



Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Génie de la formulation

Thème :

**Etude physico-chimique et bactériologique des eaux du
barrage Bouhamdane de Hammam Debagh (Guelma)**

Réalisé par :

BENSEDIRA Safa

Encadré par :

- Mme. HAMIDOUCHE Sabiha

Maître de conférences B / Institut de technologie

Dédicace

Merci **Allah** (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum ".

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère maman toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

À mon père pour l'éducation qu'il m'a prodigué, avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consentis à mon égard et pour le sens du devoir qu'il m'a enseigné depuis mon enfance.

Que dieu les garde et les protège.

À ma sœur Sara et à mon frère Mehdi.

Au petit Younes Oualid.

À ma sœur de cœur Dalia.

À mon adorable amie Lisa.

À toute ma famille.

À mes amis : Djidji, Fériel, Lydia A, Cylia, Lydia...

À tous ceux qui me sont chers.

À tous ceux qui m'aiment.

À tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

BENSEDIRA Safa

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je voudrais ensuite présenter mes remerciements à ma promotrice, **Madame et Docteur HAMIDOUCHE Sabiha**.

Ainsi à mon enseignante **Madame et Docteur BENHOURIA Assia**.

Je remercie sincèrement toute l'équipe de l'Algérie des eaux ADE Guelma, qui sont très aimables, accueillants et serviables. Je trouve dommage de n'avoir pas pu plus travailler à leur côté vu les circonstances.

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

Je tiens ensuite à exprimer mes sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

J'aimerais aussi gratifier les efforts de ma sœur **Madame BENSEDIRA Sara** et mon frère **M. BENSEDIRA Mehdi** qui m'ont été d'une aide précieuse pour raffiner ce travail.

Enfin, je n'oublie pas de remercier du plus profond de mon cœur mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience, tous mes amis et mes proches ainsi que toutes les personnes qui m'ont soutenu et qui ont cru en moi durant cette recherche.

Merci à toutes et à tous.

Sommaire

Introduction Générale.....	01
CHAPITRE I : Généralités et pollutions des eaux de surfaces.....	04
1. Introduction	05
2. L'eau : concepts de base.....	05
2.1. Le cycle de l'eau.....	05
2.2. Ressource des eaux.....	05
2.2.1. Eaux superficielles	06
2.2.2. Eaux souterraines	06
3. La pollution des eaux de surface	06
3.1. Classification de la pollution.....	06
3.1.1. Classification selon le type de polluant.....	06
3.1.1.1. Pollution physique	07
3.1.1.2. Pollution chimique	07
3.1.1.3. Pollution biologique	07
3.1.2. Classification selon l'origine de la pollution.....	07
3.1.2.1. Pollution industrielle	08
3.1.2.2. Pollution domestique.....	08
3.1.2.3. Pollution agricole	08
4. Conclusion.....	08
CHAPITRE II : Caractéristiques et Potabilité de l'eau	09
1. Introduction	10
2. Caractéristiques organoleptiques.....	10
2.1. Goûts et odeurs	10
2.2. Couleur	10
3. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	11
3.1. Paramètres physiques	11
3.1.1. La température.....	11
3.1.2. Conductivité électrique.....	11
3.1.3. La turbidité	12
3.1.4. La salinité	12
3.1.5. Total des solides dissouts (TDS)	13
3.1.6. L'oxygène dissous	13
3.1.7. Potentiel d'hydrogène (pH)	13
3.2. Paramètres Volumétriques	14
3.2.1. Dosage de la dureté totale (titre hydrotimétrique TH)	14
3.2.2. Le Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet (TA et TAC).....	14
3.2.3. Dosage du Calcium (Ca^{2+}).....	14
3.2.4. Dosage du l'ion de Magnésium (Mg^{+2})	15
3.2.5. Dosage de chlorures (Cl^-).....	15
3.2.6. Les matières organiques MO.....	15
3.2.7. Matières en suspension (MES).....	16
3.2.8. Mesure du résidu sec (RS)	16
3.3. Paramètres de Spectrophotométrie	16
3.3.1. Dosage des ions de Fer (Fe^{2+})	16
3.3.2. Dosage des ions de Sulfates (SO_4^{-2})	17
3.3.3. Dosage des Nitrates (NO_3^-)	17

3.4. Paramètres de pollution	17
3.4.1. Dosage des Nitrites (NO_2^-)	17
3.4.2. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)	18
3.4.3. Dosage de phosphate (PO_4^{3-})	18
4. Paramètre bactériologique	19
4.1. Les germes totaux (GT)	19
4.2. Les coliformes totaux (CT)	19
4.3. Les coliformes fécaux (CF) (thermotolérants)	19
4.4. Streptocoques fécaux (SF)	19
4.5. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)	20
5. Conclusion	20

CHAPITRE III : Caractéristiques générale de la zone d'étude..... 21

1. Introduction	22
2. Présentation de la zone d'étude	22
2.1. Situation géographique	22
2.2. La description du sous bassin versant de l'oued Bouhamdane	24
2.3. Le cadre géologique et lithologique du barrage	24
2.4. Le réseau hydrographique	25
2.5. La station de traitement des eaux de Hammam Debagh	25
3. Conclusion	25

CHAPITRE IV : Matériels et méthodes..... 26

1. Introduction	27
2. Echantillonnage	27
2.1. Site et périodes de prélèvement	27
2.2. Matériels de prélèvement	28
2.3. Mode de prélèvement	28
2.4. Transport de prélèvement	29
3. Analyse des paramètres physico-chimiques	29
3.1. Paramètres physiques	29
3.1.1. La température	29
3.1.2. Conductivité électrique	30
3.1.3. La turbidité	30
3.1.4. Salinité et TDS (Total des solides dissous)	32
3.1.5. Potentiel d'hydrogène (pH)	32
3.2. Paramètres Volumétriques	33
3.2.1. Dosage de la dureté totale (titre hydrotimétrique TH)	34
3.2.2. Le Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet (TA et TAC)	34
3.2.3. Détermination du Bicarbonate HCO_3^-	35
3.2.4. Dosage du Calcium (Ca^{2+})	36
3.2.5. Dosage du l'ion de Magnésium (Mg^{+2})	36
3.2.6. Dosage de chlorures (Cl^-)	37
3.2.7. Les matières organiques MO	38
3.2.8. Matières en suspension (MES)	39
3.2.9. Mesure du résidu sec (RS)	39
3.3. Paramètres de Spectrophotométrie	41
3.3.1. Dosage des ions de Fer (Fe^{2+})	41
3.3.2. Dosage des ions de Sulfates (SO_4^{-2})	42
3.3.3. Dosage des Nitrates (NO_3^-)	42

3.4. Paramètres de pollution.....	43
3.4.1. Dosage des Nitrites (NO_2^-).....	43
3.4.2. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+).....	44
3.4.3. Dosage de phosphate (PO_4^{3-}).....	45
3.4.4. Dosage d'aluminium (Al^{3+}).....	45
4. Analyses des paramètres bactériologiques.....	46
4.1. Recherche des germes totaux à 37 °C (GT).....	47
4.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF).....	47
4.3. Recherche des streptocoques fécaux.....	48
4.4. Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR).....	49
5. Conclusion.....	50
CHAPITRE V : Résultats et discussions.....	51
1. Introduction.....	52
2. Résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques.....	52
3. Discussions des résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques.....	53
3.1. Température et potentiel d'hydrogène.....	53
3.2. Conductivité électrique (CE) et total des solides dissous (TDS).....	55
3.3. Turbidité et Salinité.....	57
3.4. Titre alcalimétrique simple et complet TA et TAC.....	58
3.5. Calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).....	59
3.6. Bicarbonates (HCO_3^-) et chlorures (Cl^-).....	60
3.7. Dureté totale (TH) et matière organique (MO).....	62
3.8. Résidu sec (RS) et matière en suspension (MES).....	64
3.9. Fer (Fe^{2+}) et ammonium (NH_4^+).....	66
3.10. Nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).....	67
3.11. Sulfates (SO_4^{2-}) et phosphates (PO_4^{3-}).....	68
3.12. Aluminium (Al^{3+}).....	70
4. Résultats et discussions d'analyses des paramètres bactériologiques.....	70
5. Conclusion.....	75
Conclusion Générale.....	76
Références Bibliographiques.....	79
Annexes.....	85

Liste des figures

Figure III.1: Localisation du barrage du Hammam Debagh dans la région de Guelma	23
Figure III.2 : Localisation géographique du barrage de Hammam Debagh.....	23
Figure III.3 : Photo satellitaire de la station de traitement des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh.....	25
Figure IV.1: conductimètre WTW Conductimètre LF 197.....	30
Figure IV.2 : Turbidimètre à lampe au tungstène TL2300, EPA, 0 - 4000 NTU.....	31
Figure IV.3: Ph-mètre Starter 2100 pH Bench	32
Figure IV.4 : Le résultat du virage de Cl^-	38
Figure IV.5 : Dessiccateur	40
Figure IV.6 : Balance de précision mettler.....	40
Figure IV.7 : Etuve	40
Figure IV.8 : Dosage de Nitrite	44
Figure IV.9 : Dosage d'Ammonium.....	45
Figure V.1 : Evolution de la température des eaux analysées.....	53
Figure V.2 : Evolution du potentiel d'hydrogène des eaux analysées	54
Figure V.3 : Evolution de la conductivité électrique des eaux analysées.....	55
Figure V.4 : Evolution de la TDS des eaux analysées	56
Figure V.5 : Evolution de la turbidité des eaux analysées	57
Figure V.6 : Evolution de la salinité des eaux analysées	58
Figure V.7 : Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) des eaux analysées	58
Figure V.8 : Evolution des ions de calcium des eaux analysées	59
Figure V.9 : Evolution des ions de magnésium des eaux analysées	60
Figure V.10 : Evolution des Bicarbonates des eaux analysées	60
Figure V.11 : Evolution des chlorures des eaux analysées	61
Figure V.12 : Evolution de la dureté des eaux analysées.....	62
Figure V.13 : Evolution de la matière organique.....	63
Figure V.14 : Evolution des matières en suspensions (MES).....	64
Figure V.15 : Evolution du résidu sec (RS) des eaux analysées	65
Figure V.16 : Evolution des ions de fer des eaux analysées	66
Figure V.17 : Evolution de l'ammonium des eaux analysées	66
Figure V.18 : Evolution du nitrite des eaux analysées.....	67

Figure V.19 : Evolution du nitrate des eaux analysées	68
Figure V.20 : Evolution de la quantité du sulfate des eaux.....	68
Figure V.21 : Evolution de la quantité du phosphate des eaux analysées	69
Figure V.22 : Evolution de la quantité de l'aluminium de l'eau traitée de barrage Bouhamdane	70
Figure V.23 : Evolution des germes totaux à 37 °C de l'eau de barrage Bouhamdane	71
Figure V.24 : Evolution des coliformes totaux de l'eau de barrage Bouhamdane	72
Figure V.25 : Evolution des coliformes fécaux de l'eau de barrage Bouhamdane	73
Figure V.26 : Evolution des streptocoques fécaux de l'eau de barrage Bouhamdane.....	74

Liste des tableaux

Tableau II.1: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique	11
Tableau II.2: Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).	12
Tableau II.3 : Classification des eaux selon la salinité	12
Tableau II.4 : Qualité de l'eau en fonction de la dureté	14
Tableau II.5: Qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium	15
Tableau II.6 : La potabilité en fonction des résidus secs	16
Tableau III.1 : Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh	22
Tableau IV.1 : Matériels utiliser pour l'analyse des paramètres physico-chimiques	29
Tableau IV.2 : Matériels et Réactifs utiliser pour l'analyse des paramètres Volumétriques.....	33
Tableau IV.3 : Matériels et Réactifs utiliser pour l'analyse des paramètres de spectrophotométrie	41
Tableau IV.4 : Matériels et Réactifs utiliser pour l'analyse des paramètres de pollution	43
Tableau IV.5 : Les paramètres Bactériologiques.....	46
Tableau V.1: Résultats d'Analyses physico-chimiques de l'eau brute et traitée de barrage Bouhamdane.....	52
Tableau V.7 : Résultats d'Analyses des paramètres bactériologiques de l'eau brute et traitée de barrage Bouhamdane.....	71

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

AEP : Alimentation en eau potable

ALG : Algérienne.

ASR : Anaérobies sulfito-réducteurs.

C° : Degré Celsius.

CE : Conductivité électrique.

CF : Coliformes fécaux.

CT : Coliformes totaux.

E-coli : Escherichia-coli.

EDTA : Acide éthylène-diamine tétra-acétique.

F : Facteur.

F° : Degré français.

FC : Facteur de correction.

GT : Germes totaux.

M₀ : Masse à vide.

MES : Matière en suspension

mg/l : Milligramme par litre.

min : Minute.

MO : Matière organique.

NET : Noir d'eriochrom T.

nm : Nano mètre.

NTU : Unité turbidité néphélométrique.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

pH : potentiel d'hydrogène.

RS : Résidu sec.

S : Station

SF : Streptocoques fécaux.

STEP : Station de traitement des eaux potables

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

TDS : Total des solides dissouts.

TGEA: Gélose tryptone glucose agar.

TH: Titre hydrométrique.

TTC: Chlorure triphényl 2, 3,5-tétrazolium (additif).

Turb: Turbidité.

UFC : Unité formant colonie.

V_{BL} : Volume du blanc.

V_{eq} : Volume équivalent.

V_T : Volume utiliser.

μS/cm: Micro siemens par centimètre.

Résumé :

La présente étude est une évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du barrage Bouhamdane (brute et traitée). Cette évaluation a été effectuée à travers un ensemble d'analyses en se référant aux normes de potabilité (algérienne et OMS). L'ensemble des analyses physico-chimiques et bactériologique ont été réalisées au niveau du laboratoire centrale de l'Algérienne des eaux ADE de Guelma durant une période de quatre mois (Janvier, février, mars, avril).

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus au cours de cette étude sont conformes à la norme de potabilité. Les résultats des analyses bactériologiques ont montré une contamination de l'eau brute, néanmoins l'eau traitée ne présentent certes aucun danger du point de vu physiologique sur la santé humaine.

Mots clés : Barrage Bouhamdane (brute et traitée), Eau, Paramètres physico-chimiques, Paramètres bactériologiques, qualité des eaux, ADE.

Abstract :

The present study is an evaluation of the physico-chemical and bacteriological quality of the water from the Bouhamdane dam (raw and treated). This assessment was carried out through a set of analyzes by reference to standards of potability (Algerian and WHO). All analyzes were carried out at the Algerian water laboratory ADE Guelma during a period of four months (January, February, March, April).

The results of the physico-chemical analyzes obtained during this study comply with the potability standard. The results of the bacteriological analyzes showed contamination of the raw water, nevertheless the treated water certainly does not pose any danger from a physiological point of view on human health.

Keywords: Bouhamdane dam (raw and treated), Water, Physico-chemical parameters, Bacteriological parameters, water quality, ADE.

ملخص :

تمثل هذه الدراسة تقييم الجودة الفيزيو-كيميائية لمياه والبكتريولوجية لمياه سد بوحمدان (الخام والمعالجة). تم إجراء هذا التقييم من خلال مجموعة من التحليلات وذلك استنادا الى مجموعة من معايير صلاحية الشرب الجزائرية والمنظمة العالمية للصحة. تم إجراء جميع التحاليل الفيزيو-كيميائية والبكتريولوجية في المختبر المركزي للجزائرية للمياه لولاية قالمة خلال فترة أربعة أشهر (جانفي، فيفري، مارس، أفريل).

تتوافق نتائج التحاليل الفيزيو-كيميائية التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة مع معيار قابلية الشرب. أظهرت نتائج التحليلات البكتريولوجية تلوث المياه الخام، ومع ذلك لا تشكل المياه المعالجة أي خطر من الناحية الفسيولوجية على صحة الإنسان.

الكلمات المفتاحية: سد بوحمدان (خام ومعالج)، مياه، الخواص الفيزيو-كيميائية، الخواص البكتريولوجية، جودة المياه.

Introduction

Générale

L'eau est une des ressources les plus importantes de la planète. Par contre, l'alimentation en eau peut être limitée en quantité et/ou en qualité. L'importance de la limitation du point de vue qualitatif est illustrée par le fait que 97 % de l'eau de la Terre est contenue dans des océans et a une teneur en sels d'approximativement 35 000 mg/l ce qui limite énormément l'utilisation de cette immense quantité d'eau comme source d'eau potable. Il est en effet très coûteux de produire de l'eau potable à partir d'eau salée [1].

Il y a 2,5 % d'eau douce, mais seulement 0,2 % de l'eau douce est sous forme liquide à la surface de la terre, Seule cette infime partie est aisément disponible [2].

En effet, l'eau potable a longtemps été considérée comme une ressource inépuisable, pure et gratuite, cependant en ce jour elle est de plus en plus rare, polluée et chère. Les besoins en eau de bonne qualité et en quantité abondante ont augmenté avec la croissance démographique et le développement industriel.

Aujourd'hui l'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion, doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Des investissements considérables ont été consacrés à la construction des barrages, notamment dans l'est du pays. Cependant, ces eaux de surfaces sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Elles peuvent contenir des quantités non négligeables en matières organiques naturelles telles que les substances humiques mais aussi des composés organiques issus de divers rejets polluants ou de pratiques agricoles intensives [3].

D'une manière générale, la qualité des eaux de surface peut résulter de contraintes naturelles et anthropiques, ainsi que de la gestion et l'économie de ces eaux. Ainsi l'activité anthropique reste la cause principale de la dégradation de la qualité des eaux [4].

Le laboratoire d'analyses a un rôle très important dans le suivi d'une station de traitement, Il doit confirmer la potabilité de l'eau après traitement, mais avant tout anticiper toutes les étapes nécessaires du traitement à l'aide des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité des eaux brute (EB) et des eaux traitées (ET) du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh-Guelma, à travers des analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées au niveau du laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh-Guelma.

L'eau brute du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh-Guelma est-elle concernée par une contamination ? La qualité de l'eau peut-elle être considérée comme potable ? L'eau traitée rectifie-t-elle vraiment une plausible contamination ?

Telles sont les principales questions qui me semblent importantes. Je vais donc, tout au long de cette recherche, essayer de répondre à ces questions, sur la base de fondements théoriques et d'expériences pratiques.

Mon hypothèse suppose l'existence d'une contamination de l'eau brute que le traitement vient anticiper afin de fournir une eau traitée potable pour la consommation humaine.

Ainsi ce manuscrit s'articule autour de cinq chapitres qui sont précédées par une introduction générale et clôturées par une conclusion générale.

- Le premier chapitre intitulé « Généralités et pollutions des eaux de surfaces ».
- Le deuxième chapitre sera réservé aux : « Caractéristiques et potabilité de l'eau ».
- Le troisième chapitre sera consacré à la : « Caractérisation de la zone d'étude ».
- Le quatrième chapitre qui traitera les : « Matériels et Méthodes ».
- Le cinquième chapitre qui portera sur les : « Résultats et Discussions ».

CHAPITRE I :
Généralités et
pollutions des eaux
de surfaces

1. Introduction

L'eau, H_2O , molécule inodore, incolore et sans saveur, présente dans la nature sous différentes formes, est partout et constitue la base de la vie.

Ce chapitre intitulé « Généralités et pollutions des eaux de surfaces » porte sur les concepts de base de l'eau et les différents types de contaminations des eaux de surface. En premier lieu ; quelques généralités seront exposées. En second lieu les classifications de la pollution seront abordées.

2. L'eau : concepts de base

L'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire et composé d'hydrogène et d'oxygène (H_2O). Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70 % de leurs poids en moyenne) [5].

L'eau est le seul composé présent, à l'état naturel, sous ces trois phases : liquide, solide et gazeuse. L'eau est partout et constitue la base de la vie [6].

2.1. Le cycle de l'eau

La circulation continue de l'eau entre l'atmosphère et la Terre constitue le cycle de l'eau ou cycle hydrologique (Figure1 Annexe) [6].

L'hydrosphère chauffée par l'énergie solaire, s'évapore et conduit à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se trouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur lithosphère à la surface de laquelle approximativement $\frac{1}{4}$ pénètre, $\frac{1}{4}$ ruisselle, quant au $\frac{1}{4}$ restants, il s'évapore à son tour [7].

2.2. Ressource des eaux

Le volume total d'eau sur Terre est estimé à 1,384 milliard de km^3 , cependant 97,5 % est de l'eau salée et 2,5 % de l'eau douce. Seulement 0,2 % de l'eau douce est sous forme liquide à la surface de la terre, Seule cette infime partie est aisément disponible et se renouvelle relativement rapidement [2].

2.2.1. Eaux superficielles

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents et qui ont pour origines soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit des eaux de ruissellement. Elles nécessitent un traitement physico-chimique parfois complexe dans des infrastructures importantes car elles sont moins stables et contiennent des matières minérales et organiques en suspension qui peuvent engendrer désagréments olfactifs et gustatifs [7].

Elles sont également vulnérables aux pollutions. De ce fait, les eaux de surface nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de chloration, coagulation, floculation, décantation / flottaison, filtration, minéralisation, neutralisation de l'acidité [8].

2.2.2. Eaux souterraines

L'eau souterraine constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète, environ 8 à 10 millions de km³, soit entre 98 et 99 % du total. Les eaux souterraines sont des sources d'approvisionnement plus extensives et plus stables que les eaux de surface [9].

3. La pollution des eaux de surface

La pollution ou la contamination de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. La pollution de l'eau a pour origines principales, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels [10].

3.1. Classification de la pollution

3.1.1. Classification selon le type de polluant

Il existe plusieurs manières de classer la pollution, selon le type de pollution, trois catégories existent pour le classement : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

3.1.1.1. Pollution physique

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe trois types de rejet :

- Les rejets des matières en suspensions inertes ou fermentescibles, dus aux rejets d'eau de lavage, d'eau de séparation par flottation, eaux usées domestiques ou urbaines, eaux industrielles.
- Les rejets de réfrigération, qui élèvent la température naturelle du niveau hydrique, c'est-à-dire une pollution thermique.
- Les rejets susceptibles de provoquer une nuisance radio-activique ; la pollution radio-activique [11].

3.1.1.2. Pollution chimique

Les pollutions chimiques croissent avec la civilisation industrielle. Leurs origines sont multiples : agriculture, industrie, vie en agglomération, transport, accidents et négligences [11].

Ce sont des rejets apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables.

3.1.1.3. Pollution biologique

Les pollutions biologiques ou biochimiques ont une origine commune : les manifestations de la vie, végétale et animale. On entend par là une pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques etc) [11].

3.1.2. Classification selon l'origine de la pollution

Pollution urbaine

La pollution urbaine est due principalement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de lavage, huiles de vidange, médicaments périmés, matières fécales, etc.) elle est liée aux grandes concentrations urbaines [12].

3.1.2.1. Pollution industrielle

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique. Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui polluent nos rivières et nos nappes. Ces rejets renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration [13].

3.1.2.2. Pollution domestique

Due principalement aux rejets domestiques (eaux de lavage, huiles de vidange, matières fécales, etc.) la pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux et des détergents. 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 [14].

3.1.2.3. Pollution agricole

L'agriculture, est le plus grand utilisateur d'eau et la principale source de pollution des terres et des eaux de surface. Elle est responsable du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux, notamment des nitrates [12].

4. Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a pu voir l'importance de considérer la pollution des eaux souterraines étant un réel problème d'un niveau environnemental, affectant l'équilibre écologique des écosystèmes et l'accès en eau potable pour l'homme, cette dernière pourrait affecter sa santé.

L'activité anthropique reste la cause principale de la dégradation de la qualité des eaux.

CHAPITRE II :

Caractéristiques et Potabilité de l'eau

1. Introduction

Chez les humains, chaque individu consomme environ 1.5 litre d'eau par jour. Il est alors évident que les qualités physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau de consommation peuvent affecter la santé et/ou nuire à sa qualité organoleptique [15].

Dans ce chapitre, les caractéristiques de l'eau seront abordées. Notamment les caractéristiques organoleptiques, puis physico-chimiques et enfin les paramètres bactériologiques

2. Caractéristiques organoleptiques

La qualité organoleptique de l'eau potable est importante car les goûts, les odeurs, la couleur et la turbidité sont directement et constamment évalués par le consommateur et détermine l'acceptation ou le refus du produit. Elle est ainsi le facteur d'alerte d'une potentielle pollution [15].

2.1. Goûts et odeurs

Les problèmes de goûts et d'odeurs dans l'eau sont habituellement causés par la présence de composés organiques en faible concentration [15].

Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche [16].

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. L'odeur [17].

2.2. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [16].

3. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

3.1. Paramètres physiques

3.1.1. La température

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux, elle est un facteur qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau et la dissociation des sels dissous. Elle a aussi un effet sur les réactions chimiques et biochimiques, sur le développement et sur la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les microorganismes [4].

3.1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Plus la conductivité est élevée plus l'eau est fortement minéralisée. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [18]. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale, mais aussi renseigne sur le taux de salinité. Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tableau II.1 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique [19].

Conductivité électrique (Exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Médiocre mais eau utilisable
> à 1500	Minéralisation excessive

3.1.3. La turbidité

La turbidité est définie par la norme NF EN ISO 7027 [20] comme « la réduction de la transparence d'un liquide due aux matières non dissoutes » donc des matières colloïdales et/ou en suspension. Ce qui veut dire qu'elle dépend de la concentration en MES de l'échantillon mais également des caractéristiques optiques et géométriques des particules [21].

Tableau II.8: Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit). [22].

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

3.1.4. La salinité

C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1L d'eau. Un composé ionique ou solide ionique cristallin est constitué de cations (ions chargés positivement) et d'anion (ions chargés négativement) régulièrement disposés dans l'espace.

Tableau II.3 : Classification des eaux selon la salinité [23].

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

3.1.5. Total des solides dissouts (TDS)

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporée, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS [24].

3.1.6. 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.

La concentration en oxygène dissous 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. Cette dernière provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques [19].

3.1.7. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est une grandeur sans unité. Un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. C'est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène $[H_3O^+]$. Il est inférieur ou supérieur à sept suivant que l'eau est acide ou basique.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6. Néanmoins il peut varier dans certains cas de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique alors que des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons [19].

3.2. Paramètres Volumétriques

3.2.1. Dosage de la dureté totale (titre hydrotimétrique TH)

La dureté (ou titre hydrotimétrique) de l'eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydronium [25].

Une eau est dite dure quand elle contient une forte proportion d'ions calcium et magnésium ; cela se traduit par une eau qui mousse difficilement en présence de savon. Elle est aussi très souvent donnée en degrés français (F°), selon le classement suivant :

Tableau II.4 : Qualité de l'eau en fonction de la dureté [26].

Dureté (F°)	Qualification de l'eau
0-7	Eau très douce
0-14	Eau douce
14-20	Eau moyennement dure
20-30	Eau assez dure
30-50	Eau dure
50 et plus	Eau très dure

3.2.2. Le Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet (TA et TAC)

Le titre alcalimétrique TA et le titre alcalimétrique complet TAC correspondent à la concentration en base libre OH^- (ion hydroxyde) ; CO_3^{2-} (ion carbonate) et HCO_3^- (ion hydrogénocarbonate ou bicarbonate) [25].

3.2.3. Dosage du Calcium (Ca^{2+})

L'eau est composée de nombreux éléments minéraux et organiques. Sa richesse en minéraux varie selon la composition des sols qu'elle traverse. Les terrains calcaires donneront une eau riche en calcium.

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe

surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure...etc. [27].

3.2.4. Dosage du l'ion de Magnésium (Mg^{+2})

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments le plus répandu dans la nature. Il constitue 2,5 % de la croûte terrestre. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau [28].

Tableau II.5: Qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium [29].

Magnésium mg/l	Qualité d'eau
<30	Bonne
50	Acceptable
400	Médiocre
>400	Excessivement polluée

3.2.5. Dosage de chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium ($NaCl$) et de potassium (KCl). Souvent utilisés comme un indice de pollution, ils ont aussi une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux [30].

3.2.6. Les matières organiques MO

La matière organique présente dans l'eau peut avoir une origine naturelle (activité biologique des milieux hydriques : décompositions des végétaux et des microorganismes, etc) ou anthropique (pollution domestique, industrielle ou agricole) [18].

Au-delà d'une certaine concentration, Les MO confèrent à l'eau un goût désagréable. Leur dégradation se traduit généralement par la formation d'éléments tout aussi recherchés et surveillés selon le cycle d'oxydation suivant : MO, azote ammoniacal, nitrite, nitrate [31].

3.2.7. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Leur présence dépend de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. [26].

Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide [6].

3.2.8. Mesure du résidu sec (RS)

Le résidu sec ; exprimé en (mg/l) ; représente la totalité des sels dissous. La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau [17].

Tableau II.6 : La potabilité en fonction des résidus secs [17].

Résidu sec (mg/L)	Potabilité
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
3000 < RS < 4000	Mauvaise

3.3. Paramètres de Spectrophotométrie

3.3.1. Dosage des ions de Fer (Fe^{2+})

La présence du fer dans les sources naturelles résulte de la décomposition des roches et des minéraux, des eaux acides de drainage des mines, des lessivages des décharges contrôlées, des effluents des égouts ainsi que des rejets des secteurs industriels qui traitent le fer [32].

Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine [33].

3.3.2. Dosage des ions de Sulfates (SO_4^{2-})

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. Cependant les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates [19].

A fortes concentrations, ils peuvent provoquer des troubles gastrointestinaux (en particulier chez les enfants). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable.

3.3.3. Dosage des Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote (qui représente 78% de l'atmosphère), et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau [4].

Il provient de la nitrification de l'azote organique des sols et de l'oxyde d'azote atmosphérique apporté par la pluie, les teneurs anormalement élevées sont liées aux apports d'engrais chimiques ou organiques et aux rejets des eaux usées ; d'origine domestique et industrielle [34].

Bien que les nitrates soient énormément moins toxiques et nocifs que les nitrites, il ne doit pas y en avoir plus de 50 mg/l dans l'eau du robinet. En effet une fois consommés, ils peuvent évoluer en nitrites dans l'estomac puis se transformer en nitrosamines toxiques et réputées cancérigènes [35].

3.4. Paramètres de pollution

3.4.1. Dosage des Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates [36].

Les nitrates étant la forme la plus stable des substances azotées, toutes les autres formes azotées y compris les nitrites, auront donc tendance à se transformer en nitrates.

C'est donc pour cette raison que les nitrites sont généralement retrouvés sous forme de traces dans l'eau naturelle non contaminée. Cependant, dans les cas de contaminations bactériennes une nitrification peut être favorisée et entraîner l'augmentation des concentrations de nitrites dans l'eau [37].

Comme il a été expliqué précédemment, la contamination de l'eau potable par les nitrates/nitrites constituerait un risque de cancer pour les populations exposées. En effet, une fois ingérés, les nitrates sont transformés par la flore buccale en nitrites. Dans l'estomac ces derniers transformeraient les précurseurs nitrosables (amines et amides) provenant largement de l'alimentation, en composés N-nitrosés (NOC) cancérigènes [37].

3.4.2. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)

Selon la littérature les ions ammonium (NH_4^+) subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes. L'ammoniac est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme soit en composé non combiné, soit sous forme ionisée.

L'ammonium étant toxique pour l'organisme humain, la présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. Les ions ammonium proviennent de la dégradation des protéines animales (cycle de l'azote), des effluents domestiques (urée) et des ruissellements urbains [38].

La présence d'azote ammoniacal en quantités relativement importantes peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle.

3.4.3. Dosage de phosphate (PO_4^{3-})

La présence de phosphate quelle que soit leur origine (domestique, industrielle ou agricole), dans les eaux à fortes concentration (teneurs supérieures à 0,2 mg/l) favorise le développement massif d'algues, lesquelles conduisent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau [39].

Les phosphates font partie des anions assimilables par le corps de l'être humain, à doses élevées, les sels de phosphate peuvent inhiber l'utilisation des sels de calcium et engendrer des nausées, diarrhées, hémorragies gastro-intestinales, ulcération, atteintes rénales et hépatiques [40].

4. Paramètre bactériologique

4.1. Les germes totaux (GT)

Les germes totaux (GT) dit revivifiables sont la totalité des bactéries, levures et moisissures aéro-anaérobies, capables de former des colonies dans ou sur un milieu de culture.

Ils n'ont pas d'effets directs sur la santé, mais sous certaines conditions ils peuvent générer des problèmes dans les systèmes de dialyse. Une très grande valeur de germes totaux peut être un signal d'alarme, avant apparition des bactéries sulfito-réductrices et des coliformes [41].

4.2. Les coliformes totaux (CT)

Les coliformes totaux sont présents en grand nombre dans les excréments humains et animaux, mais peuvent proliférer dans les sols et les milieux aquatiques. Ce sont des bâtonnets aéro-anaérobies facultatifs, gram négatif, non sporulant, oxydases négatifs, capables de se multiplier en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface ayant des propriétés équivalentes (inhibitrices) et capables de fermenter le lactose avec production de gaz à 35-37°C [42].

4.3. Les coliformes fécaux (CF) (thermotolérants)

Présentent les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux après incubation à 44/45°C. *Escherichia coli* est de loin la plus fréquente de ce groupe. Les coliformes fécaux ne se trouvent que chez les animaux à sang chaud, ce qui fait d'eux un indicateur intéressant. Leur présence dans l'eau trahit donc nécessairement une contamination fécale [42].

4.4. Streptocoques fécaux (SF)

Les Streptocoques fécaux ou streptocoques du groupe « D » de la classification de lance Field, sont considérés, d'une manière globale, comme étant des témoins de pollution fécale [43].

4.5. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Les spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (clostridia) sont largement répandues dans l'environnement. Elles sont présentes dans les matières fécales humaines et animales, ainsi que dans les eaux usées et le sol [44].

5. Conclusion

Dans ce chapitre, ont été définies les caractéristiques de l'eau. Les facteurs qui ont une influence sur la composition et la qualité de l'eau sont : la nature géologique du terrain, le couvert végétal et l'activité anthropique.

CHAPITRE III :
Caractéristiques
générale de la zone
d'étude

1. Introduction

Dans ce chapitre, la zone d'étude est présentée en exposant la situation géographique, la description du sous bassin versant, la description de la station de traitement.

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation géographique

Le barrage Hammam Debagh (Barrage de Bouhamdane) est situé à 23 km de la wilaya de Guelma puisqu'il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh, sur l'Oued Bouhamdane (figure1), il a été mis en service en 1987 et tire son nom de la zone des sources thermales [3].

Les principales caractéristiques du barrage sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh [3].

Caractéristiques hydrologiques		Caractéristiques du barrage	
Oued	Bouhamdane	Type	TERRE
Capacité initiale	200 hm ³	Hauteur	95 m
Capacité dernier levé	184,35 hm ³	Longueur	430 m
Apport moyen annuel	69 hm ³	Côte de retenue Normale (R.N)	360 m
Envasement annuel	0,53 hm ³ /an	Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	370,24 m
Surface du bassin versant	1 070 km ²	Déversoirs	COROLLE et SEUIL LIBRE
		Débit d'évacuation	2240 m ³ /s
		Vidange de Fond	218 m ³ /s

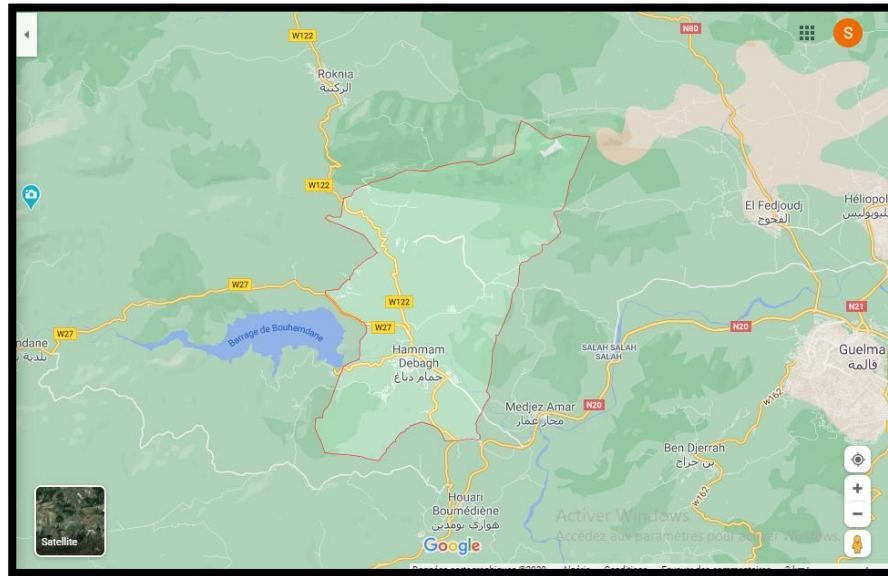


Figure III.1: Localisation du barrage du Hammam Debagh dans la région de Guelma (source google maps)



Figure III.2 : Localisation géographique du barrage de Hammam Debagh (source google maps)

Le barrage alimente en eau potable (AEP) les agglomérations de Ain Hassainia, Hammam Debagh, Medjez Amar, Ben Djerrah et Guelma. La population de ces agglomérations est estimée à 162488 habitants selon le recensement de l'année 2008 et alimente pour l'irrigation les deux périmètres irrigués Guelma-Boucheouf et Drean-Besbès dans la wilaya d'El Tarf [3].

2.2. La description du sous bassin versant de l'oued Bouhamdane

Le bassin versant du barrage à une surface de 1105 km² à Mdjez amar. Il se trouve dans l'Atlas Tellien oriental ; appartenant au grand bassin versant de la Seybouse qui couvre une superficie de plus de 6470 Km², il est limité par les bassins versants : au Nord par le domaine coti constantinois ; Au Sud et Sud-ouest par le bassin de l'oued cherf ; A l'Est par Guelma et A l'Ouest par Constantine. Il est drainé par l'oued Bouhamdane et ses affluents [45].

Ce bassin s'étend du 6° 55' au 7° 15' de longitude Est et du 35° 15' au 36° 70' de latitude Nord.

2.3. Le cadre géologique et lithologique du barrage

Dans toute étude hydrologique et hydro-chimique, la géologie porte une importance indispensable. Tout comme la lithologie, la tectonique et la structure géologique suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux et la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltre. Ces paramètres sont conditionnés par la perméabilité du terrain [46].

La région de Hammam Debaghe appartient au Tell - Nappe épi tellienne qui résulte d'une poussée vers le sud de la chaîne du Djebel Debaghe du Grar et du Kef-Hahouner où affleure un substratum formé de calcaires crétacés. C'est sur celui-ci qu'ont été charriées les nappes dites telliennes, constituées de marnes noires ou grises intercalées de bancs calcaires appartenant au crétacé et au Tertiaire. Une autre nappe, dite du Flysch crétacé, recouvre indifféremment les nappes Telliennes ou le crétacé "autochtone" [47].

La lithologie du bassin versant de l'oued Bouhamdene est complexe. Elle présente des variations de résistance et de faciès allant des roches les plus dures représentées par les roches calcaireuses et gréseuses, aux roches les plus tendres marneuses [48].

2.4. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique principal du barrage de Bouhamdane résulte de la jonction de l'Oued Zenati qui draine la zone semi-aride des hautes plaines, et Oued Sabbath du Tell-méridional au climat sub-humide. Ces deux Oueds drainent respectivement une superficie de 296 Km² et de 592 Km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Bouhamdane [49].

2.5. La station de traitement des eaux de Hammam Debagh

Mise en service en 2003, la station de traitement des eaux provenant du barrage de Hammam Debagh produit actuellement 36 mille m³ /jour d'eau potable, soit une quantité de 500 litres/ seconde. Selon les services de la direction de l'hydraulique, l'extension de cette station de traitement va permettre de doubler la production d'eau potable de 500 à mille litres/seconde, soit 72 mille m³ chaque jour (Figure III.3).



Figure III.3 : Photo satellitaire de la station de traitement des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (Google Earth, 2020).

3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu voir les caractéristiques de la zone d'étude.

CHAPITRE IV :

Matériels et méthodes

1. Introduction

Après avoir développé dans les chapitres précédents l'importance de l'étude physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface, nous allons aborder dans cette partie le cadre pratique de notre recherche.

Notre but est d'apporter un élément de réponse à la question principale posée dans notre problématique de départ et de vérifier si l'hypothèse que nous avons proposée est confirmée ou infirmée. Pour cela nous avons effectué toutes les analyses physico-chimiques et bactériologique nécessaires.

Dans ce chapitre, sont expliqué explicitement les méthodes et protocoles opératoires des analyses.

2. Echantillonnage

Alvaro Pires a défini l'échantillon en étant « une petite quantité de quelque chose pour éclairer certains aspects généraux du problème ». Il est donc intimement lié à l'idée de la transférabilité des connaissances qui seront produites par la recherche, c'est un aspect primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse et a une influence directe sur la qualité des résultats analytiques obtenues [50].

2.1. Site et périodes de prélèvement

Deux points d'eau ont été choisis (S1, S2)

- Station 1 (Eau brute) : se situe dans la station de traitement des eaux potables (station de Hammam Debagh) ; le prélèvement se réalise au niveau du bassin de mélange.
- Station 2 (eau traitée) : le prélèvement se réalise au niveau du réservoir de la station de pompage avec l'addition du thiosulfate.

Les prélèvements ont été effectués mensuellement de Janvier 2020 à Avril 2020, suivant des méthodes standardisées, vingt-quatre variables ont fait l'objet d'un suivi physico-chimique effectués au niveau du laboratoire de l'STEP (Station de Traitement des Eaux Potables), et cinq paramètres microbiologique effectués au niveau du laboratoire de département de biologie.

2.2. Matériels de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate, dont il faut assurer qu'il soit représentatif (c'est-à-dire qu'il reflète fidèlement l'état du cours d'eau à l'endroit et au moment où il a été prélevé), qu'il ne subisse aucune contamination et qu'il conserve son intégrité jusqu'au moment de l'analyse [6].

Il est donc primordial d'assurer le matériel adéquat à l'opération. Les échantillons d'eau sont prélevés à l'aide de bouteilles en plastique, préalablement rincées avec l'eau de la station.

Pour les flacons destinés au prélèvement pour l'analyse microbiologique, ils doivent être stériles et en verre suivant les conditions aseptiques.

2.3. Mode de prélèvement

Le mode de prélèvement varie suivant l'origine de l'eau. Dans le cas d'une rivière, d'une nappe ouverte (bassin), d'un réservoir, la bouteille est plongée à une certaine distance du fond (50 cm) et de la surface, assez loin de rive ou des bords, en dehors des zones mortes ou des remous, et en évitant la remise en suspension des dépôts [26].

Dans le cas du prélèvement de l'eau du robinet, l'opération est réalisée suivant le protocole ci-dessous :

- Pour une durée de plus de 10 minutes, ouvrir et laisser l'eau s'écouler du robinet afin d'éliminer l'eau stagnante dans les canalisations.
- Ouvrir le flacon stérile ou rincé et le remplir en tenant le bouchon dans sa protection orienté vers le bas afin d'éviter le dépôt des poussières à l'intérieure.
- Fermer le flacon tout en laissant un petit volume d'air à la surface pour faciliter l'agitation de l'eau avant son analyse.
- Etiqueter la date et l'heure du prélèvement, le site et l'ordre de prélèvement.

Dans le cas du prélèvement de l'eau traitée (eau de réservoir) contenant le chlore, il faut introduire dans les flacons un agent de neutralisation, ou le thiosulfate de sodium.

2.4. Transport de prélèvement

Le transport s'effectue en respectant le processus de conservation qui permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire. Il est recommandé de conserver les échantillons à l'obscurité et à une température de 4 °C dans une glacière contenant de la glace. Il est important donc de procéder à l'analyse le plus rapidement possible, de préférence dans l'heure suivante et en aucun cas après 24 heures [6].

3. Analyse des paramètres physico-chimiques

3.1. Paramètres physiques

Matériels utilisés :

Tableau IV.1 : Matériels utiliser pour l'analyse des paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Matériels	Unité
Température T	Thermomètre/sonde	°C
Conductivité électrique	Conductimètre	µs/cm
La turbidité	Turbidimètre	NTU
TDS	Conductimètre	mg/l
Salinité	Conductimètre	%
L'oxygène dissous	Sonde munie d'une électrode	mg/l
pH	PH-mètre	-

3.1.1. La température

Mode opératoire :

La température est un paramètre qu'on doit absolument mesurer sur le terrain, parce qu'elle tend à s'ajuster rapidement à la température ambiante. Ce paramètre doit donc être obtenue par le biais d'une sonde ou d'un thermomètre à l'alcool, qu'on immerge dans le cours d'eau jusqu'à l'obtention d'une lecture stable. Il est préférable de garder le thermomètre, ou la sonde, immergé pendant la lecture afin d'éviter l'influence de la température ambiante [6].

3.1.2. Conductivité électrique

Mode opératoire :

La mesure est effectuée par un multi-paramètre/conductimètre (WTW Conductimètre LF 197) (**Figure IV.1**). Tout d'abord rincer plusieurs fois la sonde avec de l'eau distillée, puis plonger la sonde dans l'échantillon à analyser.



Figure IV.1: conductimètre WTW Conductimètre LF 197 (Photo prise par BENSEDIRA S., 2020).

La lecture s'affiche directement sur l'écran, exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.1.3. La turbidité

La mesure est effectuée avec un turbidimètre appelé aussi néphélomètre, de type Turbidimètre à lampe au tungstène TL2300, EPA, 0 - 4000 NTU (**Figure IV.2**).

Les unités utilisées sont :

- NTU (Nephelometric Turbidity Unit).
- FTU (Formazine Turbidity Unit).
- JTU (Jackson Turbidity Unit).

Mode opératoire :

A l'aide d'un turbidimètre, la mesure de la turbidité est effectuée selon les étapes suivantes :

- Effectuer l'étalonnage du turbidimètre en introduisant dans la première cuve de l'eau distillée prise comme référence.
- Agiter gentiment le flacon contenant l'eau à analyser pour qu'il soit homogène.
- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 10 ml de l'eau à analyser.
- Nettoyer avec du papier hygiénique la cuvette en s'assurant que la surface de la cuvette est sèche et qu'elle ne contienne aucune tâche.
- Placer la cuvette dans le turbidimètre et appuyer sur MESURER.
- La mesure est affichée sur l'écran en NTU de l'instrument.



Figure IV.2 : Turbidimètre à lampe au tungstène TL2300, EPA, 0 - 4000 NTU. (Photo prise par BENSEDIRA S., 2020).

3.1.4. Salinité et TDS (Total des solides dissous)

Le TDS renseigne sur la teneur en sels de l'eau. On utilise le même multi-paramètre (**Figure IV.1**) pour mesurer les deux paramètres (TDS et salinité), la TDS s'exprime en mg/l et la valeur de la salinité en %.

3.1.5. Potentiel d'hydrogène (pH)

Mode opératoire :

La mesure est effectuée par un pH-mètre (Starter 2100 pH Bench) (**Figure IV.3**).

- Etalonner l'appareil avant la mesure, avec des solutions tampons à pH=7, pH=4 et pH=9. Après avoir rincé l'électrode en verre avec de l'eau distillée.
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, mettre une agitation doucement puis tremper l'électrode dans le bécher. Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation et noter pH.



Figure IV.3: Ph-mètre Starter 2100 pH Bench (Photo prise par BENSEDIRA S., 2020)

3.2. Paramètres Volumétriques

Matériels utilisés :

Tableau IV.2 : Matériels et Réactifs utiliser pour l'analyse des paramètres Volumétriques.

Paramètre	Matériels	Réactifs	Unité
TH	- Burette graduée - Erlenmeyer	- Solution E.D.T.A. - Solution tampon. - Noir Ériochrome.	mg/l
TA	- Burette graduée	- Phénophtaléine. - Acide chlorhydrique.	mg/l
TAC	- Burette graduée	- Hélianthine. - Acide chlorhydrique.	mg/l
Bicarbonate HCO_3^-	-	-	mg/l
Magnésium (Mg^{2+})	-	-	mg/l
Calcium (Ca^{2+})	- Burette graduée - Erlenmeyer	- Solution E.D.T.A. - Solution NaOH. - Murexide.	mg/l
Chlorures (Cl^-)	- Burette graduée - Erlenmeyer	- Nitrate d'argent. - Solution chromate de potassium.	mg/l
MO	- Burette graduée - Flacon - Plaque chauffante	- Acide sulfurique. - Solution Oxalate de sodium. - Solution Permanganate de potassium.	mg/l
MES	- Dispositif de filtration sous vide - Membranes de filtration	-	
RS	- Capsule en verre - Etuve - Balance - Dessiccateur	-	mg/l

3.2.1. Dosage de la dureté totale (titre hydrotimétrique TH)

La dureté totale de l'eau est déterminée par un dosage complexométrique par l'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique).

Mode opératoire :

Le mode opératoire s'effectue comme suit :

- Introduire 25ml de l'échantillon d'eau à analyser et 25ml d'eau distillée donc un totale de 50ml dans un erlenmeyer de 250ml ;
- Ajouter à l'aide d'une pipette graduée 4ml de la solution tampon puis une pincée de Noir Ériochrome pour obtenir une coloration rouge foncé.
- Doser solution obtenue par l'EDTA, le titrage se termine quand la solution rouge vire vers le bleue. La valeur de la dureté est indiquée par le volume de l'EDTA versé.

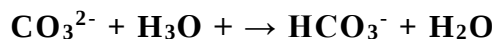
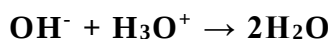
Expression des résultats :

$$[TH] = F \times FD \times Veq$$

$$[TH] = 20 \times 2 \times Veq$$

3.2.2. Le Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet (TA et TAC)**Principe du Titre Alcalimétrique (TA) :**

Le titrage alcalimétrique correspond à la neutralisation des ions hydroxydes (OH⁻) et la transformation des ions carbonates (CO₃²⁻) en ions hydrogénocarbonates (HCO₃⁻) par un acide fort en présence d'indicateur coloré (phénophtaléine) selon les réactions suivantes :



Dans ce titrage on détermine la concentration des ions OH⁻ et la moitié de la concentration des ions CO₃²⁻.

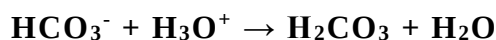
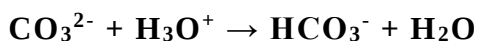
$$TA \text{ (méq/l)} = [OH^-] + 1/2 [CO_3^{2-}]$$

Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'un échantillon ;
- Ajouter 3 à 4 gouttes de la phénophtaléine jusqu'à l'obtention de la première couleur de l'échantillon ;
- Doser par l'acide chlorhydrique jusqu'à la décoloration de l'échantillon ;
- Le TA correspond à la quantité de l'acide chlorhydrique HCl ajouté.
- Si à la mesure du Ph, $\text{Ph} < 8,3$ cela veut dire que $\text{TA} = 00$.

Principe du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Le titrage alcalimétrique complet correspond à la neutralisation des ions hydroxyde (OH^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydrogénocarbonate (HCO_3^-) par un acide fort (HCl) en présence d'indicateur coloré (hélianthine) selon les réactions suivantes :



Dans ce dosage on détermine la concentration des ions hydroxyde, carbonate et hydrogénocarbonate restants.

$$\text{TAC (méq/l)} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

Mode opératoire :

- Ajouter à l'échantillon de TA 3 à 5 gouttes d'hélianthine, la coloration devient jaune ;
- Titrer par HCl jusqu'à ce que la coloration devienne orange ;
- Le TAC correspond à la quantité de l'acide chlorhydrique HCl ajouté.

3.2.3. Détermination du Bicarbonate HCO_3^-

La concentration de bicarbonate HCO_3^- est directement déduite.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{HCO}_3^-] = F \times [\text{TAC}]$$

3.2.4. Dosage du Calcium (Ca^{2+})

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrique décrite pour la dureté totale. Comme le dosage se fait à un pH élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

Mode opératoire :

- Introduire 50 ml d'eau à analyser (Soit 25ml de l'échantillon et 25ml d'eau distillée) dans un erlenmeyer au col large ;
- Ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium NaOH et quelques graines d'indicateur coloré (Murexide) ;
- Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rose au violet soit V le volume de solution D'EDTA Versé.

Expression des résultats :

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

$$[\text{Ca}^{2+}] = F \times Fd \times V_{eq}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 8 \times 2 \times V_{eq}$$

3.2.5. Dosage du l'ion de Magnésium (Mg^{+2})

Mesure et calcul du résultat :

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] = F \times [FD \times (V_{TH} - V_{\text{Ca}^{2+}})]$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = 4,8 \times [2 \times (V_{TH} - V_{\text{Ca}^{2+}})]$$

3.2.6. Dosage de chlorures (Cl^-)

Mode opératoire :

- Introduire à l'aide d'une éprouvette graduée 50ml de l'échantillon et 50ml d'eau distillée (un totale de 100ml) dans un erlenmeyer de 250ml ;
- Préparer un essai à blanc, donc 100ml d'eau distillée dans un erlenmeyer ;
- Ajouter à chaque essai 1ml de la Solution chromate de potassium (K_2CrO_4) ;
- Une coloration jaunâtre apparait ;
- Titrer avec la solution de Nitrate d'Argent (AgNO_3) jusqu'au virage brun-rougeâtre.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{Cl}^-] = F \times [(F_d \times V_{eq}) - V_{BL}]$$

$$[\text{Cl}^-] = 7,1 \times [(2 \times V_{eq}) - V_{BL}]$$



Figure IV.4 : Le résultat du virage de Cl^- (Photo prise d'internet).

3.2.7. Les matières organiques MO

Mode opératoire :

- Introduire à l'aide d'une éprouvette graduée 25ml de l'échantillon dans un flacon de 250ml ;
- Ajouter 5ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) ;
- Placer le flacon dans un bain marie pendant 10 à 12 minutes ;
- Ajouter 5ml de la solution de KMnO_4 ;
- Une coloration rose apparaît ;
- Attendre 10 minutes, puis ajouter 5ml de la solution d'oxalate de sodium pour la décoloration de la solution ;
- Une fois décolorer, titrer la solution encore à chaud avec la solution de KMnO_4 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle qui persiste environ 30s, on note le volume de l'échantillon V_{eq} ;
- Procéder avec les mêmes conditions à un essai à blanc sur 25ml d'eau distillée soit V_{BL} ;

- Ajouter à l'aide d'une pipette graduée 5ml de la solution d'oxalate de sodium à l'essai à blanc ;
- Titrer avec la solution de KMnO_4 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose soit le V_T volume utiliser.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{MO}] = F \left(\frac{V_{\text{eq}} - V_{\text{BL}}}{V_T} \right)$$

$$[\text{MO}] = 16 \left(\frac{V_{\text{eq}} - V_{\text{BL}}}{V_T} \right)$$

3.2.8. Matières en suspension (MES)

Mode opératoire :

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105°C pendant 20 minutes ;
- Laisser refroidir dans le dessiccateur ;
- Ensuite les peser : soit M_0 = masse des membranes avant filtration ;
- Placer les membranes dans le dispositif de filtration sous vide et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers ;
- Rendre les membranes à l'étuve (105°C) afin de sécher pendant 20 minutes ;
- Les laisser refroidir au dessiccateur ;
- Les peser une deuxième fois soit M_1 = masse des membranes après filtration.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$\text{MES} = [(M_1 - M_0)/V] \times 1000$$

3.2.9. Mesure du résidu sec (RS)

Mode opératoire :

- Laver et rincer avec de l'eau distillée puis sécher une capsule tarée ;
- Effectuer une première pesée à vide M_0 à l'aide d'une balance ;

- Verser un volume de 10ml de l'échantillon ;
- Mettre la capsule dans l'étuve à 150°C ;
- Une fois l'eau totalement évaporée, laisser refroidir la capsule ensuite la mettre dans un dessiccateur pour une durée de 15min ;
- Effectuer la dernière pesée que l'on note M.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{Résidu}] = F \times (M - M_0)$$

$$[\text{Résidu}] = 10000 \times (M - M_0)$$



Figure IV.5 : Dessiccateur
(Photo prise d'internet)



Figure IV.6 : Balance de précision mettler (Photo prise d'internet)



Figure IV.7 : Etuve (Photo prise d'internet)

3.3. Paramètres de Spectrophotométrie

Matériels utilisés :

Tableau IV.3 : Matériels et Réactifs utiliser pour l'analyse des paramètres de spectrophotométrie.

Paramètre	Matériels	Réactifs	Unité
Fer (Fe^{2+})	Spectrophotomètre.	- Acide sulfurique. - Solution Tampon Acétate. - Solution chlorhydrate d'hydroxylamine. - Solution de phénantroline.	mg/l
Sulfates (SO_4^{2-})	Spectrophotomètre.	- Solution chlorure de baryum. - Solution stabilisante.	mg/l
Nitrates (NO_3^-)	Spectrophotomètre.	- Solution de salicylate de sodium à 0,5 %. - Solution d'hydroxyde de sodium 30 %. - Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. - Tartrate double de sodium et de potassium.	mg/l

3.3.1. Dosage des ions de Fer (Fe^{2+})

Mode opératoire :

- Mettre 50ml de l'échantillon dans capsule en verre ;
- Ajouter 1ml d'acide sulfurique(H_2SO_4) ;
- Ajouter 1ml de chlorhydrate d'hydroxylamine ;
- Verser et mélanger dans une fiole jaugée 100ml la solution ;
- Ajouter 2ml de solution tampon acétate ;
- Ajouter 2ml de la solution phenanthroline ;
- Conserver à l'obscurité pendant 15min ;
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre ;
- Faire de même pour l'essai à blanc.

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en mg/l.

3.3.2. Dosage des ions de Sulfates (SO_4^{2-})

Mode opératoire :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante ;
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum (BaCl_2) ;
- Agiter énergiquement pendant 1 mn ;
- Laisser reposer pendant 15min ;
- Agiter une autre fois et faire de même pour l'essai à blanc.
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à $\lambda = 420 \text{ nm}$ en commençant par l'essai à blanc.

Expression des résultats :

$\text{mg/l SO}_4^{2-} = \text{La valeur lue sur le spectrophotomètre.}$

3.3.3. Dosage des Nitrates (NO_3^-)

Le dosage des nitrates s'effectue en présence de salicylate de sodium. Les nitrates donnant du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune, peuvent être mesuré par colorimétrie.

Mode opératoire :

Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réalise selon les étapes suivantes :

- Introduire 10 ml de l'eau à analyser dans un bécher à 250ml ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'hydroxyde de sodium NaOH à 30% ;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium ;
- Evaporer à sec au bain marie à $75-88^\circ\text{C}$, laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu avec 2 ml H_2SO_4 puis laisser reposer 10 mn ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.

- Passer au spectrophotomètre au 415 nm

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

3.4. Paramètres de pollution

Matériels utilisés :

Tableau IV.4 : Matériels et Réactifs utiliser pour l'analyse des paramètres de pollution.

Paramètre	Matériels	Réactifs	Unité
Nitrites (NO_2^-)	Spectrophotomètre.	- Réactif coloré d' NO_2 .	mg/l
Ammonium (NH_4^+)	Spectrophotomètre.	- Réactif coloré d' NH_4^+ . - Solution de Dichloroisocyanurate de sodium.	mg/l
Phosphate (PO_4^{3-})	Spectrophotomètre.	- Acide ascorbique. - Réactif molybdate.	mg/l
Aluminium (Al^{3+})	Spectrophotomètre.	- Chlorure de calcium (CaCl_2) à 0,7 g/l ; - Acide Thio-glycolique ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{S}$) à 80 % ; - Solution tampon pH= 4,6 - Rouge d'alizarine.	mg/l

3.4.1. Dosage des Nitrites (NO_2^-)

Mode opératoire :

- Verser 40 ml d'eau à analyser à l'aide d'une éprouvette, dans une fiole jaugée de 50 ml ;
- Ajouter 1 ml de réactif coloré d' NO_2 puis agiter ;
- Compléter la fiole d'eau à analyser jusqu'à 50ml ;
- Attendre 15 minutes ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des ions nitrates ;

- Passer au spectrophotomètre.
- Faire de même pour l'essai à blanc.

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en mg/l.



Figure IV.8 : Dosage de Nitrite (Photo prise d'internet)

3.4.2. Dosage de l'Ammonium (NH₄⁺)

Mode opératoire :

- Verser 40 ml d'eau à analyser à l'aide d'une éprouvette, dans une fiole jaugée de 50 ml ;
- Ajouter 4ml de réactif coloré d' NH_4^+ , puis agiter, une couleur jaune apparaît ;
- Ajouter 4ml de la Solution de Dichloroisocyanurate de sodium ;
- Compléter la fiole jusqu'à 50 ml ;
- Attendre 45 minutes à 1h ;
- S'il y'a l'apparition d'une couleur verte, effectuer la lecture au spectrophotomètre ;
- Faire de même pour l'essai à blanc.

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en mg/l.



Figure IV.9 : Dosage d'Ammonium (Photo prise par BENSEDIRA S., 2020)

3.4.3. Dosage de phosphate (PO_4^{3-})

Mode opératoire :

- Verser 40 ml d'eau à analyser à l'aide d'une éprouvette, dans une fiole jaugée de 50 ml ;
- Ajouter 1ml de l'acide ascorbique, puis agiter ;
- Ajouter 2ml du réactif molybdate ;
- Compléter la fiole d'eau à analyser jusqu'à 50ml ;
- Attendre 10 à 20min ;
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{3-} ;
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre ;
- Faire de même pour l'essai à blanc.

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en mg/l.

3.4.4. Dosage d'aluminium (Al^{3+})

Mode opératoire :

- Dans une fiole de 50 ml introduire 25 ml d'eau à analyser ;

- Ajouter 2,5 ml de chlorure de calcium ;
- 1 ml d'acide Thio-glycolique ;
- 5 ml de tampon acétate et 1 ml de rouge d'alizarine ;
- 15,5 ml d'eau distillée, après 90 min fait la lecture par le spectrophotomètre à 540 nm.

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en mg/l.

4. Analyses des paramètres bactériologiques

Après les analyses organoleptiques et physico-chimiques, un autre volet du suivi de la qualité d'une eau destinée à la consommation humaine est la recherche de la charge bactérienne qui s'y est développée. Les analyses des paramètres bactériologiques sont aussi faites au niveau de laboratoire de la station de traitement des eaux (ADE unité de Guelma).

Concernant notre étude, on s'est limité aux paramètres résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Les paramètres Bactériologiques.

Bactéries recherchées	But de recherche	Méthode de recherche	
Germes totaux à 22 °C et à 37 °C	Indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique.	Par incorporation	
Coliformes totaux	Indicateur de contamination fécale	Par filtration	
Coliformes thermo tolérants			
Streptocoques fécaux		Par filtration	NPP
Anaérobie sulfitoréductrices		Par incorporation	

4.1. Recherche des germes totaux à 37 °C (GT)

Mode opératoire :

- A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 20 gouttes dans une boîte de pétri vide, compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA fondue ;
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose ;
- Laisser solidifier les boîtes sur la paillasse.

Incubation :

- L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture et interprétation :

Les germes totaux se présentent sous forme de colonie lenticulaire, après 24 puis 48 heures, on calcule le nombre de ces colonies présentes en unité formant colonie dans un millilitre d'eau (UFC/ml).

4.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)

Mode opératoire :

Pour les coliformes totaux :

- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser ;
- Actionner la rampe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane ;
- Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile ;
- Ensemencer la membrane qui renferme les germes, dans une boîte de pétri contenant de la gélose TTC TERGITOL.

Pour les coliformes fécaux :

- S'il y a des colonies, placer à l'aide d'une pince stérile dans le milieu Schubert.

Incubation :

Pour les coliformes totaux :

- L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 heures.

Pour les coliformes fécaux :

- L'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures.

Lecture et interprétation :

Après 24 heures d'incubation à 37 °C, les coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangés et dénombrent le nombre des colonies.

Après une autre 24 heures d'incubation à 44 °C, apparition de l'anneau rouge indiquent l'*Escherichia coli*.

4.3. Recherche des streptocoques fécaux

Mode opératoire :

- Stériliser l'entonnoir à l'aide d'un bec bunsen ;
- Refroidissement soit avec l'eau à analyser ou bien de l'eau distillée stérile ;
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de 0,45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile ;
- Fixer ce dernier avec la pince correspondante ;
- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 50 ml d'eau à analyser ;
- Actionner la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane ;
- Retirer l'entonnoir et transférer la membrane à l'aide de la même pince stérile et placer dans une boîte de pétri contenant de la gélose Slanetz et Bartley.

Incubation :

- L'incubation se fait à 37 °C pendant 48 heures.

Lecture et interprétation :

Après 48 heures d'incubation, les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombées qui peuvent être dénombrées.

4.4. Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR)

Mode opératoire :

- Prendre environ 25 ml à partir de l'eau à analyser, dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes ;
- Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question, sous l'eau de robinet ;
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube ;
- Ajouter environ 20 ml de gélose viande foie, fondue, puis refroidie à 45 ± 1 °C ;
- L'incorporation se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air ;
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant la formation des bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène ;
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ.

Incubation :

- L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture et interprétation :

Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, ayant poussé en masse et apporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser.

5. Conclusion

La connaissance de certains paramètres physico-chimiques donne une évaluation préliminaire de la qualité d'une eau.

Pour conduire cette étude, on a effectué les différentes analyses sur les eaux de barrage brutes et traitées du barrage Bouhamdane, en suivant les étapes suivantes :

- Echantillonnage des eaux des deux stations (Eau brutes et eau traitées).
- Analyse des paramètres physique et chimiques ainsi que volumétriques, ensuite les paramètres de spectrophotométrie et les paramètres de pollution.
- Analyse des paramètres bactériologique.

Les analyses de ces paramètres ont été déterminées par des méthodes standard selon le guide général du laboratoire centrale de l'ADE de Guelma.

CHAPITRE V :

Résultats et

discussions

1. Introduction

Ce chapitre est consacré aux résultats et à la discussion des analyses des paramètres physico-chimiques et paramètres bactériologiques de l'eau brute et traitée du barrage Bouhamdane durant la période de janvier à avril 2020.

2. Résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques

Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau brute et traitée de barrage Bouhamdane de Hammam debagh-Guelma, dans le tableau V.1.

Tableau V.1 : Résultats d'Analyses physico-chimiques de l'eau brute et traitée de barrage Bouhamdane pendant la période (janvier, février, mars, avril) 2020.

Date de prélèvement	Janvier		Février		Mars		Avril		Les normes	
L'eau de barrage Bouhamdane	Brute (EB)	Traitée (ET)	Brute (EB)	Traitée (ET)	Brute (EB)	Traitée (ET)	Brute (EB)	Traitée (ET)	ALG	OMS
Turb (NTU)	14	2,27	5,08	1,9	5,8	1,28	5,93	1,16	05	-
pH	7,72	7,80	8,08	7,98	8,07	7,96	8,29	8,27	6,5-8,5	6,5-9,2
CE (µS/cm)	751	752	756	734	752	757	769	750	2800	-
TDS (mg/l)	326	337	342	334	326	321	322	324	-	-
Salinité	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
T (°C)	9,8	10,1	10,6	10,6	11,7	11,7	12,2	12,6	25	25
TH (mg/l)	264	264	272	272	266	266	266	266	500	500
TA (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00	00	-	-
TAC (mg/l)	144	138	156	154	156	158	156	157	-	-
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	175,68	168,68	190,32	187,88	190,32	192,76	190,32	191,54	350	-
Ca ²⁺ (mg/l)	68,88	68,88	71,28	71,25	68,88	68,88	68,88	68,88	200	-
Mg ²⁺ (mg/l)	22,36	22,36	22,84	22,84	22,84	22,84	22,84	23,2	150	150
Cl ⁻ (mg/l)	71	71	71	71	71	71	71	71	500	250
MO (mg/l)	8,1	4,2	7,2	3,6	7,2	3,2	8	3,2	05	-

MES (mg/l)	4	0,5	2	00	-	-	-	-	<30	-
RS (mg/l)	490	493,51	495	490	-	-	-	-	2000	-
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1,82	1,979	1,7	1,667	00	00	0,004	00	0,2	0,2
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,017	00	0,015	0,002	0,012	00	0,02	00	0,5	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,013	0,004	0,006	0,002	3,731	2,4	2,185	2,633	50	50
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	68,15	73	132,5	150,5	92	108	69,5	72	400	500
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,235	0,008	0,126	0,064	0,325	0,088	0,182	00	0,5	-
Fe ²⁺ (mg/l)	0,2	0,09	0,07	0,01	0,15	0,02	0,15	00	0,3	-
Al ³⁺ (mg/l)	-	0,2	-	0,2	-	0,18	-	0,14	0,2	0,2

3. Discussions des résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques

Les résultats physico-chimiques sont obtenus dans le laboratoire physico-chimique de la station de traitement des eaux de barrage Bouhamdane de Hammam Debagh-Guelma.

Chaque deux paramètres sont rapportés ensembles dans les tableaux (voir annexe C) et les figures ci-dessous et sont suivi des discussions.

3.1. Température et potentiel d'hydrogène

Température :

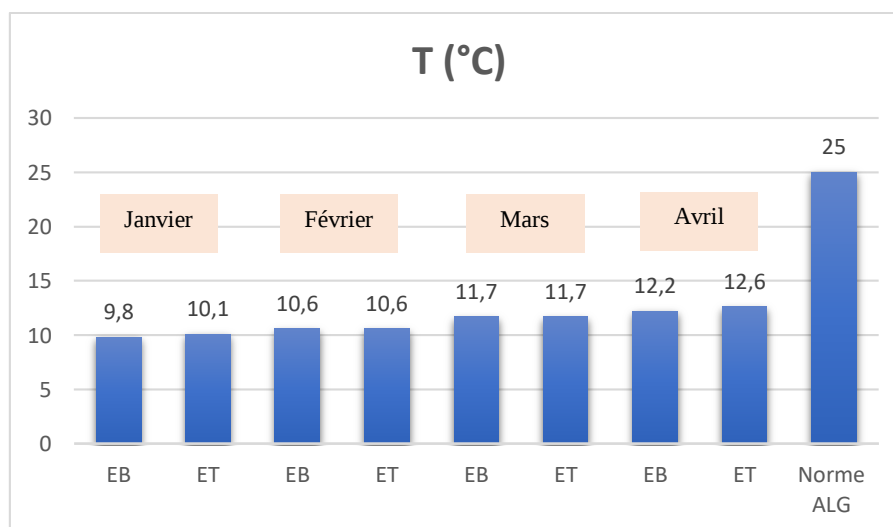


Figure V.1 : Evolution de la température des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les valeurs mesurées de la température de l'eau brute et traitée du barrage Bouhamdane varient entre 9,8 (°C) et 12,5 (°C) au cours des quatre mois d'analyses ; janvier, février, mars et avril.

Toutes les valeurs sont acceptables et sont conformes à la norme algérienne de 25 (°C).

Potentiel d'hydrogène :

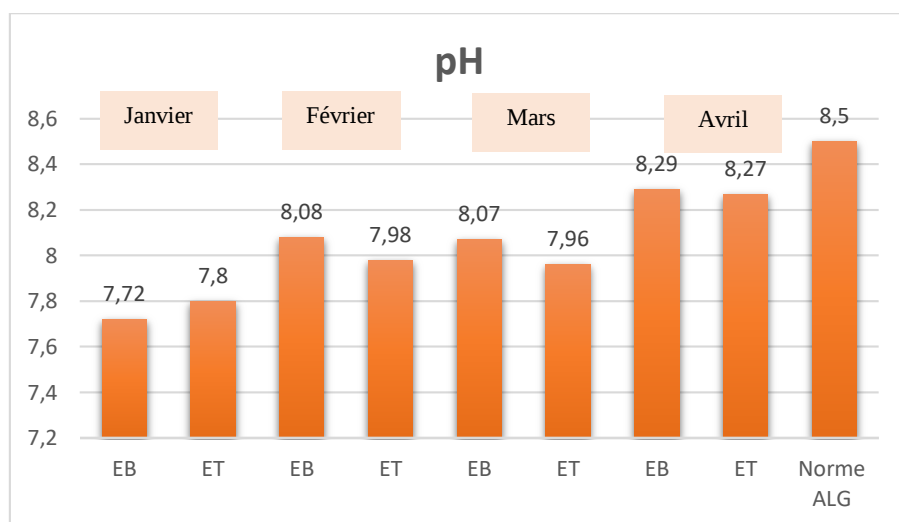


Figure V.4 : Evolution du potentiel d'hydrogène des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les valeurs mesurées du potentiel d'hydrogène de l'eau brute et traitée du barrage Bouhamdane varient entre 7,72 et 8,29 au cours des quatre mois d'analyses ; janvier, février, mars et avril.

Tous les résultats de pH ne dépassent pas la norme algérienne de 8,5 et sont donc conformes.

3.2. Conductivité électrique (CE) et total des solides dissous (TDS)

La conductivité électrique (CE) :

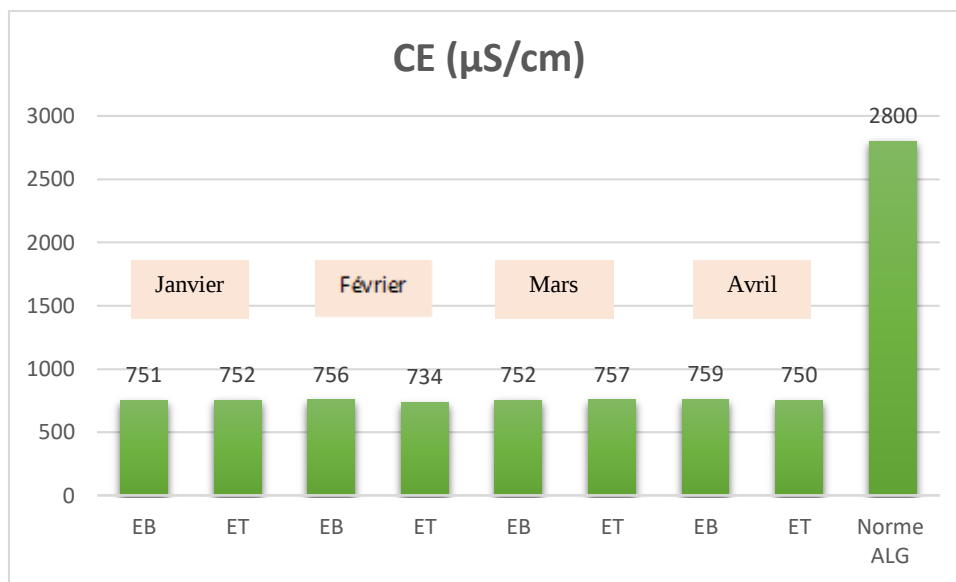


Figure V.3 : Evolution de la conductivité électrique des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude montrent une conductivité qui varie entre 734 µS/cm et 759 µS/cm ; pour ces quatre premiers mois de 2020.

Toutes les valeurs sont conformes à la norme algérienne de potabilité de 2800 µS/cm.

Total des solides dissous (TDS) :

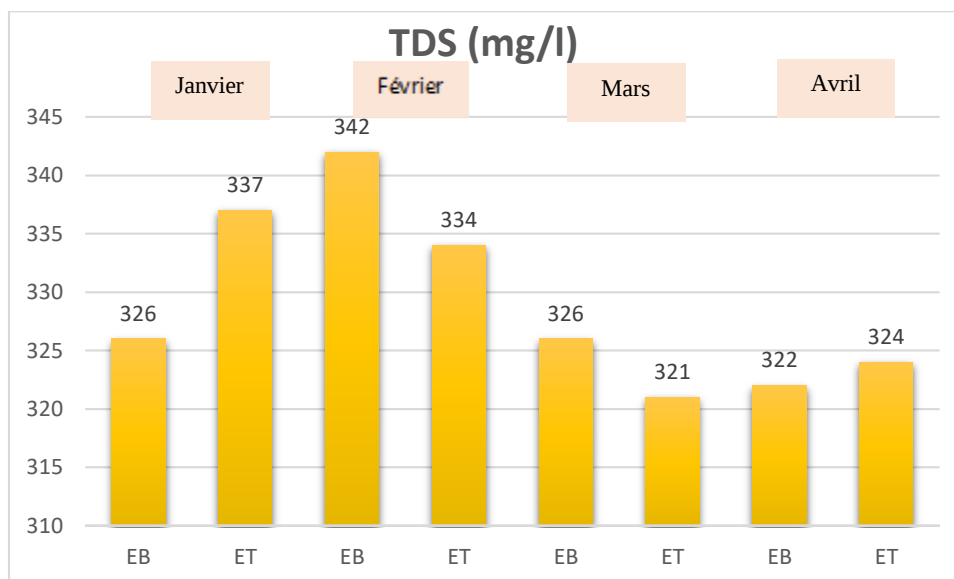


Figure V.4 : Evolution de la TDS des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent une TDS qui varie entre 321 mg/l et 342 mg/l.

Il n'existe pas de concentration maximale admissible légale.

3.3. Turbidité et Salinité

La turbidité :

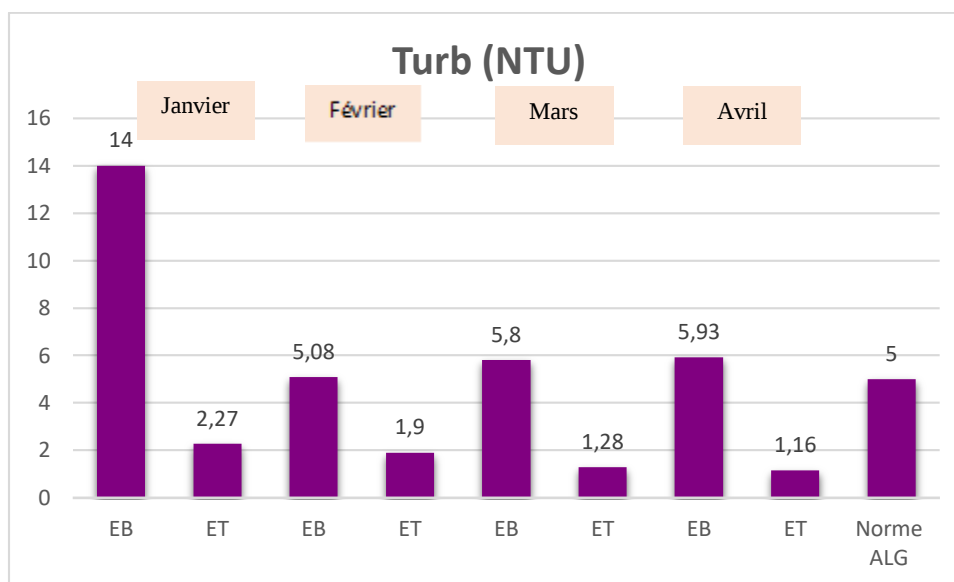


Figure V.5 : Evolution de la turbidité des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

D'après les résultats présentés sur la figure 5, on constate que la turbidité de l'eau brute du barrage est nettement supérieure (5,93-14 NTU) à celle de l'eau traitée et elle dépasse la norme algérienne (5 NTU), d'où la nécessité du traitement de l'eau brute.

Après traitement les valeurs de la turbidité (1,28-2,27 NTU) deviennent conformes à la norme algérienne.

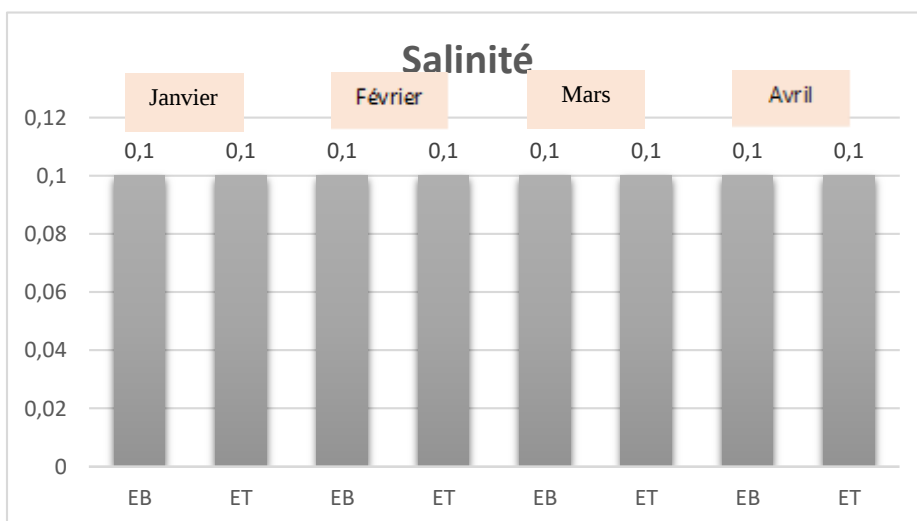
La salinité :

Figure V.6 : Evolution de la salinité des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats de la salinité de l'eau de barrage (EB et ET), indiquent une valeur maximale de 0,1 pour les quatre mois. Il n'existe pas de concentration maximale admissible légale.

3.4. Titre alcalimétrique simple et complet TA et TAC

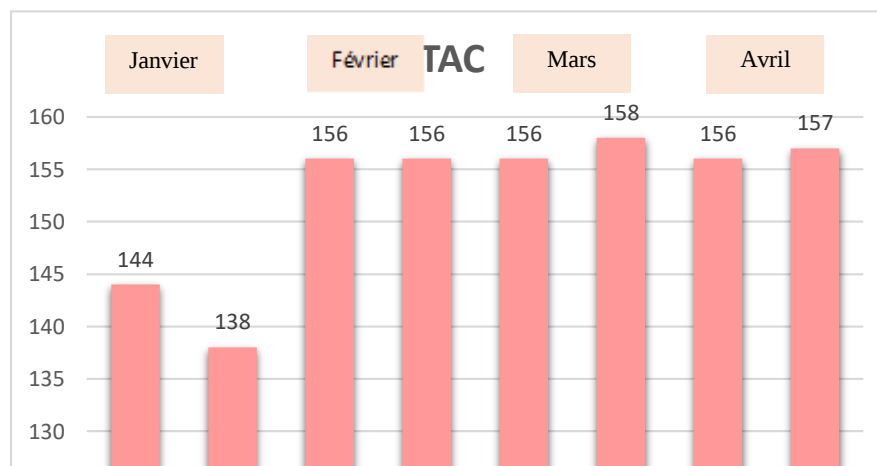


Figure V.7 : Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

D'après les résultats obtenus Tableau 5, il est clair que les valeurs du titre alcalimétrique (TA) sont nulles pour l'eau brute et traitée durant toute la période d'analyse.

Pour les résultats du titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau de barrage, on constate un TAC qui varie de 13,8 mg/l à 15,8 mg/l, il n'existe pas de concentration maximale admissible légale.

Cette variation peut être expliquée par l'augmentation de la minéralisation suite aux apports riches en cations et en anion.

3.5. Calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+})

Calcium (Ca^{2+}) :

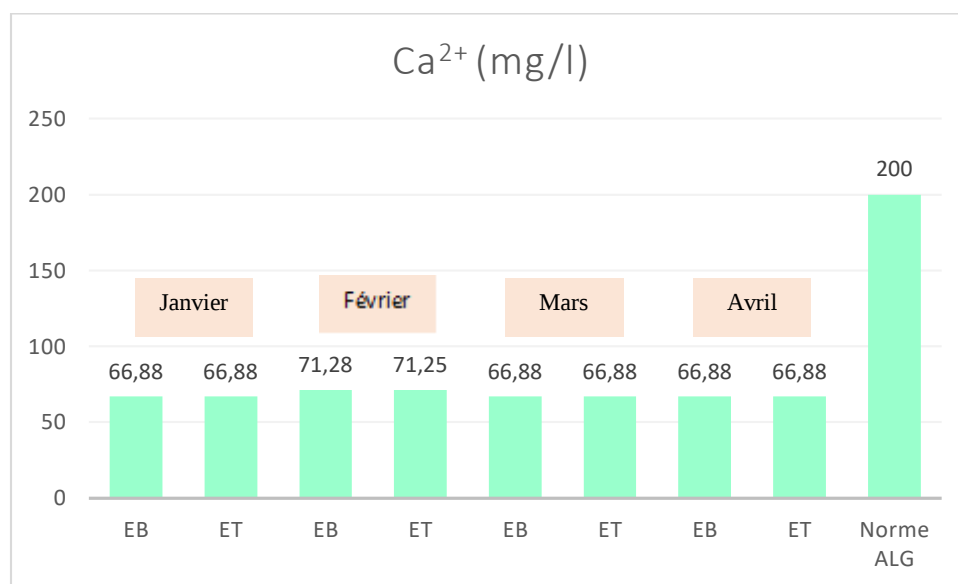


Figure V.8 : Evolution des ions de calcium des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de calcium variant entre 66,88 mg/l et 71,28 mg/l, ces valeurs sont conformes à la norme algérienne (200 mg/l).

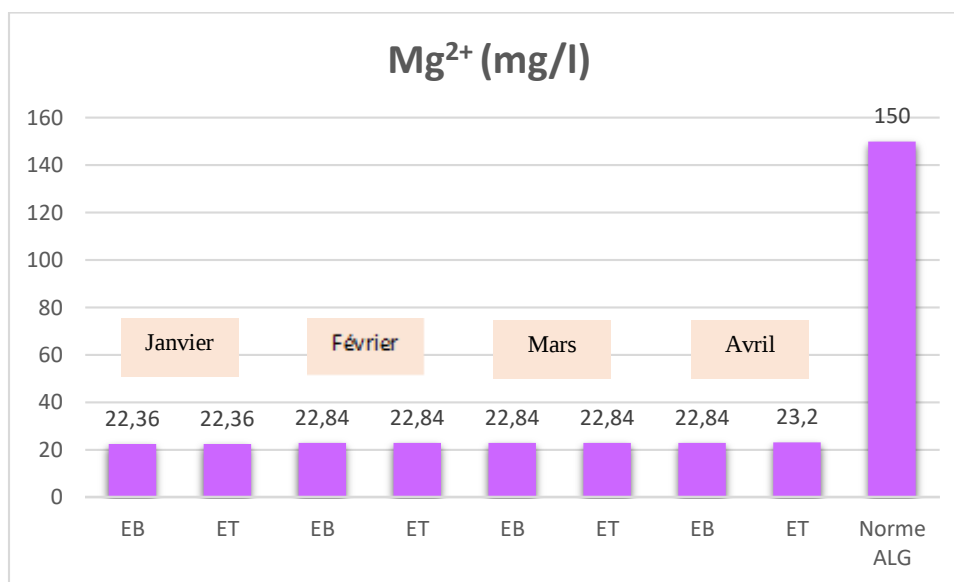
Magnésium (Mg^{2+}) :

Figure V.9 : Evolution des ions de magnésium des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de magnésium qui varie entre 22,36 mg/l et 23,2 mg/l. Ces valeurs sont conformes à la norme algérienne (150 mg/l).

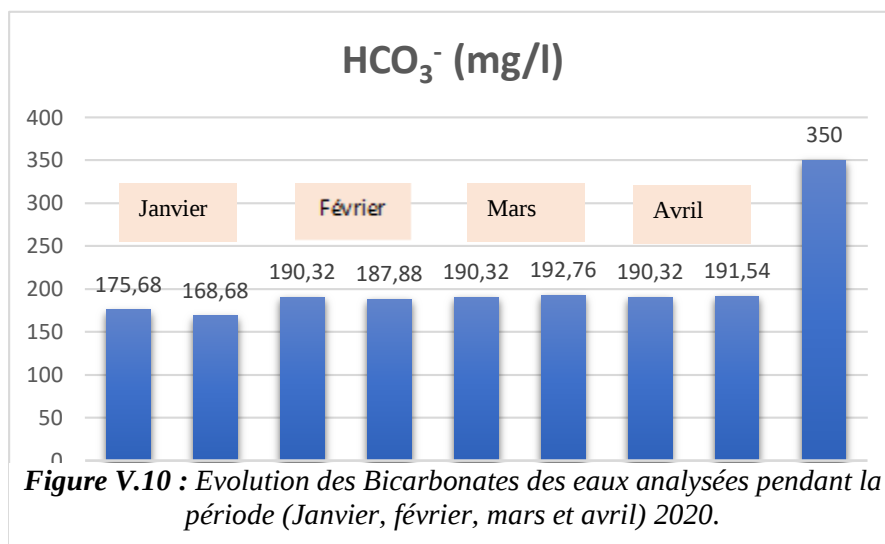
3.6. Bicarbonates (HCO_3^-) et chlorures (Cl^-)**Bicarbonates (HCO_3^-) :**

Figure V.10 : Evolution des Bicarbonates des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de bicarbonate qui varie entre 168,68mg/l et 192,76mg/l. Les résultats des bicarbonates sont tout à fait en accord avec la norme algérienne de 350 mg/l.

Chlorures (Cl^-) :

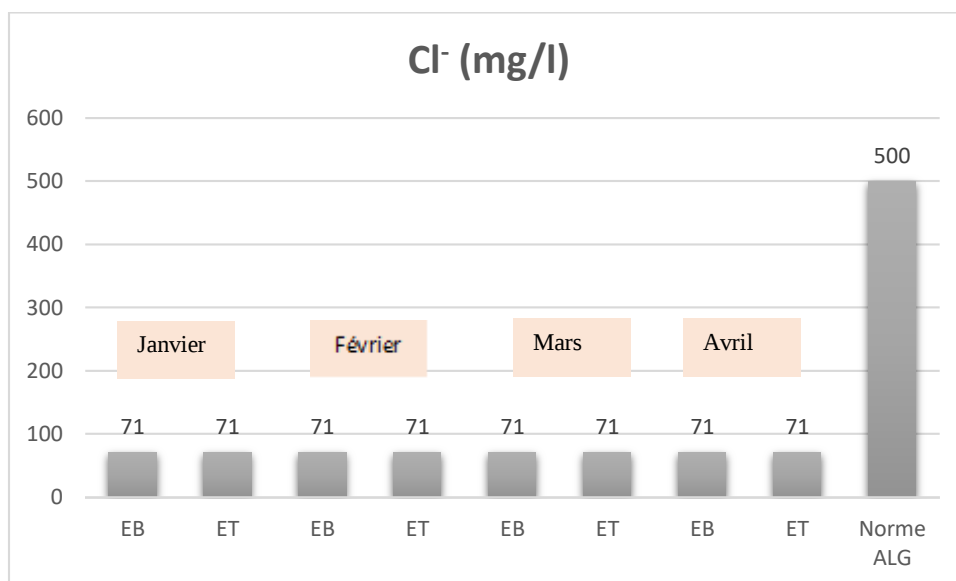


Figure V.11 : Evolution des chlorures des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les eaux de barrage (l'EB et l'ET) contiennent la même teneur en ions chlorures pendant toute la période d'analyse avec une valeur de 71 mg/l, cette valeur ne dépasse la norme algérienne de 500 mg/l.

3.7. Dureté totale (TH) et matière organique (MO)

Dureté totale (TH) :

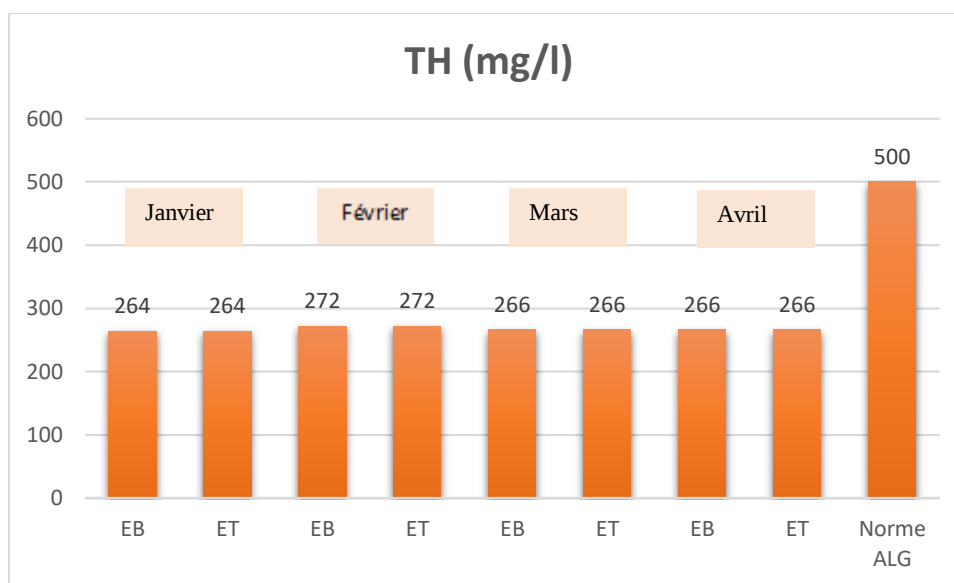


Figure V.12 : Evolution de la dureté des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les eaux de barrage (l'EB et l'ET) contiennent une dureté approximativement identique avec des valeurs entre 264 mg/l et 272 mg/l.

Ces valeurs sont tout à fait en accord avec la norme algérienne de 500 mg/l.

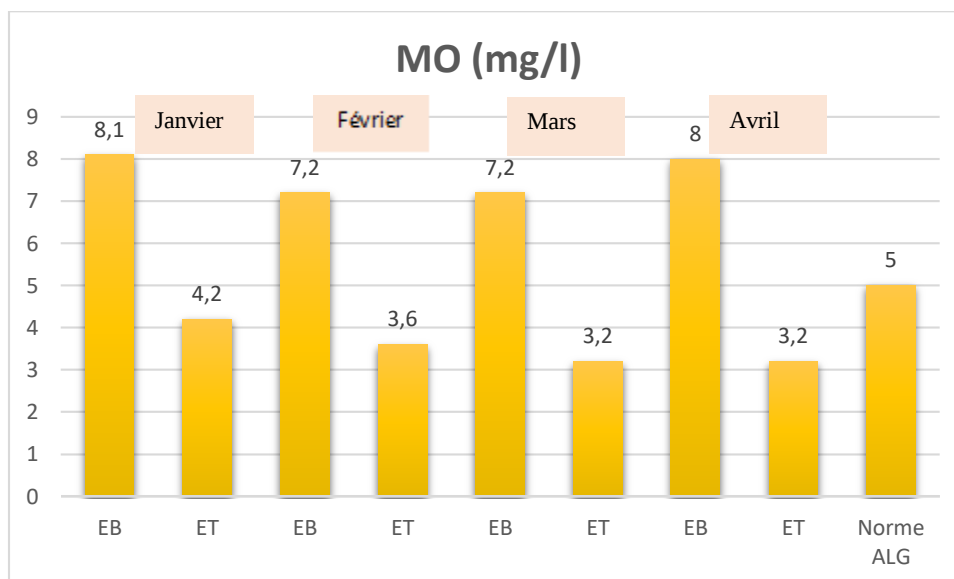
Matière organique (MO) :

Figure V.13 : Evolution de la matière organique des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

D'après les résultats, on constate que la teneur des MO de l'eau brute dépasse la norme (5 mg/l) avec des valeurs de 7,2 à 8,1 mg/l, d'où la nécessité du traitement.

Les valeurs de la teneur en MO pour l'eau traitée deviennent conformes à la norme algérienne.

3.8. Résidu sec (RS) et matière en suspension (MES)

Matière en suspension (MES) :

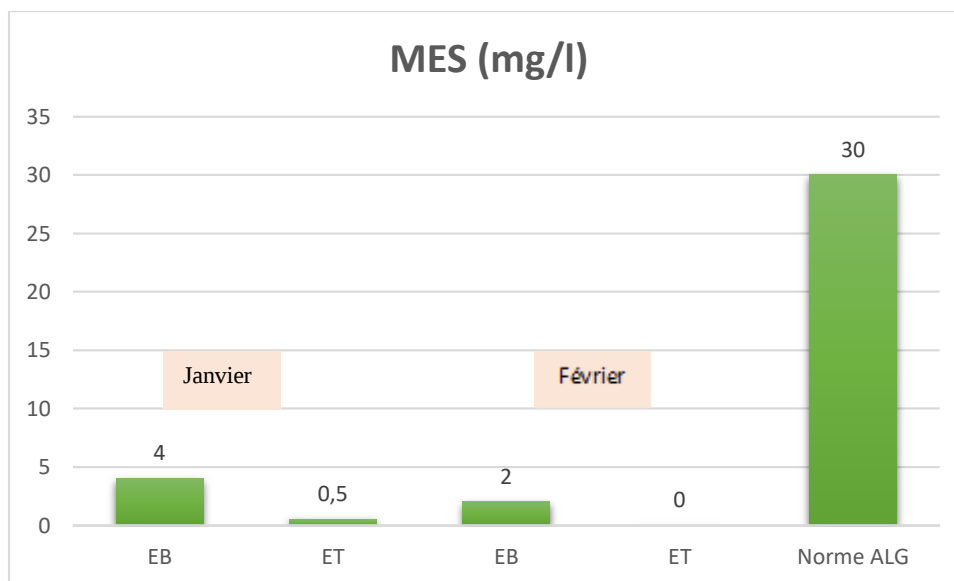


Figure V.14 : Evolution des matières en suspensions (MES) des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de MES pour l'eau brute supérieur (avec des valeurs de 2 et 4 mg/l) au taux de MES de l'eau traitée avec des valeurs presque nulles.

Toutes les valeurs de MES que ce soit pour (EB) ou (ET) restent conformes à la norme algérienne <30 mg/l.

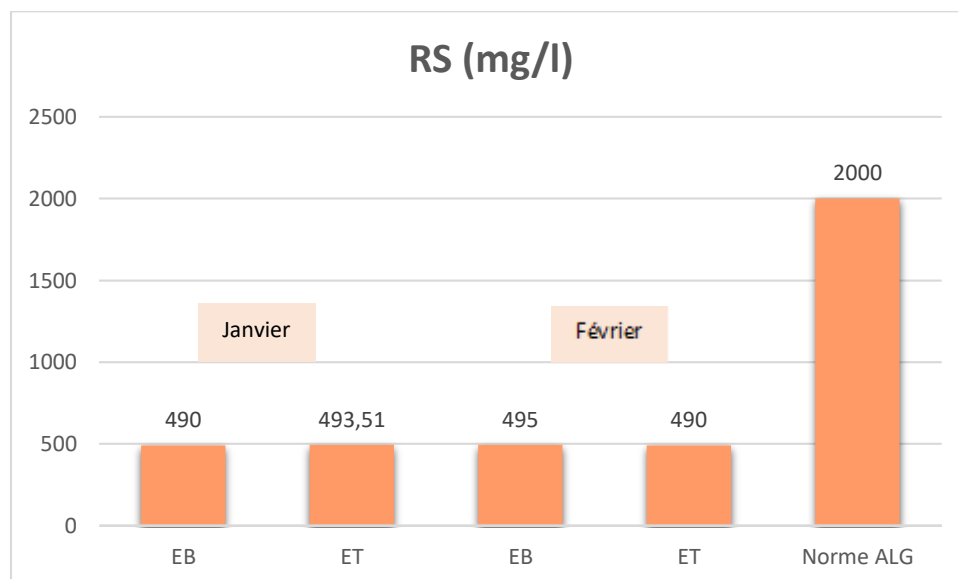
Résidu sec (RS) :

Figure V.15 : Evolution du résidu sec (RS) des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de résidu sec approximativement identique pour (EB) et (ET) avec des valeurs entre 490 mg/l et 495 mg/l.

Ces valeurs sont tout à fait en accord avec la norme algérienne de 2000 mg/l.

3.9. Fer (Fe^{2+}) et ammonium (NH_4^+)

Fer (Fe^{2+}) :

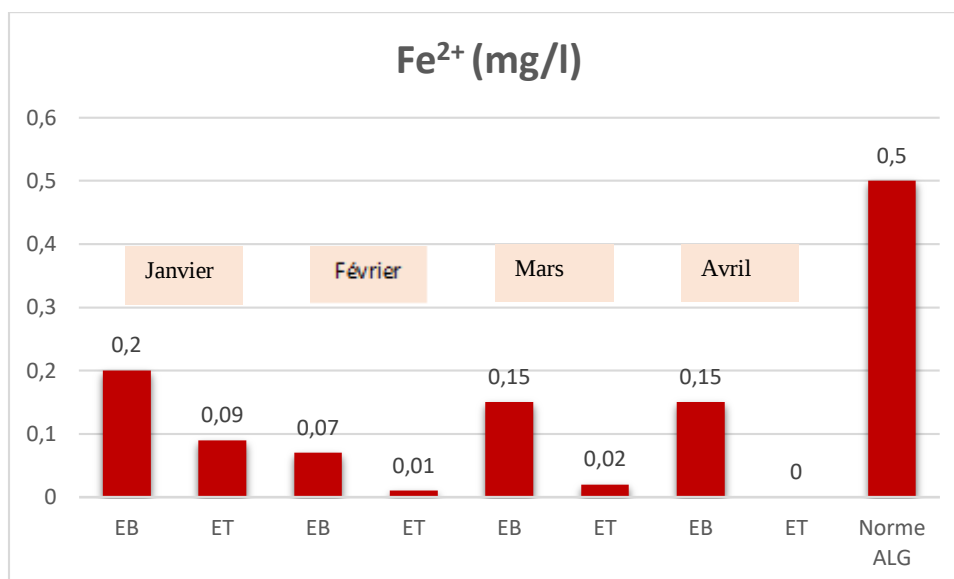


Figure V.16 : Evolution des ions de fer des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

D'après les résultats organisés dans le tableau 10, les valeurs des ions ferreux (Fe^{2+}) sont acceptables et conformes à la norme pour l'eau de barrage (brute et traitée) avec des valeurs entre 0 et 0,2 mg/l.

L'ammonium (NH_4^+) :

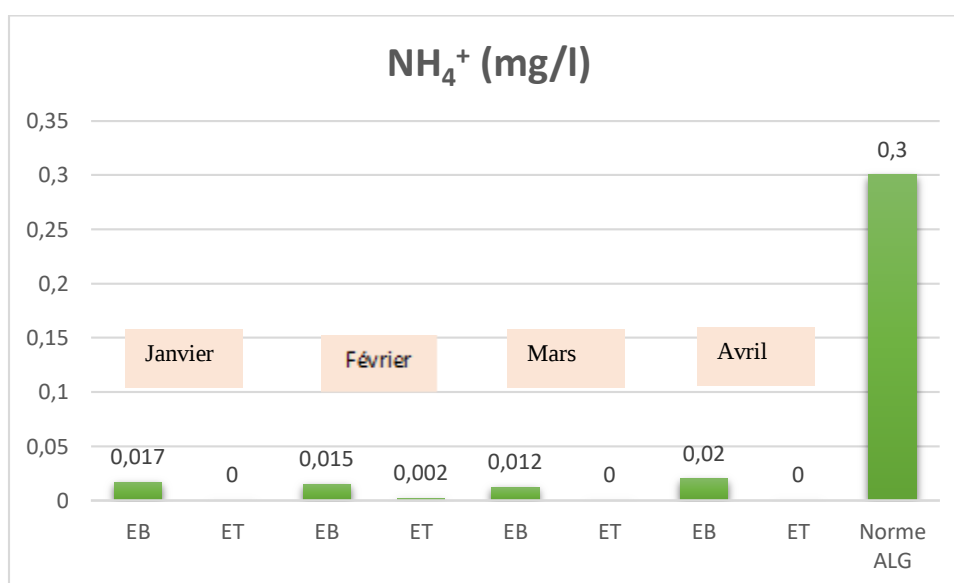


Figure V.17 : Evolution de l'ammonium des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020

Les valeurs de l'azote ammoniacal (NH_4^+) pour l'eau de barrage existent sous forme de traces avec une valeur maximale de 0.02 mg/l obtenue dans l'eau brute du mois d'avril.

Les résultats d'ammonium sont bons et acceptables, ils ne dépassent pas la norme algérienne de 0,3 mg/l.

3.10. Nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-)

Nitrites (NO_2^-) :

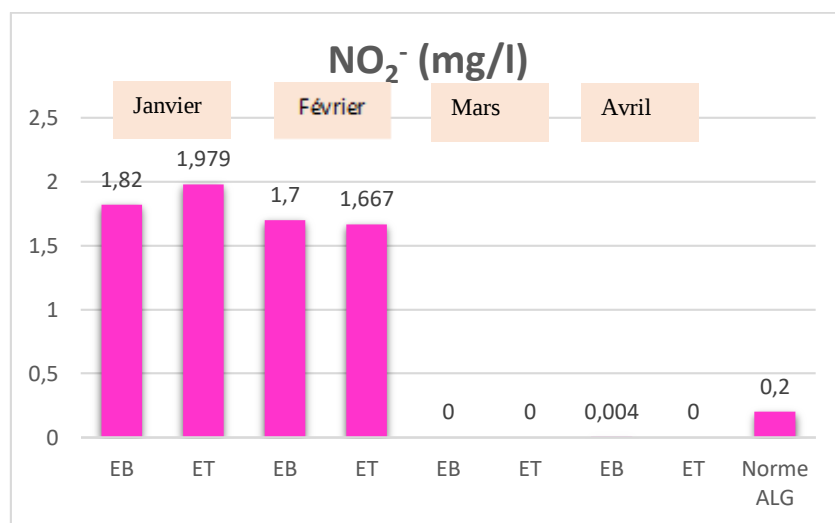


Figure V.18 : Evolution du nitrite des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats d'analyses montrent l'inexistence des ions nitrites dans l'eau traitée durant mars et avril. En ce qui concerne janvier et février on peut constater des valeurs entre 1.979 et 1,667 mg/l, néanmoins ces valeurs restent conformes à la norme algérienne. Dans l'eau brute la teneur maximale est de 1,82 mg/l et est aussi acceptable.

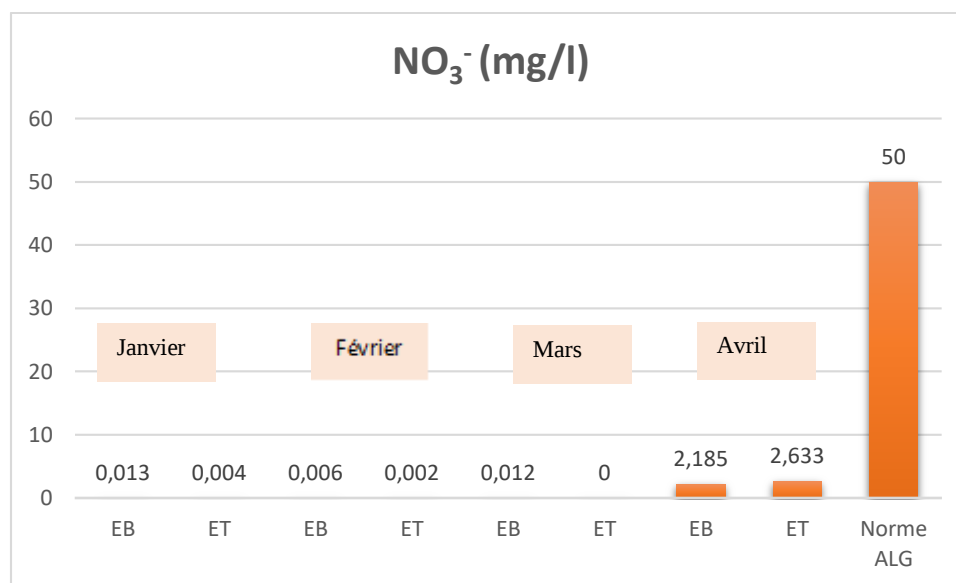
Nitrates (NO_3^-) :

Figure V.19 : Evolution du nitrate des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats d'analyses montrent l'existence des nitrates sous formes de traces et une légère augmentation durant le mois d'avril avec un maximal de 2,633 mg/l. cette dernière valeur reste néanmoins largement en accord avec la norme algérienne.

3.11. Sulfates (SO_4^{2-}) et phosphates (PO_4^{3-})

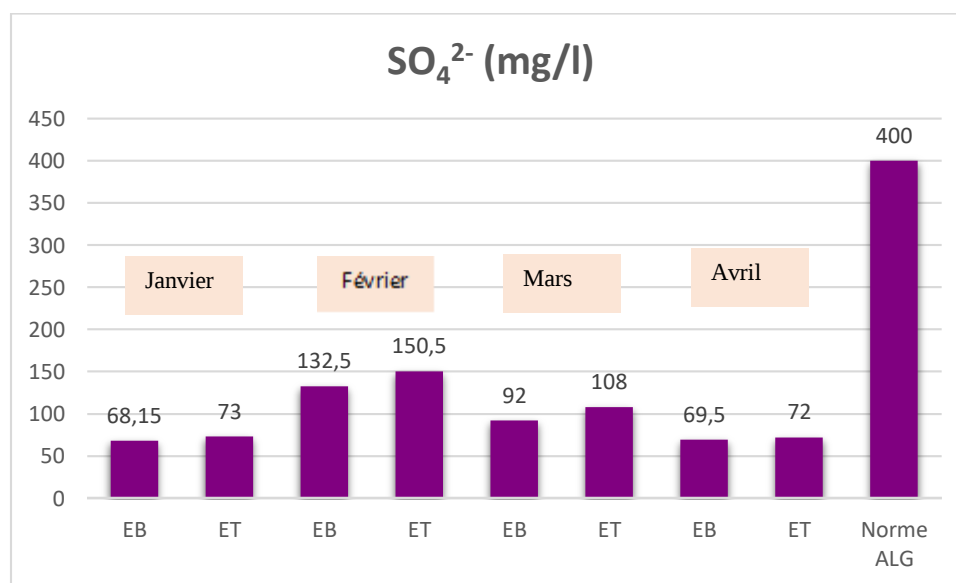
Sulfates (SO_4^{2-}) :

Figure V.20 : Evolution de la quantité du sulfate des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de sulfate qui varie entre 68,15 mg/l et 150,5 mg/l.

Ces résultats sont conformes à la norme algérienne de 400 mg/l.

Phosphates (PO_4^{3-}) :

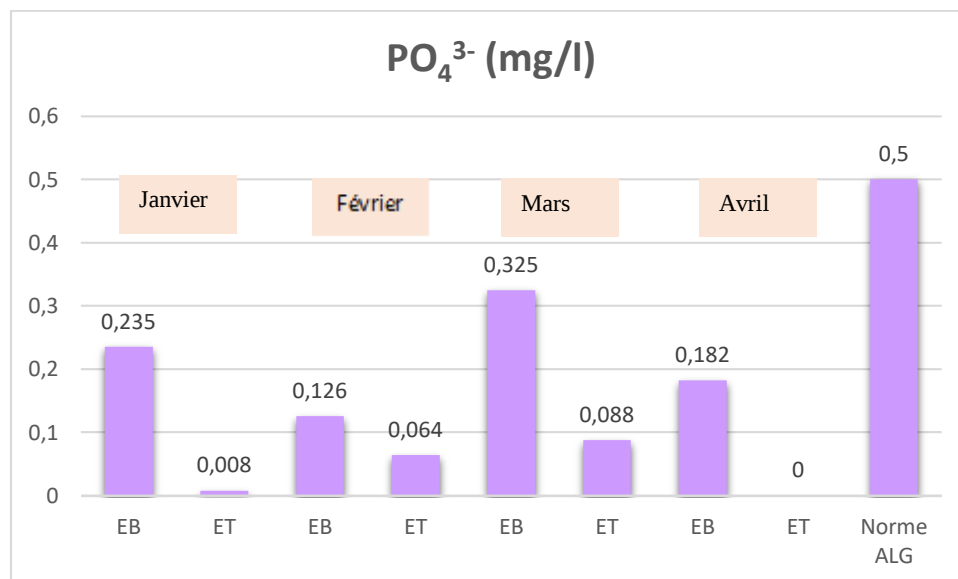


Figure V.21 : Evolution de la quantité du phosphate des eaux analysées pendant la période (Janvier, février, mars et avril) 2020.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent un taux de phosphate des eaux brutes plus élevé (0,126-1,325 mg/l) que le taux de phosphate pour les eaux traités qui se présente sous forme de traces jusqu'à en être inexistant (0-0,088 mg/l).

Toutes les valeurs pour (EB) et (ET) de phosphates sont acceptables et rentrent dans la norme algérienne de 0,5 mg/l.

3.12. Aluminium (Al_3^+)

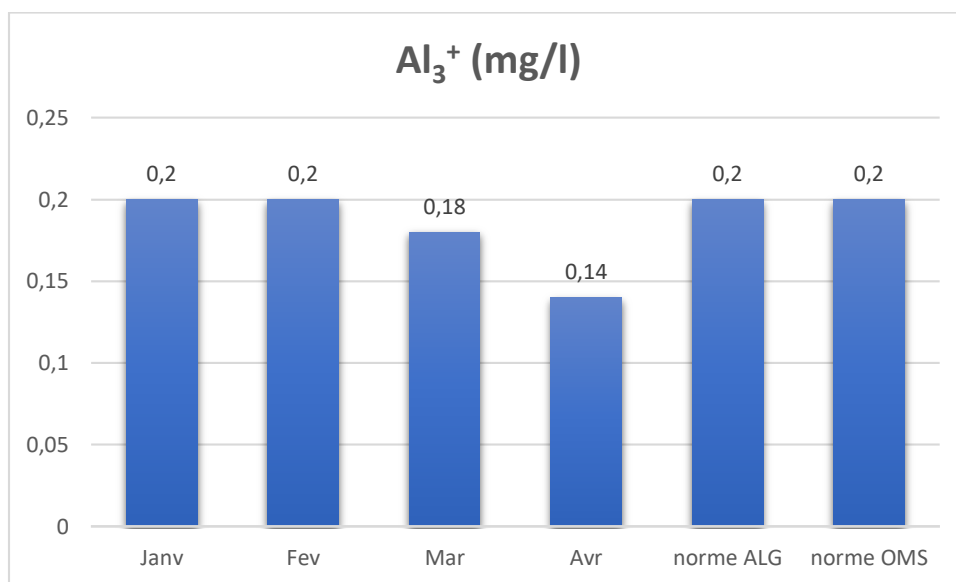


Figure V.22 : Evolution de la quantité de l'aluminium de l'eau traitée de barrage Bouhamdane pendant quatre mois de 2020.

Les valeurs d'aluminium de l'eau traitée du barrage sont comprises entre 0,14 et 0,2 mg/l.

Durant janvier et février les valeurs étaient égales à la valeur limite des normes algérienne et de l'OMS (0,2 mg/l). D'une manière générale, toutes les valeurs sont acceptables et conformes.

4. Résultats et discussions d'analyses des paramètres bactériologiques

Les résultats d'analyses des paramètres bactériologiques des différents types d'eau obtenus selon les modes opératoires décrits dans le (chapitre IV), sont rapportés dans le tableau 14 et le figures ci-dessous et sont suivi des discussions.

Tableau V.2 : Résultats d'Analyses des paramètres bactériologiques de l'eau brute et traitée de barrage Bouhamdane pendant la période (janvier, février, mars, avril) 2020.

Mois	Germe totaux À 37°C (GT) UFC/ml		Coliformes totaux (CT) UFC/100ml		Coliformes thermotolérants E.coli (CTT) UFC/100ml		Streptocoques fécaux (SF) UFC/100ml		Anaérobies sulfito reductrices (ASR)	
	(EB))	(ET))	(EB)	(ET)	(EB)	(ET)	(EB)	(ET)	(EB)	(ET)
Janvier	145	0	26	0	26	0	5	0	0	0
Février	125	0	05	0	0	0	0	0	0	0
Mars	56	0	03	0	0	0	0	0	0	0
Avril	125	0	03	0	3	0	2	0	0	0
Norme ALG	10		00		00		00		00	

Germes totaux (GT) :

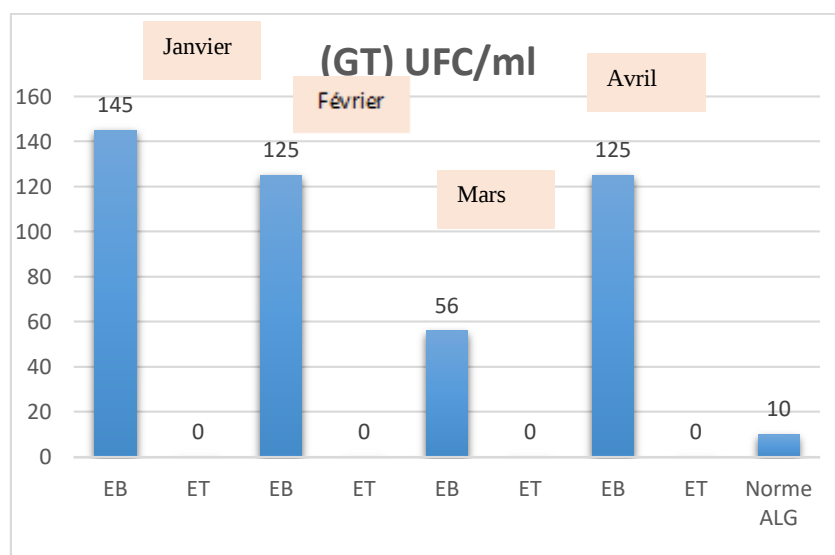


Figure V.23 : Evolution des germes totaux à 37 °C de l'eau de barrage Bouhamdane pendant quatre mois de 2020.

Les résultats d'analyses bactériologiques concernant les germes totaux (GT) montrent une nette contamination des eaux de barrage non traitées au cours de toute la période d'analyse.

Après traitement on remarque une absence totale des germes totaux.

Coliformes totaux (CT) :

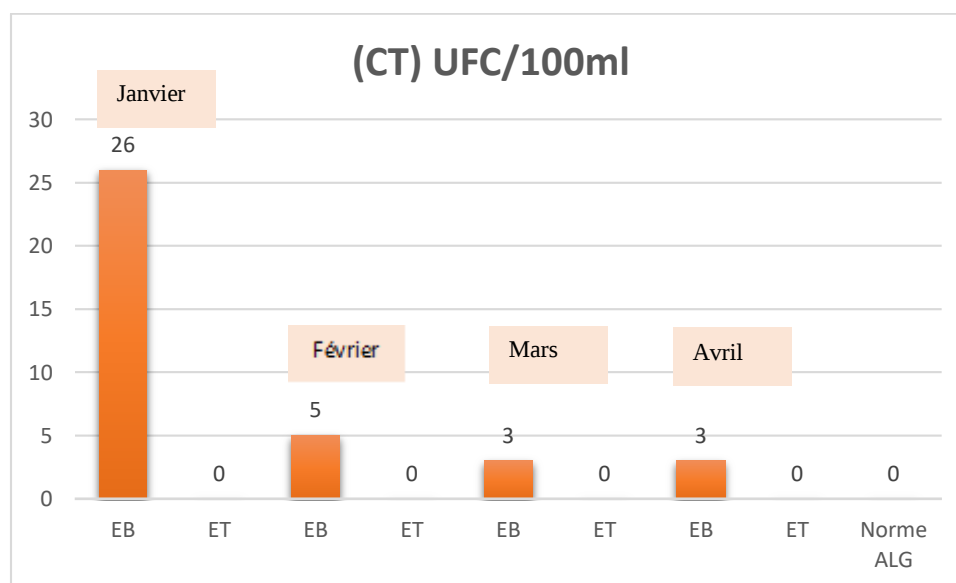


Figure V.24 : Evolution des coliformes totaux de l'eau de barrage Bouhamdane pendant quatre mois de 2020.

Les résultats d'analyses bactériologiques concernant les coliformes totaux (CT) montrent une nette contamination des eaux de barrage non traitées au cours de toute la période d'analyse, avec une haute valeur maximale en janvier de 26 UFC/100ml

Après traitement on remarque une absence totale des coliformes totaux.

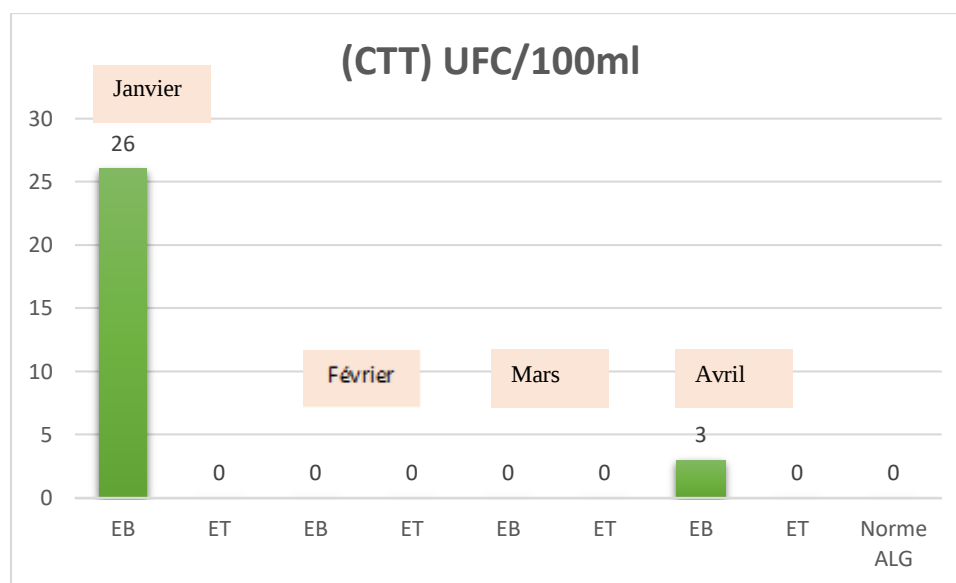
Coliformes fécaux (CF) :

Figure V.25 : Evolution des coliformes fécaux de l'eau de barrage Bouhamdane pendant quatre mois de 2020.

Le nombre des coliformes fécaux est un indice complémentaire confirmatif de la présence d'*Escherichia coli* parmi les coliformes dénombrés précédemment. Ce qui explique leur présence en forte dose en janvier (26 UFC/100ml).

Après traitement on remarque une absence totale de coliformes fécaux.

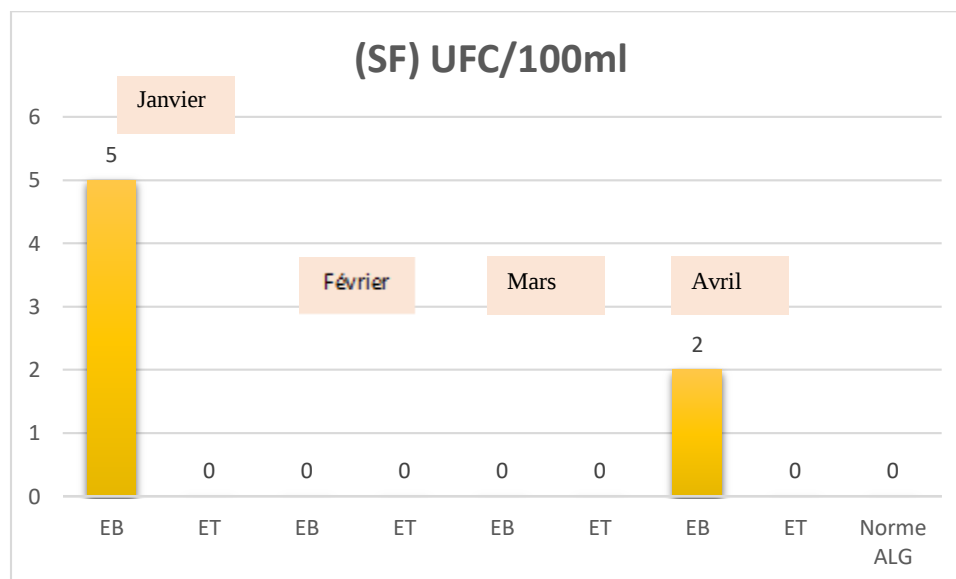
Streptocoques fécaux (SF) :

Figure V.26 : Evolution des streptocoques fécaux de l'eau de barrage Bouhamdane pendant quatre mois de 2020.

Les streptocoques fécaux sont des aérobies-anaérobies facultatifs faisant partie des indicateurs de contamination fécale des animaux. On constate une contamination des eaux brutes en janvier et en avril.

Après traitement on remarque une absence totale de streptocoques fécaux.

Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) :

Les résultats obtenus (Tableau V.14) montrent une absence des Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) dans l'eau durant les 4 premiers mois de 2020.

5. Conclusion

Après avoir effectué les différents analyses physico-chimiques et bactériologiques, nous avons consacré ce dernier chapitre à l'exposition des résultats de ces analyses, ainsi qu'aux discussions de ces résultats, avec l'objectif d'évaluer la qualité des eaux brutes du barrage de Bouhamdane, mais aussi afin de vérifier l'efficacité du traitement et la potabilité de l'eau traitée qui sera consommée par le consommateur.

De cette étude ressort que la plupart des paramètres analysés de l'eau brutes répondent aux normes OMS et algérienne. En ce qui concerne les paramètres dont les résultats n'étaient pas conformes, comme je citerai les paramètres bactériologiques, qui nous montrent une contamination de l'eau brute, mais aussi la turbidité, les matières organiques et la teneur en nitrites, nécessitent absolument un traitement. L'eau traitée est complètement conforme à la norme nationale algérienne de potabilité.

Conclusion Générale

En Algérie, la qualité des eaux est soumise à une forte pression exercée par l'accroissement de la population et par l'activité industrielle. Cette qualité est altérée notamment par l'utilisation des pesticides et des engrais dans l'agriculture, des rejets industriels et des eaux usées d'origine urbaine.

Notre travail consiste à évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh (Guelma), destinée à l'irrigation et à la consommation humaine. Il est basé sur le suivi de l'eau brute et traitée pendant une période de quatre mois (janvier, février, mars et avril).

D'un point de vue organoleptiques, les eaux du barrage semblent claires, ne présentent ni odeur, ni saveur désagréable.

Pour les paramètres physico-chimiques, les résultats montrent que dans la majorité des cas ils répondent aux normes. Cependant quelques paramètres tel que la turbidité, les matières organiques et la teneur en nitrites, dépassent les normes dans l'eau brutes. L'eau traitée est complètement conforme à la norme nationale algérienne de potabilité.

Du point de vue bactériologique, les résultats que nous avons obtenus pour l'eau brute à travers les dénombrements réalisés nous exposent une contamination fécale (taux de germes totaux, de coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux) surtout en janvier.

La présence de ces germes dans les eaux entraîne de graves maladies. Si elles ne sont pas traitées biens avant leur distribution.

La recherche des germes pathogènes a montré une absence totale dans l'eau étudiée, ce qui correspond aux normes algériennes qui excluent sa présence. L'eau traitée est donc consommable.

D'une manière générale, l'eau brute du barrage de Hammam Debagh est bonne pour l'irrigation, mais ne peut être destinée à la consommation humaine sans traitement.

Le traitement effectué sur l'eau brute est efficace, car les résultats d'analyses de tous les paramètres répondent à la norme de potabilité.

Ce modeste travail a été fructueux pour moi dans l'approfondissement de mes connaissances. J'ai pu accroître et enrichir mes compétences intellectuelles et me familiariser avec les notions de la recherche scientifique, de l'autonomie et de la responsabilité.

Références

Bibliographiques

- [1]. Tamas, A. P. (2004). Étude comparée du colmatage en nanofiltration et en ultrafiltration d'eau de surface.
- [2]. Kettab, A. (1992). Traitement des eaux (les eaux potables). *OPU, Alger*.
- [3]. Zeghaba, N., Laraba, A., & Mahia, M. (2018). Qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, Wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien). Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie, 37(1), 113-121.
- [4]. Ferdaous, L., Mohammed, B., Nouzha, B., Hamid, L., & Aberrahim, L. (2015). Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *European Scientific Journal*, 11(11).
- [5]. Michard, G. (2002). *Chimie des eaux naturelles : principes de géochimie des eaux*. Editions Publisud.
- [6]. HÉBERT, S. et S. LÉGARÉ, 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- [7]. Sari, H. (2014). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen). *Mémoire de Master en sciences des aliments, Université Abou-BekrBelkaid Tlemcen*.
- [8]. KOUIDRI NEE BELALA, Z. O. H. R. A. (2006). *ETUDE ET TRAITEMENT DE L'EAU DU BARRAGE DJORF-ELTORBA DE LA WILAYA DE BECHAR PAR FILTRATION SUR SABLES* (Doctoral dissertation, Université de Chlef-Hassiba Benbouali).
- [9]. Margat, J. (2008). Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde. *Coédition: UNESCO et BRGM*, 52, 2p.
- [10]. Dictionnaire-environnement ; « Pollution de l'eau la définition du dico » [en ligne] https://www.dictionnaire-environnement.com/pollution_de_eau_ID1033.html (site consulté le 24/08/2020).
- [11]. Chartier, M. (1974). Les types de pollutions de l'eau. *Norais*, 82(1), 183-193.

- [12]. GUERRAICHE, Z. (2017). *Impact de la pollution urbaine sur les eaux de surface du Grand Constantinois* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [13]. BOEGLIN, J. C. (2001). *Propriétés des eaux naturelles*. Ed. Techniques Ingénieur.
- [14]. Aissaoui, A. (2013). *Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [15]. Couillard, D., Lafrance, P., & Lessard, S. (1992). *Évaluation de la qualité organoleptique de l'eau potable dans le réseau de distribution de East-Broughton (Beauce) et suggestion d'un procédé de traitement* (No. R367). INRS-Eau.
- [16]. Rodier, J., & Legube, B. (2009). *L'analyse de l'eau*. Dunod.
- [17]. Rodier, J. (2005). *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduelles, Eau de mer*. 8^{ème} édition : Dunod, Paris.
- [18]. Tfeila, M., Ould Kankou, M., Souabi, S., Aboulhassan, M. A., Taleb, A., & Bouezmarni, M. (2016). Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal : Cas du captage du Beni Nadji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott. *Journal of Materials and Environmental sciences*, 7(1), 148-160.
- [19]. Merabet, S. (2010). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage reservoir de Beni Haroun.
- [20]. NF EN ISO 7027 (2000) Qualité de l'eau-détermination de la turbidité, AFNOR, Paris, France, 14 p.
- [21]. DE LA TURBIDITE, M. E. C., & UNITAIRE, E. R. D. A. (2013). 2.1 Définition de la turbidité. *Analyse du transport solide en réseau d'assainissement unitaire par temps de pluie : exploitation de données acquises par les observatoires français en hydrologie urbaine*, 42.
- [22]. LAKHDARI, B. (2011). Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz. TABLEAU TURBIDITY.

- [23]. Chevallier, H. (2007). L'eau un enjeu pour demain. Sang de la Terre, de l'Université de Nantes, Paris, 348 p.
- [24]. Frank, R. S. (2008). *The Science of Air: Concepts and Applications*. CRC Press.
- [25]. HERIARIVONY, C., Razanamparany, B., & Rakotomalala, J. E. (2015). Caractères physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la commune rurale d'antanifotsy, région vakinankaratra, Madagascar. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (24), 7-17.
- [26]. Rodier J., Beuffr H., Bournaud M., Broutin J.P., Geoffray Ch., Kovacsik G., Laport J., E., Plissier M., Rodi L. et Vial J., (1984) : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7e édition. Ed. Dunod.
- [27]. Berné, F. (1991). *Traitement des eaux*. Editions OPHRYS.
- [28]. REGGAM, A. (2014). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux d'Oued Seybouse (Doctoral dissertation).
- [29]. MERZOUG, S. E. (2009). *Etude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher (Benazzouz, wilaya de Skikda)* (Doctoral dissertation).
- [30]. Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (9).
- [31]. Rodier, J. (1976). L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 5ème. Paris : Dunod.
- [32]. Ruiti, M., & Thayer, B. B. Valorisation des matériaux carbonés dans l'élimination du fer des eaux souterraines : Application à l'élimination des ions Fe²⁺ par le charbon de bois du pin d'Alep. *Pour le bien-être de tous : un environnement protégé pour des terres mieux abreuvées*.

- [33]. OMS (W.H.O.): World Health Organisation. (2003). Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality, Geneva, World Health Organisation.
- [34]. BOUABDALLAH, D. (2015). *Analyses physico-chimiques de l'eau potable au niveau de la wilaya de Djelfa (Ville de Ain Oussera)* (Doctoral dissertation).
- [35]. Commission de protection des eaux, d. p.-s. (2017, octobre.). Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux. [En ligne] <https://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html> (site consulté le 21/07/2020).
- [36]. Rejsek, F. (2002). *Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques*. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.
- [37]. Chébékoué, S. F. (2009). Évaluation du risque cancérigène associé à la contamination de l'eau potable de puits municipaux par les nitrates/nitrites dans certaines régions rurales du Québec.
- [38]. DIALLO, A. D., N'DIAYE, A. D., Sid, M. O., Kankou, A. O., & Namr, K. I. (2011). Variabilité des nitrates, nitrites et ammonium dans les eaux d'irrigation et de drainage : cas de la plaine de M'Pourié à Rosso (Mauritanie). *Science Lib Editions Mersenne*, 8.
- [39]. Youcef, L., & Achour, S. (2005). Elimination des phosphates par des procédés physico-chimiques. *Larhyss Journal*, 4, 129-140.
- [40]. Youcef, L., Ouakouak, A., Boulanouar, D., & Achour, S. (2014). Etude du pouvoir adsorbant du charbon actif en poudre pour l'élimination des phosphates des eaux naturelles. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (17).
- [41]. Syndicat Eaux de la Faye, NORMES DE L'EAU applicables aux eaux destinées à la consommation humaine [en ligne] http://siaep.faye.free.fr/qualite_de_leau/normes_de_leau/normes_de_leau.html#:~:text=L'ancien%20d%C3%A9cret%20n%C2%B0,pour%20les%20eaux%20non%20d%C3%A9sinfect%C3%A9es. (Site consulté le 26/08/2020).
- [42]. APPROFONDIES, D. D. E. (2006). Etude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar.

- [43]. Mouffok, F. (2001). Guide technique d'analyses bactériologiques des eaux de mer. *Institut Pasteur d'Alger*.
- [44]. ISO 6461-1:1986(fr) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6461:-1:ed-1:v1:fr> (Site consulté le 26/08/2020).
- [45]. Annuaire hydrologique. (1993). Agence Nationale Des Ressources Hydraulique (ANRH), 260 p.
- [46]. MANSOURI, Z. (2009). *Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien)* (Doctoral dissertation, Université de Annaba-Badji Mokhtar).
- [47]. Mokhtar-Annaba, U. B. (2009). Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien).
- [48]. Mekaoussi N, (2014) : Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Est Algérien). Mémoire de Magister en Hydraulique. Université Hadj Lakhdar-Batna.
- [49]. Louamri, A. (2013). *Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale) : hydrologie et aménagement des eaux* (Doctoral dissertation, Université de Constantine).
- [50]. Savoie-Zajc, L. (2006). Comment peut-on construire un échantillonnage scientifiquement valide. *Recherches qualitatives*, 5, 99-111.

Annexes

Annexe A :

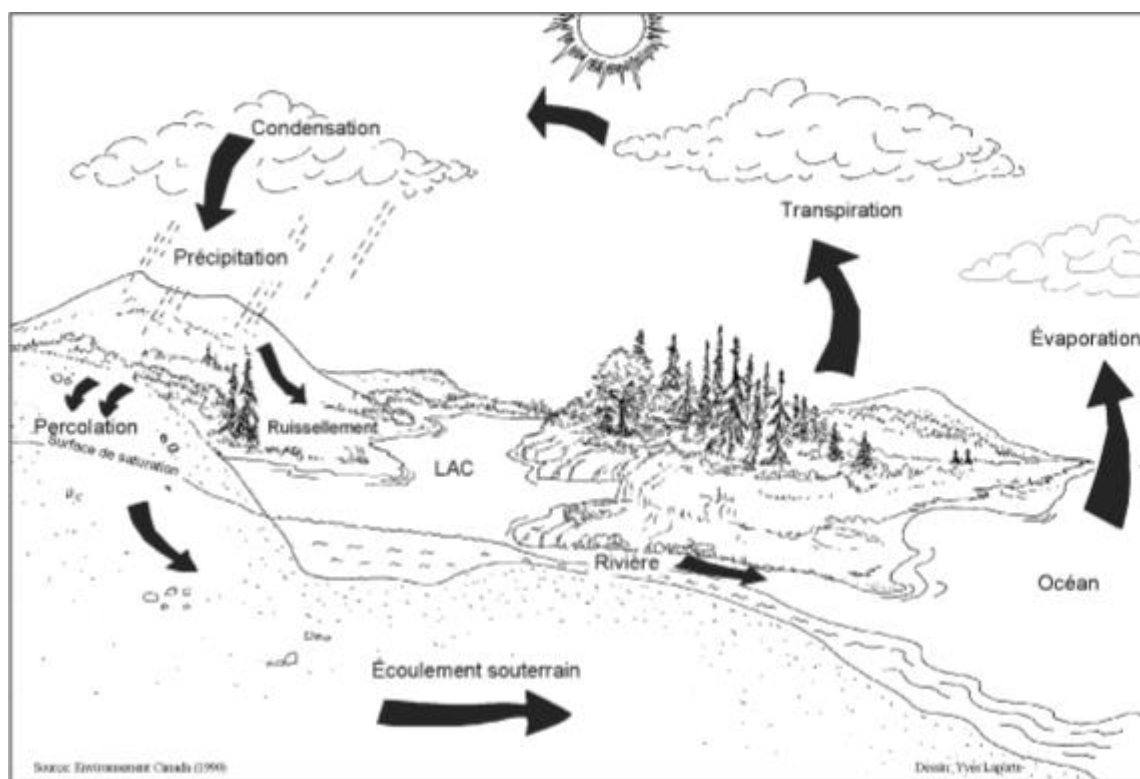


Figure 5 : Le cycle de l'eau [6].

Annexe B :

Norme de potabilité

Pour une eau potable et de bonne qualité, des normes sont imposées. Selon l'OMS, les normes pour une eau potable sont d'assez large gamme, afin de s'adapter aux nombreux pays sous-développés, qui ont une eau de très mauvaise qualité et qui n'ont pas de moyens technologiques afin de suivre les traitements conformes et nécessaires pour rendre une eau potable [31].

Les normes algériennes

Le tableau ci-dessous résume la grille normative de la qualité de l'eau appliquée en Algérie (eau Potable).

Tableau B.1 : Grille normative pour estimer la qualité de l'eau en Algérie [8].

	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Physicochimique :				
Ph	6.5-8.5	6.5-8.5	>6, <9,	>5, <9
T°C	25	25-30	30-35	>35
Minéralisation	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600
Ca ²⁺ mg/l	40-100	100-200	200-300	>300
Mg ²⁺ mg/l	30	30-100	100-150	>150
Na ²⁺ mg/l	10-100	100-200	200-500	>500
Chlorure mg/l	10-150	150-300	300-500	>500
Sulfates mg/l	50-200	200-300	300-400	>400
Organiques :				
O ₂ dissous%	>100	100-50	50-30	>30
DBO ₅ mg/l	5	5-10	10-15	>15
DCO mg/l	20	20-40	40-50	>50
MO	5	5-10	10-15	>15
Composés azotés :				

Ammonium mg/l				
Nitrites mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrates mg/l				>3
Composés	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>40
phosphorés :	0-10	10-20	20-40	
Phosphates mg/l				>3
Eléments				
toxiques et	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	
indésirables :				
Fe mg/l				
Mn mg/l	0-0.5	0.5-1	1-2	>2
Cr mg/l	0-0.1	0.1-0.3	0.3-1	>1
Cu mg/l	0	0-0.05	0.05-1	>0.5
Zn mg/l	0-0.02	0.02-0.05	0.5-1	>1
Cd mg/l	0	0-0.5	0-0.01	>0.01
Pb mg/l	0	0	0-0.05	>0.05
F ⁻ mg/l	0	0	0.8-1.5	>1.5
CN ⁻ mg/l	0	0-0.8	0-0.02	
	0	0		
	0.001-0.002			

Annexe C :

Tableau C.1 : Résultats de la température et du potentiel d'hydrogène des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH
Eau brute (EB)		9,8	7,72	10,6	8,08	11,7	8,07	12,2	8,29
Eau traitée (ET)		10,1	7,8	10,6	7,98	11,7	7,96	12,6	8,27
La norme ALG	T (°C)	25							
	pH	6,5-8,5							

Tableau C.2 : Résultats de la conductivité électrique et le taux des sels des eaux des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)
Eau brute (EB)		751	326	756	342	752	326	769	322
Eau traitée (ET)		752	337	734	334	757	321	750	324
La norme ALG	CE ($\mu\text{S/cm}$)	2800							
	TDS (mg/l)	-							

Tableau C.3 : Résultats de la turbidité et Salinité des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		Turb (NTU)	Salinité	Turb (NTU)	Salinité	Turb (NTU)	Salinité	Turb (NTU)	Salinité
Eau brute (EB)		14	0,1	5,08	0,1	5,8	0,1	5,93	0,1
Eau traitée (ET)		2,27	0,1	1,9	0,1	1,28	0,1	1,16	0,1
La norme ALG	Turb (NTU)	05							
	Salinité	-							

Tableau C.4 : Résultats du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC) des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		TA (mg/l)	TAC (mg/l)	TA (mg/l)	TAC (mg/l)	TA (mg/l)	TAC (mg/l)	TA (mg/l)	TAC (mg/l)
Eau brute (EB)		00	144	00	156	00	156	00	156
Eau traitée (ET)		00	138	00	156	00	158	00	157
La norme ALG	TA (mg/l)	-							
	TAC (mg/l)	-							

Tableau C.5: Résultats des ions de calcium et de magnésium des eaux des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)
Eau brute (EB)		68,88	22,36	71,28	22,84	68,88	22,84	68,88	22,84
Eau traitée (ET)		68,88	22,36	71,25	22,84	68,88	22,84	68,88	23,2
La norme ALG	Ca ²⁺ (mg/l)	200							
	Mg ²⁺ (mg/l)	150							

Tableau C.6 : Résultats des bicarbonates et des chlorures des eaux des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
Eau brute (EB)		175,68	71	190,32	71	190,32	71	190,32	71
Eau traitée (ET)		168,68	71	187,88	71	192,76	71	191,54	71
La norme ALG	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	350							
	Cl ⁻ (mg/l)	500							

Tableau C.7 : Résultats de la dureté (TH) et de la matière organique (MO) des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		TH (mg/l)	MO (mg/l)	TH (mg/l)	MO (mg/l)	TH (mg/l)	MO (mg/l)	TH (mg/l)	MO (mg/l)
Eau brute (EB)		264	8,1	272	7,2	266	7,2	266	8
Eau traitée (ET)		264	4,2	272	3,6	266	3,2	266	3,2
La norme ALG	TH (mg/l)	500							
	MO (mg/l)	05							

Tableau C.8 : Résultats du résidu sec (RS) et des matières en suspension (MES) des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		MES (mg/l)	RS (mg/l)	MES (mg/l)	RS (mg/l)	MES (mg/l)	RS (mg/l)	MES (mg/l)	RS (mg/l)
Eau brute (EB)		4	490	2	495	-	-	-	-
Eau traitée (ET)		0,5	493,51	00	490	-	-	-	-
La norme ALG	MES (mg/l)	<30							
	RS (mg/l)	2000							

Tableau C.9 : Résultats des ions de fer et de l'ammonium des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		NH ₄ ⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)
Eau brute (EB)		0,017	0,2	0,015	0,07	0,012	0,15	0,02	0,15
Eau traitée (ET)		00	0,09	0,002	0,01	00	0,02	00	00
La norme ALG	NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,3							
	Fe ²⁺ (mg/l)	0,5							

Tableau C.10 : Résultats des nitrites et des nitrates des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Eau brute (EB)		1,82	0,013	1,7	0,006	00	0,012	0,004	2,185
Eau traitée (ET)		1,979	0,004	1,667	0,002	00	00	00	2,633
La norme ALG	NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,2							
	NO ₃ ⁻ (mg/l)	50							

Tableau C.11 : Résultats du sulfate et du phosphate des eaux analysées pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période		Janvier		Février		Mars		Avril	
Paramètres		SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)
Eau brute (EB)		68,15	0,235	132,5	0,126	92	0,325	69,5	0,182
Eau traitée (ET)		73	0,008	150,5	0,064	108	0,088	72	00
La norme ALG	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	400							
	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,5							

Tableau C.12 : Résultats de l'aluminium de l'eau traitée du barrage Bouhamdane pendant la période (janvier, février, mars et avril) 2020.

Période	Janvier	Février	Mars	Avril	Les normes	
					ALG	OMS
					(mg/l)	(mg/l)
Al ₃ ⁺ (mg/l) L'eau traité (ET)	0,2	0,2	0,18	0,14	0,2	0,2