 et appuyer sur START.
- L'appareil effectue le rinçage de tuyaux et de la sonde automatiquement.
- Ajouter 2ml d'ATU (allylthiourée), pour inhiber la nitrification, dans chaque flacon et compléter avec l'eau de dilution en laissant déborder légèrement.
- Agiter le contenu des flacons afin d'éliminer les bulles d'air adhérentes aux parois.
- Mesurer la concentration en oxygène dissous dans chacun des flacons au temps zéro.
- Boucher les flacons en prenant soin de ne pas piéger des bulles d'air.
- Placer les flacons dans l'incubateur à 20°C et laisser à l'obscurité pendant 5 jours ± 4 heures.

- Après incubation, mesurer la concentration en oxygène dissous dans chacun des flacons à l'aide de la sonde de l'oxymètre HQ40d.
- En parallèle, effectuer d'une part un essai à blanc en utilisant l'eau de dilutionensemencée et 2mg de solution d'ATU. D'autre part, effectuer un contrôle pour chaque série d'échantillon en versant 20 ml de la solution de contrôle d'acide glutamique-glucose dans le flacon de dilution en ajoutant 2 ml de solution d'ATU et en complétant à 1000 ml avec l'eau de dilutionensemencée.

✓ Calcul et expression des résultats

La DBO est calculée pour les solutions d'essai lorsque la condition suivante est satisfaite :

$$\frac{p1}{3} \leq (p1 - p2) \leq \frac{2p1}{3}$$

Où :

P1 est la concentration d'oxygène dissous dans une des solutions d'essai zéro, en mg/l.

P2 est la concentration d'oxygène dissous de cette même solution d'essai après n jours, en mg/l.

Calcul de la demande biochimique en oxygène après n jours exprimée en mg/l, en utilisant l'équation :

$$DBO_n = [(p^1 - p^2) - \frac{v_t - v_2}{v_t} * (P3 - p4)] * \frac{v_t}{V_{ech}}$$

Où :

P1 est la concentration d'oxygène dissous dans une des solutions d'essai zéro, en mg/l.

P2 est la concentration d'oxygène dissous de cette même solution d'essai après n jours, en mg/l.

P3 : est la concentration en oxygène dissous de la solution du blanc au temps zéro, en mg/l.

P4 : est la concentration en oxygène dissous de la solution du blanc après n jours, en mg/l

V_{ech} : est le volume total de cette solution d'essai, en ml.

II.2.6.2.1.4. Dosage des Nitrates (Rodier 1971)

- ✓ **Principe** : en présence de salicylate de sodium ; les nitrates donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30% et 1 ml de sodium à 10 ml de l'échantillon d'eau à analyser et évaporer à sec à l'étuve 75°C-88°C, puis laisser refroidir.

- Reprendre le résidu sec avec 2 ml d'acide sulfurique et laisser reposer 10 min, puis ajouter 15 ml de l'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium, la lecture sera effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde 420nm.
- Les résultats sont donnés directement en mg/l par lecture sur l'écran.

II.2.6.2.1.5. Dosage des Nitrites (Norme ISO 6777)

- ✓ **Principe** : la diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec la N-Inaphtyléthylène diamine donne un complexe coloré en rose et susceptible d'un dosage colorimétrique.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Ajouter 1 ml de réactifs mixte à 50 ml d'eau à analyser ;
 - Après homogénéisation laisser agir pendant 10 min ; l'apparition d'une couleur rose indique la présence de nitrites ;
 - La lecture sera effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde 543nm.
 - Les résultats sont donnés directement en mg/l par lecture sur l'écran.

II.2.6.2.1.6. Dosage d'ammonium (ISO 7150/1)

- ✓ **Principe** : consiste en un dosage par spectrophotométrie d'un composé verdâtre formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylates et hypochlorites en présence de nitrosopentacyanoferrate à une longueur d'onde 655nm.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Ajouter 4ml du réactif dichloroicyanurate de sodium et 4ml de réactif coloré salicylate de sodium à 40ml de l'eau à analyser ;
 - Après homogénéisation laisser agir pendant 60min ; l'apparition d'une couleur verdâtre indique la présence d'ammoniaque ;
 - La lecture sera effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 665nm ;
 - Les résultats sont donnés directement en mg/l, par lecture sur l'écran.

II.2.6.2.1.7. Dosage des Sulfates (Rodier, 1976)

- ✓ **Principe** : les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfates de baryum.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Compléter les 20ml de l'eau à analyser par l'eau distillée à 100ml.
 - Ajouter 5ml de solution stabilisante et 2ml de chlorure de baryum.
 - Après agitation pendant 1min, la lecture sera effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 420nm ;
 - Les résultats sont donnés directement en mg/l par lecture sur l'écran.

II.2.6.2.1.8. Dosage du Phosphore (Norme ISO 6878)

- ✓ **Principe** : repose sur la formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. La réduction de complexe formé par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'un vers 700nm et l'autre plus intense à 880nm).
- ✓ **Mode opératoire**
 - Prélever 40ml d'échantillon à analyser, puis ajouter 1ml d'acide ascorbique à 100g/l et 2ml d'hytamolybdate d'ammonium.
 - Agiter quelques secondes après un temps compris entre 10 à 30min (temps nécessaire au développement de la couleur) :
 - La mesure au spectrophotomètre se fait à l'apparition d'une coloration bleue à la longueur d'onde de 880nm.
 - En absence de coloration, l'appareil affiche une valeur <0.09mg/l.
 - Les résultats du dosage sont donnés directement en mg/l.

II.2.6.2.1.9. Dosage de calcium et de magnésium (ISO 6059 NA 752)

- ✓ **Principe** : le calcium est dosé par une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence de murexide. L'EDTA réagit tout d'abord avec les ions de calcium libres puis les ions de calcium combiné, l'indicateur vire de la couleur rose à la couleur violette.
- ✓ **Mode opératoire**
 - **Pour le Ca²⁺** : ajouter 40ml d'eau distillée à 10ml d'eau à analyser, 2ml de NaOH (2N) et quelques milligrammes de murexide qui donne la couleur rose. Après homogénéisation titrer avec l'EDTA jusqu'à virage au violet (un volume d'EDTA, V₁, est obtenu).

- **Pour Mg^{2+}** : ajouter 40ml d'eau distillée à 100ml d'eau analyser, 2ml de NH_4OH (pH=10.1) et quelque milligramme d'eriochrome. Après homogénéisation titrer avec l'EDTA jusqu'au virage au bleu (un volume d'EDTA, V_2 , est obtenu).

✓ **Expression des résultats**

$$Ca^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 \times 8 \times 5 \times F$$

$$Mg^{2+} \text{ (mg/l)} = (V_1 - V_2) \times 4.8 \times 5 \times F$$

V_1 : est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage de Ca^{2+} ;

V_2 : est le volume, en millilitres de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage de Mg^{2+} ;

F : facteur de dilution

II.2.6.2.1.10. Dosage des chlorures (NF T90-014)

- ✓ **Principe** : le dosage des chlorures est réalisé par titrage au nitrate d'argent ($AgNO_3$) en utilisant du dichromate de potassium (K_2CrO_4) comme indicateur.

Les ions chlorures réagissent avec les ions argent pour former du chlorure d'argent ($AgCl$) insoluble qui précipite. Ce précipité réagit avec l'indicateur (K_2CrO_4) pour former le chromate d'argent brun-rouge (Ag_2CrO_4).



✓ **Mode opératoire**

- Introduire 100 ml de l'échantillon dans un bécher ;
- Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium qui donne la couleur jaune ;
- Après homogénéisation, on titre avec la solution de nitrate d'argent jusqu'au virage au brun rougeâtre. Noter le volume VS de nitrate d'argent versé.
- Titrer une solution à blanc et noter le volume de nitrate d'argent versé VB qui ne doit pas dépasser 0.2ml.

✓ **Expression des résultats**

La concentration en chlorures est exprimée en milligramme par litre est donnée par la formule suivante :

$$C_{Cl^-} = \frac{(VS - VB) \times F \times C}{V_a}$$

VS : le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage de l'échantillon ;

VB : le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage du blanc

Va : le volume en ml de l'échantillon pour essai

C : la concentration réelle exprimée en mole par litre, de la solution de nitrate d'argent.

F : 35453 (masse molaire du $(Cl \times 1000)$)

II.2.6.2.1.11. Dosage des bicarbonates (Norme française T90-036)

- ✓ **Principe** : les carbonates n'existent qu'à un pH de 8,3 et les bicarbonates qu'à un pH compris entre 4,3 et 8,3.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Mesurer le pH de 100ml d'eau à analyser ;
 - Titrer avec de l'acide chlorhydrique 0.1 N jusqu'au pH 4.3 égale (un volume d'acide chlorhydrique, V, est obtenu)
- ✓ **Expression des résultats** : la concentration en bicarbonates exprimée en milligramme par litre est donnée par formule suivante :

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = F \times V \times N \times M \times \frac{1000}{PE}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = F \times 0.1 \times 61 \times M \times \frac{1000}{100}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = V \times 61$$

Avec :

- V : le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage de l'échantillon
- N : normalité d'acide chlorhydrique
- M : masse d'acide chlorhydrique
- PE : Prise d'essai
- F : facteur lié au réactif

II.2.6.2.1.12. Dosage de Fer (ISO 6332)

- ✓ **Principe** : le complexe fer-phénanthroline, est stable dans l'intervalle de pH de 2,5 à 9. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de fer présent. La relation entre la concentration et l'absorbance est linéaire jusqu'à une concentration de 5 mg de fer par litre. Le maximum d'absorbance se situe à environ 510nm.
- ✓ **Mode opératoire**
 - Verser 1ml de solution d'HCl 0.1N et 5ml de persulfate de potassium à 50ml d'eau à analyser ;

- Après chauffage de 20 mn, ajouter 2ml d'acétate d'ammonium et 2ml de solution phénanthroline et 2ml chlorhydrate d'hydroxylamine ;
 - Mélanger soigneusement puis conserver la fiole à l'obscurité pendant 15mn.
 - La lecture sera effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 510nm.
- ✓ **Expression des résultats** : les résultats sont donnés directement en mg/l, par lecture sur l'écran.

- **Analyse statistique : Analyse en Composantes Principales (ACP)**

L'Analyse en Composantes Principales est une méthode d'analyse des données. Elle cherche à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des individus et des variables quantitatives. Elle met en évidence des bilans de liaisons entre les variables étudiées, moyennant des variables synthétiques et révèle une typologie de variables. (**Kouani et al, 2007**). Nous avons utilisé le logiciel de traitement statistique des données Statistica.

II.2.7. Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique a pour but de rechercher et de dénombrer les germes des souches bactériennes dans l'eau.

La recherche et le dénombrement des coliformes (fécaux et totaux) et des Streptocoques ont été effectués par la méthode de filtration sur membrane.

II.2.7.1. Recherche des coliformes totaux et fécaux (Norme NF EN ISO 9308 –1)

- ✓ **Principe** : la filtration sur membrane consiste à dénombrer les bactéries présentes dans un volume d'eau en le faisant passer à travers une membrane filtrante stérile (pore 0,45µm). En effet les pores du filtre ne laissent pas passer les bactéries.

- ✓ **Mode opératoire**

L'analyse est effectuée selon les étapes suivantes :

- Allumer le bec bunsen ;
- Flamber la surface supérieure de la rampe de filtration, la plaque poreuse, le fond et la surface intérieure de l'entonnoir ;
- Prélever la membrane de son emballage à l'aide d'une pince stérile qui devrait être posée sur la plaque poreuse de la rampe de filtration ;
- Agiter soigneusement le flacon renfermant l'eau à analyser ;

- Verser stérilement 100ml d'eau à analyser sur une membrane dont le diamètre des pores est de 0.45 μm ;
- Mettre en marche la pompe à vide pour vider l'eau ;
- Dès que l'eau soit filtrée, enlever l'entonnoir et prélever la membrane avec une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri contenant le milieu de culture (gélose lactosée au TTC et au tergitol 7) en prêtant attention à ne pas piéger de bulles d'air entre la membrane et le milieu ;
- Réaliser cette opération deux fois et incuber :
 - à 37 °C pendant 24 h pour les coliformes totaux ;
 - à 44 °C pendant 16 à 24 h pour les coliformes fécaux.

✓ **Lecture et interprétation**

- La lecture des boîtes incubées à 37°C permet de reconnaître la présence des coliformes totaux par les caractéristiques suivantes :
 - Une coloration jaune ou jaune orangée des colonies, résultat de l'absence de réduction du TTC par les coliformes.
 - Un halo jaune dans le milieu, sous la membrane, autour des colonies correspondant à une fermentation du lactose par les coliformes.
- La lecture des boîtes incubées à 44 °C permet de mettre en évidence les coliformes fécaux de la même façon que les boîtes incubées à 37 °C.

✓ **Calcul et expression des résultats**

On compte le nombre de colonies des coliformes totaux ou fécaux par volume d'eau analysée :

$$N=C$$

C : nombre de colonies caractéristiques dans la boîte gélose tergitol

N : nombre de coliformes totaux ou fécaux dans 100 ml d'eau analysée

II.2.7.2. Recherche des streptocoques fécaux (Norme ISO 7889-2)

- ✓ **Principe** : repose sur la filtration d'un volume d'eau à travers une membrane filtrante stérile (pore 0,45 μm).
- ✓ **Mode opératoire**
 - Allumer le bec Bunsen
 - Flammer la surface supérieure de la rampe de filtration, la plaque poreuse, le fond et la surface intérieure de l'entonnoir ;

- prélever une membrane de son emballage à l'aide d'une pince stérile qui devrait être posée sur la plaque poreuse de la rampe de filtration.
- Agiter soigneusement le flacon renfermant l'eau à analyser ;
- Verser stérilement 100 ml d'eau à analyser ;
- Mettre en marche la pompe à vide pour vider l'eau ;
- Enlever l'entonnoir, Retirer le filtre et les disposer dans la boîte de Pétri contenant le milieu de culture « gélose **Slanetz et Bartley**» veillant à ce qu'aucune bulle d'air ne soit emprisonnée entre la membrane et le milieu ;
- Incubation : à 37 °C pendant 48 heures.
- La lecture se fait en recherchant des colonies rouges brique ou roses

✓ **Calcul et Expression des résultats :**

On compte le nombre de colonies de streptocoques par volume d'eau analysée

$$N=C$$

C : nombre de colonies dans la boîte BEA

N : nombre de streptocoques fécaux dans 100 ml d'eau analysée

II.2.8. Etude du phytoplancton

II.2.8.1. Etude qualitative

Afin de déterminer les espèces d'algues contenues dans l'échantillon à analyser, nous avons utilisé la méthode de la microscopie inversée **Utermöhl**, mise en place en **1931**, qui consiste à remplir dans des chambres de sédimentation 10 ml de volume d'eau à analyser et laisser sédimenter durant 4 h. L'observation est faite sous un microscope inversé de type OPTTECH/I20. La détermination des espèces a été effectuée à l'aide des clés de détermination de **Bourelly (1972, 1981, 1985)**.

II.2.8.2. Etude quantitative

- ✓ **Densité** : permet de décrire la structure d'un peuplement donné du phytoplancton.

$$D = N/ V \text{ (ind/l)}$$

D : nombre d'individus contenus dans un volume V.

N : nombre d'individus trouvés dans un échantillon.

Pour le comptage de phytoplancton, nous avons utilisé une cuve de 10 ml

$$V = \pi R^2 h$$

R : rayon de la cuve= 25mm

h : hauteur de la cuve = 19mm

- ✓ **Dominance** : représente le rapport, du nombre d'individu (Q_i) d'une espèce donnée, sur le nombre total d'individus (Q) pour un échantillonnage considéré. Elle est exprimée en pourcentage.

$$D (\%) = (Q_i / Q) \times 100$$

- ✓ **Evolution mensuelle de la diversité spécifique** : la diversité spécifique est un paramètre quantitatif qui traduit le rapport entre le nombre d'individu faisant partie d'un même écosystème, ou d'une même communauté. Elle est déduite par calcul d'indices de biodiversité.
- **Indice de Shannon** : l'indice de Shannon varie entre $[0 - \log_2 S]$, sa valeur est nulle lorsque le peuplement est constitué par une seule espèce, et maximale lorsque toutes les espèces ont la même abondance (S étant le nombre d'espèces) (**Frontier, 1983**). L'indice de Shannon est déterminé selon la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Avec : $P_i = n_i / N$.

H' : indice de Shannon est exprimé en bits par individu, compris entre 0 et $\log_2 R_s$ (R_s : Richesse Spécifique).

P_i : Fréquence relative de l'espèce i .

n_i : nombre d'individus de l'espèce i .

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

- **Indice d'équitabilité** : on appelle régularité d'un échantillon le rapport de sa diversité à la diversité maximale (**Frountier et Pichod, 1999**). L'équitabilité est déterminée par le calcul d'un indice dont la formule est la suivante :

$$E = H' / H' \max = H' / \log_2 N$$

E : Equitabilité.

H' : Indice de Shannon.

N : Somme des espèces (richesse spécifique).

Il varie entre 0 et 1, il tend vers 0 quand la quasi-totalité est concentrée sur une espèce par contre celui-ci tend vers 1 quand la majorité des espèces présentent des abondances équilibrées.

- $E > 0,80$ Peuplement en équilibre

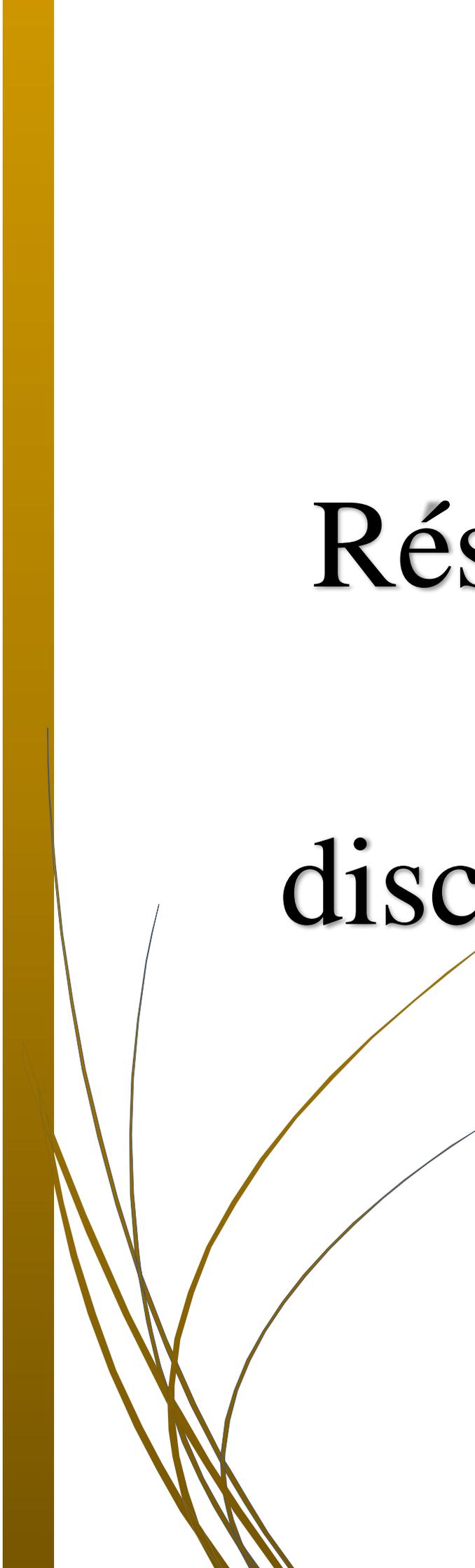
- $0,65 < E < 0,80$ peuplement en léger déséquilibre
- $0,50 < E < 0,65$ peuplement en déséquilibre
- $0 < E < 0,50$ peuplement en déséquilibre fort
- $E = 0$ peuplement inexistant

- **Analyse statistique : Diagramme de Frontier (Diagramme rang fréquence)**

Pour compléter les paramètres étudiés précédemment, les diagrammes rangs fréquences (DRF) sont utilisés pour permettre de visualiser la distribution, le recouvrement des différents taxons.

Les diagrammes rang-fréquence offrent une représentation synthétique d'une communauté (**Frontier et Etienne, 1990**). En effet, cette représentation permet de décrire la diversité spécifique de l'ensemble des cortèges floristiques obtenus. L'échelle est logarithmique, l'allure du DRF suffit à caractériser chacun des trois stades de la succession écologique. Ces tracés donnent une image synthétique de la population et caractérisent son degré d'avancement au long d'une succession. Les différents stades sont stade 1 correspondant au début de la succession écologique, le stade2 étant le stade de maturité du système et le stade 3 correspondant à la fin de la succession.

Le digramme rang-fréquence a été réalisé sous excel 2013.



Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

III.1. Paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* et au laboratoire

Les résultats obtenus lors de notre étude nous ont permis d'élaborer des graphiques permettant de mettre en évidence simultanément les variations spatiales au sein des cinq stations ainsi que les variations temporelles observées durant les cinq mois d'étude.

III.1.1. Température

L'ensemble des valeurs enregistrées de la température de l'eau de surface du barrage est représenté sur le graphique de la **figure.12**.

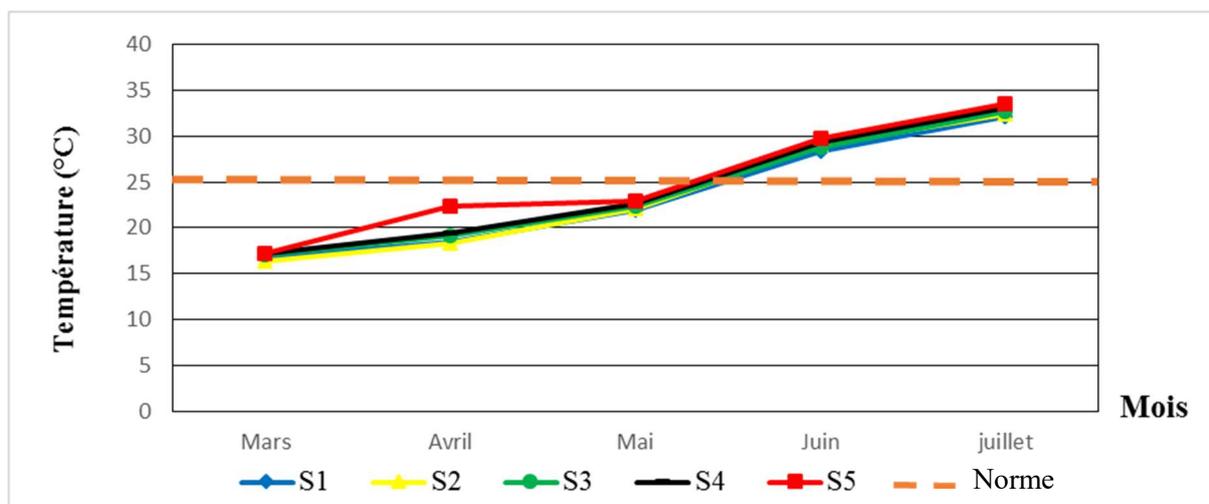


Figure : Evolution spatio-temporelle de la température des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

L'analyse thermique des eaux de surface du barrage de Boukourdane montre que la température varie d'un mois à l'autre. La température minimale enregistrée au mois de mars avoisine les 16,3°C au niveau de la station 2 et la température maximale a été enregistrée au mois de juillet avec 33,5°C au niveau de la station 5. Cette augmentation peut être expliquée d'après **Rodier (1996)** par l'influence de la température de l'air et ceci d'autant plus que l'origine de l'eau est peu profonde.

Nous remarquons, d'une part, une certaine homogénéité dans la répartition des températures à la surface durant toute la période des prélèvements avec un écart de 0,9°C au maximum entre les stations.

D'autre part nous constatons que pendant la période de notre étude les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station 5. Cette différence observée est peut être imputée au temps qui s'écoule entre les différentes stations lors du prélèvement.

En effet, toutes les valeurs enregistrées dans toutes les stations étudiées pendant les trois premiers mois d'étude à savoir le mois de mars, avril et mai, demeurent en deçà des normes (25°C) des eaux de surfaces tolérées par le JORADP (2011).

Cependant, les valeurs enregistrées durant les mois de juin et juillet excèdent les valeurs tolérées par le JORADP (2011). Ces valeurs sont dues essentiellement à l'influence de la température de l'air qui connaît une élévation durant ces mois d'autant plus que nos prélèvements ont été réalisés près de la surface et à partir de 10h du matin.

Ces valeurs auront sans doute des répercussions sur la vie dans cet écosystème aquatique car la température d'un point de vue écologique est, d'après Lokman (1993), un facteur qui conditionne la vie aquatique et qui est étroitement liée à d'autres facteurs régissant ce milieu à savoir les constantes physico-chimiques qui sont sous sa dépendance (Bontoux, 1993).

III.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

En effet, le pH des eaux naturelles est généralement lié à la nature des terrains traversés. Il intervient dans des phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et température (Rodier, 1996). Nos résultats de mesure du pH sont illustrés dans la figure .13.

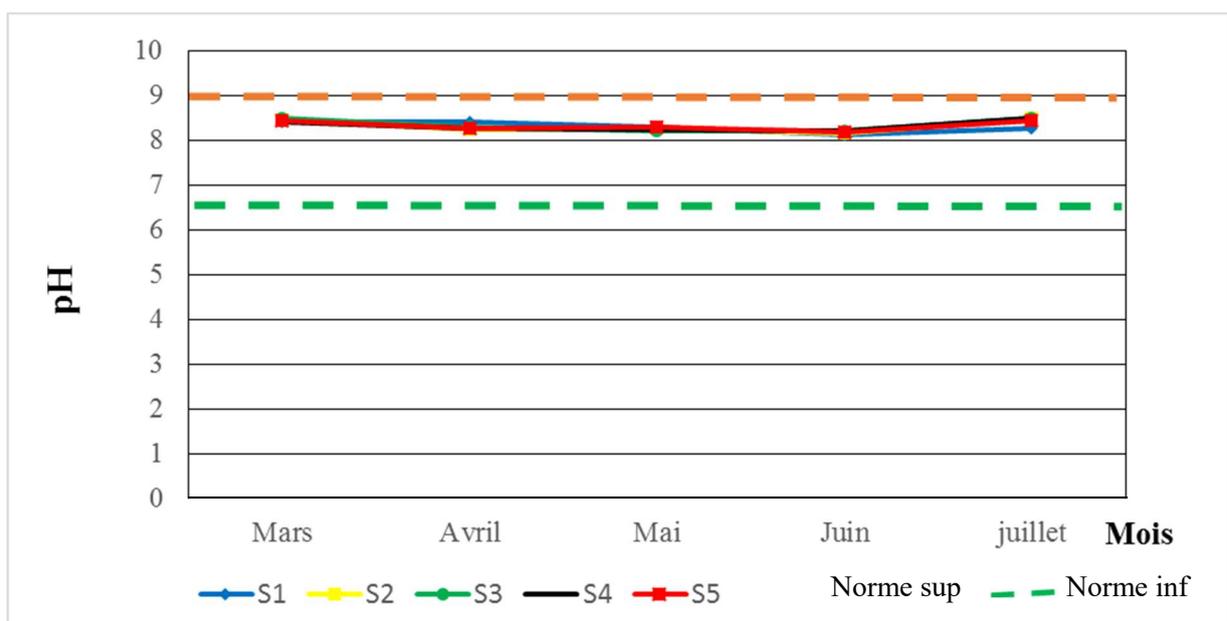


Figure.13 : Evolution spatio-temporelle du potentiel d'Hydrogène des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

La **figure.13** fait apparaître une très légère variation du pH des eaux de surface du barrage Boukournane au cours de notre étude. Les valeurs du pH obtenues sont au voisinage de 8 et oscillent entre un minimum de 8,13 enregistré au niveau de la station 1 au mois de juin et un maximum de 8.5 relevé au sein la station 4 durant le mois de juillet.

Ces valeurs sont dans l'ensemble conformes aux exigences de la **JORADP (2011)** qui recommandent une valeur allant de 6,5 à 9.

III.1.3. Conductivité électrique (CE)

Les résultats de la mesure de la conductivité électrique sont regroupés dans la **figure.14**.

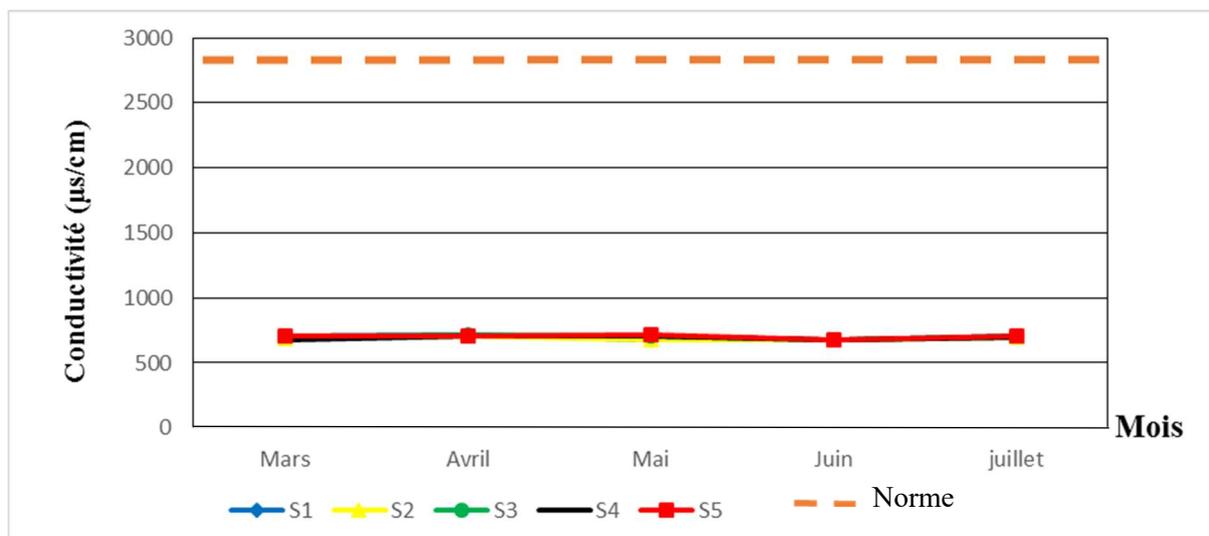


Figure.14 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

L'étude de l'évolution de la conductivité électrique montre que cette dernière varie légèrement en fonction des mois et des stations avec un écart maximal de de 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur minimale était de 677 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée au mois de mars, mai et juin dans les stations 4 et 5 alors que la valeur maximale était de 715 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observée au mois d'avril au sein de la station 1. L'ensemble des valeurs obtenues demeurent largement inférieures aux normes tolérées par le **JORADP (2011)** qui recommandent une valeur ne dépassant pas 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En effet, la conductivité électrique d'une eau est un bon indicateur du degré de minéralisation de l'eau ; elle est proportionnelle à la quantité des sels ionisables et fonction de la dureté de l'eau et de sa composition chimique (**Montegot, 1995**). De plus, elle dépend de la nature des roches rencontrées dans les bassins versants des cours d'eau (**Lischer, 2001**).

III.1.4. Valeurs de la salinité

La salinité indique la teneur d'un milieu en sel, elle permet de connaître la circulation des eaux et d'identifier les masses d'eau d'origines différentes (Aminot et Chaussepied, 1983).

Les valeurs enregistrées dans toutes nos stations durant toute la période d'étude sont de l'ordre de 0,2 ‰ et aucune variation n'a été constatée. Cette valeur est, en fait, la valeur minimale que puisse afficher l'appareil de mesure utilisé (Tableau IV).

Tableau IV : Valeur de la salinité des eaux de surface du barrage Boukourdane

mois	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet
Station					
S1	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰
S2	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰
S3	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰
S4	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰
S5	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰	0,2 ‰

En se référant à la classification **tableau V** des eaux selon leur salinité de **Chevallier (2007)**, nous pouvons classer les eaux du barrage Boukourdane dans la classe des eaux douces

Tableau V : Classification des eaux selon la salinité (Chevallier, 2007).

Qualité de l'eau	salinité
Eaux douces	Moins de 0,5 g/l
Eaux oligohalines (légèrement saumâtres)	0,5 à 5 g/l
Eaux mésohalines (saumâtres)	0,5 à 18 g/l
Eaux polyhalines (très saumâtres)	18 à 30 g/l
Eaux salées	30 à 45 g/l
Eaux hyperhalines	Plus de 45 g/l

III.1.5. Teneurs en Oxygène dissous

L'étude de la variation mensuelle de la teneur en oxygène dissous des eaux de surface du barrage de Boukourdane présente la même allure dans toutes les stations, ce qu'illustre la **figure.15**.

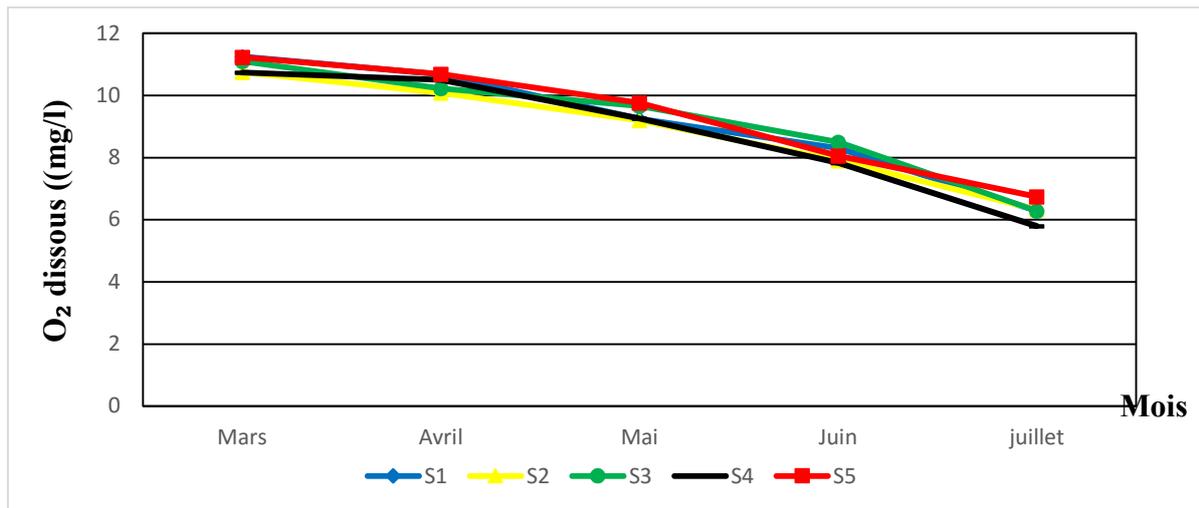


Figure.15 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en oxygène dissous des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les valeurs les plus élevées de l'oxygène dissous sont enregistrées au mois de mars au niveau de la station 1 et la station 5 avec une teneur égale à 11,25mg/l et 11,23 mg/l. La bonne oxygénation de l'eau en période printanière (mars-avril-mai) résulte principalement selon **Millet (1989)** de la basse de température, ainsi que des facteurs mécaniques (agitation par le vent) qui représentent le principal facteur de brassage de l'eau en plus des apports en eau qui par ruissellement deviennent très riches en oxygène.

D'après **Gaujou (1995)** l'origine de l'oxygène dans les milieux aquatiques est liée à l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques et sa dissolution à partir de l'oxygène atmosphérique.

En contrepartie, La teneur la plus basse est enregistrée au cours du mois de juillet au niveau de la station 4 et affiche valeur égale à 5,8 mg/l, la faible oxygénation enregistrée en période estivale (juin-juillet) serait en revanche, liée selon **Millet (1989)** non seulement à la forte élévation de la température qui limite la solubilité de l'oxygène mais aussi à la respiration des organismes aquatiques vivants (faune, flore immergée) et au calme hydrodynamique.

III.1.6. Transparence de l'eau

La transparence dépend de la richesse des eaux en particules solides organiques ou non organiques en suspension et surtout de la qualité des organismes planctonique ; elle est inversement proportionnelle aux matières en suspension (**Tidadini et Amdooun, 2003**).

L'ensemble des valeurs enregistrées au cours de notre étude sont reportées sur le graphique de la **figure.16**.

Une faible transparence a été enregistrée au niveau de la station 5 tout au long de notre étude par rapport aux autres stations où une fluctuation des valeurs a été observée. Cette faible transparence générale peut être liée selon **Bertrin et al (2009)** à l'agitation de l'eau ou aux apports de MES, dominées par la fraction organique, suite aux pluies qui ont précédé les campagnes ou liée à la nature même du substrat d'autant plus que la station 5 correspond à l'embouchure de Oued Menaceur. La plus faible valeur enregistrée étant de 0,7m

Les valeurs, au sein des autres stations, varient en fonction des mois. Elles oscillent entre une valeur minimale de 0,7 m et une valeur maximale de 1,7 m enregistrée au mois d'avril au sein de la station 1.

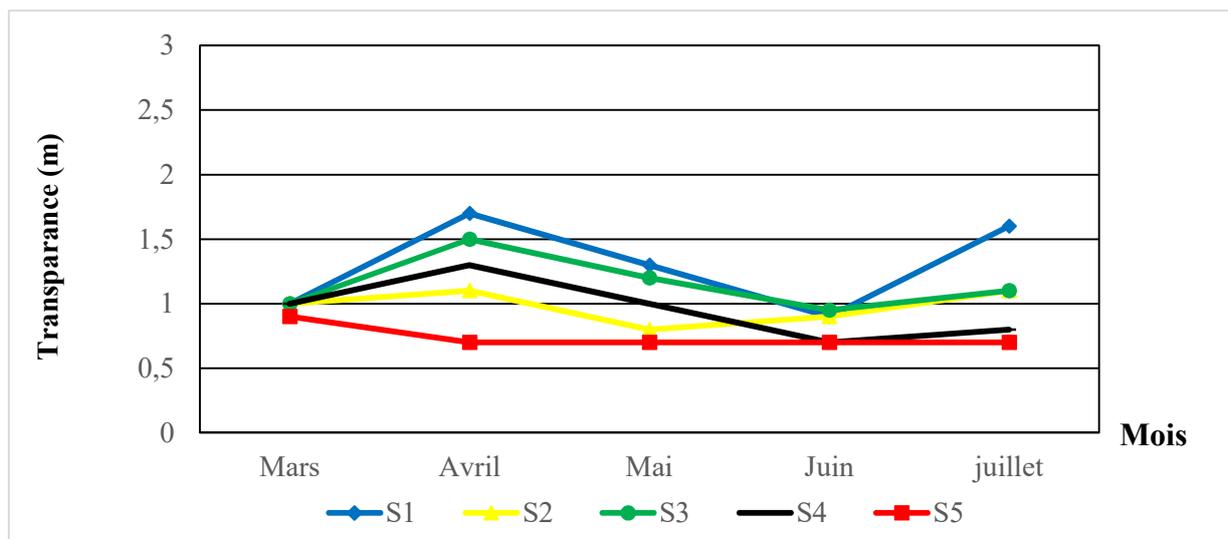


Figure.16 : Evolution spatio-temporelle de la transparence des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

III.1.7. Teneur en matière en suspension (MES)

Les valeurs des matières en suspension des cinq stations suivies au cours des cinq mois d'étude sont regroupées dans la **figure.17**.

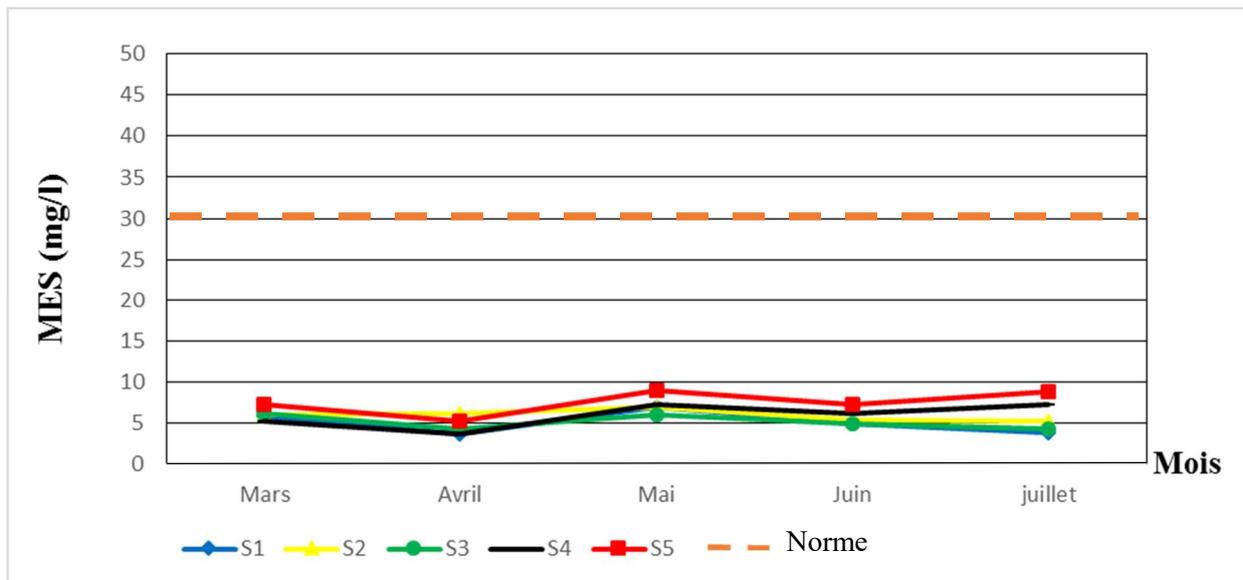


Figure.17 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en matières en suspension des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

La fluctuation mensuelle des MES indique des teneurs plus ou moins faibles, avec une valeur minimale de 3,63 mg/l au mois d'avril dans la station 1 et des teneurs maximales de 9 mg/l enregistrées dans la station 5 aux mois de mai et juillet. Cette variation peut être liée à un ensemble de facteurs du milieu qui sont d'après **Rodier (1996)** : la nature des terrains traversés, la saison, la pluviométrie, les rejets et autres. Il est à noter que les teneurs mesurées dans l'ensemble des stations et durant tous les mois de l'étude restent en deçà du seuil toléré par les normes du **JORADP (2011)** fixé à 25 mg/l.

En effet, les teneurs en MES élevées correspondent aux mois où la transparence s'est avérée faible et inversement pour les valeurs faibles des MES qui coïncident avec des valeurs de transparence assez élevées notamment pour le mois d'avril et mai.

D'une façon générale, les MES interviennent dans la composition de l'eau par l'effet d'échanges d'ions ou par absorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de trace que sur les microorganismes (**Rodier, 1996**).

Les matières en suspension ont un effet mécanique néfaste par formation d'éléments diminuant la transparence des eaux et formant un écran empêchant la bonne pénétration de la lumière et donc réduction de la photosynthèse (**Pesson, 1978**).

III.1.8. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les valeurs de la DCO obtenues dans les stations étudiées en fonction des mois sont illustrées dans le graphique **figure.18**

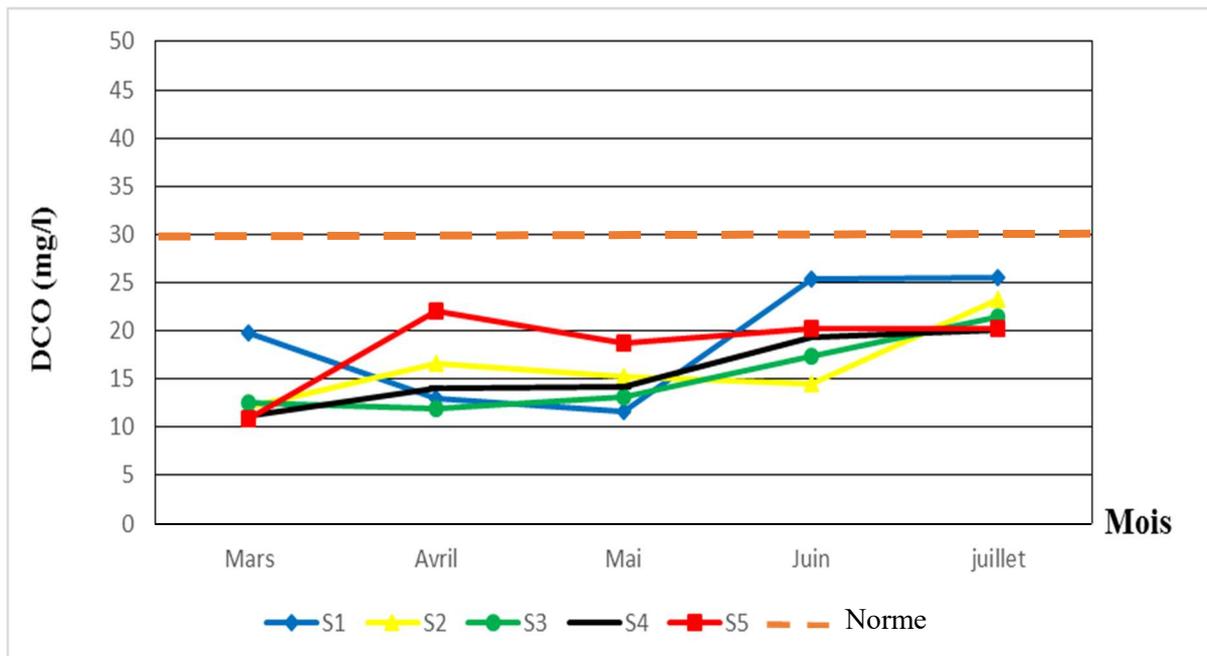


Figure.18 : Evolution spatio-temporelle de la DCO des eaux de surface du barrage de Boukourdane

La valeur maximale de la DCO a été enregistrée au mois de juillet (25,5 mg/l) au niveau de la station S1 (à proximité de la digue). Quant à la valeur minimale de la DCO, elle a été enregistrée au mois de mars (10,8 mg/l) au sein de la station S5 avec une valeur maximale en O₂ dissous de 11,23mg/l.

L'ensemble des valeurs obtenues, quel que soit le mois et la station considérés, s'avère en deçà du seuil toléré par le **JORADP (2011)** fixé à 30 mg/l.

III.1.9. Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours DBO₅

Les valeurs de la DBO₅ mesurées sont regroupées dans le graphique de la **figure.19**. Les valeurs de la DBO₅ connaissent une fluctuation assez marquée. La valeur maximale de la DBO₅ a été enregistrée au mois de mars au niveau de la station S1 et la valeur minimale correspond celle enregistrée au mois de mai au sein de la station S5.

Certaines stations notamment les stations 1 et 3 sont caractérisées par des valeurs répondant aux normes du **JORADP (2011)** fixé à 7 mg/l et ce durant les trois premiers mois d'étude à savoir mars, avril et mai. Cependant la valeur enregistrée lors des deux mois suivants (juin et juillet) a connu une augmentation sensible.

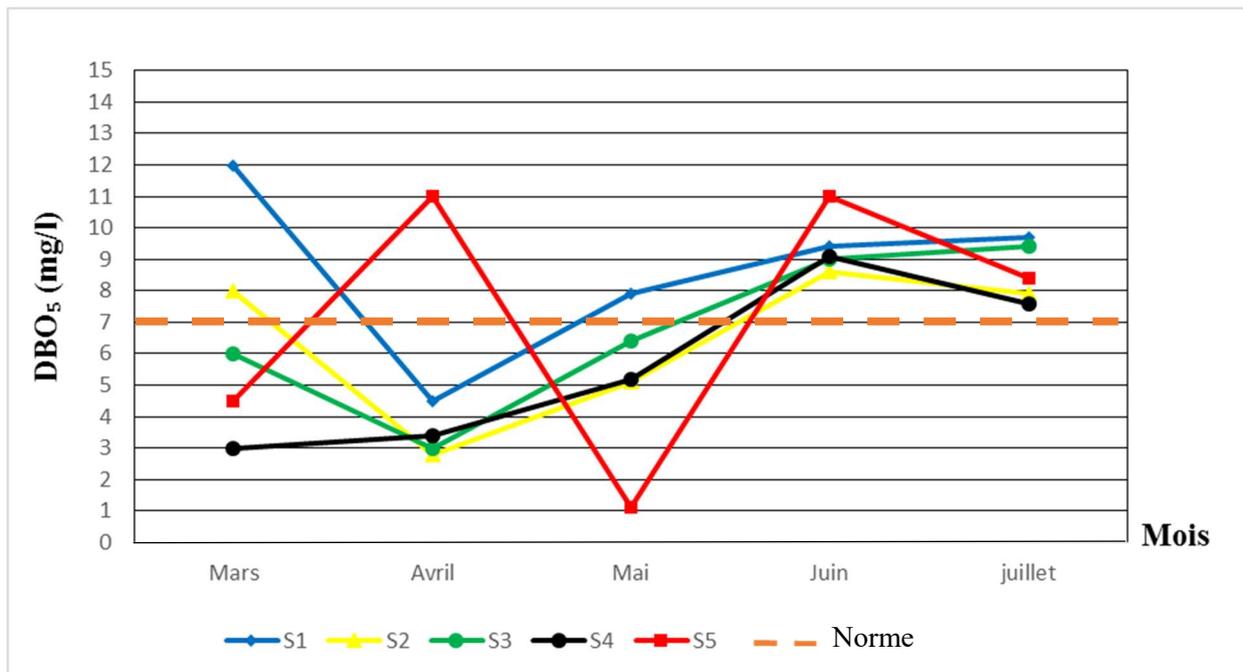


Figure.19 : Evolution spatio-temporelle de la DBO₅ des eaux de surface du barrage de Boukourdane

Quant aux stations 2 et 4, elles ont enregistré une valeur élevée au premier mois (mars) puis rejoignent le rythme des deux stations 1 et 3 pour le restant des mois étudiés.

Cette élévation constatée peut être due à un manque de brassage d'air et/ou prolifération des microorganismes responsables de la dégradation de la matière organique brute.

Pour la station 5, il s'agit bien d'une fluctuation assez marquée. Une valeur obéissant aux normes a été observée durant le mois de mars puis une augmentation assez marquée pendant le mois d'avril puis une valeur très faible au voisinage de 1mg/l au mois de mai pour regagner ensuite des valeurs au-delà de la norme tolérée pendant le mois de juin et juillet. Ceci dit que cette station est certainement sous l'influence de certaines conditions stationnelles car il s'agit bien d'une station qui se trouve en amont gauche du barrage près de l'embouchure d'oued Menaceur qui la rend tributaire des apports de l'oued et de sa qualité également.

III.1.10. Teneur en nitrates

Les teneurs en nitrates enregistrées durant les cinq mois et dans toutes les stations sont portées sur le graphique **figure.20**.

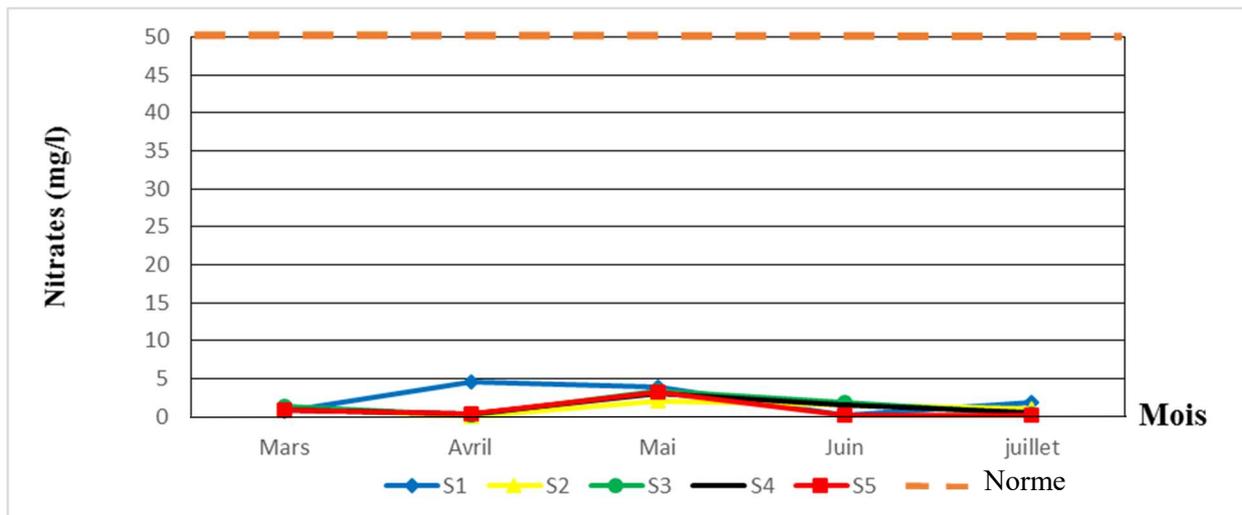


Figure.20 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en nitrates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les teneurs en nitrates enregistrées oscillent entre un minimum de 0,08 mg/l enregistré au niveau de la station 2 au mois d'avril et un maximum de 4,49 mg/l au niveau de la station 1 durant le même mois. Dans l'ensemble, toutes les valeurs enregistrées de nitrates au cours de tous les mois d'étude et au sein de toutes les stations sont largement inférieures à la norme de **JORADP (2011)**.

Les concentrations relativement élevées en nitrate peuvent être le résultat de l'oxydation incomplète d'une partie importante de l'azote Ammoniacal par les bactéries nitreuses alors que les faibles concentrations sont probablement due à leur utilisation par les végétaux aquatiques au cours de la photosynthèse (**Yon, 2004 ; Polan et al, 1998**).

Les nitrates représentent la forme la plus oxydée de l'azote. Ce sont des éléments nutritifs majeurs d'un milieu aquatique car ils stimulent le développement de la flore aquatique et augmentent sa productivité (**Arrignon, 1982**).

III.1.11. Teneur en nitrites

L'ensemble des valeurs enregistrées au cours de notre étude au sein des cinq stations sont regroupés sur le graphique **figure.21**.

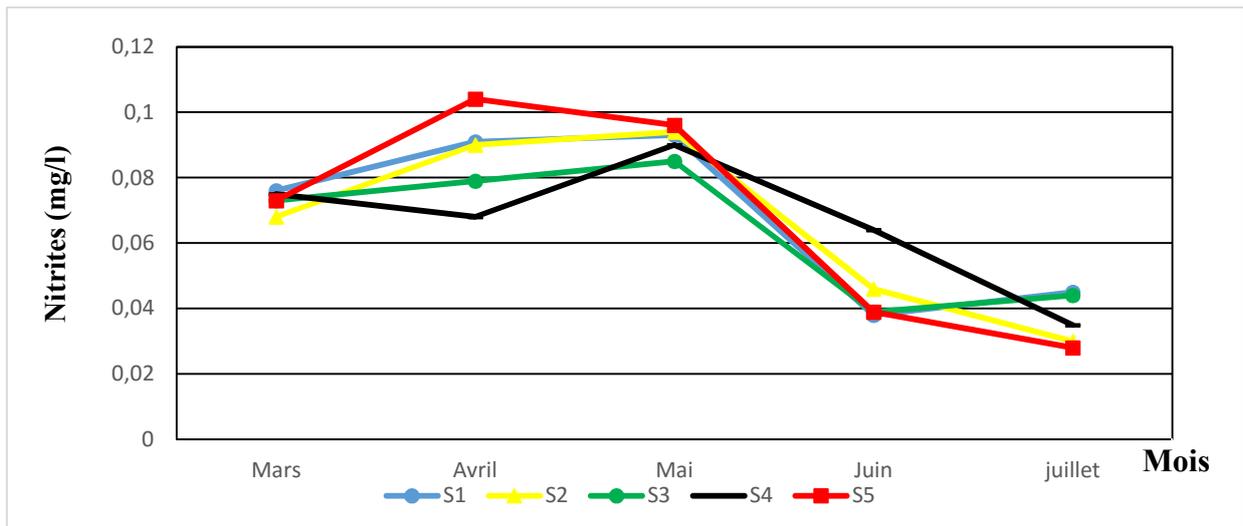


Figure.21 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en nitrites (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

En effet, les valeurs enregistrées oscillent entre un minimum de 0,028 mg/l au cours du mois de juillet au sein de la station 5 et un maximum de 0,104 mg/l au cours du mois d'avril et ce au sein de la même station.

En effet, les nitrites constituent une forme intermédiaire de l'azote, ils résultent soit de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacale sous l'action des bactéries nitreuses, soit de la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes (Arrignon, 1982).

Selon Lacaze (1996), l'azote nitreux est très réactif, il intervient dans de nombreux phénomènes de toxicité.

III.1.12. Teneur en Ammonium

L'ensemble des valeurs obtenues quant à l'ammonium sont portées sur le graphique figure.22.

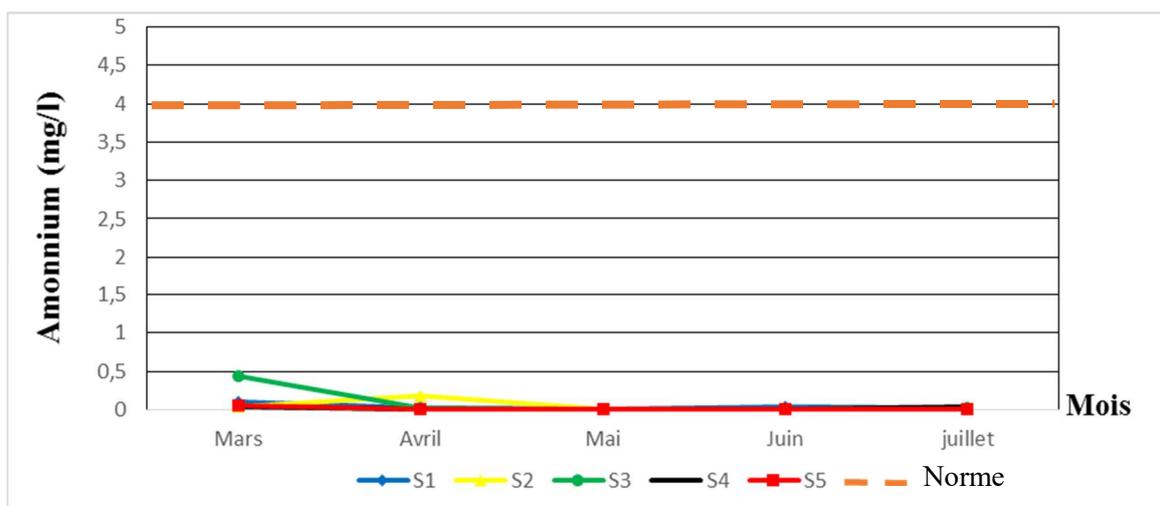


Figure.22 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en ammonium (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les eaux de surface du barrage de Boukourdane présentent des teneurs en ammonium qui varient entre un minimum de 0,002 mg/l relevé en mois de juin dans la station 4, et un maximum de 0,44 mg/l en mois de mars au niveau de la station 3.

A l'exception du mois de mars pour la station 3 et du mois d'avril pour la station 2, la variation mensuelle des concentrations en ammonium se fait d'une manière homogène.

Dans l'ensemble, de très faibles concentrations en ion ammonium dans les eaux de surface durant tous les mois du prélèvement ont été constatées. Ces valeurs sont largement inférieures au seuil toléré par le **JORADP (2011)** qui est de 4 mg/l.

Les faibles teneurs en ammonium constatées dans les eaux analysées peuvent être dues, d'après **Levêque (1996)**, au fait que les organismes autotrophes le résorbent rapidement, et qu'une fraction plus ou moins importantes est oxydée en milieu aérobie pour donner des nitrites puis des nitrates. Cette faible teneur signifie une bonne oxygénation d'après **Sacchi et Testard (1971)**.

III.1.13. Teneur en sulfates

L'ensemble des teneurs en sulfates mesurées sont regroupées et représentées sur le graphique **figure.23**.

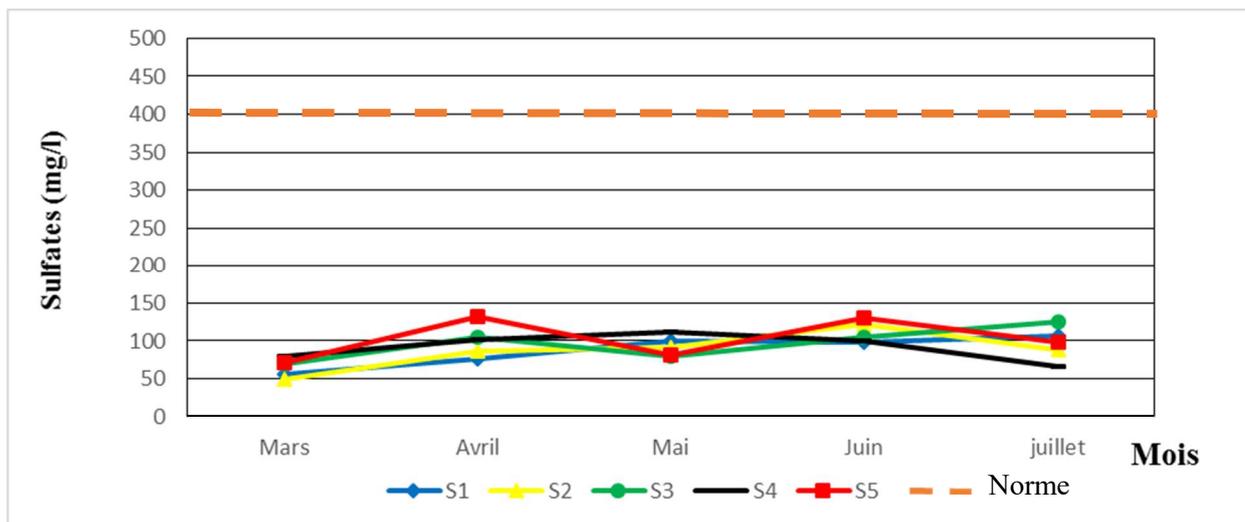


Figure.23 : Evolution spatio-temporelle des teneurs en sulfates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Nous remarquons que les teneurs en sulfates varient d'un mois à un autre avec des valeurs moyennes dans les cinq stations et durant les cinq mois de prélèvement avec une valeur maximale enregistrée dans la station 5 de 131,4 mg /l au mois d'avril et une valeur minimale

de 48.93 mg /l au mois de mars au niveau de la station 2. Tout de même ces valeurs restent en deçà des normes tolérées par le **JORADP (2011)** fixant comme valeur seuil 400 mg/l. Ce qui indique le bon état de l'écosystème étudié par rapport à cet élément car les sulfates sont, d'après **Rodier (2009)** des éléments indispensables à la croissance des végétaux aquatiques, mais un excès peut limiter la production biologique.

Des teneurs très élevées pourront être expliquées par deux origines : de la nature géologique du substrat ou bien des effluents urbains (**Tazerouti, 1993**).

III.1.14. Teneurs en phosphore

L'ensemble des valeurs de phosphore mesurées sont regroupées dans le graphique **figure.24**

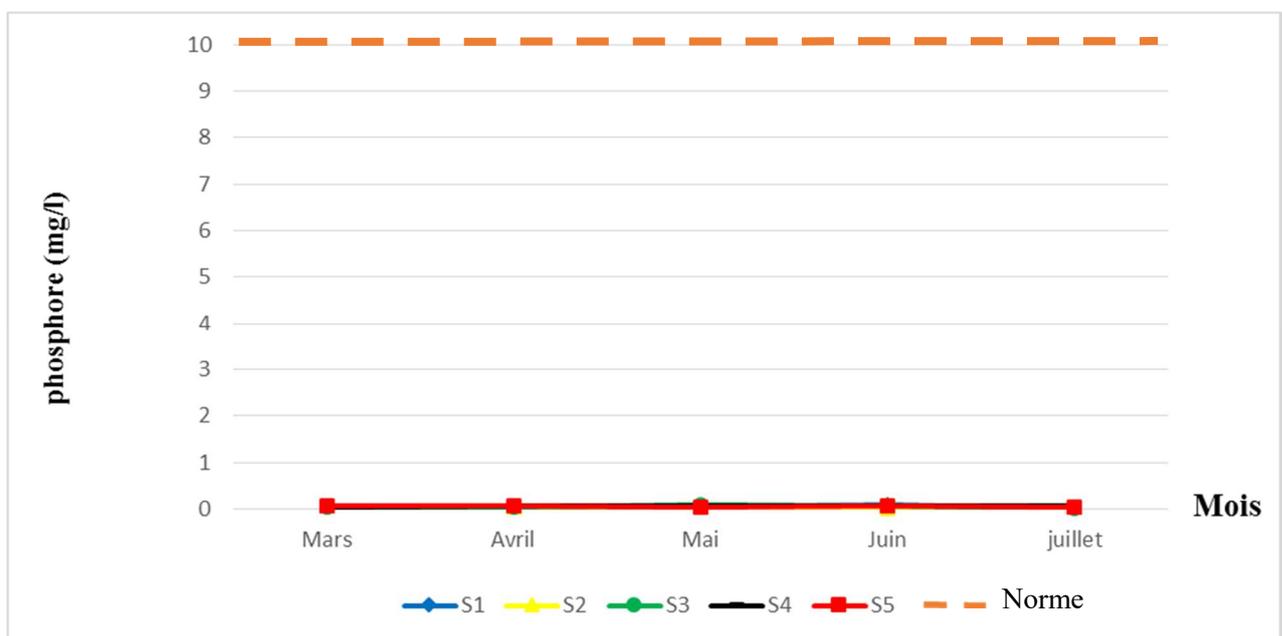


Figure.24 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en phosphates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les eaux de surface du barrage de Boukourdane présentent des teneurs en phosphore qui varient entre 0.005 mg/l enregistrée au mois de juillet au sein de la station 3 et 0.084 mg/l relevé au mois de juin au niveau de la station 3. La distribution de ces teneurs se fait d'une manière plus ou moins homogène pour les différentes stations et présentent des valeurs très faibles qui ne dépassent pas 0.09 mg/l durant tous les mois de prélèvement. Ces faibles teneurs sont dues essentiellement, d'après **Simonea (2004)**, à l'assimilation du phosphore par les végétaux. Il en ressort que toutes les valeurs obtenues sont largement inférieures aux normes tolérées par le **JORADP (2011)** fixant le seuil à ne pas dépasser à 10mg/l.

III.1.15. Teneurs en Calcium (Ca^{++})

L'ensemble des valeurs enregistrées pour le dosage du calcium sont regroupées sur le graphique **figure.25**.

Les résultats obtenus montrent que les eaux de surface du barrage Boukourdane enregistrent une valeur minimale 29.8 mg/l en mois de mai au niveau de la station 4 et une valeur maximale de 60 mg/l en mois de mars au niveau de la station 5.

Nous constatons que les faibles concentrations en calcium sont enregistrées au mois de mai, juin et juillet. En effet, le réchauffement des eaux, d'après **Ramade (2005)**, influe sur les teneurs en ions Ca^{2+} . Ces teneurs peuvent être éventuellement expliquées par la nature géologique du site et/ou les terrains traversés par les cours d'eau alimentant ce barrage.

De plus la teneur en calcium peut bien expliquer l'alcalinité des eaux car les eaux qui traversent les terrains calcaires ont par conséquent, selon **Angelier (2000)**, une forte concentration en carbonate et un PH élevé.

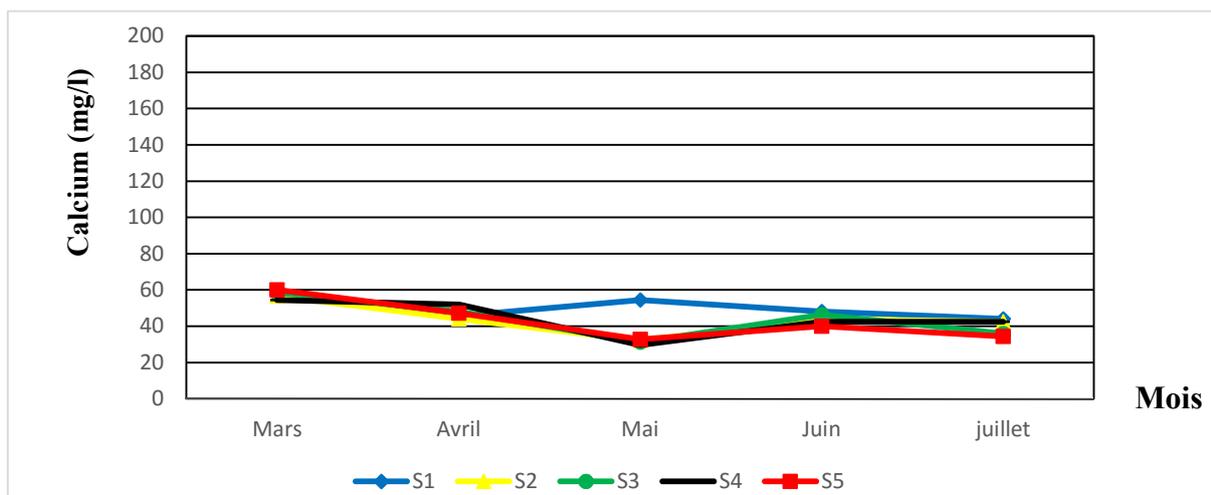


Figure.25 : Evolution spatio-temporelle de teneur en calcium (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

III.1.16. Teneurs en Magnésium (Mg^{++})

L'ensemble des valeurs obtenues pour le magnésium sont regroupées dans le graphique **figure.26**.

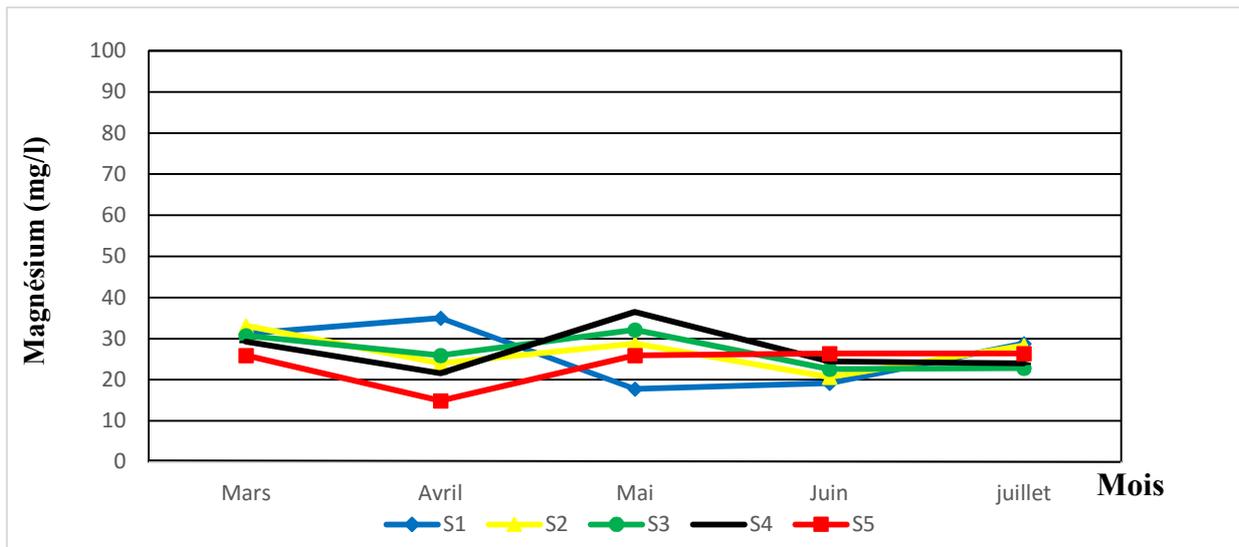


Figure.26 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en magnésium (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les valeurs du magnésium varient d'un mois à l'autre, le maximum est de 36.48 mg/l enregistré au niveau de la station 4 au mois de mai et le minimum est de 15 mg/l enregistré au sein de la station 5 au mois d'avril.

Ces teneurs peuvent être expliquées soit par la dissolution des roches, ou par la présence du sulfate ce qui entraîne l'augmentation du magnésium. Par ailleurs les concentrations basses peuvent être dues à la participation du magnésium dans la respiration et la photosynthèse. (Schoeller, 1988).

III.1.17. Teneurs en bicarbonates (HCO_3^-)

L'ensemble des valeurs obtenues pour les bicarbonates sont regroupées dans le graphique figure.27

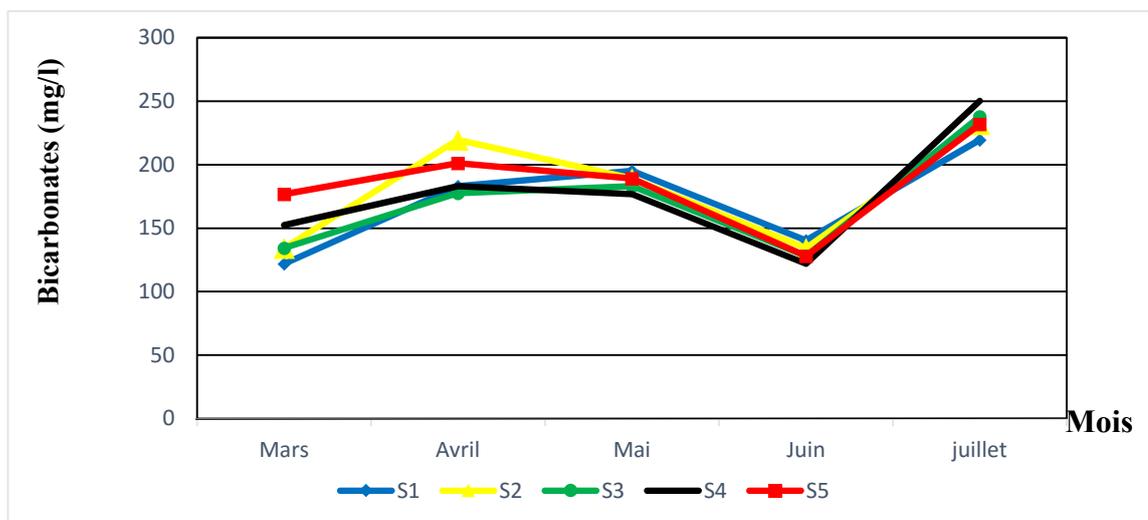


Figure.27 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en bicarbonates (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les valeurs de bicarbonates oscillent entre un minimum de 122 mg/l au mois de mars et juin, au niveau de la station 1 et la station 4 et un maximum de 250,1 mg/l au mois de juillet au niveau de la station 5.

Les valeurs obtenues pour les eaux de surface du barrage de Boukourdane sont assez importantes, ceci pourrait être attribué la libération des carbonates fixés au fond du barrage.

En effet, selon **Boukabache (2003)** Les bicarbonates et les carbonates proviennent de la dissolution de dioxydes de carbone dans l'eau, comme ils peuvent provenir directement de la dissolution des roches calcaires pendant les fortes pluies.

De plus, Les bicarbonates constituent un système tampon qui stabilise le pH des eaux, mais ils ne se substituent sous cette forme qu'en présence d'acide carbonique libre (**Angelier, 2000**).

III.1.18. Teneur en chlorures

L'ensemble des valeurs obtenues pour les chlorures sont regroupées dans le graphique **figure.28**.

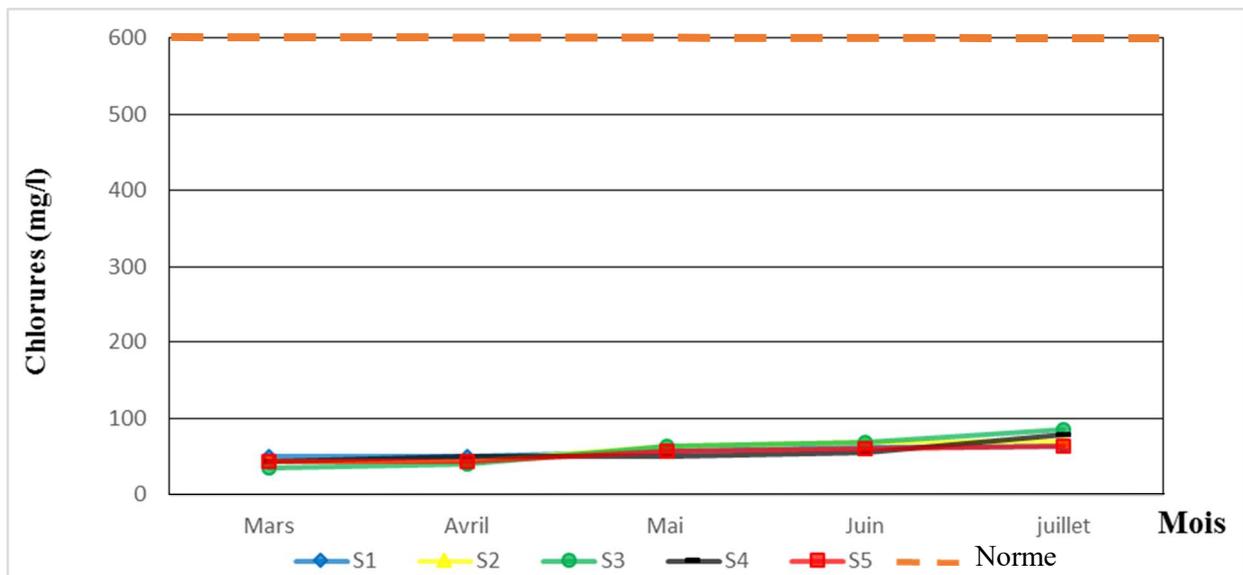


Figure.28 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en chlorures (mg/l) des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Les résultats du dosage des chlorures, montrent légère augmentation des teneurs en chlorures dans le temps pendant les cinq mois étudiés. Avec une valeur minimale de 35,5 mg/l en mars au niveau de la station 3 et une valeur maximal de 85,2 mg/l enregistrée au mois de juillet au sein de la même station. L'ensemble des résultats obtenus dans toutes les stations et

durant toute la période d'étude demeurent en deçà du seuil toléré par le **JORADP (2011)** qui est de 600 mg/l.

Les teneurs en chlorures sont extrêmement liés d'une part, à la nature des bassins versant et d'autre part aux eaux usées urbaines et industrielles (**Houmel, 2001**).

III.1.18. Teneur en fer

Il s'avère que nos échantillons sont dépourvus ou renferment une teneur infime en fer car au cours de l'analyse de cet élément durant notre étude, il n'y a pas eu un développement de couleur permettant le passage à la lecture au spectrophotomètre.

III.2. Estimation de la qualité chimique des eaux de surfaces du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

Nous avons effectué une estimation temporelle (**tableau.VI**) et une estimation spatiale (**tableau.VII**) de la qualité chimique des eaux de surface du barrage de Boukourdane en fonction des valeurs de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015).

De la même manière, nous avons essayé d'évaluer la qualité globale moyenne (**Tableau.VIII**) des eaux de surface du barrage via les valeurs moyennes calculées à partir des résultats obtenus durant toute notre période d'étude et au sein de toutes les stations.

III.2.1. Estimation temporelle de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

L'analyse du **tableau.VI** nous permet les constatations suivantes :

- La température est caractérisée par des valeurs répondant aux normes **JORADP (2011)** durant les deux premiers mois (mars et avril) d'où la qualité excellente des eaux d'après la grille de l'ANRH (2015).
- Les valeurs enregistrées durant le mois de mai, inférieures au seuil de la **JORADP (2011)**, sont plus ou moins élevées d'où la qualité passable de ces eaux. Quant à la qualité des eaux au cours des mois de juin et juillet, il s'avère qu'elle a connu une dégradation avec la mention pollution excessive. Ceci est dû à l'influence de la température saisonnière de l'air.
- Cependant cette variation assez marquée de la température n'a pas affecté les autres paramètres considérés par la grille de la qualité de l'ANRH (2015).
- La comparaison de nos valeurs obtenues lors de la présente étude nous ont permis de classer la qualité chimique des eaux de surface du barrage de Boukourdane en fonction des mois de prélèvement. Il en ressort une bonne à excellente qualité des eaux pour l'ensemble des mois et des paramètres à l'exception de la température.

Tableau.VI : Estimation temporelle de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

Paramètres	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive
Température	Mars avril		Mai		Juin Juillet
pH	Mars Avril Mai Juin Juillet				
Conductivité		Mars Avril Mai Juin Juillet			
M.E.S	Mars Avril Mai Juin Juillet				
Oxygène dissous	Mars Avril Mai Juin	Juillet			
Chlorures	Mars Avril	Mai Juin Juillet			
NH ⁴⁺	Mars Avril Mai Juin	Mars			
NO ₃ ⁻	Mars Avril Mai Juin Juillet				
NO ₂ ⁻		Mars Avril Mai Juin Juillet			
PO ₄ ⁻³	Mars Avril Mai Juin Juillet				

III.2.2. Estimation spatiale de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

L'estimation spatiale de la qualité des eaux de surface du barrage de Boukourdane (**tableau VII**) montre clairement :

- Des valeurs élevées de la température pour les stations S1, S2, S3 et S4 mais avec une mention passable pour ce paramètre et une qualité médiocre est attribué à la station S5 se trouvant près de l'embouchure de Oued Menaceur.
- Le taux de nitrites est relativement ressenti, qualifiant les eaux de l'ensemble des stations de passable.
- La conductivité électrique est bonne pour l'ensemble des stations étudiées.

- Pour le reste des paramètres étudiés, ils nous permettent de classer les eaux de l'ensemble de ces stations dans la classe de qualité excellente.

Tableau VII. Estimation spatiale de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

Paramètres	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive
Température			S1 S2 S3 S4	S5	
pH	S1 S2 S3 S4 S5				
Conductivité		S1 S2 S3 S4 S5			
M.E.S	S1 S2 S3 S4 S5				
Oxygène dissous	S1 S2 S3 S4 S5				
Chlorures	S1 S2 S3 S4 S5				
NH ⁴⁺	S1 S2 S3 S4 S5				
NO ₃ ⁻	S1 S2 S3 S4 S5				
NO ₂ ⁻			S1 S2 S3 S4 S5		
PO ₄ ⁻³	S1 S2 S3 S4 S5				

III.2.3. Estimation globale moyenne de la qualité chimique des eaux du barrage de Boukourdane en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

Quant à la qualité chimique moyenne globale des eaux de surface du barrage de Boukourdane (**tableau VIII**) selon les critères de l'ANRH (2015), il en ressort une qualité excellente pour l'ensemble des paramètres suivants : le pH, les MES, l'oxygène dissous, les chlorures, les nitrates et le phosphore. Concernant la conductivité électrique, une qualité bonne a été constatée. En dernier, le paramètre température est classé comme passable ainsi que les nitrites.

VIII. Tableau : Estimation globale moyenne de la qualité des eaux de surface du barrage en fonction de la grille de la qualité des eaux de surfaces de l'ANRH (2015)

Paramètres	Unités	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive	Barrage Boukourdane
Température	°C	< 20	20 à 22	22 à 25	25 à 30	30	24,12
pH	-	6,5 à 8,5	-	6 à 6,5 ou 8,5 à 9	5,5 à 6 ou 9 à 9,5	< 5,5 ou > 9,5	8,31
Conductivité	µS/cm	< 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000	3000	697,48
M.E.S	mg/l	< 30	-	-	30 à 70	70	5,87
Oxygène dissous	mg/l	7	5 à 7	3 à 5	< 3	-	9,01
Chlorures	mg/l	< 100	100 à 200	200 à 400	400 à 1000	1000	56,23
NH ⁴⁺	mg/l	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à 2	2 à 8	8	0,04
NO ⁻³	mg/l	< 5	5 à 25	25 à 50	50 à 100	100	1,39
NO ⁻²	mg/l	-	0 à 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	3	0,06
PO ⁻³	mg/l	< 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	1 à 5	5	0,04

- **Analyse statistique : Analyse en Composantes Principales (ACP)**

Afin de faire ressortir les associations qui existent entre les paramètres physicochimiques ainsi que leur évolution temporelle, une analyse en composante principale a été réalisée. Sur les 5 mois d'échantillonnage, 13 paramètres ont été considérés à savoir : le pH, la DBO₅, la DCO, les chlorures, les nitrates, les nitrites, le phosphore, la température, la conductivité, les sulfates, l'ammonium, l'oxygène dissous et les MES.

L'objectif de cette partie est de caractériser les changements temporels de la qualité physicochimique des eaux de surface du barrage. Les résultats sont représentés par les deux premiers plans factoriels expliquant plus de 80% de l'inertie globale (**figure.29**).

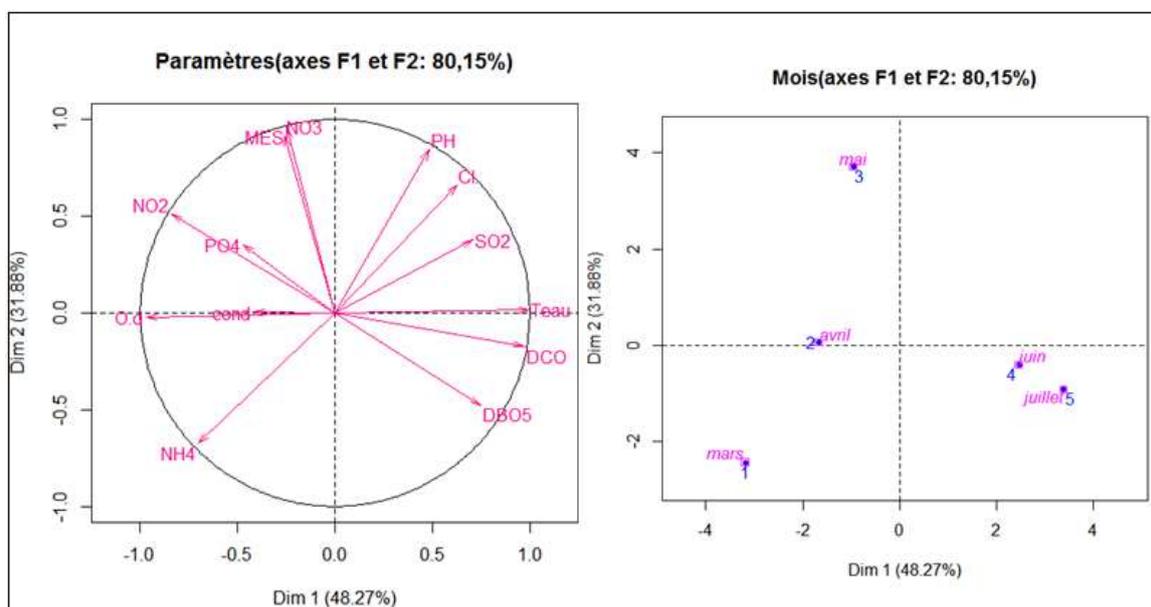


Figure .29 : Analyse en Composante Principale des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

Selon l'axe F1 qui représente 48,27% de l'information nous observons dans sa partie positive le premier groupe comprenant la température de l'eau (Teau), la DBO₅, la DCO, les sulfates et les chlorures.

Le deuxième groupe se trouve dans la partie négative de l'axe F1 qui est constitué de NH⁴⁺, l'oxygène dissous, NO₂, la conductivité et le PO₄³⁻.

Nous remarquons une corrélation négative entre l'oxygène dissous et la Température de l'eau, Une hausse de la température peut être de façon indirecte à l'origine de la diminution des concentrations en l'oxygène dissous (**Carvalho et al ,2005**).

Quant à l'axe F2, il contient seulement un groupe dans sa partie positive ; il regroupe le pH, les MES et NO₃.

III.3. Résultats des analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques effectuées consistent en une recherche des coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux.

III.3.1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont considérés comme indicateurs de la qualité bactériologique de l'eau parce qu'ils peuvent être associés à une pollution.

L'évolution spatiale de la recherche et du dénombrement des coliformes totaux sont rassemblés dans la **figure.30**.

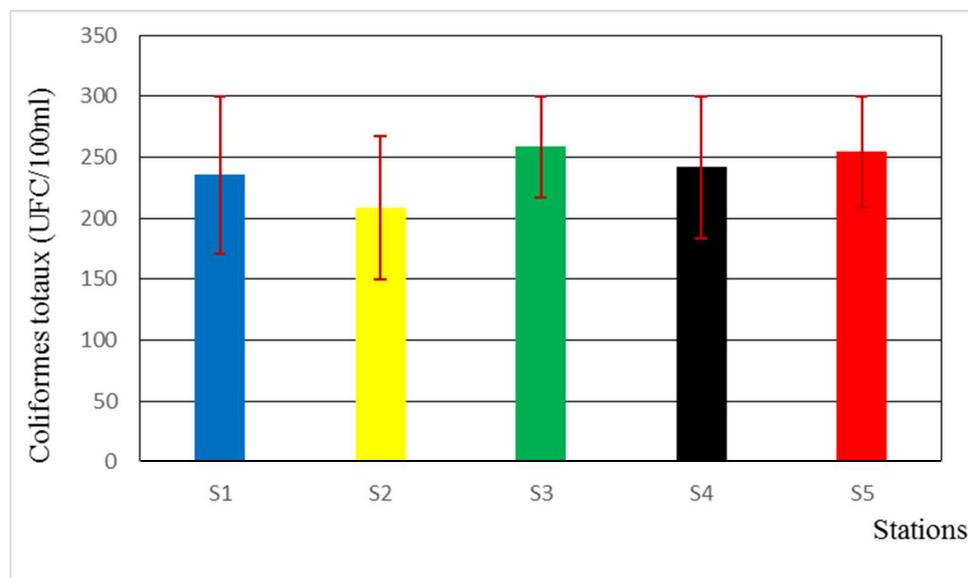


Figure.30 : Evolution spatiale moyenne de la charge en coliformes totaux dans les eaux de surface du barrage de Boukourdane.

La charge moyenne en coliformes totaux (CT) dépasse 300 germes/100 ml dans les eaux de surfaces au niveau des cinq stations étudiées durant toute la période d'étude avec une variation due principalement aux conditions climatiques. Cependant, ces valeurs enregistrées demeurent largement inférieures aux normes tolérées par le **JORADP (2011)** qui sont de l'ordre de 20000 germes/100 ml d'eau.

III.3.2. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont souvent considérés comme indicateur de contamination fécale. Les résultats obtenus (**figure.31**) montrent, d'une part, que la charge moyenne estimée ne dépasse pas les 160 germes / 100ml pour l'ensemble des stations et au cours de toute la période d'étude. D'autre part, ils demeurent de loin inférieurs au seuil toléré par le **JORADP** fixé à 20000 germes/100 ml.

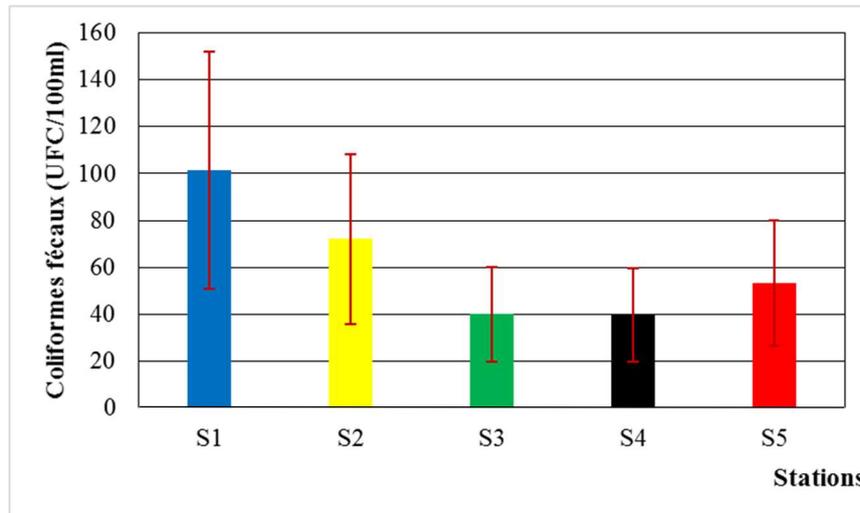


Figure.31 : Variation spatiale de la charge moyenne en coliformes fécaux au niveau des eaux du barrage Boukourdane

III.3.3. Streptocoques fécaux

Les résultats de la recherche et du dénombrement des streptocoques fécaux (**Figure.32**) montrent une variation de la charge moyenne dans les eaux de surface du barrage. La station 4 étant la station la plus marquée par la présence de ces germes. Cependant, l'ensemble des valeurs obtenues restent largement inférieures aux normes tolérées par le JORADP (2011) fixant une charge ne dépassant pas 10000 germes / 100 ml.

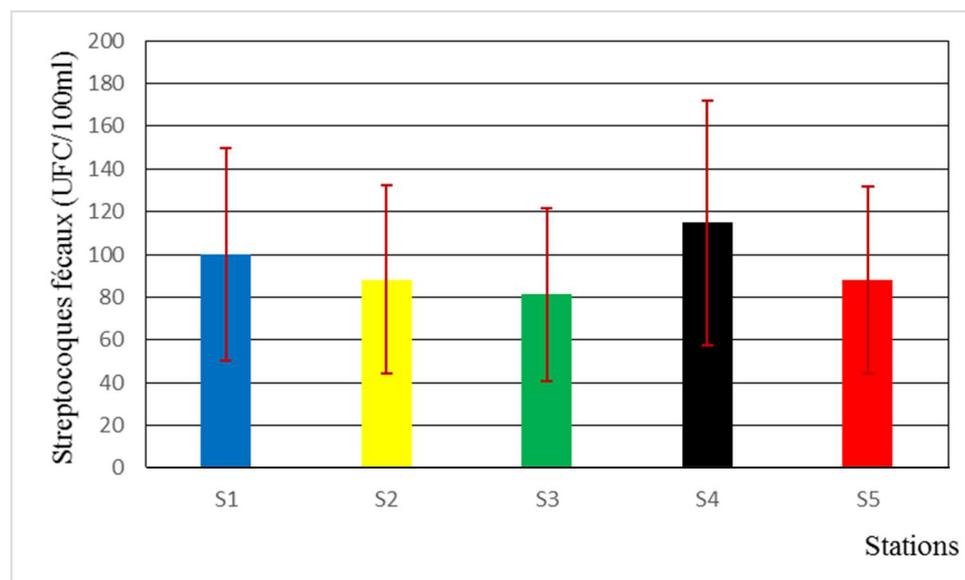


Figure.32 : Variation spatiale de la charge moyenne en streptocoques fécaux au niveau des eaux du barrage de Boukourdane

III.4. Analyse du peuplement planctonique

En effet, la composition spécifique du phytoplancton est en relation avec plusieurs facteurs ; à savoir les facteurs externes représentés essentiellement par les fluctuations climatiques et les changements de la charge des nutriments ainsi que les facteurs internes, propres à l'écosystème aquatique (Bertolo, 1998).

III.4.1. Etude qualitative : Composition taxonomique du phytoplancton

Nous avons réussi à recenser un nombre très important d'espèces phytoplanctoniques. Il s'agit d'un total de 98 espèces réparties sur 6 classes **tableau**.

Classes	Espèces
Diatomées	<i>Nitzschia cf palea</i> , <i>Nitzschia palea</i> <i>Nitzschia cf draveillensis</i> , <i>cf Nitzschia</i> ; <i>Nitzschia sp1</i> , <i>Nitzschia cf vermicularis</i> , <i>Nitzschia cf pura</i> , <i>Nitzschia capitellata</i> , <i>Nitzschia hungarica</i> , <i>Fragilaria sp1</i> , <i>Fragilaria sp2</i> , <i>Fragilaria sp3</i> , <i>Fragilaria sp4</i> , <i>Fragilaria sp5</i> , <i>Fragilaria sp6</i> , <i>cf Fragilaria 01</i> , <i>cf Fragilaria 02</i> , <i>Fragilaria ulna</i> , <i>Navicula sp1</i> , <i>Navicula sp2</i> , <i>Navicula sp3</i> , <i>Navicula cf pupila</i> , <i>Navicula minima</i> , <i>Navicula gregaria</i> , <i>Navicula cf cryptotenella</i> , <i>cf Craticula ambigua</i> , <i>Cymbella sp</i> , <i>Frustulia cf rhomboides</i> , <i>Cymatopleura solea</i> , <i>Gyrosigma sp</i> , <i>Surirella sp</i> , <i>Achnantheidium catenatum</i> , <i>Gomphonema sp</i> , <i>Pinnularia sp1</i> , <i>Pinnularia sp2</i> , <i>Cyclotella ocellata</i> , <i>Cyclotella cf ocellata</i> <i>Cyclotella sp1</i> , <i>Cyclotella sp2</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Coscinodiscus cf rotbii</i>
Chlorophycées	<i>Chlorobotrys regularis</i> , <i>Closterium setaceum</i> , <i>Closterium acutum</i> , <i>cf Closterium</i> <i>Closterium acerosum</i> , <i>cf Cymatopleura</i> , <i>Cosmarium botrytis</i> , <i>Cosmarium depressum</i> , <i>Cosmarium cf bioculatum</i> , <i>cf Cosmarium</i> , <i>Crucigenia sp</i> , <i>Coelastrum microporum</i> , <i>Coelastrum astroideum</i> , <i>Selenastrum capricornum</i> , <i>Monoraphidium cf contortum</i> , <i>Staurastrum sp</i> , <i>Tetraedron minimum</i> , <i>Tetraedron sp1</i> , <i>Tetraedron sp2</i> , <i>Desmodesmus cf granulatus</i> , <i>Scenedesmus cf opoliensis</i> , <i>Scenedesmus acutus</i> , <i>Scenedesmus acuminatus</i> , <i>Desmodesmus cf abundans</i> , <i>Scenedesmus sp</i> , <i>Scenedesmus cf opoliensis</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Scenedesmus falcatus</i> , <i>Desmodesmus bicaudatus</i> , <i>Scenedesmus acuminatus</i> , <i>Pediastrum simplex cat 01</i> , <i>Pediastrum simplex cat 02</i> , <i>Pediastrum duplex</i> , <i>Pediastrum boryanum</i> , <i>Oocystis sp1</i> , <i>Oocystis sp2</i> , <i>Oocystis sp3</i> , <i>Oocystis sp4</i> , <i>Oocystis lacustris</i> .
Euglénophycées	<i>Euglena oxyuris</i> , <i>Phacus longicauda</i> , <i>Euglena proxima</i> , <i>Trachelomonas hispida</i> , <i>Phacus sp1</i> , <i>Phacus sp2</i> .
Dinophycées	<i>Peridinium cinctum</i> , <i>Gymnodinium sp</i> , <i>Peridinium sp</i> , <i>Rhodomonas sp</i> .
Cryptophycées	<i>Cryptomonas ovata</i> , <i>Cryptomonas sp1</i> , <i>Cryptomonas sp2</i> .
Cyanophycées	<i>Merismopedia sp</i> , <i>Anabaena cf delicatula</i> , <i>Oscillatoria cf limosa</i> , <i>Oscillatoria sp</i> , <i>Oscillatoria geminata</i>

A la lumière des résultats obtenus, Nous constatons que certaines classes sont plus diversifiées que d'autres au niveau des eaux de surface du barrage de Boukourdane (**figure.33**). Selon leur composition floristique, elles se répartissent comme suit :

- ✓ **Diatomées ou les Bacillariophycées** : c'est la classe la plus diversifiée comportant 41 taxons, soit 42 % de la communauté phytoplanctonique et représentée principalement par les genres suivants : *Nitzschia*, *Fragilaria*, *Cyclotella*.
- ✓ **Chlorophycées** : comportant 39 taxons, soit 40 % et sont représentés essentiellement par les genres *Scenedesmus*, *Tetraedron*.
- ✓ **Euglénophycées** : comptent 6 taxons, soit une proportion de 6%, dominés par le genre : *Euglena*
- ✓ **Dinophycées** : comptent 4 taxons, soit une proportion de 4%, dominés par le genre : *Peridinium*,
- ✓ **Cryptophycées** : comptent 3 taxons, soit une proportion de 3%, dominés par le genre : *Cryptomonas*.
- ✓ **Cyanophycées** : comptent 5 taxons, soit une proportion de 5% dominés par le genre : *Oscillatoria*

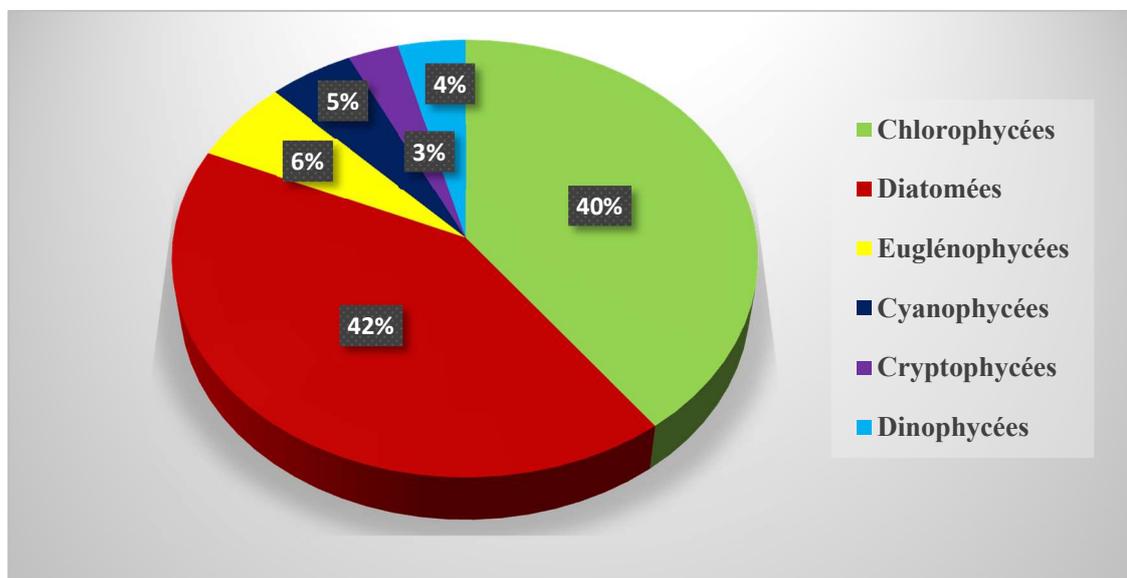
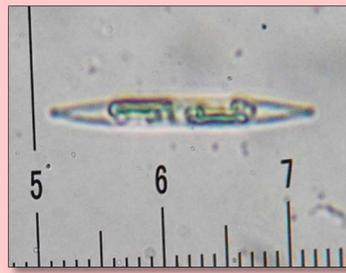


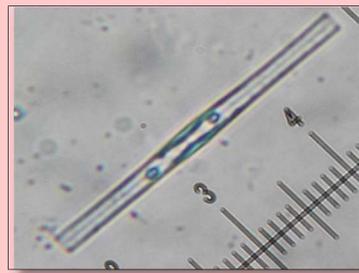
Figure.33 : Composition taxonomique du phytoplancton des eaux de surface du barrage de Boukourdane

Les principales espèces rencontrées en fonction des classes correspondantes sont regroupées dans la **figure.34**.

Diatomées



Nitzschia palea



Fragilaria sp



Navicula gregaria



Frustulia cf rhomboides



Cymbella sp



Cymatopleura solea



Gyrosigma sp



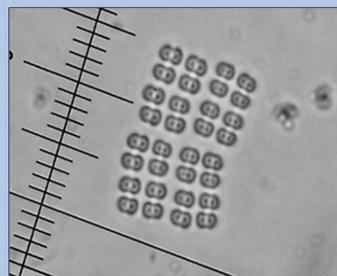
Surirella sp



Cyclotella meneghiniana

Figure.34.a. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Diatomées.

Cyanophycées



Merismopedia sp



Oscillatoria cf limosa

Figure.34.b. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Cyanophycées.

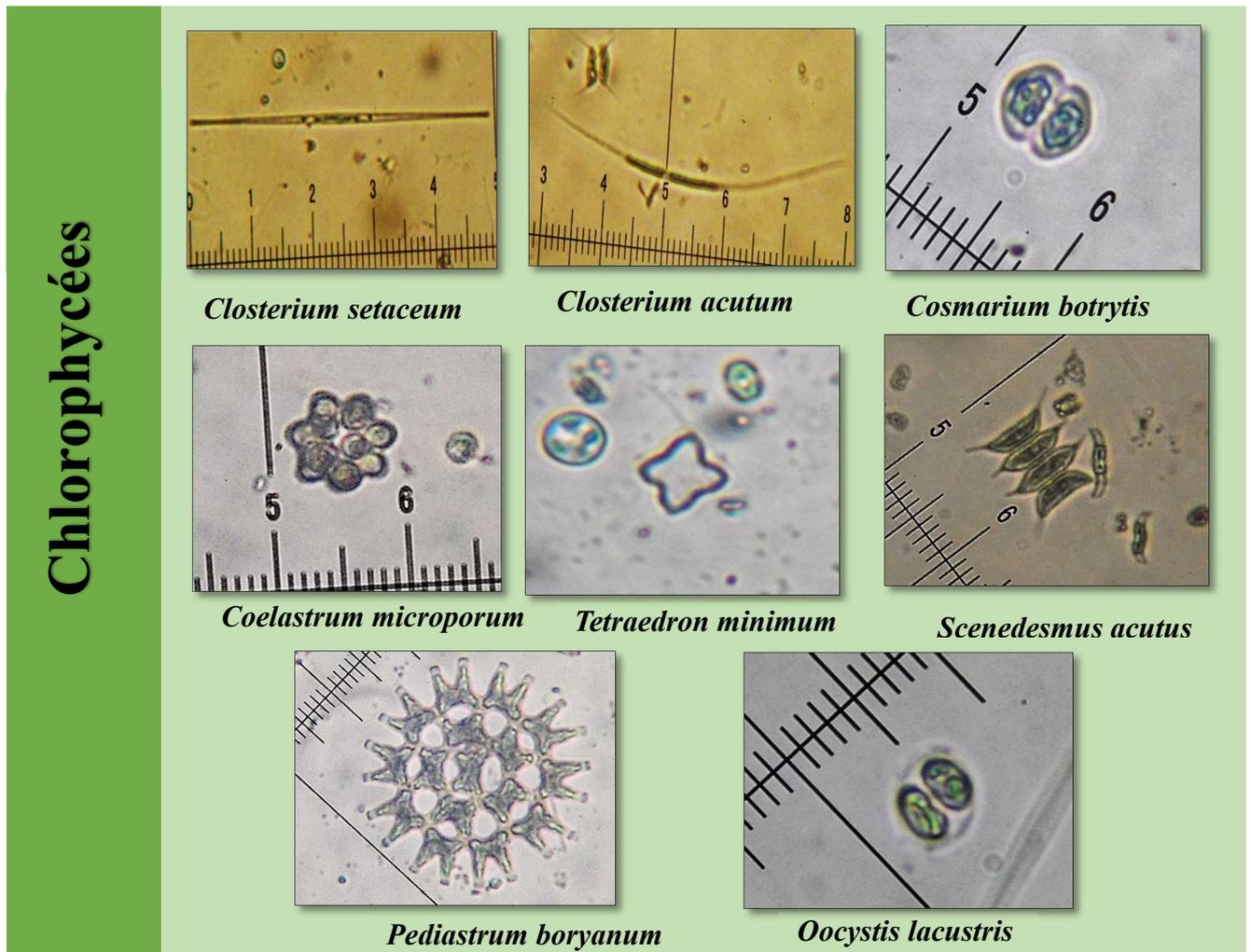


Figure.34.c. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Chlorophycées.

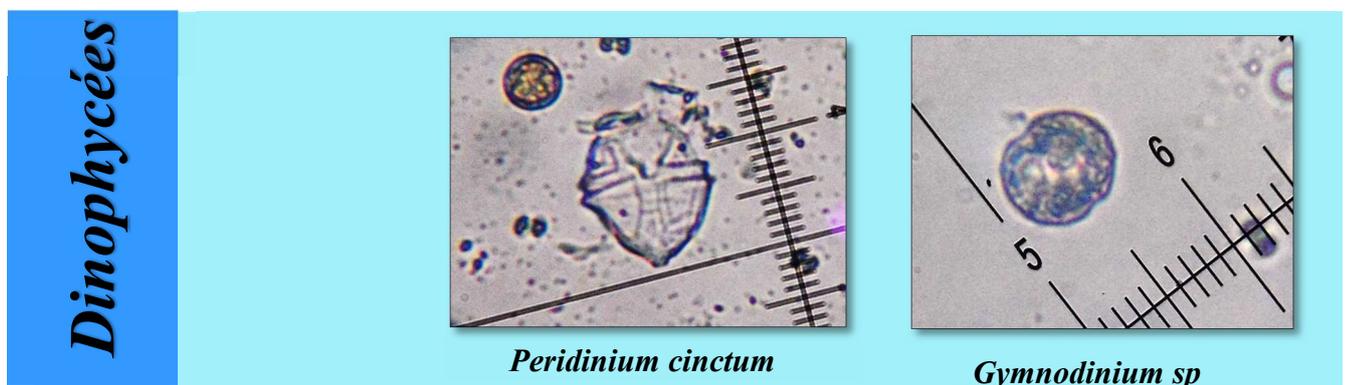


Figure.34.d. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Dinophycées.

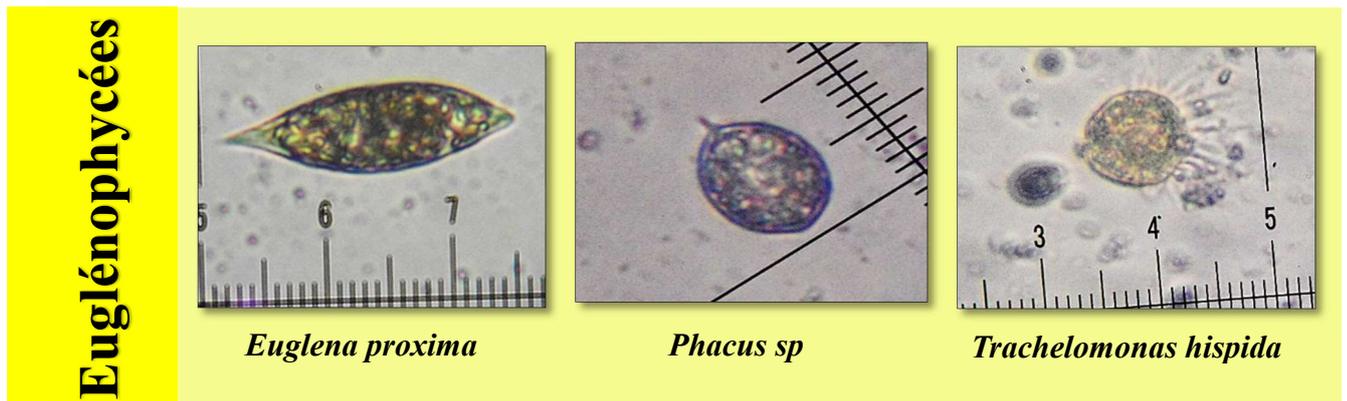


Figure.34.e. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Euglénophycées

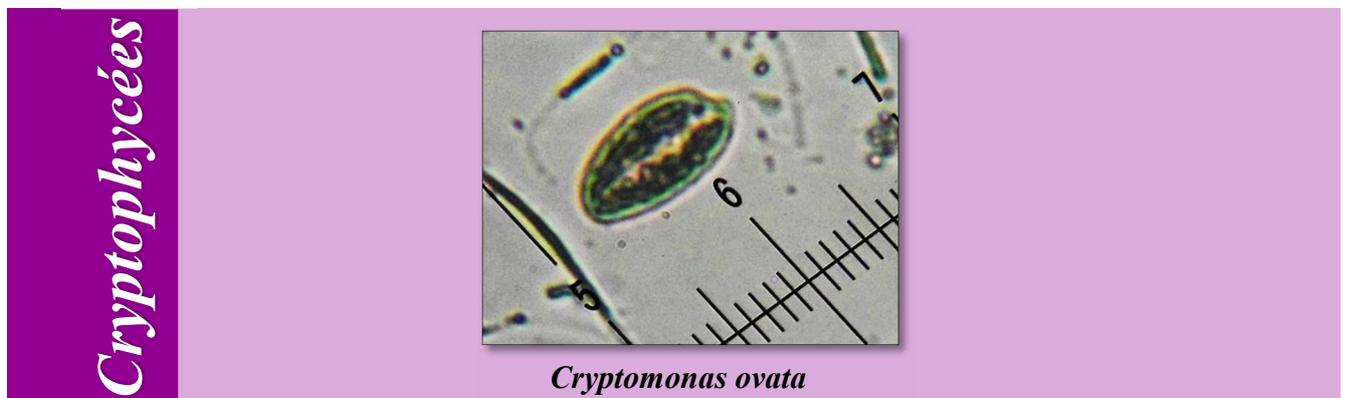


Figure.34.f. Principales espèces rencontrées au sein de la classe des Cryptophycées.

III.4.2. Etude quantitative du peuplement phytoplanctonique

III.4.2.1. Evolution temporelle de la composition du peuplement algal en fonction de sa densité

La variation temporelle du compartiment algal est due principalement aux facteurs externes tels que les paramètres climatiques et les charges en éléments nutritifs. De plus elle peut être liée aussi à un facteur interne qui est la régulation des populations algales (**Bertolo, 1998**).

Le dénombrement cellulaire du compartiment algal, a mis en évidence une différence quant à la densité des groupes phytoplanctoniques dans le barrage de Boukourdane. Le groupe le plus abondant (42%) étant celui des Diatomées avec une densité moyenne de 555451900 algues/l, suivi de celui des Chlorophycées qui vient en deuxième position (40%) avec une densité moyenne de 1832725400 algues/l.

En troisième position, les Euglénophycées (6%) avec une densité moyenne de 10494000 algues/l, suivis des Cyanophycées (5%) en quatrième position avec une densité moyenne de 19407600 algues/l.

Les Dinophycées occupent la cinquième position (4%) avec une densité moyenne de 37418100 algues/l et en dernier, les Cryptophycées (3%), groupe rare, avec une densité moyenne de 113361700 algues/l.

L'évolution temporelle de la composition du compartiment algal en fonction de l'abondance des 6 groupes phytoplanctoniques (**figure.35**) montre clairement une abondance assez marquée des Diatomées et des Chlorophycées durant tous les mois de notre étude.

En effet, la classe des Chlorophycées représentée par 41 espèces prédomine la masse phytoplanctonique au sein des eaux de surface du barrage de Boukourdane et ce durant les mois de mars, mai, juin et juillet avec des densités très élevées suivie de la classe des Diatomées dans la majorité des cas. En troisième position, se place la famille des Cryptophycées avec des densités relativement importantes durant le mois de mars et juillet.

Cependant, la classe des Diatomées, représentée par 39 espèces, prédomine les prélèvements du mois d'avril avec une densité de l'ordre de 6432100 algues/l, une densité largement supérieure à celle des autres classes contre une densité assez faible de 360170 algues/l pour les Chlorophycées.

La majorité des chlorophycées ont été observés durant les mois les plus chauds. Ce groupe préfère un pH alcalin. Quant à la classe des Diatomées, elle occupe une place très importante au sein du phytoplancton, se présentant sous forme unicellulaire et uniforme, leur caractéristique primordiale est leur squelette siliceux. En effet, le genre *Cyclotella* s'avère le plus développé des Diatomées, il a un caractère héliophile reconnu, et qui se développe de façon optimale lorsque la température avoisine 20°C (**Loudiki, 1990**). Ce dernier a été très omniprésent dans nos prélèvements.

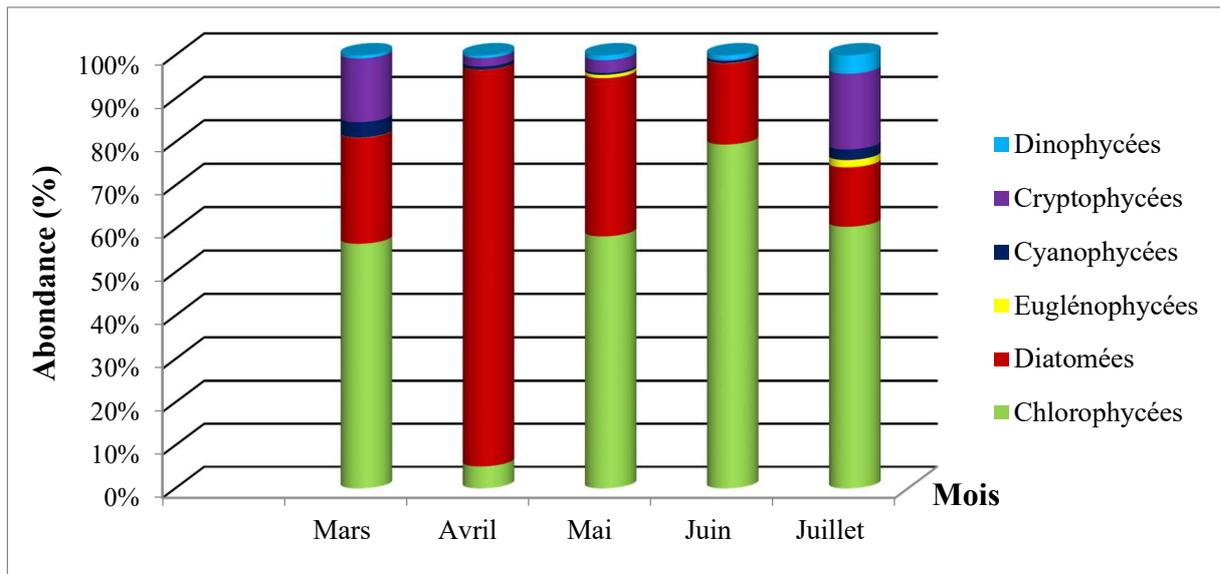


Figure.35 : Evolution temporelle de la composition du compartiment algal en fonction de l'abondance des 6 groupes phytoplanctoniques au niveau des eaux de surfaces du barrage de Boukourdane.

III.4.2.2. Evolution temporelle de la densité algale

La densité des espèces algales a été déterminée suite à l'observation microscopique et au calcul. Cette dernière est d'une manière générale relativement négligeable au cours des mois de mars et avril, ayant connu une augmentation importante (**figure.36**) au cours des mois de mai et juillet avec un pic au cours du mois de juin avec une valeur dépassant 1652511100 algues/l. De plus les Chlorophycées représentent la classe la plus abondante notamment au cours du mois de juin avec une densité de l'ordre de 1317171600 algues/l. L'augmentation sensible de cette densité peut être éventuellement liée à l'élévation de la température au cours de ces mois.

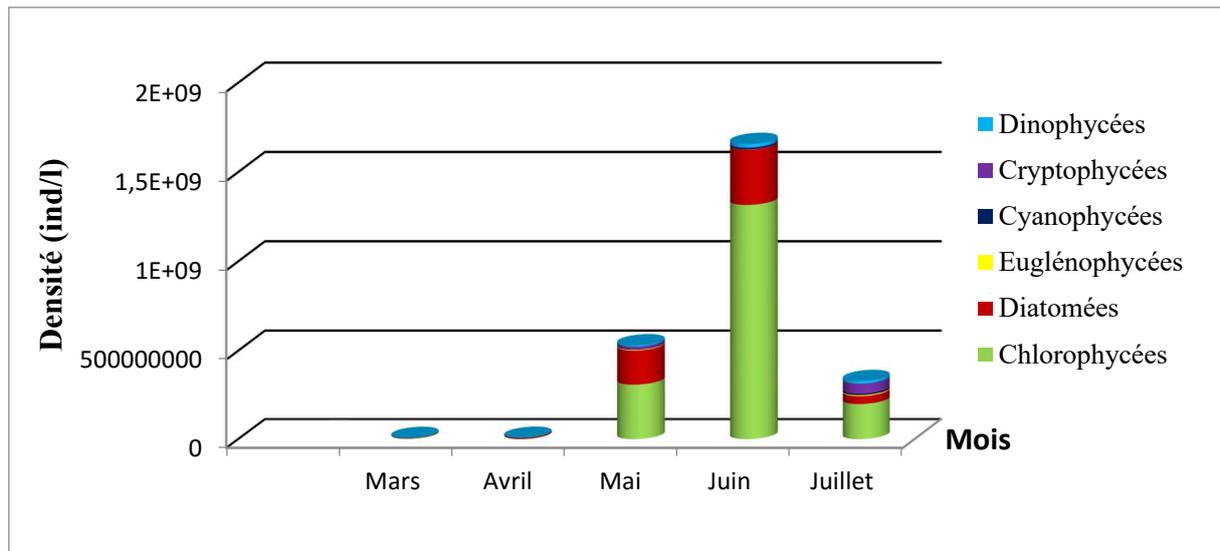


Figure.36 Evolution temporelle de la densité algale des 6 groupes phytoplanctoniques au sein des eaux de surface du barrage de Boukourdane.

III.4.2.3. Evolution temporelle de la diversité spécifique : Indice de Shannon (H') et Equitabilité (E)

La valeur de l'indice de Shannon doit varier d'après (**Frontier, 1983**) entre 0 et $\log_2 S$. Nous avons par conséquent déterminé la valeur maximale de cet intervalle selon la richesse spécifique observée au cours de chaque mois. Cela signifie qu'une valeur qui tend vers le $\log_2 S$ implique une abondance similaire voire identique pour l'ensemble des espèces recensées et une valeur se rapprochant de 0 implique la dominance d'une seule espèce.

Les valeurs de l'indice de Shannon obtenues varient entre 1,81 et 3,45 (bits/ind) (**figure.37**) pour les eaux de surface du barrage de Boukourdane. Les valeurs enregistrées sont dans l'ensemble faibles ce qui signifie que les espèces abondantes ne sont pas nombreuses ce qui est tout à fait juste et vrai étant donné que 3 espèces uniquement à savoir *Closterium setaceum*, *cf Cosmarium* et *Achnanthydium catenatum* sont retrouvées en grand nombre pendant notre période de travail.

L'équitabilité représente la régularité d'un échantillon en comparant sa diversité à la diversité maximale, elle est déterminée pour confirmer les résultats de l'indice de Shannon. Il s'avère d'après les valeurs obtenues (**figure.38**) qu'elles sont bien corrélées avec les valeurs de l'indice de **Shannon**. Ces valeurs sont très faibles et incluses dans l'intervalle]0 - 0,50[ce qui signifie, d'après **Frountier et Pichod (1999)** que le peuplement est en fort déséquilibre.

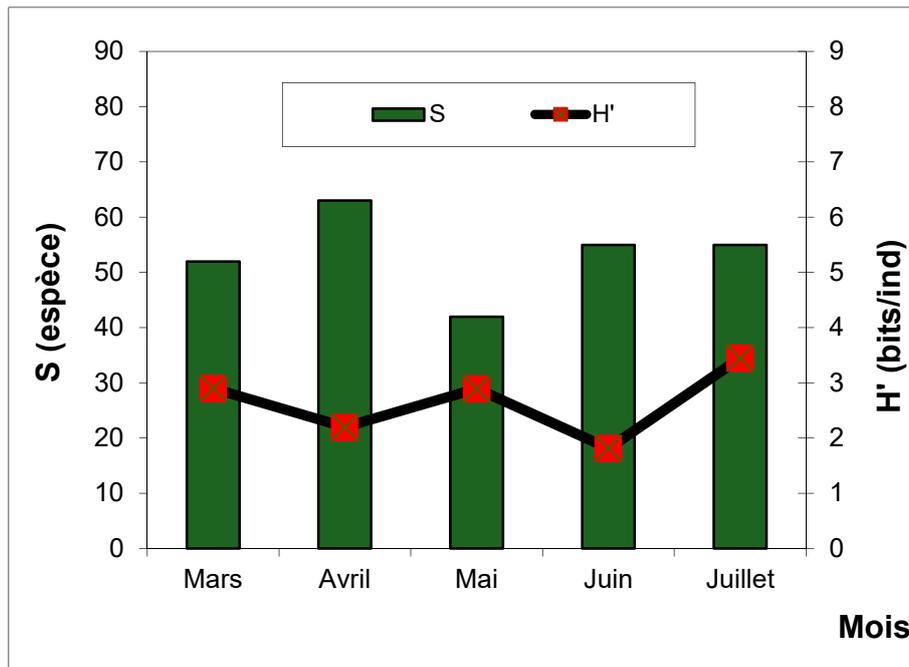


Figure.37 : Variation temporelle de l'indice de Shannon et de la diversité spécifique.

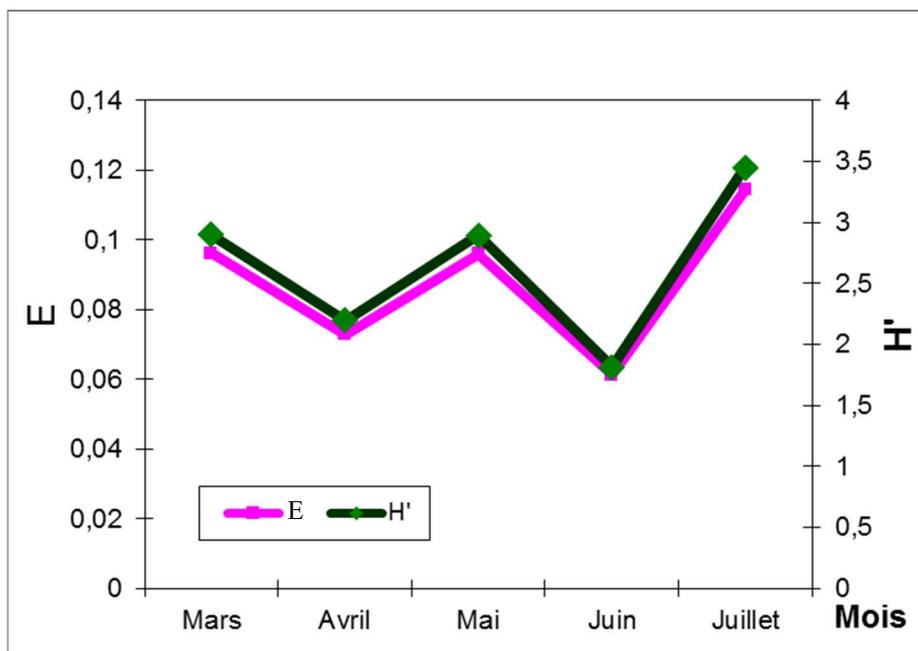


Figure.38 : Variation temporelle de l'équitabilité et de l'indice de Shannon.

III.4.2.4. Analyse du diagramme de FRONTIER (Diagramme Rang Fréquence)

Le Diagramme Rang-Fréquence DRF établi pour les eaux de surfaces du Barrage de Boukourdane, durant les cinq mois d'étude (**figure.39**), montre dans l'ensemble une courbe temporelle et spatiale à allure convexe ce qui indique, d'après (**Frontier et Etienne, 1990**), que la communauté étudiée est au stade 2 correspondant à la maturité.

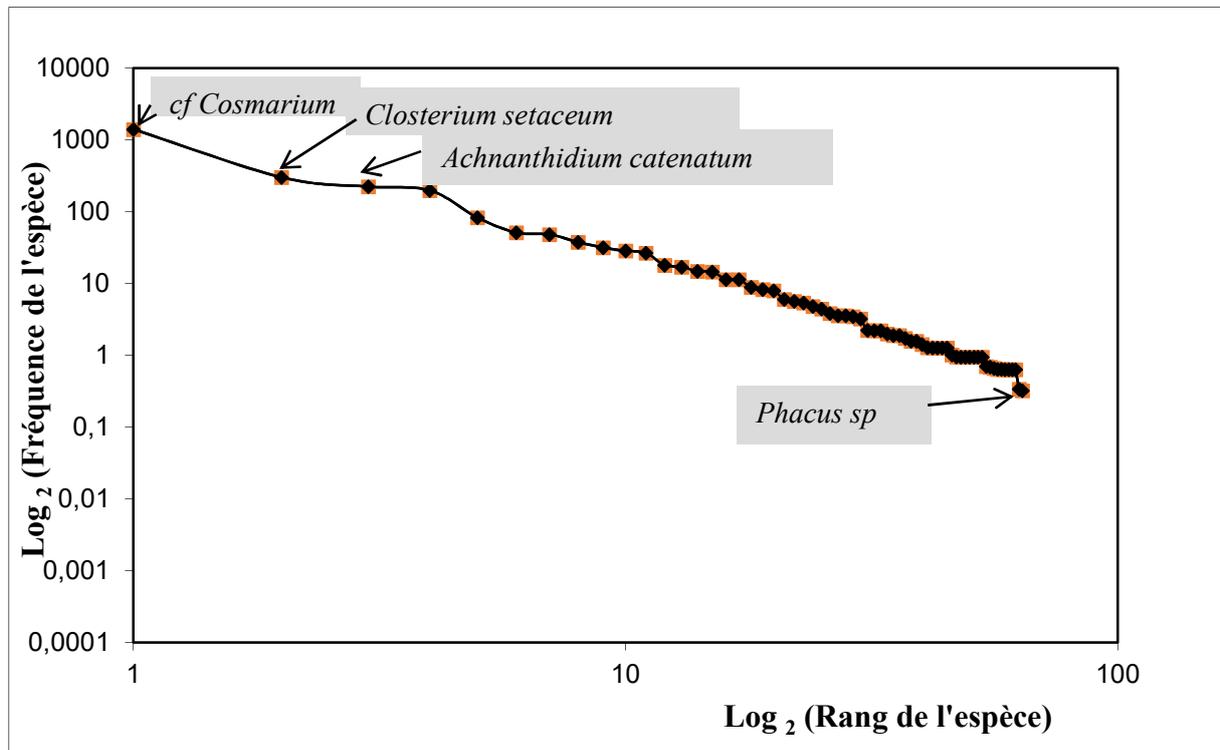
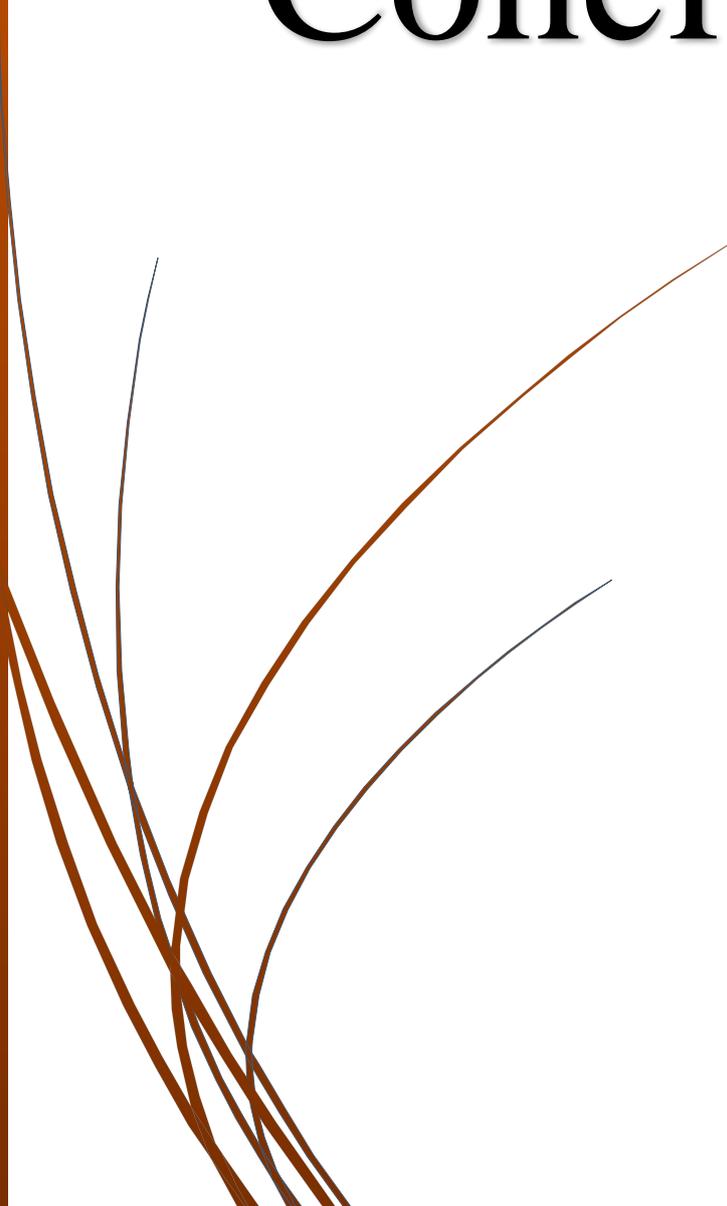


Fig.39 Diagramme des Rangs-Fréquences (D.R.F) du compartiment algal des eaux de surface du barrage de Boukourdane

Conclusion



Notre travail a porté sur l'évaluation de la qualité physicochimique et biologique des eaux du barrage de Boukourdane au niveau de 5 stations durant cinq mois de suivi de l'an en cours.

Les principales analyses physico-chimiques effectuées *in situ* et au laboratoire ont révélé les résultats suivants :

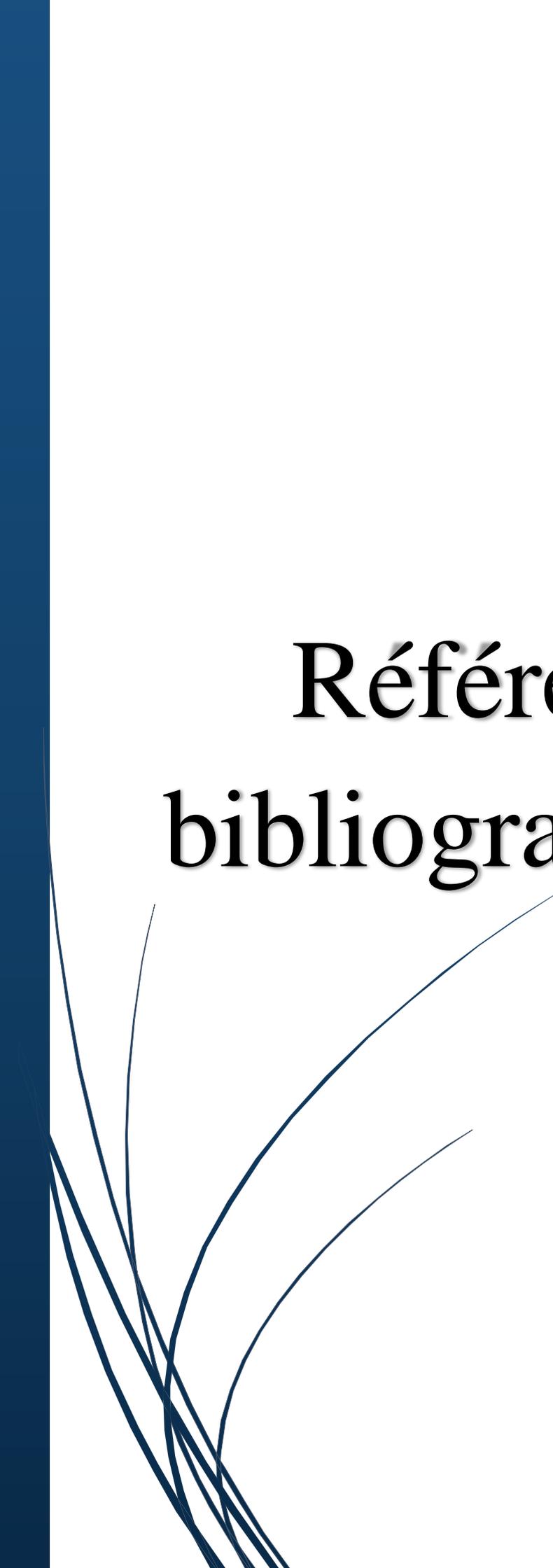
- La variation de la température des eaux de surface du barrage de Boukourdane suit celle de la température de l'air.
- Le barrage de Boukourdane présente des eaux bien oxygénées à pH légèrement alcalin et stable autour de 8 durant tous les mois d'étude.
- Les teneurs en sels ne dépassent pas les normes du **JORA 2011**. Cependant les nitrites sont relativement élevés.
- Les teneurs en MES élevées correspondent aux mois où la transparence s'est avérée faible et inversement pour les valeurs faibles des MES qui coïncident avec des valeurs de transparence assez élevées.

Quant aux analyses bactériologiques, elles ont révélé une charge moyenne très faible en coliformes totaux, coliforme fécaux, et streptocoques fécaux dans les eaux de surfaces au niveau des cinq stations étudiées durant toute la période d'étude.

L'étude du peuplement phytoplanctonique du Barrage de Boukourdane a permis de déterminer la composition taxonomique du phytoplancton renfermant 98 espèces réparties en six classes à savoir : les Chlorophycées, les Diatomées, les Cyanophycées, les Cryptophycées, les Euglénophycées et les Dinophycées avec une nette abondance des Chlorophycées et des Diatomées et en particulier l'espèce *cf Cosmarium*. L'étude de la densité du peuplement algal indique que ce dernier est en stade de maturité.

En perspectives, il serait indispensable :

- de doser la chlorophylle pour déterminer avec précision l'état d'eutrophisation des eaux.
- D'augmenter le nombre de stations étudiées ainsi que la période du suivi.



Références bibliographiques

- **Agence Nationale Des Barrages (A.N.B.). (1994).** Barrage de Boukourdane sur l'Oued El-Hachem, wilaya de Tipaza. MONOGRAPHIE. .Algerie.150p
- **Agence Nationale Des Barrages et de Transfers. (A.N.B.T.) (2017).** Bulletin journalier des données climatiques des barrages.
- **Agence Nationale Des Barrages et de Transfers. (A.N.B.T.) (2012).** L'état et qualité des eaux des barrages en Algérie.355p.
- **Ali Kouani S., El jamali. & Albi M. (2007).** Analyse en composantes principales Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques. 2, 18p.
- **Aminot. A. and chaussepied. M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin CNEXO, Brest, P 395.
- **Aminot. A. and kerouel. R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, p 160.
- **ANBT/BBK, 2017.** Agence National des Barrage et des Transferts /Barrage Boukourdane.
- **Angelier E. (2000).** Ecologie aux courante ; Edition tec et document Toulouse III. PARIS. 199p
- **Arrignon J. (1982).** Aménagements écologique et piscicole des eaux douces, 3eme Édition Gauthier Villars 340p
- **Ba N. (2006).** La communauté Phytoplanctonique du lac de Guiers (Sénégal) : Types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des factures de régulation. (Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal). P : 10, 22.
- **Barnabé G. and Barnabé–Quet R. (1997).** Ecologie aménagement des eaux côtières. Lavoisier. P : 131, 135,138.
- **Barthe C, Perron J et Perron. (1998).** Guide d'interprétation des paramètres microbiologique d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec.155p.
- **Beaudry T. and henry T. (1984).** Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1^{ère}, édition, IN ; Canada. 537 p.
- **Belhadj M.Z. (2006).** Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba Commune de Bekkouche Lakhdar Wilaya de Skkikda. Mémoire de Magister Univ Batna. 107 pp.

- **Bernef N. and cordonnier J. (1992).** Traitement des eaux-épuration des eaux résiduaires de raffinage » Edition technop. P 306.
- **Bertrin V. Vandenhende M. Laplace-Treytore C et Dutartre A. (2009).** Diagnostic écologique des milieux aquatiques du Palus de Molua. Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux. Cedex. 98p.
- **Bontoux J. (1993).** Introduction à l'étude des eaux douces, eau naturelles, eaux usées, eaux de boisson.Édition CEBEDOC. 169p
- **Boukabache L. (2003).**Contribution à l'étude physico-chimique et zooplanktonique d'une zone humide de lac de la réserve de chasse de Zéralda. Mémoire d'ingénieur (U.S.T.H.B).Alger. p 45.
- **Bourelly P. (1972) (tome I).** - les algues d'eau douce : initiation à la systématique – les algues vertes. Édition N. Boubée ET Cie.
- **Bourelly P. (1981) (tome II).** les algues d'eau douce : initiation à la systématique – les algues jaunes et brunes. Édition N. Boubée ET Cie.
- **Bourelly P. (1985) (tome III).**les algues d'eau douce initiation à la systématique ;Eugléniens, Péridiniens, algues rouges et algues bleues. Édition N. Boubée ET Cie.
- **Bourelly P. (1966).** Les algues d'eau douce, Algues Vertes. Édition Boubée et Cie. Paris. P 511.
- **Bourelly P. (1968).** Les algues d'eau douce. Algues jaunes et brunes. Edition Boubée et Cie. Paris. P : 438.
- **Bourelly P. (1985).** Les algues bleues ou Cyanophycées, 5ème partie. Edition Boubée Paris. P : 297,303, 457-458,60.
- **Carvalho P., Thomaz S M et Bini L M. (2005).**Effects of temperature on decomposition of a potential nuisance species: the submerged aquatic macrophyte *Egeria najas* plankton (Hydrocharitaceae). Revista brasileira de biologia brazilian journal of biology, 65 : (1). 767-770p.
- **Champiat D. and Larpent J.P. (1994).** Biologie des eaux : Méthodes & Techniques, 2ème tirage. P : 24, 37, 39.
- **Chapman D et Kimstach V. (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon ; pp 59-126.
- **Chauvallier H. (2007).** L'eau un enjeu pour demain. P26

- **Coute A. and Chauveau O. (1994).** Algae. Encyclopedia Biospeologica. I éd. Société de Biopédologie. ISSN 0398 7973, 3ème trimestre : 371-380.
- **De Reviere R. (2003).** Biologie et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences .Tome 2. P : 78, 255.
- **Degremont. (2005).** Mémento technique de l'eau, 10e édition Tome 1.p 2503
- **Elmund G. Allen MJ. (1999).** Comparaison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. Wastewater treatment efficiency. Water Environ. Res, : 338-339.
- **Frontier S. (1983).** Stratégie d'échantillonnage en écologie. Ed., Masson., Paris. 494p.
- **Frontier S. et Etienne M. (1990).** Etude de la diversité spécifique par le moyen des diagrammes Rangs Fréquences : modélisation, variabilité d'échantillonnage. Biométrie et Oceanographie, 10 Actes de colloques, IFREMER : 145-177p.
- **Frontier S. Pichod V. (1999).** Dynamique des populations : écosystème structure, fonctionnement, évolution. Collection d'écologie. 2ème édition, édition MASSON ; 447p.
- **Gailhard I. (2003).** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le « Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II).P : 1,14
- **George C. (1963).** Day, E.H. the chemical elements in nature. London, U.K.
- **Gorenflot R. and Guern M. (1989).** Organisation et Biologie des Thallophytes. Doin édit. Paris. P: 196, 201.
- **Gorenflot R. et Guern M. (1989).** Organisation et Biologie des Thallophytes. Doin édit. Paris. P : 196, 201.
- **Hamed M., Guettache A and Bouamer L. (2012).** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie. Université de Bechar. Pp 7,9.
- **Henry M and Beaudry J. (1992).** Chimie des eaux, édition le griffon d'argile, canada 537p.
- **Hoek C.V.D., Mann D.G. and Jahns H.M. (1995).** Algae. An Introduction to phycology. Cambridge University Press. Cambridge. P : 623.
- **Houmel A. (2001).** Etude physico-chimique et dynamique du peuplement zooplanctonique, Etude du cycle nyctéméral du lac d'El Golea et essai de fécondation

artificiel chez un Cyprinidé « *Cyprinus carpio* ». Mémoire d'ingénieur (U.S.T.H.B) Alger.101p

- **Iltis A. (1980).** Les Algues 1. P : 55.
- **Joly B et Reynaud A. (2003).** Entérobactéries : systématique et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation. Paris, 356p.
- **Kmoukhs M. (2007).** Dégradation de la qualité des eaux du barrage de zerdezas suite à une pollution naturelle W. de Skikda, mémoire de magister, Univ. Batna. 117pp.
- **Lacaze J C. (1996).**l'eutrophisation des eaux marines et continentales, édition marketing, paris : p191.
- **Ladjel S. (2005).** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation, centre de formation aux métiers de l'eau de tizi-ouzou (P.47)
- **Larpen J.P. and Larpen-Gourgaud M. (1997).** Mémento technique de microbiologie. 3^{ème} édit. Paris. P : 245, 246.
- **Larpen J.P. et Larpen-Gourgaud M. (1997).** Mémento technique de microbiologie ; 3^{ème} édit. Paris. P : 245, 246.
- **Lévêque C. (1996).** Écosystèmes aquatiques.p :160
- **Lokmane D. (1993).** Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la baie de Zemmouri.Mémoire d'ingénieur (USTHB).ALGER :102p
- **M.E.O (1976).** Hazardous substances list and handbook. Rapport no ARB-TDA-33-76, Hazardous Substances Programme, Air Resources Branch.
- **Mann K.H. and Lazier J.R.N. (1966).** Dynamics of marine's ecosystems. Blackwell Science Inc. P: 394.
- **Mebarki A. (1982).** Le bassin du Kebirrhmel, ressources en eaux et aménagement en algerie, Thèse doctorat 3^{ème} cycle, université de Nancy 2.303P.
- **Mebarki A. (2005).** Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Département de l'aménagement du territoire, 360 p.
- **Merabet S. (2010).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de constantine. Pp 4, 5,9.

- **Ministère de développement durable, environnement et pares, (2012).** Critères de qualité de l'eau de surface, Québec. Canada. 230p.
- **Moussa Moumouni Djermakoye H. (2005).** Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries : caractéristiques physico-chimique, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines « Mali ». thèse pour obtenir le grand de Docteur en pharmacie. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-stomatologie. 119p.
- **Mulhauser B et Monniers G. (1995).** Guide de la faune et de la flore des lacs et des étangs d'Europe, Edition DELACHAUX ET NIESTLE ; p335.
- **O.M.S (1998).** Normes internationaux applicables à l'eau de biosson, Genève.
- **O.M.S. (1979).** Normes internationaux applicables à l'eau de biosson, Genève.
- **OFEV (2010).** Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. Publié par l'office fédéral de l'environnement, Berne. 46 pp.
- **OMS (2011).** Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.
- **Ozenda P. (2000).** Les végétaux : Organisation et diversité biologique. 2ème Dunod éd. P : 9-13.
- **Pesson P. (1978).** La pollution des eaux continentales, Edition GAUTHIER VILLARS Paris ; p285.
- **Petelon J.L. and Zysman K. (1998).** Le guide des analyses de l'eau potable, Edition, la lettre du cadre Territorial, Voiron.
- **Pierre J.F. (2001).** Bulletin de l'academie lorraine des sciences : catalogue des algues (Du Nord –Est de la France et des régions attenantes 1959-2001). P : 45-46.
- **Pierre J.F. (2001).** Bulletin de l'académie lorraine des sciences : catalogue des algues (du Nord –Est de la France et des régions attenantes 1959-2001). P : 45-46.
- **Rafiqul I.M., Jalal K.C.A. and Alam M.Z. (2005).** Environmental Factors for Optimization of Spirulina Biomass in Laboratory Culture. *Biotechnology* ; **4** (1): 19-22.
- **Ramade F. (2005).** Elément d'écologie : Ecologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère. Nouvelle Edition, Paris : 302p.
- **Rodier J. (1975).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Coll. Dunod Technique, Tome2. Paris, 1365pp.

- **Rodier J. (1984).** L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer), 7^{ème} édition. Dunod Edition, Paris, France. 177.
- **Rodier J. (1996).** L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} édition. Dunod, Paris : 1383p.
- **Rodier J. (1996).** L'analyse de l'eau, Dunod (8^{ème} édition) :1383p.
- **Rodier J. (2009).** Analyses de l'eau.eaux naturelles.eaux résiduaires.eaux de mer.9^{ème} édition.ED.Dunod Bordas, Paris : 1526p
- **Roger P.A. (1996).** Biology and Management of the Flood water Ecosystem in Rice fields. IRRI. Editor William H. Smith. P : 132.
- **S.T.E.P. (2015).**Fiche technique de la station de traitement des eaux potables de Sidi Amar (wilaya de Tipaza).
- **Sacchi C F et Testard P. (1971).** Ecologie animale, organisme et milieux Edition doin : p444.
- **Schoeller H. (1988).** Hydrologie des régions arides progrès récents (U.N.E.S.C.O).
- **Stumm W. and Morgan J.J. (1996).** Aquatic Chemistry: Chemical equilibrium and rates in natural Waters. Wiley. Inter. Science. Publication. Third edition. P : 1024.
- **Tardat H. (1992).** Chimie des eaux. Édition le Griffon d'argile. 537p.
- **Tazerouti F. (1993).** Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction d'un poisson téléostéen, Cyprinidé d'eau douce, *Barbus callensis* (VALENCIENNES, 1842) Thèse de Magister U.S.T.H.B/I.S.N :157p.
- **Tidadini M et Amdoun A. (2003).**Etude hydrobiologique du lac de barrage de Boukourdane (wilaya de Tipaza) : p110.
- **Zeitzschel B. (1978).** Phytoplankton manual: Monographs on oceanographic methodology-Unesco: 1- 6.