

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des sciences de l'eau et de l'environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

Evolution du phénomène de l'eutrophisation des eaux du barrage de Boukourdane (W. TIPAZA)

Présenté par

KONÉ Ibrahima et NAGIM AG Ibrahim

Devant le jury composé de :

M. REMINI. B	Professeur. U. de Blida	Président
M. BESSENASSE. M	Professeur. U. de Blida	Examineur
Mme BENKACI. S	Maitre assistante. U. de Blida	Examineur
Mme. BOUZOUIDJA. S	Maitre assistante. U. de Blida	Promotrice

Promotion 2018/2019

DEDICACE

Nous dédions ce modeste travail à nos parents qui font tout pour illuminer nos vies

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous tenons à remercier et à témoigner toute notre reconnaissance à l'ensemble du personnel du département science de l'eau et environnement de l'université SAAD DAHLAB pour l'expérience et plein d'intérêt qu'ils nous ont fait vivre durant nos cinq 5 années d'études universitaires.

Un fort remerciement à :

-Mme BOUZOUIDJA, de n'avoir ménagé aucun effort pour la réalisation de ce mémoire ;

-Monsieur BENSALIA et l'ensemble des professeurs du département science de l'eau et environnement université SAAD DAHLAB ;

-A nos familles respectives ;

-Nos camarades et amis

ملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو تطوير نموذج رياضي للمساهمة في مكافحة المغذيات لخزان سد بوقردان. للقيام بذلك ، استخدمنا بيانات التحليل الفيزيائي الكيميائي من مياه السد. وهكذا أجرينا الدراسة على بيانات السنوات الأربع (2013 و 2014 ANRH و 2015 و 2016) التي أتاحت لنا من قبل

تم تجميع هذه البيانات في وقت لاحق عن طريق حساب متوسط كل السنوات. لتكون قادرًا على تحديد واستهداف عامل محدد يعتمد عليه النموذج ، تم إجراء تفسير للتطورات الشهرية والسنوية لجميع المعلومات الفيزيائية والكيميائية. هذا سمح لمعرفة دور كل من المعلومات في تدهور نوعية المياه. مكنت النتائج من استنتاج أن الفسفور الكلي ، والذي لا يظهر فقط في عدة جوانب وهي: أن الفسفور الجزيئي ، العضوي والكلي ، يمكن التحكم فيه أيضًا بسبب انخفاض معدل وجوده في الغلاف الجوي ، هو العنصر التي يجب أن نلعبها لفهم مشكلة التخثث بشكل أفضل

وهذا يجعل من XIsat (تحليل المكونات الرئيسية) باستخدام برنامج ACP من أجل تصميم نموذج موثوق ، تم إجراء الممكن معرفة معدل التباين في تباين المعلومات التي تمت دراستها في الفضاء والعلاقة بين المعلومات. وبالتالي تم تمثيل المتغيرات على محورين لها 49.199 ٪ من التباين ، وهو تشتت جيد. سمحت لنا هذه النتائج باستنتاج أن الأمونيوم ، والكلوروفيل (أ) ، والطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي ، (pH) ودرجة الحرارة ، وإمكانات الهيدروجين والبيكربونات هي العناصر التي لها أقوى الارتباطات مع الفسفور الكلي

تم اختيار النموذج الرياضي لتقدير الفسفور الكلي وفقًا لمعايير الأداء بعد الانحدار الخطي المتعدد والاختبارات الإحصائية

الكلمات الرئيسية: ، جودة المياه ، الانحدار المتعدد التخثث ، النموذج الرياضي ، الفسفور الكلي ، ACP

Résumé

L'objectif de la présente étude porte sur l'élaboration d'un modèle mathématique pour contribuer à la lutte contre l'eutrophisation du réservoir du barrage de Boukourdane. Pour ce faire nous avons fait recours aux données d'analyses physico-chimiques de l'eau du barrage. Ainsi nous avons menés l'étude sur les données de quatre années (2013, 2014, 2015 et 2016) qui nous ont été mises à notre disposition par l'ANRH.

Ces données ont été par la suite synthétisées en faisant les moyennes mensuelles de toutes les années. Pour pouvoir identifier et cibler un facteur limitant sur lequel se base le modèle, une interprétation des évolutions mensuelles et annuelle de tous les paramètres physico-chimiques a été effectuée. Cela a permis de voir le rôle de chacun des paramètres dans la dégradation de la qualité de l'eau. Les résultats ont permis de conclure que le phosphore total, qui se présente non seulement sous plusieurs aspects à savoir : le phosphore particulaire, organique et total, est aussi maitrisable de par son faible taux d'existence dans l'atmosphère, est l'élément sur lequel il faut jouer pour mieux appréhender le problème de l'eutrophisation.

Par souci de concevoir un modèle fiable, une ACP (Analyse en Composante Principale) a été effectué à l'aide du logiciel Xlsat. Ce qui a permis de savoir le taux de variabilité de la variance des paramètres étudiés dans l'espace et la corrélation entre les paramètres. Ainsi les variables ont été représentées sur deux axes ayant 49.199% de variance, une bonne dispersion. Ces résultats nous ont permis de conclure que l'ammonium, la température, le potentiel hydrogène (pH), la chlorophylle(a), la demande biochimique en oxygène, et le bicarbonate sont les éléments ayant les plus fortes corrélations avec le phosphore total.

Le modèle mathématique permettant d'estimer le phosphore total a été choisi selon les critères de performances à la suite des régressions linéaires multiples et des tests statistiques.

Mots clés : eutrophisation, modèle mathématique, phosphore total, ACP, régression multiple, qualité des eaux

Abstract:

The objective of this study is to develop a mathematical model to contribute to the fight against eutrophication of the reservoir of the Boukourdane dam. To do this, we used physico-chemical analysis data from dam water. Thus we conducted the study on the four-year data (2013, 2014, 2015 and 2016) that were made available to us by ANRH.

These data were subsequently synthesized by averaging all the years. To be able to identify and target a limiting factor on which the model is based, an interpretation of the monthly and annual evolutions of all physicochemical parameters has been performed. This allowed to see the role of each of the parameters in the degradation of the quality of the water. The results made it possible to conclude that the total phosphorus, which appears not only in several aspects namely: the particulate phosphorus, organic and total, is also manageable because of its low rate of existence in the atmosphere, is the element on which we must play to better understand the problem of eutrophication.

For the sake of designing a reliable model, a PCA (Principal Component Analysis) was performed using the Xlsat software. This made it possible to know the rate of variability of the variance of the parameters studied in the space and the correlation between the parameters. Thus the variables were represented on two axes having 49.199% of variance, a good dispersion. These results allowed us to conclude that ammonium, temperature, hydrogen potential (pH), chlorophyll (a), biochemical oxygen demand, and bicarbonate are the elements with the strongest correlations with total phosphorus.

The mathematical model for estimating total phosphorus was chosen according to performance criteria following multiple linear regression and statistical tests.

Key words: eutrophication, mathematical model, total phosphorus, PCA, multiple regression, water quality

Table des matières

Introduction générale.....	1
Partie 1 Partie théorique	3
Chapitre 1 : Eutrophisation des barrages.....	3
1.1) Causes de l'eutrophisation :	3
1.1.1) Phosphore.....	4
1.1.2) Phosphate.....	5
1.1.3) Azote.....	5
1.2) Effets de l'eutrophisation.....	6
1.2.1) L'odeur et le goût.....	6
1.2.2) Augmentation de la demande en chlore.....	6
1.2.3) Le pH.....	6
1.3) Traitement de l'eutrophisation.....	7
1.3.1) La déphosphoration des sédiments.....	7
1.3.2) Réduction des apports d'origine domestique.....	7
1.3.3) Réduction des apports d'origine agricole.....	7
1.3.4) Le facteur limitant.....	8
Chapitre 2 : Présentation du site d'étude.....	9
2.1) Situation géographique.....	9
2.2) Morphologie du bassin.....	10
2.3) Géologie du bassin.....	10
2.4) Historique et vocation du barrage.....	11
2.5) Climat.....	12
2.6) Occupation du sol.....	13
Chapitre 3 : Qualité des eaux de surface.....	14
3.1) Grille générale.....	14
3.2) Différentes normes applicables aux eaux de consommation.....	14
3.3) Méthodes pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau.....	15
3.4) Evaluation de l'état trophique d'un plan d'eau.....	16
3.5) Impactes anthropiques.....	17
Chapitre 4 : Analyse En Composantes Principales Et Régression Linéaire Multiple.....	18
4.1) Analyse En Composantes Principales.....	18
4.1.1) Objectifs.....	18
4.1.2) La représentation graphique.....	19
4.1.2.1) Individus.....	19
4.1.2.2) Variables.....	19
4.1.3) Corrélations.....	19
4.1.3.1) Coefficient de corrélation de Pearson (r)	19
4.1.3.2) Coefficient de détermination (r ²).....	19

4.1.3.3) Cercle des corrélations.....	20
4.2) L'analyse de la variance ANOVA.....	20
4.2.1) Choix du risque α	20
4.2.2) Calcul de la statistique de test.....	20
4.2.3) Calcul de la p-valeur.....	20
4.3) La régression linéaire multiple.....	20
Partie 2 : Partie expérimentale.....	22
Chapitre 5 : Matériels Et Méthodes.....	22
5.1) Méthodologie d'échantillonnage des eaux de barrage.....	22
5.1.1) Matériaux de prélèvement.....	22
5.1.2) Choix des points de prélèvement.....	22
5.1.3) Mesures in situ.....	22
5.2) Analyses au laboratoire.....	22
5.2.1) Température (T).....	22
5.2.2) Potentiel d'hydrogène (pH).....	22
5.2.3) Oxygène dissous.....	23
5.2.4) Dosage du sodium (Na ⁺) et du potassium (K ⁺) (NF T-90-019).....	23
5.2.5) Carbonates et Bicarbonate.....	24
5.2.6) Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅).....	24
5.2.7) Matière organique.....	26
Chapitre 6 : Etudes des paramètres et évaluation trophique.....	27
6.1) Evolution annuelle des paramètres physicochimiques.....	27
6.1.1) La température.....	27
6.1.2) Le pH.....	28
6.1.3) Le phosphate.....	29
6.1.4) Oxygène dissous.....	30
6.1.5) Les nitrates.....	32
6.1.6) Chlorophylle.....	33
6.1.7) Le phosphore total.....	34
6.1.8) La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	36
6.2) Evaluation de l'état trophique.....	37
Chapitre 7 : Analyse en composantes principales et Modèle de Régression linéaire	
7.1) Analyse en composantes principales.....	38
7.1.1) Les facteurs des composantes.....	38
7.1.2) Corrélation.....	39
7.1.3) Relation entre variables et les facteurs.....	42
7.2) Modèle de Régression linéaire.....	43
7.2.1) Modèle 1.....	44
7.2.1.1) Modèle Régression linéaire entre les variables corrélées avec le phosphore total.....	44
7.2.1.2) Qualité d'ajustement.....	44
7.2.1.3) Test de l'analyse de la variance (ANOVA).....	44

7.2.2) Modèle 2.....	46
7.2.2.1) Modèle Régression linéaire entre les variables corrélées avec le phosphore total.....	46
7.2.2.2) Qualité d'ajustement.....	46
7.2.2.3) Test de l'analyse de la variance (ANOVA)	46
7.2.3) Modèle 3.....	48
7.2.3.1) Régression linéaire entre les variables les plus fortement corrélées avec le phosphore total.....	48
7.2.3.2) Qualité d'ajustement.....	48
7.2.3.3) Test de l'analyse de la variance (ANOVA).....	48
7.3) Résultats et discussion.....	50
Conclusion générale.....	51

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principales caractéristiques d'un profil type de chaque sol présent dans le bassin versant.....	11
Tableau I.2 : Grille de classification de la qualité des eaux.....	14
Tableau I.3 : Normes de la qualité des eaux superficielles.....	14
Tableau I.4 : La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon ABH.....	16
Tableau I.5 : Grille d'évaluation de l'état trophique.....	17
Tableau II.1 : Facteur de conversion de la DBO ₅ en fonction du volume de prise.....	25
Tableau II.2 : Les facteurs des composantes.....	38
Tableau II.3 : matrice de corrélation.....	40
Tableau II.4 : Corrélation du phosphore total.....	42
Tableau II.5 : Corrélations entre les variables et les facteurs.....	42
Tableau II.6 : Cosinus carrés des variables.....	43
Tableau II.7 : Corrélation des paramètres avec le phosphore.....	44
Tableau II.8 : Corrélation des paramètres avec le phosphore.....	44
Tableau II.9 : Statistiques de régression.....	44
Tableau II.10 : Test ANOVA.....	44
Tableau II.11 : Coefficients du modèle de régression.....	45
Tableau II.12 : différence entre phosphore total analysé et estimé.....	46
Tableau II.13 : Corrélation des paramètres avec le phosphore modèle 2.....	46
Tableau II.14 : Statistiques de régression.....	46
Tableau II.15 : Test ANOVA modèle 2.....	46
Tableau II.16 : Coefficients du modèle de régression modèle 2.....	47
Tableau II.17 : différence entre phosphore total analysé et estimé modèle 2.....	47
Tableau II.18 : Corrélation des paramètres avec le phosphore modèle 3.....	48
Tableau II.19 : Statistiques de régression modèle 3.....	48
Tableau II.20 : Test ANOVA modèle 3.....	48
Tableau II.21 : Coefficients du modèle de régression modèle 3.....	49
Tableau II.22 : différence entre phosphore total analysé et estimé modèle 3.....	49
Tableau II.23 : résultats statistiques des différents modèles.....	50

Liste des figures

Figure I.1 : Le processus de l'eutrophisation.....	4
Figure I.2 : Phosphore total.....	5
Figure I.3 : Les limites du bassin versant à l'amont du barrage de Boukourdane.....	9
Figure I.4 : Bassin Hydrographique Algérois- Soummam- Hodna.....	10
Figure I.5 : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Boukourdane (ANRH, 1988/1989 – 2012/2013)	12
Figure I.6 : Variation interannuelle et moyenne annuelle des précipitations à la station de Boukourdane (1988/2013)	13
Figure II.1 : Evolution mensuelle de la température.....	27
Figure II.2 : Evolution annuelle de la température.....	28
Figure II.3 : Evolution mensuelle du pH.....	28
Figure II.4 : Evolution annuelle du pH.....	29
Figure II.5 : Evolution mensuelle du phosphate.....	29
Figure II.6 : Evaluation annuelle du phosphate.....	30
Figure II.7 : Evolution mensuelle de l'oxygène dissous.....	31
Figure II.8 : Evolution annuelle de l'oxygène dissous.....	32
Figure II.9 : Evolution mensuelle des nitrates.....	33
Figure II.10 : Evolution annuelle des nitrates.....	33
Figure II.11 : Evolution mensuelle de la chlorophylle(a)	34
Figure II.12 : Evolution mensuelle de la chlorophylle (a)	34
Figure II.13 : Evolution mensuelle du phosphore total.....	35
Figure II.14 : évolution annuelle du phosphore total.....	35
Figure II.15 : Evolution mensuelle de la DBO5.....	36
Figure II.16 : Evolution annuelle de la DBO5.....	37
Figure II.17 : Evolution annuelle de la transparence.....	37
Figure II.18 : scree plot.....	39
Figure II.19 : Cercle de corrélation.....	41

Introduction générale

Les ressources en eau naturelle et renouvelable sont définies par les écoulements superficiels et souterrains formés ou entrant dans le territoire algérien. Elles sont chiffrées sur les bases de données hydrologiques, en se référant à une période assez longue pour que les valeurs moyennes utilisées puissent être considérées comme stable. Le bilan des ressources en eau est réalisable à partir des monographies hydrologiques existantes sur des bassins versants élémentaires.

Afin de mieux exploité le potentiel hydraulique du pays, des barrages ont été construits. Ces barrages sont gérés par l'agence nationale des barrages et transferts (ANBT). Ces différents ayant pour vocation entre autre d'alimenter les populations en eau potable et approvisionner en eau potable, sont soumis à des dégradations jouant sur la qualité des eaux stockées dans ceux-ci. L'urbanisation et l'accroissement des populations

L'eau étant une ressource présentant un intérêt vitale de par son importance dans la vie de l'homme tant sur le plan domestique, sanitaire, agricole, alimentaire, industriel... Cette ressource naturelle, malgré la place que celle-ci occupe dans la société, est confrontée à une pollution grandissante due à son usage et aux à certaines pratiques des êtres humains. Les eaux superficielles en Algérie sont, au cours de ces dernières années, affectées par le phénomène d'eutrophisation.

L'eutrophisation est l'enrichissement du milieu aquatique en nutriment conduisant à la prolifération des algues. Un cours d'eau affecté par ce phénomène se voit privé de quelques usages de sa ressource en fonction du degré d'eutrophisation. Cette forme de pollution impacte non seulement sur l'usage de l'eau mais aussi sur la vie du milieu aquatique. Certaines populations aquatiques succombent au phénomène d'eutrophisation.

Différentes études ont été menées par des spécialistes afin de faire face au phénomène l'eutrophisation. Des solutions ont abordées dans ces études qui sont de part et d'autre la mise en place des stations d'épuration des eaux usées, la mise en place des normes industrielles... En ce qui concerne les stations d'épurations, leur objectif est d'éliminer ou réduire les facteurs limitants.

Afin de contribuer à la lutte efficace contre l'eutrophisation, il est nécessaire d'associer les modèles mathématiques. La modélisation est un moyen d'explicitier la complexité afin de mieux comprendre le fonctionnement d'un système et de prendre les décisions le concernant (**INRA, 2003**). Il est à noter que les grands objectifs de l'élaboration du modèle sont entre autre : représenter, comprendre, diagnostiquer, prédire et planifier.

L'objectif de notre étude est de mettre en place un modèle mathématique pouvant contribuer à la gestion du réservoir du barrage en servant d'outil pour la prévision, la planification et à la prise de décision pour la lutte contre l'eutrophisation.

Ce mémoire est constitué de deux grandes parties qui sont :

- Une partie théorique composée de quatre chapitres à savoir :
 - Chapitre 1 Eutrophisation des barrages
 - Chapitre 2 Présentation du site d'étude
 - Chapitre 3 Qualité des eaux de surface
 - Chapitre 4 Analyse En Composantes Principales Et Régression Linéaire Multiple

- Une partie expérimentale constituée de trois chapitres :
 - Chapitre 1 Matériels et Méthodes
 - Chapitre 2 Etudes des paramètres physicochimiques et évaluation trophique
 - Chapitre 3 Analyse en composantes principales et Modèle de Régression linéaire

PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1 : Eutrophisation des barrages

Introduction

L'eutrophisation peut être définie comme l'enrichissement, naturel ou artificiel, en nutriments des milieux aquatiques, ce qui fréquemment engendre une série de changements symptomatiques, parmi lesquels on peut citer l'augmentation de la production algale et d'autres plantes aquatiques et la détérioration de la qualité de l'eau, gênant les usages des ressources hydriques (**Talita Fernanda das Graças Silva, 2014**).

En d'autres termes, c'est le vieillissement d'un lac et ce phénomène se produit habituellement sur une échelle de temps très longue lorsqu'il est placé dans des conditions naturelles. Or, il peut être accéléré par l'activité humaine qui draine des nutriments vers les milieux aquatiques. Cet enrichissement provoque une augmentation de la production biologique, notamment des algues microscopiques en suspension dans la colonne d'eau (le phytoplancton) et des plantes aquatiques.

Les deux éléments les plus problématiques au niveau du fonctionnement des écosystèmes aquatiques sont l'azote et le phosphore, étant donné que ces deux nutriments peuvent participer à l'eutrophisation des eaux de surface.

Le phénomène de l'eutrophisation est généralement plus prononcé dans les lacs car les possibilités de réoxygénation des eaux stagnantes sont plus limitées que dans les eaux courantes. De plus, ces milieux sont propices au développement de biomasses phytoplanctoniques importantes. Il n'est d'ailleurs pas rare que l'équilibre écologique d'un lac soit totalement dégradé.

1.1) Causes de l'eutrophisation :

Les eaux de surface, telles que les cours d'eau et les lacs, sont bien souvent le premier milieu de l'écosystème qui réagit à l'acidification et à l'eutrophisation.

La principale cause d'eutrophisation est l'apport massif de nutriments dans une masse d'eau. Le résultat principal est un déséquilibre dans la chaîne alimentaire qui conduit à des concentrations élevées en phytoplancton dans des eaux stratifiées. Elle peut entraîner des proliférations algales. La conséquence directe est une consommation excessive d'oxygène près du fond de l'eau (**L.DJABRI et al. 2006**).

L'eutrophisation est un phénomène d'origine naturelle et anthropique.

L'azote et le phosphore sont les éléments clés des causes de l'eutrophisation

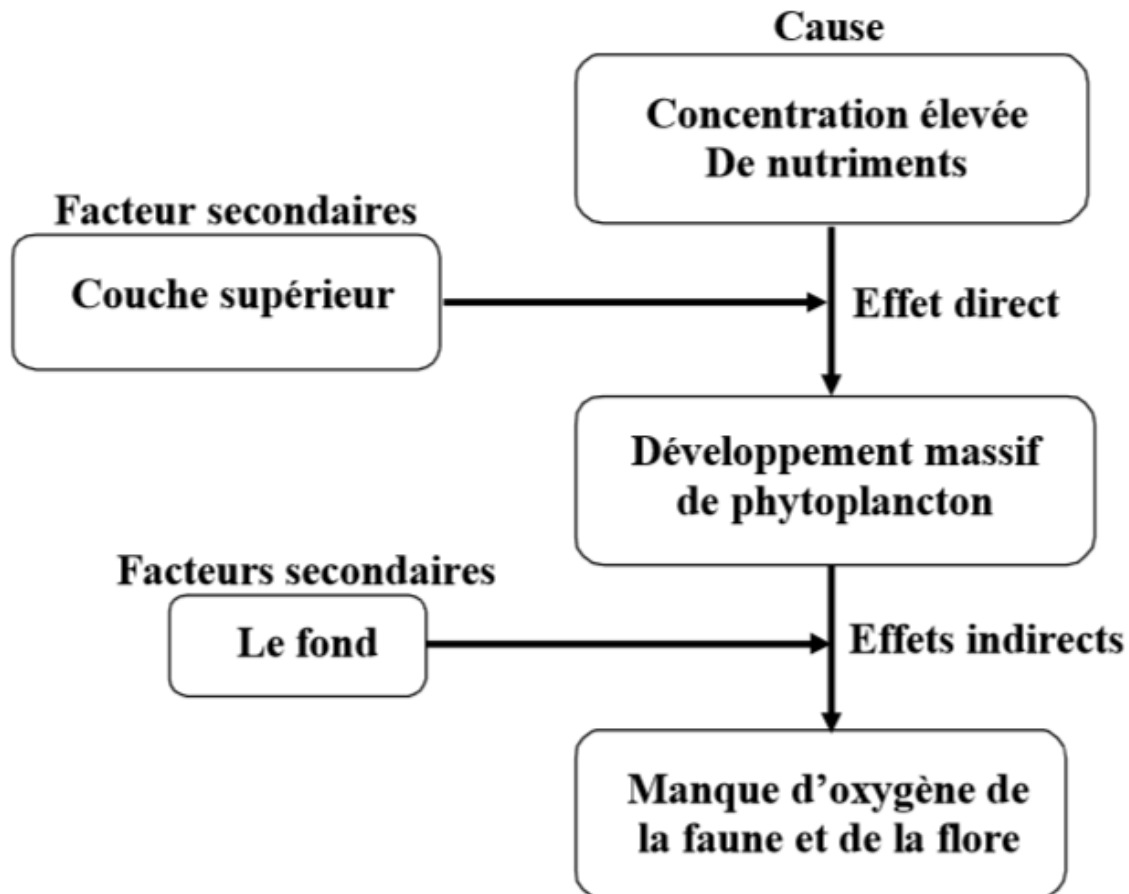


Figure I.1 : Le processus de l'eutrophisation.

1.1.1) Phosphore :

Dans les écosystèmes aquatiques, les processus qui se déroulent à l'interface eau sédiment ont un rôle important dans le bilan, la dynamique et le métabolisme du phosphore (Golterman 1988b) (Abdelaziz ABDALLAOUI, 1998).

La concentration du phosphore dissous reflète l'état trophique d'un grand nombre de milieux aquatiques. Cependant, le phosphore sédimentaire ou particulaire ne donne aucune idée sur l'état du plan d'eau étudié. Cette observation est ressortie des résultats de plusieurs études sur différents plans d'eau (Jaquet et al. 1983, Stabel 1984, Bloesch et Sturm 1986) (Abdelaziz ABDALLAOUI, 1998).

Le phosphore se retrouve sous forme dissoute ou particulaire. Le phosphore dissous comprend les formes minérales d'ions ortho phosphates (ions mono-ortho phosphates HPO_4^{2-} et di-orthophosphates $H_2PO_4^{3-}$), et les formes organiques en cours de minéralisation de la matière morte (phosphoprotéines, phospholipides). Les ions ortho phosphates (classiquement désignés PO_4^{3-}) jouent un rôle essentiel pour le fonctionnement des écosystèmes car ils constituent la seule forme biodisponible pour les végétaux (NEMERY Julien, 2018).

Le phosphore particulaire est soit organique, soit minéral. La fraction organique correspond à l'ensemble des phosphates de la matière organique animale et végétale, vivante ou en voie de minéralisation. Elle peut représenter une part importante du phosphore particulaire : jusqu'à 50 % dans des sédiments de rivière en zone agricole par exemple. La fraction inorganique peut

être présente sous deux formes ; le phosphore cristallisé (sels de calcium, de fer ou d'aluminium) qui compte parmi les formes les moins solubles et le phosphore fixé ou adsorbé à la surface des particules et de ses constituants (carbonate de calcium, hydroxydes de Fer et d'Aluminium, argile, matière organique) (NEMERY Julien, 2018).

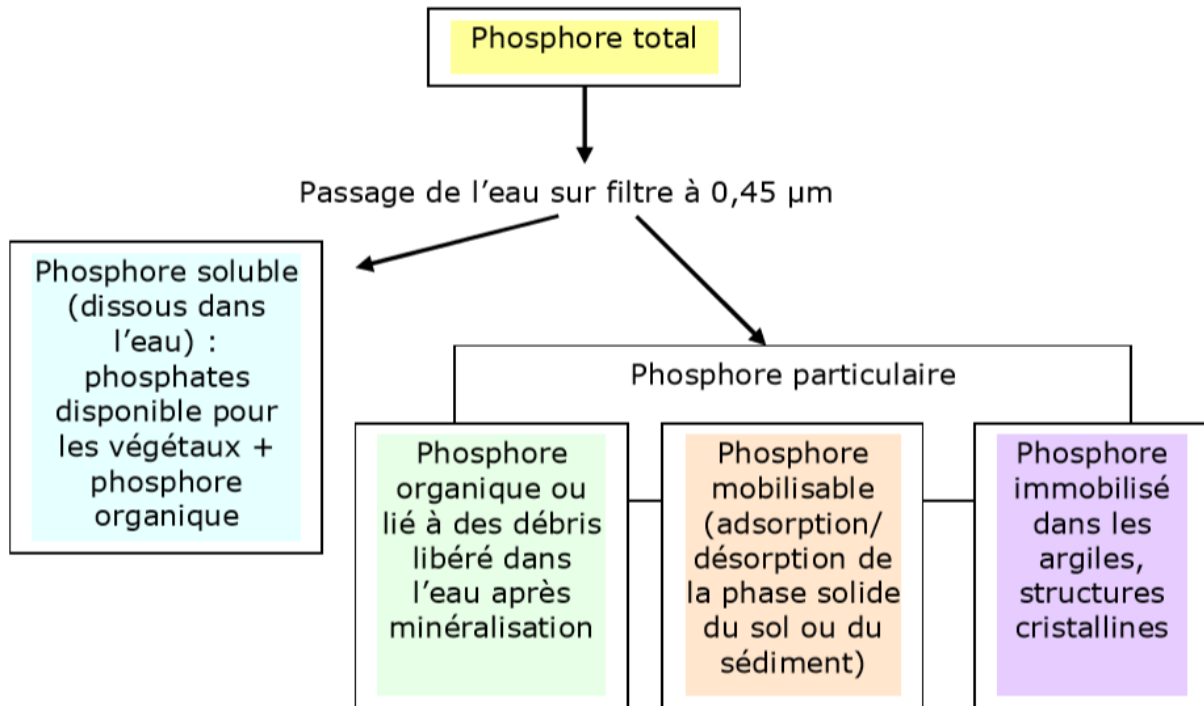


Figure I.2 : Phosphore total [Aquascop, 2010. Notice technique et cahier des charges type : Diagnostic du fonctionnement écologique d'une retenue en contexte élevage, page 14]

L'intensification et la concentration de l'élevage en ont fait une source de phosphore qu'il ne faut pas négliger surtout si "on considère que d'une façon globale les effluents physiologiques animaux sont quantitativement 10 fois plus importants que les effluents physiologiques humains (7 vache = 16 adultes). Il est possible de tarir cette source aux moindres frais d'une part en choisissant et en entretenant convenablement les pâturages (éviter les pertes de ruissellement) et d'autre part en généralisant le traitement des effluents de façon même sommaire mais capable de recycler les fertilisants (étangs de stabilisation + épandage) (G. BARROIN. 2000).

1.1.2) Les phosphates :

Il est communément admis que la concentration en phosphore dans les eaux joue un rôle déterminant sur le développement des végétaux aquatiques, et que cet élément est dans la majorité des cas le facteur limitant du processus d'eutrophisation (VOLLENWEIDER, 1980). C'est principalement sous forme de phosphates que les végétaux absorbent le phosphore, bien qu'ils puissent mobiliser aussi une fraction souvent indéterminée du phosphore total (MARTIN, 1987) (B. Parinet, 2000).

1.1.3) Azote :

La concentration en azote est moins limitante dans les milieux lacustres, sa concentration restant plus élevée même dans les milieux oligotrophes (faiblement nutritifs). Par ailleurs, les micro-

algues que l'on retrouve dans les milieux d'eau douce eutrophies sont souvent des Cyanophycées capables d'utiliser l'azote atmosphérique, qui n'est alors plus un facteur limitant (Gilles Camus, 2014).

En absence d'activité humaine, l'azote dans l'environnement provient principalement des micro-organismes (cyanobactéries dans l'eau et quelques bactéries du sol) qui transforment l'azote gazeux (N_2) en ammoniacque (NH_3). L'azote constitue en effet les quatre cinquièmes de l'air atmosphérique. Une fois fixé, il peut être transformé en azote organique par les organismes fixateurs, ou libéré sous forme d'ion ammonium (NH_4^+). Dans des conditions aérobies, le NH_4^+ peut être transformé en nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-) : c'est la nitrification. Les plantes peuvent ensuite assimiler l'azote sous forme NH_4^+ ou NO_3^- . En broutant, les animaux absorbent l'azote organique des plantes, puis le rejettent sous forme d'excréments, rapidement transformés en NH_3 . L'azote est enfin retourné à l'atmosphère grâce à d'autres microorganismes (présents en milieu anaérobie) : on parle de dénitrification (NO_3^- transformé en NO_2^- puis en N_2).

L'azote parcourt donc une boucle entre l'atmosphère et la biosphère.

1.2) Effets de l'eutrophisation :

Ce phénomène affecte la grande majorité des eaux douces (Schindler, 1978). Il est marqué par des proliférations d'algues qui altèrent les propriétés physico-chimiques de l'eau, augmentant la turbidité, diminuant les teneurs en oxygène, accumulant des éléments réduits. Souvent, une production de métabolites secondaires accompagne ces proliférations, conférant à l'eau un goût et une odeur désagréables. Certaines espèces d'algues, les cyanobactéries en eau douce et les diatomées en mer, peuvent produire des toxines (JACQUES CAPBLANC, 2002).

1.2.1) L'odeur et le goût :

Des composés issus des algues ou des bactéries confèrent à l'eau une odeur et un goût désagréables. Cette dégradation de la qualité organoleptique de l'eau, qui est la conséquence la mieux connue du phénomène de l'eutrophisation, exige le recours, fort coûteux, soit au charbon actif en poudre ou en grain, soit à l'oxydation par l'ozone, soit à la combinaison de ces deux techniques (Abdelaziz ABDALLAOUI, 1998).

1.2.2) Augmentation de la demande en chlore

La dégradation des algues mortes favorise l'augmentation de la matière organique endogène, ce qui augmente la demande en chlore et accroît la probabilité de la formation des trihalométhanes qui sont soupçonnés d'être cancérigènes pour l'homme. Or, il est connu que le pouvoir oxydant du chlore diminue avec le pH, mais ce dernier peut facilement atteindre la valeur de 10 dans les couches épilimniques d'une retenue de barrage eutrophe, ce qui augmente d'autant la consommation de chlore.

1.2.3) Le pH

Le pH peut devenir très important au sein de la couche épilimnique, gênant l'assimilation du carbone par certaines espèces phytoplanctoniques. Ce pH varie d'une manière très importante au cours du cycle nyctéméral ce qui pose des problèmes de calage des filières de potabilisation et nécessite une station de traitement ayant une grande souplesse au niveau de l'équipement.

1.3) Traitement de l'eutrophisation :

Parmi les éléments minéraux nécessaires pour la croissance des algues, le phosphore est identifié depuis plus de 30 ans comme l'élément déterminant l'eutrophisation des eaux douces (Liebig, 1840)

La composition élémentaire des algues permet d'estimer en effet que la synthèse de 100 grammes de matière organique végétale (soit 500 g de poids frais, correspondant à ~ 1 g de chlorophylle) nécessite environ 50 g de carbone, 7 g d'azote et 1 g de phosphore (Redfield, 1958). Tant que les concentrations de phosphates ou d'azote minéral dissous excèdent des valeurs seuils [de l'ordre de 0,1 $\mu\text{mol PO}_4/1\text{-t}$ (3 $\mu\text{g/l P}$) pour le phosphore et de l'ordre de 4-7 $\mu\text{mol N/1}$ pour l'azote (50-100 $\mu\text{g/l N}$)], le taux d'alimentation des algues n'est pratiquement pas affecté, autrement dit, leur vitesse de division n'est pas ralentie par une carence nutritive (Dauta, 1982 ; Cembella et al., 1984) (**JACQUES CAPBLANC, 2002**).

La réduction des apports phosphorés des eaux usées est, en général, considérée comme facteur clé de la lutte contre l'eutrophisation des rivières et des lacs. En effet, l'élimination de l'azote est insuffisante et ne constitue pas un facteur limitant puisque certaines algues sont capables de fixer l'azote atmosphérique. Comme il n'est pas possible aussi d'intervenir sur les conditions climatiques (température, ensoleillement, ...) et hydrodynamique du milieu (écoulement), le seul moyen de maîtriser le phénomène est d'éliminer au moins l'un des nutriments qui lui sont indispensables pour se développer de telle sorte qu'il devienne facteur limitant (**BENSAFIA, 2016**).

Par contre des méthodes de traitement sont adoptées par les spécialistes. Quelques pratiques de ces méthodes sont :

1.3.1) La déphosphoration des sédiments :

La déphosphoration des eaux usées est un moyen efficace pour diminuer les quantités de phosphore et donc pour lutter contre l'eutrophisation. De plus, la gestion des engrais basée sur le phosphore plutôt que sur l'azote semble pertinente (**Rosa Galvez-Cloutier, 2002**).

1.3.2) Réduction des apports d'origine domestique

La première mesure applicable pour la réduction des apports de nutriments d'origine domestiques est le traitement des eaux usées. La plupart des stations de traitement des eaux usées sont conçues pour éliminer les matières en suspension et une partie des matières dissoutes.

L'élimination de l'azote se fait par des procédés biologiques : cultures libres (boues activées) ou fixées (lits filtrants immergés aérés, lits bactériens, disques biologiques)

1.3.3) Réduction des apports d'origine agricole

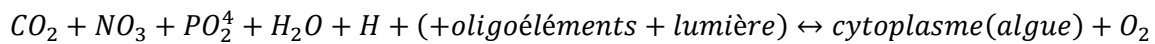
Les apports d'origine agricole sont une des sources diffuses les plus importantes.

La fertilisation des sols se fait avec des produits contenant phosphore, azote et potassium. La présence de nitrates dans les eaux mobilise de plus en plus de personnes. Il est important de changer les mentalités et les habitudes. Il faut déterminer la fertilisation strictement nécessaire, et donc prendre en compte plusieurs paramètres, comme la nature du sol, le type de culture, le passé de la parcelle, etc. Cette évolution passe par une sensibilisation des agriculteurs.

Une amélioration peut être apportée au niveau des pertes de fertilisants vers l'environnement. Le couvert végétal joue un grand rôle dans la pénétration de l'azote dans le sol et les eaux souterraines : la présence de couvert va limiter la pénétration de l'azote dans le sol. Ainsi, il est intéressant de laisser un couvert en permanence, éventuellement en pratiquant l'interculture, pour éviter d'avoir des périodes de l'année sans aucun couvert

1.3.4) Le facteur limitant :

Une des méthodes les plus efficaces pour limiter l'eutrophisation accélérée consiste à réduire l'apport de nutriments au plan d'eau. En effet, les besoins chimiques de la photosynthèse peuvent être représentés, de manière conceptuelle, par l'équation suivante, où les nutriments ont une place essentielle :



En théorie, il est possible d'agir sur toutes les variables de l'équation ci-dessus. Cependant, les efforts de restauration des lacs des dernières années ont montré que la réduction des apports en nutriments est l'une des mesures les plus efficaces.

En limitant l'un des nutriments, on peut donc limiter le déroulement de la réaction. On présume de plus que les taux d'absorption et d'utilisation des nutriments par les algues sont proportionnels aux teneurs de ces éléments dans leur cytoplasme. Pour l'eau douce, le rapport est de 40C : 7N : 1P (Wetzel, 1975). Ce rapport est une référence de base. Il sert à déterminer l'élément limitant d'un plan d'eau. De plus, le phosphore est l'élément le plus facile à contrôler, puisqu'il est principalement issu des eaux usées domestiques, qui sont facilement traitables (**Rosa Galvez-Cloutier, 2002**).

Le phosphore est le facteur limitant sur lequel on peut agir car il est moins disponible que l'azote dans la biosphère et ses origines sont limitées; par contre, l'atmosphère constitue un réservoir interminable d'azote qui pourra être une source naturelle en milieu aquatique (**BENSAFIA, 2016**).

Chapitre 2 Présentation du site d'étude

2.1) Situation géographique :

La région étudiée, située dans la wilaya (division administrative) de Tipasa au nord de l'Algérie, fait partie de l'Atlas tellien-littoral. L'impluvium du barrage de Boukourdane couvre une superficie de 156 km² pour un périmètre de 63 km. Il est situé entre la longitude 2°7'40" et 2°20'21" Est et les latitudes 36°32'60" et 36°24'43" Nord.

Il est alimenté par l'oued El Hachem. Comme le montre la figure, ce dernier prend naissance suite à la confluence des quatre principaux affluents : l'oued Boukadir en provenance de l'Ouest, l'oued Tegdza en provenance du Sud et les oueds Nachef et Fedjena venant de l'Est (Fareh, s2006).

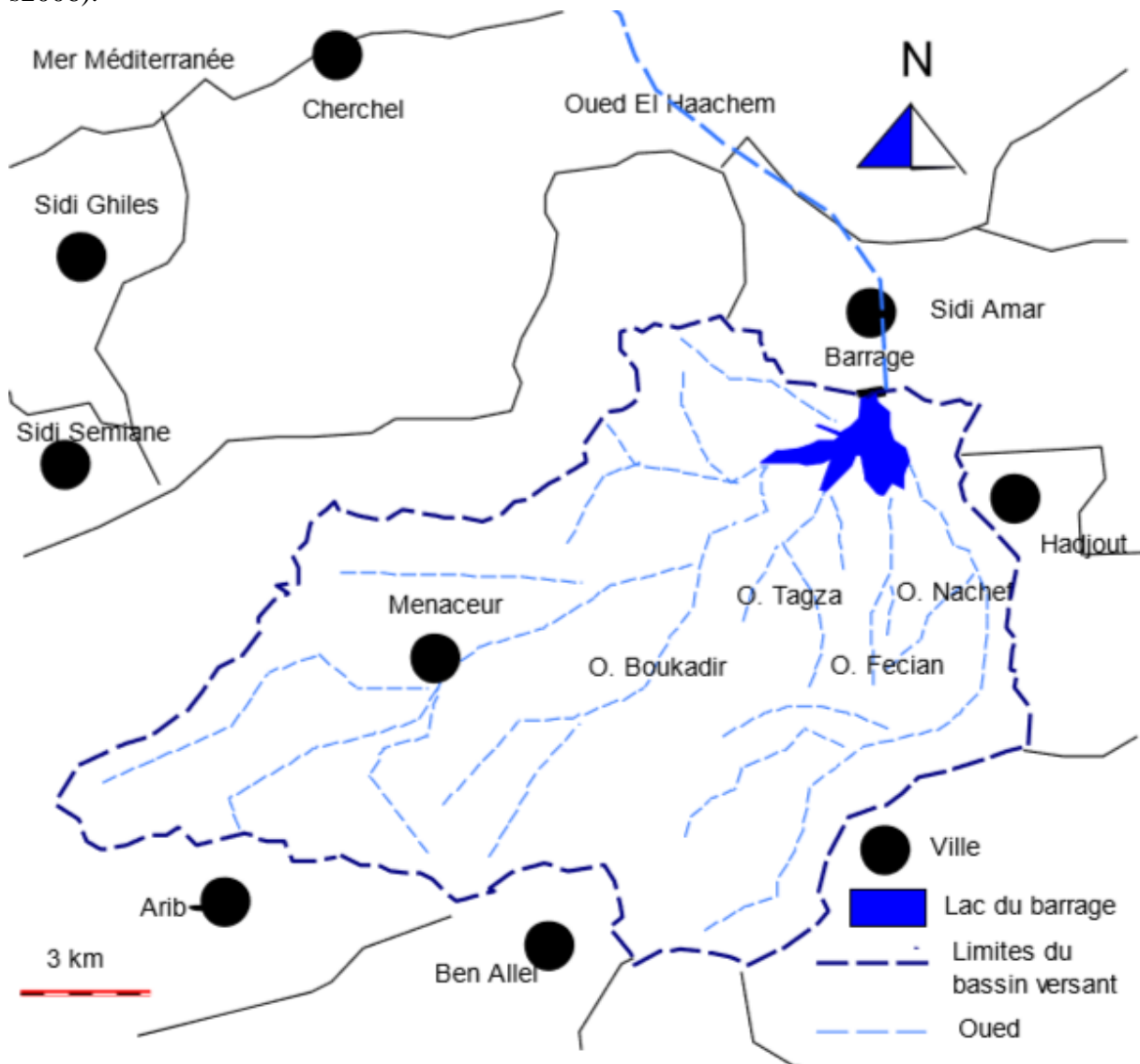


Figure I.3 : Les limites du bassin versant à l'amont du barrage de Boukourdane (schématisé à partir d'une carte de l'ANRH)

Le bassin versant de Boukourdane appartient au bassin hydrographique Algérois-Soummam-Hodna et plus exactement le bassin Algérois (fig). Contrairement aux autres bassins hydrographiques qui sont au nombre de 5, le taux d'envasement de l'Algérois -Soummam -

Hodna enregistrent un faible taux de comblement qui avoisine la valeur de 9% de la capacité totale des barrages (fig. 6) (Remini et Hallouche, 2007) (**REMINI B et al, 2018**).

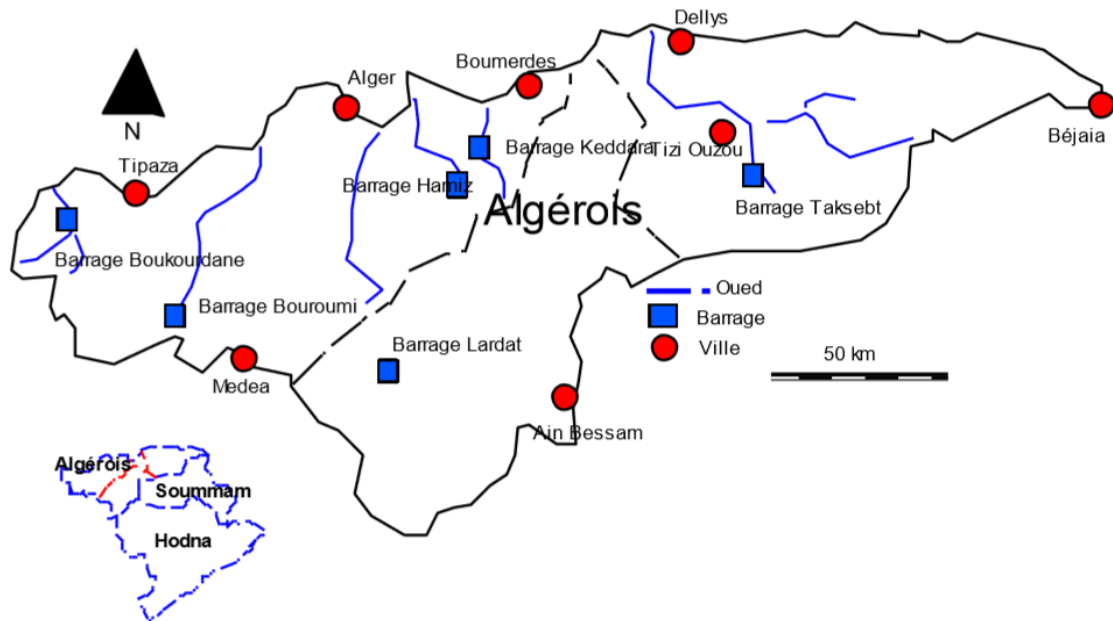


Figure I.4 : Bassin Hydrographique Algérois- Soummam- Hodna (Schématisé à partir d'une carte de l'AHS)

2.2) Morphologie du bassin

L'altitude du bassin versant de l'oued El Hachem varie entre 100 et 1417 m avec une moyenne de 387 m. La densité de drainage est de 3,10 km.km⁻², la longueur de son talweg principal est de 34 km. Les pentes supérieures à 35 % occupent une superficie de 78,68 km² de l'amont du bassin versant, tandis que les pentes entre 6 et 35 % occupent une superficie de 68,51 km² des zones collinaires de la partie centrale du bassin versant. Les faibles pentes, de 0 à 6 %, se localisent principalement dans la vallée et occupent une superficie de 10,87 km² dans la partie aval du bassin versant.

2.3) Géologie du bassin :

Les différentes formations géologiques fréquemment rencontrées sur la zone d'étude sont des roches sédimentaires très érodables, à l'origine de la grande sensibilité des sols de la région vis-à-vis du processus d'érosion. Il s'agit là essentiellement de schistes, marnes tendres et schisteuses et de calcaires. (**Remini, 2016**).

Les principaux types de sols identifiés dans le bassin versant de l'oued El Hachem sont de types Leptosol lithique, Régosol calcaire et Cambisol.

Tableau I.1 : Principales caractéristiques d'un profil type de chaque sol présent dans le bassin versant

Type de sol	Teneur en argile (%)	Teneur en limon (%)	Teneur en sable (%)	Densité apparente (kg-dm ⁻³)	Matière organique (%)
Leptosol lithique					
Effectif	8	8	8	8	8
Moyenne	39	47	12	1,5	1,22
Écart-type	5,86	5,67	3,52	0,18	0,12
Régosol calcaire					
Effectif	5	5	5	5	5
Moyenne	28	40	31	1,43	1,14
Écart-type	3,75	3,56	3,85	0,23	0,08
Cambisol					
Effectif	3	3	3	3	3
Moyenne	43	45	13	1,76	2,57
Écart-type	4,22	3,85	4,11	0,15	0,18

2.4) Historique et vocation du barrage :

Le barrage de Boukourdane a été construit en 1988 et mis sous eau en 1992. Sa capacité initiale était estimée à 93.106 Mm³ selon les plans originaux et a été révisée en 2005, après réalisation de la bathymétrie à 108.106 Mm³.

- Les caractéristiques du barrage :
 - Hauteur : 10 m
 - Longueur de la digue : 600 m
 - Taux d'envasement : 1,42 Mm³/an
 - Evaporation : 40 m³/j
- Les ouvrages annexes du barrage :
 - Tour de captage : composé de trois (3) vannes (un pour l'irrigation, un pour l'AEP et un pour l'évacuation)
 - Prise de fond
 - L'évacuateur de crue

Le barrage est équipé des tubes piézométriques, implantés dans les rives droite et gauche de l'ouvrage, pour mesurer la cote de l'eau. En plus de cela sont installés des appareils pour le tassement le long de la digue.

Le barrage de Boukourdane revêt un intérêt stratégique dans la politique algérienne d'autosuffisance alimentaire, tant en matière d'alimentation en eau potable des agglomérations situées aux alentours (Cherchell, Sidi Ghiles, Sidi Moussa, Sidi Amar, Nador et Tipasa), qu'en matière d'irrigation de la vallée de l'oued El Hachem et des régions de Hadjout et du Sahel. Sa construction a provoqué le rabattement de la nappe et même l'assèchement de certains puits situés à l'aval qui jusque-là bénéficiaient de la recharge naturelle de la nappe. La protection de cet ouvrage contre un envasement rapide entraînant une diminution sensible de sa durée de vie et la gestion adéquate des lâchers de barrage sont des enjeux majeurs pour l'alimentation en eau potable de la région et l'irrigation. En effet, les lâchers du barrage permettent la réalimentation artificielle de la nappe phréatique qui alimente le champ captant.

Toutes les études réalisées sur l'oued El Hachem montrent que la seule formation intéressante du point de vue hydrogéologique est représentée par le remplissage alluvionnaire du

Quaternaire de la plaine. Ces dépôts du Quaternaire sont des galets, graviers, argiles sableuses, argiles rouges et limons de surface (Maamar, 2004).

2.5) Climat :

Le climat du bassin versant de l'oued El Hachem est de type semi-aride, c'est-à-dire humide et froid en hiver, chaud et sec en été. Comme le montre la, les mois les plus pluvieux sont novembre (101 mm) et décembre (105 mm) (Remini, 2016).

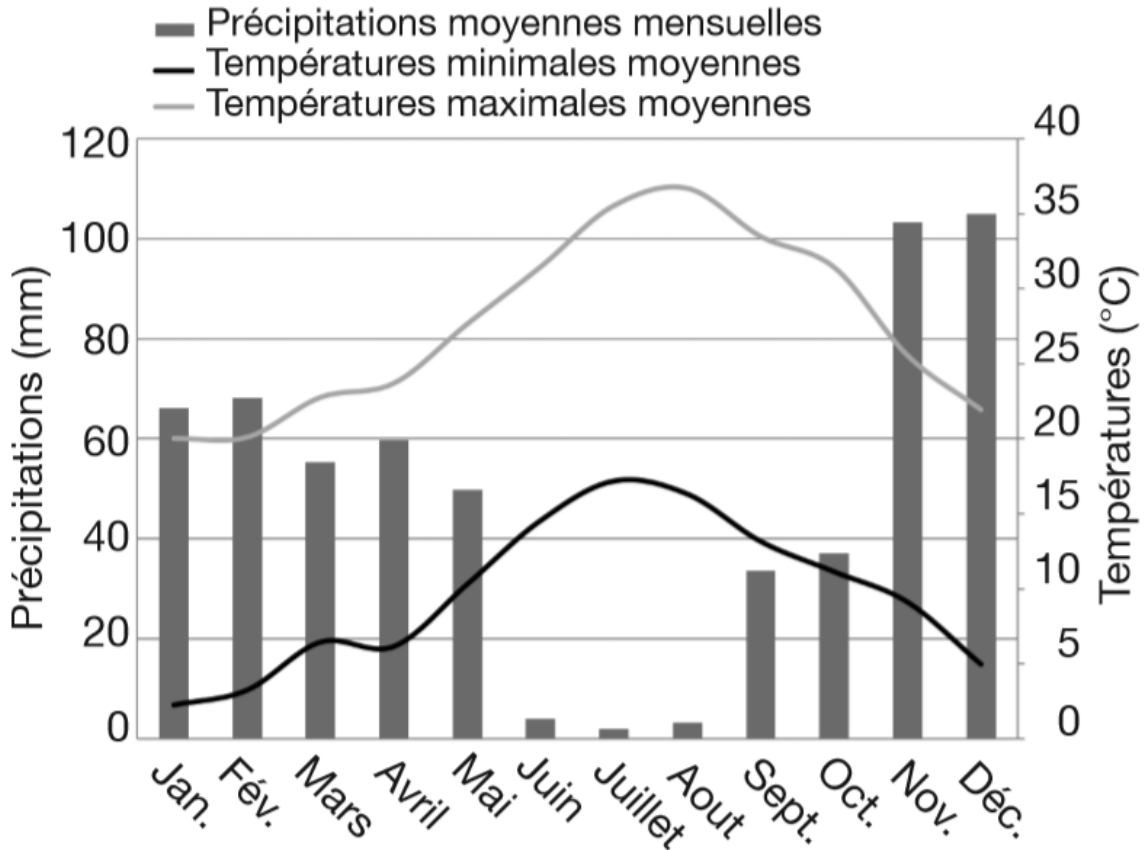


Figure I.5 : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Boukourdane (ANRH, 1988/1989 – 2012/2013).

Le bassin versant reçoit annuellement une pluviométrie située entre 300 mm et 750 mm avec une moyenne de 523 mm calculée sur la période allant de 1988 à 2012. La figure I.5 illustre la variation interannuelle des précipitations et la moyenne annuelle.

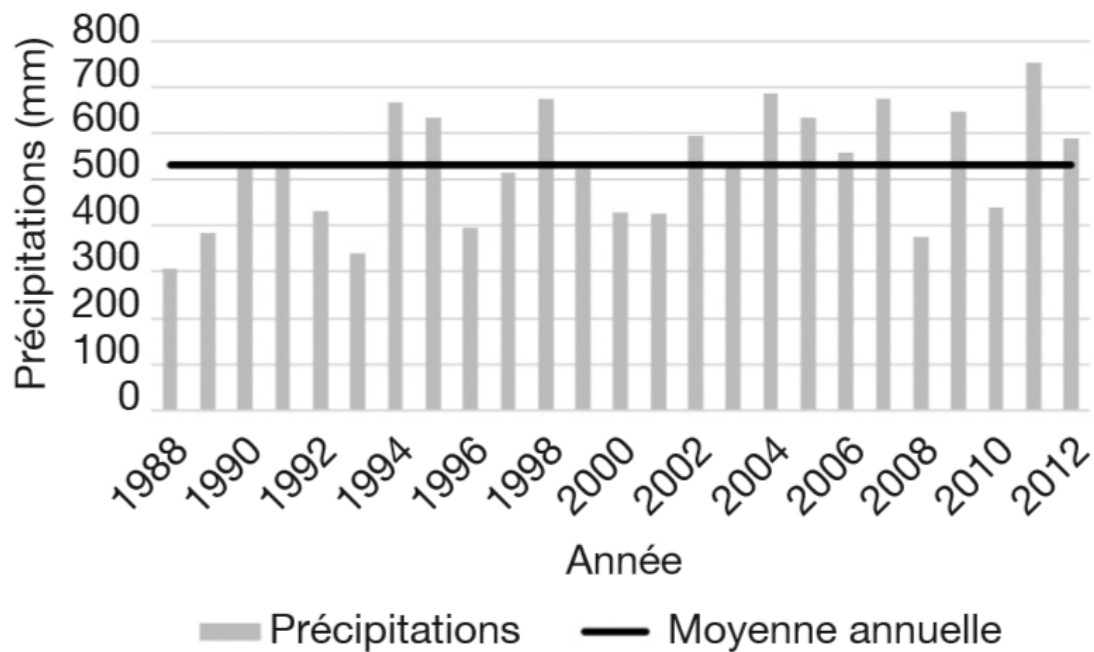


Figure I.6 : Variation interannuelle et moyenne annuelle des précipitations à la station de Boukourdane (1988/2013)

2.6) Occupation du sol

Le couvert végétal de la région de l'oued El Hachem est dominé par des forêts constituées de chêne liège (*Quercus suber*), de chêne vert (*Quercus ilex*), pins (*Pinus sp.*), cyprès (*Cupressus sp.*), genévriers (*Juniperus sp.*), peupliers (*Populus sp.*), de formations arbustives et de maquis.

Dans les zones agricoles, on rencontre des terrains en friche ou labourés, des parcelles de céréales, de pomme de terre, du maraichage, de l'arboriculture fruitière, des oliviers et des vignes.

Chapitre 3 : Qualité des eaux de surface

3.1) Grille générale :

La détermination de la qualité des eaux est basée sur la surveillance de plusieurs paramètres spécifiques à une pollution organique, azotée, phosphorée et bactérienne tels que: La température de l'eau, le pH, la saturation en oxygène; La demande biochimique en oxygène; la demande chimique en oxygène; les nitrates et phosphores; les métaux et autres polluants. Le tableau I.2 montre la grille de classification de la qualité des eaux en fonction des paramètres.

Tableau I.2 : Grille de classification de la qualité des eaux

PARAMETRES	QUALITE (mg/l)			
	BONNE	MOYENNE	POLLUEE	EXCESSIVEMENT POLLUEE
DBO ₅	<5	5 – 10	10 -15	>15
DCO	<20	20 – 40	40 - 50	>50
NH ₄	≤0,01	0,01 – 0,1	0,1 - 3	>3
NO ₃	≤10	10 – 20	20 - 40	>40
PO ₄ ³⁻	≤ 0,01	0,01 – 0,1	0,1 - 3	>3

3.2) Différentes normes applicables aux eaux de consommation

Les différentes normes à ne pas dépasser sont arrêté par l'ANRH dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.3 : Normes de la qualité des eaux superficielles d'A.N.R.H]

Paramètres physico-chimiques	Normes (OMS)
Température (°C) eau	25
Température (°C) air	25
Turbidité(NTU)	2800
Conductivité électrique (µS/cm)	2800
Résidu Sec (mg/l)	2000
MES à 150°C (mg/l)	25
MES à 550°C (mg/l)	25
pH	6.5-8.5
Bicarbonates HCO ₃ ⁻ (mg/l)	350
Carbonate CO ₂ ⁻ (mg/l)	-
Hydroxyle OH ⁻ (mg/l)	-
Titre alcalimétrique complet (TAC) (°F)	500
Titre alcalimétrique (TAC) (°F)	

Calcium (Ca ²⁺) (mg/l)	200
Magnésium (Mg ²⁺) (mg/l)	150
Titre hydrométrique (TH) (°F)	50
Sodium (Na ⁺) (mg/l)	200
Potassium (K ⁺)(mg/l)	20
Chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	500
Sulfates (SO ₄ ⁻²)(mg/l)	400
Demande chimique en oxygène (DCO) (mgO ₂ /l)	< 30
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅) (mgO ₂ /l)	< 7
Oxygène dissous (O ₂) (mgO ₂ /l)	<8.18
Saturation d'oxygène dissous(%)	100
Matière organique (MO)(mg/l) (mgO ₂ /l)	< 3.5
Nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/l)	50
Nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.1
Azote ammoniacal NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.5
Phosphates PO ₄ (mg/l)	0.5
Silice(SiO ₂) (mg/l)	25

3.3) Méthodes pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau :

Pour évaluer les cours d'eau, différents procédés sont appliqués par des organismes chargés de la gestion des ressources en eau. Ces procédés visent à analyser l'eau pour situer son degré d'usage.

Pour caractériser les écosystèmes aquatiques, des mesures doivent être prises à partir des communautés biologiques échantillonnées (algues, insectes aquatiques et poissons).

Pour ce faire, des prélèvements (hebdomadaires/mensuels) sont effectués pour analyser les échantillons.

Les évaluations qui peuvent être faites sur un ou plusieurs (voire des séries de) prélèvements sont réalisées au moyen de plus de 150 paramètres regroupés en indicateurs appelés altérations (1. Matières organiques et oxydables, 2. Matières azotés hors nitrate, 3. Nitrates, 4. Matières phosphorés etc.) (*Jean RODIER et al, 2009*).

La qualité globale d'une eau peut être définie en combinant les informations obtenues à l'aide de ces différents outils. Sous réserve que la dimension écologique soit suffisamment développée dans ces grilles on disposerait alors d'un moyen adapté pour apprécier le bon état écologique visé.

- **Qualité physico-chimique :**
- **Qualité biologique :**

L'Agence des Bassins Hydrographiques a élaborée une grille de classification des cours d'eau selon leur qualité en trois classes qui sont : qualité chimique, biologiques et eau potable. Cette grille permet de décrire la qualité de l'eau.

Tableau 1.4 : La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon ABH, 2009

Classe	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
	Qualité Chimique	Eau exempte de pollution	Eau de qualité moindre pouvant satisfaire tous les usages	Eau de qualité médiocre, suffisante pour les usages peu exigeants	Eau polluée, inapte à la vie biologique
Biologie	Tous les Taxons	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très Faible
Eau potable	Acceptable	Traitement simple	traitement classique	traitement complexe	Inapte

3.4) Evaluation de l'état trophique d'un plan d'eau :

Pour caractériser au mieux l'état trophique des lacs, on évalue le degré d'eutrophisation en se basant sur différents paramètres telles que les concentrations en phosphore total, chlorophylle (a) et la transparence des eaux de la retenue (BENSAFIA, 2016). La production végétale est rarement limitée par les éléments nutritifs (Reynolds et Descy, 1996).

Il faut souligner le rôle prédominant des variables physiques (lumière, température, mouvements turbulents et stratification de la colonne d'eau) et celui des facteurs biotiques (brouillage) dans les séquences de développement des espèces dominantes du phyto- plancton et la formation des efflorescences (Reynolds, 1984, 1989).

Cette mesure permet non seulement de situer l'état de santé du lac mais aussi de servir de guide pour mieux appréhender le problème d'eutrophisation. Elle (mesure) se fait à base des paramètres spécifiques appelés indicateurs environnementaux.

Tableau I.5 : Grille d'évaluation de l'état trophique

	Oligotrophie	Mesotrophie	Eutrophie
Phosphore total mg.m ⁻³	4 ↗ 14	15 ↗ 50	45 ↗ 200
Chlorophylle (moyenne été) mg.m ⁻³	0,5 ↗ 2,5	2,5 ↗ 8	8 ↗ 35
Chlorophylle (maximum) mg.m ⁻³	2 ↗ 8	8 ↗ 25	17 ↗ 120
Transparence mètres	6 ↗ 17	2,5 ↗ 7,5	1,25 ↗ 4
Déficit hypolimnique en O₂ g O ₂ . m ⁻² . jour ⁻¹	0,2	0,7	1,5

Naturellement, un lac passe de l'état oligotrophe à eutrophe sur une échelle de milliers d'années. Par contre, les activités anthropiques peuvent accélérer le processus d'eutrophisation faisant passer l'échelle à quelques dizaines d'années (**GARRAS. S, 2016**).

3.5) Impactes anthropiques

Les activités humaines, à travers les industries, les rejets domestiques, rejets anarchiques des déchets, l'agriculture... impactent directement sur la qualité des eaux superficielles. Ces pratiques asphyxient le milieu aquatique à la suite de la prolifération des végétaux. Cet impact nuit non seulement à la qualité de l'eau à l'état actuel et donne naissance à une pollution continue qui peut s'étendre à des dizaines d'années.

Les activités humaines ont pour effet de mobiliser des quantités considérables de phosphore et le pouvoir fixateur du sol : c'est ainsi que la concentration en phosphore d'un effluent urbain est 1 000 fois supérieure à celle des eaux d'un lac propre (**G. BARROIN. 2000**).

Avec le développement industriel, les problèmes de pollution de l'eau ont pris un tour d'abord régional puis continental et désormais, maintenant, il est mondial. Une grande quantité d'eau est polluée par les usages industriels, agricoles ou encore domestiques (**BELHADJ. M, 2017**).

Chapitre 4 : Analyse En Composantes Principales Et Régression Linéaire Multiple

4.1) Analyse En Composantes Principales

L'objectif de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est de revenir à un espace de dimension réduite (2 par exemple) en déformant le moins possible la réalité. Il s'agit donc d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales.

L'application de cette méthode d'analyse statistique dans le domaine de l'étude de l'environnement a fait l'objet de nombreux travaux (Amiard et al. 1991, Bengen et al. 1992, Ouddane et al. 1992, Halouani et al. 1993, Laberge et al. 1994). Cette méthode de traitement statistique permet le regroupement de données hétérogènes (unités différentes) dans une représentation graphique simple (Abdelaziz ABDALLAOUI, 1998).

4.1.1) Objectifs :

Les objectifs poursuivis par une ACP sont :

- La représentation graphique "optimale" des individus (lignes), minimisant les déformations du nuage des points, dans un sous-espace E_q de dimension q ($q < p$),
- La représentation graphique des variables dans un sous-espace F_q en explicitant au "mieux" les liaisons initiales entre ces variables,
- La réduction de la dimension (compression), ou approximation de X par un tableau de rang q ($q < p$). (q : dimension ; p : variable)

Les derniers objectifs permettent d'utiliser l'ACP comme préalable à une autre technique préférant des variables orthogonales (régression linéaire) ou un nombre réduit d'entrées (réseaux neuronaux).

Tableau :

Les données sont les mesures exécutées sur n unités $\{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n\}$. Les p variables quantitatives qui représentent ces mesures sont $\{v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_p\}$ (C. Duby, S. Robin. 2015).

Le tableau des données brutes à partir duquel on va faire l'analyse est notée X et a la forme suivante :

$$X = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & \dots & v_j & \dots & v_p \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ u_i \\ u_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2p} \\ & & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{ip} \\ & & & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Dans notre étude, les individus sont les mois et les variables représentent les paramètres physico-chimiques étudiés

Pour avoir une image de l'ensemble des unités, on se place dans un espace affine en choisissant comme origine un vecteur particulier de R_p . L'ensemble des points qui représentent les unités est appelé traditionnellement "nuage des individus".

En faisant de même dans R^n , chaque variable pourra être représentée par un point de l'espace affine correspondant. L'ensemble des points qui représentent les variables est appelée "nuage des variables".

L'idée générale des méthodes factorielles est de trouver un système d'axes et de plans tels que les projections de ces nuages de points sur ces axes et ces plans permettent de reconstituer les positions des points les uns par rapport aux autres, c'est-à-dire avoir des images les moins déformées possible

4.1.2) La représentation graphique

4.1.2.1) Individus

La "qualité globale" des représentations est mesurée par la part de dispersion

La qualité de la représentation de chaque x_i est donnée par le cosinus carré de l'angle qu'il forme avec sa projection

Pour éviter de consulter un tableau qui risque d'être volumineux (n lignes), les étiquettes de chaque individu sont affichées sur les graphiques.

4.1.2.2) Variables

Les graphiques obtenus permettent de représenter "au mieux" les corrélations entre les variables (cosinus des angles) et, si celles-ci ne sont pas réduites, leurs variances (longueurs).

La qualité de la représentation de chaque x_j est donnée par le cosinus carré de l'angle qu'il forme avec sa projection

4.1.3) Corrélation :

Le terme de corrélation est utilisé dans le langage courant pour désigner la liaison (relation / association) entre 2 variables quelconques. En statistique, le terme de corrélation est réservé pour désigner la liaison entre 2 variables QUANTITATIVES (le plus souvent continues) (LABARERE. J, 2012).

Pour savoir s'il existe une relation entre deux caractères, on établit un diagramme de corrélation. Le coefficient de corrélation de Pearson permet d'analyser les relations linéaires.

4.1.3.1) Coefficient de corrélation de Pearson (r)

Ce coefficient permet de détecter la présence ou l'absence d'une relation linéaire entre deux caractères quantitatifs continus. Il dépend de la covariance

Le coefficient de corrélation de Pearson (r) est interprété comme suite :

Le r varie entre -1 et $+1$. Son interprétation est la suivante :

- si r est proche de 0 , il n'y a pas de relation linéaire entre X et Y
- si r est proche de -1 , il existe une forte relation linéaire négative entre X et Y
- si r est proche de 1 , il existe une forte relation linéaire positive entre X et Y

4.1.3.2) Coefficient de détermination (r^2)

Le coefficient de corrélation sert avant tout à caractériser une relation linéaire positive ou négative par son intensité (relation : forte, faible, absente). En revanche, son carré « r^2 » que l'on appelle coefficient de détermination, s'interprète comme la proportion de variance de Y (ou X) linéairement expliquée par X (ou Y).

4.1.3.3) Cercle des corrélations

Deux points très proches du cercle des corrélations, donc bien représentées dans le plan, seront très corrélés positivement entre elles. Si elles sont proches du cercle, mais dans des positions symétriques par rapport à l'origine, elles seront très corrélées négativement. Deux variables proches du cercle des corrélations et dont les vecteurs qui les joignent à l'origine forment un angle droit, ne seront pas corrélées entre elles. Il faut, pour interpréter correctement ces graphiques des cercles de corrélation, se souvenir qu'un coefficient de corrélation est une mesure de liaison linéaire entre deux variables, et qu'il peut arriver que deux variables très fortement liées aient un coefficient de corrélation nul ou très faible, si leur liaison n'est pas linéaire (C. Duby, S. Robin. 2015).

4.2) L'analyse de la variance ANOVA

L'analyse de la variance (ANOVA) a pour objectif d'étudier l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur une variable quantitative. Nous nous intéresserons ici au cas où les niveaux, ou modalités, des facteurs sont fixés par l'expérimentateur. On parle alors de modèle fixe.

4.2.1) Choix du risque α

4.2.2) Calcul de la statistique de test : chaque test admet une statistique qu'on calcule à partir d'une formule mathématique. La valeur de la statistique est ensuite comparée à la valeur théorique issue de la table de la loi de probabilité du test.

4.2.3) Calcul de la p-valeur : La probabilité critique est la probabilité pour que la statistique du test T dépasse la valeur seuil α , sous l'hypothèse H_0

$P > \alpha = 0,05$: (ns) différences non significatives

$P \leq \alpha = 0,05$: (*) différences juste significatives

$P \leq \alpha = 0,01$: (**) différences hautement significatives

$P \leq \alpha = 0,001$: (***) différences très hautement significatives

4.3) La régression linéaire multiple

Dans le cas où deux variables quantitatives X et Y montrent une forte relation linéaire.

Dans de nombreuses situations, en première approche, une idée naturelle est de supposer que la variable à expliquer Y est une fonction affine de la variable explicative X, c'est-à-dire de chercher f dans l'ensemble F des fonctions affines de R dans R. C'est le principe de la régression linéaire simple (Arnaud Guyader, 2013).

Un modèle de régression linéaire simple est défini par une équation de la forme :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}; Y_i = \beta_1 + \beta_2 * X_i + \varepsilon_i$$

Le modèle de régression linéaire multiple est une généralisation du modèle de régression simple lorsque les variables explicatives sont en nombre quelconque. Nous supposons donc que les données collectées suivent le modèle suivant :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}; Y_i = \beta_1 * X_{i1} + \beta_2 * X_{i2} + \dots + \beta_n * X_{in} + \varepsilon_i$$

Où :

- les X_{ij} sont des nombres connus, non aléatoires, la variable X_{i1} valant souvent 1 pour tout i ;
- les paramètres β_j du modèle sont inconnus, mais non aléatoires;
- les ε_i sont des variables aléatoires (erreurs) inconnues.

PARTIE
EXPERIMENTALE

Chapitre 5 : MATERIELS ET METHODES

5.1) Méthodologie d'échantillonnage des eaux de barrage

L'étape d'échantillonnage influence directement la qualité des résultats analytiques obtenus. Des précautions élémentaires doivent être prises pour obtenir un échantillon représentatif.

5.1.1) Matériaux de prélèvement

La nature du matériau du récipient de prélèvement est importante. Ce dernier ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser. Le verre et le Pyrex peuvent être employés sans problème pour le dosage des ions majeurs. Le polyéthylène est souvent recommandé pour tout échantillonnage.

5.1.2) Choix des points de prélèvement

Le choix des points de prélèvement ainsi que leur fréquence d'échantillonnage dépendent principalement des variations spatiale et temporelle de la qualité de l'eau. Dans tous les cas, ils conditionnent la représentativité de la population échantillonnée, et donc des conclusions tirées des résultats analytiques.

En général, les flacons en polyéthylène sont conservés à la température au-dessous de 2 à 4 °C (utilisation des glacières et des agents réfrigérants). Le délai d'analyse peut varier de 24 heures à plusieurs semaines, selon le paramètre considéré.

5.1.3) Mesures in situ

La température, le pH, la conductivité, l'alcalinité et l'oxygène dissous, doivent être mesurés in situ. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

5.2) Analyses au laboratoire

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH) à Soumâa selon des protocoles élaborés par cette agence et ceux de RODIER et al., 2009 :

5.2.1) Température (T)

La mesure de la température est effectuée in situ à l'aide d'un thermomètre à mercure immergé dans l'eau pendant 10 minutes.

5.2.2) Potentiel d'hydrogène (pH)

Mode opératoire

Le pH est mesuré à l'aide d'une électrode de pH combinée (pH Mètre WTW).

- Prendre environ 20ml d'eau à analyser,
- Mettre un agitateur avec une faible agitation,
- Tremper l'électrode dans le bécher,
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation,
- Puis noter le pH.

5.2.3) Oxygène dissous

Mode opératoire

- Remplir complètement avec de l'eau à analyser un flacon de 125ml à col rodé,
- Ajouter rapidement à l'aide d'une pipette plongeant sous la surface du liquide 1ml de sulfate manganéux et 1ml de réactif à l'iodure de potassium,
- Reboucher sans emprisonner de bulles d'air et agiter,
- Quand le précipité formé s'est déposé, introduire de la même manière 2ml d'acide sulfurique dilué au 1/2, agiter,
- Quand tout le précipité s'est dissous, prélever 103ml de la solution (3ml pour tenir compte du volume déplacé par les réactifs) et les mettre dans un erlen Meyer,
- Doser l'iode formé par la solution de thiosulfate de sodium à 0,0125N,
- Ajouter d'abord le thiosulfate jusqu'à obtention d'une couleur jaune clair, puis ajouter 5ml d'indicateur à l'empois d'amidon. Continuer le titrage jusqu'à décoloration complète,
- Le titre de la solution de thiosulfate de sodium à T=0,0125N

Calcul

$$\text{Soit : } \quad \text{Titre de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Titre du KIO}_3 \times \text{Volume de KIO}_3}{\text{Volume de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

$$V \text{ (mg/l) d'O}_2 = 80.V.T \text{ mg/l de O}_2 \text{ dissous.}$$

5.2.4) Dosage du sodium (Na⁺) et du potassium (K⁺) (NF T-90-019)

Mode opératoire

Le BWB-1 est un photomètre multicanaux pour la mesure du Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Ba²⁺ et Li⁺. Le gaz utilisé peut être le butane, le propane ou un mélange des deux. Il est équipé d'un compresseur d'air à réglage automatique de débit. Il est possible d'installer une source d'air extérieure. Il est aussi équipé d'un mécanisme de coupure automatique de l'arrivée du gaz en cas d'extinction accidentelle de la flamme avec alarme visuelle et sonore.

L'appareil est piloté par un microprocesseur permettant de générer et de mémoriser une courbe de calibration multipoints ou monopoint et d'afficher les résultats sous différentes formes. Le gaz utilisé peut être le butane, le propane ou un mélange des deux à une pression ne dépassant pas 20 bars (les bouteilles de gaz butane vendues en Algérie peuvent être utilisées). Ne pas installer de détendeur sur la bouteille de gaz étant donné que l'appareil en est déjà équipé. Vérifier l'absence de fuite à l'aide d'eau savonneuse.

L'expression des résultats : Les résultats sont exprimés directement en mg/l de sodium et potassium.

5.2.5) Carbonates et Bicarbonate

Mode opératoire

- Prendre environ $V_{PE} = 20\text{ml}$ d'eau à analyser,
- **Si pH > 8,3** : Ajouter à la burette H_2SO_4 à 0,01N goutte à goutte et arrêter quand le pHmètre indique pH= 8,3 ; noter le volume d'acide sulfurique $V_1(\text{ml})$ versé.
- **Si pH est compris entre 4,4 et 8,8** : Ajouter à la burette H_2SO_4 à 0,01N jusqu'à obtenir pH = 4.4; noter le volume d'acide V_2 (ml) versé.

Calcul

1.Si pH > 8,3

Il y a des bicarbonates et OH^- dans l'échantillon ce qui implique une teneur négligeable en bicarbonates $\text{HCO}_3^- = 0$

$$\text{OH}^- \text{ mé/l} = \frac{(2V_1 - V_2) \times 0,01 \times 1000}{V_{PE} \text{ ml}}$$

$$\text{OH}^- \text{ mg/l} = \text{OH}^- \text{ mé/l} \times 17$$

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ mé/l} = \frac{2(V_2 - V_1) \times 0,01 \times 1000}{V_{PE} \text{ ml}}$$

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ mg/l} = \text{CO}_3^{2-} \text{ mé/l} \times 30$$

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

2.Si pH est compris entre 4,4 et 8,3

Il n'y a ni carbonates ni OH^- dans l'échantillon.

$$\text{HCO}_3^- \text{ mé/l} = \frac{V_2 \times 0,01 \times 1000}{V_{PE}}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/l} = \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} \times 61$$

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

5.2.6) Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Mode opératoire

Détermination du volume d'échantillon à verser dans le flacon

Il faut d'abord déterminer le volume d'échantillon à verser dans le flacon et qui dépend de la valeur approximative de sa DBO.

- ✓ Pour des eaux claires et des eaux de rejets domestiques : **DBO = 0,5 x DCO**

Quantité à analyser

Connaissant donc sa DBO, le tableau 31 suivant nous donne le volume d'échantillon à verser dans le flacon :

Tableau II.1. : Facteur de conversion de la DBO₅ en fonction du volume de prise.

DBO (mg/l O₂)	Volume d'échantillon à verser dans le flacon (en ml)	Facteur multiplicatif
0 - 40	432	1
40 - 80	365	2
80 - 200	250	5
200 - 400	154	10
400 - 800	97	20
800 - 2000	43,5	50
2000 - 4000	22,7	100

La valeur réelle est calculée comme suit :

$$\text{DBO}_5 \text{ (mgO}_2\text{/l)} = \text{Valeur lue} * \text{facteur multiplicatif}$$

Mode opératoire

- A l'aide d'une éprouvette graduée, verser dans le flacon le volume calculé comme dans l'exemple cité ci-dessus,
- Introduire l'aimant et poser le flacon sur la plaque agitatrice de l'enceinte thermostatée, puis démarrer l'agitation,
- Mesurer la température dans le flacon, si celle-ci n'est pas comprise entre 15 et 20°C, fermer la portière de l'enceinte thermostatée et attendre le temps nécessaire afin que la température soit dans cette plage,
- Lorsque la température est ajustée, introduire 2 pastilles de soude dans le creuset percé qu'on aura préalablement posé avec son joint en caoutchouc sur l'ouverture du flacon et bien serrer le bouchon,
- Presser en même temps la touche « S » et « M » du bouchon pendant 2 secondes pour remettre la mémoire de l'enregistreur à zéro et démarrer en même temps l'analyse,
- A partir de ce moment l'appareil mémorisera automatiquement toutes les 24 heures une valeur correspondante à la DBO (qui est égale à la valeur affichée sur le bouchon multiplié par le facteur multiplicatif correspondant au volume d'échantillon prélevé),

-
- On pourra accéder durant l'analyse, à la première valeur mémorisée le premier jour (DBO_1) en pressant une première fois la touche « S » (attendre une seconde pour l'affichage du résultat),
 - On accédera aux quatre autres valeurs (dont la DBO_5) en pressant la touche « S » autant de fois qu'il y a de jour,
 - En pressant la touche « M » à n'importe quel moment de la journée, on a accès à la valeur actuelle correspondante à la DBO (ne pas oublier le facteur multiplicatif). Ce type de valeur n'est pas mémorisé.

5.2.7) Matière organique

Mode opératoire

- Mettre en ordre dans un erlen V=100ml d'eau à analyser
- Ajouter 10ml d'acide sulfurique au $\frac{1}{2}$,
- Porter à l'ébullition 10min exactement,
- Refroidir rapidement et ajouter 20ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80,
- Doser l'excès de sulfate ferreux par du permanganate N/80 (de titre exact) soit V le volume de permanganate.

L'expression des résultats

$$O_2 \text{ (mg/l } O_2) = (V - V_0)$$

V_0 : Représente le volume du permanganate du témoin (eau distillée) ;

Chapitre 6 Etudes des paramètres et évaluation trophique

6.1) Evolution annuelle des paramètres physicochimiques

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface constitue un moyen d'investigation parmi d'autres pour l'évaluation des risques de pollution et l'état de contamination de ces eaux. Une eau possède un patrimoine géochimique d'origine naturelle qui évolue en fonction de la nature géologique des terrains traversés. Le degré de pollution est apprécié par la mesure de l'écart ou de la différence entre le chimisme naturel de l'eau qu'il soit à l'échelle locale ou régionale et un chimisme nouvellement acquis suite à l'intervention négative de l'homme sur l'environnement hydrologique (BELHADJ. M, 2017).

6.1.1) La température

La température de l'eau reste une composante essentielle lors de la croissance algale ; elle est corrélée positivement avec le phytoplancton, dans la plupart des saisons (Wang et al. 2007). C'est un facteur de réglementation pour l'abondance du phytoplancton et la composition de la communauté algale (Zhang et al. 2010) (GARRAS. S, 2016)

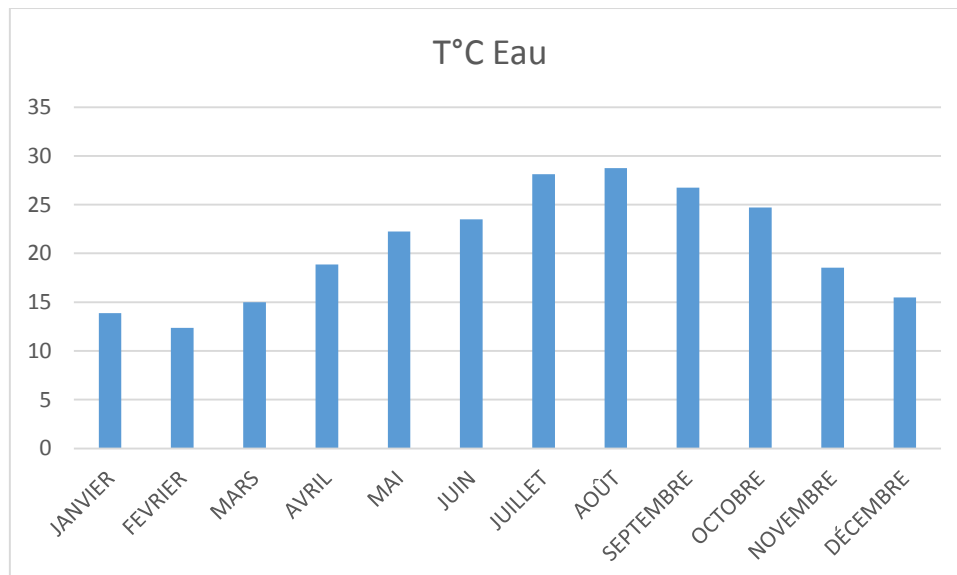


Figure II.1 : Evolution mensuelle de la température

Le climat de la zone étant semi-aride, nous constatons des températures moins de 20°C pendant l'hiver et au-delà de 20 pendant l'été. Il est à noter que la température est un facteur essentiel pour le développement des paramètres physico-chimiques et joue un grand rôle dans l'équilibre du milieu aquatique.

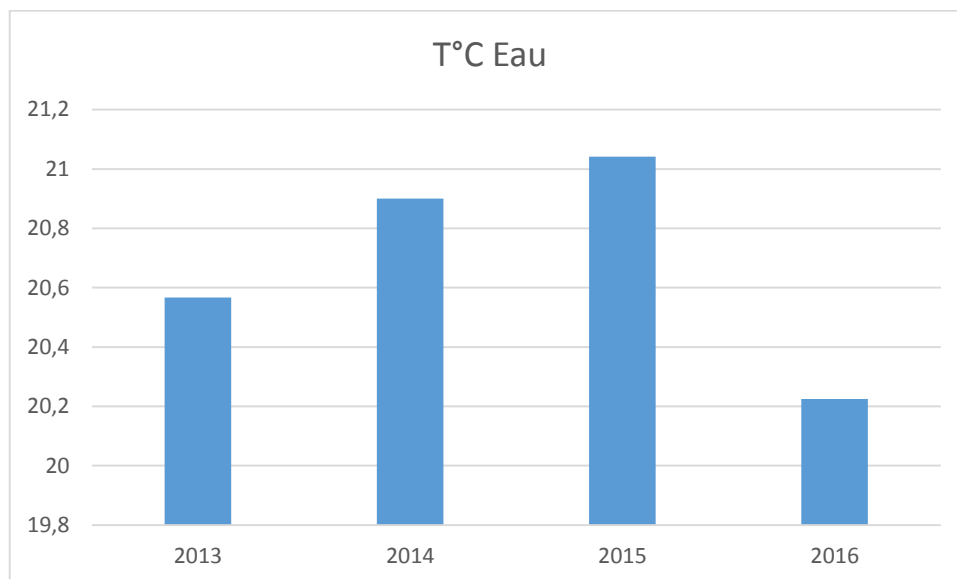


Figure II.2 : Evolution annuelle de la température

La température annuelle de l'eau du barrage de Boukourdane varie au fil des années. La moyenne annuelle des températures enregistrée en en 2013 (20.56°C), 2014 (20.9°C) 2016 (20.225°C) et 2015 (21.04°C).

6.1.2) Le pH

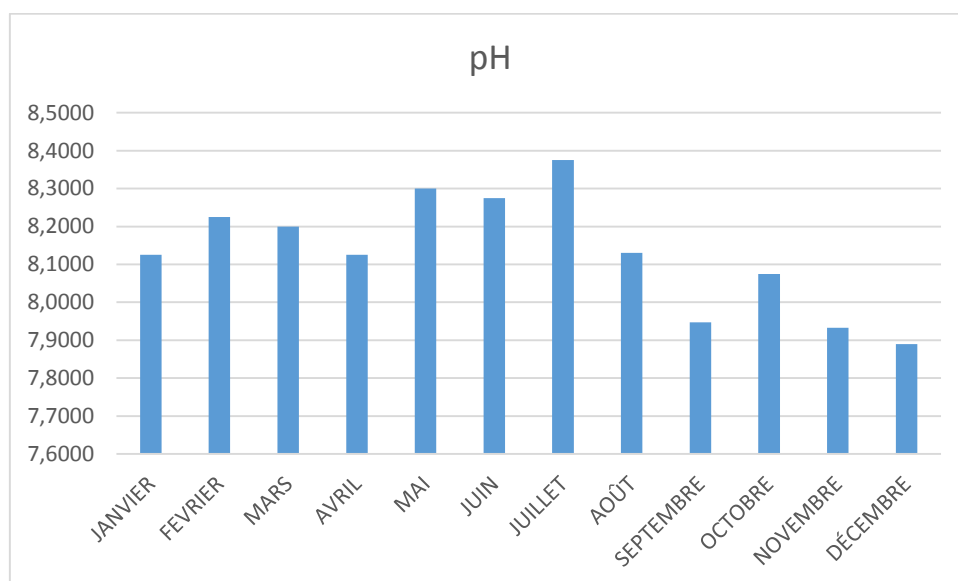


Figure II.3 : Evolution mensuelle du pH

Les résultats d'analyses mensuelles du pH permettent de mettre en évidence les mois ayant les valeurs de pH atteignant ou dépassant le seuil d'alcalinité. On s'aperçoit aussi que le potentiel hydrogène est basique tout au long de l'année avec une augmentation de janvier (8.125) à février (8.225) ce qui correspond à la formation primaire des phytoplanctons. Le ralentissement de la formation des végétaux, dû à la diminution de la photosynthèse pour apparition diminuée du soleil, est caractérisé par la diminution du pH au mois de mars (8.2) et avril (8.125).

A partir d'avril, début de la période d'automne, on s'aperçoit à une augmentation du pH en mai (8.3). Ce mois étant mois de transition vers la période de chaleur, la photosynthèse sous l'effet du soleil continue au niveau le plus élevé de l'année, conduit à l'intensification de la formation des végétaux dans le cours d'eau ce qui aboutira à enregistrer le pH le plus élevé de l'année au mois de juillet (8.375).

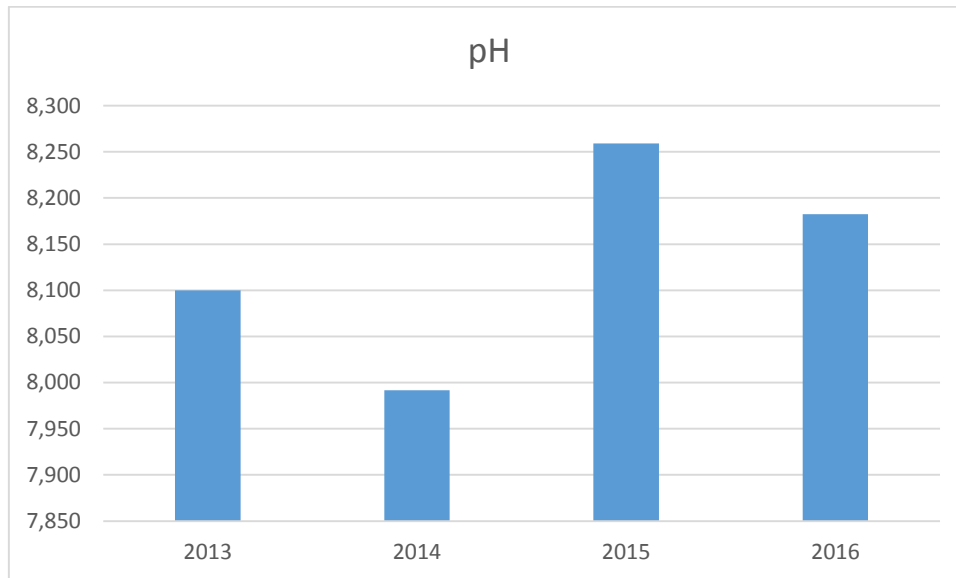


Figure II.4 : Evolution annuelle du pH

Les résultats annuels du pH montrent des valeurs inférieures au seuil d'alcalinité dans les années 2013 et 2014 avec respectivement 8.10 et 7.99. Par contre le ph atteint une valeur supérieure au seuil d'alcalinité (8.2) en 2015 avec un pH=8.259 puis décroît à la valeur 8.183 en 2016.

De ce fait, nous constatons que le pH du cours d'eau reste basique au fil des années ce qui montre l'absorption continue du gaz carbonique par les végétaux.

6.1.3) Le phosphate

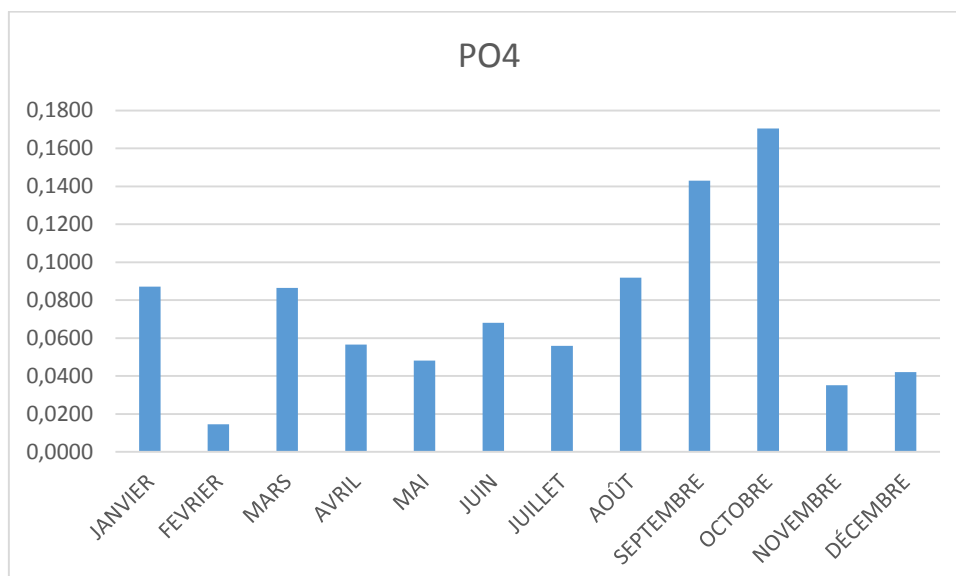


Figure II.5 : Evolution mensuelle du phosphate

Nous constatons des variations moins stables des concentrations du PO₄ tout au long de l'année. Les plus remarquables sont une faible concentration au mois de février (0.0145 mg/l). Les faibles teneurs sont enregistrées en période de forte productivité algale caractérisée par le pH le plus élevé (CAPBLANC J., 1972). Cette fraction de phosphore est considérée comme étant la seule forme préférentiellement et directement assimilable par les algues (REYNOLDS, 1984) (F. Benzha et al, 2019).

Les mois de mai (0.048 mg/l) et juillet (0.0558 mg/l) présentent également des valeurs relatives à la présence des algues. Tandis qu'un pic est enregistré en octobre (0.17 mg/l) dû au fait de la diminution du pH.

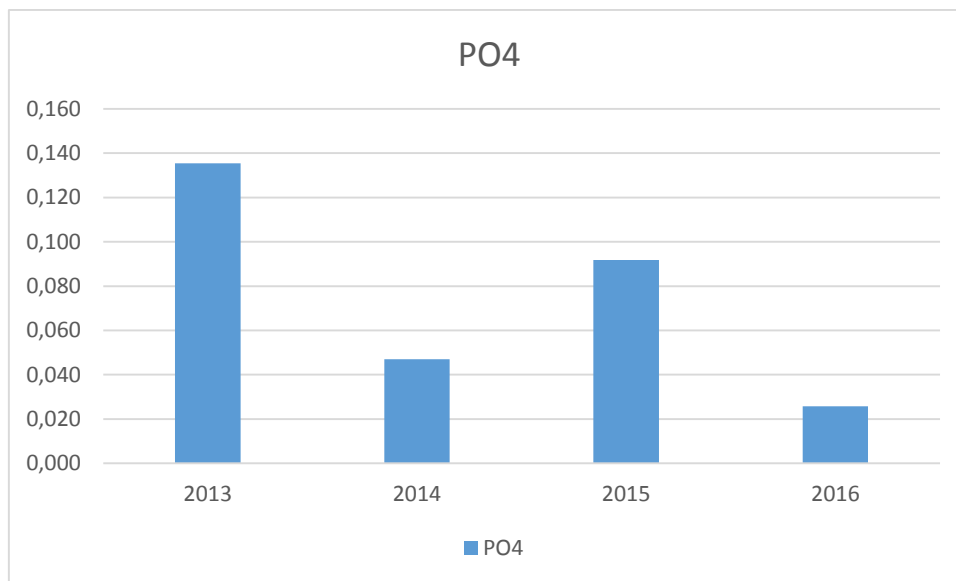


Figure II.6 : Evaluation annuelle du phosphate

Du point de vue annuel, nous avons constaté que la concentration du phosphate est très élevée en 2013 (0.135 mg/l) ce qui revient à voir que le milieu aquatique se portait mieux. Par contre une dégradation importante est clairement visible en 2014 (0.047 mg/l). En 2015 la situation s'est améliorée avec une variation de la concentration à 0.092 mg/l. Mais une dégradation est constatée en 2016 à travers l'enregistrement d'une valeur de 0.026 mg/l.

La source de la variation du phosphate est due aux activités humaines et agricoles. Les eaux vannes issues des travaux ménagers et besoins naturels sont constituées d'importante teneur en phosphate. L'utilisation des détergents et produits cosmétiques sont les principales sources de la phosphatation des eaux. La région étant peuplée de terres agricoles, les engrais utilisés pour la fertilisation du sol.

6.1.4) Oxygène dissous

Parmi les facteurs biologiques et physico-chimiques, les activités autotrophe et hétérotrophe sont les facteurs dominants responsables des variations diurnes de l'oxygène dissous (Valérie Villeneuve et al, 2006).

Le processus de nitrification peut s'avérer très important dans le bilan de la concentration en oxygène dissous en rivière à court terme (heures), particulièrement dans les cas où il y a

présence de rejets d'eaux usées. Ainsi, des rejets d'ammoniaque d'une usine de traitement des eaux usées peuvent être la cause d'une chute de la concentration journalière moyenne en oxygène (CHAUDHURY et al., 1998). Ce déclin de la concentration en oxygène peut être provoqué par la croissance des bactéries nitrifiantes qui est favorisée par une charge ponctuelle d'ammoniaque d'origine industrielle (DUNNETTE et AVEDOVECH, 1983; RICKERT, 1984) (BELHADJ. M, 2017).

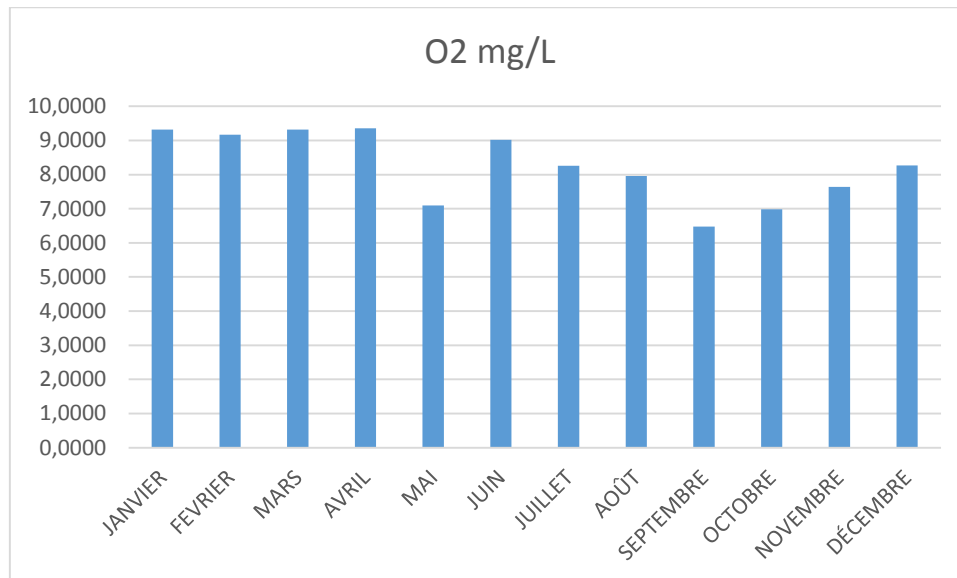


Figure II.7: Evolution mensuelle de l'oxygène dissous

Les concentrations mensuelles en oxygène dissous du réservoir de Boukourdane ont une variation peu considérable de janvier à avril avec des concentrations respectives de 9.318 mg/l à 9.35 mg/l. Malgré cette modeste variation, les concentrations affichées ne sont pas négligeables du fait de leurs grandeurs de plus de 9 mg/l. Cette grandeur exprime la présence du phytoplancton qui libère du dioxygène pendant la photosynthèse. L'activité photosynthétique par les algues et les macrophytes peut être le facteur dominant des variations diurnes de l'oxygène (O'CONNOR et DI TORO, 1970), et ainsi faire augmenter la concentration en oxygène en rivière sur une période de 24 h (LIVINGSTONE, 1991; MÜLLER et WEISE, 1987) (Valérie Villeneuve et al, 2006).

Dans l'évaluation annuelle de la concentration en oxygène dissous nous avons constaté une dégradation du milieu à travers la variation de la concentration de 8.254 mg/l en 2013 à 8.659 mg/l en 2016

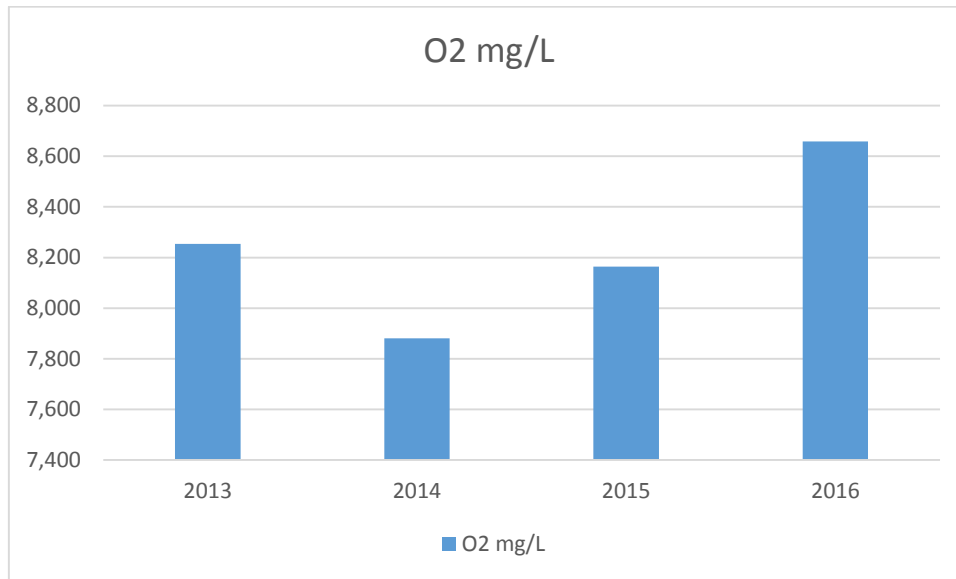


Figure II.8 : Evolution annuelle de l'oxygène dissous

Cela est dû aux apports exogènes, c'est-à-dire l'accumulation des eaux chargées en nutriments. Durant cette période les températures enregistrées sont relativement faible. La concentration diminue en mai (7.096 mg/l) puis grimpe à 9 mg/l en juin et se stabilise à 7.95 en aout puis décroît pour atteindre la concentration en oxygène la plus basse de l'année en septembre (6.4769 mg/l)

Il est important de remarquer la liaison entre l'oxygène dissous et la température.

La teneur en oxygène commande fortement la vie aquatique. On considère que celle-ci est, d'un point de vue de la fonction biologique, perturbée dès que la concentration passe en dessous de 5 mg/l et des mortalités piscicoles sont à redouter en dessous de 3 mg/l. De plus, le processus de dégradation des matières organiques et de l'ammoniaque par autoépuration naturelle nécessite une teneur suffisante en oxygène dissous. Les chutes rapides en oxygène nécessitent une adaptation immédiate et provoquent un stress violent (BELHADJ, 2017).

6.1.5) Les nitrates

La présence des nitrates perturbe ou arrête complètement la déphosphoration biologique (BENSAFIA, 2016)

La pollution par les nutriments (NO_3^- , et PO_4^{3-}) dépend de l'approvisionnement des terres agricoles en fertilisants (épandage, rejets d'élevages et engrais) et du déversement des eaux vannes.

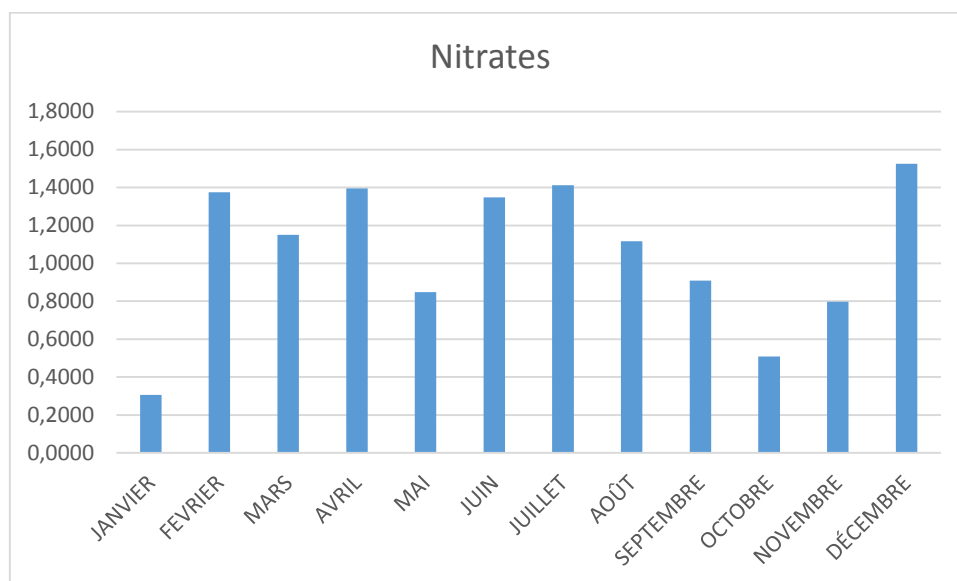


Figure II.9 : Evolution mensuelle des nitrates

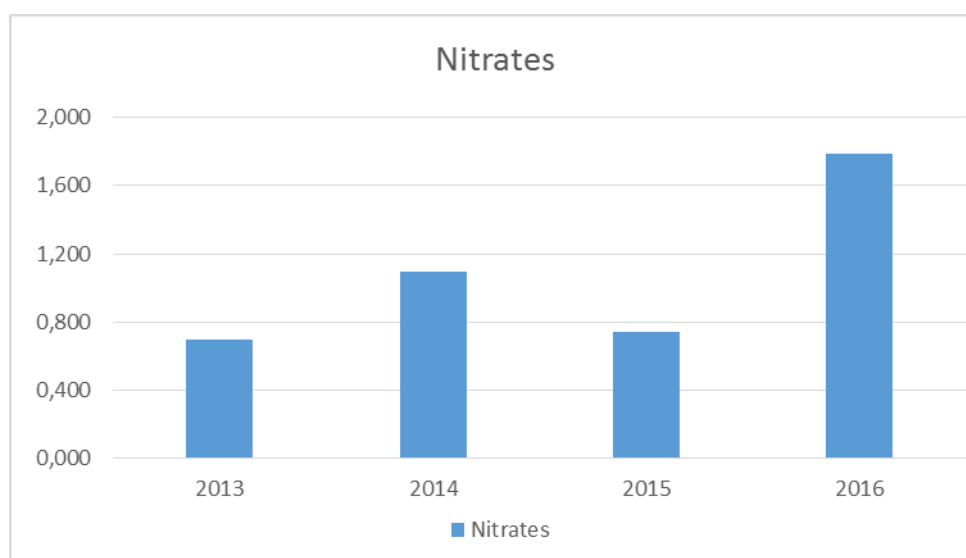


Figure II.10 : Evolution annuelle des nitrates

Conformément à la grille fixée par l'Agence des Bassins Hydrographiques (tableau I.2), le réservoir de Boukourdane n'a pas de problèmes liés aux nitrates.

6.1.6) Chlorophylle(a)

La concentration de la chlorophylle(a) du barrage a une variation peu flexible au fil des mois. Nous constatons une légère variation entre janvier (4.65 µg/l) et mars (5.27 µg/l). Un pic est observé pendant le mois d'avril (20.755 µg/l) puis décroît à 9.145 µg/l en mai pour atteindre 4.74 µg/l en septembre et 2.64 µg/l en décembre. Le pic au mois d'avril s'explique par la forte présence d'algues sous l'effet de la température presque constante de décembre à avril. Ce qui fait que les algues s'adaptent au milieu. Cette adaptation favorise la dégradation du milieu.

La moyenne en été (juin, juillet et août) de la chlorophylle est de 8.58 µg/l.

La concentration la plus élevée enregistrée est de 20.755 µg/l.

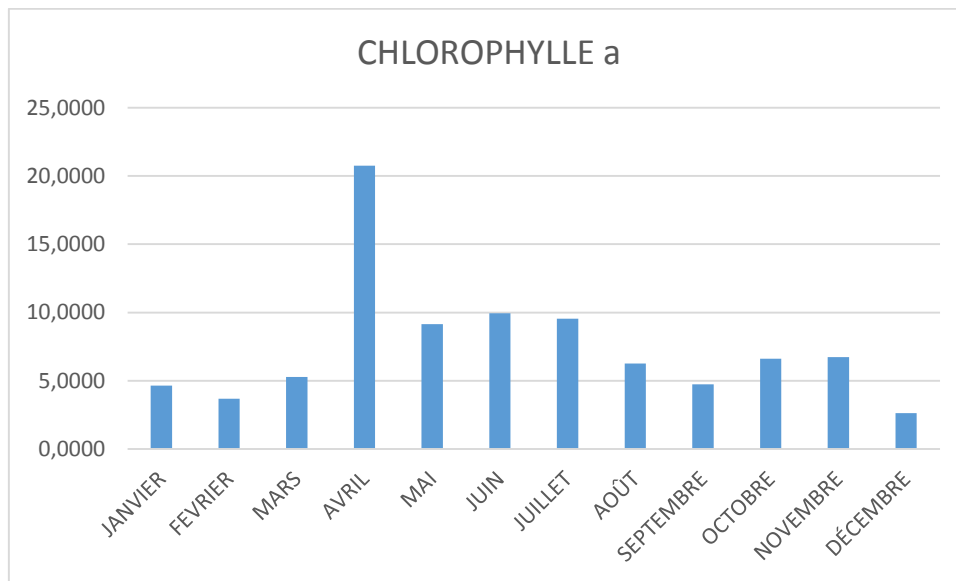


Figure II.11 : Evolution mensuelle de la chlorophylle(a)

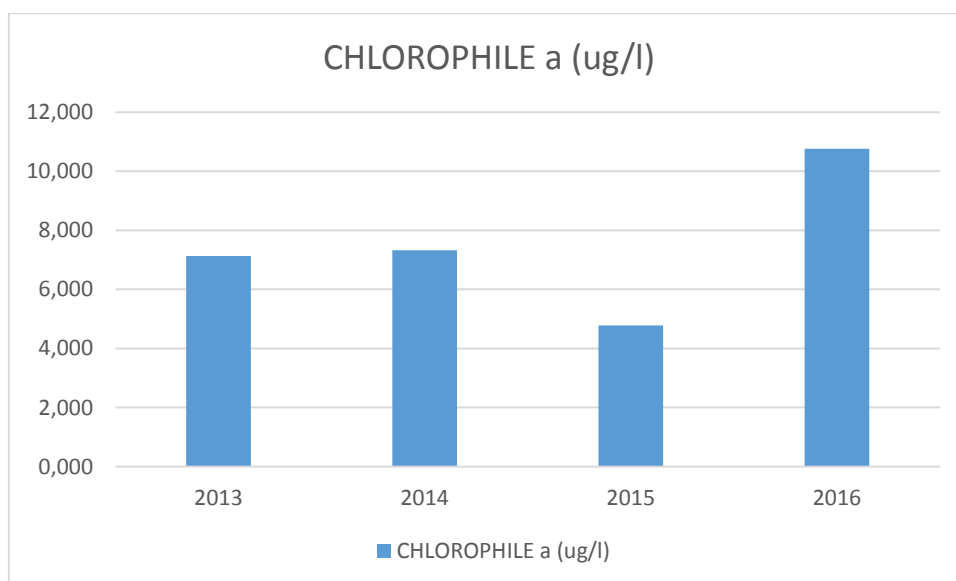


Figure II.12 : Evolution mensuelle de la chlorophylle (a)

La concentration en chlorophylle(a) varie légèrement entre 2013 (7.132 $\mu\text{g/l}$) et 2014 (7.325 $\mu\text{g/l}$) puis diminue considérablement en 2015 (4.78 $\mu\text{g/l}$). Puis une augmentation très remarquable est constatée en 2016 (10.765 $\mu\text{g/l}$) Cette augmentation est due à un apport très élevé de nutriments dans le milieu aquatique.

6.1.7) Le phosphore total :

Sur la figure II.13 nous constatons que le taux de phosphore est très important pendant les périodes hivernales qu'aux périodes de chaleur. Cela est dû à la présence d'éléments nutritifs dans le milieu qui proviennent d'engrais utilisés dans la campagne agricole.

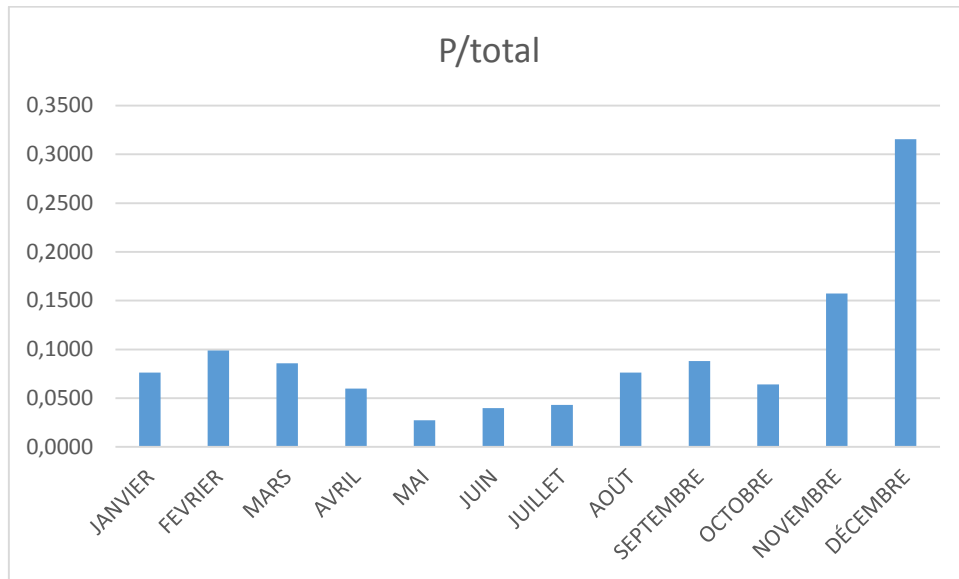


Figure II.13 : Evolution mensuelle du phosphore total

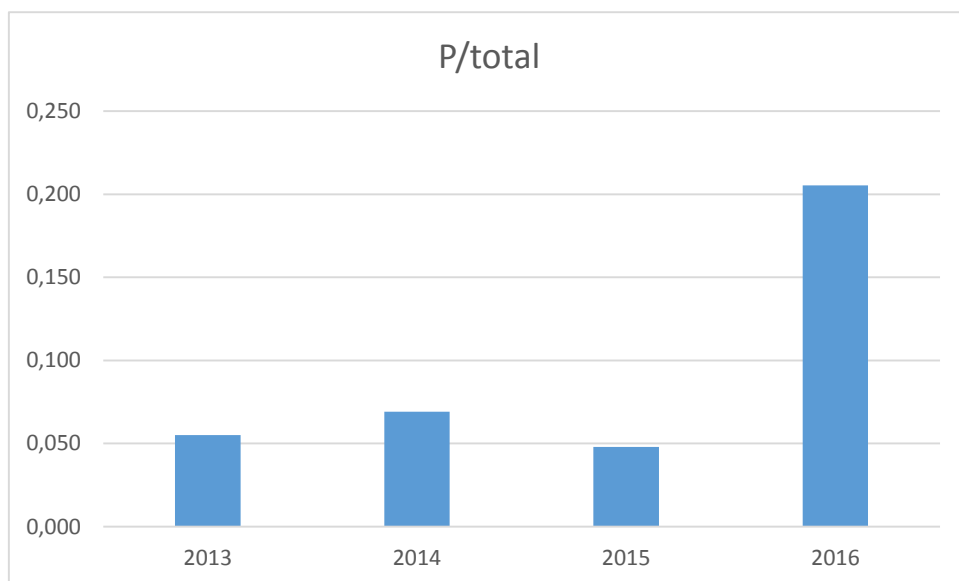


Figure II.14 : évolution annuelle du phosphore total

La figure ci-dessus nous montre une élévation annuelle de la concentration du phosphore entre 2013 (0.055 mg/l) et 2014 (0.069 mg/l) puis diminue en 2015 (0.048 mg/l) pour ensuite atteindre un pic de 0.205 mg/l en 2016. Cette élévation brusque se caractérise par l'accouplement de l'augmentation de la température, qui conditionne la variation du pH et de l'oxygène dissous dû à la dégradation des matières organiques ; et les activités anthropiques menées au sein du bassin versant, aux sédiments arrachés par ruissellement et au dépôt de vase dans le réservoir du barrage. La concentration du phosphore total est proportionnelle à la quantité de nutriments rejetés dans le bassin, donc de l'alimentation humaine.

Toutes les études antérieures sur le phénomène d'eutrophisation s'accordent à affirmer que le phosphore est considéré comme élément clé (sous certaines conditions) dans le développement anarchique et excessive du plancton dans les plans d'eau. Les barrages ne sont pas épargnés de ce phénomène et la présence de la vase qui constitue la mémoire de ceux-ci aggrave et accélère son développement en raison de relargage du phosphore particulaire déposé au fond et qui induit l'élévation de la concentration du phosphore dans l'eau.

6.1.8) La demande biochimique en oxygène (DBO5)

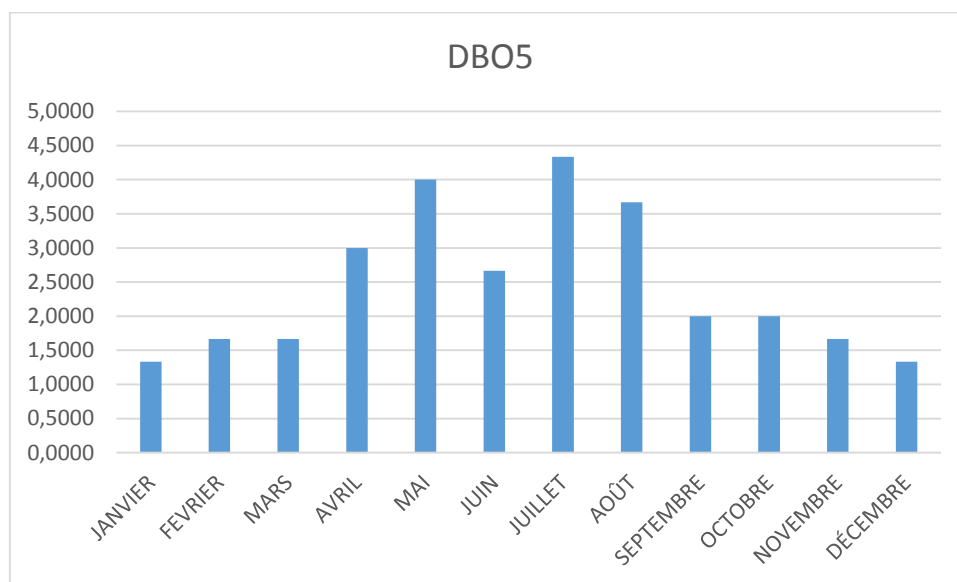


Figure II.15 : Evolution mensuelle de la DBO5

La demande biochimique en oxygène présente des valeurs inférieures à 5 mg/l tout au long de l'année. Ce qui caractérise une que la DBO se situe dans la gamme « bonne » selon la grille du tableau I.2. Sans oublier que la DBO5 est la quantité d'oxygène nécessaire pour la matière organique.

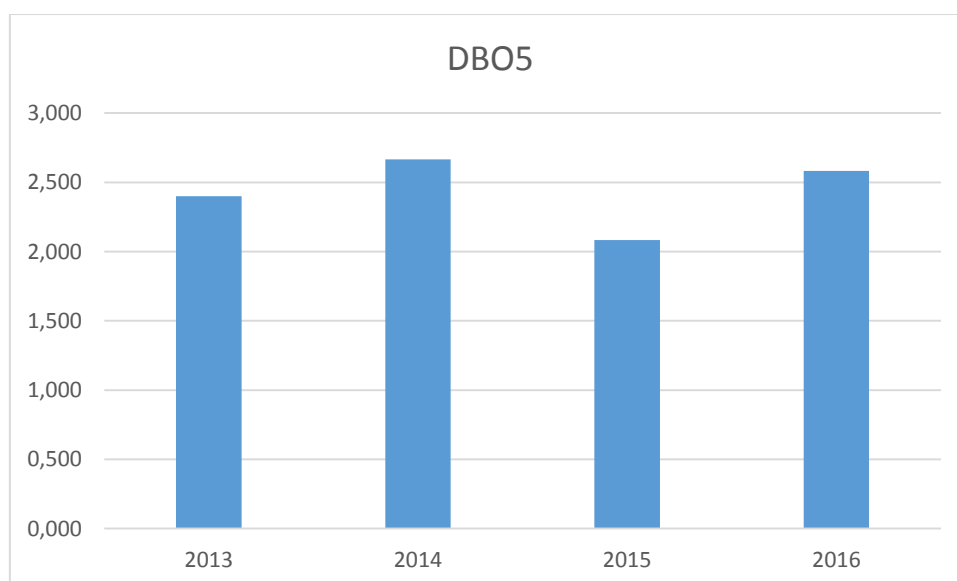


Figure II.16 : Evolution annuelle de la DBO5

6.2) Evaluation de l'état trophique

Les concentrations en phosphore total sont situées dans la gamme eutrophie avec les données d'étude annuelle (2013, 2014, 2015 et 2016 avec respectivement 55, 69, 48 et 205 mg/m³)

Les concentrations en chlorophylle(a) du barrage de Boukourdane se situent, en moyenne en été, dans l'état eutrophie (en 2013 et 2014 avec respectivement 13.8 et 10,33 mg/m³) et se situent à l'état mésotrophe (2016 avec 10,765 mg/m³) (tableau 1.5)

Les données de la transparence de l'eau du barrage présentent des valeurs se situant dans l'état eutrophie avec 1,68333, 1,6075, 1,6333, 1,30833 mètres)

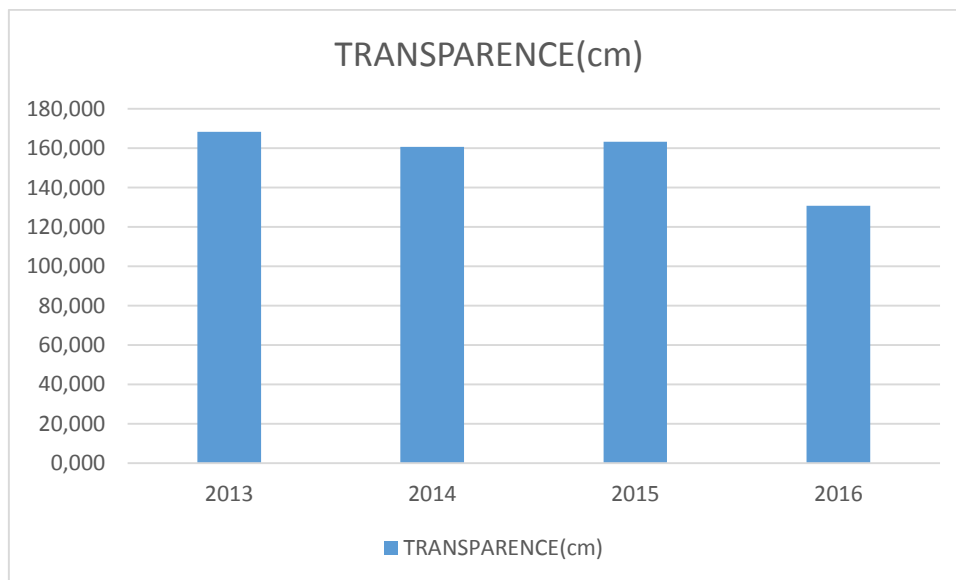


Figure II.17 : Evolution annuelle de la transparence

La synthèse des données en phosphore total, chlorophylle, transparence et l'ensemble des paramètres étudiés permet de conclure que barrage de boukourdane est eutrophie.

Chapitre 7 : Analyse en composantes principales et Modèle de Régression linéaire

Introduction

Il est nécessaire de tirer le plus d'informations sur les paramètres en ce qui concerne les relations linéaires entre eux. Pour ce faire, nous avons fait recours à un logiciel spécialisé en la matière qui est en occurrence **XLSAT**. Avec ce logiciel, intégré à Excel, nous avons entré les données dans ledit logiciel pour le traitement souhaité. Ce traitement d'informations se base sur des tests statistiques à savoir le test de corrélation de Pearson et l'analyse en composante principale. Les résultats de ce traitement permettent par la suite de faire la régression linéaire entre les paramètres

7.1) Analyse en composantes principales

7.1.1) Les facteurs des composantes

Pour mettre en évidence la relation entre les paramètres, l'ACP établit les axes sur lesquels sont rapportés les paramètres étudiés. Ces axes sont appelés de facteurs de composantes. La fiabilité d'une composante est jugée par le pourcentage de sa variabilité qui caractérise la quantité de donnée (de la variance totale) existant sur celle-ci.

Tableau II.2 : Les facteurs des composantes

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	5,930	3,418	2,486	2,273	1,336	1,098	0,989	0,637	0,334	0,295	0,205
Variabilité (%)	31,208	17,991	13,082	11,966	7,031	5,777	5,203	3,352	1,756	1,554	1,080
% cumulé	31,208	49,199	62,281	74,247	81,278	87,055	92,258	95,610	97,366	98,920	100,000

Sur le tableau nous pouvons constater que les facteurs 1 et 2 renferment plus de 49% des données. Ce qui signifie que les deux premiers facteurs sont considérables à l'établissement des corrélations.

Le « scree plot » met en évidence la variation des valeurs propres et de la variabilité en fonction des facteurs composantes.

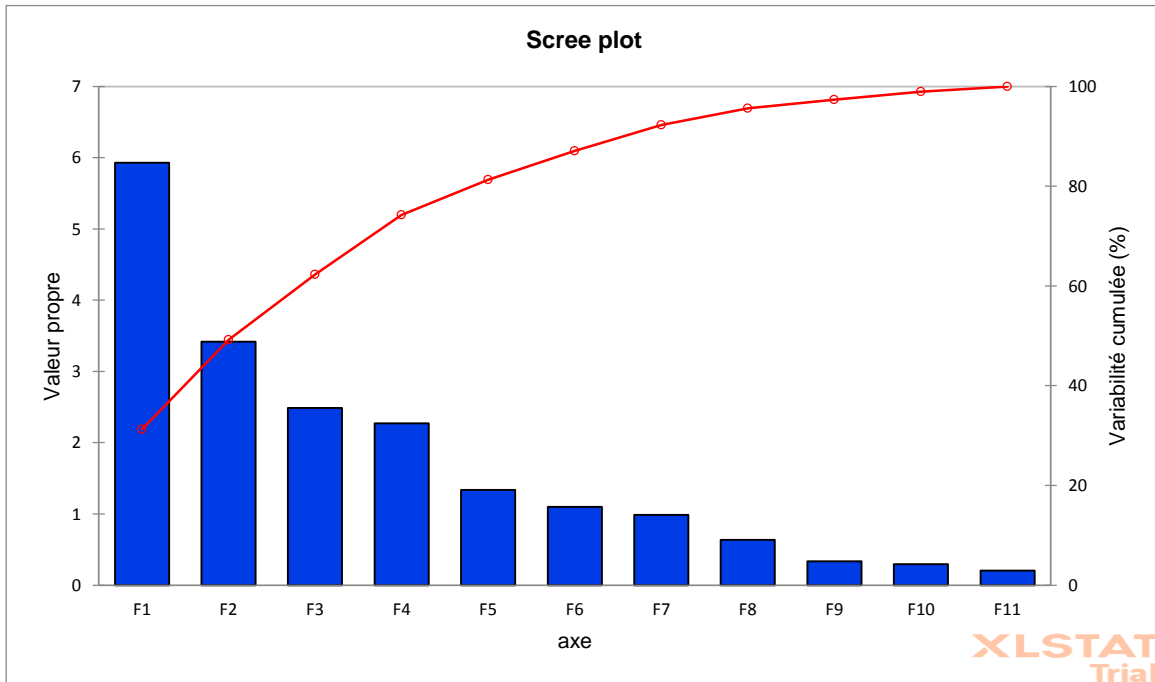


Figure II.18 : scree plot

7.1.2) Corrélation :

Les données introduites dans xlsat font sortir les informations sur la liaison en établissant un tableau de corrélation entre les différents paramètres. Cette corrélation celle de Pearson qui montre la relation linéaire existant entre les paramètres. En plus de celle-là, nous pouvons voir sur le cercle de corrélation la liaison de manière explicite entre les paramètres.

Tableau II.3 : matrice de corrélation

Variables	Nitrates	pH	NO2	NH4	M.Org	PO4	P/total	DBO5	ANSPAREN	LOPHIL	O2.mg/L	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	icarbonate	T°C Eau
Nitrates	1	0,197	0,140	0,245	0,692	-0,540	0,261	0,258	-0,272	0,247	0,354	-0,366	0,129	-0,223	-0,242	-0,460	-0,136	-0,078	-0,015
pH	0,197	1	0,342	-0,518	0,479	-0,227	-0,727	0,647	-0,272	0,303	0,338	-0,217	-0,305	-0,724	-0,685	-0,433	0,064	-0,310	-0,496
NO2	0,140	0,342	1	0,126	-0,187	-0,321	-0,068	-0,316	0,033	-0,108	0,711	-0,035	-0,059	-0,105	-0,043	-0,410	0,282	0,505	-0,241
NH4	0,245	-0,518	0,126	1	-0,108	-0,180	0,902	-0,604	0,273	-0,538	0,162	-0,022	0,074	0,375	0,153	-0,116	-0,374	0,541	0,522
M.Org	0,692	0,479	-0,187	-0,108	1	-0,419	-0,126	0,466	-0,338	0,298	0,247	-0,206	0,099	-0,531	-0,337	-0,123	-0,283	-0,406	-0,189
PO4	-0,540	-0,227	-0,321	-0,180	-0,419	1	-0,268	-0,094	0,248	-0,117	-0,492	-0,148	-0,607	0,375	0,081	0,141	0,119	-0,456	-0,176
P/total	0,261	-0,727	-0,068	0,902	-0,126	-0,268	1	-0,561	0,298	-0,445	-0,009	0,054	0,358	0,436	0,065	-0,336	0,523	0,601	
DBO5	0,258	0,647	-0,316	-0,604	0,466	-0,094	-0,561	1	-0,210	0,505	-0,189	-0,415	-0,147	-0,541	-0,642	-0,327	0,013	-0,675	-0,364
TRANSPA	-0,272	-0,272	0,033	0,273	-0,338	0,248	0,298	-0,210	1	-0,543	-0,318	-0,392	-0,047	0,562	0,121	0,029	0,146	0,082	0,134
CHLOROP	0,247	0,303	-0,108	-0,538	0,298	-0,117	-0,445	0,505	-0,543	1	0,233	-0,043	-0,173	-0,406	-0,368	-0,390	0,202	-0,394	-0,582
O2.mg/L	0,354	0,338	0,711	0,162	0,247	-0,492	-0,009	-0,189	-0,318	0,233	1	-0,092	0,112	-0,366	-0,150	-0,346	0,020	0,219	-0,496
Calcium	-0,366	-0,217	-0,035	-0,022	-0,206	-0,148	0,054	-0,415	-0,392	-0,043	-0,092	1	0,178	-0,115	0,506	0,490	0,016	0,524	0,444
Magnésium	0,129	-0,305	-0,059	0,074	0,099	-0,607	0,358	-0,147	-0,047	-0,173	0,112	0,178	1	0,011	0,635	0,522	-0,172	0,294	0,266
Sodium	-0,223	-0,724	-0,105	0,375	-0,531	0,375	0,436	-0,541	0,562	-0,406	-0,366	-0,115	0,011	1	0,346	0,246	0,324	0,238	0,412
Potassium	-0,242	-0,685	-0,043	0,153	-0,337	-0,031	0,419	-0,642	0,121	-0,368	-0,150	0,506	0,635	0,346	1	0,717	0,014	0,406	0,375
Chlorures	-0,460	-0,433	-0,410	-0,116	-0,123	0,141	0,065	-0,327	0,029	-0,390	-0,346	0,490	0,522	0,246	0,717	1	0,061	0,014	0,332
Sulfates	-0,136	0,064	0,282	-0,374	-0,283	0,119	-0,336	0,013	0,146	0,202	0,020	0,016	-0,172	0,324	0,014	0,061	1	-0,063	-0,216
Bicarbona	-0,078	-0,310	0,505	0,541	-0,406	-0,456	0,523	-0,675	0,082	-0,394	0,219	0,524	0,294	0,238	0,406	0,014	-0,063	1	0,588
T°C Eau	-0,015	-0,496	-0,241	0,522	-0,189	-0,176	0,601	-0,364	0,134	-0,582	-0,496	0,444	0,266	0,412	0,375	0,332	-0,216	0,588	1

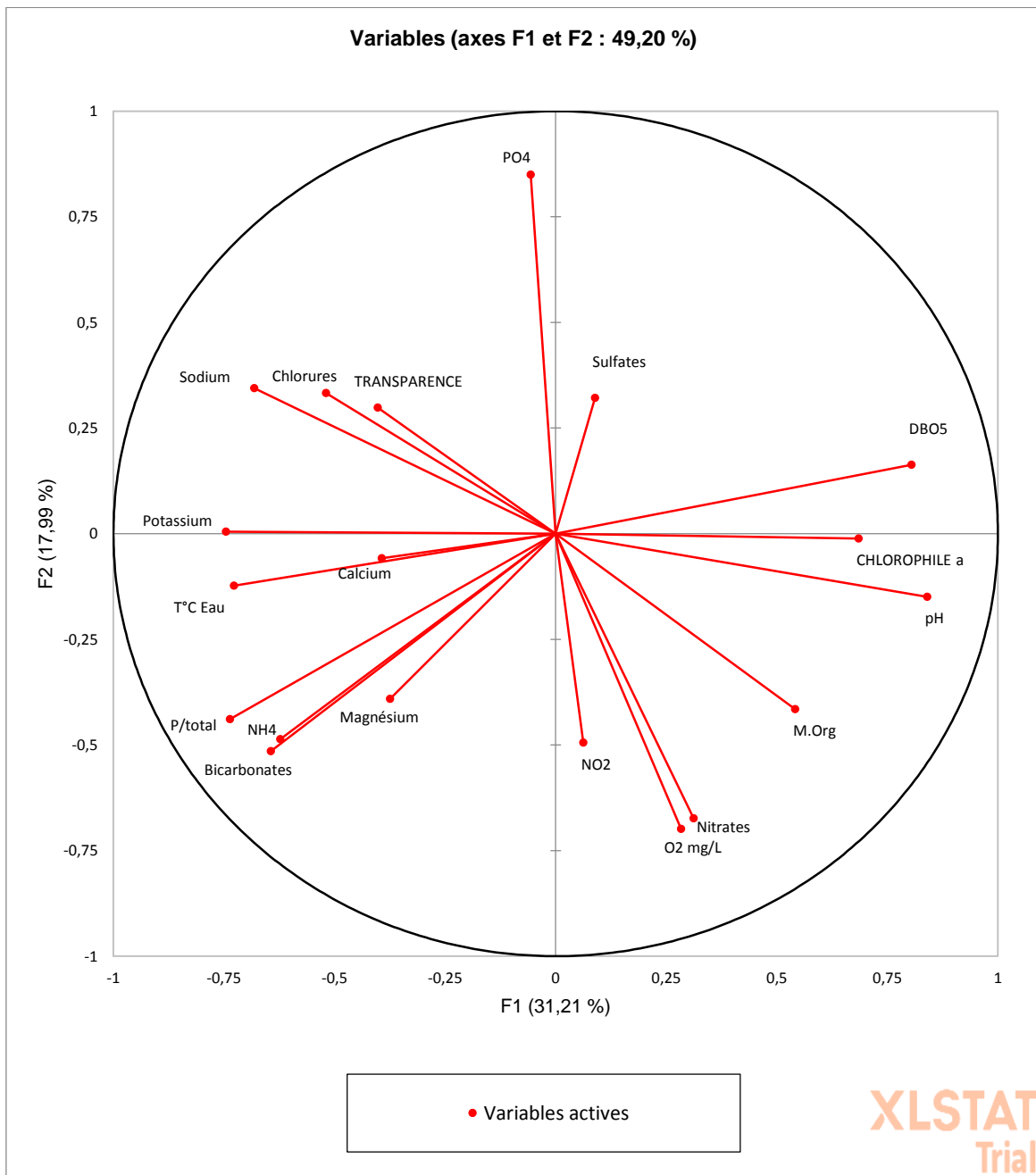


Figure II.19 : Cercle de corrélation

Nous constatons de fortes corrélations entre les éléments de pollution

Le phosphore total est fortement corrélé avec l'ammonium et la température positivement tandis que le phosphore total est très négativement corrélé avec le pH.

Le phosphate est négativement corrélé avec le nitrate, l'oxygène dissout et le magnésium.

Le tableau II.4 nous montre la corrélation entre le facteur limitant, qui est le phosphore, et les autres paramètres physico-chimique.

Tableau II.4 : Corrélation du phosphore total :

	P/total
Nitrates	0,261
pH	-0,727
NO ₂	-0,068
NH ₄	0,902
M.Org	-0,126
PO ₄	-0,268
P/total	1
DBO ₅	-0,561
TRANSPARENCE	0,298
CHLOROPHILE a	-0,445
O ₂ mg/L	-0,009
Calcium	0,054
Magnésium	0,358
Sodium	0,436
Potassium	0,419
Chlorures	0,065
Sulfates	-0,336
Bicarbonates	0,523
T°C Eau	0,601

7.1.3) Relation entre variables et les facteurs

Sur le premier facteur on constate de fortes corrélations entre F1 qui renferme 31.02% de la variance totale et les principaux facteurs physico-chimiques, certains positivement (pH, matière organique, la demande biologique en oxygène et la chlorophylle(a)) et d'autres négativement (NH₄, P/total, Sodium, Potassium, Chlorures, Bicarbonates, T°C Eau). Tandis que F2 est corrélé avec les principaux facteurs polluants, négativement avec (Nitrates, NO₂ et O₂) et positivement avec le phosphate PO₄.

Tableau II.5 : Corrélations entre les variables et les facteurs

variables	F1	F2
Nitrates	0,312	-0,674
pH	0,840	-0,150
NO ₂	0,062	-0,495
NH ₄	-0,623	-0,487
M.Org	0,541	-0,415
PO ₄	-0,057	0,850
P/total	-0,736	-0,439
DBO ₅	0,804	0,163

TRANSPARENCE	-0,403	0,298
Chlorophylle(A)	0,685	-0,012
O2 mg/L	0,284	-0,699
Calcium	-0,393	-0,058
Magnésium	-0,375	-0,391
Sodium	-0,682	0,344
Potassium	-0,746	0,005
Chlorures	-0,519	0,333
Sulfates	0,089	0,321
Bicarbonates	-0,644	-0,515
T°C Eau	-0,728	-0,123

Une variable est plus proche de l'axe si le cosinus carrés est élevé.

Tableau II.6 : Cosinus carrés des variables

Variables	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Nitrates	0,097	0,454	0,006	0,186	0,051	0,042	0,044	0,054	0,043	0,022	0,001
pH	0,706	0,022	0,001	0,035	0,022	0,194	0,003	0,016	0,000	0,000	0,001
NO2	0,004	0,245	0,226	0,444	0,005	0,034	0,000	0,004	0,029	0,008	0,000
NH4	0,388	0,237	0,164	0,105	0,033	0,012	0,015	0,007	0,012	0,011	0,016
M.Org	0,293	0,173	0,092	0,208	0,014	0,003	0,003	0,152	0,028	0,009	0,025
PO4	0,003	0,722	0,072	0,001	0,028	0,034	0,088	0,025	0,022	0,004	0,000
P/total	0,542	0,192	0,026	0,159	0,001	0,035	0,000	0,008	0,012	0,001	0,023
DBO5	0,647	0,027	0,031	0,117	0,002	0,039	0,073	0,042	0,001	0,002	0,019
Transparence	0,162	0,089	0,302	0,033	0,096	0,178	0,001	0,013	0,076	0,047	0,003
Chlorophylle(a)	0,469	0,000	0,040	0,014	0,005	0,344	0,027	0,065	0,019	0,005	0,012
O2 mg/L	0,080	0,488	0,039	0,187	0,031	0,017	0,115	0,005	0,010	0,027	0,000
Calcium	0,155	0,003	0,352	0,213	0,192	0,012	0,018	0,013	0,028	0,012	0,001
Magnésium	0,140	0,153	0,315	0,001	0,266	0,036	0,001	0,066	0,007	0,013	0,001
Sodium	0,465	0,119	0,150	0,007	0,078	0,039	0,048	0,010	0,004	0,026	0,054
Potassium	0,556	0,000	0,177	0,047	0,093	0,004	0,024	0,000	0,016	0,081	0,001
Chlorures	0,269	0,111	0,416	0,007	0,054	0,024	0,029	0,065	0,005	0,020	0,001
Sulfates	0,008	0,103	0,035	0,277	0,192	0,016	0,262	0,062	0,012	0,002	0,030
Bicarbonates	0,415	0,265	0,008	0,152	0,063	0,009	0,051	0,018	0,000	0,000	0,018
T°C Eau	0,530	0,015	0,032	0,080	0,108	0,025	0,186	0,012	0,009	0,003	0,001

7.2) Modèle de Régression linéaire

Il est à noter que les régressions linéaires sont faites sur les moyennes mensuelles de chaque paramètre sur les années d'études

En se référant sur le principe de la régression linéaire qui nécessite une forte relation entre les paramètres du modèle de régression linéaire. De ce fait, nous avons sélectionné les paramètres

ayant une corrélation considérable avec notre facteur limitant qui est en l'occurrence le phosphore total. Ces corrélations sont données dans le tableau II.7

Tableau II.7 : Corrélation des paramètres avec le phosphore

pH	NH4	DBO5	CHLOROPHYLLE(A)	T°C Eau	Bicarbonates
-0,719	0,902	-0,524	-0,450	0,757	0,689

Après avoir mis en évidence les paramètres corrélés, nous avons effectué le test de régression linéaire entre eux. Il est à noter que la chlorophylle(a) a une corrélation pas très forte, mais compte tenu de son importance dans la lutte contre l'eutrophisation, nous l'avons pris en compte dans l'élaboration du modèle de régression linéaire. Ce test a abouti aux résultats suivant :

7.2.1) Modèle 1

7.2.1.1) Modèle Régression linéaire entre les variables corrélées avec le phosphore total :

Tableau II.8 : Corrélation des paramètres avec le phosphore

pH	NH4	DBO5	CHLOROPHYLLE(A)	T°C Eau	Bicarbonates
-0,719	0,902	-0,524	-0,450	0,757	0,689

7.2.1.2) Qualité d'ajustement :

Tableau II.9 : Statistiques de régression

Statistiques de régressions				
Coefficient de corrélation multiple r	Coefficient de détermination multiple R ²	Coefficient de détermination ajusté R ²	Standard Error	Observations
97,40%	94,87%	88,70%	2,60%	12

7.2.1.3) Test de l'analyse de la variance (ANOVA)

Tableau II.10 : Test ANOVA modèle 1

ANOVA	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Signification (p)
Source					
Modèle	6	0,063	0,010	15,395	0,004
Erreur	5	0,003	0,001		
Total corrigé	11	0,066			

$P > \alpha = 0,05$: différences non significatives

$P \leq \alpha = 0,05$: différences juste significatives

$P \leq \alpha = 0,01$: différences hautement significatives

$P \leq \alpha = 0,001$: différences très hautement significatives

$ddl = N - 1$: total ; $ddl = n_a - 1$: modèle; $ddl = N - n_a$: erreur ;

ddl: degré de liberté

N: nombre d'observation

n_a : nombre de paramètres utilisé dans le modèle

Somme des carrés = $\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$

Moyenne des carrés = $\frac{\text{Somme des carrés}}{ddl}$

$F = \frac{\text{Moyenne des carrés}_{\text{modèle}}}{\text{Moyenne des carrés}_{\text{erreur}}}$

Le résultat du test de l'analyse de la variance (ANOVA) nous permet de constater la relation entre les différents paramètres retenu. Comme illustrer dans le tableau, la valeur de la signification p valeurs égale 0.004 inférieure à 1% ce qui permet de conclure que nous avons une relation linéaire statistique hautement significative entre le phosphore et les paramètres sélectionnés (pH, ammonium, la demande biochimique, la chlorophylle(a), bicarbonate et la température de l'eau)

Tableau II.11 : Coefficients du modèle de régression 1

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Intervalle de confiance	
					Lower 95%	Upper 95%
Constante	2,162151	0,739947	2,922036	0,0329	0,260057	4,064244
pH	-0,28438	0,096088	-2,95959	0,0315	-0,53138	-0,03738
NH4	0,924856	0,178548	5,17987	0,0035	0,465884	1,383829
DBO5	0,030221	0,01759	1,718117	0,1464	-0,01499	0,075438
CHLOROPHYLLE(A)	-0,00048	0,002604	-0,18577	0,8599	-0,00718	0,00621
Bicarbonates	0,000689	0,000532	1,295074	0,2518	-0,00068	0,002056
T°C Eau	-0,00123	0,002688	-0,45672	0,6670	-0,00814	0,005682

Le tableau ci-dessus montre les coefficients des paramètres du modèle ainsi que leurs significations statistiques (p-value) et test de Fisher (t-stat). Nous constatons que les

P/total = 2,162151 - 0,28438*pH + 0,924856*NH4 + 0,030221*DBO5 - 0,00048*Chlorophylle(a) + 0,000689*Bicarbonates - 0,00123*T°C Eau

Tableau II.12 : différence entre phosphore total analysé et estimé

Mois	pH	NH4	DBO5	Chlorophylle(a)	T°C Eau	Bicarbonates	P/total	P/total estimé	Différence(P-Pestimé)
JANVIER	8,1250	0,0718	1,3333	4,6525	13,875	211,2125	0,0762	0,084377	0,008192
FEVRIER	8,2250	0,1030	1,6667	3,6825	26,75	232,5625	0,0990	0,094281	0,004719
MARS	8,2000	0,0935	1,6667	5,2725	18,525	212,3563	0,0858	0,088017	0,002267
AVRIL	8,1250	0,0250	3,0000	20,7550	12,375	179,1875	0,0600	0,063507	0,003507
MAI	8,3000	0,0105	4,0000	9,1450	24,7	213,5000	0,0273	0,044666	0,017416
JUIN	8,2750	0,0425	2,6667	9,9450	15,475	179,1875	0,0398	0,028384	0,011366
JUILLET	8,3750	0,0310	4,3333	9,5350	15	143,3500	0,0430	0,015781	0,027219
AOÛT	8,1300	0,0580	3,6667	6,2725	18,875	150,2125	0,0763	0,091825	0,015575
SEPTEMBRE	7,9475	0,0270	2,0000	4,7425	22,25	176,1375	0,0880	0,079135	0,008865
OCTOBRE	8,0750	0,0885	2,0000	6,6225	23,5	177,6625	0,0640	0,098361	0,034361
NOVEMBRE	7,9325	0,0703	1,6667	6,7425	28,125	217,3125	0,1575	0,133503	0,023997
DÉCEMBRE	7,8900	0,2478	1,3333	2,6375	28,75	231,0375	0,3155	0,310347	0,005153
Moyenne de différence									0,01355

7.2.2) Modèle 2

7.2.2.1) Modèle Régression linéaire entre les variables corrélées avec le phosphore total :

Tableau II.13 : Corrélation des paramètres avec le phosphore modèle 2

pH	NH4	DBO5	T°C Eau	Bicarbonates
-0,719	0,902	-0,524	0,757	0,689

7.2.2.2) Qualité d'ajustement

Tableau II.14 : Statistiques de régression

Statistiques de régressions				
Coefficient de corrélation multiple r	Coefficient de détermination multiple R ²	Coefficient de détermination ajusté R ²	Standard Error	Observations
97,380%	94,830%	90,521%	0,023832	12

7.2.2.3) Test de l'analyse de la variance (ANOVA)

Tableau II.15 : Test ANOVA modèle 2

ANOVA					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Signification (p)

Modèle	5	0,062502	0,0125	22,00887	0,000855
Erreur	6	0,003408	0,000568		
Total corrigé	11	0,06591			

$ddl = N - 1 : total ; ddl = n_a - 1 : modèle ; ddl = N - n_a : erreur$

Somme des carrés = $\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$

Moyenne des carrés = $\frac{\text{Somme des carrés}}{ddl}$

$F = \frac{\text{Moyenne des carrés}_{\text{modèle}}}{\text{Moyenne des carrés}_{\text{erreur}}}$

Le résultat du test de l'analyse de la variance (ANOVA) nous permet de constater la relation entre les différents paramètres retenus. Comme illustré dans le tableau, la valeur de la signification p est égale à 0,000855 inférieure à 0,001 ce qui permet de conclure que nous avons une relation linéaire statistique est très hautement significative entre le phosphore et les paramètres sélectionnés (pH, ammonium, la demande biochimique, bicarbonate et la température de l'eau)

Tableau II.16 : Coefficients du modèle de régression modèle 2

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Intervalle de confiance	
					Lower 95%	Upper 95%
Constante	2,0950	0,5915	3,5421	0,0122	0,6478	3,5422
pH	-0,2758	0,0773	-3,5699	0,0118	-0,4649	-0,0868
NH4	0,9334	0,1580	5,9062	0,0010	0,5467	1,3201
DBO5	0,0284	0,0134	2,1207	0,0782	-0,0044	0,0612
T°C Eau	-0,0009	0,0019	-0,4755	0,6512	-0,0056	0,0038
Bicarbonates	0,000644	0,0004	1,4813	0,1890	-0,0004	0,0017

Le tableau ci-dessus montre les coefficients des paramètres du modèle ainsi que leurs significations statistiques (p-value) et test de Fisher (t-stat).

P/total = 2,0950 - 0,2758*pH + 0,9334*NH4 + 0,0284*DBO5 - 0,000644*Bicarbonates - 0,0009*T°C Eau

Tableau II.17 : différence entre phosphore total analysé et estimé modèle 2

Mois	pH	NH4	DBO5	Bicarbonates	T°C Eau	P/total	P/total estimé	Différence(P-Pestimé)
JANVIER	8,1250	0,0718	1,3333	211,2125	13,875	0,0762	0,0820	0,0059
FEVRIER	8,2000	0,0935	1,6667	212,3563	18,525	0,0858	0,0876	0,0018
MARS	8,1250	0,0250	3,0000	179,1875	12,375	0,0600	0,0665	0,0065
AVRIL	8,2750	0,0425	2,6667	179,1875	15,475	0,0398	0,0291	0,0106
MAI	8,3750	0,0310	4,3333	143,3500	15	0,0430	0,0155	0,0275
JUIN	8,1300	0,0580	3,6667	150,2125	18,875	0,0763	0,0902	0,0140
JUILLET	7,9475	0,0270	2,0000	176,1375	22,25	0,0880	0,0779	0,0101

AOÛT	8,0750	0,0885	2,0000	177,6625	23,5	0,0640	0,1000	0,0360
SEPTEMBRE	7,9325	0,0703	1,6667	217,3125	28,125	0,1575	0,1341	0,0234
OCTOBRE	7,8900	0,2478	1,3333	231,0375	28,75	0,3155	0,3103	0,0052
NOVEMBRE	8,2250	0,1030	1,6667	232,5625	26,75	0,0990	0,0950	0,0040
DÉCEMBRE	8,3000	0,0105	4,0000	213,5000	24,7	0,0273	0,0439	0,0166
Moyenne de différence								0,01347

7.2.3) Modèle 3 :

7.2.3.1) Régression linéaire entre les variables les plus fortement corrélées avec le phosphore total :

Tableau II.18 : Corrélations des paramètres avec le phosphore modèle 3

pH	NH4	T°C Eau	Bicarbonates
-0,719	0,902	0,757	0,689

7.2.3.2) Qualité d'ajustement :

Après avoir mis en évidence les paramètres corrélés et enlevé certains paramètres du premier modèle, nous avons effectué le test de régression linéaire entre eux. Ce test a abouti aux résultats suivants :

Tableau II.19 : Statistiques de régression modèle 3

Statistiques de régression				
Coefficient de corrélation multiple r	Coefficient de détermination multiple R ²	Coefficient de détermination ajusté R ²	Standard Error	Observations
95,37%	90,95%	85,78%	0,02918	12

7.2.2.3) Test de l'analyse de la variance (ANOVA)

Tableau II.20 : Test ANOVA modèle 3

ANOVA					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Signification (p)
Modèle	4	0,059948	0,014987	17,59557	0,000931
Erreur	7	0,005962	0,000852		
Total	11	0,06591			

$$ddl = N - 1 : total ; ddl = n_a - 1 : modèle ; ddl = N - n_a : erreur$$

$$\text{Somme des carrés} = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$$

$$\text{Moyenne des carrés} = \frac{\text{Somme des carrés}}{dl}$$

$$F = \frac{\text{Moyenne des carrés}_{\text{modèle}}}{\text{Moyenne des carrés}_{\text{erreur}}}$$

Le résultat du test de l'analyse de la variance (ANOVA) nous permet de constater la relation entre les différents paramètres retenu. Comme illustrer dans le tableau, la valeur de la signification p valeurs égale 0.000931 inférieure à 0.001 ce qui permet de conclure que nous avons une relation linéaire statistique est très hautement significative entre le phosphore et les paramètres sélectionnés (pH, ammonium, bicarbonate et la température de l'eau)

Tableau II.21 : Coefficients du modèle de régression modèle 3

					<i>Intervalle de confiance</i>	
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
constante	1,375738	0,59337	2,318514	0,053511	-0,02736	2,778836
pH	-0,16792	0,071202	-2,35831	0,050467	-0,33628	0,00045
NH4	0,84985	0,187422	4,534431	0,002685	0,406669	1,293032
T°C Eau	0,001	0,002087	0,479027	0,646522	-0,00393	0,005934
Bicarbonates	1,1E-05	0,000387	0,028398	0,978137	-0,0009	0,000926

$$\mathbf{P/total} = 1,375738 - 0,16792 * \mathbf{pH} + 0,84985 * \mathbf{NH4} + 1,1E-05 * \mathbf{Bicarbonates} + 0,001 * \mathbf{T°C Eau}$$

Tableau II.22 : différence entre phosphore total analysé et estimé modèle 3

Mois	pH	NH4	Bicarbonates	T°C Eau	P/total	P/total estimé	Différence(P-Pestimé)
JANVIER	8,1250	0,0718	211,2125	13,875	0,0762	0,088587	0,012402
FEVRIER	8,2250	0,1030	232,5625	26,75	0,0990	0,111458	0,012458
MARS	8,2000	0,0935	212,3563	18,525	0,0858	0,099138	0,013388
AVRIL	8,1250	0,0250	179,1875	12,375	0,0600	0,047004	0,012996
MAI	8,3000	0,0105	213,5000	24,7	0,0273	0,017994	0,009256
JUIN	8,2750	0,0425	179,1875	15,475	0,0398	0,039788	3,83E-05
JUILLET	8,3750	0,0310	143,3500	15	0,0430	0,012355	0,030645
AOÛT	8,1300	0,0580	150,2125	18,875	0,0763	0,080389	0,004139
SEPTEMBRE	7,9475	0,0270	176,1375	22,25	0,0880	0,088347	0,000347
OCTOBRE	8,0750	0,0885	177,6625	23,5	0,0640	0,12047	0,05647
NOVEMBRE	7,9325	0,0703	217,3125	28,125	0,1575	0,133947	0,023553
DÉCEMBRE	7,8900	0,2478	231,0375	28,75	0,3155	0,292708	0,022792
Moyenne de différence							0,01654

7.3) Résultats et discussion

L'évaluation des paramètres physico-chimiques montre à quel point le réservoir de Boukourdane est atteint par le phénomène d'eutrophisation. Cependant, pour que le suivi et la planification des actions soient efficaces dans le futur, il faut impérativement un modèle mathématique fiable et incontournable. Les différents résultats statistiques obtenus sur les modèles sont regroupés dans le tableau II.23. Dans ce tableau nous constatons que le modèle 2 possède les meilleures caractéristiques statistiques du point de vue Coefficient de détermination ajusté R^2 avec 90.521% soit 2% de plus que le modèle 1 et 5% de plus que le modèle 3 ; une Signification ($p=0,000855$) qui est une $p < \alpha = 0,001$ donc un modèle très hautement significatives comparé aux deux autres modèles ; une Différence ($|P-P_{estimé}|$) avec une différence plus acceptable que les deux autres modèles 1 et 3.

Tableau II.23 : résultats statistiques des différents modèles

	Coefficient de corrélation multiple r	Coefficient de détermination multiple R^2	Coefficient de détermination ajusté R^2	Différence ($P-P_{estimé}$)	Signification (p)
Modèle1	97,399%	94,865%	88,703%	1.355%	0,004
Modèle2	97,380%	94,830%	90,521%	1.347%	0,000855
Modèle3	95,370%	90,954%	85,785%	1.654%	0,000931

En conclusion le modèle choisi est le modèle 2 :

$$P_{total} = 2,0950 - 0,2758 * pH + 0,9334 * NH_4 + 0,0284 * DBO_5 - 0,000644 * Bicarbonates - 0,0009 * T^{\circ}C \text{ Eau}$$

Conclusion

La présente étude a permis d'aborder l'état du barrage de Boukourdane, un barrage important au vue des multiples fonctions qu'il occupe. Il assure l'alimentation en eau potable des agglomérations telles que Cherrhell, Sidi Ghiles, Sidi Moussa, Sidi Amar, Nador et Tipasa ; et l'irrigation de la vallée de l'oued El Hachem. Ce qui occasionne un suivi nécessaire de la qualité de ces eaux.

Les études effectuées dans ce document sur le phénomène d'eutrophisation et les paramètres qui le constitue, nous permet de conclure que :

- Le pH est presque à la limite du seuil d'alcalinité ; et il varie entre 7.89 et 8.375
- Les mois qui présentent des concentrations de phosphate relatives à la présence des algues sont ceux de mai (0.048 mg/l) et juillet (0.0558 mg/l). Tandis que un pic enregistré en octobre (0.17 mg/l) dû au fait de la diminution du pH.
- Dans l'évaluation annuelle de la concentration en oxygène dissous nous avons constaté une dégradation du milieu à travers la variation de la concentration de 8.254 mg/l en 2013 à 8.659 mg/l en 2016
- Du point de vue annuel, nous avons constaté que la concentration du phosphate est très élevée en 2013 (0.135 mg/l). Par contre une dégradation importante est clairement visible en 2016 à travers l'enregistrement d'une valeur de 0.026 mg/l.
- Les concentrations en chlorophylle(a) du barrage de Boukourdane se situent, en moyenne été (juin, juillet et août), dans l'état eutrophie (en 2013 et 2014 avec respectivement 13.8 et 10,33 mg/m³) et se situent à l'état mésotrophe (2016 avec 10,765 mg/m³) (tableau 1.5)
- Les données de la transparence de l'eau du barrage présentent des valeurs se situant dans l'état eutrophie avec 1,68333, 1,6075, 1,6333, 1,30833 mètres)
- La synthèse des données en phosphore total, chlorophylle, transparence et l'ensemble des paramètres étudiés permet de conclure que le réservoir du barrage de boukourdane est eutrophie

Les études d'Analyse en Composantes Principales et de régression linéaire multiple permet de conclure que :

- Le phosphore a de fortes corrélations avec le pH, l'ammoniac, la demande biochimique en oxygène, la chlorophylle(a), la température et le bicarbonate.
- Le modèle en adéquation avec le problème est **$P_{total} = 2,0950 - 0,2758 * pH + 0,9334 * NH_4 + 0,0284 * DBO_5 - 0,000644 * Bicarbonates - 0,0009 * T^{\circ}C \text{ Eau}$**

En perspective, nous recommandons aux autorités de mettre en place des réseaux d'assainissement spéciaux pour les eaux vannes en les acheminant vers des stations d'épuration.

Bibliographie :

Abdelaziz ABDALLAOUI, 1998. *Contribution à l'étude du phosphore et des métaux lourds contenus dans les sédiments et de leur influence sur les phénomènes d'eutrophisation et de la pollution. Cas du bassin versant de l'oued Beht et de la retenue de barrage El Kansera*, page 59 ; page 14 ; page 25 ; page 54

Arnaud Guyader, 2013. *Régression linéaire*, page 2 ; page 30

BARKAT Kenza, 2016. *Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Béni Haroun*, page 8

BENSAFIA Djillali, 2016. *Erosion et Sédimentation des barrages: perspectives et mise en œuvre de nouvelles formes d'ingénierie*, page 39 ; page 35 ; page 68 ; page 99

C. Duby, S. Robin, Analyse en Composantes Principales, page 4 ; page 22

F. Benzha et al, 2019. *Qualité physico-chimique des eaux du réservoir Daourat ; impact e la vidange sur son fonctionnement*, page 69-70

G. BARROIN. 2000. *LA LUTTE CONTRE L'EUTROPHISATION*, page 22

GARRAS Saida, 2016. *Modélisation de l'état trophique de la retenue du barrage Smir au Maroc*, page 63 ; page 24

Gilles Camus, 2014. *L'eutrophisation*, Planet-Vie, <https://planet-vie.ens.fr/article/2095/eutrophisation>

INRA, 2003. *La Modélisation à l'INRA*, annexe page 6

JACQUES CAPBLANC, 2002. *L'eutrophisation des eaux continentales : questions propos d'un processus complexe*, page 7 ; page 8

Jean RODIER et al, 2009. *L'Analyse de l'eau 9^e édition*, page 1417 ; 1418

José LABARERE, 2012. *Corrélation et régression linéaire simple*

Journal of Water Science, **B. Parinet, 2000.** *Etude analytique et statistique d'un système lacustre soumis à divers processus d'eutrophisation*, page 250.
<http://id.erudit.org/iderudit/705393ar>

Journal officiel de l'Union européenne, 2019. *Écosystèmes d'eau douce: cours d'eau et lacs dans le cadre du PIC*

L.DJABRI et al. 2006. *Larhyss Journal. Pollution des eaux de l'oued Medjerda par les nutriments*, page 115

MOHAMED CHERIF Yamina et al, 2016. *Application de l'ACP à une base de données de liquides ionique*

Mohamed Zine BELHADJ, 2017. *Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda* page 7; page 88 ; page 103 ; page 101

NEMERY Julien, 2018. *Encyclopédie de l'environnement, Phosphore et eutrophisation*

Office National des Statistiques, 2006. *Compendium national sur les statistiques de l'environnement – Algérie –*, page 9 ; page 19

Organisme des bassins versants de la Capitale, 2015. Problématiques associées à la qualité de l'eau, 1.2 Eutrophisation / vieillissement prématuré des lacs

REMINI B., MOKEDDEM F.Z, 2018. *BOUKOURDANE (ALGERIE) : UN BARRAGE RESERVOIR QUI S'ENVAISE PEU*, page 32 : page 33

Remini, 2016. *Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie)*, page 455 à 458

Rosa Galvez-Cloutier, 2002 *La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophisation* page 28-30

Talita Fernanda das Graças Silva, 2014. *Suivi et modélisation de la dynamique des cyanobactéries dans les lacs urbains au sein de leur bassin versant* page 10

Valérie Villeneuve et al, 2006. *Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière*, page 259 ; page 274

WikiStat, Analyse en Composantes Principales (ACP) page 2