

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Eau et Environnement

Thème

***QUALITÉ PHYSICOCHIMIQUE DES EAUX DU BARRAGE
DE BÉNI HAROUN ET SES AFFLUENTS (WILAYA DE MILA,
NE ALGÉRIEN)***

Membres de Jury

Président : KENIOUAR Hocine
Examinatrice: CHEDAD Sohila
Encadrant : Mr. DROUCHE Abdelmalek

Présenté par :

CHEBLI Samira
DJAMAI Khalida

Année Universitaire 2015-2016

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلِّ شَيْءٍ حَيٍّ





Remerciement

Au moment au nous terminons notre mémoire, nous ne manque d'adresser notre s'insères remerciements au bon dieu tout puissant qui nous a donnée la force et de nous avoir permis d'arriver à ce stade-là.

Nombreuses sont les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce travail, aux quelle avec plaisir, nous présentons nos remerciements :

*Notre première pensée va tout naturellement à notre encadreur Mr « **DROUCHE ABDELMALEK** » qui suit fidèlement notre travaille. Nous tenons à le remercie pour son encadrement, la confiance qu'il a témoignée en notre travail et pour nous avoir donnée les moyens pour l'aboutissement de ce travail.*

Nous apprécions sa grande chaleur humaine et sa disponibilité quotidienne.

Nous adressons nos s'sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

*Nous tenons particulièrement à remercie Mr « **ZAHY .F** » qui a apporté une aide efficace et une part active à l'élaboration de cette étude ainsi que Mr « **DEBIECHETH** » qui nous accompagné sur les sorties de terrain et nous a donné beaucoup d'orientation sur les prélèvements*



Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont données les bases de la scientifique, particulièrement les enseignants de la spécialité « Eau et Environnement ».

*Nous remercions également le directeur du barrage de Béni Haroun de Mila et l'ingénieur **Mr. Hamza** qui nous a réservé le meilleur accueil malgré ses obligations professionnelles et qui a accepté de répondre à toutes nos questions et nous a prodigué quelques conseils.*

Nous remercions également monsieur le directeur de la station météorologique de Ain Tine de la wilaya de Mila et tous ceux qui nous ont aidés gentiment dans nos travaux en nous ont autorisés à consulter les différents documents se trouvant au niveau de la station.

Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à ce travail. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de notre gratitude et notre considération.

Merci

Dédicace

Je remercie dieu le tout puissant qui mon éclaire le chemin et m'a donnée la santé, la volonté, et la force pour accomplir ce travail.

Je déci ce modeste travail de fin d'étude A :

Les deux personnes les plus chères au monde que dieu me les gardent :

Ma mère Massouda et mon père Saïd, qui aucun mot, ni lignes, ni même pages ne pourraient exprimer ma gratitude.

A ma fiancer bien sur Nabil qui m'a donnée le courage pour accomplir ce travail.

A ma très chères sœur Rima qui m'aider et qui ma encourage, et son épouse Samir.

A mon très cher frère, Zhair-Eddine. Mes chères amies et copines qui j'aime et qui m'estimes chacun de son nom en particulier : Hadjer, Meriem, Hannan, Wassa, Iman, Houda, Layla, Sami, Houssam, Zachkochi...etc. tout ma grande famille.

A ma très chère amis et binôme : Zhalida

A tout mes collègues de promotion 2015/2016

Et tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Samira

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Aux personnes les plus chères au monde, à mes yeux et dans mon cœur, et sans leur soutien et leur générosité je n'aurais pu atteindre mes objectifs, À ma Mère et mon Père.

À mon seul frère, sa femme et ses filles Rawane et Jana

À mes chères sœurs, ses mariées et ses enfants Roa, Mayar, Seraj

qui ont formés un entourage familial idéal

À mes chères amies : Sihem, Imen, Dounya, Sara et Zenza

A ma binôme Samira

À toutes mes cousins et liens

A mes collègues de Master Eau et Environnement

À tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

Khalida

SOMMAIRE

<i>Remerciements</i>	i
<i>Résumé/Abstract</i>	iii
<i>Liste des Figures</i>	
<i>Liste des Tableaux</i>	
<i>Liste des Abréviations</i>	
<i>Introduction Générale</i>	1

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I. Généralité sur la molécule d'eau.....	3
I.1. Définition.....	3
I.2. Définition des eaux de surface.....	3
I.3. Les paramètres de la qualité des eaux superficielles.....	3
I.3.1. Les paramètres physico-chimiques.....	3
I.3.1.1. Les Caractéristiques organoleptiques.....	3
a. La matière en suspension.....	3
b. La couleur.....	4
c. L'odeur.....	4
d. La température.....	4
e. La turbidité.....	4
I.3.1.2. Les caractéristiques minérales des eaux.....	5
a. La dureté.....	5
b. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	5
c. La conductivité.....	5
d. L'alcalinité.....	6
e. Le sodium.....	6
f. Le potassium.....	6
g. Les chlorures et Les sulfates.....	7
I.3.2. Les Substances Eutrophisantes.....	7
I.3.2.1. L'Azote ammoniacal.....	7
I.3.2.2. Les Nitrites.....	7

I.3.2.3. Les Nitrates.....	8
I.3.2.4. Les phosphates.....	8
I.3.3. Les Paramètres biologiques.....	8
I.3.3.1. L'Oxygène dissous.....	8
I.3.3.2. Les matières organiques.....	9
a. La demande chimique en oxygène (DCO).....	9
b. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	9
I.3.4. Les métaux lourds.....	10
II. Généralité sur la pollution des eaux.....	10
II.1. Définition de la pollution.....	10
II.2. Les origines de la pollution.....	11
II.2.1. La pollution domestique.....	11
II.2.2. La pollution industrielle.....	11
II.2.3. Pollution naturelle.....	11
II.2.4. La pollution agricole.....	11
II.3. Les types de pollution.....	12
II.3.1. Pollution physique.....	12
II.3.2. Pollution chimique.....	12
II.3.3. Pollution biologique.....	12

Chapitre II : Cadre Physique et Naturel

I. Le bassin versant Kébir-Rhumel.....	13
I.1. Localisation et description.....	13
I.2. Présentation géologique et lithologique du bassin.....	15
II. La géologie de secteur étudié.....	18
II.1. Au plan géologique régional.....	18
II.2. La géologie du site de barrage.....	18
III. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude	18
III.1. Les précipitations moyennes mensuelles.....	18
III.2. Les températures moyennes mensuelles.....	19

III.3. Le Vent.....	20
III.4. L'évapotranspiration.....	20
III.4.1. Evapotranspiration potentielle (E.T.P).....	21
III.4.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R).....	21
III.5. Interprétation du bilan hydrologique.....	22
III.6. Exploitation du bilan hydrologique.....	23
III.6.1. Ruissellements (R).....	23
III.6.2. Infiltration (I).....	23

Chapitre III : Matériels et Méthodes

I. Mode de prélèvement.....	25
II. Choix et localisation des stations de prélèvements.....	26
III. Localisation des points de prélèvement.....	31
IV. Conservation des échantillons.....	32
V. Mesures des paramètres physico-chimiques et des éléments chimiques.....	32
V.1. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ).....	32
V.2. Les éléments chimiques (analyses au laboratoire).....	33
V.2.1. Nettoyage de la verrerie.....	33
V.2.2. Dosage effectuées au laboratoire.....	33
a. La titrimétrie.....	33
b. La spectrophotométrie.....	34
VI. Dosage des éléments chimiques.....	34

Chapitre IV : Résultats et Discussion

I. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ).....	36
I.1. La température (°C).....	36
I.2. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	37
I.3. La conductivité électrique (CE).....	38

I.4. Le potentiel d'oxydoréduction (Eh).....	40
II. Les éléments de la pollution.....	41
II.1. Les éléments majeurs.....	41
II.1.1. Calcium (Ca ²⁺)	41
II.1.2. Le Magnésium (Mg ⁺²).....	42
II.1.3. Le Sodium (Na ⁺).....	43
II.1.4. Le Potassium (K ⁺).....	45
II.1.5. Les chlorures (Cl ⁻).....	46
II.1.6. Les Bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	47
II.1.7. Les sulfates (SO ₄ ⁻²).....	48
III. Les éléments mineurs naturels.....	49
III.1. Les Phosphates (PO ₄ ⁻²).....	49
III.2. Le Fer (Fe).....	50
IV. Le cycle d'Azote.....	52
IV.1. Azote Ammoniacale (NH ₄ ⁺).....	53
IV.2. Les Nitrites (NO ₂ ⁻).....	54
IV.3. Les Nitrates (NO ₃ ⁻).....	55
V. Faciès chimique des eaux.....	56
V.1. Formule ionique.....	56
V.2. Digramme de Piper.....	56
VI. Origine des éléments chimiques.....	58
VI.1. Les rapports caractéristiques.....	58
VI.1.1. Les éléments Na ⁺ - Cl ⁻	59
VI.1.2. L'origine de Calcium (Ca ⁺²).....	59
VI.1.3. Le couple Ca ²⁺ - Mg ²⁺	60
VI.1.4. Les éléments HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ et SO ₄ ²⁻	61
VI.1.5. Les éléments Cl ⁻ et HCO ₃ ⁻	62

VII. Indice d'échange de base (i.e.b)	63
VII. Variation de la chimie des eaux en fonction de la profondeur.....	64
VII.1. Interprétation des résultats pour la station1	64
VII.2. Interprétation des résultats pour la station2 (Oued Rhumel).....	67
VIII. Conclusion.....	70
<i>Conclusion Générale</i>	72

Références Bibliographique

Annexe

LISTES DES FIGURES

Chapitre II : Cadre Physique et Naturel

Fig.01 : présentation géographique du barrage Béni Haroun.....	14
Fig.02 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kebir-Rhumel.....	15
Fig. 03 : Les grands domaines géologiques du bassin Kebir-Rhumel (Mebarki et Thomas, 1988 in Sahli, 2012), (Modifier).....	17
Fig.04 : précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Tin (2005-2015).....	19
Fig.05 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Tin (2005-2015).....	20
Fig.06 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite durant la Période 2005-2015 (Station Ain Tin).....	22

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Fig.07 : photo représentatif d'un seau.....	26
Fig.08 : photo représentatif d'un préleveur.....	26
Fig.09 : plan d'échantillonnage d'eau dans le barrage de Béni Haroun et ses affluents.....	26
Fig.10 : photo représentatif d'un GPS.....	31
Fig.11 : carte de localisation des stations de prélèvement.....	32
Fig.12 : Valise multi-paramètre utilisée pour les mesures des paramètres In Situ.....	33
Fig.13 : la titrimétrie pour les mesures au laboratoire (Université de Jijel 2016).....	34
Fig.14 : Le spectrophotomètre (UV 1600 PC).....	34

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Fig.15 : Histogramme de la température des eaux de Barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	36
Fig.16 : Histogramme de la température dans les affluents de Barrage de Béni Haroun (Mars 2016).....	37
Fig.17 : Histogramme de pH des eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	38

Fig.18: Histogramme de la variation de pH dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	38
Fig.19 : La conductivité des eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	39
Fig.20 : La conductivité dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	39
Fig.21 : Le Eh des eaux du barrage de Béni Haroun (Mars 2016).....	40
Fig.22 : Le Eh dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	40
Fig.23 : La concentration en Calcium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	41
Fig.24 : La concentration en Calcium dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	41
Fig.25 : La concentration en Magnésium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	42
Fig.26 : La concentration en Magnésium dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	43
Fig.27 : La concentration en Sodium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	44
Fig.28 : La concentration en Sodium dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	44
Fig.29 : La concentration en Potassium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	45
Fig.30 : La concentration en Potassium dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	45
Fig.31 : La concentration en Chlorures dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	46
Fig.32 : La concentration en Chlorures dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	46
Fig.33 : La concentration en Bicarbonates dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	47
Fig.34 : La concentration en Bicarbonates dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	48

Fig.35 : La concentration en Sulfates dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	48
Fig.36 : La concentration en Sulfates dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	49
Fig.37 : La concentration des phosphates dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	50
Fig.38 : La concentration des Phosphates dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	50
Fig.39 : La concentration de Fer dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	51
Fig.40 : La concentration de Fer dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016).....	51
Fig.41 : Cycle de l'azote.....	52
Fig.42 : La concentration de l'Ammonium dans les eaux de barrage Béni Haroun.....	53
Fig.43 : La concentration de l'Ammonium dans les affluents de barrage Béni Haroun.....	53
Fig.44 : La concentration des Nitrites dans les eaux de barrage Béni Haroun.....	54
Fig.45 : La concentration des Nitrites dans les affluents de barrage Béni Haroun.....	54
Fig.46 : La concentration des Nitrates dans les eaux de barrage Béni Haroun.....	55
Fig.47 : La concentration des Nitrates dans les affluents de barrage Béni Haroun.....	55
Fig.48 : Faciès chimiques des eaux de barrage Béni Haroun selon le diagramme de Piper.....	57
Fig.49 : Faciès chimiques des eaux des affluents selon le diagramme de Piper.....	58
Fig.50 : Le couple Na^+ , Cl^-	59
Fig.51 : Détermination de l'origine du Calcium.....	60

Fig.52 : Relation entre calcium et magnésium dans les eaux de barrage de Béni Haroun et ses affluents.....	61
Fig.53 : Evolution des anions en fonction de la CE.....	62
Fig.54 : Evolution de la conductivité électrique en fonction de rapport Cl^-/HCO_3^-	62
Fig.55 : Echanges de bases dans les eaux de barrage Béni Haroun et ses affluents.....	63
Fig.56 : Evolution des températures en fonction de profondeur pour la station1	64
Fig.57 : La variation de la conductivité en fonction de profondeur pour la station1	65
Fig.58 : La variation de pH en fonction de profondeur pour la station1.....	65
Fig.59 : La variation d'Eh en fonction de profondeur pour la station1	65
Fig.60 : La variation de la teneur en Fer en fonction de profondeur pour la station1	65
Fig.61 : Evolution des teneurs en NH_4^+ , NO_2^- et PO_4^{3-} en fonction de profondeur pour la station 1	66
Fig.62 : Evolution des teneurs en Na^+ , Cl^- et HCO_3^- en fonction de profondeur pour la station 1	66
Fig.63 : Evolution des teneurs en SO_4^{-2} , Ca^{+2} et Mg^{+2} en fonction de profondeur pour la station 1	66
Fig.64 : Evolution de la teneur en NO_3^- en fonction de profondeur pour la station1	66
Fig.65 : Evolution de la teneur en Potassium en fonction de profondeur pour la station 1.....	67
Fig.66 : Evolution des températures en fonction de profondeur pour la station2.....	68
Fig.67 : Evolution de la conductivité en fonction de profondeur pour la station2.....	68
Fig.68 : Evolution de pH en fonction de profondeur pour la station2.....	68
Fig.69 : Evolution de la Eh en fonction de profondeur pour la station2.....	68
Fig.70 : Evolution des teneurs en NH_4^+ , NO_2^- et PO_4^{3-} en fonction de profondeur pour la station2.....	69
Fig.72 : Evolution de la teneur en NO_3^- en fonction de profondeur pour la station2.....	69

Fig.73 : Evolution des teneurs en Na^+ , Cl^- et HCO_3^- en fonction de profondeur pour la station2.....	69
Fig.74 : Evolution des teneurs en SO_4^{-2} , Ca^{+2} et Mg^{+2} en fonction de profondeur pour la station2.....	69
Fig.75 : Evolution de la teneur en Fer en fonction de profondeur pour la station2.....	70
Fig.76 : Evolution de la teneur en Potassium en fonction de profondeur pour la station 2.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Tableau N°1 : qualité de l'eau en fonction de la dureté.....	5
Tableau N°2 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.....	6
Tableau N°3 : Qualité de l'eau en fonction de la DBO5.....	10

Chapitre II : Cadre Physique et Naturel

Tableau N°04 : précipitations moyennes mensuelles 2005-2015 (Station météorologique de l'Ain Tin).....	19
Tableau N°05 : Les températures moyennes mensuelles 2005- 2015 (Station météorologique d'Ain Tin).....	19
Tableau N°06 : Les vents moyens mensuels 2005- 2015(Station météorologique d'Ain Tin).....	20
Tableau N°07 : Bilan hydrique selon THORNTHWAITE a la station d'Ain Tin, (2005 – 2015).....	22

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau N°08 : Les stations de prélèvement d'eau dans le barrage de Béni Haroun et ses affluents.....	27
Tableau N°09 : Les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques de l'eau utilisées	35

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Ca²⁺: Calcium;

Mg²⁺: Magnésium;

Na⁺: Sodium;

K⁺: Potassium;

Cl⁻: Chlorures;

HCO₃⁻: Bicarbonate;

NO₃⁻: Nitrates;

SO₄²⁻: Sulfate;

NH₄⁺: Ammonium;

NO₂⁻: Nitrites;

Fe: Fer;

PO₄⁻³: Ortho phosphates;

PH: potentiel d'Hydrogène;

Eh: Potentiel d'oxydoréduction;

DCO: La demande chimique en oxygène ;

DBO₅: La demande biochimique en oxygène ;

°C: Degré Celsius ;

CE: Conductivité Électrique ;

NTU: Unité de Turbidité Néphélométrique ;

ANBT: Agence Nationale du Barrage et Transfert ;

OMS: Organisation Mondial du Santé ;

E.T.P: Evapotranspiration potentielle ;

E.T.R: Evapotranspiration réel ;

µS/cm: Micro Siemens par centimètre.

RÉSUMÉ

Le barrage de Béni Haroun situé dans le bassin du Kebir-Rhumel, d'une capacité d'environ 1 milliard de m³, est le plus grand barrage d'Algérie. Il fait partie des grands programmes de mobilisation des ressources en eau et de transfert inter-bassins pour objectif de combler le déficit en eau, notamment pour les wilayas de Khenchela, Batna et Oum ElBouaghi.

Notre travail de recherche consiste à déterminer la qualité de l'eau brute du barrage de Béni Haroun et de ses affluents. Au total 21 prélèvements ont été réalisés pendant la période des hautes eaux (Mars 2016) : 11 prélèvements sur les affluents du barrage, 8 prélèvements dans le barrage du centre vers la digue (4 au surface et 4 au fond) et 1 prélèvement à la sortie dans les lâchés du barrage. Les paramètres physico-chimiques de l'eau (T, pH, CE, Eh) ont été mesurés *in-situ*, les éléments majeurs (TH, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻) et les indicateurs de la pollution (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻) ont été analysés au laboratoire.

Les résultats obtenus montrent une pollution organique dans deux affluents (Oueds Rhumel et Mila) avec respectivement des concentrations de 3 à 6 mg/l en ammonium et de 0,8 à 0,6mg/l de Nitrite. De point de vue naturelle, on a observé des valeurs élevées de la conductivité (environ 4910µs/cm) et des quelques éléments chimiques (1107mg/l de chlorure) dans l'affluent d'Oued Sekdal. Elle est sûrement liée à la dissolution des formations géologiques de son bassin versant. L'eau brute du barrage est de qualité physico-chimique acceptable car la concentration des éléments chimique conforme aux normes Algériennes. Cette qualité résulte du fait que :

1. Le barrage de Béni Haroun stocke un volume important en eau et une grande partie de ses eaux et renouvelable, vu les apports importants de ses affluents ;
2. Les rejets directs soit industriels ou des eaux usées domestiques sont négligeable par rapport aux apports du barrage.

Cette étude a montré la bonne qualité des eaux du barrage durant la période des hautes eaux et a montré aussi l'existence des polluants organiques au niveau de deux affluents. Pour une bonne qualité des eaux du barrage nous recommandent de faire un contrôle de la qualité de l'eau du barrage et de ses affluents durant la période d'étiage et de traité préalablement les rejets des agglomérations et des zones industrielle, existants dans le bassin versant, avant de les jeter dans les cours d'eau.

Mots clés : Eaux de surface, pollution organique, éléments majeurs, qualité physicochimique, barrage de Béni Haroun.

ABSTRACT

The dam of Beni Haroun located in the Kebir-Rhumel basin with a capacity of about 1 billion m³, is the largest dam in Algeria. It is part of the major water resource mobilization programs and inter-basin transfer aims to bridge the deficit of water, especially for the wilayas of Khenchela, Batna and Oum El Bouaghi.

Our research work is to determine the quality of the raw water dam of Béni Haroun and its tributaries. In total 21 samples were taken during the period of high water (March 2016): 11 levy on tributaries of the dam, 8 samples in the dam from the center towards the dam (4 to surface 4 at the bottom) and 1 levy the output dropped in the dam. The physicochemical parameters of water (T, pH, EC, Eh) were measured in-situ, the major elements (TH, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻) and indicators of pollution (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, and PO₄³⁻) were analyzed in the laboratory.

The results obtained show an organic pollution in two tributaries (Oueds Rhumel and Mila) with respective concentrations of 3 to 6 mg / l of NH₄⁺ and from 0.8 to 0.6 mg / l NO₂⁻. Point of view natural, there were high values of conductivity (about 4910 μs / cm) and some chemical elements (1107 mg / l of Cl⁻) in the influent Oued Sekdal. It is probably related to the dissolution of geological its watershed. The raw water dam is acceptable physicochemical quality because the concentration of chemical elements consistent with Algerian standards This results from the fact that:

1. The dam of Beni Haroun stores a large volume of water and much of its water and renewable, given the important contributions of its tributaries;
2. Direct releases either industrial or domestic wastewater is negligible compared to the contributions of the dam.

This study demonstrated the good quality of dam water during the period of high water and also showed the presence of organic pollutants at two tributaries. For good water quality in the dam recommend us to control the quality of water from the dam and its tributaries during the low water period and previously treated discharges from cities and industrial areas, existing in the basin slope, before throwing them in the river.

Keywords: Surface water, organic pollution, major elements, physicochemical quality, dam of Beni Haroun.

ملخص

سد بني هارون يقع في حوض الكبير-الرمال، بسعة تقدر بحوالي 1 مليار متر مكعب، و يعتبر أكبر سد في الجزائر. وهذا الأخير يعتبر جزء من برامج تعبئة الموارد المائية الرئيسية والتحويل بين الأحواض بهدف تغطية العجز في المياه لاسيما في الولايات خنشلة، باتنة، أم البواقي.

بحثنا العملي يتمثل في تحديد نوعية المياه الخام للسد وروافدها في المجموع أخذت 21 عينة خلال فترة ارتفاع منسوب المياه (مارس 2016): 11 عينة أخذت من روافد السد، 8 عينات أخذت من منتصف السد إلى القاع (4 في السطح و4 في القاع) وعينة من مخارج مصب المياه للسد. الخصائص الفيزيو-كيميائية للماء (T, pH, CE, Eh) تم قياسها في الموقع، العناصر الأساسية تتمثل في (TH, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl) أما مؤشرات التلوث فهي (NH⁴⁺, NO²⁻, NO₃⁻, PO₄⁻³) تمت معالجتها في المختبر.

النتائج المتحصل عليها أظهرت وجود تلوث عضوي في الرافدين (وادي الرمال و ميللة) مع احترام التركيز من 3 إلى 6 مغ/ل من NH⁴⁺ ومن 0,8 إلى 0,6 مغ/ل من NO²⁻. من وجهة النظر الطبيعية لاحظنا قيم عالية للناقلية (حوالي 4910 µs/cm)، بالإضافة إلى بعض العناصر الكيميائية (1107 مغ/ل من Cl) في الرافد لواد سقدال. وهي حتما مرتبطة بتحلل المكونات الجيولوجية لمصب الحوض. الماء الخام للسد ذو نوعية فيزيوكيميائية مقبولة لأن تركيز المواد الكيميائية مطابق للمعايير الجزائرية للمياه الخام.

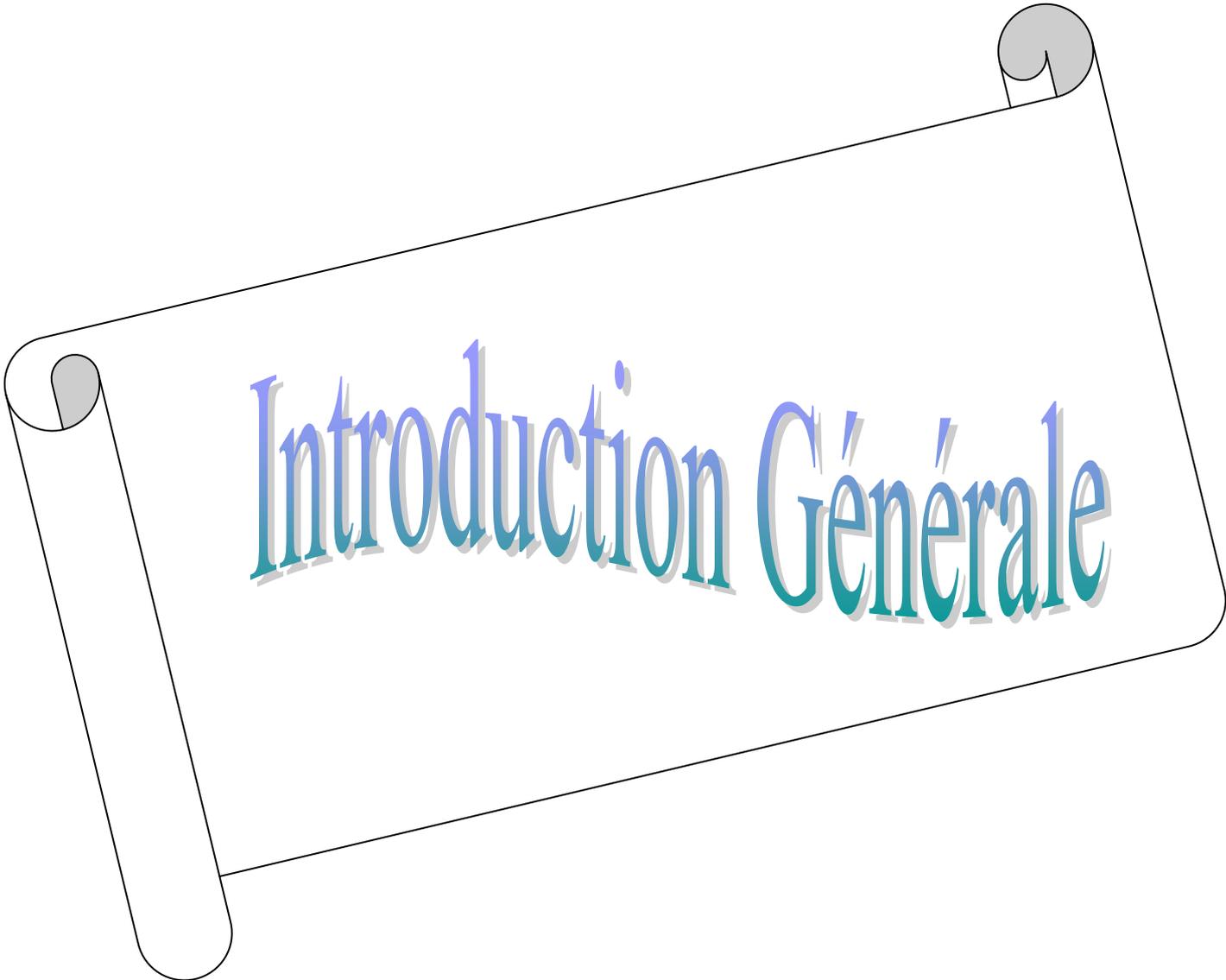
هذه النوعية ناتجة عن:

1. سد بني هارون يخزن حجم هام من المياه وكمية كبيرة من هذه المياه متجددة، نظرا للمساهمة الكبيرة لروافده.

2. النفايات المباشرة إما الصناعية أو المياه المنزلية المستعملة لا تكاد تذكر بالمقارنة مع مساهمات السد.

وأظهرت هذه الدراسة النوعية الجيدة لمياه السد أثناء فترة ارتفاع المياه كما أظهرت وجود الملوثات العضوية على مستوى الرافدين للحصول على نوعية جيد لمياه السد يوصى بالمراقبة النوعية لمياه السد وروافده خلال فترة انخفاض منسوب المياه، و القيام بمعالجة مسبقة لمياه الصرف و النفايات السائلة للمناطق الصناعية المتواجدة على مستوى الحوض الممول قبل صرفها في المجاري المائية.

الكلمات المفتاحية: المياه السطحية، تلوث العضوي، العناصر الرئيسية، نوعية فيزيوكيماوية، سد بني هارون.



Introduction Générale

Introduction générale

Avec une superficie de 3.478 km² Mila est l'une de la mosaïque des wilayas de l'Est Algérien. Le voisinage de la wilaya de Mila est composé de 6 wilayas, Jijel et Sekikda au Nord, Constantine à l'Est, Sétif à l'Ouest, au Sud les wilayas de Batna et Oum-El-Bouaghi.

La wilaya de Mila renferme beaucoup de potentialités en matière de développement local et régional. Elle dispose d'un équipement de grande hydraulique qui devrait la transformer. C'est le barrage de **Béni-Haroun**.

Le barrage de Béni Haroun est une réalisation stratégique majeure dans le programme de développement du secteur des ressources en eau. Il est conçu selon une nouvelle technique de réalisation des barrages. Il est doté d'une station de pompage considérée comme l'une des plus importantes au monde.

Les eaux du barrage de Béni Haroun, sont destinées à l'alimentation en eau potable de quatre millions d'habitants, répartis sur les wilayas de Constantine, Mila, Batna, Oum El Bouaghi et Khenchela; ainsi qu'à l'irrigation de plus de 400.000 hectares de terre agricole.

Ces dernières années, les travaux d'acheminement des eaux du barrage ont bien progressé et désormais l'alimentation en eau ne pose plus de problème pour certaines agglomérations. Cependant, la qualité des eaux reste toujours une préoccupation de l'opinion publique, C'est dans cet objectif que nous avons entamé le présent travail.

Nous avons essayé d'évaluer la qualité physicochimique des eaux prélevées au niveau du Barrage et ses affluents, Nous nous somme intéressés à :

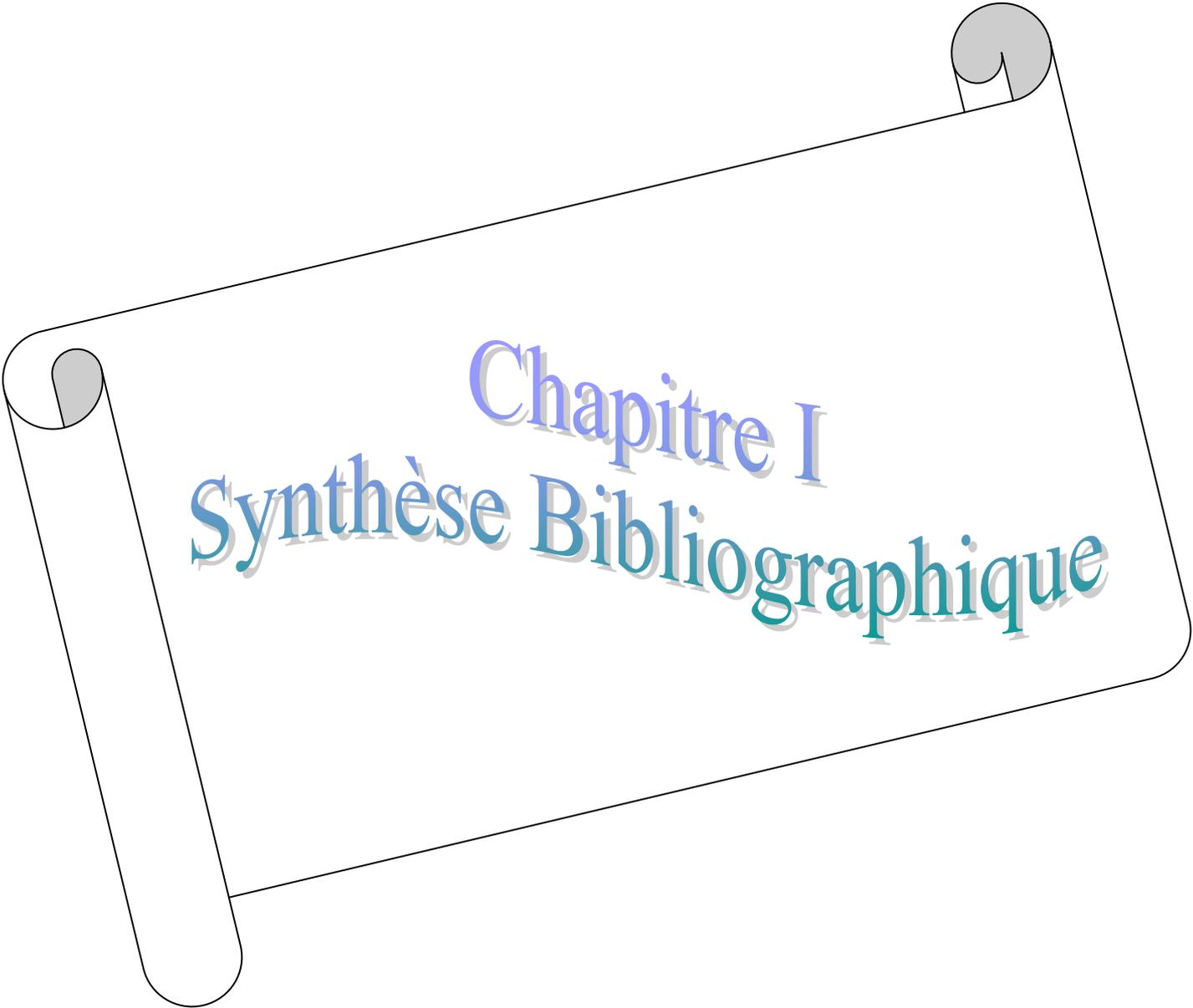
- ✚ L'évolution des paramètres physicochimiques de la qualité des eaux du barrage et ses affluents qui alimentent le barrage (température, PH et conductivité électrique, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, SO₄⁻².....).
- ✚ L'évolution des concentrations des principaux nutriments dissous dans l'eau (nitrite, nitrates, Ammonium et phosphates).

Pour mener au bien notre travail, nous avons jugé utile de diviser le manuscrit en quatre chapitres

- ✚ Chapitre I : (Synthèse bibliographique) : il présente notre recherche bibliographique sur les eaux de surface, les caractéristiques (origine, norme, classification) de chaque

paramètre physico-chimique et élément trace métallique, puis la notion de pollution et ses différentes origines;

- ✚ Chapitre II : La présentation du milieu : nous nous sommes donc attachés à définir le cadre général de notre région d'étude, dans le but d'en tirer une monographie géographique, géologique et hydro-climatologique.
- ✚ Chapitre III : La stratégie de prélèvement, le matériel utilisé et les modes opératoires réalisés.
- ✚ Chapitre IV : Etude hydro-chimique des eaux de barrage de Béni Haroun et de ses affluents, à travers la représentation graphiques des résultats, puis l'interprétation en cherchant l'origine probable pour chaque élément.



Chapitre I
Synthèse Bibliographique

I. Généralité sur la molécule d'eau

I.1. Définition

Nom féminin du latin aqua, l'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire est composé d'hydrogène et oxygène (H₂O). L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre. Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques est le constituant le plus important des être vivants (70% de leur poids en moyenne).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous trois phases ; solide, liquide et gazeux dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organique, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro-chargés. [1]

I.2. Définition des eaux de surface

Les eaux de surface se répartissent en eau véhiculée par les cours d'eaux, ou contenus dans les lacs, ou maintenu derrière les barrages réservoir. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivées, soit des rassemblements des eaux de ruissellement. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains, elle est donc généralement riche en gaz dissous, en matière en suspension et en matière organique ainsi qu'en plancton. Les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique. [1]

I.3. Les paramètres de la qualité des eaux superficielles

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

I.3.1. Les paramètres physico-chimiques

I.3.1.1. Les caractéristiques organoleptiques

a. La matière en suspension

Les matières en suspensions rencontrées dans les eaux sont très diverses tant par leur nature que par leurs dimensions. Elles sont constituées par du quartz, des argiles, des sels minéraux insolubles et des particules organiques composées de microorganismes et de produits de dégradation animaux ou végétaux. [1]

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation.

b. La couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle ; (éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation ...etc.), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés).

La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence des composés dissous. D'une manière plus simple, une estimation de la couleur peut être déduite de l'examen visuel de l'échantillon placé dans un récipient large et incolore. [2]

c. L'odeur

L'eau potable doit être inodore, non seulement au moment de prélèvement mais après 10 jours en vas clos à la température de 26°C. Selon la réglementation française ne doit pas présenter une saveur désagréable.

Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniac, mercaptans, etc. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H₂S), qui possède une odeur caractéristique d'œuf pourri. [2]

d. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc.

L'élévation de la température s'accompagne d'une diminution de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et d'une diminution de la solubilité des gaz, en plus cette augmentation de la température favorise l'autoépuration, et accroît la vitesse de sédimentation. [3]

La mesure de la température a été effectuée sur le terrain, de même celle de l'air au même endroit et au même moment. La lecture est faite après une immersion de 10 minutes.

e. La turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...), Pour une bonne qualité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU. [3]

I.3.1.2. Les caractéristiques minérales des eaux

a. La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés [4]. Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{+2} et Mg^{+2} étant généralement les plus abondants. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. [5]

On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée ou dureté permanente qui provient des sulfates et chlorures.

Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés détergentes des lessives et savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau. [5]

Le tableau suivant montre la qualification de l'eau en fonction des valeurs de la dureté.

Tableau N°1: qualité de l'eau en fonction de la dureté [18]

Dureté (mg/l CaCO_3)	Qualification de l'eau
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
>180	Très dure

b. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+). Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. [6]

c. La conductivité

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau. [7]

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la

température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante, dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres. [5]

- Du point de vue qualité de l'eau, on a le classement suivant :

Tableau N°2: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique [19]

Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	médiocre mais eau utilisable
> à 1500	minéralisation excessive

d. L'Alcalinité

Dans les eaux naturelles, de nombreux ions sont présents, la majorité d'entre eux sont inertes vis-à-vis du pH, c'est-à-dire que leurs concentrations ne sont pas modifiées lors de variations de pH et, à l'inverse, si leur concentration varie, le pH ne change pas. C'est le cas de Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , K^+ et, en absence de contact avec de la calcite ou de la dolomite, de Ca^{2+} et Mg^{2+} . En revanche les concentrations de HCO_3^- , CO_3^{2-} , mais aussi, par définition, H^+ et OH^- , varient avec le pH.

À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates (HCO_3^-), de carbonates (CO_3^{2-}), d'ions hydroxydes (OH^-) et d'une façon plus limitée, aux ions silicates (HSiO_3^{2-}), phosphates (PO_4^{3-}) ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles.

L'alcalinité dépend aussi des rejets urbains (phosphates, ammoniacque, matières organiques, etc.) ou industriels (apports acides ou basiques). L'alcalinité, doit être mesurée in situ. En effet, ce paramètre est très sensible aux conditions du milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes.

e. Le sodium

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de sodium sauf pour les malades hypertendus.

Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau. Il faut qu'il ne dépasse pas 200 mg/l ; cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtre et prennent un goût désagréable. [8]

f. Le potassium

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l. A cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le

seuil de perception gustative est variable suivant le consommateur, se situe aux environs de 340 mg/l pour les chlorures de potassium. [9]

g. Les chlorures et les sulfates

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés [7]. Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 mg/l à 100 mg/l [8]. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées. Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200mg/l. [7]

Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes. [5]

I.3.2. Les substances eutrophisantes

I.3.2.1. L'Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne. [10]

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH_3 /l. [5]

I.3.2.2. Les nitrites

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne). [11]

Des concentrations élevées en nitrites, témoignent souvent de la présence de matières toxiques. En absence d'oxygène, des bactéries anaérobies transforment les nitrates et produisent de l'ammoniac (NH_3) ou de l'ammonium (NH_4^+). [5]

Les valeurs limitent recommandées pour les nitrites dans l'eau de boisson, sont de 0,1mg/l pour les pays de l'union européenne et l'Algérie et des doses inférieures à 1 mg/l pour l'OMS. [12]

I.3.2.3. Les nitrates

Les nitrates NO_3^- présents dans le sol, dans les eaux superficielles et souterraines résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote. [13]

Les valeurs limitent des nitrates dans l'eau, varient de 25 mg/l (CEE) à 50 mg/l (OMS). [14] Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée...), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH_4^+) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés «nitrification», sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses. [5]

I.3.2.4. Les phosphates

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique ; lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.) [8]. En l'absence d'apport d'oxygène, les phosphates n'existent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles, leur introduction dans les eaux de surfaces (rivières, lacs) se fait par les eaux usées dont l'épuration est souvent insuffisante [8] Concentration maximale admissible de phosphate en eau potable est 0.5 mg/l.

I.3.3. Les paramètres biologiques

I.3.3.1. L'oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et

les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. [8]

Une valeur d'oxygène inférieure à 1 mg d'O₂ par litre d'eau, indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments. [9]

I.3.3.2. Les matières organiques

a. La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables.

L'oxydation est effectuée ici dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), en milieu acide fort (H₂SO₄) et au reflux pendant deux heures.

La DCO constitue donc un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prête mal aux mesures de DCO, exprimée elle aussi en mg/l d'oxygène, diffère de celle de la DBO. [8]

b. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution. [6]

La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée ; pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes. L'analyse de la DBO₅ est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes. [8]

Le tableau suivant, classe les eaux du point de vue qualité selon les valeurs de DBO₅.

Tableau N°3: Qualité de l'eau en fonction de la DBO5 [18]

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

I.3.4. Les métaux lourds

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

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide. Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide. L'analyse de ces solides permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu. Généralement, ils caractérisent certains types de pollution. La présence de cuivre et de nickel, est un signe des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux. Le chrome dénonce la présence d'une tannerie. Le plomb est lié à des pollutions diffuses (apports dus aux transports routiers et à l'existence de sites industriels). Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages, tels que le laiton et le bronze. Il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés (ex. toitures métalliques). Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures. [9]

II. Généralité sur la pollution des eaux

II.1. Définition de la pollution

Le terme pollution désigne la présence d'une ou plusieurs substances modifiant la composition ou l'état d'une eau.

L'OMS définit la pollution comme étant toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse de préjudiciable du point de vue, soit de la santé, de la sécurité et du bien public, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, industrielles, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique. [15]

Selon (Gaujous, 1995), la pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération. En ce qui nous concerne, les milieux considérés seront les milieux aquatiques (oueds, ou cours d'eau). La notion d'altération du milieu est fondamentale. En effet, un rejet ne sera par définit comme polluant que s'il amène une altération, c'est-à-dire une dégradation. Ainsi, deux rejets de caractéristiques identiques pourront être plus ou moins polluants suivants le milieu récepteur ; par exemple, un rejet d'égout dans un lac de haute montagne n'aura pas le même effet que dans un grand fleuve ou en mer.

II.2. Les origines de la pollution

Selon les origines des substances polluantes, quatre catégories de pollutions sont à distinguer [16] :

II.2.1. La pollution domestique

Elle provient des habitations et elle est, en général, véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organique, du sel minéral et des détergents. [15] Elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières. [16]

II.2.2. La pollution industrielle

Elle provient des usines et elle est caractérisée par la présence d'une grande diversité des polluants, selon l'utilisation de l'eau tels que [17] :

- Les hydrocarbures (raffinerie) ;
- Les métaux (traitement de la surface) ;
- Les acides, les bases, les produits chimiques (industries chimique) ;
- L'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Les matières radioactive (centres nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Il peut y avoir un effet toxique sur les organismes vivants, par l'accumulation de certains éléments dans les denrées alimentaires tels que les métaux et les pesticides. [17]

II.2.3. La pollution naturelle

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de la pollution (ex : éruption volcaniques). [18]

II.2.4. La pollution agricole

Elle provient des fermes ou des cultures et elle se caractérise par les fortes teneurs en sels minéraux (NO₂, P, K...) et la présence de produits chimiques du traitement (pesticides, engrais...). [18]

II.3. Les types de la pollution

Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

II.3.1. La pollution physique

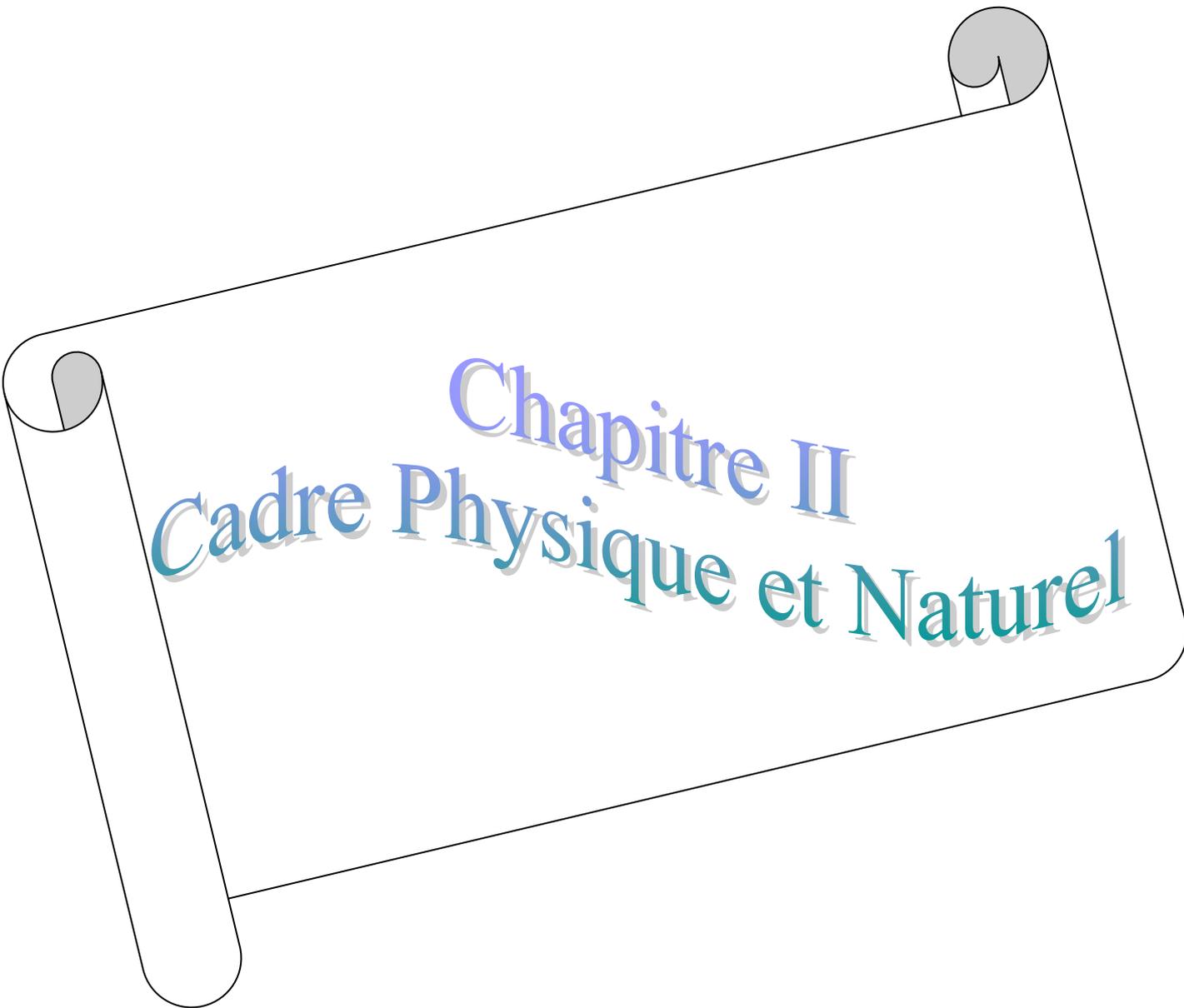
On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (Retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires).

II.3.2. La pollution chimique

Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables.

II.3.3. La pollution biologique

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, etc.).



Chapitre II
Cadre Physique et Naturel

Le barrage de Béni Haroun est considéré comme l'un des plus grande projets réalisés à ce jour sur le plan national, il a été mise en exploitation en 2003. Situé dans la wilaya de Mila au Nord-est de l'Algérie sur l'oued Kebir à une quarantaine de km de son embouchure dans la Mer Méditerranée (*fig.01*). La retenue crée par le barrage se trouve au Sud de ce dernier. Elle est située à environ 40 km au NNW de la ville de Constantine et à 350 km à l'est d'Alger.

Le barrage est situé à l'extrémité amont de la gorge calcaire-marneuse de Béni Haroun et à environ 4 km du confluent du oued El-Rhumel et oued El-Nedja.

Le bassin total de l'oued Kebir au site du barrage couvrir une superficie voisine de 7725 km². Tenant compte qu'une partie du Rhumel est mobilisée par le barrage de hammam Grouz, la superficie intéressant le barrage de Béni Haroun est de 6595 km².

L'apport annuel régularisé est estimé à 435 millions de m³, et le volume de la retenue est de 963 millions de m³.

Le barrage aliment en eau potable plusieurs région limitrophes de la wilaya de Mila notamment les wilayas de Jijel, Constantine, Oum el Bouaghi, Batna et Khenchela (**ANBT, 2016**).

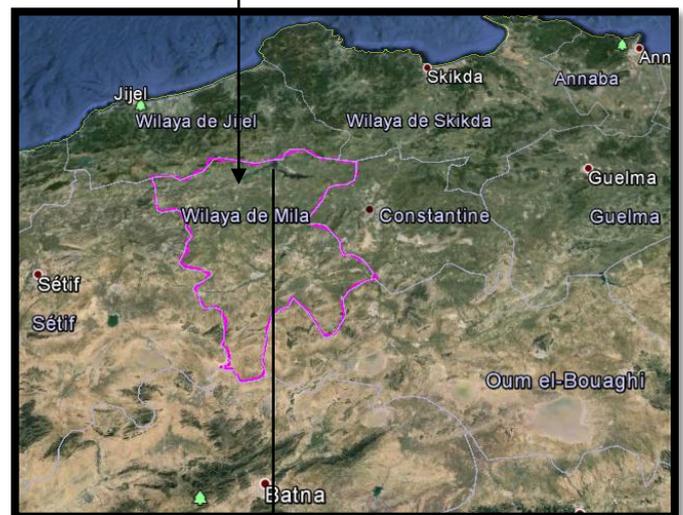
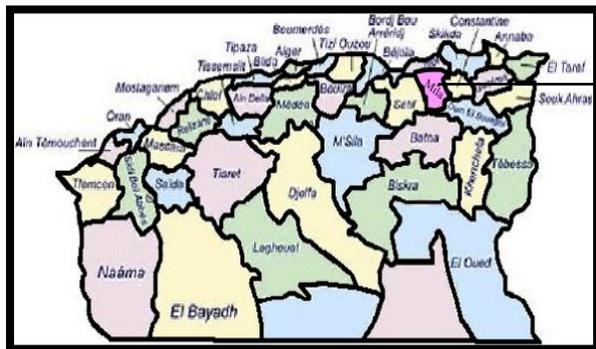
I. Le bassin versant Kébir-Rhumel

I.1. Localisation et description

Le bassin de l'oued El Kebir est situé en Algérie orientale (*fig.02*). Il est bordé au sud par les hauts plateaux telliens, à l'ouest par les montagnes de petite Kabylie, au nord par la mer Méditerranée, et à l'est par le bassin de Seybouse. Le bassin se divise en deux parties distinctes :

- La partie occidental, constitué par le bassin de l'oued El-Nedja, se caractériser par des précipitations relativement élevées (700 mm/an en moyenne) et une topographie montagneuse. Dans ce bassin, les cotes atteignant 1400m ou davantage, La superficie de ce bassin est de 2169 km². Dans le bassin de l'oued El-Nedja situé à l'ouest et au nord-ouest de l'ensemble du bassin versant du Kébir-Rhumel, la saison pluvieuse s'étend généralement du mois de décembre au mois de mai.
- La partie orientale constitué par le bassin de l'oued El Rhumel, se caractériser par une topographie plus douce et des précipitations modérée (500 mm/an en moyenne). La superficie de ce bassin est de 5490 km². Dans ce bassin les terraines s'élève jusqu'à 1300 m ou davantage. Dans le bassin de l'oued Rhumel qui s'étend du sud au Nord-est du

bassin, la pluviométrie est distribuée de façon plus uniforme tout au long de l'année que dans le bassin de l'oued El-Nedja.



Source : Google earth



ANBT 2016

Fig.01. présentation géographique du barrage Béni Haroun

Les propriétés d'infiltration dans le bassin de l'oued el Rhumel indiquent que le sol y est plus perméable que dans celui de l'oued El-Nedja.

Les débits des oueds El-Nedja et Rhumel à leur confluence ne sont pas proportionnels à leurs surfaces drainantes respectives. Dus à des caractéristiques hydrologiques et géologiques

différentes. Les apports de l'oued El-Nedja sont proportionnellement plus grands que ceux de l'oued el Rhumel.

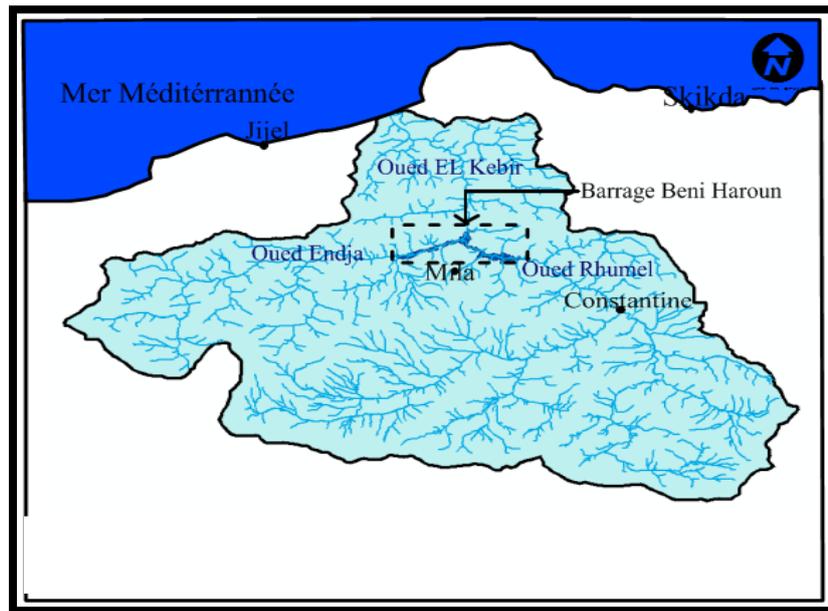


Fig.02 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kebir-Rhumel

I.2. Présentation géologique et lithologique du bassin

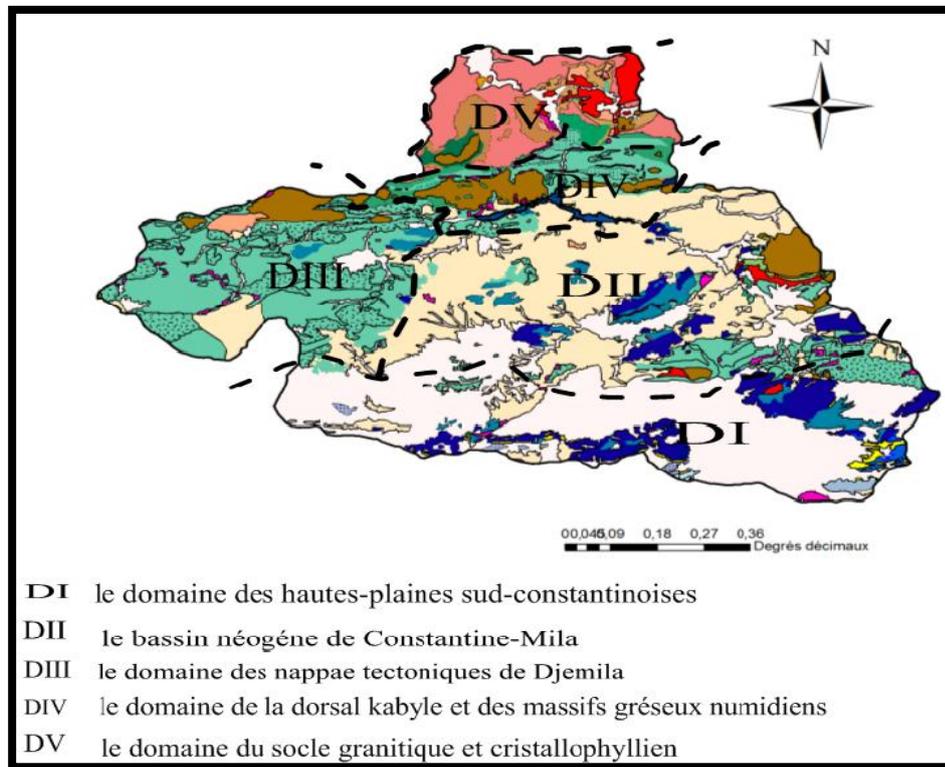
Le bassin versant de Kebir-Rhumel est limité au Nord par l'arête montagneuse du M'cid Aicha et du Sidi Driss au Sud par les massifs du Djebel Osmane et Djebel Grouz à l'est par les massifs du djebel Akhal de Chettaba et de Khneg, et à l'ouest par Djebel Boucheref et Oukissane.

Le bassin est une vaste dépression d'une quarantaine de Km de largeur et de 120km de longueur. Le bassin constitue principalement des domaines géologiques très différents. [20]

- Le domaine des Hautes-Plaines sud-constantinoises (DI), constitué de deux grandes unités lithologiques : les massifs carbonatés du Néritique constantinois et les plaines Plio-quadernaires d'une part et d'autre part les massifs de calcaires jurassiques et crétacés ;
- Le bassin Néogène de Constantine-Mila (DII), d'âge Mio-pliocène et à dominance argileuse, à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres ;
- Le domaine des nappes tectoniques de Djemila (DIII), à l'ouest de Ferjioua, en position occidentale par rapport au domaine (DII). Elles sont formées d'une alternance de marnes et de calcaires marneux (Jurassique-Crétacé-Eocène) ;
- Le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens (DIV), au nord de Grarem. Il est constitué essentiellement de grès numidiens sous lesquels apparaissent des calcaires jurassiques très tectonisés de la dorsale kabyle ;

➤ Le domaine du socle granitique et cristallophyllien de la petite Kabyle d'El Milia (DV), au sud d'El Milia, la vallée du Kébir s'encaisse dans les formations du socle. Large de 1 à 2 km, cette vallée renferme des graviers et sables alluviaux abondants.

Le secteur étudié se trouve dans la partie nord du bassin de Mila –Constantine (DII) au pied du massif de M'cid Aicha.



-  Ensemble Allochtone sud-Sétifien (crétacé inférieur)
-  Formation Parautochtones (crétacé inférieur)
-  Formation Parautochtones (Cénomaniens et Turoniens)
-  Nappes telliennes de Djemila (Crétacé moyen à Paléocène)
-  Flysch Massyliens (type Adissa)
-  Flysch Mauritaniens
-  Flysch Massyliens (séries typiques phtanites)
-  Mio-Pliocène continental
-  Nappe Néritique Constantine (Cénomaniens Turoniens et sénonien transgressif)
-  Nappe Néritique Constantine (Jurassique et Trias)



Fig. 03 : Les grands domaines géologiques du bassin Kébir-Rhumel
(Mebarki et Thomas, 1988 in Sahli, 2012), (Modifier)

II. La géologie de secteur étudié

II.1. Au plan géologique régional

Le barrage de Béni Haroun est situé dans une région de la chaîne Alpine d'Afrique du Nord dont le cadre géologique complexe est caractérisé par la présence de nappes de charriage.

Ces nappes constituent de vastes ensembles de terrains d'âge Antécambrien à Miocène inférieur qui se sont déplacés (sous formes d'écaillés épaisses) à l'horizontale sur des distances de plusieurs kilomètres et déposées suivant des modalités variées et complexes (Villa, 1980 ; Wildi, 1983) (*fig.04*).

II.2. La géologie du site de barrage

Le site du barrage de Béni Haroun se localise dans une zone à relief accidenté, montrant des contrastes topographiques remarquables, avec des massifs culminants à des hauteurs élevées (Djebel M'Sid Aicha : 1462 m) et des ravins et talwegs sur creusés [21]. Les unités rocheuses présentes sur le site, sont de l'amont vers l'aval :

- Des marnes Eocènes, présentent à l'amont du barrage. Ce sont des marnes fortement déformées et altérées présentant à l'affleurement des schistes gris foncé à noirs (ANBT, 2003).
- Une barre de calcaire Eocène (Yprésien), représentant l'appui du barrage.
- Et enfin, des marnes noires du Paléocène constituées des marnes, situées à l'aval immédiat de la digue. [25]

Les terrains meubles sont constitués principalement de dépôts alluviaux sablo-graveleux dans le lit des oueds et sur plusieurs niveaux de terrasses, de colluvions provenant en grande partie de l'érosion des formations terrigènes et d'éboulements au pied des formations rocheuses. [21]

III. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

Le climat de notre région d'étude est de type méditerranéen son régime climatique dépend des trois paramètres principaux : température, précipitation et le vent. Elle est caractérisée par deux domaines climatiques différents et une variabilité inter-mensuelle et interannuelle de la pluie. Au Nord le climat caractérisé par un été sec et chaud, et un hiver doux et humide, et un climat semi-aride au Sud, avec des températures qui avoisinent 40°C en été et qui peuvent descendre au-dessous de 0°C en hiver.

III.1. Les précipitations moyennes mensuelles

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes

aquifères, Ils ont aussi un effet direct sur les matières en suspension et les phénomènes de dilution. La région d'étude est considérée parmi les régions arrosées avec une moyenne de l'ordre de 605mm/an. D'après les données fournies par la station météorologique d'Ain Tin nous remarquons que :

- Les précipitations sont également variables et irrégulières d'une année à l'autre.
- Le maximum des précipitations est enregistré généralement au mois de Février.

**Tableau N°04: précipitations moyennes mensuelles 2005-2015
(Station météorologique de l'Ain Tin)**

Latitude : 36°24' N			Longitude : 06°19'E					Altitude : 670m				
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aout
P (mm)	38.68	39.19	52.4	77.64	75.77	97.2	80.3	54.5	50.72	8.95	4.29	25.8

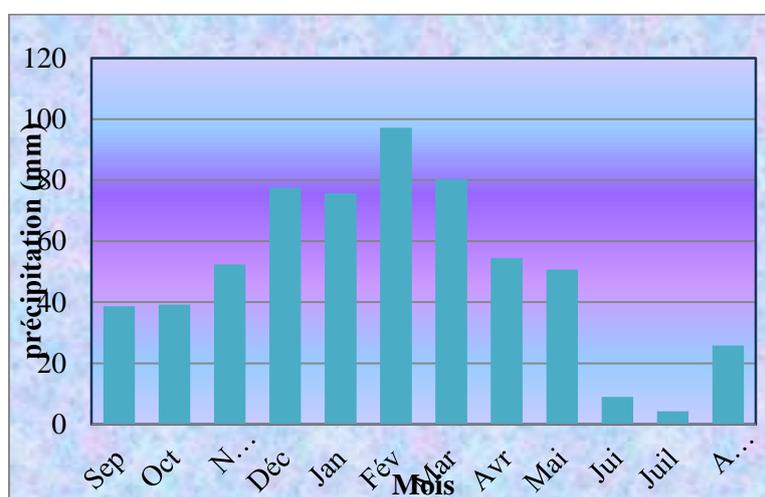


Fig.04 : précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Tin (2005-2015)

D'après l'histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles, on remarque que le mois le plus pluvieux est celui de Février avec une moyenne de 97.2mm ; tandis que le mois le plus sec et celui de Juillet avec un minimum moyenne de précipitation égale à 4.29mm.

III.2. Les températures moyennes mensuelles

La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration réelle).

**Tableau N°05 : Les températures moyennes mensuelles 2005- 2015
(Station météorologique d'Ain Tin)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T (C°)	21.9	18.24	12.67	8.36	7.61	7.61	10.3	13.23	17.08	22.82	26.65	26.07

Ces données indiquent que les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées essentiellement durant la période d'été (juin à septembre) avec des températures variant de 21.9 à 26.65°C Par contre les plus basses (7.61 à 10.3°C), sont observées pendant la période d'hiver (Décembre à Mars) avec un minimum de 7.61°C pendant le moins de Janvier et Février.

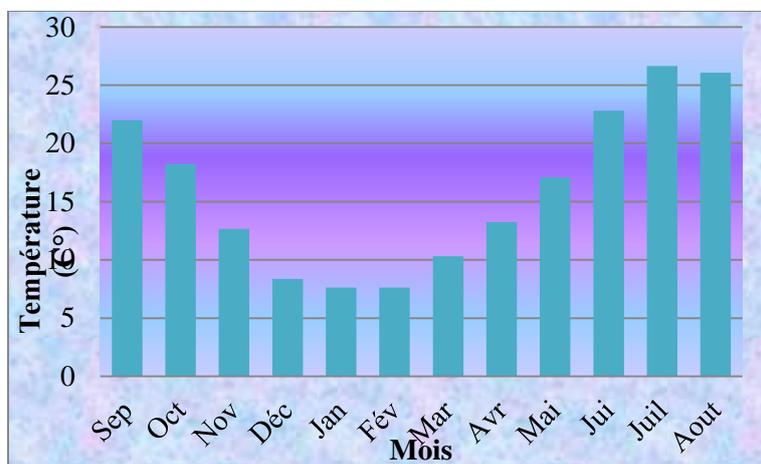


Fig.05: Températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Tin (2005-2015)

III.3. Le Vent

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force. Les vents soufflant sur le bassin du Kébir-Rhumel sont ceux du Nord-est qui apportent les pluies et qui sont souvent secs et froids. [22]

Tableau N°06 : Les vents moyens mensuels 2005- 2015(Station météorologique d'Ain Tin)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou
V (m/s)	2	2.07	2.38	2.45	2.79	3.21	2.76	2.32	2.2	2.17	2.09	2.03

III.4. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est commandée par les conditions climatiques, liées au rayonnement et à la turbulence de l'air, qui concourent à la définition de ce que les bioclimatologistes appellent l'évapotranspiration potentielle (notée ETP).

III.4.1. Evapotranspiration potentielle (E.T.P)

Par définition l'ETP : c'est la quantité d'eau, généralement exprimée en (mm), qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

➤ **Méthode de C.W THORNTHWAITE (1948)**

THORNTHWAITE a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'E.T.P, où le pouvoir évaporant pour chaque mois est déterminé à partir de la relation suivante :

$$ETP=16. [10T / I]^a$$

Avec : $I = \sum i$ où : $i = [T/5]1.514$

E.T.P : désigne l'évapotranspiration potentielle (mm) ;

T : désigne la température moyenne mensuelle (°C) ;

I : désigne l'indice thermique annuel ;

i : désigne l'indice thermique mensuel ;

a : désigne un exposant climatique défini ainsi :

$$a = 0.0161 I+0.5$$

Pour l'évapotranspiration corrigée, elle est obtenue à partir de la relation suivante :

$$ETP_{corr}=16. [10T / I]^a \cdot K = ETP \cdot K$$

Où :

K : désigne un coefficient de correction dépendant de la latitude de la région soit (36°).

Les résultats des calculs de l'E.T.P et l'ETP_{corr} calculés par la méthode de THORNTHWAITE sont résumés dans le tableau ci-dessous (tab 08).

III.4.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R)

Elle correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

Pour estimer l'évapotranspiration réelle, nous utilisons encore une fois la méthode de THORNTHWAITE.

➤ Si $P > ETP$: $ETR = ETP$; il reste une quantité d'eau, $P - ETP$ qui va alimenter la RFU, s'il reste son maximum (100 mm), on va avoir un excédent sous forme de ruissellement.

➤ Si $P < ETP$ et $RFU = 0$: $ETR = P$

➤ Si $P < ETP$ et $RFU \neq 0$ $\left\{ \begin{array}{l} P + RFU > ETP \longrightarrow ETR = ETP \\ P + RFU < ETP \longrightarrow ETR = P + RFU \end{array} \right.$

➤ Si $P = ETR$: les précipitations sont justes suffisantes pour alimenter le sol .Il n'y aura pas de W_a pour alimenter le RFU.

➤ En fin, si malgré l'apport de la RFU et de l'ETR reste toujours inférieur à l'ETP, il va avoir un Déficit agricole (**D_a**) tel que : $D_a = ETP - ETR$

Donc : $D_a = ETP_i - (P_i + RFU_{i-1})$

Où : **i** : mois en cours ;

i-1 : mois précédent.

Tableau N°07: Bilan hydrique selon THORNTHWAITE a la station d'Ain Tin, (2005 – 2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Année
P(mm)	38.68	39.19	52.4	77.64	75.77	97.23	80.33	54.5	50.72	8.95	4.29	25.8	605.5
ETPc	129.69	100.05	60.35	31.12	24.15	22.74	31.11	43.49	64.94	96.07	145.38	150.45	899.54
P-ETPc	-91.01	-60.86	-7.95	46.52	51.62	74.49	49.22	11.01	-14.22	-87.12	-141.09	-124.65	/
RFU	0	0	0	46.52	98.14	100	100	100	85.78	0	0	0	/
ETR	38.68	39.19	52.4	31.12	24.15	22.74	31.11	43.49	64.94	94.73	4.29	25.8	472.64
DA	91.01	60.86	7.95	0	0	0	0	0	0	1.34	141.09	124.65	426.9
Ws	0	0	0	0	0	72.63	49.22	11.01	0	0	0	0	132.86

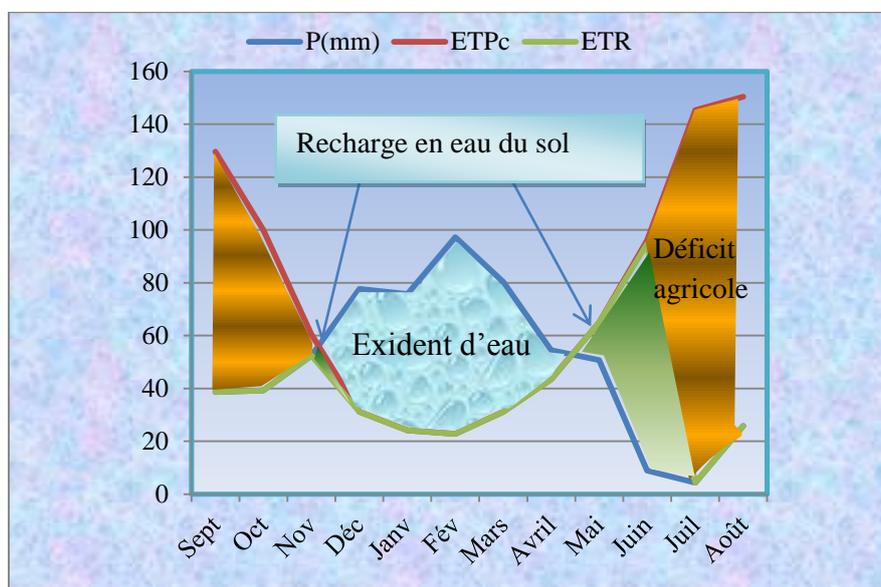


Fig.06 : Bilan hydrologique par la méthode de THORNTHWAITE durant la Période 2005-2015 (Station Ain Tin)

III.5. Interprétation du bilan hydrologique

L'examen des données récapitulées dans les tableaux précédents permet d'en déduire les résultats suivants :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de février période où l'évapotranspiration corrigée (ETPc) atteint son minimum (22.74mm). Cette dernière atteint son maximum au mois d'Aout (150.45mm).
- l'E.T.R qui est égale à 472.64 mm représente 70.05% des précipitations ;
- La RFU est à son maximum de 100 mm du mois de Février jusqu'à la fin d'Avril, où on totalise un excédent de 132.86mm. Par ailleurs, le RFU commence à diminuer au début du mois de Mai, pour s'épuiser et devenir nulle du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre

➤ Le déficit agricole est de l'ordre de 426.9 mm, la saison sèche commence à partir du mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois de Novembre, à cause des réserves qui commencent à s'épuiser à partir du mois Mai pour devenir nulles du mois de Juin jusqu'au mois de Novembre avec un déficit maximal de 141.09 mm au mois de juillet.

III.6. Exploitation du bilan hydrologique

Pour le calcul des ruissellements, et des infiltrations on utilise :

- Evapotranspiration potentielle : **ETP=899.54mm** ;
- Précipitations moyennes annuelles : **P=605.5mm** ;
- Lamme Evapotranspirée : **ETR=472.64mm.**

III.6.1. Ruissellements (R)

La formule de Tixeront-Berkaloff que nous donnons ci-après permet d'évaluer le ruissellement :

$$\text{Si : } P < 600\text{mm} \longrightarrow R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$$

Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974)

$$\text{Si : } P > 600\text{mm} \longrightarrow R = P^3/3$$

Avec :

R : Ruissellement (m) ;

P : précipitation moyenne annuelle (m) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle d'après THORNTHWAITE.

L'application numérique de la 2^{ème} formule donne un ruissellement égal à 73.99 mm, soit environ 12.21% des précipitations.

III.6.2. Infiltration (I)

La lame infiltrée Représente la quantité d'eau absorbée par le sol et le sous-sol, pour constituer l'eau de rétention, des eaux souterraines et des écoulements souterrains, et reconstitution des réserves souterraines. A partir de la formule du bilan hydrologique :

$$\begin{aligned} P &= ETR + R + I \\ \longrightarrow I &= P - ETR - R \\ \longrightarrow &= 605.5 - 472.64 - 73.99 \\ \mathbf{I} &= \mathbf{58.87} \end{aligned}$$

Donc : 9.72 % des précipitations.

Conclusion :

Du point de vue géologique, La région d'étude est très diversifiée avec une lithologie très hétérogène grâce à sa position, dans l'Atlas Tellien du Tell oriental (Kabylie de Collo et le Nérétique constantinois). Cette zone est caractérisée par sa complexité litho-structural, dont les formations les plus anciennes sont d'âge Permo-Trias et les plus récents sont d'âge Quaternaire. La lithologie dominante est représentée par des calcaires, des marnes, des grés et des argiles.

L'étude climatologique a permis de déterminer les caractéristiques du climat du secteur. C'est un climat méditerranéen. La lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant a été estimée à 605.5 mm et la température moyenne annuelle est de 16,05°C et ce pour la période 2005-2015.

L'écoulement a été estimé à 73.99 mm dont plus de 9.72 % sera attribué à l'infiltration vu que les conditions qui règnent dans le secteur d'étude (une grande partie par des terrains imperméables.) favorisent plutôt l'infiltration au ruissellement. Ce dernier étant négligeable se manifestant particulièrement au niveau des Oueds. L'infiltration efficace a été estimée à 58.87 mm.



Chapitre III
Matériels et Méthodes

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages tels que l'irrigation, l'industrie...etc. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin d'évaluer l'état actuel de la chimie des eaux, son évolution dans l'espace en étudiant la variabilité de ses paramètres physico-chimiques.

Dans le barrage du Béni Haroun et ses affluents, les données sur la qualité des ressources en eau et des sources de pollution sont peu nombreuses. Le Barrage du Béni Haroun subit d'importantes dégradations, suite aux déversements des déchets industriels ainsi qu'à l'augmentation des points de déversement des eaux usées domestiques. Donc la stratégie d'échantillonnage développée dans ce travail repose sur l'analyse des eaux de surface (le Barrage et les Oueds alimentant le barrage)). Les échantillons prélevés ont été analysés systématiquement en vue de mesurer tous leurs paramètres physico-chimiques indicateurs de pollution (T° , pH, CE, Eh, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Cl^- , Fe, TH, TAC, NH_4^+ , PO_4^{+2} , SO_4^{-2} , NO^{-2} , NO^{+3} ...

I. Mode de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne cependant les résultats analytiques et leur interprétation. L'échantillon doit être homogène représentatif et obtenu sans modifier les caractères physico-chimiques de l'eau. [25]

Une seule campagne de prélèvement des échantillons des eaux brutes du barrage de Béni Haroun et ses affluents a été effectuée au mois de mars 2016 pour chaque station d'étude.

Une cinquantaine de prélèvements ont été faite dans des bouteilles en plastique. Au moment de l'échantillonnage les bouteilles et leur bouchons sont lavés trois fois avec de l'eau à analyser pour éviter toute contamination des échantillons, puis remplis complètement puis bouchées tout en évitant la formations des bulles d'air. Ces bouteilles sont étiquetées pour éviter tout risque de confusion entre les échantillons (nom de station, date, profondeur, heure...).

Le prélèvement de l'eau est fait par deux méthodes :

- L'eau du barrage : à l'aide d'un préleveur (*fig. 08*).
- L'eau des oueds : à l'aide d'un seau liée à un cordon (*fig07*), pour faire le prélèvement au milieu de l'oued, afin d'éviter l'effet des décharges stagnées sur les berges des oueds qui peuvent modifier la chimie des eaux.



Fig.07 : photo représentatif d'un seau



Fig.08 : photo représentatif d'un préleveur

II. Choix et localisation des stations de prélèvements

Dans le cadre de l'évaluation de l'état chimique des eaux du barrage, vis-à-vis une éventuelle contamination du barrage de Béni Haroun par les activités anthropiques (agriculture et industrie). Le choix des stations repose sur leur situation par rapport aux agglomérations, aux sources de pollution possible et à leur accessibilité. Pour cela on a choisie 21 points de prélèvement, 09 station dans le barrage, dont on a fait des prélèvements en fonction de la profondeur à une équidistance de 5 à 10m pour 5 stations, et 12 autres prélèvements pour tous les affluents qui alimentent le barrage (fig09), (Tab08).

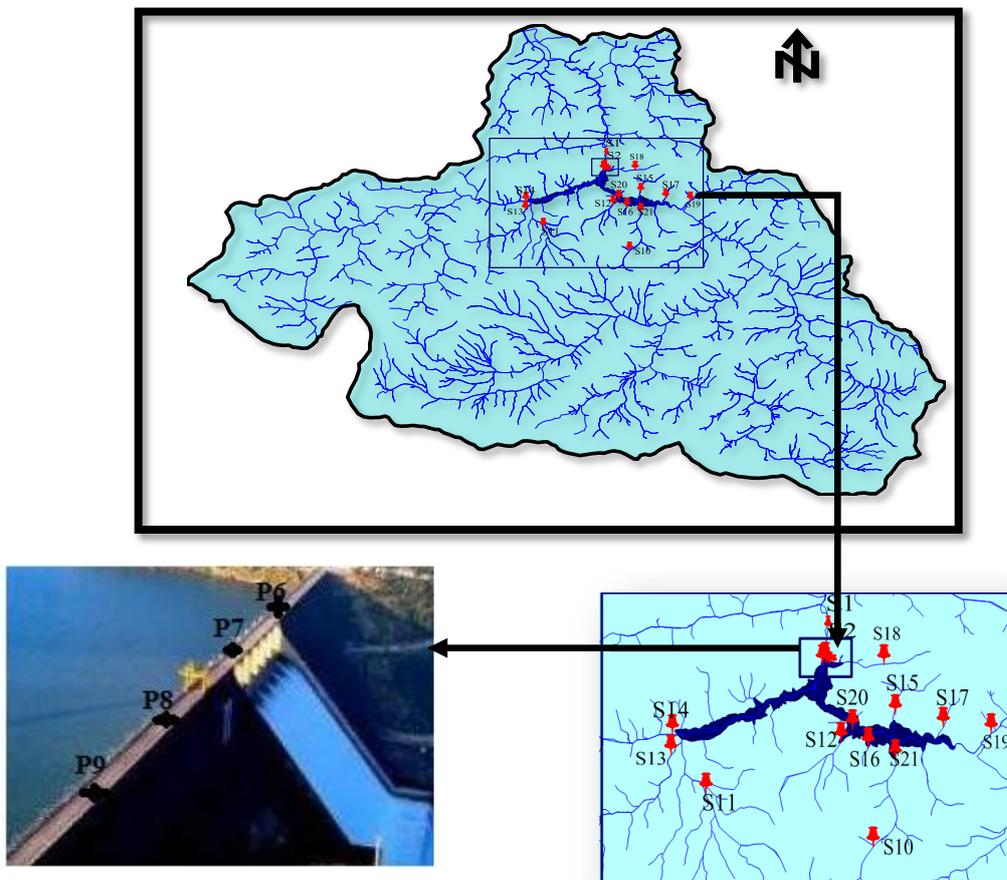


Fig.09 : plan d'échantillonnage d'eau dans le barrage de Béni Haroun et ses affluents

Remarque ;

Les stations 3,4 et 5 situe au :

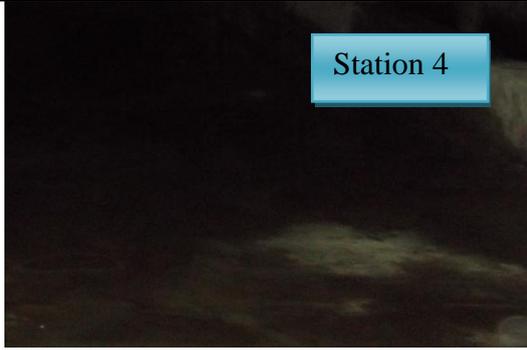
3 ———> Au sien (intérieur de la digue) ;

4 ———> Romentée de l'eau sous la digue ;

5 ———> l'eau de barrage à une profondeur à la cote.

Tableau N°08 : Les stations de prélèvement d'eau dans le barrage de Béni Haroun et ses affluents

Stations	Nom de la station	photos
S1	Les lâchées du barrage	
S2	Le niveau 100 du barrage	
S3	Au sein (intérieur de la digue)	

S4	Remontée des eaux sous la digue	 <p data-bbox="1182 230 1362 300">Station 4</p>
S5	l'eau de barrage (une profondeur à la cote)	 <p data-bbox="1182 591 1362 660">Station 5</p>
S6	parallèle à la digue	
S7	parallèle à la digue	
S8	parallèle à la digue	
S9	parallèle à la digue	
S10	Oued coton (Amont)	

S11	Oued Redjas	
S12	Oued Mila	
S13	Oued el Maleh	
S14	Oued El-Nedja	
S15	Oued Sekdal	

S16	Oued 627	
S17	Oued Ghar Slim	
S18	Oued Dib	
S19	Rhumel 1	

S20	Rhumel 2	
S21	Oued coton (Aval)	

III. Localisation des points de prélèvement

Pour la localisation des points d'eau, nous avons utilisé deux outils : le GPS et Google Earth.

➤ **Le GPS « Global Positioning System » ou le système de positionnement global :**

C'est un appareil de pointe qui permet de donner la position exacte en 3 dimensions : (latitude X, longitude Y et l'altitude Z) du lieu au niveau duquel on se trouve et où l'on a effectué la mesure avec une erreur de ± 5 (fig10).



Fig.10 : photo représentatif d'un GPS

➤ Google Earth

Google Earth est un logiciel, propriété à la société Google, permettant une visualisation de la terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires. Ce dernier a été utilisé pour obtenir les valeurs de Z avec une précision de $\pm 0.5\text{m}$.



Fig.11 : carte de localisation des stations de prélèvement

IV. Conservation des échantillons

Normalement les échantillons doivent être conservés à une température de $<4^{\circ}\text{C}$ dans un réfrigérateur ou être congelés dans un congélateur, faut l'absence d'un frigo et d'un congélateur dans notre laboratoire, les échantillons sont conservés au laboratoire et à l'abri de la lumière, et vu la température ambiante du mois de mars, nous avons considéré que la conservation des échantillons est acceptable et que les résultats obtenus des analyses sont représentatifs.

V. Mesures des paramètres physico-chimiques et des éléments chimiques

V.1. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ)

La température, pH, Eh, la conductivité électrique, sont des paramètres très sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importante s'ils ne sont pas mesure in situ.

Ainsi à chaque prélèvement ces paramètres sont mesurés in situ par le même multi-paramètre étalonné appartenant au département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Jijel (*fig12*), qui possède deux électrodes l'un est utilisé pour la mesure de la température, de pH et de Eh et l'autre pour la mesure et la conductivité.



Fig.12 : Valise multi-paramètre utilisée pour les mesures des paramètres In Situ.

V.2. Les éléments chimiques (analyses au laboratoire)

On a fait les analyses des éléments chimique après les étapes suivants :

V.2.1. Filtration

En règle générale, la filtration de l'échantillon se fait au laboratoire, avant l'analyse. Parfois, elle doit se faire sur terrain. Pour filtrer les échantillons, on utilise des membranes filtrantes de porosité de $0,45 \mu\text{m}$. Pour notre cas nous avons utilisé la technique de filtration gravitaire réalisée au Laboratoire de recherches de Génie Géologique (LGG).

V.2.2. Nettoyage de la verrerie

Les flacons destinés au dosage des sels nutritifs (ammonium, phosphates, nitrates, nitrites), ont été nettoyés par la solution sulfochromique ou l'acide sulfurique dilué, puis rincés à l'eau distillée. [26]

V.2.3. Dosage effectuées au laboratoire

a. La titrimétrie

Est une technique de dosage dont le but est de déterminer la quantité de matière contenu dans un échantillon. La méthode de titrage que nous avons utilisé pour le dosage du calcium et de chlorures ainsi pour la détermination de la dureté et de l'alcalinité de l'eau par la mesure de (TAC et TH) est la volumétrie ou la concentration d'une solution inconnue est déduite de la mesure d'un certain volume d'une autre solution de concentration connue.

Le matériel utilisé dans cette technique est la burette avec des réactifs spécifiques pour chaque élément à doser (*fig13*).



Fig.13 : la titrimétrie pour les mesures au laboratoire (Université de Jijel 2016)

b. La spectrophotométrie

La technique de spectrophotométrie est basée sur la propriété de la matière et plus particulièrement de certaines molécules, il consiste à absorber certaines longueurs d'ondes du spectre UV-visible. Elle permet de réaliser des dosages grâce à la relation de proportionnalité entre l'absorbance et la concentration.

Nous avons utilisé cette technique pour le dosage du fer, des phosphates, des nitrites, des nitrates, des sulfates et d'azote ammoniacal.

Le matériel utilisé est un spectrophotomètre UV. Visible, avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz). (fig.14)



Fig.14: Le spectrophotomètre (UV 1600 PC)

VI. Dosage des éléments chimiques

L'analyse des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , et PO_4^{2-}), des sels dissous (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , Na^+ et K^+) et des éléments mineurs (Fe^{2+}) a été effectué au laboratoire de recherche de Génie Géologique. En fonction de l'ion à doser différentes techniques, décrites dans les ouvrages généraux de chimie [9] (tab.09) :

Tableau N°9 : Les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques de l'eau utilisées

Paramètre	Symbole	Méthode d'analyse
Température	T	Valise multi-paramètre
pH	pH	pH-mètre
Eh	Eh	Valise multi-paramètre
Conductivité électrique	C.E	Conductimètre
Dureté	TH	Méthode Volumétrique
Alcalinité	HCO_3^-	Méthode Volumétrique
Chlorures	Cl^-	Méthode de Mohr
Nitrates	NO_3^-	La spectrophotométrie UV 1600 PC
Nitrites	NO_2^-	La spectrophotométrie UV 1600 PC
Azote ammoniacal	NH_4^+	La spectrophotométrie UV 1600 PC
Ortho phosphates	PO_4^{-3}	La spectrophotométrie UV 1600 PC
Sulfates	SO_4^{-2}	La spectrophotométrie UV 1600 PC
Fer	Fe^{+2}	La spectrophotométrie UV 1600 PC
Calcium	Ca^{+2}	La titrimétrie
Sodium	Na^+	La spectrophotométrie à Flamme
Potassium	K^+	La spectrophotométrie à Flamme



Chapitre IV
Résultats et Discussion

La composition chimique d'une eau est importante dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable et autre usages.

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau que nous avons prélevés au niveau de barrage Béni Haroun et ses affluents, concerne essentiellement l'étude des paramètres mesurés in situ (PH, conductivité, Eh et la température...), et les éléments dosés ont porté essentiellement sur (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- et Fe^{+2}), et les sels nutritifs (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{-3}), l'étude de ces paramètres physico-chimique ce fait par la comparaison dès notre résultats avec les normes algérienne.

L'analyse des résultats est une étape déterminante, car elle a pour objectif de révéler les principales sources d'éléments déjà analysés et leur origine ainsi que les facteurs influençant leurs variations.

I. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ)

I.1. La température (°C)

L'analyse de ce paramètre est très importante, car elle conditionne de nombreux paramètres tels que la conductivité électrique et le pH, ainsi que les réactions des dégradations et minéralisation de la matière organique. L'élévation de la température s'accompagne toujours d'une modification des propriétés de l'eau, la densité et la viscosité qui favorisant l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation. [9]

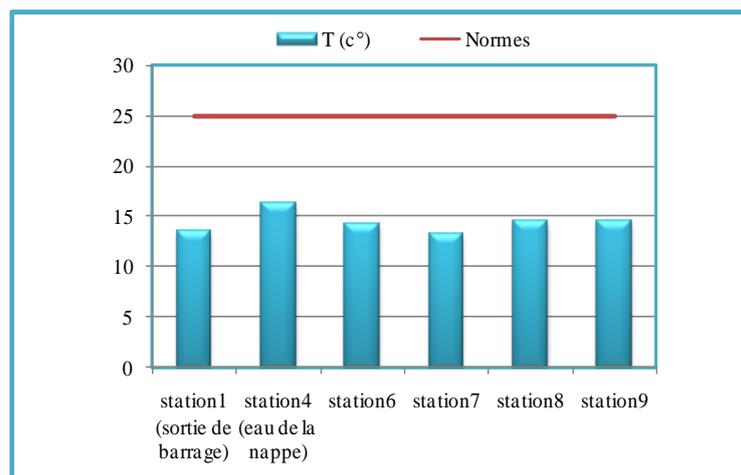


Fig.15 : Histogramme de la température des eaux de Barrage Béni Haroun (Mars 2016)

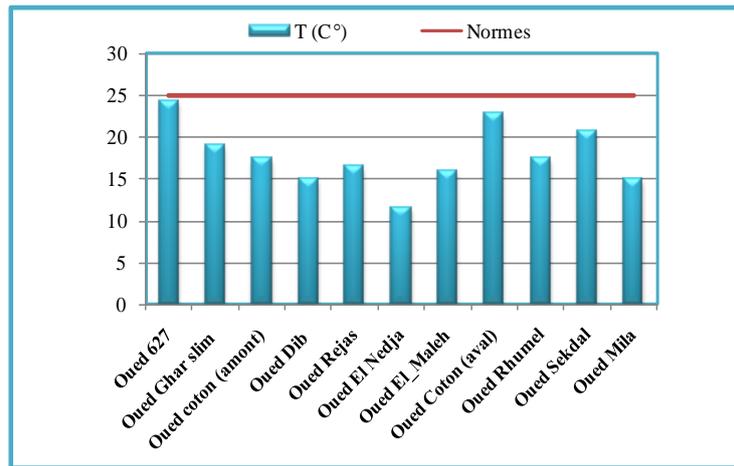


Fig.16 : Histogramme de la température dans les affluents de Barrage de Béni Haroun (Mars 2016)

D'après les résultats (fig.15 et 16), les valeurs de la température des différents échantillons sont proches. Elles se situent dans un intervalle qui va d'un minimum de 13.3°C Station7 au maximum de 13.5°C S1 (sortie du barrage) pour les eaux du barrage, et entre 11.5°C (oued El Nedja) et 24.3°C (oued 627) pour ses affluents avec une moyenne de 12°C à 14°C dans la plupart des stations, la température des affluents reste toujours supérieure à celles enregistrée au niveau des eaux du barrage mais elle est toujours dans les normes Algériennes (25°C).

La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Donc la différence de température constatée entre les stations n'est pas considérable et peut être expliquée par la situation géographique, la température de l'air et la provenance de l'eau.

I.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau, il intervient dans des phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température [9].

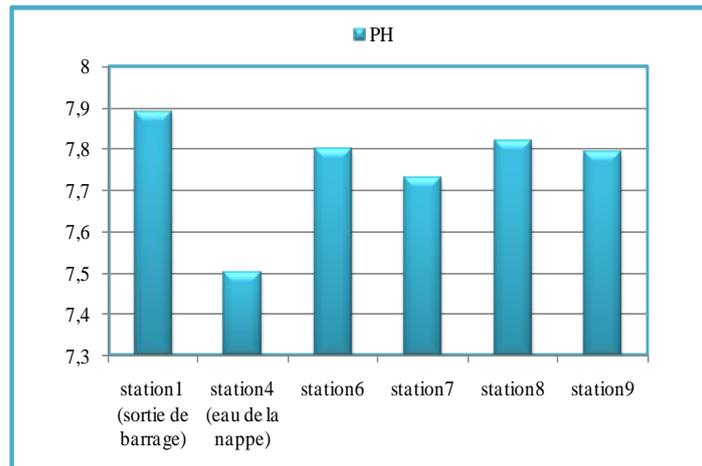


Fig.17 : Histogramme de pH des eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

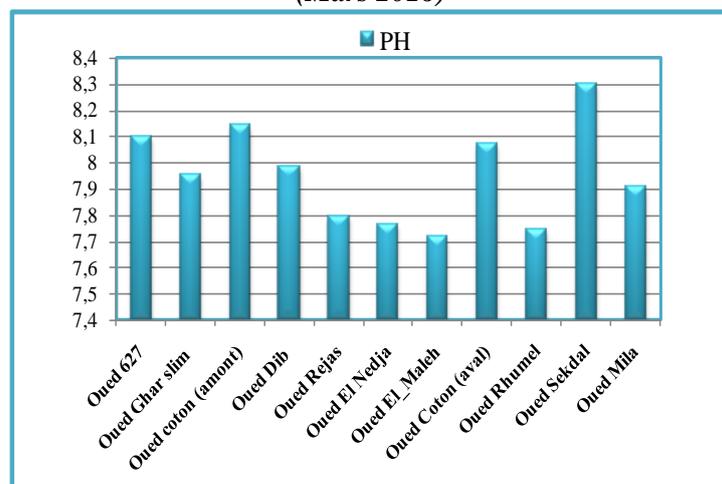


Fig.18: Histogramme de pH des affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

L'historgramme de pH des différentes stations (fig.17, 18), montre que toutes les valeurs s'échelonnent entre 7.5 et 7.89 dans les eaux du barrage ce qui indique que les eaux de barrage de Béni Haroun sont légèrement alcalines. Au niveau des affluents le pH varie de 7.72 (oued El-Maleh) et 8.3 (oued Sekdal).

Généralement les valeurs de pH varient autour de la neutralité avec une tendance à l'alcalinité en respectant toujours les normes de potabilité des eaux entre 6.5 et 9.5. Ces valeurs de pH reflètent l'influence de la géologie du bassin versant sur la composition chimique des eaux. En effet, le bassin versant drainé formé essentiellement par des roches sédimentaires carbonatées.

I.3. La conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. Elle dépend avant tout de la nature géochimique des formations aquifères, en particulier les substances

rendues solubles par l'altération des roches. La conductivité électrique est fonction pour l'essentiel, de la dureté de l'eau (Calcium, Magnésium et Bicarbonates). Parmi les sels libérés dans les eaux, à cause de l'activité humaine, nous retenons d'abord les nutriments, comme les nitrates, les nitrites, l'ammonium et les phosphates et aussi l'utilisation de précipitant dans les stations d'épurations (sodium, chlorures).

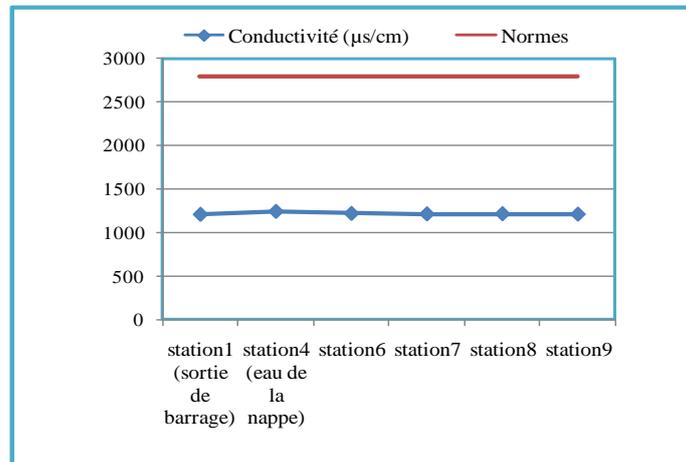


Fig.19 : La conductivité électrique des eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

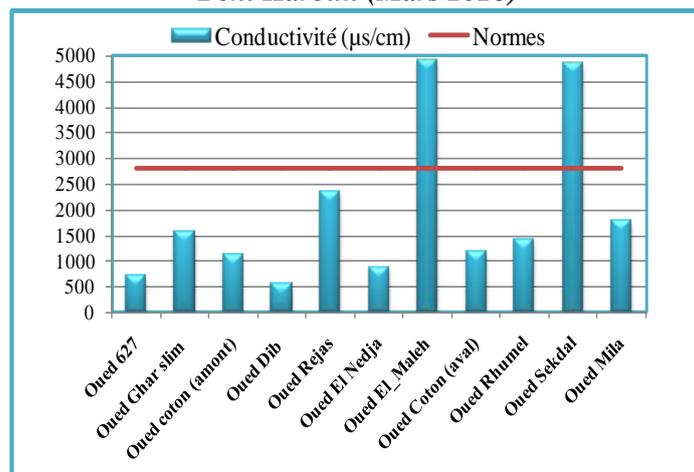


Fig.20 : La conductivité électrique dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

Les mesures de la conductivité électrique de l'ensemble des échantillons (fig.19, 20) montrent qu'elle est comprise entre 1212µS/cm (Station 1) et 1244µS/cm (Station 4) dans les eaux du barrage, et de 536 et 4910µS/cm dans les Oueds, la valeur minimale de CE a été enregistrée au niveau de oued Dib et la valeur maximale à oued El-Maleh, en constat que les valeurs de la conductivité sont dans la norme algérienne de la potabilité des eaux (2800µS/cm) sauf les deux oueds El-Maleh et Sekdal.

Globalement, on peut dire que la diminution de la conductivité dans les eaux du barrage est due à l'effet de dilution. Cependant aux niveaux des entrées surtout Oued El-Maleh et Sekdal,

l'élévation de CE est reliée à la nature géologique des terrains (formations salifères et carbonatées).

I.4. Le potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Le potentiel redox (Eh) permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau, la direction des réactions chimiques (oxydation, réduction) et l'évolution de la composition chimique des eaux naturelle au cours des échanges avec les autres phases de leur environnement. En général, la variation du potentiel d'oxydo-réduction est très liées à l'effet de précipitations, il est élevée pendant la période des hautes eaux et faible pendant la période des basses eaux. [27]

L'Eh régnant dans le milieu de dépôt agit sur l'intensité de l'activité biologique, sur l'état d'oxydation de certains éléments (Fer, Mn...), et sur l'évolution de la matière organique :

$Eh > 0$: milieux oxydants en contacts avec l'air (milieux aériens, aquatiques superficielles ou agités).

$Eh < 0$: milieux réducteurs, à l'abri de l'air (milieux aquatiques calmes, eaux stratifiées, sols hydro morphes).

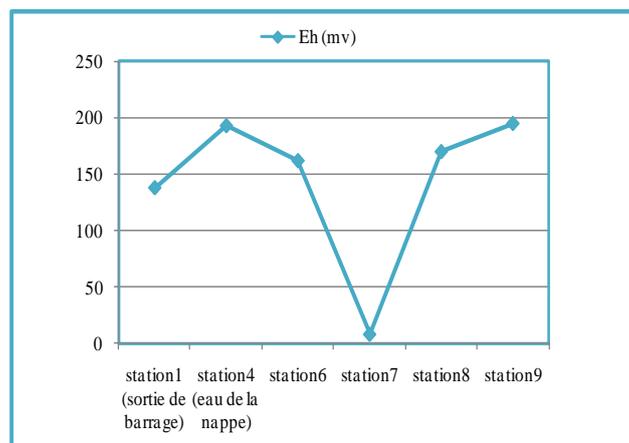


Fig.21 : Le Eh des eaux du barrage de Béni Haroun (Mars 2016)

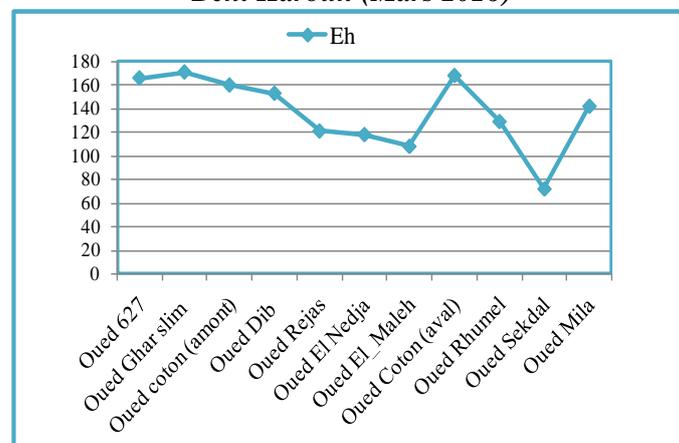


Fig.22 : Le Eh des affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016)

Les graphiques de variation de Eh (fig.21, 22), montrent que la variation du potentiel d'oxydoréduction dans les eaux de barrage de Béni Haroun et ses affluents est irrégulière ces mesure montrent qu'il varie entre 8 et 195mV au niveau des eaux du barrage, et entre 72mV et 171mV pour les affluents. Ceci pourrait s'expliquer par l'oxygénation de l'eau qui coïncide avec la période de prélèvement (Mars 2016) après des fortes précipitations, donc le milieu est fortement perturbé (les eaux sont agitées).

II. Les éléments de la pollution

II.1. Les éléments majeurs

II.1.1. Le Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un élément principal de la dureté de l'eau, il se rencontre dans presque toutes les eaux superficielles. Il résulte de la dissolution des carbonates en présence du gaz carbonique dans l'eau selon l'équation suivante :



Le calcium peut provenir également de la dissolution du gypse (CaSO_4) \cdot 2 (H_2O).

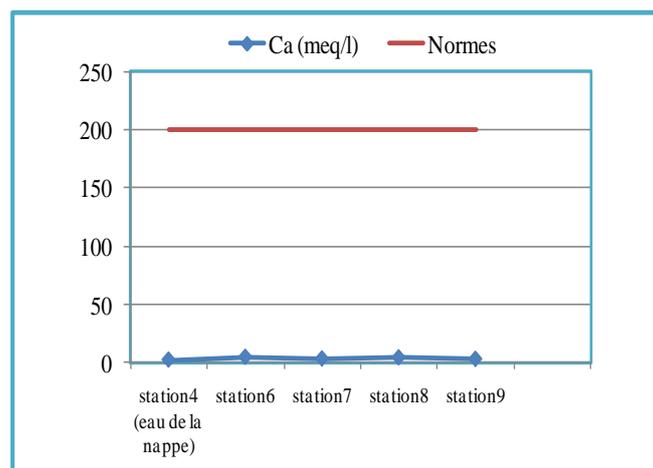


Fig.23 : La concentration en Calcium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

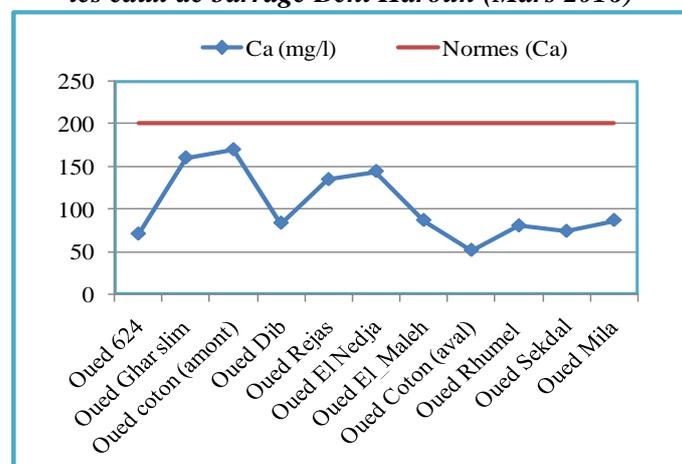


Fig.24 : La concentration en Calcium dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016)

Les graphiques de variation des teneurs en Ca^{2+} (fig.23, 24), montrent que les teneurs en calcium varie entre 48.09mg/l (Station 4) et 96.19 mg/l (Station 6) et avec une concentration de 88.17mg/l dans les lâchées du barrage (sortie de barrage). Dans les oueds les valeurs dépassent les 50 mg/l avec une valeur maximale de l'ordre de 169.9mg/l dans la partie amont d'Oued Coton. La présence de calcium peut être due à la dissolution des carbonates (calcite, calcite magnésienne), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques sur le bassin Kebir-Rhumel.

Généralement les teneurs en calcium restent inférieures à la norme (200mg/l), ceci dû à l'effet de dilution (période des hautes eaux).

Lorsque nous avons trouvés ses prélèvements au mois de mars ou le niveau de eau est augmenté par les pluies.

II.1.2. Le Magnésium (Mg^{+2})

La mise en solution de cet ion dans l'eau prend beaucoup de temps, il provient de la dissolution des roches magnésiennes et dolomitiques, de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales (basalte, magnésites, argiles, etc.), il provient aussi des formations métamorphiques tel que les micaschistes. Le processus de dissolution se fait selon l'équation suivante : [29]

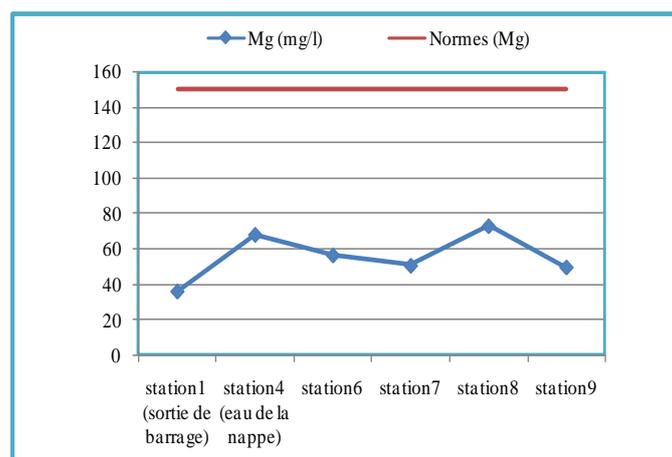
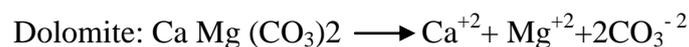
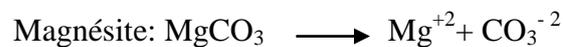


Fig.25 : La concentration en Magnésium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

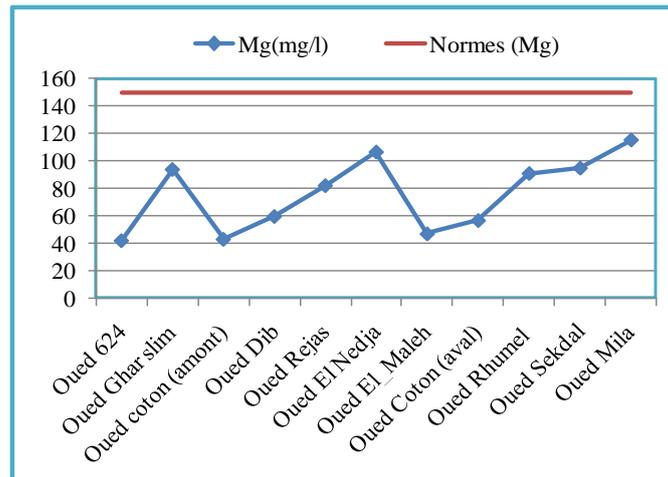


Fig.26 : La concentration en Magnésium dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

D'après les diagrammes de variation des concentrations en Mg^{2+} (fig.25, 26), on remarque que la teneur la plus élevée dans les eaux de barrage a été observée au niveau de la station 8 avec une valeur de 72.9 mg/l, et la plus faible au niveau de la station 9 (49.57mg/l), les lâchées du barrage ont une concentration de 35.96mg/l. Pour les oueds on constate des valeurs qui varient entre 114,69mg/l (oued Mila) et 41,79mg/l (oued 627), ces valeurs restent toujours sous la norme algérienne de potabilité des eaux (150mg/l). L'origine de cet élément est attribuée à la dissolution des formations carbonatées qui sont dominantes dans la géologie du bassin versant de barrage.

II.1.3. Le Sodium (Na^+)

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines, les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites) et l'Halite ($NaCl$). L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :



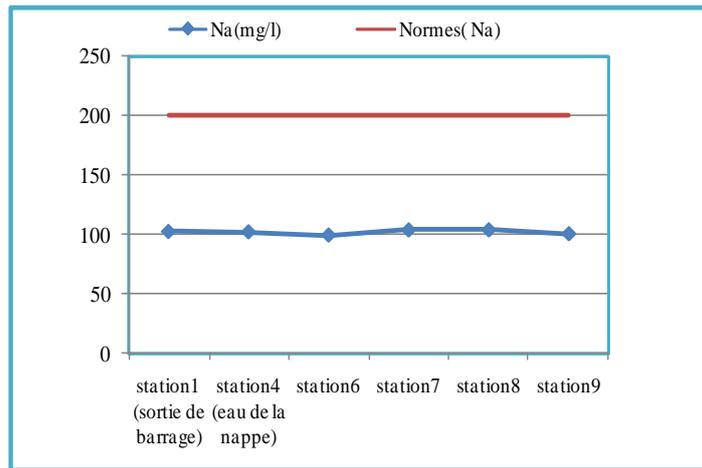


Fig.27 : La concentration en Sodium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

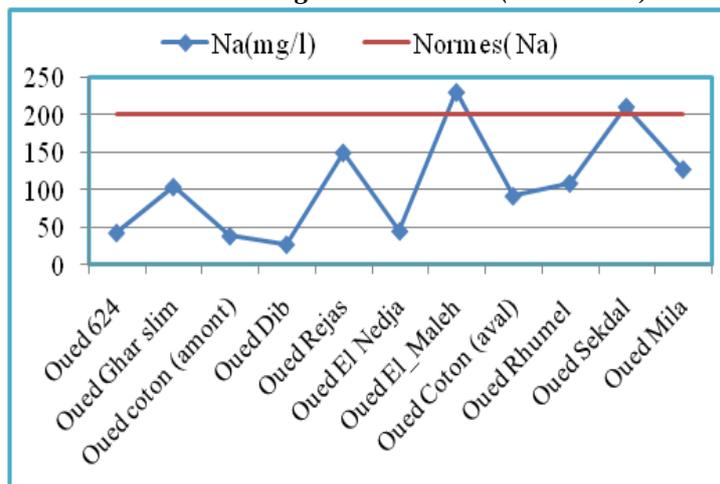


Fig.28 : La concentration en Sodium dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

La variation des teneurs en Sodium (fig.27, 28), montre que les eaux du barrage ont des concentrations en Na^+ presque homogènes (99,3 à 104mg/l), par contre les eaux des affluents présentent des teneurs oscillant entre 26,8mg/l (Oued Dib) et 230mg/l (Oued El-Maleh).

Généralement les teneurs moyennes en sodium des eaux de barrage Béni Haroun et ses affluents sont toujours dans l'intervalle fixé par les normes algériennes (200 mg/l) sauf les deux oueds (Sekdal et oued El-Maleh). Les concentrations en sodium sont dues à la dissolution des formations salifères surtout pour les Oueds El-Maleh et Sekdal (présence du Trias dans la géologie du bassin).

II.1.4. Le Potassium (K⁺)

Métal blanc argenté, alcalin, radioactif, très réactif à l'eau, se trouve dans la nature sous la forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite (très minéralisée en contact avec certaines évaporites) et se trouve également dans les centres des végétaux sous forme de carbonate ; Le potassium provient de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'Azote, Potasse et Phosphore) retrouvés dans les eaux usées agricoles.[29]

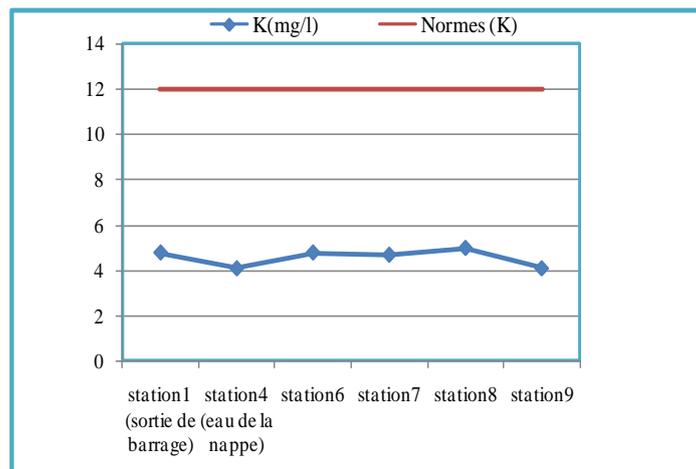


Fig.29 : La concentration de Potassium dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

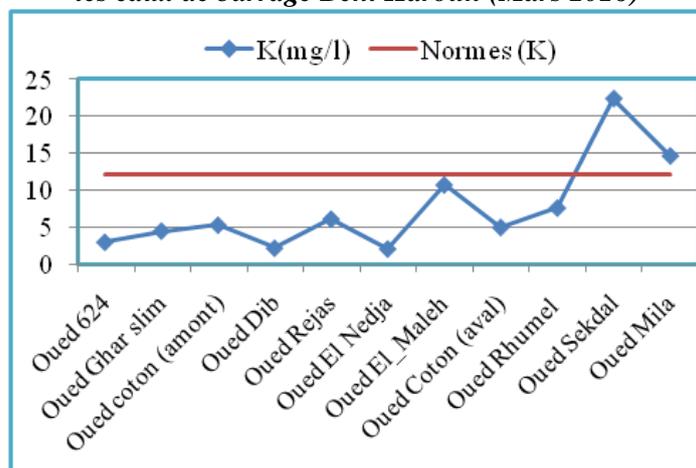


Fig.30 : La concentration de Potassium dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

La représentation graphique de l'évolution du Potassium (fig.29, 30), a montré des teneurs en potassium variant entre 4.1 et 5 mg/l au niveau des eaux du barrage, et entre 4.1 et 22.3 mg/l dans les eaux d'oueds. Les résultats obtenus montrent que la plupart des points ont des concentrations inférieures à la limite de potabilité (12 mg/l), sauf pour Oued Sekdal et Oued Mila, où on a enregistré successivement 22.3mg/l et 14.6mg/l, ces fortes concentrations sont

attribuées aux rejets des eaux usées (domestique et industrielles) pour Oued Mila, et au lessivage des terres agricoles suite à l'utilisation des engrais pour Oued Sekdal.

II.1.5. Les chlorures (Cl⁻)

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple, soit l'intrusion des eaux marines, ou la contamination par des eaux usées, soit la dissolution des sels par le lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leur présence en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. [27]

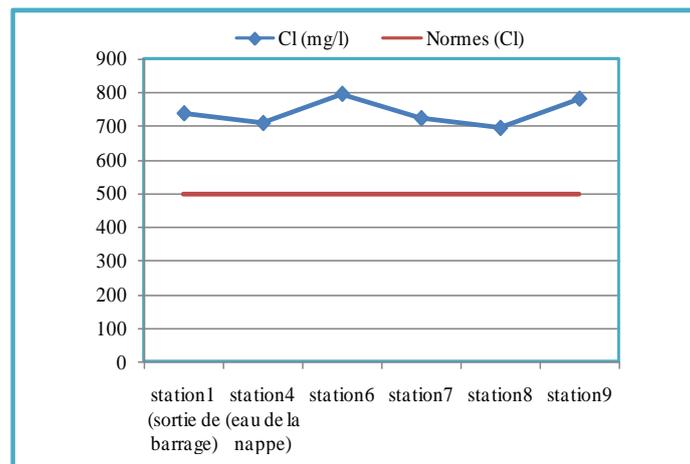


Fig.31 : La concentration de Chlorures dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

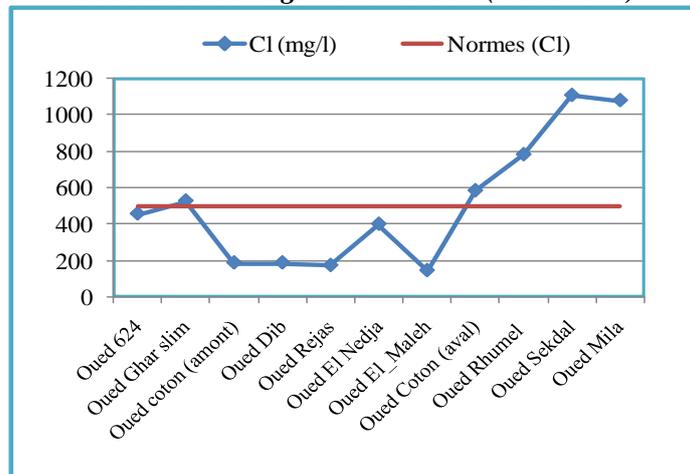


Fig.32 : La concentration du Chlorures dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016)

Les résultats d'analyse illustrés dans les figures (fig31, 32) montrent que les teneurs en chlorures sont comprises 695.8 mg/let 795.2 mg/l, dans les eaux du barrage, les lâchées du barrage présentent une concentration de 738.4 mg/l. Dans les Oueds les concentrations oscillent entre 142mg/l (Oued El-Maleh) et 1107,6mg/l (Oued Sekdal). Globalement, les concentrations en chlorures dépassent la norme algérienne pour toutes les stations de

prélèvement, toute fois au niveau des affluents on constate qu'il y a six Oueds dont les concentrations sont au-dessous de la norme.

L'origine des chlorures dans les affluents est due à la dissolution des formations salifères du Trias et du Mio-pliocène [30], cependant une origine supplémentaire des chlorures peut être attribuée aux eaux usées des agglomérations de Constantine et Mila, c'est le cas d'Oued Rhumel et Oued Mila qui présentent des fortes concentrations.

Pour les eaux du barrage les fortes concentrations en chlorures viennent de l'apport des affluents.

II.1.6. Les Bicarbonates (HCO_3^-)

Sel dérivé de l'acide carbonique à teneur réduite en hydrogène et contenant deux fois plus d'acide que le carbonate. La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie...) [30]

La concentration des eaux en HCO_3^- est fonction de la lithologie des terrains traversés (calcaire, dolomite), du pH de l'eau, de la tension de CO_2 et de la température de l'eau.

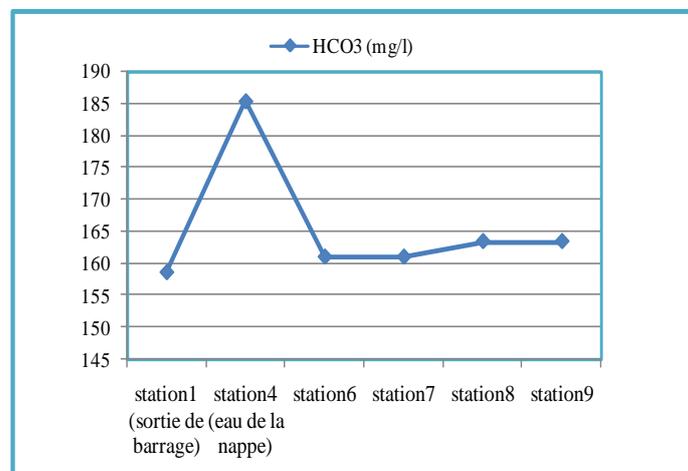


Fig.33 : La concentration des Bicarbonates dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

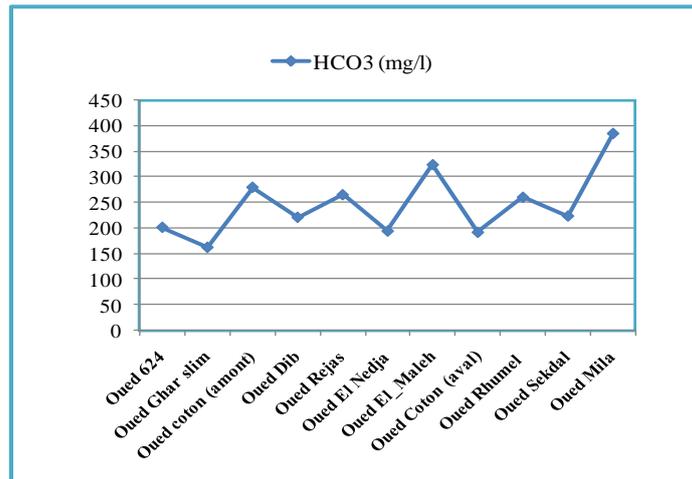


Fig.34 : La concentration des Bicarbonates dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016)

D’après les graphiques des bicarbonates (fig.33, 34), les résultats révèlent des teneurs varient de 158mg/l (Station 1) à 185,44 (Station 6). Concernant les affluents du barrage les concentrations oscillent entre 163.48mg/l (oued Ghar-Slim) et 382.52mg/l (oued El-Maleh). L’origine des bicarbonates est attribuée à la dissolution des calcaires Yprésiens (Oued Dib) et les calcaires lacustres du Mio-pliocène riche en calcite (oued Ghar-Slim, Rhumel, Sekdal et oued Redjas). Ces formations sont très abondantes dans le bassin versant du barrage.

II.1.7. Les sulfates (SO₄⁻²)

Les sulfates sont liés aux cations majeurs : Calcium, magnésium et sodium, leur concentrations dans les eaux naturelles est très variables mais ne dépassent pas le 1g/l. [7]

Le dioxyde de soufre atmosphérique (SO₂), résultant de la combustion des éléments fossiles, peut contribuer à l’apparition des sulfates dans les eaux superficielles.

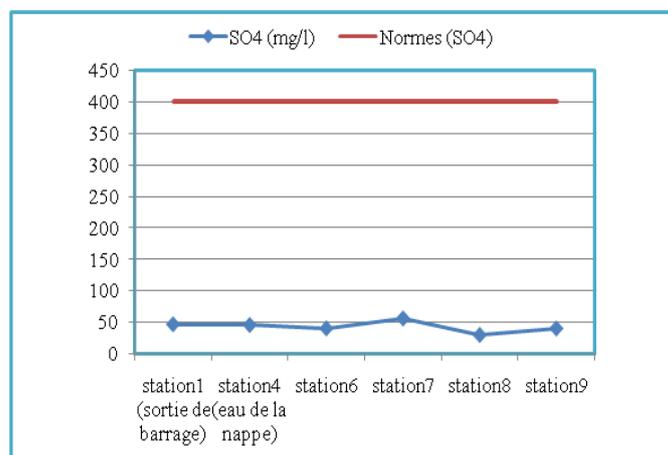


Fig.35 : La concentration des Sulfates dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

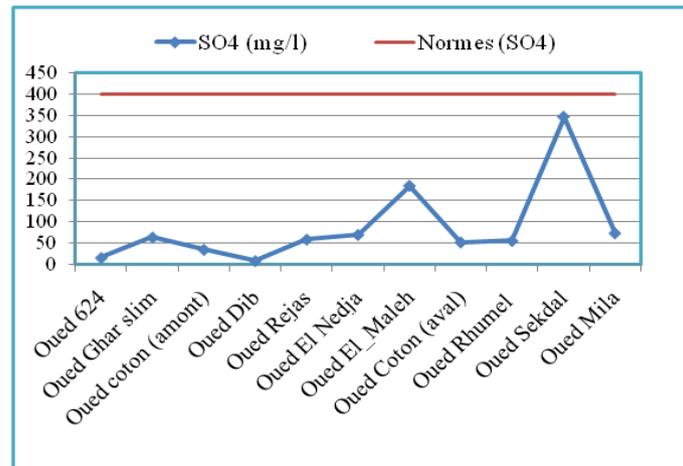


Fig.36 : La concentration des Sulfates dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

D'après les résultats illustrés dans les graphiques (fig.35, 36), on peut dire que les teneurs en sulfates sont généralement faibles, elles varient entre 30.11 mg/l (Station 8) et 55.73 mg/l (Station 7) pour les eaux de la retenue du barrage, et entre 7.99mg/l (Oued Dib) à 345.98mg/l (Oued Sekdal).

L'origine des ions sulfate due à la dissolution des formations triasiques contenues dans la région d'étude, une deuxième origine des sulfates peut être attribuée au Mio-pliocène par la présence des marnes gypsifères.

III. Les éléments mineurs naturels

III.1. Les Phosphates (PO_4^{-2})

Le phosphate (PO_4^{-3}) est un élément essentiel à la vie aquatique car il est considéré comme étant un sel nutritif. Il peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3 , pyro $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ et ortho H_3PO_4 . En milieu aqueux, les formes méta et pyro tendant vers la forme ortho pour des pH compris entre 5 et 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate sont données par : [31]



Selon Rodier et al. (2005), le phosphore joue un rôle très important dans le développement des algues ; il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs, où elles contribuent à l'eutrophisation

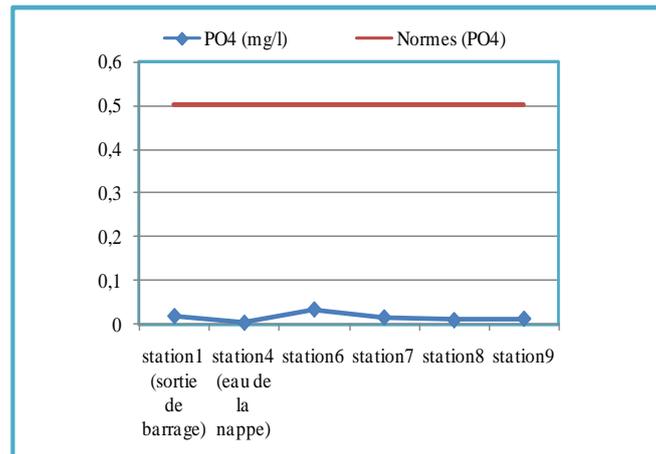


Fig.37 : La concentration des phosphates dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

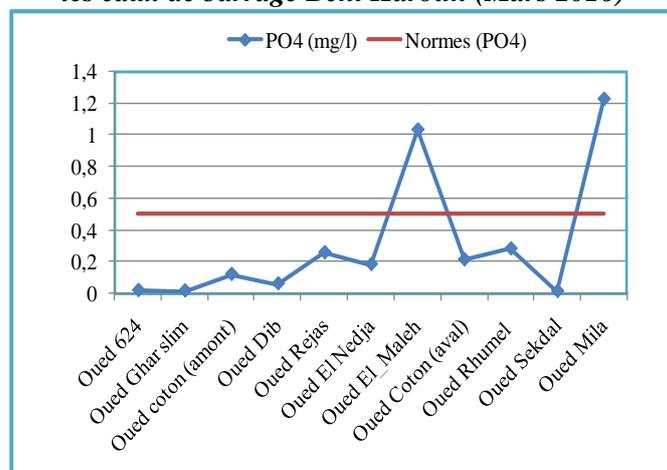


Fig.38 : La concentration des Phosphates dans les affluents de Barrage Béni Haroun (Mars 2016)

Les diagrammes ci-dessus (fig.37, 38), montrent que seules Oued El-Maleh et Oued Mila présentent des concentrations en phosphates dépassant la norme (0,5 mg/l), ils varient entre 1mg/l et 1.22 mg/l successivement pour Oued El-Maleh et Oued Mila. Leur origine est due d'une part aux rejets urbains et d'autre part au lessivage des terres agricoles traitées par les engrais chimiques.

III.2. Le Fer (Fe)

Le Fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre parmi les métaux lourds par ordre d'abondance. On le trouve surtout sous forme Fe^{+2} ou Fe^{+3} . Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite (Fe^{+2}), qui est soluble. Ce dernier est oxydé en Fe^{+3} par le contact avec l'oxygène de l'air, le Fe^{+3} précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et sont précipités ou adsorbés par les sédiments. [32]

La présence du Fer dans l'eau peut avoir diverses origines : lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol ; rejets industriels (pollutions minières, métallurgiques, sidérurgiques). [29]

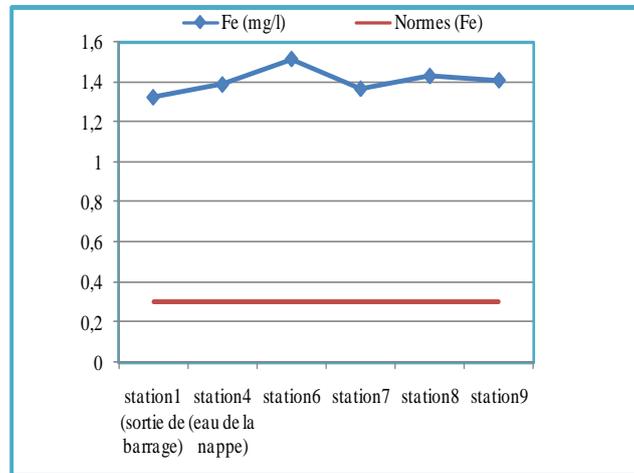


Fig.39 : La concentration de Fer dans les eaux de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

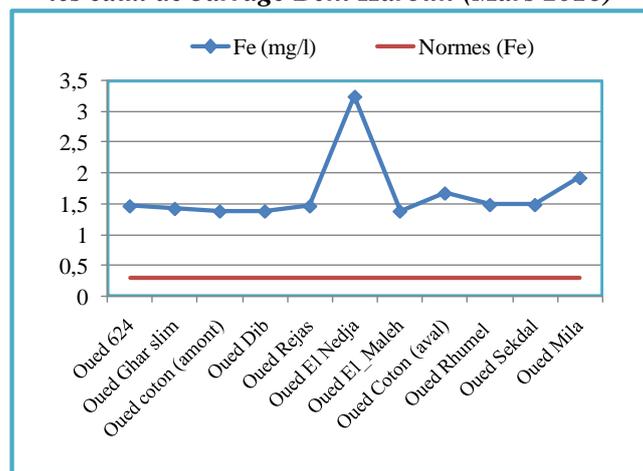


Fig.40 : La concentration de Fer dans les affluents de barrage Béni Haroun (Mars 2016)

L'analyse des résultats (fig.39,40), montrent que les échantillons analysés de eaux superficielle dépassent largement les normes de potabilité (0.3mg/l) pour les eaux de barrages Béni Haroun avec une valeur minimale 1.36 mg/l signalée dans la station7 et une valeur maximale 1.51 mg/l enregistrée au niveau de la station 6, Les eaux des lâchées de barrage ont une valeur de 1.32mg/l. Dans les oueds on a enregistré un pic de 3.23mg/l au niveau d'oued El -Nedja, mais pour les autres Oueds on a des valeurs oscillant entre 1.36 à 1.91mg/l.

Les fortes teneurs en fer sont expliquées essentiellement par le tissu industriel est surtout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid, Hama Bouziane, Mila,...). [21]

Les eaux usées industrielles représentent une importante source de contamination de l'Oued Rhumel, Il s'agit des rejets (en partie traités) des industries de construction mécanique d'Ain Smara ainsi que ceux générés par les unités de textiles et les unités de produits laitiers de Constantine, par le complexe tabagique de la commune d'Ibn Badis, par le dépôt d'hydrocarbures d'El Khroub, par la cimenterie de Hamma Bouziane, par les unités de matériaux de construction et autres. Ils ont pour milieux récepteurs, l'oued Rhumel et son principal affluent, puis la forte concentration du fer au niveau d'oued El-Nedja est généralement définie par les eaux usées industrielle de Ferjioua (matériel électroménager, minoterie) qui rejette directement vers l'oued.

Les concentrations en fer assez élevées au niveau de oued Mila et Redjas dont l'origine est due naturellement par lessivage des formations argileuses rouges et ferrugineuses du quaternaire.

IV. Le cycle d'Azote

L'azote est présent au niveau de la zone des rejets sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium). Le cycle de l'azote est caractérisé par trois réservoirs : azote organique (acides aminés, protéines...), azote minéral (NO_3^- ...) et composés gazeux (N_2 , NH_3 , N_2O ...) et est régi par des processus chimiques et biologiques permettant le passage d'une forme azotée à l'autre (fig.41). Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation, cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en CO_2 et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau.

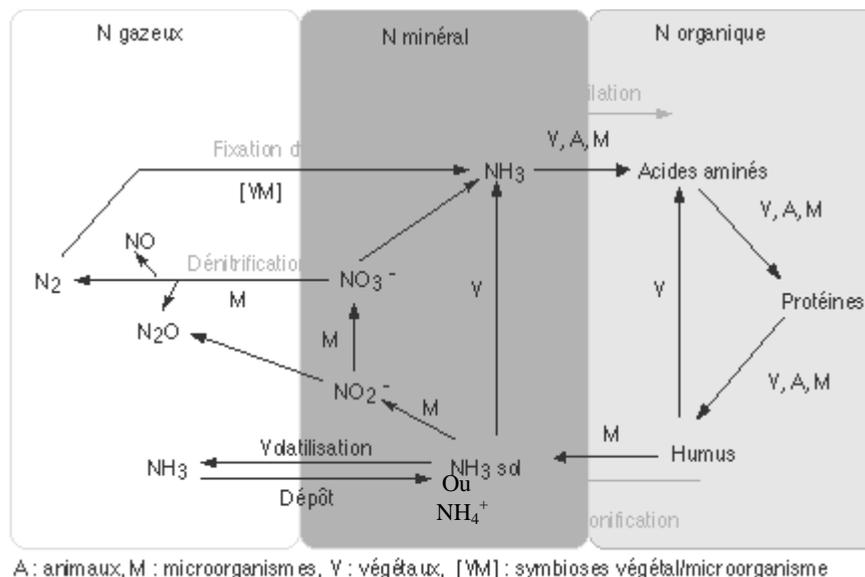


Fig.41 : Cycle de l'azote

IV.1. Azote Ammoniacale (NH₄⁺)

Radical monovalent agissant comme un métal alcalin dans les sels ammoniacaux. C’est la forme d’azote la plus toxique, La teneur en azote ammoniacal dans les eaux naturelles devrait être relativement faible puisque l’ammoniaque est oxydée graduellement en nitrite et en nitrates, sa présence dans l’eau est liée aux rejets urbains et industriels.[33], dans les eaux souterraines NH₄⁺est présenté fréquemment sans être indice de pollution par contre dans les eaux de surface NH₄⁺ présent seulement dans les eaux polluées [34] il peut avoir pour origine : la matière organique végétale des cours d’eau, la matière organique animale ou humaine, les rejets industriels (engrais, textiles...). [26]

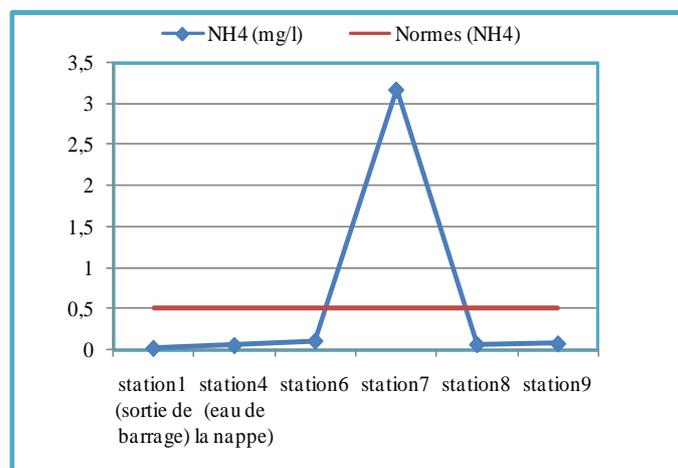


Fig.42 : La concentration du Ammonium dans les eaux de barrage Béni Haroun

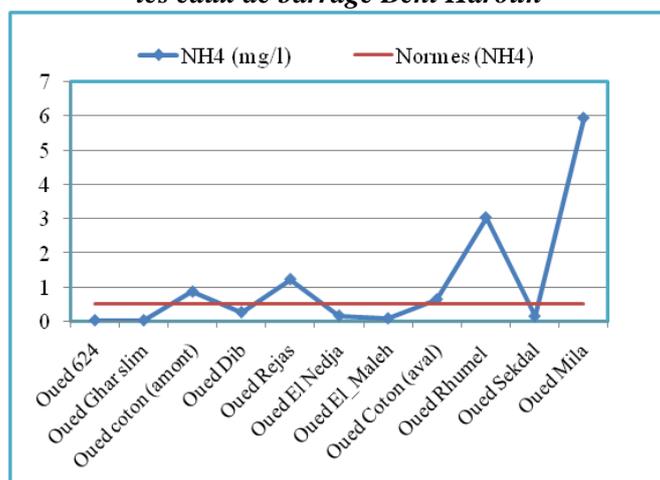


Fig.43 : La concentration de l'Ammonium dans Les affluents de barrage Béni Haroun

D’après les résultats illustrés dans les figures ci-dessus, on remarque que les teneurs en azote ammoniacal dans les eaux de barrage varient de 0.047mg/l au niveau de la station4 (eau souterraine) à 3.17mg/l enregistrée à la station7, au niveau des lâchées de barrage la

concentration est de 0.012mg/l. Concernant les eaux des affluents, les concentrations sont très variables dont les plus élevées sont au niveau d'Oued Mila (5.92mg/l) et Oued Rhumel (3.01mg/l), ces fortes teneurs qui dépassent largement la norme Algérienne (0,5mg/l) sont dues aux rejets des eaux usées des villes de Mila et Constantine. Nous remarquons une diminution de l'amont vers l'aval pour Oued Coton due au phénomène d'oxydation des formes ammonium.

IV.2. Les Nitrites (NO_2^-)

L'azote nitreux (NO_2^-) représente une forme moins oxygénée et moins stable représentant ainsi la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique. Les nitrites sont dus à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium. [29]

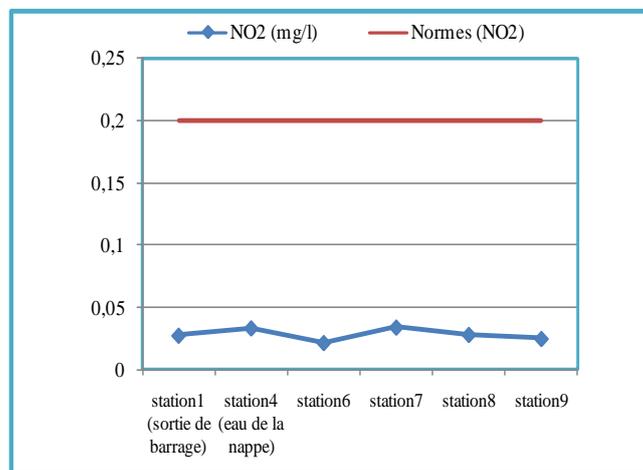


Fig.44 : La concentration des Nitrites dans les eaux de barrage Béni Haroun

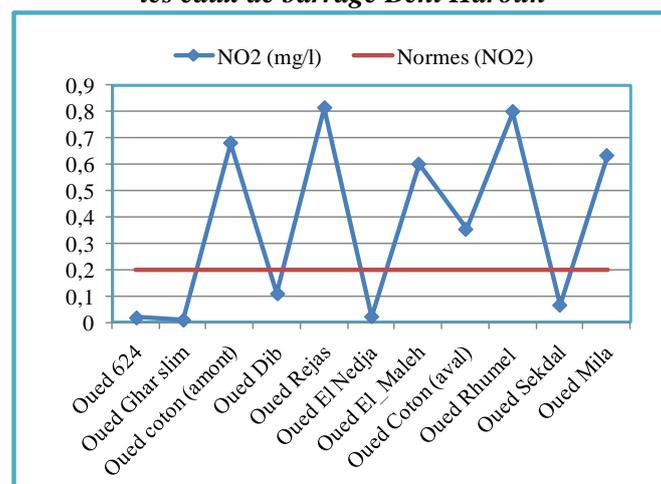


Fig.45 : La concentration des Nitrites dans Les affluents de barrage Béni Haroun

L'allure des courbes de variation des teneurs en nitrites (fig.44, 45), montre que les valeurs les plus élevées sont relevées dans les affluents du barrage où elles atteignent 0,81mg/l à Oued

Redjas. Cet excès peut être expliqué par la transformation biologique de l'ammonium en nitrates.

Les eaux de la retenue du barrage ont des faibles teneurs en NO_2^- (inférieures à la norme), ces faibles concentrations peuvent être expliquées par la dilution des nitrites ou par la transformation des formes nitrites en nitrate (oxydation).

IV.3. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. Leur présence dans l'eau est liée à l'utilisation des engrais chimique et des rejets domestiques [36]. En général, les eaux de surface ne sont pas chargées en nitrates à plus de 10 mg/l NO_3^- (O.M.S, 1989). En admettant des teneurs naturelles en nitrates dans les rivières de l'ordre de 3 mg/l NO_3^- .

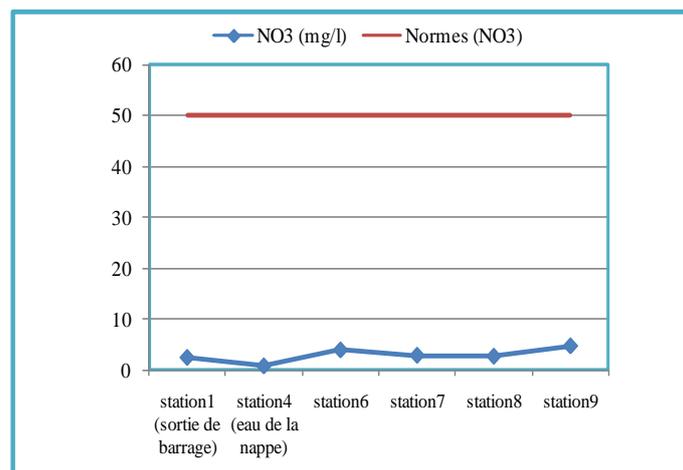


Fig.46 : La concentration des Nitrates dans les eaux de barrage Béni Haroun

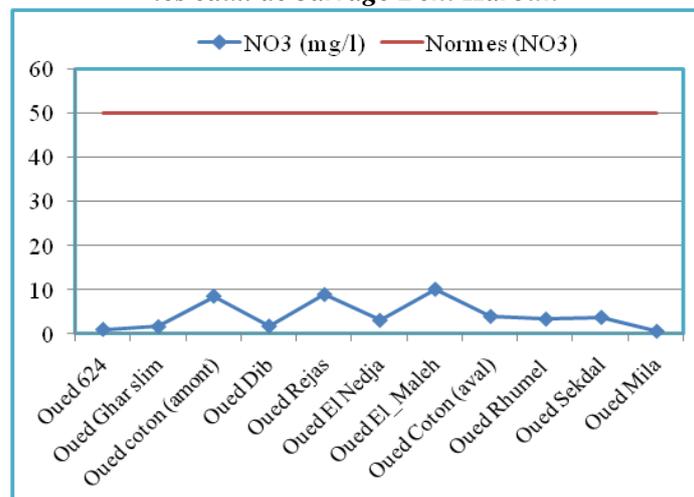


Fig.47 : La concentration des Nitrates dans les affluents de barrage Béni Haroun

Généralement, les teneurs en nitrates des eaux du barrage sont faibles et restent toujours inférieures aux normes (50 mg/l) pour toutes les stations (*fig.46, 47*). Elles oscillent entre 0,84 et 3.9mg/l, ces faibles teneurs sont dues à l'effet de dilution suite aux précipitations qui précèdent la campagne de prélèvement. Les eaux des affluents présentent aussi les concentrations faibles en nitrates (*fig.47*), expliquées soit par la dilution des forme nitrate, soit le phénomène de transformation de l'ammonium en nitrate n'est pas encore achevé, c'est le cas d'Oued Mila et Oued Rhumel.

V. Faciès chimique des eaux

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques des éléments majeurs: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^- était nécessaire pour bien identifier les faciès hydro-chimiques et avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de Barrage Béni Haroun et ces affluents. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours à la formule ionique pour le calcul des quantités en réaction et la classification des ions et au diagramme de Piper pour la représentation graphique des résultats. La réalisation de ce dernier a été faite grâce au logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004). [27]

V.1. Formule ionique

La formule ionique consiste à calculer le pourcentage de chaque ion (r %) par rapport à la somme des autres ions (C) :

$$r\% = (c * 100) / C$$

Avec ;

c: concentration de l'ion considéré en meq/l

C : somme des ions en meq/l

Cette formule a pour but de classer par ordre décroissant les quantités en réaction (en meq/l) des groupes anions et cations et permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux et de les classer selon la même origine

V.2. Diagramme de Piper

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

L'interprétation des résultats d'analyses hydro-chimiques permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de notre zone d'étude, leur évolution, ainsi que sur les conditions naturelles qui sont à l'origine de ces faciès.

➤ Eaux de Barrage

La représentation des données physico-chimiques des eaux de Barrage Béni Haroun au niveau de différentes stations sur le diagramme de Piper (fig.48) a montré l'existence de trois faciès -

- Chloruré-sodique pour les stations 1,7 et 9 ;
- Chloruré-magnésien pour les stations 4 et 8 ;
- Chloruré calcique pour la station 6.

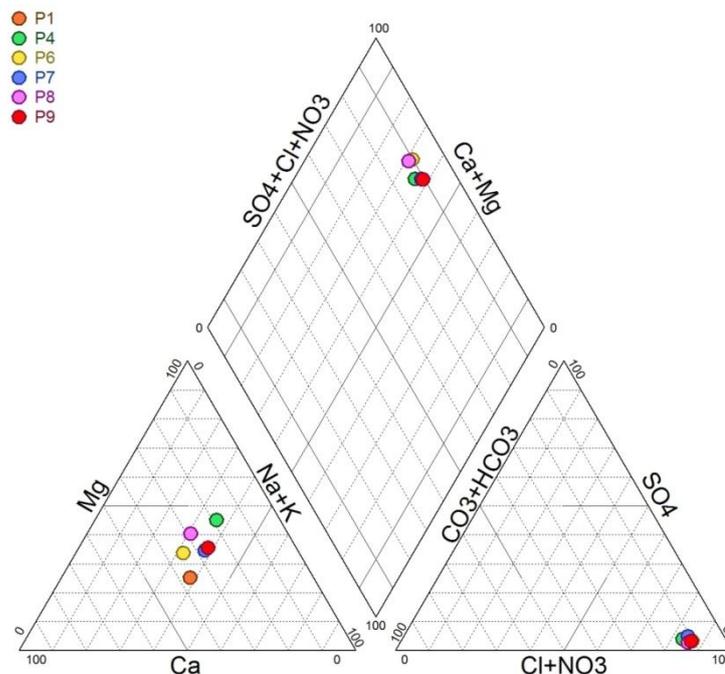


Fig.48 : Faciès chimiques des eaux de barrage Béni Haroun selon le diagramme de Piper

➤ Les eaux des affluents

La représentation graphique des résultats analytiques sur le diagramme triangulaire de Piper (fig. 49), pour les différents échantillons prélevés au niveau des Oueds a montré une dominance remarquable du faciès chloruré-magnésien, il concerne Oued Dib, Oued Redjas, Oued El-Nedja, Oued El-Rhumel Oued Mila et oued Coton aval, puis un faciès Chloruré-

calcique pour Oueds 627, Ghar-Slim et Oued Coton amont, et en fin Chloruré-sodique pour Oued El-Maleh et Oued Sekdal.

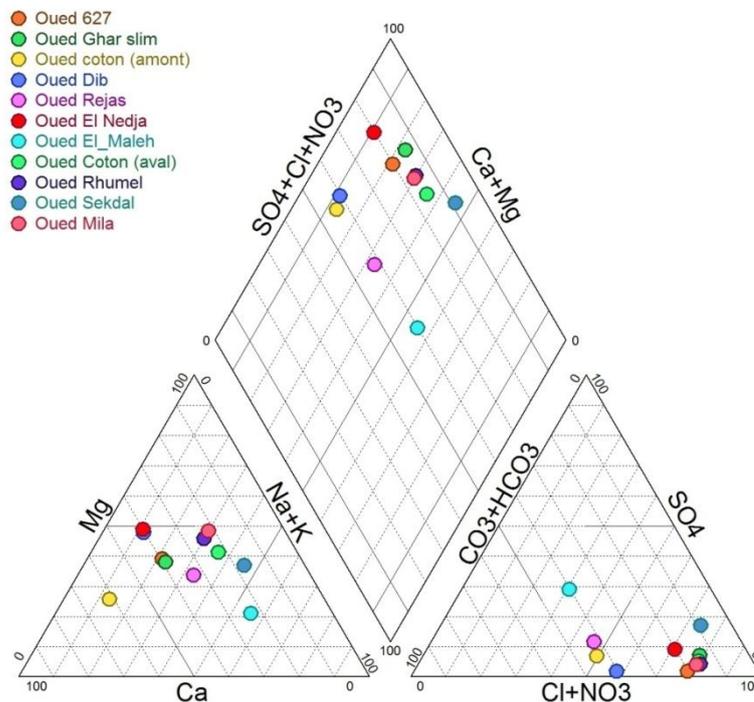


Fig.49 : Faciès chimiques des eaux des affluents selon le diagramme de Piper

VI. Origine des éléments chimiques

VI.1. Les rapports caractéristiques

On appelle rapport caractéristique, le rapport de certains éléments chimiques exprimé en quantité en réaction.

Les eaux s'écoulent sur un matériel très hétérogène (des calcaires, des graviers, des dépôts évaporitiques...etc.). Le parcours d'écoulement et les formations traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. Dans ce sens les rapports caractéristiques à pour objectif de déterminer l'origine probable de tous les ions, en se basant sur les mesures et les analyses chimiques de tous les échantillons.

VI.1.1. Les éléments Na^+ - Cl^-

Dans les eaux naturelles, la présence des deux éléments Na^+ et Cl^- est attribuée à la dissolution de la halite que l'on rencontre dans les formations triasiques. Cependant, les chlorures comme le sodium peuvent avoir d'autres origines (naturelles ou anthropiques).

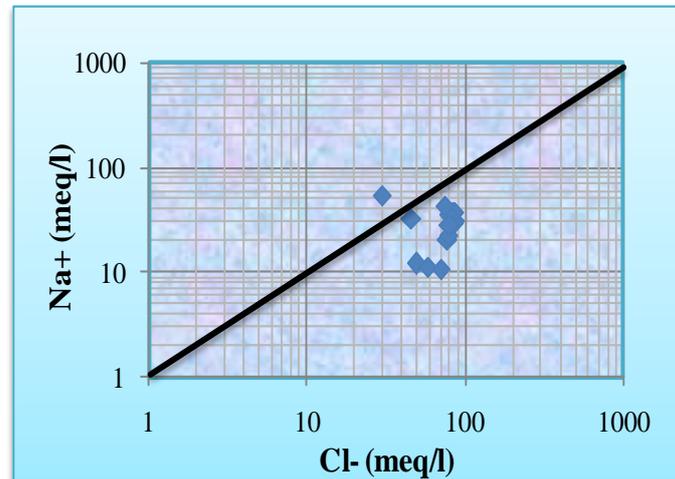


Fig.50 : Le couple Na^+ , Cl^-

La représentation graphique de l'évolution du Na^+ en fonction de Cl^- (fig.50) a montré un excès des teneurs en chlorure par rapport à la pente égale à 1 dans tous les points d'eau sauf oued El-Maleh, s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions chlorure (les eaux usées) autre que l'halite qui a fait accroître la concentration des chlorures par rapport à celle de sodium.

VI.1.2. L'origine de Calcium (Ca^{+2})

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme des eaux. De ce fait le faciès calcique a été étudié à l'aide de trois diagrammes, à cause de sa double origine (carbonatée et évaporitiques).

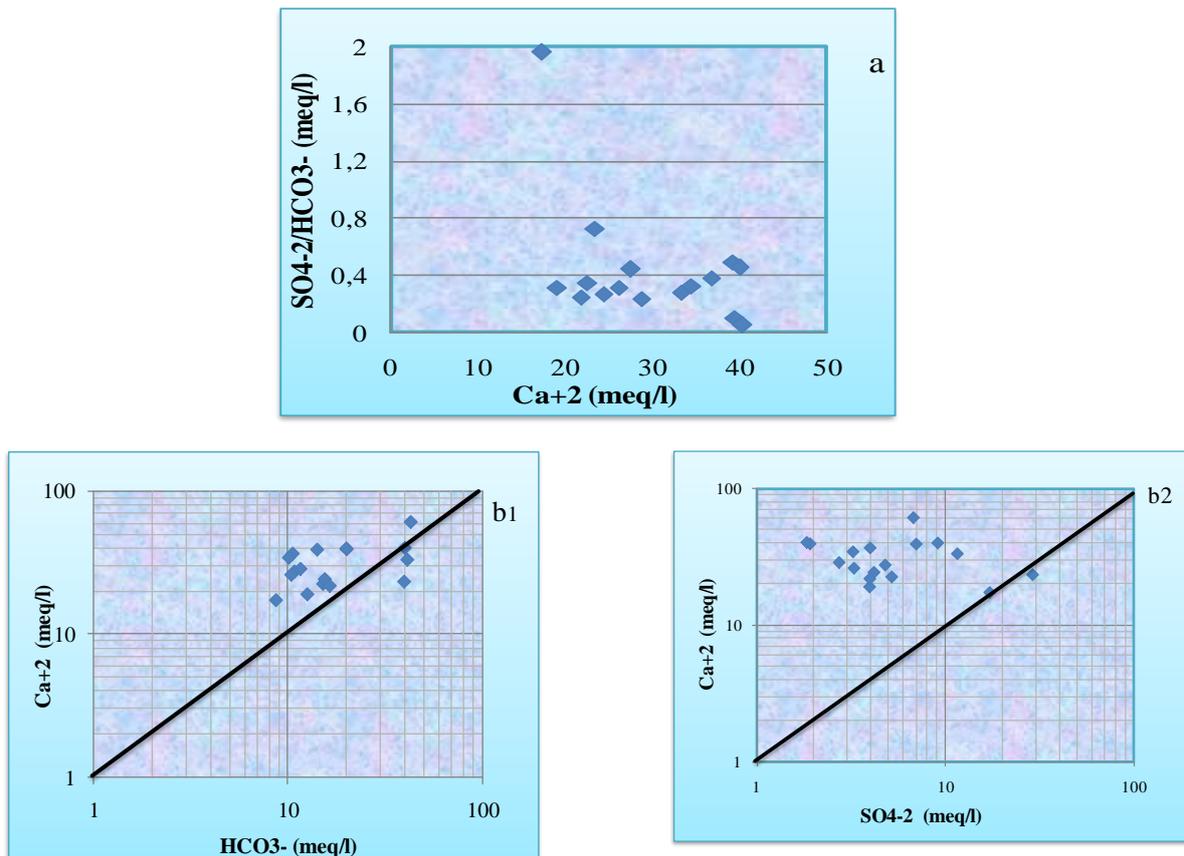


Fig.51 : Détermination de l'origine du Calcium

Pour déterminer l'origine carbonatée ou gypsifère du calcium, nous avons établi un graphique représentant l'évolution du calcium en fonction du rapport sulfates-bicarbonates (*fig.51, a*). L'analyse de ce graphique montre que tous les échantillons se localisent dans la partie où le rapport est inférieur à 1, ce qui confirme l'origine carbonatés du calcium sauf oued Sekdal et oued El-Maleh lorsque son origine est gypsifère. Cependant, la corrélation entre HCO_3^- et Ca^{+2} dans la relation Ca^{+2} vs HCO_3^- (*fig.51, b1*) et l'excès en calcium observé dans la relation Ca^{2+} vs SO_4^{-2} (*fig.51, b2*) confirme son origine carbonaté.

VI.1.3. Le couple Ca^{2+} - Mg^{2+}

La représentation de l'évolution du calcium en fonction du magnésium montre trois évolutions (*fig. 52*):

- Lorsque le rapport est égale à 1, l'évolution du calcium et le même que le magnésium c'est le cas de la station6, oued 627 et oued El-Maleh, du probablement à l'existence de même origine pour les deux ions.

- Lorsque le rapport est supérieur à 1, un excès en ions du calcium c'est le cas d'oued Coton et la station1 (sortie du barrage), dû probablement à la dissolution des formations gypseuses qui constituent un apport supplémentaire de calcium.
- Si ce rapport est inférieur à 1, un excès en ions du magnésium cet excès est expliqué par le phénomène du dédolomitisation qui serait provoqué par la dissolution irréversible des sulfates accompagnée de la dissolution de la dolomite et la précipitation de la calcite (Le faciès magnésien peut être lié à la présence d'argiles ou de dolomies riche en magnésium, ou d'un échange cationique entre le Ca^{2+} et le Mg^{2+}).

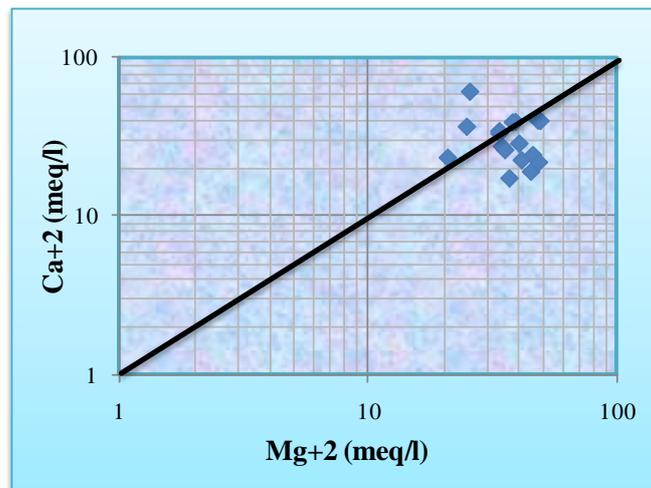


Fig.52 : Relation entre calcium et magnésium dans les eaux de barrage de Béni Haroun et ses affluents

VI.1.4. Les éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-}

Pour mieux comprendre l'influence des concentrations des anions sur la minéralisation des eaux, nous avons essayé de représenter leur évolution en fonction de la conductivité électrique.

L'interprétation de la (fig53) montre que la conductivité électrique n'évolue pas avec les avec les sulfates ce qui indique que les sulfates n'influent pas la minéralisation des eaux, par contre une évolution proportionnelle est remarquable entre les chlorures, les bicarbonates et la conductivité. Ce qui nous a permis de constater que la conductivité est due, soit à la dissolution des formations carbonatées, soit la dissolution des formations salifères.

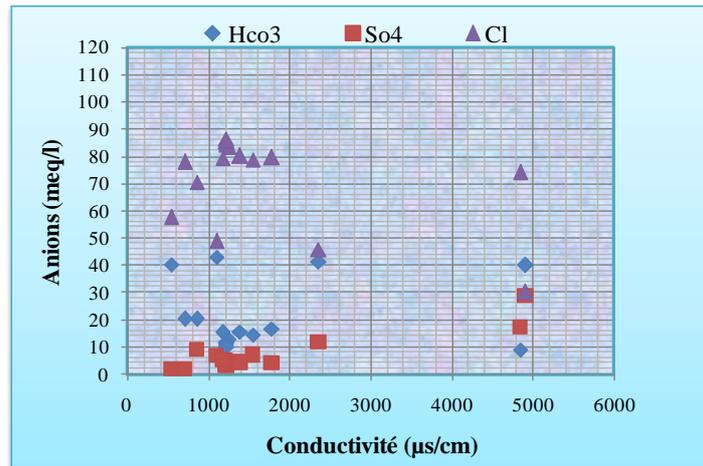


Fig.53 : Evolution des anions en fonction de la CE

VI.1.5. Les éléments Cl⁻ et HCO₃⁻

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le HCO₃⁻ provient des formations carbonatées et le Cl⁻ provient de la dissolution de l’halite et de la pollution anthropique. Nous avons associé l’évolution de ces ions à la conductivité électrique pour mettre en relief la façon selon laquelle ils s’évaluent et déterminer lequel d’entre eux est influé sur la salinité des eaux de barrage Béni Haroun et ses affluents.

L’interprétation du graphique (fig.54), a révélé que la majorité des points d’eau présente un rapport (Cl⁻/HCO₃⁻) supérieur à 1, indiquant ainsi la dominance des ions Cl⁻ par rapport aux ions HCO₃⁻, ce qui confirme la dominance du faciès chlorurés calcique et sodique. Sauf oued El-Maleh qui présente une valeur du rapport (Cl⁻/HCO₃⁻) inférieur à 1, indique le faciès carbonaté.

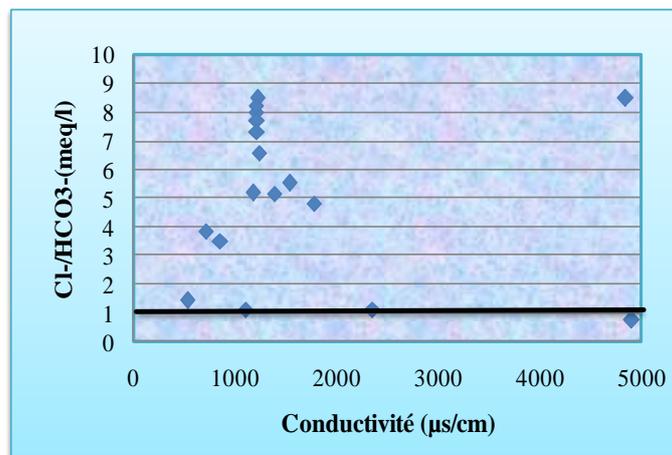


Fig.54: Evolution de la conductivité électrique en fonction de rapport Cl⁻/HCO₃⁻

VII. Indice d'échange de base (i.e.b)

L'indice d'échange de base défini par Schoeller, (1934) est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation

$$\text{ieb} = \frac{r_{Cl^-} - r_{(Na^+ + K^+)}}{r_{Cl^-}}$$

- Si l'ieb est négatif, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes. c'est-à-dire lorsqu'il y a échangé des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des permutolites.
- Si l'ieb est positif, les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} des formations encaissantes.

L'utilisation de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain. L'interprétation des données de l'ieb calculé (Annexe IV) a montré que la majorité des eaux de barrage Béni Haroun et ses affluents ont un ieb positif, ce qui vérifie la prédominance de faciès calcique sauf oued El-Maleh, où à un ieb négatif, ce qui indique à un échange de base.

La *fig55* montre que oued Sekdal, oued Dib et oued Redjas restent à l'état naturel, ils n'ont pas subi un échange de base puisque peut être le temps de contact sol-eau n'est pas suffisant.

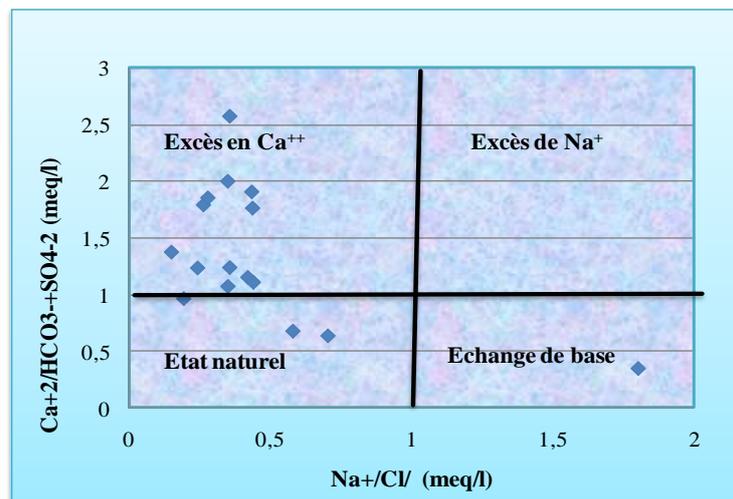


Fig.55 : Echanges de bases dans les eaux de barrage Béni Haroun et ses affluents

VII. Variation de la chimie des eaux en fonction de la profondeur

Afin de voir la variation de la chimie des eaux en fonction de la profondeur d'eau, nous avons choisi deux stations de prélèvement, la première au niveau de la digue, dont nous avons fait des prélèvements à un pas de profondeur de 5m, et la deuxième au milieu du barrage à un pas de prélèvement de 10m, après les analyses physico-chimiques ont été faites pour 16 éléments chimiques. Les résultats obtenus sont illustrés dans les graphiques ci-dessous.

VII.1. Interprétation des résultats pour la station 1

Les résultats de la station 1 montre une diminution des valeurs d'Eh en fonction de la profondeur, ceci est dû au manque d'oxygène qui se diminue en allant vers le fond de barrage. Les polluants organiques montrent des fluctuations parfois à la hausse, parfois à la baisse, ces fluctuations peuvent être expliquées par la perturbation des eaux du barrage à cause des intempéries qui précèdent la campagne de prélèvement. Les éléments majeurs, ainsi que le fer présentent des faibles variations à cause ; d'une part le mélange des eaux superficielles avec les eaux profondes par les courants de convection, et d'autre part la dilution des eaux par les eaux des précipitations, sachant que les jours qui précèdent la campagne de prélèvement sont caractérisés par des fortes pluies. La conductivité électrique a subi une diminution puis une augmentation, mais toujours avec des faibles fluctuations ce qui montre la forte perturbation de l'eau.

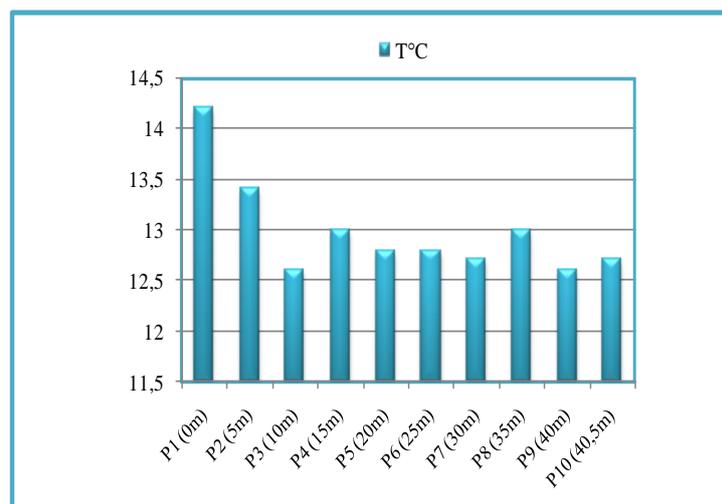


Fig.56 : Evolution des températures en fonction de profondeur pour la station 1

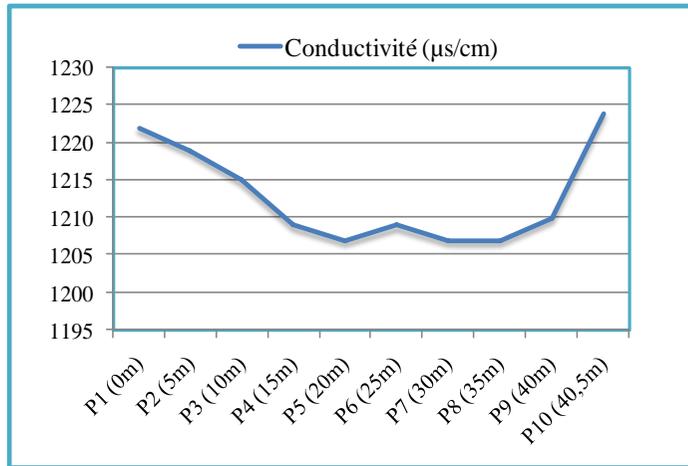


Fig.57 : Evolution de la conductivité en fonction de profondeur pour la station 1

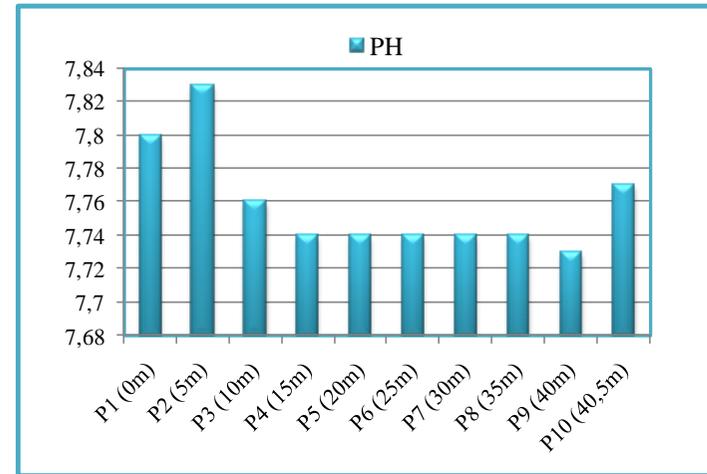


Fig.58: Evolution de pH en fonction de profondeur pour la station 1

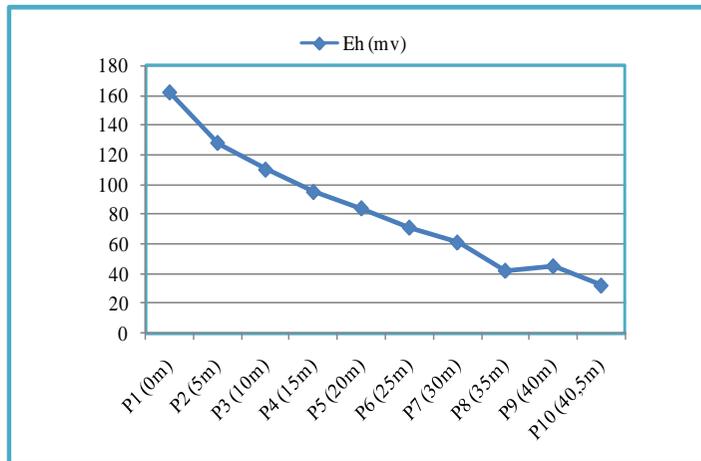


Fig.59 : Evolution de Eh en fonction de profondeur pour la station 1

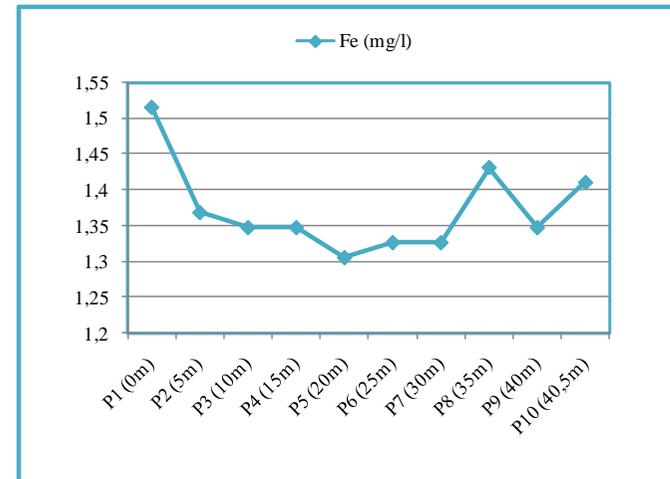


Fig.60 : Evolution de la teneur en Fer en fonction de profondeur pour la station 1

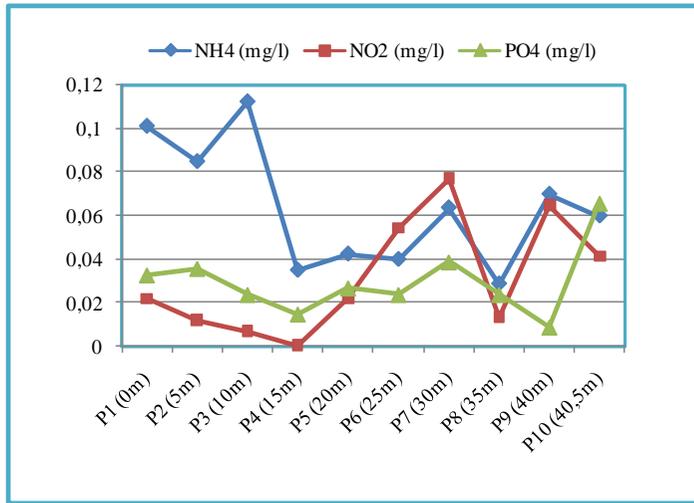


Fig.61 : Evolution des teneurs en NH₄⁺, NO₂⁻ et PO₄³⁻ en fonction de profondeur pour la station 1

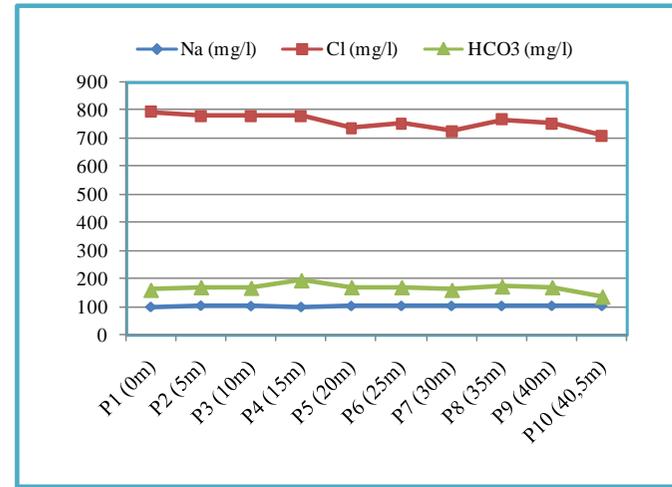


Fig.62 : Evolution des teneurs en Na⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ en fonction de profondeur pour la station 1

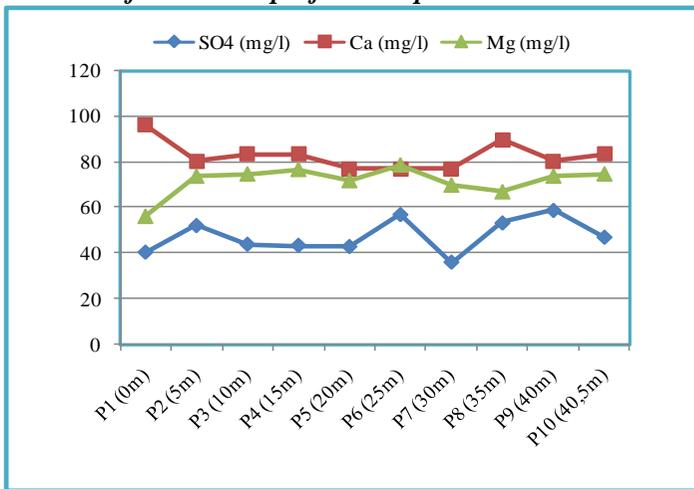


Fig.63 : Evolution des teneurs en SO₄²⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺ en fonction de profondeur pour la station 1

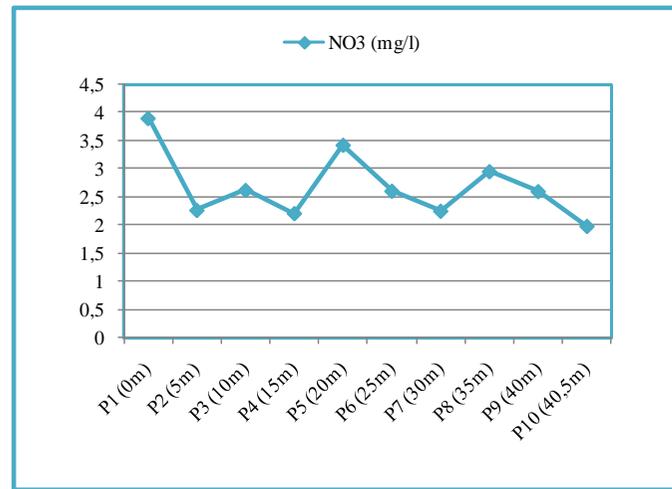


Fig.64 : Evolution de la teneur en NO₃⁻ en fonction de profondeur pour la station 1

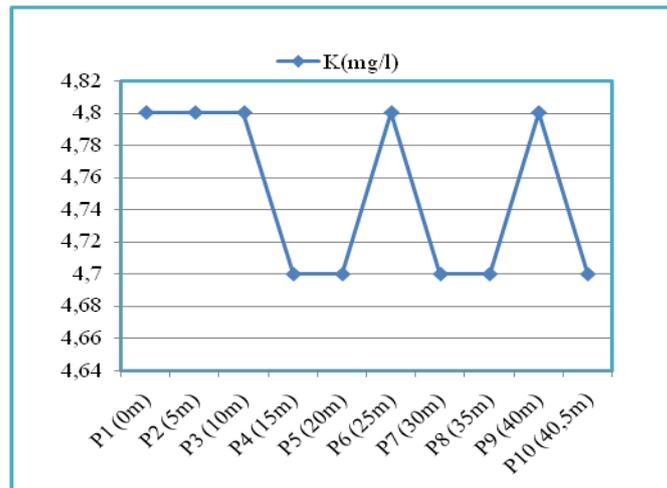


Fig.65 : Evolution de la teneur en Potassium en fonction de profondeur pour la station 1

VII.2. Interprétation des résultats pour la station2 (Oued Rhumel)

Dans la station 2 au milieu du barrage, on note une augmentation des valeurs de Eh jusqu'à la profondeur 50m, puis une diminution à la profondeur 60m, cette variation de Eh est accompagnée par une chute brutale des teneurs des éléments organiques (ammonium, nitrite, nitrate et phosphates) entre les eaux de surface et les eaux de la profondeur 10m, puis les concentrations se stabilisent avec des légères variations jusqu'à le fond du barrage. Ces résultats indiquent la forte perturbation des eaux du barrage. En ce qui concerne les éléments majeurs, on note toujours des faibles fluctuations, sauf le calcium qui révèle des variations remarquables, aussi il comporte inversement au magnésium, ceci peut être dû à l'influence des apports des affluents, ou à un échange entre le calcium et le magnésium. Le fer et la conductivité présentent des fluctuations parfois à la hausse, parfois à la baisse ce qui démontre la forte agitation du milieu. La température reste presque constante, explique l'absence de stratification, et la présence d'agitation en relation toujours avec les fortes pluies qui précèdent notre campagne de mesure physico-chimique

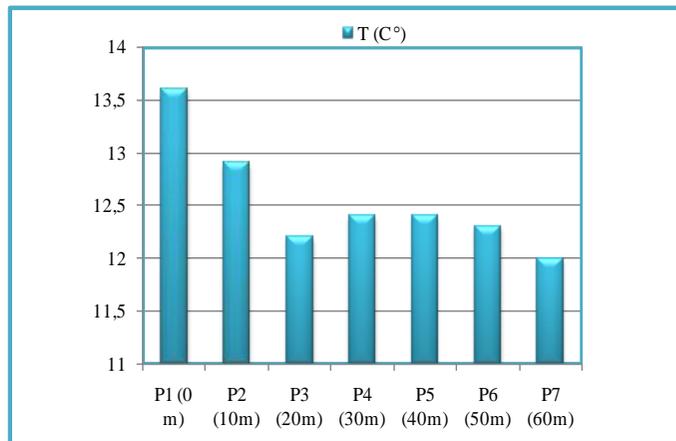


Fig.66 : Evolution des températures en fonction de profondeur pour la station 2

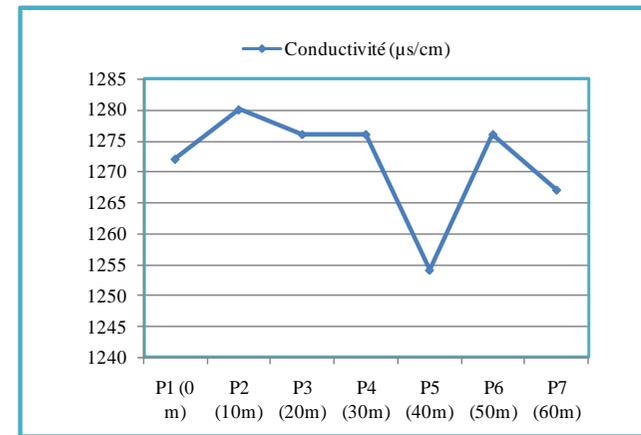


Fig.67 : Evolution de la conductivité en fonction de profondeur pour la station 2

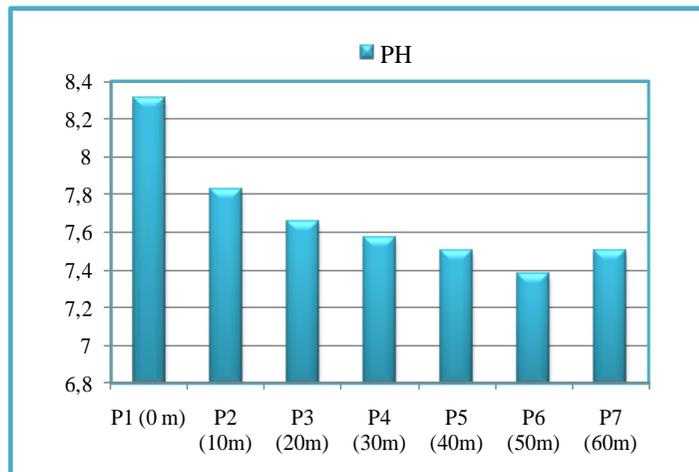


Fig.68: Evolution de pH en fonction de profondeur pour la station 2

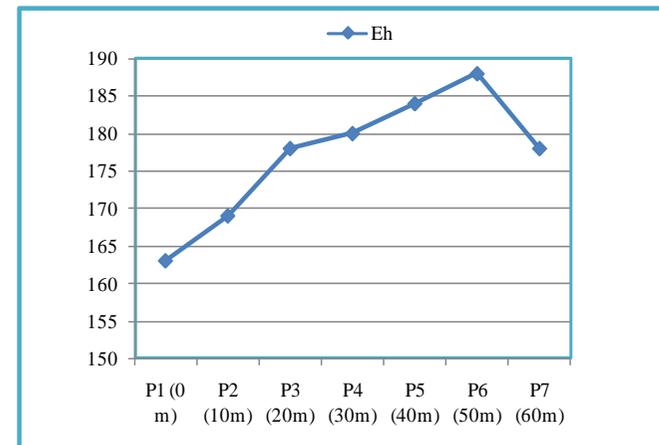


Fig.69 : Evolution de Eh en fonction de profondeur pour la station 2

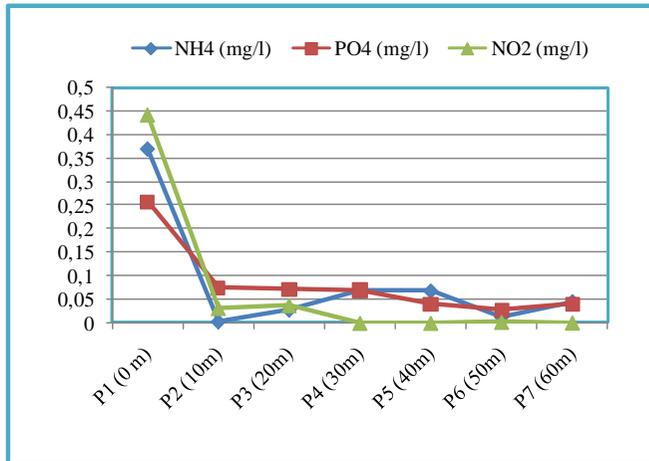


Fig.70 : Evolution des teneurs en NH₄⁺, NO₂⁻ et PO₄³⁻ en fonction de profondeur pour la station 2

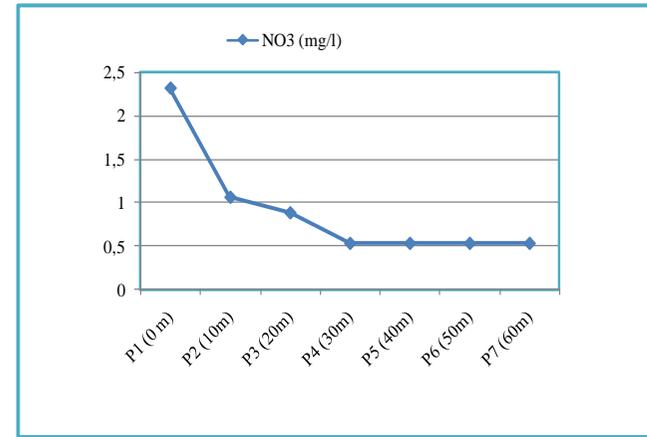


Fig.71 : Evolution de la teneur en NO₃⁻ en fonction de profondeur pour la station 2

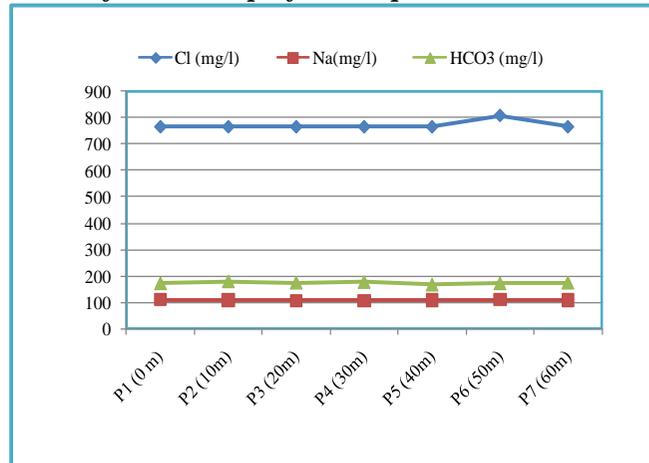


Fig.72 : Evolution des teneurs en Na⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ en fonction de profondeur pour la station 2

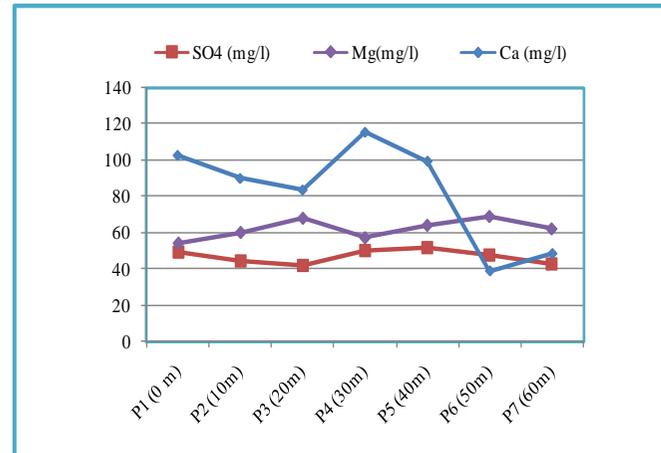


Fig.73: Evolution des teneurs en SO₄²⁻, Ca⁺² et Mg⁺² en fonction de profondeur pour la station 2

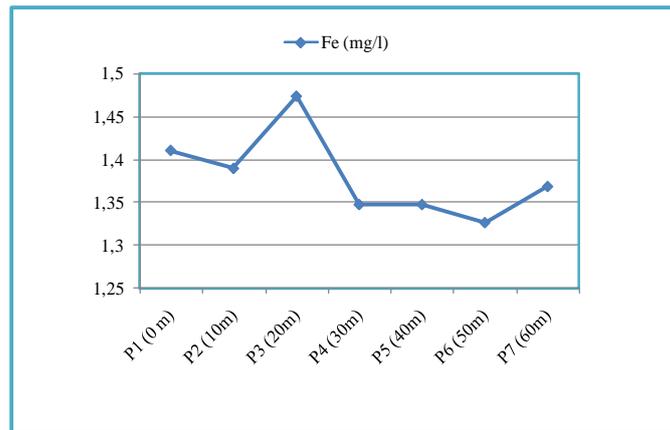


Fig.74 : Evolution de la teneur en Fer en fonction de profondeur pour la station 2

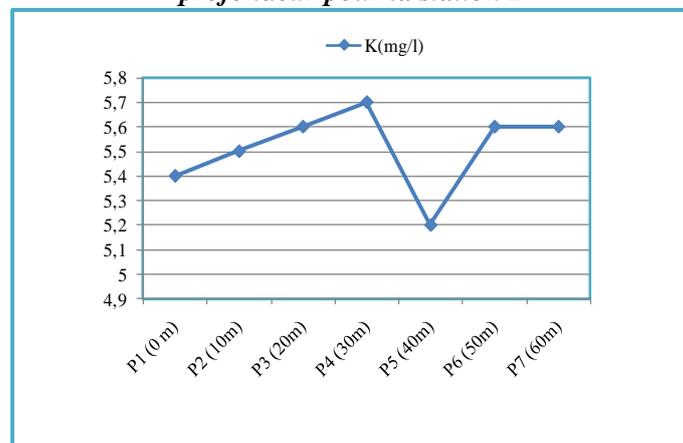


Fig.75 : Evolution de la teneur en Potassium en fonction de profondeur pour la station 2

VIII. Conclusion

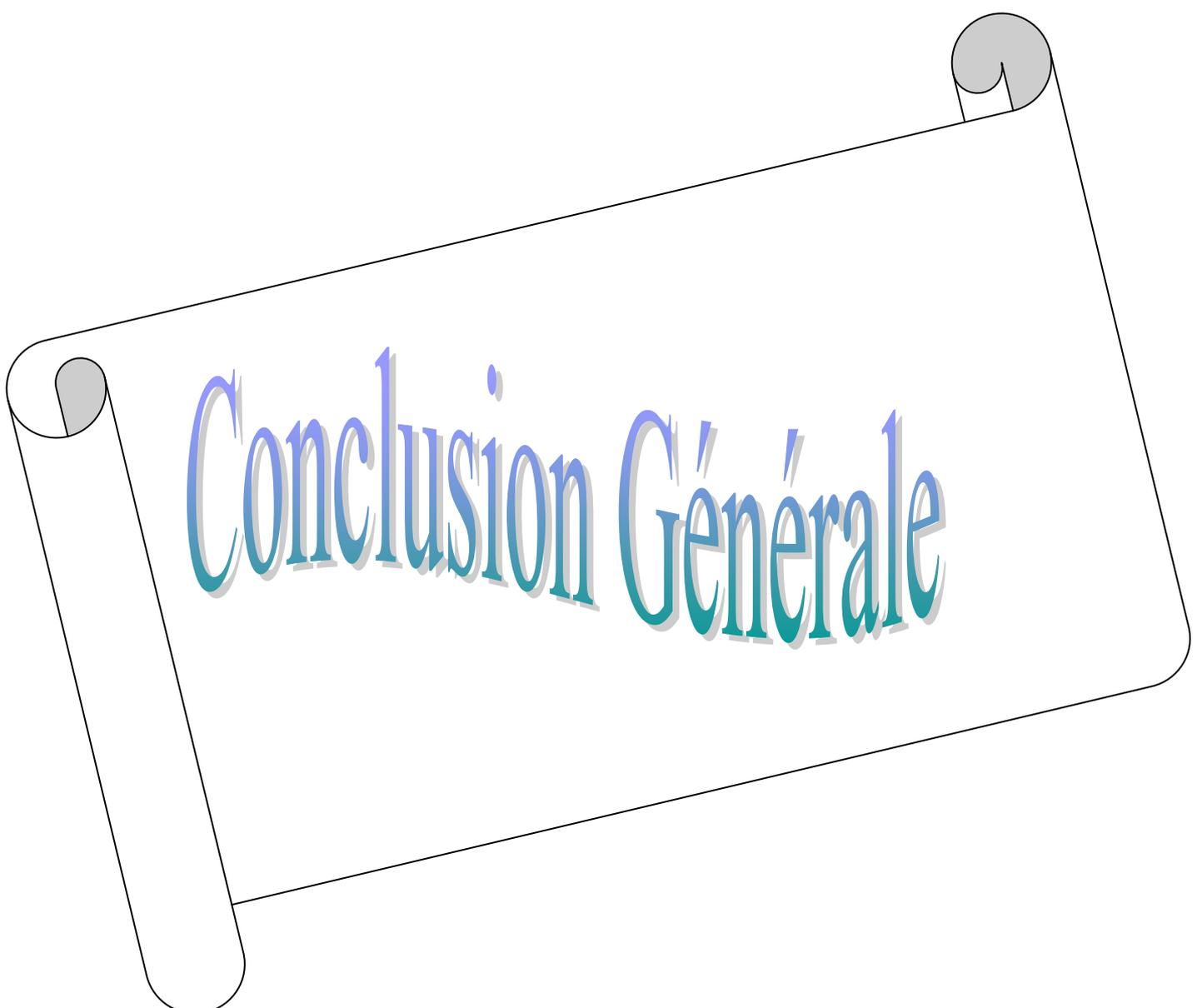
L'interprétation des paramètres physico-chimique dans ce chapitre montre que les eaux du barrage de Béni Haroun et ses affluents à tendance alcaline, avec une variation irrégulière de Eh à cause de l'oxygénation de l'eau lorsque le milieu est perturbé. Une température moyenne aux alentours de 14°C, et une conductivité électrique moins élevée, sauf pour quelques affluents où les fortes valeurs sont dues à la nature géologique des terrains et aux rejets diffus.

Les éléments majeurs présentent des concentrations inférieures aux normes, sauf pour les chlorures qui dépassent la norme Algérienne de potabilité. L'origine de ces éléments est la dissolution des formations géologiques. Toutefois une origine anthropique est toujours marquée pour les chlorures et le potassium.

Les éléments organiques présentent des faibles concentrations dans les eaux de barrage, dues à l'effet de dilution, cependant les affluents ont des teneurs élevées notamment Oued Mila et Oued Rhumel, dues aux rejets urbains et industriels des agglomérations de Constantine et Mila.

Le fer montre des concentrations dépassant la norme pour toutes les eaux analysées, son origine est attribuée au lessivage des formations géologique, ainsi qu'aux rejets industriels.

Le suivi de la chimie des eaux en fonction de la profondeur, montre des variations désordonnées à cause de la forte perturbation des eaux de barrage.

A stylized graphic of a scroll, tilted slightly to the right. The scroll is white with a black outline and has two grey circular elements representing the ends of the scroll. The text "Conclusion Générale" is written in a blue, serif font with a slight shadow effect, centered on the scroll.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le barrage de Béni Haroun, situé dans la wilaya de Mila avec une capacité de 998 millions de m³, construit dans l'Est algérien, constitue actuellement le plus important aménagement hydraulique réalisé à travers le pays.

Du point de vue géologique, La région d'étude est très diversifiée avec une lithologie très hétérogène grâce à sa position, dans l'Atlas Tellien du Tell oriental (Kabylie de Collo et le Nérétique constantinois). Cette zone est caractérisée par sa complexité litho-structural, dont les formations les plus anciennes sont d'âge Permo-Trias et les plus récents sont d'âge Quaternaire. La lithologie dominante est représentée par des calcaires, des marnes, des grès et des argiles.

L'étude climatologique a permis de déterminer les caractéristiques du climat du secteur. C'est un climat méditerranéen. La lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant a été estimée à 605.5 mm et la température moyenne annuelle est de 16,05°C et ce pour la période 2005-2015.

L'écoulement a été estimé à 73.99 mm dont plus de 9.72 % sera attribué à l'infiltration vu que les conditions qui règnent dans le secteur d'étude (une grande partie par des terrains imperméables.) favorisent plutôt l'infiltration au ruissellement. Ce dernier étant négligeable se manifestant particulièrement au niveau des Oueds. L'infiltration efficace a été estimée à 58.87 mm.

L'étude hydro-chimique des eaux de barrage de Béni Haroun révèle des concentrations inférieures aux normes pour la plupart des éléments chimique, sauf les chlorures qui présentent des teneurs dépassant la norme, ces fortes teneurs sont liées à la forte évaporation dans le barrage.

Concernant la chimie des affluents alimentant le barrage, on constate une variation de la chimie pour les éléments majeurs d'un affluent à l'autre, cette variation est due à la nature géologique des terrains traversés par l'eau vue la diversité géologique du bassin. En ce qui concerne les polluants organiques, les analyses montrent que la charge polluante la plus importante se trouve dans les oueds Mila et Rhumel, ceci dû aux rejets des eaux usées des agglomérations de Mila et Constantine.

Le fer se trouve comme étant l'élément le plus abondant pour les eaux de Barrage et ses affluents, cet élément à doubles origines ; une origine naturelle (le lessivage des formations géologiques) et anthropique (les rejets des unités industrielles de Constantine et Mila)

L'étude des rapports caractéristiques montre une prédominance des chlorures par rapport au sodium, ce qui explique une origine probablement anthropique des chlorures. Le calcium tire son origine des formations évaporitique.

L'étude de l'origine des éléments chimiques nous a permis de mettre en évidence une origine carbonatée pour le calcium, et évaporitique pour le sodium, ainsi que les sulfates. Les chlorures présentent une autre origine anthropique plus que la dissolution de l'halite. Quant à l'évolution de la conductivité électrique avec les anions, nous avons montré une évolution proportionnelle de la conductivité avec les chlorures et les bicarbonates, alors qu'elle n'évolue pas avec les sulfates.

Cette étude a montré la bonne qualité des eaux du barrage durant la période des hautes eaux et a montré aussi l'existence des polluants organiques au niveau de deux affluents. Pour une bonne qualité des eaux du barrage nous recommandent de faire un contrôle de la qualité de l'eau du barrage et de ses affluents durant la période d'étiage et de traité préalablement les rejets des agglomérations et des zones industrielle, existants dans le bassin versant, par l'installation de stations d'épuration avant de les jeter dans les cours.

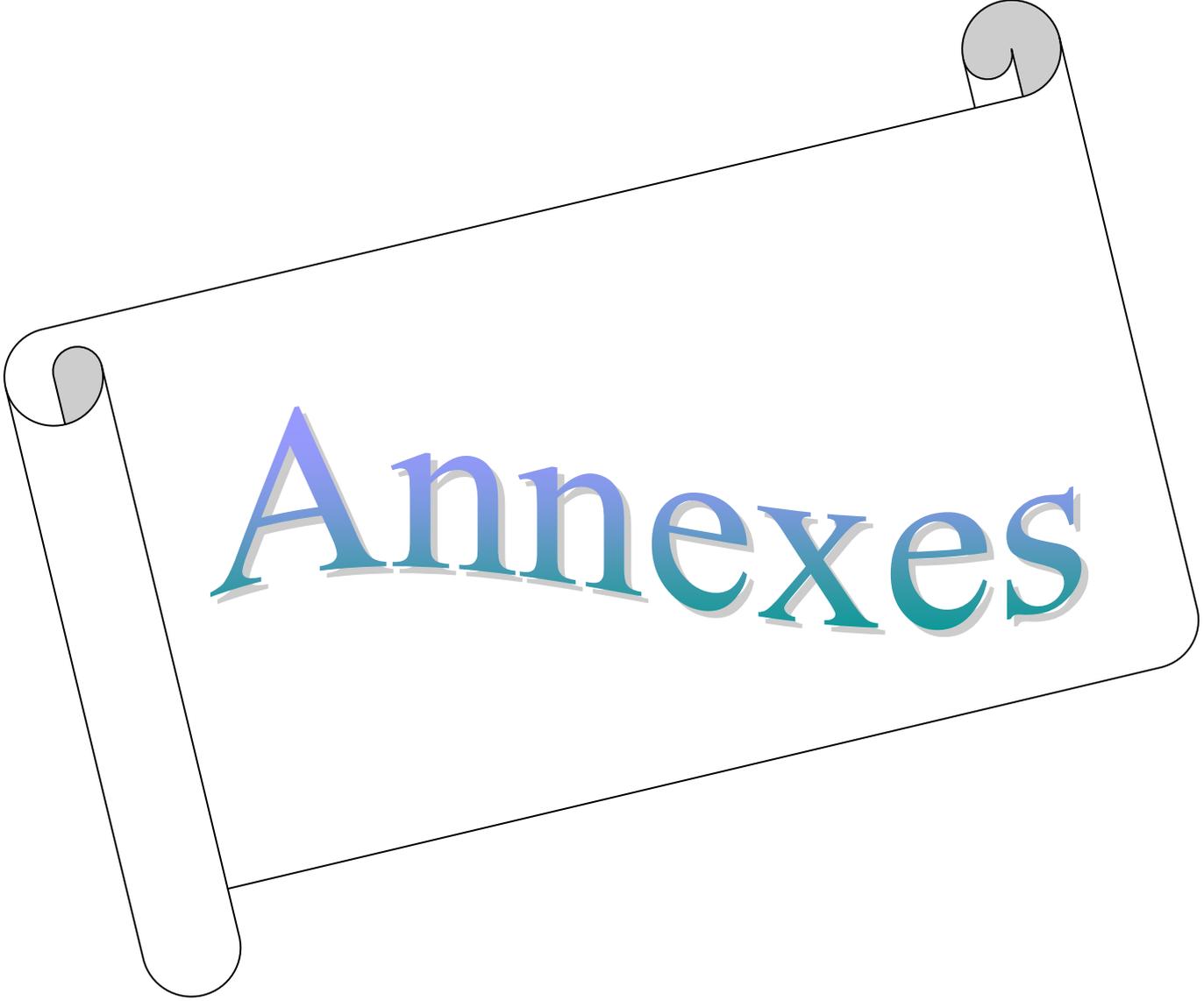


Références Bibliographiques

1. **DORE M., 1989** : Chimie des oxydants et traitement des eaux, *Edition Lavoisier* ;
2. **THOMAS O., 1995** : Métrologie des eaux résiduaires, *Edition Cebe Dospol* ;
3. **LOUP J., 1974** : Les eaux terrestres, *Edition Masson et Cie, Paris* ;
4. **BERNARD D., 1966** : Limnologie- Etude des eaux continentales, *Edition Gauthier Villars, Paris* ;
5. **VILLERS J., 2005** : Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, *Edition Squilbin M., Yourassowsky C, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement* ;
6. **ABDESSELEM A., 1999** : Suive de la Qualité microbiologique et physicochimique de Trois serres alimentant de la région de Tlemcen, *Mémoire d'ingénieur institut de biologie, université de Tlemcen*, p 2-18 ;
7. **RODIER J., 1984** : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer, *7ème édition, Dulod, Paris* ;
8. **TARDAT., HENRY M ., 1992** : Chimie des eaux, *2ème Edition, Les éditions du griffon d'Argile*, p 213- 215 ;
9. **RODIER J., 1996** : L'analyse de L'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, *8ème Edition, Dunod, Paris*, p13-35 ;
10. **NALCO., 1983** : Manuel de l'eau, *Edition TEC- DOC – Lavoisier, Paris* ;
11. **BREMOND R., VUICHARD R., 1973** : Paramètres de la qualité des eaux, *Edition OSPEPE, Paris* ;
12. **BOUALEM R., 2009** : Contribution à l'étude de la qualité des eaux des Barrages, *Article de recherche*, p 20-33 ;
13. **SCHUDEBOOM J., 1993** : Nitrates et Nitrites dans les denrées alimentaires, *éditions du conseil de l'Europe, Strasbourg*, p 11 ;
14. **BOUZIANI M., 2000** : L'eau de La pénurie a la maladie, *Edition Ebeanthaldoun* , p 84 ;
15. **GILLI E., MANGAN C., MUDRY J., 2004** : Hydrogéologie : objets, méthodes et applications, *Edition Dunod, Paris*, 352 p ;

- 16. FAURIE C., ERRA C., MEDORIE P., DEVANE J., REMPTIME J. L., 2003 :** Ecologie, approche scientifique et pratique, *5eme édition Lavoisier*, 823 p ;
- 17. CALVET R ., BARRIUSO E ., BEDOS C ., BENOIT P ., ChARNAY M.P ., COQUET Y ., 2005 :** les pesticides dans le sol, conséquence agronomique et environnementale, *édition France Agricole*, 637 p ;
- 18.** www.eau-tensift.net/.../1_Grille_de_qualité;
- 19. BERRYMAN D., 1990 :** Sélection de nouveaux indicateurs de la qualité des cours d'eau du Québec, *Ministère de l'environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau*, rapport : QE-90-05, EN900140 QE/67/1 ;
- 20. MEBARKIA A., 2005 :** Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, *Thèse de doctorat en Hydrologie, Université Mentouri Constantine* ,244p ;
- 21. MEBARKI A., BENABBAS C., 2008 :** Aménagement intégré des eaux du Kébir-Rhumel (Algérie Orientale) : le système Béni-Haroun, *Communication au Colloque International Terre et Eau, Université Badji Mokhtar de Annaba (Algérie)* ;
- 22. MELGHITE M., 2010 :** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau - Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun, *Mémoire de Magistère, Université Mentouri de Constantine*, 175 p ;
- 23. MERABET S., 2010 :** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribué ;
- 24. A.B.H., 1999-2004 :** Les cahiers de l'Agence, *Agence de Bassin Hydrographique Constaninois-Seybouse-Mellegue, Constantine* ;
- 25. RODIER J., 2009 :** L'analyse de l'eau : eaux naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 9 *Edition Dunod, Paris*, 1383 p ;
- 26. RODIERJ., 2005 :** L'analyse de l'eau : eaux naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, *Edition Dunod, Paris*, 1320 p ;
- 27. ZAHY F., 2014 :** Contribution a l'étude hydro chimique du sous bassin versant du lac Fetzara (Nord-est Algérien), Approche géochimique et fonctionnement des sols et des eaux. *Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba*, 193p ;

- 28. DEBIECHE T.H ., 2002 :** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle , Application à la basse plaine de la Seybouse, Nord-est algérien ,*Thèse de Doctorat, Université Franche-Compte, France, 235 p ;*
- 29. MEBARKIA A., 2011 :** Etudes des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Ain Zada wilaya de Bordj Bou-Arredj (NORD-EST ALGÉRIEN), *Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba, 228p ;*
- 30. FARAH A. S., 1991 :** Etude du comportement hydro chimique d'un oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques : l'Oued Rhumel, Constantinois, Algérie, *Thèse de Doctorat en Géologie Appliquée (Hydrogéologie, Université d'Orléans, 217 pp ;*
- 31. SEGHIR K ., 2008 :** Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous-système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien), *Thèse de Doctorat , Université de Annaba, 151p ;*
- 32. GOUADIA L., 2008 :** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien, *Thèse de Doctorat, Université de Annaba, 199 p ;*
- 33. LARBI A., 2004 :** Contribution à l'étude de la qualité des eaux de barrages de la région centre de l'Algérie, *Mémoire d'ingéniorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Blida - Alger ;*
- 34. VALIRON F., 1994 :** Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement tome 1, eau dans la ville, *Edition Lavoisier Paris ;*
- 35. AISSAOUI A., 2013 :** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'Oued Athemania (Wilaya de Mila) par les activités agricole, *Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou, 133 p ;*
- 36. MEBARKI A., 2009 :** Ressources en eau et aménagement en Algérie- Les bassins hydrographiques de l'est, *OPU Alger.*



Annexes

ANNEXE I**Tableau N°04 : Normes Algérienne de potabilité des eaux.**

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Fer total	mg/l	0,3
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Phosphates	mg/l	5
	Chlore	mg/l	5
Paramètres organoleptiques	Turbidité	NTU	5
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	200
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unite pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25
Magnésium	mg/l	150	

Source, JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18,

23 mars 2011.

ANNEXE II

Les protocoles des dosages effectués

1. Détermination du Bicarbonates (HCO_3^-)

a. Principe

Ces détermination sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

b. Mode opératoire

Utiliser 50ml l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide ($\text{H}_2\text{SO}_4^{-2}$) jusqu'au virage du jaune au jaune orange (pH =4,3), s'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé (pH =4).

c. Expression des résultats

La détermination du mg/l de chlorure est donnée par la formule suivante :

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = \frac{V1 \cdot 0.02}{V2} * 1000$$

D'où

V1 : Volume de l'acide sulfurique ($\text{H}_2\text{SO}_4^{-2}$).

V2 : Volume d'échantillon

2. Détermination du calcium (Ca^{+2}) et de la dureté ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$)

a. Principe

A un PH optimal de 10 l'ion EDTA forme avec les ions calcium et magnésium des complexes solubles, de sorte que ces ions sont soustraits de la solution sans précipitation. La réaction est stoechiométrique et au premier chef, instantanée aux températures avoisinant 60°C ; de plus, les complexes formés sont très stables. Au même PH, le colorant ériochrome bleu- noir B prend une coloration bleu turquoise en l'absence d'ions calcium et magnésium, mais il forme avec ces ions des composés rouges qui sont moins stables que les complexes EDTA-Ca et EDTA-Mg.

Ainsi, en ajoutant une solution tampon à une solution contenant des ions calcium et magnésium (ou l'un de ces ions, séparément) de manière à obtenir un PH voisin de 10, et ensuite de l'ériochrome bleu-noir B, on obtient une coloration rouge. En ajoutant ensuite de l'EDTA lentement, les ions calcium et magnésium se libèrent graduellement des complexes qu'ils avaient formée avec le colorant pour former avec l'EDTA des complexes plus stables

jusqu'à ce que, les ions en question étant intégralement transférés, la couleur rouge des complexes ce de la place à la couleur bleu-turquoise du colorant lui même.

b. Mode opératoire

➤ Calcium (Ca^{2+})

Introduire 25 ml d'eau à analyser dans une fiole conique , ajouter 1 ml de NaOH à 2N, ajouter le Meruxide . La solution se colore en rouge foncé .En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au violet , vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA .

➤ La dureté (TH)

Prendre 25 ml d'eau à analyser dans une fiole conique , ajouter 2 ml de solution tampon NH_4OH (pH 10) et 3 gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou en violet. E n maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.

c. Expression des résultats

- La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{+2} \text{ (mg/l)} = \frac{V1 \cdot C \cdot F \cdot M_{\text{Ca}^{+2}}}{P \cdot E} * 1000$$

D'ou:

V1: Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l)

$M_{\text{Ca}^{+2}}$: Masse molaire du calcium en g.

P.E : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage)

F : Facteur

Donc

$$\text{Ca}^{+2} \text{ (mg/l)} = \frac{V1 \cdot 0.01 \cdot F \cdot 40.08}{25} * 1000$$

$$\text{Ca}^{+2} \text{ (mg/l)} = V1 \cdot F \cdot 8.016$$

- La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Mg}^{+2} \text{ (mg/l)} = \frac{(V2 - V1) \cdot C \cdot F \cdot M_{\text{Mg}^{+2}}}{P \cdot E} * 1000$$

D'ou:

V2 : volume total d'EDTA.

V1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l)

$M_{Mg^{+2}}$: Masse molaire du Magnésium en g.

P.E : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage)

F : Facteur

Donc

$$Mg^{+2} \text{ (mg/l)} = \frac{(V2-V1)*0.01*F*24.3}{25} * 1000$$

$$Mg^{+2} \text{ (mg/l)} = (V2-V1)*F*4.86$$

➤ $TH \text{ (mg/l)} = (Ca^{+2} \ll \text{mg/l} \gg + Mg^{+2} \ll \text{mg/l} \gg)$.

3. Détermination du chlorure (Cl⁻)

a. Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent (**28**).

b. Mode opératoire

A 25 ml d'échantillon (ou à un volume V d'échantillon dilué à 25 ml) ajouter à la pipette 0.5 ml d'indicateur $K_2Cr_2O_7$ Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$ à 0.01N) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes. Pour chaque type d'eau étudiée faire ce dosage en double.

c. Expression des résultats

La détermination du mg/l de chlorure est donnée par la formule suivante :

$$Cl^- \text{ (mg/l)} = \frac{V1*C.1000}{V2}$$

D'ou:

V1: Volume d' $AgNO_3$ (ml)

C : Coefficient

V2 : Volume d'échantillon (ml)

4. Dosage des Nitrates (méthode au salicylate de sodium)

a. Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalisylate de sodium, coloré en jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

b. Mode opératoire

Dans une série de fioles jaugées ,prendre 5ml de l'échantillon à analyser puis ajouter 2gouttes de NaOH à 30%,ajouter 0.5 ml de salicylate de sodium Evaporer à sec dans une étuve portée à 75-80°C (ne pas réchauffer trop longtemps) reprendre le résidu avec 1 ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄) en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 7.5 ml d'eau distillée puis 7.5 ml de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm.

c. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 5ml, le courbe détalonnage en donne directement la teneur en Nitrate (NO₃) exprimée en milligrammes par litre d'eau (mg/l) (Annexe III).

5. Dosages des Nitrites

a. Principe

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence des ions ammonium et du phénol, forme avec les ions NO₂⁻ un complexe coloré jaune, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites .

b. Mode opératoire

Prélever 50 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml de réactif mixte. Agiter et laisser au repos 20 minutes, l'apparition de la coloration rose indique la présence de NO₂⁻ effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 540 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin.

c. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50ml, le courbe d'étalonnage en donne directement la teneur en Nitrite (NO₂⁻) exprimée en milligrammes par litre d'eau (mg/l) (Annexe III).

6. Dosages de l'Azote ammoniacal

a. Principe

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate, qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution d'hypochlorite de sodium et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique

b. Mode opératoire

A 5 ml d'échantillon ajouter, au besoin 0.5 de réactif I puis ajouter 0.5 ml de la réactif II. Laisser au repos pendant 1heure, l'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de NH₄⁺. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 655nm.

c. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 5ml, le courbe d'étalonnage en donne directement la teneur en NH_4^+ exprimée en milligrammes par litre d'eau (mg/l) (Annexe III).

7. Dosages des phosphates

a. Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique, qui, réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, tartrate double d'antimoine et de potassium (29).

b. Mode opératoire

Introduire 20 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée ajouté 0.5 ml de l'acide ascorbique, puis on ajoute 1ml de réactif mixte puis complété le volume à 25 ml (ajouter 3.5 ml).

Attendre 10 à 30 mn le dévalent de la couleur bleue. Puis effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 880 nm.

c. Expression des résultats

A partir de le courbe d'étalonnage le teneur en PO_4^{-3} exprimée directement en milligrammes par litre d'eau (mg/l)(Annexe III).

8. Dosages des sulfates

a. Principe

Le dosage des sulfates est basé sur la réaction en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum, qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble.

b. Mode opératoire

Dans une fiole prendre 20 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml de la solution stabilisante et agiter énergiquement pendant 1mn, puis ajouter 0.4 ml de chlorure de baryum et agiter énergiquement pendant 1mn.

Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 420 nm.

c. Expression des résultats

Pour un échantillon de 20 ml (pour des faibles teneurs en SO_4^{-2}) la courbe d'étalonnage donne directement la concentration en SO_4^{-2} en mg/l(Annexe III).

9. Dosages de Fer (méthode à l'orthophénanthroline)

a. Principe

Cette méthode physique d'analyse utilise les propriétés qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie.

b. Mode opératoire

Mettre 25 ml d'échantillon dans une fiole jaugée. Ajouter 0.5 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine, puis ajouter 1 ml de la solution acétate, ajouter 1ml de la solution 1.10 de phénantroline, Conserver à l'obscurité pendant 15mn.

Entraînée vers la spectrophotométrie pour mesurage à la longueur d'onde de 510nm.

c. Expression des résultats

Le courbe d'étalonnage donne directement la concentration en Fe en mg/l (Annexe III).

10. Dosage de Sodium et Potassium

a. Principe

Le dosage de ces 2 éléments est effectué par spectrophotométrie d'émission de flamme.

Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des photons de longueur d'onde déterminée dont l'intensité peut être mesurée par spectrophotométrie. La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée

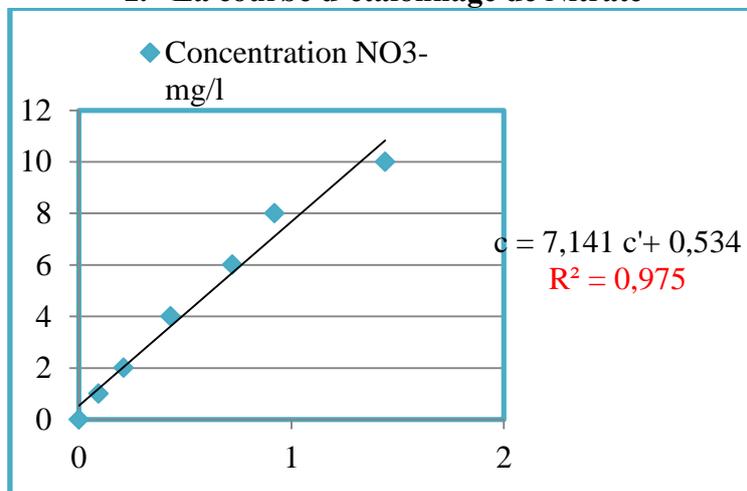
b. Expression des résultats

Les teneurs en Na⁺ et K⁺ sont exprimées directement en mg/l (le courbe d'étalonnage (Annexe III))

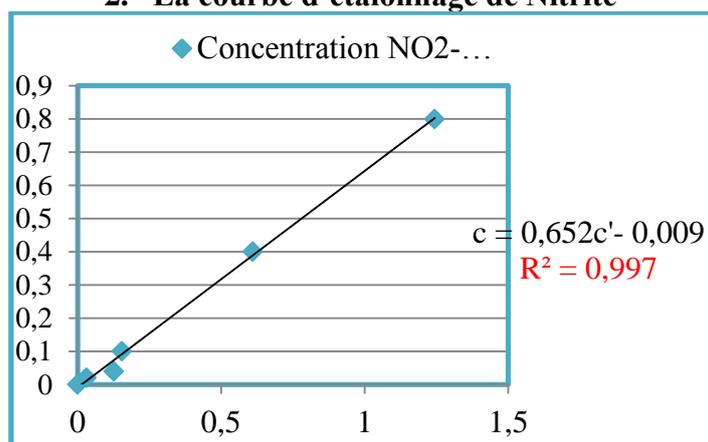
ANNEXE III

Courbes d'étalonnage des analyses des eaux

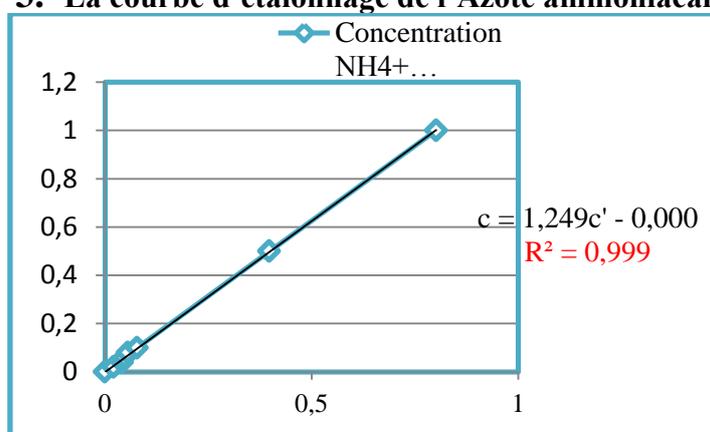
1. La courbe d'étalonnage de Nitrate



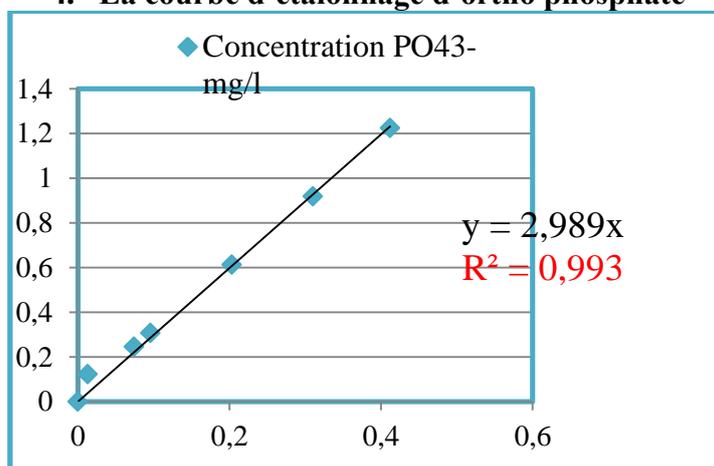
2. La courbe d'étalonnage de Nitrite

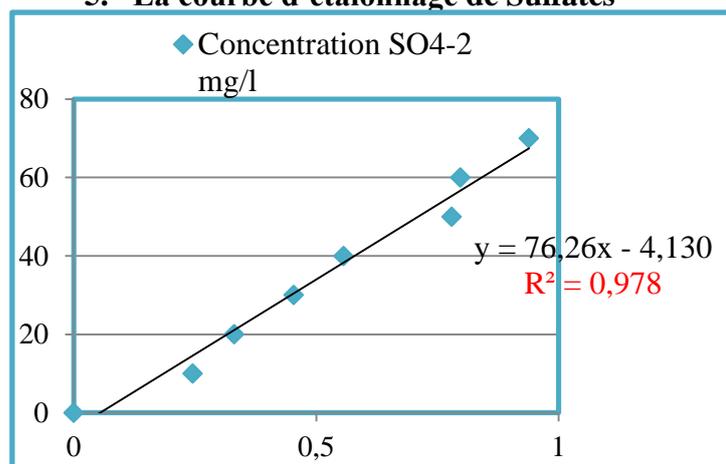
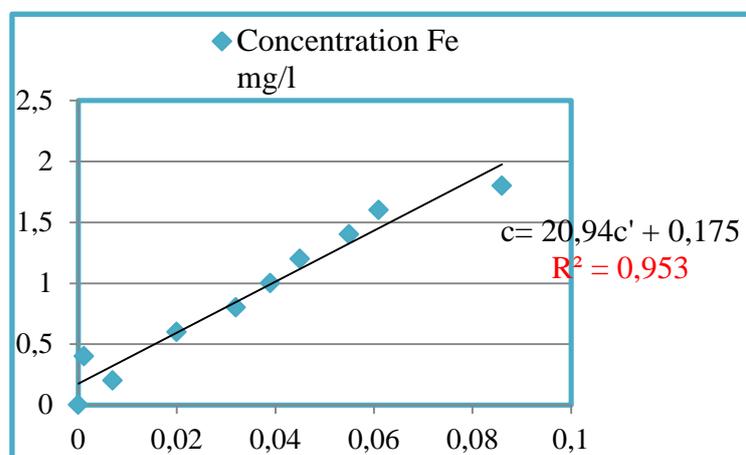
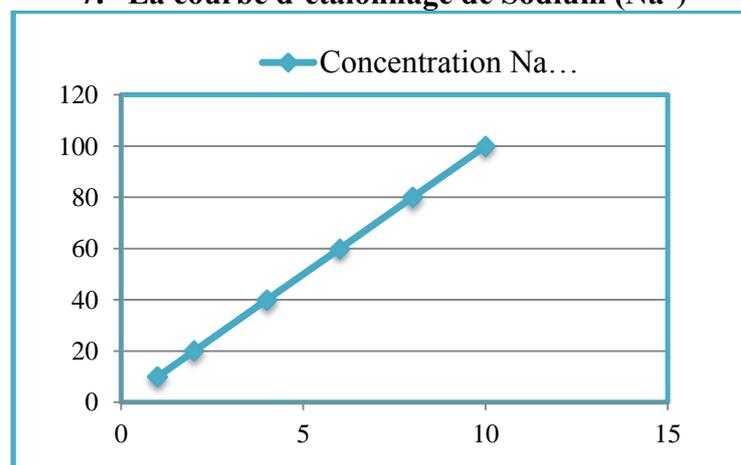


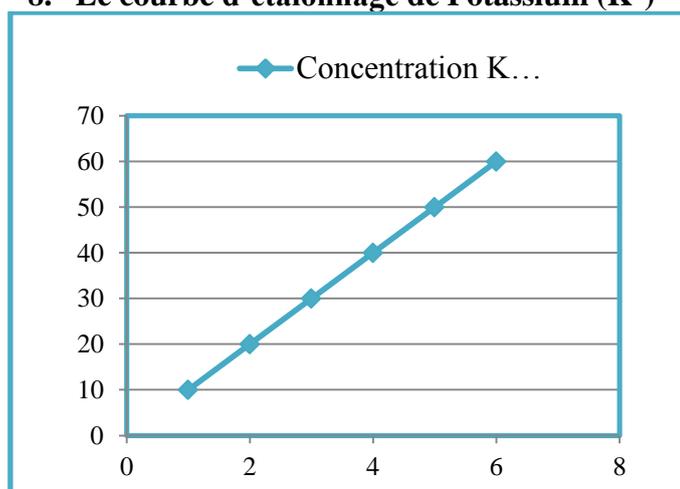
3. La courbe d'étalonnage de l'Azote ammoniacal



4. La courbe d'étalonnage d'ortho phosphate



5. La courbe d'étalonnage de Sulfates**6. La courbe d'étalonnage de Fer****7. La courbe d'étalonnage de Sodium (Na⁺)**

8. Le courbe d'étalonnage de Potassium (K^+)**ANNEXE IV***Résultats de calcul de l'indice d'échange de base*

Echantillon	rCl	rNa	r K	rNa + rK	i,e,b
P1	85,1988308	37,1829245	1,02689052	38,2098151	0,551521838
P4	83,3156538	35,2003104	0,83280377	36,0331142	0,567510875
P6	86,3425504	30,953328	0,88239404	31,835722	0,631285827
P7	84,1323217	36,9774109	0,98646581	37,9638767	0,548759906
P8	85,4000035	30,0376246	0,85165849	30,8892831	0,638298807
P9	85,9575569	37,5012889	0,90225068	38,4035396	0,55322672
Oued 624	77,7998578	20,68125	0,86093892	21,5421889	0,723107605
Oued Ghar slim	78,6331181	22,1172135	0,56492476	22,6821383	0,711544718
Oued coton (amont)	48,7966699	11,9575283	0,98096958	12,9384979	0,734848752
Oued Dib	57,5540014	11,2789013	0,54603177	11,8249331	0,794541947
Oued Rejas	45,6480484	32,2172051	0,77421062	32,9914157	0,277265582
Oued El Nedja	70,4722889	10,7512195	0,29854197	11,0497615	0,843204164
Oued El_Maleh	30,0253756	54,1235145	1,4823492	55,6058637	-0,851962302
Oued Coton (aval)	79,2369538	35,0400583	1,12675299	36,1668113	0,543561311
Oued Rhumel	80,0508685	28,709141	1,1837704	29,8929114	0,626576051
Oued Sekdal	74,0247965	43,0784826	2,6862839	45,7647665	0,381764373
Oued Mila	79,4769236	27,9910355	1,89027446	29,88131	0,624025332

ANNEXE V*Les coordonnées des stations de prélèvements*

Stations	Nom de la station	X	Y
S1	1	6,274167	36,572222
S2	2	6,274167	36,5675
S6	6	6,276111	36,567
S7	7	6,275556	36,566778
S8	8	6,276944	36,56725
S9	9	6,2775	36,567472
S10	oued coton (Amont)	6,323611	36,379444
S11	oued redjas	6,146944	36,433333
S12	oued Mila	6,294167	36,488333
S13	oued El Maleh	6,104722	36,476667
S14	oued El Nedja	6,106667	36,485278
S15	oued Sekdel	6,351111	36,513889
S16	oued 627	6,323056	36,483056
S17	oued Ghar Slim	6,407222	36,503333
S18	oued Dib	6,340833	36,564722
S19	Rhumel 1	6,461267	36,476483
S20	Rhumel 2	6,304722	36,501944
S21	oued coton (Aval)	6,353522	36,471997