

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 08 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département: Génie des Procédés



Mémoire de Master

Spécialité: Génie Chimique

Présenté par:

Derrouiche Chaima

Hammidi Noura

=====

**Évaluation de la qualité physico-chimique et
bactériologique des eaux brutes et traitées du
barrage de Bouhamdane**

=====

Sous la Direction de:

Pr. Affoune Abed Mohamed

Septembre 2020

Remerciements

En tout premier lieu, nous louons Allah, le tout puissant, de nous avoir donné la force, la santé et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

Tout d'abord, nous aimerions remercier vivement mon directeur de mémoire, Monsieur Abed Mohamed AFFOUNE, Professeur à l'université 8 Mai 1945 Guelma, de l'attention et du soutien qu'il a porté à notre travail de Master. Il a su nous faire bénéficier de son expérience et de sa compétence.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles. Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin.

Merci aussi à tous nos collègues et amis. Nous leur exprimons notre profonde sympathie.

Dédicace

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A MES CHÈRES ET ADORABLE FRÈRES : ISLAM et MOHAMED SAMER, En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A mon fiancé HAMZA qui m'a soutenu et encouragé tout le temps.

À MES AMIS DE TOUJOURS : BOUTAINA, MERYEM, IMANE... En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

*A Toute ma famille,
A Tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment*

CHAIMA

Dédicace

Je dédie ce travail :

Ma Mère : ma raison d'être la lanterne qui éclaire mes chemins et ma source d'affection et d'amour, tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Merci d'être toujours là pour moi d'être présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait.

A mon père : aussi de phrases et d'expressions .aussi éloquente soit elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma fierté. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité ; de confiance en soi face aux difficultés de la vie .merci pour ta patience ton encouragement et ta compréhension tu étais et te restera toujours ma force.

A celui que j'aime et je respecte, mon mari Hamza, Merci pour ton amour, ton soutien et tes encouragements qui ont toujours été pour moi d'un grand réconfort. Ce travail soit témoignage de ma reconnaissance, en implorant DIEU le tout puissant de nous accorder une longue vie de bonheur, de prospérité et de réussite.

A ma chère belle-mère et mon beau-père : Vous m'avez accueilli à bras ouverts dans votre famille. En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

A mes frères et ma sœur qui n'ont cessé d'être pour moi d'exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A tous mes proches et mes amis (Chaïma, Meryem, Imane), je vous dédie ce travail en vous souhaitant en avenir éclatant et plein de bonnes promesses.

A tous les gens qui ont cru en moi et qui me donnent l'envie d'aller en avant, je vous remercie tous, votre encouragement et votre soutien me donnent la force de continuer.

Noura

Résumé

L'accès à l'eau potable est un droit en Algérie. Pour assurer ce droit, les autorités concernées doivent fournir à leurs abonnés une eau traitée et conforme aux normes pour éviter tout problème sanitaire vis-à-vis des consommateurs. L'objectif du présent travail consiste à évaluer la qualité physico-chimique et le degré de la pollution organique des eaux du barrage Bouhamdane destiné à la consommation humaine et à l'irrigation. Dans notre travail, nous avons mesuré les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et traitées du barrage de Bouhamdane. Les résultats d'analyse de ces derniers montrent que ces sources répondent aux différentes normes algériennes. Nous avons conclu que l'eau traitée est de bonne qualité et elle répond aux conditions de potabilité.

Mots clés : Eau, Analyses physico-chimiques, Analyses bactériologiques, Dosage, normes de potabilité.

ملخص

الحصول على مياه الشرب حق في الجزائر. لضمان هذا الحق ، يجب على السلطات المعنية تزويد مشتركيها بالمياه المعالجة التي تتوافق مع المعايير لتجنب أي مشكلة صحية للمستهلكين. الهدف من هذا العمل هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية ودرجة التلوث العضوي للمياه من سد بوحمدان المخصص للاستهلاك البشري والري. في عملنا ، قمنا بقياس المعلمات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه الخام والمعالجة من سد بوحمدان. تظهر نتائج تحليل الأخير أن هذه المصادر تلبى معايير جزائرية مختلفة. نستخلص أن المياه المعالجة ذات نوعية جيدة وتنتشر في ظروف صالحة للشرب.

الكلمات المفتاحية : المياه ، التحليلات الفيزيائية والكيميائية ، التحليلات البكتريولوجية ، الجرعات ، معايير الشرب.

Abstract

Access to drinking water is a right in Algeria. To ensure this right, the authorities concerned must provide their subscribers with treated water that complies with standards to avoid any health problem for consumers. The objective of this work is to assess the physico-chemical quality and the degree of organic pollution of the water from the Bouhamdane dam intended for human consumption and for irrigation. In our work, we measured the physico-chemical and bacteriological parameters of the raw and treated water from the Bouhamdane dam. The result of the latter's analysis show that these sources meet various Algerian standards. We concluded that the treated water is of good quality and it diffuses under drinkable conditions.

Keywords: Water, Physico-chemical analyzes, Bacteriological analyzes, Dosage, drinking standards.

Sommaire

Liste des abréviations	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v

Introduction générale	1
------------------------------	----------

Chapitre I Généralités sur les eaux

I.1. Introduction	3
I.2. Propriétés de l'eau	3
I.2.1. Définition de l'eau	3
I.2.2. Structure de l'eau	3
I.2.3. Propriétés physiques	4
I.2.4. Propriétés chimique	6
I.2.5. Propriétés biologiques	6
I.2.6. Propriétés thermodynamiques	7
I.2.7. Usages de l'eau	8
I.3. Origine des eaux	9
I.3.1. Eau souterraine	9
I.3.2. Eau superficielle	10
I.3.3. Eaux de mers et océans	10
I.3.4. Cycle de l'eau	10
I.3.5. Différence entre l'eau de surface et l'eau souterraine	11
I.4. Possible pollution de l'eau de ressource	12
I.4.1. Origine de la pollution	13
I.4.1.1. L'industrie	13
I.4.1.2. L'agriculture	13
I.4.1.3. Pollution domestique	13
I.4.1.4. Pollution par les eaux pluviales	13
I.4.1.5. Pollution d'origine naturelle	13
I.4.1.6. Pollution par les substances associées au traitement de l'eau	14
I.4.2. Principaux substances polluants contenues dans l'eau	14
I.4.2.1. Matières en suspension	14

I.4.2.2. Matières colloïdales	14
I.4.2.3. Matières organiques dissoutes	14
I.4.2.4. Métaux lourds	15
I.4.2.5. Polluants microbiologiques	15
I.4.2.6. Sels minéraux.	15
I.5. Analyse de l'eau de surface	16
I.5.1. Analyse organoleptique	16
I.5.2. Analyses chimiques	17
I.5.3. Analyses physique	20
I.5.4. Substances indésirables	21
I.5.5. Substances toxiques	21
I.5.6. Analyses microbiologiques	22
I.6. Traitements de l'eau de surface	24
I.6.1. Procédés physiques et physico-chimiques	25
I.6.2. Traitements biologique	28
I.6.3. Filtrations sur membranes	29
I.6.4. Principaux procédés de traitement chimique	32
I.7. Conclusion	35

Chapitre II

Description de la station de Hammam Debagh et sa chaine de traitement

II.1. Introduction	36
II.2. Situation géographique du Guelma	36
II.3. Présentation du Barrage Bouhamdane	36
II.3.1. Localisation de barrage	36
II.3.2. Principales caractéristiques	37
II.3.3. Risque de pollution du barrage de Bouhamdane	38
II.4. Localisation de la station	39
II.5. Chaine de traitement de barrage de Bouhamdane	39
II.5.1. Prétraitement	40
II.5.1.1. Dégrillage	40
II.5.1.2. Micro-tamissage	40
II.5.2. Prétraitement physico-chimique	40
II.5.2.1. Aération	40
II.5.2.2. Oxydation chimique	41

II.5.3. Clarification	42
II.5.3.1. Coagulation	42
II.5.3.2. Flocculation	42
II.5.3.3. Décantation	43
II.5.3.4. Filtration à sable	43
II.5.4. Désinfection et stockage	45
II.6. Conclusion	45

Chapitre III

Etude bibliographique comparative entre des différentes technique d'analyse des quelques espèces chimique dans l'eau

III.1. Introduction	46
III.2. Analyse des ions de Nitrite dans l'eau	46
III.2.1. Méthode par flux continu	46
III.2.2. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire	47
III.2.3. Analyse de l'azote sous forme de nitrites par des bandelettes	48
III.3. Analyse des ions de Nitrate dans l'eau	49
III.3.1. dosage d'ions de nitrates par la méthode par flux continu	49
III.3.2. Analyse de l'azote sous forme de nitrates par des bandelettes	51
III.4. Analyse de l'azote ammoniacal dans l'eau	52
III.4.1. Méthode par titrimétrie	53
III.4.2. Méthode par colorimétrie	53
III.4.3. Méthode de bandelettes	54
III.4.4. Méthode potentiométrique	54
III.5. Conclusion	55

Chapitre IV

Matériels, méthodes et résultats d'analyse

IV.1. Introduction	56
IV.2. Analyses physico-chimiques	56
IV.2.1. pH	56
IV.2.2. Conductivité électrique	57
IV.2.3. Turbidité	58
IV.2.4. Température	59
IV.2.5. Salinité	60

IV.2.6. Total des solides dissous	61
IV.2.7. Détermination de la dureté totale	61
IV.2.8. Détermination de la dureté calcique	62
IV.2.9. Dosage de chlorures	64
IV.2.10. Détermination de l'alcalinité simple et complète	65
IV.2.11. Dosage de la matière organique	67
IV.2.12. Résidu sec	68
IV.2.13. Matière en suspension	69
IV.2.14. Dosage du chlore	70
IV.2.15. Détermination de la demande en chlore	71
IV.2.16. Jar-test	73
IV.2.17. Dosage de l'Ammonium	77
IV.2.18. Dosage des ions nitrites	78
IV.2.19. Dosage des nitrates	79
IV.2.20. Détermination du fer	80
IV.2.21. Dosage du sulfate	82
IV.2.22. Détermination des phosphates	83
IV.2.23. Dosage de l'aluminium	84
IV.3. Analyses bactériologiques	85
IV.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes par filtration	85
IV.3.1.1. Recherche des coliformes totaux	86
IV.3.1.2. Recherche des coliformes fécaux	86
IV.3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux par filtration	86
IV.4. Conclusion	87
Conclusion générale	89
Références bibliographiques	
ANNEXES	

Liste des abréviations

°C : degré Celsius.

ADE : Algérienne des eaux.

AEP : Alimentation en eau potable

BHAA : BACTERIES Aérobie de hétérotrophes et Anaérobies

CE Conductivité électrique

CFA : analyse avec flux continu

CO₂ : Dioxyde de carbone

COA : carbone organique assimilable

COD : carbone organique dissous

Colifec : Coliforme fécaux

Colitot : Coliforme totaux

COT : Carbone organique totale

DBO₅ Demande biochimique en oxygène

DCO Demande chimique en oxygène

DPD : N-N diéthyl-p-phénylènediamine

EDTA: Sel dissodique d'acide Ethylène -Diamine-Tétra-Acétique.

FIA: analyse avec injection de flux

H₂S : Sulfure d'hydrogène.

Max : Maximum

MET: Matière en suspension.

Mn : Manganèse.

MO : Matière organique

MON : matière organique naturelle

N : Normalité.

NH₄⁺: Ammonium.

NO₂⁻ : Nitrites.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

OMS : Organisation mondiale de santé

pH : Potentiel hydrogène.

PO₄²⁻ : Phosphate.

q.s.p : Quantité suffisante pour

RS : Résidu sec

SAA : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

SPC: Sous-produit de chloration

TA : Titre Alcamétrique.

TAC : Titre Alcamétrique Complet.

TDS : Total des solides dissous.

TH : Dureté Totale.

THM : méthode triple halogène

UFC : Unité Faisant Colonie

UV : Ultraviolet

μS/cm : Micro Siemens par Centimètre

Liste des figures

Chapitre I Recherche bibliographique sur les eaux

Fig. I.1. Structure moléculaire de l'eau	3
Fig. I.2. Eau souterraine	9
Fig. I.3. Eau de surface	10
Fig. I.4. Schéma simplifié du cycle de l'eau	12
Fig. I.5. Turbidité d'eau	17
Fig. I.6. Coliformes fécaux	22
Fig. I.7. Streptocoques fécaux	23
Fig. I.8. Coliformes totaux	23
Fig. I.9. B.H.A.A	24
Fig. I.10. Colonies atypiques	24
Fig. I.11. Schéma générale de traitement des eaux	25
Fig. I.12. Coagulation – floculation	26
Fig. I.13. Schéma des filtres à sable	28
Fig. I.14. Rétention des micropolluants à l'aide du charbon actif	29
Fig. I.15. Principe d'osmose inverse	31
Fig. I.16. Schéma représentant les différentes fonctions des filtrations	32
Fig. I.17. Schéma des tours d'ozonation	33

Chapitre II

Description de la station de Hammam Debagh et sa chaîne de traitement

Fig. II.1. Localisation du barrage du Bouhamdane dans la région de Guelma	37
Fig. II.2. Désignation du site - vue aérienne récente	39
Fig. II.3. Grilles à mailles	40
Fig. II.4. Cascade d'aération	41
Fig. II.5. Bassin de pré chloration	41
Fig. II.6. Bassin de coagulation	42
Fig. II.7. Bassin de Floculation	43
Fig. II.8. Décanteur raclé à ciel ouvert	43
Fig. II.9. Bassin de filtration sur sable	44
Fig. II.10. Lavage des filtres (contre lavage)	44
Fig. II.11. Réservoir de stockage	45

Chapitre III

Etude bibliographique comparative entre des différentes technique d'analyse des quelques espèces chimiques dans l'eau

Fig. III.1. Gamme des couleurs de la différente concentration de NO_2^-	49
Fig. III.2. Gamme des couleurs de la différente concentration de NO_3^-	52
Fig. III.3. Gamme de couleurs de la différente concentration de NH_4^+	54

Chapitre IV

Matériels, méthodes et résultats d'analyses

Fig. IV.1. Appareil de PH mètre utilisé.	56
Fig. IV.2. Appareil de conductimètre utilisé.	57
Fig. IV.3. Turbidimètre utilisé.	58
Fig. IV.4. Appareil de mesure de la TDS, conductivité, température et la salinité utilisé	59
Fig. IV.5. Résultat de recherche de dureté	63
Fig. IV.6. Résultat de recherche de chlorure	64
Fig. IV.7. Résultat de recherche d'alcalinité (TA, TAC)	66
Fig. IV.8. Résultat de recherche de matière organique	67
Fig. IV.9. Dessiccateur utilisé.	69
Fig. IV.10. Rompe utilisé.	70
Fig. IV.11. Comparimètre utilisé.	71
Fig. IV.12. Agitation rapide (la dose du coagulant)	75
Fig. IV.13. Agitation lente (la dose de flocculant)	75
Fig. IV.14. Résultat de recherche d'ammonium.	77
Fig. IV.15. Résultat de recherche de nitrites	79
Fig. IV.16. Rampe de filtration.	86

Liste des Tableaux

Tableau I.1. Propriétés physiques de l'eau	5
Tableau I.2. Principales constantes de l'eau pure	7
Tableau I.3. La différence entre eaux de surface et eaux souterraine	12
Tableau I.4. Substances présente dans l'eau	15
Tableau I.5. Avantages et les inconvénients des produits de désinfection	34
Tableau II.1. Principales caractéristiques du barrage de Hammam Debagh.	38
Tableau II.2. La densité de différente concentration de sulfate d'alumine	42
Tableau IV.1. Variation de pH des eaux brutes et traitées entre Mars et Aout 2020	57
Tableau IV.2. Variation de la conductivité des eaux brutes et traitée 2020	58
Tableau IV.3. Variation de la turbidité des eaux brutes et traitée 2020.	59
Tableau IV.4. Variation de la température des eaux brutes et traitée 2020.	60
Tableau IV.5. Variation de TDS dans l'eau brute et traitée entre Mars et Aout 2020.	61
Tableau IV.6. Variation de TH des eaux brutes et traitée en 2020	62
Tableau IV.7. Variation de Ca^{2+} des eaux brutes et traitée entre Mars et Aout 2020.	63
Tableau IV.8. Variation de Mg^{2+} des eaux brutes et traitée entre Mars et Aout 2020.	64
Tableau IV.9. Variation de TAC des eaux brutes et traitée 2020.	66
Tableau IV.10. Variation de HCO_3^- des eaux brutes et traitée 2020.	66
Tableau IV.11. Variation de matière organique des eaux brutes et traitée 2020.	68
Tableau IV.12. Variation de résidus secs des eaux brutes et traitée 2020.	69
Tableau IV.13. Variation de MES des eaux brutes et traitée en 2020.	70
Tableau IV.14. Variation de la dose de chlore injecté en fonction de temps.	73
Tableau IV.15. Différentes doses de sulfate d'alumine et polymère 28/01/2020.	75
Tableau IV.16. Différentes doses de sulfate d'alumine et polymère 10/08/2020.	76
Tableau IV.17. Variation de l'ammonium eaux brutes et traitée 2020.	78
Tableau IV.18. Variation de nitrite des eaux brutes et traitée entre Mars et Aout 2020.	79
Tableau IV.19. Variation de nitrate des eaux brutes et traitée entre Mars et Aout 2020	80
Tableau IV.20. Variation de fer des eaux brutes et traitée entre Mars et Aout 2020	81
Tableau IV.21. Variation de sulfate des eaux brutes et traitée entre Mars et Aout 2020	82
Tableau IV.22. Variation de phosphates des eaux brutes et traitée 2020.	83
Tableau IV.23. Variation d'aluminium des eaux brutes et traitée 2020.	85
Tableau IV.24. Variation de bactérie dans l'eau brute 2020.	87

Introduction générale

L'eau est un élément très important pour la vie en tant que composant de l'écosystème. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un élément clé du développement puisqu'il représente une grande importance dans les activités humaines à partir de l'agriculture à l'industrie. Selon l'organisation mondiale de la santé, l'eau potable est définie comme étant une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. C'est une eau exempte de germes pathogènes, de parasites, et des molécules indésirables et toxiques.

En Algérie, les eaux de surface sont de plus en plus utilisées. De ce fait, les menaces sur cette ressource naturelle s'aggravent de plus en plus et également elle devient rare et impropre, quand elles sont confrontées avec des objets environnementaux et anthropiques.

Cependant, les eaux des barrages sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses, de nature physico-chimique (sels minéraux, matières en suspension, micropolluants organiques et minéraux) et de nature biologique (bactéries, virus, parasites, ...). Certains de ces éléments peuvent non seulement dégrader la qualité de ces eaux mais aussi créer des problèmes plus au moins désastreux face à la santé publique et à l'écosystème entière.

De nombreuses techniques existent, permettent l'évaluation des paramètres de qualité de l'eau de barrage et quantifier les éléments physiques ou chimiques (température, pH, salinité, conductivité, turbidité, matières en suspension, transparence).

L'objectif de ce travail est d'abord faire étude bibliographique comparative entre des différentes technique d'analyse des quelques espèces chimiques dans l'eau. Ensuite des analyses chimiques, physico chimiques et microbiologiques des eaux sont à réaliser en vue de vérifier la qualité d'eau selon les normes algériennes.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre est consacré à rappeler des généralités sur les propriétés de l'eau et à décrire les procédés de traitement pour la production de l'eau potable.

Dans le deuxième chapitre, le barrage Bouhamdane et la station de traitement sont présentés.

Introduction générale

L'étude bibliographique comparative entre des différentes technique d'analyse des quelques espèces chimiques dans l'eau est présentée dans le troisième chapitre.

Le quatrième chapitre est consacré à présentation du matériel, des méthodes utilisées lors des analyses physicochimiques et microbiologiques ainsi que les résultats obtenus et leurs discussions.

Chapitre I

Généralités sur l'eau

I.1. Introduction

L'eau est un élément très important pour la vie en tant que composant de l'écosystème. Ce chapitre est consacré à définir les différentes propriétés de l'eau (chimiques, biologiques, organique, etc.), à souligner ses principaux paramètres et expliquer la chaîne de traitement classique [1].

I.2. Propriétés des eaux

I.2.1. Définition de l'eau

L'eau est une substance chimique constituée de molécules H_2O . Ce composé est très stable et néanmoins très réactif, et l'eau liquide est aussi un excellent solvant. Dans de nombreux contextes le terme eau est employé au sens restreint d'eau à l'état liquide, et il est également employé pour désigner une solution aqueuse diluée (eau douce, eau potable, eau de mer, eau de chaux, etc.).

L'eau est ubiquitaire sur Terre et dans l'atmosphère, sous ses trois états, solide (glace), liquide et gazeux (vapeur d'eau). L'eau extraterrestre est également abondante, sous forme de vapeur d'eau dans l'espace et sous forme condensée (solide ou liquide) à la surface, près de la surface ou à l'intérieur d'un grand nombre d'objets célestes.

L'eau est un constituant biologique important, et l'eau liquide est essentielle pour tous les organismes vivants connus. Compte tenu de son caractère vital, de son importance dans l'économie et de son inégale répartition sur Terre, l'eau est une ressource naturelle dont la gestion est l'objet de forts enjeux géopolitiques [2].

I.2.2. Structure de l'eau

La molécule est le plus petit fragment «possible» d'un corps donné. Elle conserve toutes les propriétés physiques et chimiques de celui-ci. En ce qui concerne l'eau, nous atteignons par divisions successives ce «grain» ultime : la molécule d'eau (Figure. I.1.).

Celle-ci a une dimension de l'ordre d'un milliardième de mètre, soit un nanomètre (10^{-9}). La molécule n'est pas une boule. Elle est constituée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogène (Figure. I.1) [3].

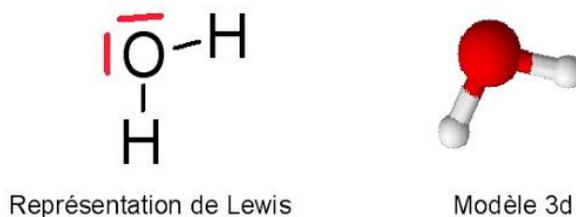


Fig. I.1. Structure moléculaire de l'eau [4].

Sous une apparente simplicité, 3 atomes dont 2 d'hydrogène, l'eau cache des priorités d'une richesse exceptionnelle dues en particulier à sa structure spatiale.

Sa forme, tétraèdre légèrement déformée, est souvent comparée à « la tête de Mickey ». L'atome oxygène est placé au centre tandis que les atomes hydrogène sont placés aux deux autres sommets. Les charges positives sont portées par les sommets hydrogène et les charges négatives par les sommets opposés. L'établissement des liaisons hydrogène entre molécules d'eau est favorisé par cette disposition [3].

I.2.3. Propriétés physiques

Les propriétés physiques de l'eau sont présentées dans le **Tableau I.1**.

I.2.3.1. Point d'ébullition

Dans les phases liquide et solide de l'eau, les liaisons hydrogène lient les molécules fortement entre elles. C'est parce qu'il faut briser ces liaisons que l'eau a une température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire. Cette caractéristique de l'eau permet à une importante phase liquide d'exister aux températures que nous connaissons sur Terre. Cette phase liquide est nécessaire à l'apparition et au maintien de la vie telle que nous la connaissons sur cette planète [5].

I.2.3.2. Viscosité

La viscosité de l'eau est très variable en fonction de sa composition chimique et de sa température de telle sorte que deux eaux peuvent être non miscibles. Ce phénomène est particulièrement important pour la continuité des grands courants océaniques qui règlent le climat planétaire [5].

I.2.3.3. Tension superficielle

La tension superficielle de l'eau est très élevée. Cette propriété permet la formation de gouttes et favorise l'ascension capillaire [5].

I.2.3.4. Chaleur spécifique

L'eau est l'élément naturel dont la chaleur spécifique est la plus élevée : $4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Elle demande donc beaucoup d'énergie pour être réchauffée et pour être refroidie.

I.2.3.5. Chaleur latente

Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont élevées. Comme l'énergie est prélevée sur le substrat on comprend que le phénomène d'évaporation de l'eau vers l'atmosphère refroidisse continuellement les océans. Ces caractéristiques expliquent que l'hydrosphère liquide agisse comme un tampon thermique qui régularise la température terrestre.

Tableau I.1. Propriétés physiques de l'eau [5].

Propriété de l'eau	Caractéristique	Conséquence environnementale
Points de fusion et d'ébullition	Très élevés	Importante phase liquide sur la planète
Chaleur spécifique	Très élevée	Régulation des variations de température externes
Chaleur latente de fusion	Très élevée	Régulation des variations de température externes
Chaleur latente de vaporisation	Très élevée	Régulation des variations de température externes
Capacité de dissolution	Excellent solvant	Transport d'éléments dissous
Tension superficielle	Importante	Formation de gouttes, transports d'éléments dans les tissus cellulaires
Densité	Max à 4° C	Stratification thermique des masses d'eau, flottaison de la glace
Absorption de la lumière	Elevée dans les IR et UV	Régulation de la température de l'atmosphère et stratification thermique des masses d'eau

I.2.3.6. Capacité thermique

L'eau présente une très grande capacité thermique de tous les fluides. Du fait de cette capacité, les masses d'eau agissent comme des tampons ou régulateur contre les changements élevés de température.

I.2.3.7. Densité maximum

C'est à +4°C que l'eau est au maximum de sa densité. Lorsqu'une eau superficielle est refroidie jusqu'à cette température, elle rejoint donc le fond de la masse d'eau, ce phénomène est très important notamment pour le brassage des eaux des lacs [5].

I.2.3.8. Transparence

L'eau est transparente dans le spectre visible. Mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres d'épaisseur, ce qui explique que seules les eaux superficielles se réchauffent [5].

I.2.4. Propriétés chimiques

I.2.4.1. Auto-ionisation de l'eau

Regardons la molécule d'eau dans sa représentation la plus simple : elle est un équilibre entre toutes les grandes fonctions chimiques de la nature : acide – base, oxydation – réduction. L'eau liquide pure est très faiblement dissociée en HCO_3^- et OH^- par l'auto ionisation ; par conséquent tous les composés qui augmentent la concentration des ions positifs H_3O^+ sont acides et les composés augmentant la concentration des ions négatifs OH^- sont basiques de ce fait l'eau porte en elle la fameuse notion du pH (grandeur sans unité) par la relation : [6]

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = 7$$

Ou, ce qui est équivalent par la relation :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

I.2.4.2. Solvation

L'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne, cette dernière est due à des forces inter atomique et intermoléculaire. L'eau est, par ses propriétés électriques et sa constitution moléculaire, particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides. [6]

Nous avons représenté les principales constantes physiques de l'eau pure des différents états dans le **Tableau I.2.**

I.2.5. Propriétés biologiques

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants [6].

Il existe un cycle biologique, au cours duquel s'effectue une série d'échanges grâce à l'eau. Celle-ci est le constituant principal (en **volume**) des êtres vivants

Il est donc évident que « l'eau, c'est la vie », mais il convient de préciser quelques-unes des multiples relations qui existent entre elle et les êtres vivants.

Tableau.I.2. Principales constantes physiques de l'eau pure [6].

Eau liquide	
Température d'ébullition sous 760 mmHg (101 325,02 Pa)	100°C
Capacité thermique massique à 15°C	4,186 8 J/g
Enthalpie de vaporisation à 100°C	2 252,5 J/g
Conductivité thermique à 20°C	5,98 mW/cm• K
Résistivité à 20°C	23,8 MΩ/cm
Permittivité relative à 20°C	80
Indice de réfraction pour la raie D à 10°C	1,333 00
Masse volumique à 4°C	1 g/cm ³
Eau solide	
Température de fusion	0°C (par définition)
Capacité thermique massique	2,093 4 J/g
Enthalpie de fusion sous 760 mmHg (101 325,02 Pa)	333,27 J/g
Tension de vapeur à 0°C	877,128 Pa
Permittivité relative	3,26
Indice de réfraction pour la raie D	1,309 07
Densité (par rapport à l'eau à 4°C)	0,916 49 ± 0,000 7
Eau vapeur	
Conductivité thermique à 100°C	0,231 mW/cm · K
Densité par rapport à l'air	0,623 37
Indice de réfraction pour la raie D à 100°C	1,002 59

I.2.6. Propriétés thermodynamiques

Les propriétés thermodynamiques de l'eau sont très utilisées dans la vie courante.

I.2.6.1. L'eau un fournisseur d'énergie

Les propriétés thermodynamiques de l'eau ont commencé à être utilisées de façon empirique bien avant d'être démontrées de façon scientifique. L'énergie mécanique fournie par l'eau a été utilisée pour faire tourner les roues à eau, les moulins. Puis on va se servir de l'énergie fournie par les propriétés thermiques de l'eau. Ainsi la machine à vapeur, créée par Watt en 1769, utilise l'énergie fournie par la transformation de l'eau en vapeur, sous l'action combinée de la chaleur et de la pression. Les premiers trains à vapeur utilisaient ce système [7].

I.2.6.2. L'eau un très bon conducteur

L'eau est également un conducteur, propriété souvent utilisée, notamment pour le transport d'énergie. Par exemple, l'eau a une très bonne conductivité thermique, à peu près quatre fois supérieure à celle des autres liquides. La principale application de cette propriété est domestique, c'est le chauffage central.

L'eau est un mauvais conducteur électrique lorsqu'elle est pure, mais lorsqu'elle est minéralisée, qu'elle contient des sels dissous, elle devient conductrice de l'électricité. C'est pour cette raison que l'installation de prises électriques dans les salles de bain est strictement réglementée en raison des risques d'électrocution que cela peut provoquer [7].

I.2.7. Usages de l'eau

L'eau est une substance indispensable à tous les êtres vivants : hommes, animaux et plantes. Elle est également nécessaire à toutes les activités développées par l'homme. On peut ainsi distinguer différents usages de l'eau :

I.2.7.1. Usages domestiques (dont l'alimentation en eau potable) : en moyenne, chaque être humain consomme 150 litres d'eau par jour. L'essentiel de l'eau consommée est utilisé pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et diverses tâches ménagères. La boisson et la préparation des aliments ne représentent que 7% de notre consommation totale. En plus, il faut ajouter les consommations collectives auxquelles chacun participe : écoles, hôpitaux, bureaux, lavage des rues, fontaines dans les villes... [8].

I.2.7.2. Usages agricoles : l'agriculture est la principale source de consommation d'eau, essentiellement à des fins d'irrigation. A noter que l'aquaculture (algues, mollusques, crustacés et poissons) est assimilé aux activités agricoles [8].

I.2.7.3. Usages industriels : l'eau est au cœur de nombreux processus industriels. Elle est aussi très utilisée pour le lavage et l'évacuation des déchets, pour le refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les chaudières. Le refroidissement des installations représente l'essentiel de l'utilisation industrielle [8].

I.2.7.4. Usages énergétiques : les barrages, les conduites forcées captent des sources et les centrales hydroélectriques équipées de turbines. L'eau sert aussi pour refroidir les centrales thermiques et nucléaires, qui la rejettent plus chaude (on parle alors de pollution thermique) ou l'évaporent. Enfin, les calories de l'eau souterraine sont utilisées pour les installations de géothermie (basse ou haute température) [8].

I.2.7.5. Usages liés aux loisirs (la voile, le ski nautique, la plongée, la baignade, le canoë-kayak et la pêche, les piscines et stades nautiques, les bains d'eau chaude naturelle, les stations de ski en hiver et les patinoires) [8].

I.3. Origine des eaux

Presque toutes les communautés ont accès à une série de sources d'eau potable. Les diverses sources varient selon les types de technologies qui permettent l'apport d'eau potable aux individus. Les alternatives reliées à ces technologies comprennent des coûts relatifs à chacune d'entre elles. La situation optimale sur laquelle le mobilisateur devrait travailler est celle qui veut qu'une communauté, à travers son conseil de gestion, soit consciente des options offertes, en connaisse les coûts et bénéfices et soit prête à gérer les ressources d'eau potable [9].

I.3.1. Eau souterraine

Circule dans les interstices des roches perméables (Figure I.2). Etant donné que l'eau souterraine est localisée à l'abri des regards, son importance et son volume sont souvent sous-estimés. Au cours de son déplacement au travers de la roche, l'eau souterraine est filtrée. Le captage d'eau souterraine doit se faire de manière à ce qu'elle n'entre pas en contact avec des eaux superficielles, qui contiennent toujours des germes microorganismes.

Il existe deux types principaux de captage d'eau souterraine :

- Le captage-source qui est un ouvrage construit autour d'un écoulement libre d'eau souterraine (source) ;
- Le forage-captage qui est de profondeur variable. L'eau est remontée à la surface par pompage [10].



Fig. I.2. Eau souterraine [11].

I.3.2. Eau superficielle

L'eau superficielle (eau de surface, Figure I.3) est soit courante soit dormante. La taille des eaux courantes varie d'un petit ruisseau à une rivière moyenne, jusqu'à un large fleuve.

Les eaux dormantes peuvent varier d'une flaque d'eau temporaire à un lac, jusqu'à l'océan. Les petites flaques, présentes durant la saison des pluies, alors que les océans contiennent beaucoup trop de sel pour être consommables et nécessitent une technologie spéciale pour séparer le sel.

En général, à facteur égal, une eau courante a une plus grande chance d'être saine qu'une eau stagnante. Une eau qui est trop immobile, et pour une durée trop prolongée, peut devenir stagnante et croupie [9].



Fig. I.3. Eau de surface [12].

I.3.3. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97,4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles).

Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi «eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement [1].

I.3.4. Cycle de l'eau

L'eau sur terre se compose de 97,5 % d'eau salée, contenue dans les océans et de 2,5 % d'eau douce, contenue dans les lacs, rivières, glaciers, nappes phréatiques, etc. Et l'utilisation de l'eau douce par l'homme n'est possible qu'à hauteur de 0,7 % de la totalité des réserves d'eau

L'eau douce se renouvelle en permanence par le cycle de l'eau (Figure I.4). Elle passe de la mer à l'atmosphère, puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment suivant plusieurs étapes :

- **Évaporation et évapotranspiration** : une partie des eaux de mer se transforme en vapeur d'eau sous l'action du soleil ainsi que l'eau des plantes et des animaux par évapotranspiration
- **Condensation** : des nuages se forment dans le ciel
- **Précipitations** : les nuages s'agrègent puis se transforment en eaux pluviales, neige ou grêle
- **Infiltration** : une partie des eaux pluviales s'infiltrent dans les nappes souterraines
- **Ruissellement** : une autre partie des eaux rejoint les eaux de surfaces : rivières, fleuves, lacs...
- **Stagnation** : l'eau est stockée dans les réservoirs naturels sur des périodes plus ou moins longues (ex : 8 jours de stagnation dans l'atmosphère, 17 ans dans les lacs, 2500 ans dans les océans...)
- **Retour à la mer** : l'eau des réservoirs naturels s'évapore sous l'action du soleil puis regagne la mer et les océans [13].

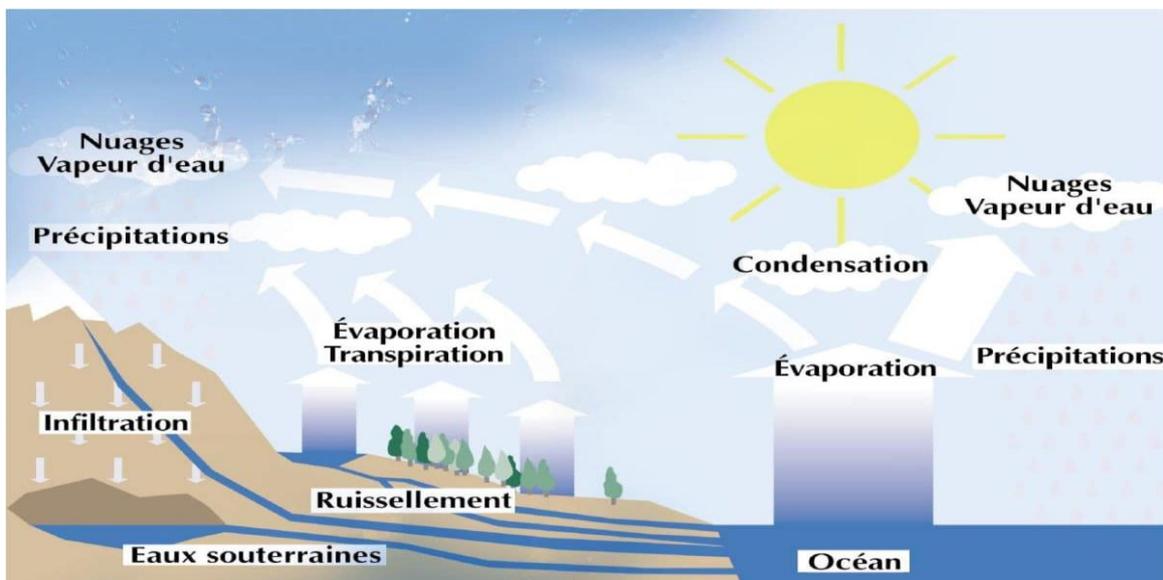


Fig. I.4. Schéma simplifié du cycle de l'eau [13].

I.3.5. Différence entre l'eau de surface et l'eau souterraines

Dans le tableau I.3, nous avons représenté les différences entre l'eau de surface et l'eau souterraines :

Tableau I.3. Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines [14].

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
CO ₂ agressif	Pas présent Souvent	présent en grande quantité
O ₂ dissout	Souvent proche du niveau de saturation. Absent dans les eaux très polluées.	Généralement peu présent
Ammonium	Seulement dans des eaux polluées.	Souvent présent sans forcément une pollution bactériologique
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferrobactéries fréquentes

I.4. Possibles pollution de l'eau de ressource

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, déversement de produits toxiques (ex : produits d'entretien, résidus de médicaments, perturbateurs endocriniens) dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème et notamment les milieux aquatiques.

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel parce que l'eau pure n'existe pas à l'état naturel et contient toujours un petit quelque chose :

- Des matières dissoutes provenant des terrains traversés durant le cycle de l'eau (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, azote)
- Des particules d'argile qui forment une « éponge absorbante » susceptible d'attirer des bactéries et des molécules
- Des bactéries qui prolifèrent dans le milieu aquatique
- Des matières organiques provenant du cycle de décomposition des végétaux et des animaux [1,15].

I.4.1. Origine de la pollution

I.4.1.1. L'industrie

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets sa long terme [1].

Les rejets industriels 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.

I.4.1.2. L'agriculture

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration [1].

I.4.1.3. Pollution domestique

Nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes et de produits chimiques [1].

I.4.1.4. Pollution par les eaux pluviales

Il ne faut pas oublier par ailleurs la pollution générée par les eaux pluviales. L'eau de pluie charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) [1].

I.4.1.5. Pollution d'origine naturelle

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes [1].

I.4.1.6. Pollution par les substances associées au traitement de l'eau

La chloration de l'eau dans le but de la rendre potable est un procédé très répandu et reconnu efficace. La chloration est même considérée par les experts comme étant l'une des plus importantes initiatives de santé publique du XXe siècle. Cependant, bien qu'il soit efficace pour contrôler principalement les virus et les bactéries, le chlore, en présence de matières organiques, entraîne la formation de plusieurs sous-produits de chloration (SPC) potentiellement cancérigènes comme par exemple les trihalométhanes (THM).

Le sulfate d'aluminium est un produit utilisé pour coaguler les substances contenues dans l'eau. L'eau ainsi traitée présente des concentrations d'aluminium plus élevées que dans l'eau non traitée. La toxicité de l'aluminium a été étudiée en relation avec la maladie d'Alzheimer qui influe sur la mémoire et le comportement des personnes atteintes [1].

I.4.2. Principaux Substances polluants contenues dans l'eau

Dans le **Tableau I.4.**, nous avons représenté les différentes substances présentes dans l'eau.

I.4.2.1. Matières en suspension

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues). Ces substances sont responsables, en particulier de la turbidité et de la couleur [16].

I.4.2.2. Matières colloïdales

Moins de 1 micron Ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petit taille présents dans l'eau dans un état intermédiaire entre dissous et l'état solide (invisible à l'œil nu), doté à leur surface de charges électrique qui maintient en suspension, elles ne sont pas séparés par décantation ni par filtration ,leur élimination nécessite de neutraliser au préalable les charges électrique et les rassembler en particules plus grosses décantables et filtrables par ajout de coagulants et flocculant [16].

I.4.2.3. Matières organiques dissoutes

Moins de quelques nanomètres, ce sont généralement des cations ou des anions, une partie de la matière organique est également sous forme dissoute, on trouve aussi les gaz (O₂, CO₂, H₂S,...) [16].

I.4.2.4. Métaux lourds

Les métaux lourds, qui parviennent dans les eaux, font partie des polluants de l'eau, les métaux lourds exemple dans les sédiments [1].

I.4.2.5. Polluants microbiologiques

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [17].

Tableau I.4. Substances présentes dans l'eau [16].

Etat et forme des éléments dans l'eau	Nature des éléments
M.E.S.	Sable, boues, argile, diverses roches en débris, matières organiques et végétales débris divers soluble
Sels minéraux	(Carbonates, bicarbonates, sulfate chlorures, nitrates ...etc.) de Ca, Mg, Na, K, NH)
Matières organiques solubles	Troubles, déchets végétaux, matières azotées produits de synthèse organique soluble.
Gaz	O ₂ , N ₂ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S
Organisme vivants d'origine animale, Végétales, bactérienne et nivale	Plancton, algues, champignons, vers, lames d'insectes, bactéries, virus

I.4.2.6. Sels minéraux

Ils proviennent de la dissolution des roches rencontrées par l'eau au cours de son infiltration. Cette dissolution s'accompagne d'une transformation de la matière dissoute phénomène d'ionisation [16].

- **Les nitrates** : les nitrates sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons. La consommation d'eau chargée en nitrates ou nitrites par la femme enceinte ou le nourrisson peut constituer un risque pour le nouveau-né [1].

- **Les chlorures** : en plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture [1].

- **Les sulfates**: en plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfato-réductrice transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement [1].

I.5. Analyse de l'eau de surface

I.5.1. Analyse organoleptique

Ces données appartiennent à l'analyse d'eau .Elles ont pour but d'apprécier si l'eau est agréable aux sens de l'observateur

I.5.1.1. Couleur

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation (substances humiques, lignine). IL ne faut pas confondre couleur et turbidité. La couleur est très préjudiciable pour l'esthétique [18].

I.5.1.2. Odeur

Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniacque, mercaptans, etc. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H_2S) [18].

I.5.1.3. Gout

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue par l'organe gustatif lorsqu'ils sont en contact avec l'eau testée [18].

I.5.1.4. Turbidité

Se définit comme étant l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon, cette dispersion étant provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension dans l'échantillon [19].

En rapport avec la turbidité (Figure I.5), les eaux peuvent être classées de la manière suivante :

- NTU inférieur à 5 : eau incolore

- NTU entre 5 et 30 : eau légèrement colorée
- NTU supérieur à 50 : eau colorée [19].

La mesure de la turbidité est effectuée par un turbidimètre. L'unité d'expression est le NTU.



Fig. I.5. Turbidité d'eau [20].

I.5.2. Analyses chimiques

Pour faire une analyse d'eau destinée à la consommation humaine, il est nécessaire de réaliser quelques analyses physicochimiques qui sont essentielles pour la potabilité de l'eau.

Nous avons fait ces analyses au niveau des :

- Eaux brutes destinées à la production d'eau d'alimentation humaine (eau à la sortie de station de prétraitement).
- Eaux traitées pour l'alimentation humaine (eau traitée à la sortie de la station de traitement).

I.5.2.1. Température

Joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous, dans la solubilité des gaz, sur la conductibilité électrique et dans la détermination du pH. La température permet parfois d'obtenir des indications sur l'origine de l'écoulement de l'eau. En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (1994), l'eau est :

- Excellente lorsque la température varie entre 20 et 22°C ;
- Passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25°C
- Médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C/

Lorsque la température est supérieure à 30°C, on parle d'une pollution excessive [19].

I.5.2.2. Potentiel d'hydrogène pH

C'est un indicateur de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau ; C'est l'un des paramètres opérationnels de la qualité de l'eau. Le pH est lié à la nature géologique des terrains traversés.

A partir du PH, on peut classer les eaux de la manière suivante :

- pH inférieur à 5 : acidité forte.
- pH égale à 7 : neutralité (eau pure).
- pH de 6,5 à 8 : neutralité rapprochée (eau de surface).
- pH de 5,5 à 8 : majorité des eaux souterraines.
- pH supérieur à 8 : alcalinité, évaporation intense [19].

I.5.2.3. Dureté de l'eau (TH)

Le titre hydrotimétrique (T.H.), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. On désigne par :

- TH : totalité des sels de calcium et magnésium
- TH calcique: totalité des sels de calcium
- TH magnésien : totalité des sels de magnésium [21].

Le calcium et le magnésien présents dans l'eau sont complexés par l'éthylène diamine tétra acétate disodique (EDTA), qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium ; est utilisé comme indicateur pour la détermination de la dureté totale.

On utilise l'acide calconecarboxylique, comme indicateur pour le dosage du calcium, le magnésium est précipité lors du dosage sous forme d'hydroxyde.

I.5.2.4. Alcalinité de l'eau (TA et TAC)

Ces paramètres permettent de vérifier l'alcalinité d'une eau. L'alcalinité est liée à la présence d'ions carbonates (CO_3^{2-}), hydroxydes (OH^-) et hydrogénocarbonates (HCO_3^-). Ces ions varient en fonction du pH et c'est une des raisons pour que le pH doive être rectifié en vue de délivrer une eau à l'équilibre. [21]

⇒ Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformé en bicarbonates à un pH >8.3.

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

⇒ Le TAC correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates à un pH < 8.3.

$$TAC \text{ (méq/l)} = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

I.5.2.5. Oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Il Réagit avec l'hydroxyde de manganèse formé par l'addition de sulfate de manganèse et d'hydroxyde de sodium. L'hydroxyde de manganèse

après acidification, permet d'oxyder l'iodure préalablement introduit avec libération d'une quantité équivalente d'iode. L'iode ainsi libéré est dosé à l'aide d'une solution titrée de thiosulfate de sodium [21, 22].

I.5.2.6. Calcium

Se présente surtout sous forme de carbonate CaCO_3 et de sulfate CaSO_4 ou comme cation bivalent (Ca^{2+}) sous forme dissoute. Le calcium est essentiel chez l'être humain et joue aussi un rôle important dans la structure des os et des dents. Il s'introduit dans l'eau brute par désagrégation minérale. Il y est le principal cation présent et détermine la dureté de l'eau. Le calcium affecte le goût de l'eau lorsque sa concentration dépasse 200 mg/l [23].

I.5.2.7. Aluminium

Aluminium est le métal le plus abondant de la croûte terrestre. Il ne se trouve jamais dans la nature sous forme native, mais généralement sous forme de silicates et d'oxydes. Il est mobile en sols acides et peut être lessivé dans les eaux souterraines. L'aluminium n'est pas un élément essentiel pour l'organisme humain. A haute dose, il perturbe le métabolisme, notamment l'absorption d'autres métaux tels que le magnésium et le fer. L'aluminium est souvent utilisé comme flocculant dans le processus de traitement de l'eau, ce qui peut entraîner une augmentation malvenue de sa teneur dans l'eau potable [23].

I.5.2.8. Potassium

Le potassium se trouve sous forme de cation monovalent (K^+) en milieu naturel. Il s'agit d'un métal essentiel pour l'organisme, notamment par son rôle dans la régulation du potentiel membranaire. On le trouve dans les eaux brutes non polluées à des concentrations généralement faibles [23].

I.5.2.9. Magnésium

Le magnésium se trouve en milieu naturel sous forme généralement minérale (carbonate, silicate, chlorure, sulfate) ou dissoute (Mg^{2+}). Le magnésium est le deuxième responsable de la dureté de l'eau, après le calcium. Il s'agit d'un métal essentiel, dont les fortes concentrations peuvent néanmoins provoquer des diarrhées et modifier le goût de l'eau [23].

I.5.2.10. Soufre (sulfate, sulfure)

Le soufre, élément essentiel pour l'organisme, entre dans la composition de plusieurs acides aminés et de nombreux enzymes. Les sources naturelles de sulfate (SO_4^{2-}) dans les eaux brutes sont la solubilisation des roches sulfatées, l'oxydation des minéraux sulfurés, ainsi que la décomposition de la biomasse [23].

I.5.2.11. Chlore (chlorure, chlorate, chlorite)

Le chlore appartient à la famille des halogènes. Du fait de sa réactivité, il se trouve principalement sous forme d'anion (chlorure, Cl^-) en milieu naturel. Les sels de chlorure sont très solubles dans l'eau ; non toxiques, ils sont essentiels pour l'organisme. On utilise le chlore sous forme gazeuse ou soluble (hypochlorite) dans la désinfection industrielle de l'eau. Le dioxyde de chlore offre une alternative, puisqu'il se dissocie en chlorite et chlorate. Tous deux sont suspectés d'être toxiques pour le sang [23].

I.5.2.12. Carbone organique dissous (COD)

Comme son nom l'indique, ce paramètre regroupe toute la matière organique dissoute dans une eau. Dissoute signifie également la présence de particules de taille inférieure à 0,45 μm . La concentration de COD est une mesure de la matière organique naturelle (MON). La teneur en MON de l'eau, mesurée en COD, détermine aussi la coloration de celle-ci. Les fortes concentrations de COD se retrouvent par exemple dans les forêts, les zones humides ou encore en présence d'un fort développement d'algues. Le carbone organique assimilable (COA) est une composante du COD qui constitue l'alimentation principale des microorganismes dans l'eau [23].

I.5.3. Analyses physiques

I.5.3.1. Conductivité

La plus part des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions, la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, La mesure est effectuée par un conductimètre portable étalonné, en entrant l'électrode de l'appareil au bécher remplie d'eau, la lecture du résultat affiché doit correspondre à la température 20 °C. L'unité est le micro siemens par centimètre ($\mu S/cm$). La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante :

- Conductivité égale à 0,05 : eau déminéralisée
- Conductivité de 10 à 80 : eau de pluie
- Conductivité de 80 à 100 : eau peu minéralisée
- Conductivité de 300 à 800 : eau moyennement minéralisée
- Conductivité de 1000 à 3000 : eau saline
- Conductivité supérieure à 3000 : eau de mer [19].

I.5.3.2. Résistivité

C'est une mesure d'appréciation servant à évaluer grossièrement la quantité d'éléments dissous dans l'eau chimiquement pure est très mauvaise conductrice du courant électrique, si

elle contient des sels minéraux (sauf l'eau distillée qui n'en contient pas) elle laisse davantage passer le courant. Cela d'autant mieux qu'elle est chargée en sels. Elle est généralement exprimée en ohm/cm [19].

I.5.4. Substances indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer. Quelques métaux : [17]

I.5.4.1. Cuivre

Le cuivre est un métal lourd, oligoélément essentiel pour l'homme. Sa toxicité aiguë est plutôt faible. Sa toxicité chronique provient d'une absorption excessive, dépassant les capacités d'élimination du foie. Les conséquences peuvent en être une hépatite, une cirrhose et une anémie [23].

I.5.4.2. Fer

Contrairement au fer (III), le fer divalent Fe(II) est soluble dans l'eau. Le Fe(II) se trouve exclusivement dans les eaux réduites ; il affecte le goût de l'eau comme aussi sa couleur, par contact avec l'oxygène de l'air. Il précipite en station de traitement et dans les canalisations.

I.5.4.3. Manganèse

Le manganèse est un élément essentiel pour l'homme. Sa présence dans l'environnement est très souvent associée à celle du fer. Sa forme réduite Mn(II) est soluble dans l'eau. Le Mn(II) s'oxyde en Mn(IV) au contact de l'air, entraînant des suspensions et des dépôts de couleur noire. Le manganèse sous forme de permanganate de potassium (KMnO_4) est un puissant agent oxydant, que l'on utilise souvent dans le processus de traitement de l'eau. La toxicité aiguë du manganèse est très faible. L'absorption chronique de hautes doses provoque des effets nocifs sur le système nerveux [23].

I.5.5. Substances toxiques

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière.

Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds : chrome, cadmium, nickel...) ainsi que de substances telles que les cyanures, ou des molécules organiques présentant une action d'inhibition des mécanismes biologiques [17].

I.5.6. Analyses microbiologiques

Ce sont les contaminations microbiologiques de l'eau et leurs sérieuses conséquences sanitaires pour l'homme qui sont à l'origine des premières recherches sur la production d'eau potable. L'évaluation de la charge microbiologique de l'eau, brute ou potable, repose sur le principe de l'indicateur microbien. L'idée est qu'il est possible d'extrapoler le degré de pollution microbiologique de l'eau et donc le danger sanitaire qu'elle représente pour l'homme en ne se basant que sur l'analyse de quelques germes particuliers. Ces germes indicateurs doivent présenter les mêmes propriétés que les germes pathogènes en termes de prévalence, d'expansion, de résistance, de sensibilité aux désinfectants, etc., et doivent par ailleurs être faciles à détecter [23].

I.5.6.1. Coliformes fécaux

Proviennent des intestins et des excréments des humains et des animaux à sang chaud. La présence de ces bactéries dites pathogènes est très risquée pour la santé des humains et des animaux. La bactérie e-coli (*Escherichia coli*) appartient à cette catégorie de coliformes. L'absorption d'une eau infectée de coliformes fécaux peut entraîner des maladies très graves et, dans certains cas, peut causer la mort. Les premiers symptômes sont généralement de nature gastro-intestinale (nausées, vomissements et diarrhée).

Il est à noter que la concentration maximale acceptable de la bactérie e-coli dans les systèmes publics et privés d'approvisionnement en eau potable est de zéro (0) micro-organisme détectable par 100 ml [24].



Fig. I.6. Coliformes fécaux [24].

I.5.6.2. Entérocoques (streptocoques fécaux)

S'apparentent aux coliformes fécaux, ils sont donc des bactéries pathogènes, c'est-à-dire dangereuses pour la santé. Presque toujours reliés à la contamination fécale, les entérocoques résistent beaucoup aux substances aseptiques qui devraient empêcher leur croissance. Certains entérocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines, les otites, les méningites et d'autres toutes aussi sérieuses [24].



Fig. I.7. Streptocoques fécaux [24].

I.5.6.3. Coliformes totaux

Concernent le décompte total des bactéries de type coliformes. Bien que la plupart dérivent de substances végétales, certains coliformes totaux peuvent être d'origine fécale (de 10 à 15 %). Ces bactéries servent d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique. Dans le cas d'un puits cela peut révéler la présence d'une infiltration de l'eau de surface. Si l'analyse d'eau détecte la présence de coliformes totaux dans une concentration de plus de 10 UFC/100ml, il faut désinfecter le puits. On suggère aussi de faire un nouvel échantillonnage de l'eau potable dans les 30 jours qui suivent [24].



Fig. I.8. Coliformes totaux [24].

I.5.6.4. B.H.A.A. (Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies)

Représentent le décompte total des germes présents dans l'eau. Un dénombrement plus grand que 500 UFC par millilitre rend l'eau impropre à la consommation. Heureusement, la grande majorité des B.H.A.A. retrouvées dans l'eau potable sont non pathogènes. Cependant,

quelques-unes le sont, et elles peuvent causer des infections aux personnes dont le système immunitaire est affaibli.

Les B.H.A.A. peuvent aussi servir d'indicateur de pollution, notamment pour déceler la présence de matière organique résiduelle dans les conduites d'alimentation. La matière organique favorise la croissance des bactéries. Le rôle d'indicateur des B.H.A.A. est donc précieux pour un meilleur contrôle de qualité de l'eau potable [24].

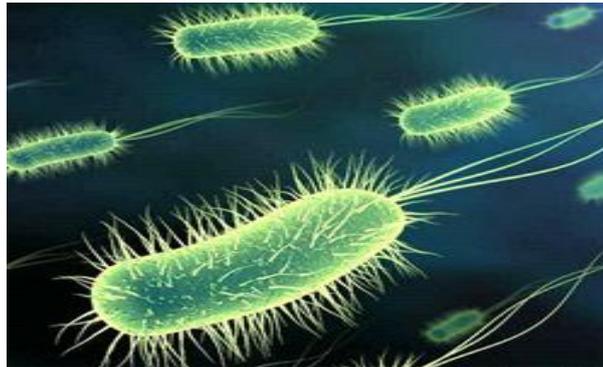


Fig. I.9. B.H.A.A [24].

I.5.6.5. Colonies atypiques

Les colonies atypiques sont des colonies bactériennes qui font partie des B.H.A.A mais leur présence dans l'eau potable n'est pas souhaitable. Elles n'ont pas la couleur vert métallique lors du dénombrement des coliformes par la méthode de la membrane filtrante et ont la croissance des coliformes lorsque leur nombre est supérieur à 200 UFC/100 ml. En grand nombre, elles rendent les analyses bactériologiques inutiles et on doit faire une désinfection de façon préventive [24].

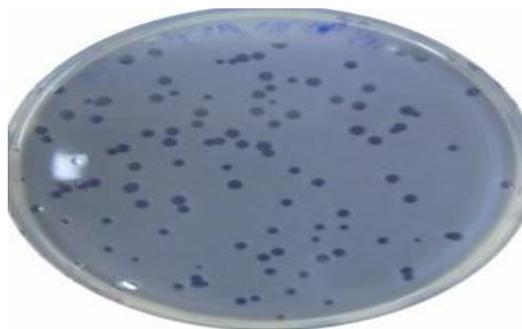


Fig. I.10. Colonies atypiques [24].

I.6. Traitements de l'eau de surface

Selon la qualité de l'eau prélevée, la production d'eau potable nécessite des étapes différentes faisant appel à quatre types de procédés : physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques.

Une station de production d'eau potable traite généralement les eaux de surface par des filières du type suivant :

Les eaux de surfaces sont généralement rendues potables, en utilisant, par exemple, les procédés suivants : [25]

- Dégrillage ;
- Tamisage ;
- Floculation, décantation ;
- Filtration sur sable ;
- Filtration sur charbon actif ;
- Ozonation ;
- Chloration

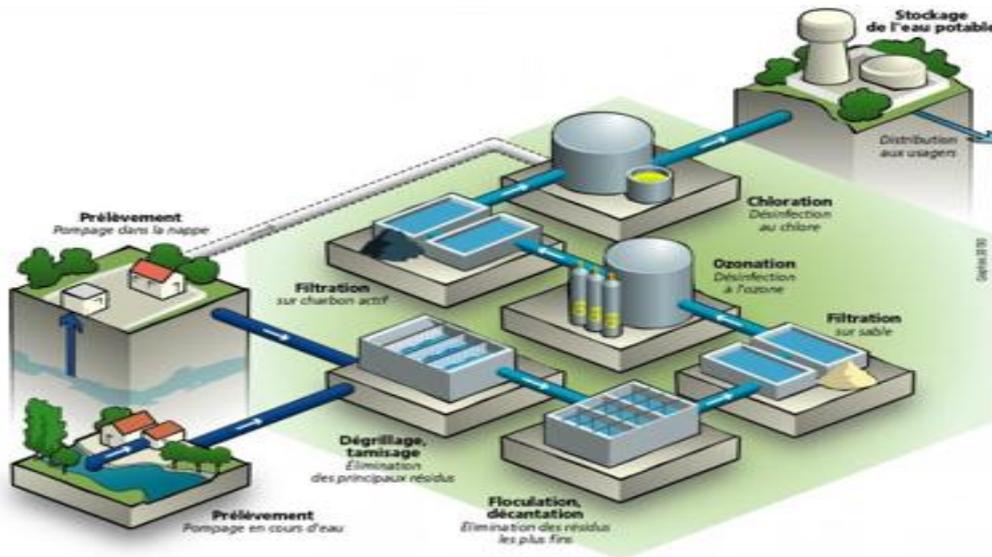


Fig. I.11. Schéma générale de traitement des eaux [25].

I.6.1. Procédés physiques et physico-chimiques

I.6.1.1. Pompage

La première étape du processus de potabilisation consiste à pomper l'eau dans son milieu naturel afin de l'acheminer jusqu'à la station. Lorsque le relief naturel n'est pas adapté, il faut relever les eaux au niveau de l'usine par le biais de pompes ou d'une vis d'Archimède. Cette vis est en réalité une hélice tournant autour de son axe dans une goulotte, permettant ainsi le déplacement des liquides [26].

I.6.1.2. Dégrillage

La première étape de prétraitement, qui est le dégrillage permet :

- De protéger les ouvrages en aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer le colmatage dans les différentes unités de l'installation.

- De séparer les matières qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements, par une grille métallique qui retient les éléments volumineux comme les plastiques et les morceaux de bois [21].

Tout d'abord, l'eau prélevée dans les fleuves ou les rivières passe à travers des grilles qui retiennent les déchets les plus gros comme des branches afin de protéger les installations [27].

I.6.1.3. Tamisage

L'eau passe ensuite dans des tamis de maille de plus en plus fines retenant les déchets plus petits comme des feuilles, de l'herbe ou des cailloux [27].

I.6.1.4. Coagulation

L'eau tamisée passe par une cuve de prétraitement où l'on ajoute du micro sable et des coagulants à base d'aluminium (Al^{3+}) ou de fer (Fe^{3+}), tel que du sulfate d'aluminium, du chlorure ferrique, du chlorosulfate ferrique... Ces réactifs, très électropositifs, permettent de supprimer les répulsions inter colloïdales : les cations métalliques se lient aux colloïdes et les neutralisent. La vitesse d'agitation des eaux à traiter est donc plutôt rapide pour bien mélanger l'eau avec les cations métalliques et ainsi favoriser leur rencontre avec les colloïdes [26].

I.6.1.5. Floculation

Permet de résoudre les problèmes liés au faible diamètre des colloïdes. En effet, la masse de ces particules est si petite qu'elle ne permet pas une sédimentation naturelle suffisante. L'ajout de floculant organique ou naturel tels que : l'alginate de sodium, la silice activée et l'amidon permet l'agglomération des particules colloïdales. En effet, les floculants ajoutés vont jouer le rôle de colle entre les particules. Les plus fines, contenant les polluants, se rassemblent alors en flocons de plus en plus gros autour du micro sable. L'agrégation des particules forme des flocons possédant une masse suffisante pour être décanté. Ces masses de particules emprisonnent d'autres éléments tels que des bactéries pouvant être pathogènes. La vitesse d'agitation est relativement faible afin de ne pas détruire les flocons déjà formés [26].

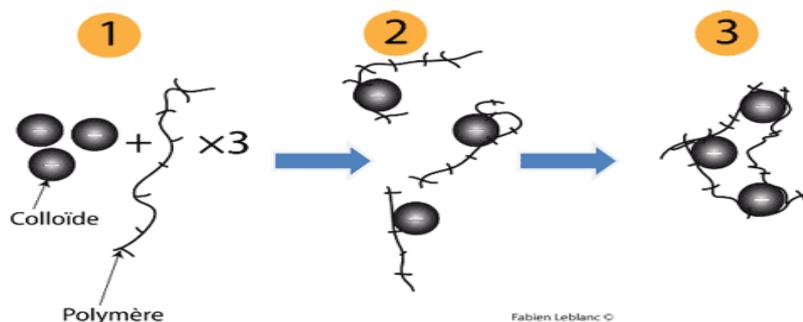


Fig. I.12. Coagulation – floculation [28]

I.6.1.6. Décantation

La décantation est un procédé physique, elle consiste à laisser déposer les particules dont la densité est supérieure à l'eau dans le fond du bassin.

Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces :

- La force de la pesanteur, qui est l'élément moteur car elle permet la chute de la particule
- Les forces de frottements qui s'opposent à ce mouvement.

Ces particules seront périodiquement éliminées du fond du bassin de décantation. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigée vers un filtre. La vitesse de chute des particules est proportionnelle au diamètre et à la masse volumique de la particule.

Le mélange d'eau brute et des coagulants-floculants est introduit à la base du décanteur. Dans le décanteur se trouve du micro-sable qui « colle » aux floes et les lest. Ceux-ci tombent alors au fond du décanteur. L'eau décantée est évacuée par le haut de la cuve mais elle doit auparavant traverser des modules lamellaires inclinés qui forcent la décantation des particules plus légères entraînées par le courant ascensionnel de l'eau.

Au fond du décanteur, la boue est pompée en continu et envoyée vers un hydrocyclone, appareil simple qui sépare, grâce à la force centrifuge, la boue et le micro-sable. Il permet d'éliminer environ 80% des matières en suspension. Le micro-sable est ensuite réinjecté dans le décanteur alors que les boues sont dirigées vers l'unité de traitement des boues.

On utilise un décanteur à recirculation de boue avec du sable. Les matières coagulées s'agglutinent autour de chaque grain de sable. Il joue un rôle de lest des matières coagulées ce qui accélère fortement la décantation.

Par ailleurs, l'amidon peut être utilisé pour optimiser le lestage [29].

I.6.1.7. Filtration sur sable

La filtration par le sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes.

Un filtre à sable est constitué par une couche de sable de qualité adéquate, à travers laquelle l'eau circule à vitesse relativement faible (Figure. I.13.). Le filtre à sable purifie l'eau de trois manières différentes :

- La filtration permet d'intercepter les dernières particules visibles à l'œil nu de l'eau à traiter.
- Floculation pendant laquelle les substances se collent à la surface du sable et viennent grossir la taille de ce dernier.
- Assimilation par des micro-organismes qui se nourrissent des polluants de l'eau.

Par contre, les virus et bactéries peuvent toutefois passer au travers des filtres c'est pourquoi l'étape finale de désinfection est obligatoire [30].



Fig. I.13. Schéma des filtres à sable [30].

I.6.2. Traitements biologiques

Le traitement biologique utilise les micro-organismes naturellement présents dans l'eau, principalement les bactéries. Elles dégradent la matière organique biodégradable, la matière naturelle ou les micropolluants artificiels en produits plus simples et moins dangereux pour l'homme.

Des filtres introduits dans la filière de traitement permettent, par exemple, de fixer des bactéries qui vont se développer en surface. Selon la nature du filtre et de sa place dans la filière, les populations bactériennes retenues et leur activité sont différentes : les filtres à sable, par exemple, favorisent la croissance de bactéries nitrifiantes qui éliminent l'azote ammoniacal [31].

I.6.2.1. Aération (stripping)

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. L'aération suit les lois de l'échange gaz-liquide, pour le transfert des solutés à travers une interface air-liquide.

Cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène et permet alors, soit :

- D'oxyder des éléments réduits, tels les ions ferreux ;
- D'augmenter la teneur en oxygène dans l'eau (améliorer le goût, éviter la corrosion des conduites métalliques en formant une couche protectrice) ;
- D'éliminer des gaz indésirables (H_2S , CO_2 libre, sursaturation en oxygène, composés organiques volatils, etc.) [32].

I.6.2.2. Charbon actif

La filtration sur charbon actif consiste à biodégrader et oxyder les matières organiques ainsi qu'éliminer ou absorber certains micropolluants pour améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau. Le phénomène physique est l'adsorption, c'est à dire l'adhésion des matières à filtrer sur la surface d'un solide, sans réaction chimique. Ainsi, le filtre composé de grains de charbon actif retient les bactéries. Par ailleurs, le charbon actif est le composé le plus adsorbant actuellement connu car sa structure extrêmement poreuse augmente la surface en contact avec l'eau, elle possède donc une grande surface permettant d'absorber et de dégrader les matières organiques et les micros polluants (pesticides) par voie microbiologique. Par ailleurs, grâce à la pré-ozonation de l'eau qui a augmenté la biodégradabilité des micropolluants c'est-à-dire la capacité d'une molécule à être dégradée par l'action d'organismes biologiques. Le charbon actif participe à l'élimination de la matière organique et de l'ammoniac.

Le rôle de cette filtration est triple :

- Retenir les dernières matières en suspension
- Arrêter les pesticides qui auraient franchi la décantation (malgré le prétraitement au charbon actif en poudre)
- Eliminer la matière organique et les sels d'ammoniaque [33].

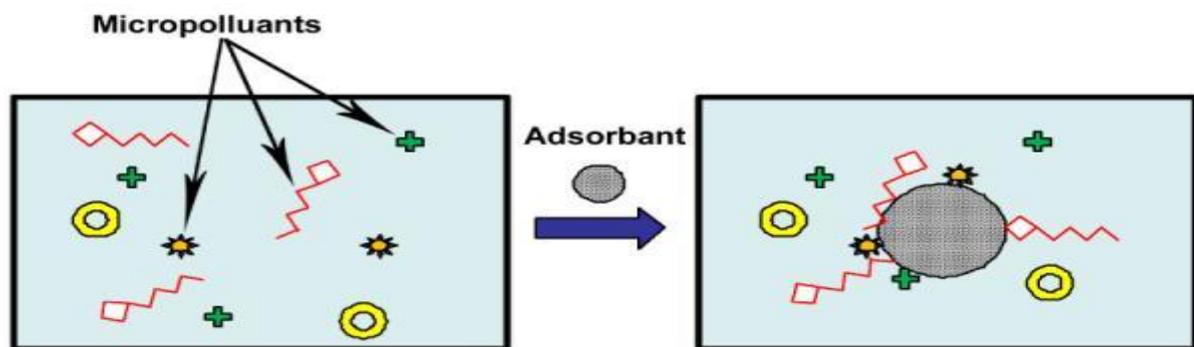


Fig. I.14. Rétention des micropolluants à l'aide du charbon actif [34].

I.6.3. Filtrations sur membranes

Les filtrations sur membranes constituent une mini-révolution dans le domaine du traitement de l'eau. En effet, son principe consiste non plus à éliminer chimiquement les micropolluants mais à les extraire physiquement. Leur très gros avantage est de n'utiliser aucun réactif chimique pour traiter des eaux. Elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréable ni mauvaise odeur, et de qualité constante quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter. Elles commencent depuis peu à être utilisées à grande échelle au niveau industriel. Le seul inconvénient de ces

nouveaux traitements est leur coût élevé, mais le principe d'action de ces membranes est simple puisqu'il consiste ni plus ni moins en un filtrage mécanique [30].

I.6.3.1. Ultrafiltration

L'ultrafiltration est un procédé qui permet de séparer le soluté du solvant. Le principe de séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane réalisée grâce à une pompe d'alimentation haute pression. Par ailleurs, la filtration est généralement de type tangential, c'est-à-dire que l'eau circule parallèlement à la membrane grâce à une pompe de circulation. Les parois de chacune des fibres de la membrane sont percées d'une multitude de pores microscopiques qui retiennent les molécules de la taille de 0,002 à 0,1 micromètre selon la membrane choisit car seule les substances inférieures à la taille des pores peuvent traverser la paroi. L'ultrafiltration permet d'éliminer toutes les particules en suspension, les bactéries et les virus, ainsi que les plus grosses molécules organiques. Mais certains pesticides et certaines molécules responsables de goûts et d'odeurs, de plus faible encombrement, ne sont pas retenus. Pour pallier cet inconvénient, du charbon actif en poudre est mélangé à l'eau à traiter. Ces substances s'adsorbent sur les grains de charbon lesquels, trop gros pour passer à travers les pores, sont retenus par les membranes. Il permet de réduire l'usage des désinfectants chimiques. Côté entretien, un lavage régulier doit être effectué avec de l'eau propre circulant en sens inverse pour que les pores ne se colmatent pas [30].

I.6.3.2. Nanofiltration

La nanofiltration permet de produire une eau de très grande qualité grâce à son procédé de séparation utilisant la filtration au travers de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression. Son principe est très semblable à celui de l'ultrafiltration, la différence essentielle étant que la membrane de nanofiltration offre une porosité dix fois plus faible, de l'ordre de 0.001 micromètre. Les modules actuellement proposés sont de type tubulaire ou spiral. Injectée sous pression, l'eau à traiter traverse la membrane et ressort filtrée par le tube central.

La nanofiltration permet de retenir tous les polluants dissous, qu'ils soient biologiques, organiques ou minéraux et quelle que soit leur concentration, sans avoir besoin d'utiliser l'absorption sur charbon actif. Elle constitue une technique sûre qui permet d'éliminer toutes les substances toxiques ou indésirables résultant des activités humaines, industrielles, agricoles ou provenant du milieu naturel. De plus, elle permet également de diminuer de manière significative l'usage du chlore. Son seul inconvénient réside dans le fait que l'eau produite est tellement pure qu'il est nécessaire de la reminéraliser. En effet, elle arrête certains ions comme Ca^{2+} [30].

I.6.3.3. Microfiltration

Pour la microfiltration, on utilise des membranes avec des pores de taille comprise entre 0.1 et 10 micromètres. Les membranes de microfiltration retiennent toutes les bactéries. Par contre, elles n'éliminent pas les virus puisqu'ils sont plus petits que les pores de ces membranes. La microfiltration peut être mise en œuvre dans beaucoup de procédés de traitements différents quand des particules avec un diamètre supérieur à 0.1mm ont besoin d'être éliminées [30].

I.6.3.4. Osmose Inverse

L'osmose inverse constitue la dernière étape de filtration de l'eau. Ce procédé est aujourd'hui employé pour la purification et le dessalement de l'eau de mer. Ce système de filtrage très fin ne laisse passer que les molécules d'eau. On appelle osmose le transfert de solvant à travers une membrane. En exerçant une pression de 80 bars, on dépasse ainsi la pression osmotique (pression d'équilibre). L'eau franchit la membrane en un sens : ainsi, un plus grand volume d'eau pure est obtenu d'un côté. De l'autre, un plus petit volume d'eau plus concentrée. Cependant, quelques inconvénients demeurent. En effet, les membranes se dégradent vite elles ont une espérance moyenne de vie de trois ans. De plus, cette technique consomme beaucoup d'énergie. Enfin, on observe 25% de pertes en eau qui ne sont pas filtrés le concentrât [26].

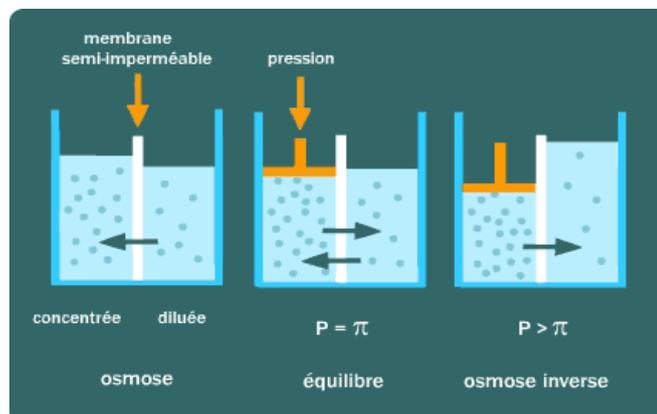


Fig. I.15. Principe d'osmose inverse [26].

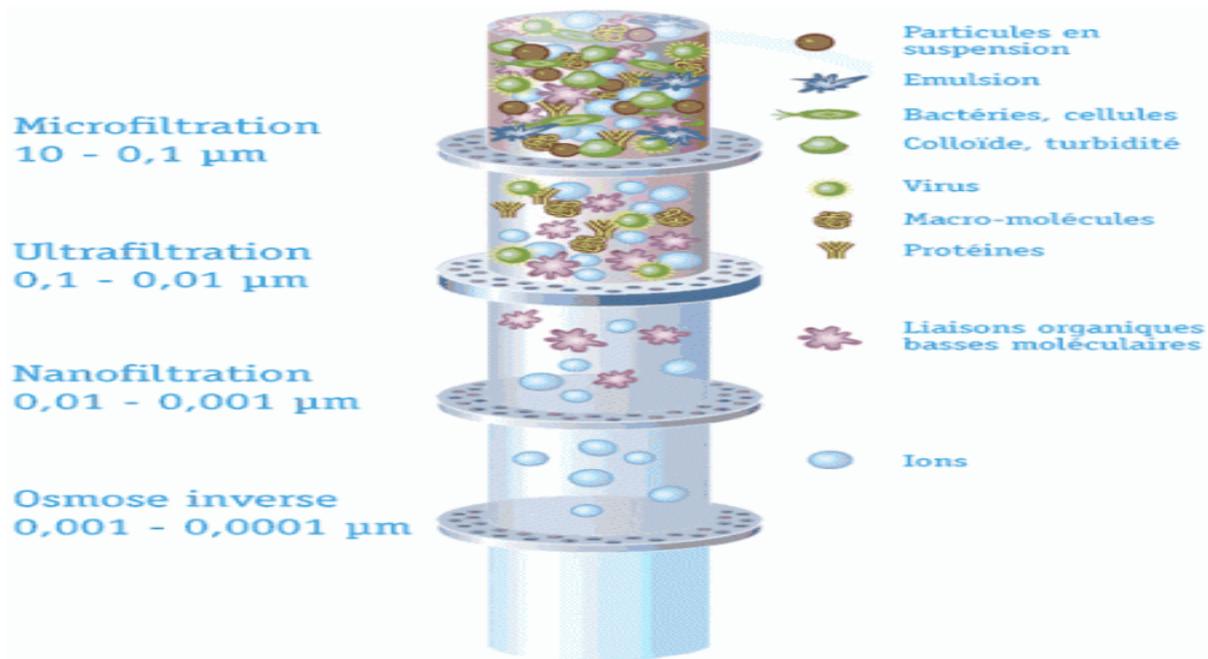


Fig. I.16. Schéma représentant les différentes fonctions des filtrations [26].

I.6.4. Principaux procédés de traitement chimique

Ce type de traitement utilise des réactifs chimiques qui agissent directement sur les métaux lourds, les matières organiques, les germes pathogènes et les caractéristiques de l'eau.

La chaux peut être utilisée pour modifier le pH de l'eau et la rendre plus douce ou plus agressive.

L'oxydation au chlore élimine l'ammoniaque, le fer et évite le développement d'algues. L'oxydation à l'ozone élimine le fer, le manganèse, les micropolluants et rend les matières organiques plus biodégradables.

La chloration et l'ozonation utilisent respectivement le chlore et l'ozone comme désinfectants en fin de filière [35].

I.6.4.1. Ozonation

L'ozone est une molécule de formule chimique O_3 . Elle consiste en l'enchaînement de trois atomes d'oxygène, soit un de plus que dans le cas du dioxygène. C'est un gaz très instable, ce qui lui confère une capacité oxydante très importante.

Tout d'abord, l'ozone est créé grâce à l'air ambiant. En effet, l'oxygène capté va traverser un générateur d'ozone où il reçoit une charge électrique. Après avoir reçu une charge électrique, certaines molécules de dioxygène (O_2) vont se séparer pour former deux atomes O indépendants. Ensuite, ces atomes vont se fixer aux molécules O_2 qui n'ont pas été divisées pour former des molécules d'ozone (O_3).

Le principe de l'ozone est d'oxyder toutes les substances organiques. Il inactive les pesticides et les organismes pathogènes (virus et bactéries).

La mise en contact de l'eau avec l'ozone issu des installations de production se fait dans une cuve à plusieurs compartiments dans laquelle on pulse de l'air ozoné.

L'avantage de l'ozone est qu'une fois avoir agi sur les bactéries et les virus, il retourne naturellement à sa forme originelle, c'est à dire, l'oxygène. Ainsi, il ne laisse pas de trace dans l'eau comme la plupart des autres principes de traitement de l'eau [36].

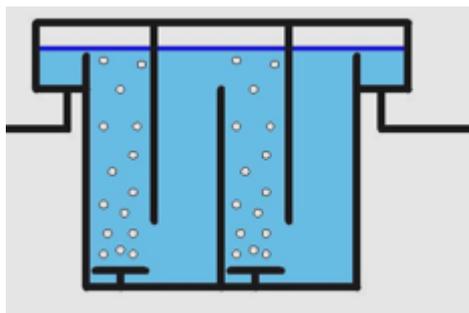


Fig. I.17. Schéma des tours d'ozonation [37]

I.6.4.2. Désinfection

En fin de traitement, la désinfection permet l'élimination des micro-organismes pathogènes (bactéries et virus). On utilise pour cela soit un désinfectant chimique comme le chlore, l'ozone, ou les rayonnements ultraviolets. Il est important qu'un de ces traitements persiste tout au long du réseau afin qu'aucun germe ne puisse se développer dans les canalisations où l'eau peut séjourner plusieurs jours. De plus, ces traitements permettent de corriger si besoin la dureté et l'acidité de l'eau afin de protéger les canalisations de la corrosion et de l'entartrage.

Cette désinfection se fait par post-ozonation : on ajoute de l'ozone une nouvelle fois à l'eau avec des agents chlorés (chlore gazeux, eau de Javel, bioxyde de chlore).

L'ozone est un oxydant puissant il est donc très désinfectant notamment pour les virus et les bactéries. Il est inodore et offre une meilleure qualité gustative à l'eau que le chlore. Par contre, cet ozone est coûteux bien qu'il soit produit à l'intérieur même des usines et sa mise en place est complexe. La réaction permettant de le produire se fait par des décharges électriques de 20 000 V : celles-ci assèchent l'air pour former l'ozone nécessaire à la désinfection.

Pour cette désinfection, le chlore est le procédé chimique le plus utilisé car il est très efficace. De plus, la mise en œuvre de ce procédé est assez simple et non coûteuse. L'eau de Javel est utilisée dans les plus petites infrastructures de traitement de l'eau. Mais pour ces deux procédés, le chlore peut se combiner à des matières organiques encore présentes, ce qui peut former des composés dangereux à la consommation. Le bioxyde de chlore est sous forme

de liquide, ce qui évite la formation de ces composés. En revanche, il est moins utilisé car il est plus onéreux et il est plus compliqué à utiliser. Pour des considérations techniques et économiques, les produits de désinfection utilisés en Algérie se limitent aux produits suivants

(Tableau I.5.) :

- Le chlore gazeux
- Hypochlorite de sodium NaClO (eau de Javel)
- Hypochlorite de calcium Ca(ClO)₂
- Le chlorure de chaux CaOCl
- Le permanganate de potassium KmnO₄ [16].

Tableau I.5. Avantages et les inconvénients des produits de désinfection les plus utilisés [16].

Désignation	Avantages	Inconvénients
Chlore gazeux Cl ₂	-Peu couteux. -Disponible sur le marché. -Facilement liquéfiable et soluble dans l'eau. -Décompose les matières organiques. -Oxydant puissant et rémanent. -Pouvoir bactéricide.	-Odeur suffocante -Gaz asphyxiant -Gaz instable -Corrosif -Installation de stockage et de distribution spécifiques -Matériel adapté et strict pour le transport -Danger provoqué par le gaz du chlore en cas d'accident
-Hypochlorite de sodium NaClO	-Disponible sur le marché -Peu couteux -Facile à préparer -Appareillage de dosage simple -Mêmes propriétés bactéricides et oxydantes que le chlore -Utilisation domestique	-Peu stable -Risque d'entartrage des canalisations et des doseurs -Perd son degré chlorométrique lorsqu'il est exposé à l'air et à la lumière
-Hypochlorite de calcium Ca(ClO) ₂	-Très efficace pour la désinfection des ouvrages hydrauliques. -Utilisé pour la désinfection Des eaux de baignade. -Pouvoir bactéricide et oxydant analogue à celui du chlore. -Action stérilisantes durable	-Très couteux -Non disponible -Produit importé -Risque d'entartrage -Perd son degré Chlorométrique à l'air libre et à et à la lumière
-Permanganate de potassium KMnO ₄	-Oxydant très périsant -Efficace sur le manganèse et le fer et le vibrons chlorérique -Désinfection de nouveaux ouvrages -Ne produit pas d'odeurs et de composés toxiques	-Couteux -Peu efficace sur les autres germes pathogènes -N'est pas un désinfectant proprement dit

Ensuite, on fait passer des rayons ultraviolets dans l'eau pour tuer les différents germes. Pour finir, on fait passer l'eau dans une membrane qui va éviter aux micro-organismes restants de passer dans le réseau de distribution [38].

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté des définitions, les différentes propriétés de l'eau, puis nous avons revu les différentes ressources hydriques naturelles et les polluants de l'eau. Enfin, les étapes de la chaîne de traitement classique ont été discutées.

Chapitre II

Description de la station de Hammam Debagh et sa chaine de traitement

II.1 Introduction

Ce deuxième chapitre est consacré à la zone d'étude, à savoir la station de Hammam Debagh à la Wilaya de Guelma. Il est destiné principalement à l'irrigation d'une superficie de 13.000 ha et à plus long terme à l'alimentation en eau de la ville de Guelma. Au cours de nos visites, nous avons pu recenser les données nécessaires pour notre travail [1].

II.2. Situation géographique du Guelma

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Annaba, au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda, au Nord-Est par la wilaya d'El Tarf, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Sud-Est par la wilaya de Souk Ahras et Oum-El Bouagui. Elle s'étend sur une superficie de 3686,84 Km².

La zone d'étude se situe dans la plaine de Guelma. Ses limites naturelles sont :

- Au Nord; les monts de Houara (932 m);
- Au Nord-Ouest Djebel Debar (1408 m);
- Et à l'Est, la chaîne de Beni-Mezline et Beni Salah [1].

II.3. Présentation du Barrage Bouhamdane

II.3.1. Localisation et objectif

Le barrage de Bouhamdane est situé dans la wilaya de Guelma à 20 Km à l'ouest de la ville de Guelma. Il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh. Il a été construit sur Oued Bouhamdane et son bassin versant à une surface de 1105 km² à Mdjez Amar.

Le barrage est destiné principalement à l'irrigation du périmètre de Guelma Bouchegouf d'une superficie de 13.000 ha et à plus long terme à l'alimentation en eau de la ville de Guelma. La retenue créée par le barrage aura une capacité totale de 220 hm³ permettant une régularisation annuelle de 55 hm³ à 60 hm³. Il est implanté à 1 Km à l'amont de la station de traitement Hammam Debagh. Le bassin versant du barrage s'étend sur 1070 Km² donnant un apport interannuel de 69 hm³, la crue maximale retenue par le projet est de 3500 m³/s. Il se trouve dans l'Atlas Tellien orientale; appartient au grand bassin versant de la Seybouse qui couvre une superficie plus de 6470 Km² [1].



Fig. II.1. Localisation du barrage du Bouhamdane dans la région de Guelma

II.3.2. Principales caractéristiques

II.3.2.1. Digue

La digue est du type en terre composée d'un noyau argileux vertical, de recharges amont et aval en alluvions graveleuses, des filtres produits à partir des alluvions de l'oued [1] .

II.3.2.2. Evacuateurs de crue et dérivation provisoire

Les deux évacuateurs de crue sont de type en puits de section circulaire, et sont deux galeries situées en rive gauche et disposition parallèlement à 40 mètre. L'une de l'autre [1].

II.3.2.3. Vidange de fond

Cet ouvrage situé en rive gauche comporte d'amont à aval : une tour de bavardage d'une hauteur de 35 m, et la galerie circulaire de vidange d'un diamètre de 5 m. Une vidange de fond dans laquelle est incorporée la chambre des vannes en souterrain à 50m à l'aval de l'axe de la digue [1].

II.3.2.4. Tour de prise d'eau

Comporte :

- Une passerelle métallique d'accès à la cote 372,50.
- Trois grilles et trois vannes de garde des prises d'eau haute, moyenne et basse.
- Un pont portique dessert les trois prises d'eau [1].

II.3.2.5. Tour de bavardage de la vidange

Elle comporte :

- Le batardeau de la vidange.
- La grille et la vanne wagon de garde de la prise d'eau auxiliaire.
- Une passerelle en béton armé d'accès à la cote 325.

- Un port portique roulant démontable dessert le batardeau et la prise auxiliaire [1].

Les principales caractéristiques du barrage de Hammam Debagh sont représentées dans le **Tableau II.1.**

Tableau II.1. Les principales caractéristiques du barrage de Bouhamdane [1,16].

Type	Terre à noyau central
Début, fin des travaux	1980-1988
Capacité initiale	200 hm ³
Capacité au dernier levé 2004	185 hm ³
Apport moy. Annuel	63 hm ³
Mise en eau du barrage	déc. 1987
Hauteur de la digue	93.0 m.
Volume total de la retenue	220 hm ³
Volume mort	16.0 hm ³
Volume utile	200 hm ³
Volume régularisable	55 à 60 hm ³ /an
Longueur du couronnement	430.00 m
Largeur à la base	516.00 m
Largeur en crête	9.00 m
Sécurité	16.0 hm ³
Revanche	5.0 m
Destination AEP	Couloir Guelma, Oued-Zenati
IRRIG	Plaine Guelma-Boucheghouf 13 000 Ha
Crête	372.15 m NGA
Evacuateur de crues N°01	365.00 m NGA Correspond à 220hm
Evacuateur de crues N°02	360.00m NGA Correspond à 200hm

II.3.3. Risque de pollution du barrage du Bouhamdane

La pollution de l'environnement détruit notre belle nature. Des espèces animales disparaissent et la flore n'est plus ce qu'elle était avant. L'homme est devenu le premier ennemi de l'homme.

La situation actuelle des ressources en eau et de leurs usages dans la wilaya de Guelma présente des enjeux qui sont communs à de nombreuses régions de la ville des ressources limitées et déjà largement exploitées pour répondre à la croissance des besoins, une situation

de concurrence entre usages sectoriels, une marchandisation croissante des ressources, et des conditions climatiques contraignantes qui viennent renforcer les tensions autour de l'eau. Cette ressource naturelle tend à disparaître. Les déchets des usines se déversent dans l'eau sans faire attention aux animaux marins. La pollution marine entraîne ainsi la mort de tonnes de poissons et autres espèces marines [39].

II.4. Localisation de la station

La station de traitement concernée par cette étude, est la station de production d'eau potable d' Hammam Debagh ; wilaya de Guelma d'une capacité 500 l/s.

Le site de la station de traitement des eaux sis sur la rive droite d'Oued Bouhamdane, est situé à HAMMAM DEBAGH, à environ 2 km au nord-ouest de l'agglomération chef-lieu de commune et à 40 m d'Oued Bouhamdane.

La station est alimentée à partir le barrage Bouhamdane qui. Possède une capacité théorique de 220 millions de m³. Il est situé dans la wilaya de Guelma à 20 Km à l'ouest de la ville de Guelma, il est implanté à 1 Km à l'amont de la station de traitement Hammam Debagh [1].



Fig. II.2. Désignation du site - vue aérienne récente

II.5. Filières de traitements des eaux de surface

Pour traiter une eau, il faut généralement combiner plusieurs traitements élémentaires dont les bases peuvent être physiques (techniques séparatives), chimiques (oxydation et désinfection) ou biologiques, qui ont pour effet d'éliminer ces matières en suspension, puis les substances colloïdales et enfin certaines substances dissoutes (minérales ou organiques) [39].

II.5.1. Prétraitement

Le premier traitement possible est un dégrossissage, ayant pour but d'éliminer les matières de grandes dimensions susceptibles de gêner la mise en œuvre des autres traitements. Il peut comporter : [40]

II.5.1.1. Dégrillage

Dans notre cas le dégrillage s'effectue au niveau de la tour de prise d'eau principale du barrage qui dispose de 03 grilles à mailles (Figure. II.3.) de 2,75 *1,8 m de dimension chacun. Ces grilles sont installées aux trois niveaux de prise d'eau.

Par la suite l'eau brute s'achemine vers la station de traitement par le biais d'une conduite en PRV de 800 mm diamètre.

A l'entrée de la station, l'eau brute doit être régularisée par une vanne cellulaire (Brise charge), selon le débit à traiter 1800m³/h et un débitmètre électromagnétique pour mesurer le débit entrant à la station [16].



Fig. II.3. Grilles à mailles [13].

II.5.1.2. Micro-tamissage

Quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles et débris végétaux ou animaux, des algues et, des herbes par exemple.

Pour la station, il s'agit d'une toile métallique de mailles serrées de 110 µm [16].

II.5.2. Prétraitement physico-chimique

II.5.2.1. Aération

L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de préoxydation [32].

Les cascades (Figure. II.4.) ont créés des bonnes turbulences à l'aide d'une chute en cascades sur plusieurs paliers. Hauteur de chaque paliers de 30 à 80 cm et sa vitesse d'approche 25 m/h et plus.



Fig. II.4. Cascade d'aération

II.5.2.2. Oxydation chimique (préchloration)

La préchloration est le type de peroxydation de l'eau le plus ancien, le plus simple à l'emploi, le moins couteux et donc le plus répandu. Elle consiste à injecter un désinfectant afin d'assurer en permanence une eau exempte de bactéries putrides et de germes pathogènes, conformément aux normes de potabilité [16].

Dissous dans l'eau, le chlore gazeux ou hypochlorite de sodium (eau de javel) donne lieu aux réactions suivantes :



Le sens de déplacement de ces réactions dépend du PH :

- PH < 2, tout le chlore est sous forme moléculaire (Cl_2).
- PH = 5, tout le chlore est sous forme d'acide hypochloreux (HClO).
- PH = 10, tout le chlore est sous forme hypochlorite (ClO^-).
- Entre PH =5 et PH = 10, cas habituel des eaux traitées par le chlore, il y a un mélange d'hypochlorite et d'acide hypochloreux ($\text{HClO} + \text{ClO}^-$) [16].

Elle se fait par le NaClO qui s'appelle aussi l'eau de javel avec une concentration de 50°Ch qui est l'oxydant (désinfectant) utilisé dans cette station ; à défaut, il est parfois remplacé par le $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (hypocrite de calcium) avec une concentration de 35°Ch et il peut diminuer de 2°Ch au cours de la journée. La dose de chlore se détermine après l'opération de Break-point.



Fig. II.5. Bassin de préchloration

II.5.3. Clarification

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules de faible dimensions, appelées particules colloïdales. Ces particules qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation [16].

II.5.3.1. Coagulation

La coagulation est l'une des opérations les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. Cette étape a une grande influence sur les opérations de décantation et de filtration ultérieures. Les colloïdes en solution sont naturellement chargés négativement [16].

Le coagulant utilisée dans la station est le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ ($pH \leq 7$), il est ajouté dans un bassin d'agitation rapide 180 t/min (Figure. II.6.). Sa préparation s'effectue dans le bloc des réactifs, la dose optimale a une influence sur la qualité de l'eau, le coût d'exploitation, et les opérations ultérieures. Elle se détermine après l'opération du Jar-test.

Les caractéristiques de coagulant sont indiquées dans le **Tableau II.2.**

Tableau II.2. La densité de différente concentration de sulfate d'alumine

Concentration en mg/l	50	60	70	80	90	100	110	120
Densité	1.28	1.35	1.39	1.44	1.5	1.55	1.61	1.65



Fig. II.6. Bassin de coagulation

II.5.3.2. Floculation

La floculation est le phénomène de formation de flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes déchargés dans un réseau tridimensionnel). On utilise, pour se faire, de floculant polyélectrolyte dans un bassin d'agitation lente (40 t/min) pour ne casse les

chaîne par un polymère (Figure. II.7.). Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique de synthèse. Les boues formées pendant la coagulation-floculation aboutissent après décantation dans des concentrateurs [16].

Il existe une dose optimale de floculant, laquelle est déterminée lors des essais au laboratoire (jar-test).



Fig. II.7. Bassin de floculation

II.5.3.3. Décantation

Après coagulation-floculation l'eau est passée au décanteur qui a une forme circulaire muni d'un bras racleur (Figure. II.8.) pour la récupération des matières décantées sous forme de boue, elle a un temps de séjour de 2 heures et 30 minutes. Le volume de cette décantation est 3400 m³ [16]. L'eau suit alors un trajet vertical (Flux verticale). La vitesse de chute des particules (gravité) est contrariée par des forces résultant des frottements et de la vitesse ascensionnelle de l'eau [41].



Fig. II.8. Décanteur raclé à ciel ouvert

II.5.3.4. Filtration à sable

Après le décanteur l'eau passe à la filtration par un écoulement toujours gravitaire. La station est équipée d'un compartiment qui contient (05) bassins de filtration ouverte à lit de sable (Figure. II.9.) [16].



Fig. II.9. Bassin de filtration sur sable

Le bloc de filtration est muni des pupitres de lavage des filtres qui fonctionnent par des systèmes automatique, semi-automatique et manuel à l'aide des hydro blocs dotés des vannes pneumatiques pour insufflation d'air et pompage de l'eau durant le lavage des filtres (Figure. II.10.).

Ce procédé de filtration est celui qui est le plus utilisé à la station du Guelma. Il est caractérisé par un lavage intermittent de son média filtrant. Ce lavage de filtre se fait comme suit :

- Fermeture de la vanne de sortie d'eau filtrée.
- Ouverture de la vanne d'entrée d'eau de lavage.
- Mise en service de la pompe de décolmatage pendant 30 à 50 secondes.
- Mise en marche du compresseur de lavage.
- Ouverture de la vanne d'entrée d'air de lavage pendant 8 à 30 minutes. Puis fermeture de la vanne d'entrée d'air.
- Arrêt du compresseur de lavage.
- Mise en service des pompes de rinçage pendant 8 à 10 minutes. Le rinçage se fait par une eau traitée puis arrêt du rinçage.
- Remise en service du filtre par ouverture de la vanne de sortie d'eau filtrée [1].



Fig. II.10. Lavage des filtres (contre lavage)

➤ **Utilisation du charbon actif**

Le pouvoir adsorbant du charbon actif permet l'élimination de résidus de couleur, d'odeur, de saveur de phénol, non éliminés par la méthode classique ainsi que celle de certaines substances toxiques non biodégradables telles que les trihalométhanes.

Il est utilisé soit en poudre dissoute dans l'eau et injectée dans le processus, soit en grains sous forme de lit filtrant à charbon active [42].

II.5.4. Désinfection et stockage

Les eaux filtrées et collectées sont transportées ensuite à travers une conduite vers le réservoir de stockage (Figure II.8) où elles vont subir une désinfection par l'injection du chlore (hypochlorite de calcium) ou bien par l'hypochlorite de sodium pour éliminer tous les micro-organismes qui pourraient être dangereux pour notre santé. Le réservoir est d'une capacité de 3000 m³ (Figure. II.11.).



Fig. II.11. Réservoir de stockage

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la localisation et le rôle du barrage de Bouhamdane de la wilaya de Guelma ainsi qu'une description générale des procédés de traitements des eaux au niveau de la station.

Chapitre III

**Etude bibliographique
comparative entre des différentes
techniques d'analyse de quelques
espèces chimiques dans l'eau**

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présente les analyses des anions et des cations (nitrite, nitrate et ammonium) par des différentes méthodes.

III.2. Analyse des ions de Nitrite dans l'eau

III.2.1. Méthode par flux continu

Les méthodes d'analyse en flux permettent l'automatisation des modes opératoires en chimie humide et sont particulièrement appropriées à l'analyse d'un grand nombre de composants de l'eau en grandes séries d'échantillons à une fréquence d'analyse élevée (jusqu'à 100 échantillons par heure).

Une distinction est faite entre l'analyse avec injection de flux (FIA) et l'analyse avec flux continu (CFA). Les deux méthodes ont en commun le dosage automatique de l'échantillon dans un dispositif en flux (manifold) dans lequel les composants de l'échantillon réagissent avec les réactifs pendant l'écoulement. La préparation de l'échantillon peut être intégrée dans le manifold. Le produit de réaction est mesuré dans un détecteur à flux (par exemple photomètre à flux).

III.2.1.1. Principe

Les nitrites sont déterminés par spectrométrie après diazotation avec la sulfanilamide et copulation avec la *N*-1 naphthyléthylènediamine.

III.2.1.2. Réactifs

- Réactif spécial est constitué par :

acide phosphorique	100 ml
sulfanilamide	40 g
dichlorhydrate de <i>N</i> -1 naphthyléthylènediamine	20 g
eau déionisée <i>q.s.p.</i>	1 000 ml

Conservée en flacon brun, à l'obscurité, cette solution est stable plusieurs mois.

- Solution mère étalon d'azote nitreux à 1 g/L est constitué par:

nitrite de potassium	6,072 g
eau déionisée <i>q.s.p.</i>	1 000 ml
Chloroforme	2 ml

- Solution fille étalon d'azote nitreux à 10 mg/L :

Diluer au 1/100 la solution mère.

III.2.1.3. Mode opératoire

Se reporter au schéma d'utilisation. La cadence des déterminations est de 20 échantillons par heure à raison d'un rinçage de 108 secondes pour des prises d'échantillon de 72 secondes. Faire fonctionner l'appareillage avec les réactifs et de l'eau déionisée jusqu'à établissement d'une ligne de base stable. Effectuer les lectures à 520 nm.

III.2.1.4. Expression des résultats

Dans les mêmes conditions d'utilisation, la courbe donne directement la teneur en azote nitreux exprimée en milligrammes par litre [43].

III.2.2. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire

III.2.2.1.Principe

La réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, ‡ pH 1,9, avec le réactif amino-4 benzènesulfonamide en présence d'acide orthophosphorique produit un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane (ajouté avec le réactif amino-4 benzènesulfonamide).

- mesurage de l'absorbance ‡ une longueur d'onde de 540 nm.

III.2.2.2. Réactifs

- Acide orthophosphorique ($d = 1,70$).
- Réactif de diazotation est constitué par:

amino-4-benzènesulfonamide	40 g
dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane	2 g
acide orthophosphorique($d = 1,7$)	100 ml
eau déionisée <i>q.s.p.</i>	1 000 ml

Mélanger dans un bécher 800 ml d'eau déionisée et 100 ml d'acide phosphorique, ajouter l'amino-4-benzènesulfonamide puis après dissolution, ajouter le dichlorure de N-(naphtyl-1) fiole jaugée de 1 000 ml, ajuster le volume avec de l'eau déionisée, mélanger. Conservée au réfrigérateur, cette solution est stable un mois.

- Solution mère étalon d'azote nitreux (NO_2) à 100 mg/L est constitué par:

nitrite de sodium	492,8 mg
eau déionisée <i>q.s.p.</i>	1 000 ml

Conservée en flacon de verre inactinique, cette solution est stable un mois.

- Solution fille étalon d'azote nitreux (NO_2) à 1 mg/L :

Diluer au 1/100 la solution précédente avec de l'eau déionisée. À préparer extemporanément.

III.2.2.3.Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

III.2.2.4.Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitreux (NO_2), exprimée en milligrammes par litre d'eau.

➤ Remarques

– La coloration est stable 2 heures. La courbe d'étalonnage peut être établie jusqu'à 1 mg/L de NO_2 .

– Après ajout du réactif de diazotation, le pH de la solution doit être de 1,9 _ 0,1. En présence d'une eau d'alcalinité élevée, réduire le volume de la prise d'essai, ajouter un excès de solution d'acide phosphorique 1,5 mol/l avant de compléter le volume à 50 ml avec de l'eau déionisée.

En présence d'échantillons dont la coloration est susceptible d'interférer lors de la mesure de l'absorbance, traiter une deuxième prise d'essai par 1 ml de solution d'acide phosphorique à 1,5 mol/l [43].

III.2.3. Analyse de l'azote sous forme de nitrites par des bandelettes

Gamme de concentrations Nitrites NO_2^- : 0-3 mg N- NO_2^- /L (0-3 ppm N- NO_2^-)

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau des eaux de surface, de puits et de forages localisés essentiellement dans la province du Sourou. Les prélèvements étaient conservés à 4°C à l'obscurité jusqu'à leur transfert vers le laboratoire d'analyse. Les tests rapides par bandelettes réactives étaient effectués sur le site de prélèvement.

- Tremper une bandelette de test dans l'échantillon durant 1 seconde
- Maintenir la bandelette hors de l'eau durant 30 secondes à l'horizontale, sans agiter et sans éliminer l'excès d'eau sur les coussinets
- Comparer la couleur du coussinet à la gamme de couleurs sur le tube ou ci-dessous (mesure a) [44].

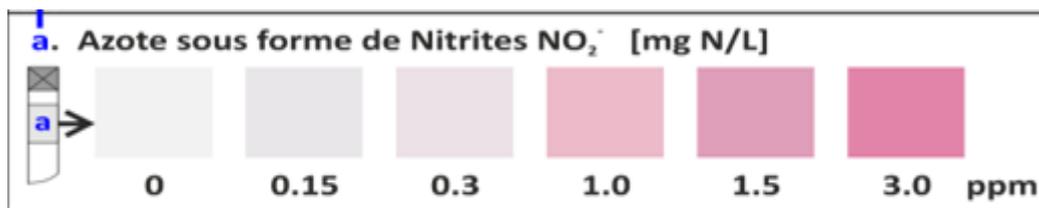


Fig. III.1. Gamme de couleurs des différentes concentrations de NO_2^- [44].

III.3. Analyse des ions de Nitrate dans l'eau

III.3.1. Méthode par flux continu (CFA)

III.3.1.1. Principe :

Les nitrates sont réduits en nitrites par passage sur une colonne cadmium cuivre. Les nitrites sont déterminés par spectrométrie d'absorption moléculaire après diazotation du 4-benzènesulfonamide et copulation à pH 1.9 avec le dichlorure de N-diamino 1.2-éthane [43].

III.3.1.2. Réactifs :

- Acide phosphorique, 100 ml
- Réactif de diazotation
 - Acide phosphorique, 800 ml
 - Amino-4-benzènesulfonamide, 10 g, il est composé de :

dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1-2-éthane	0.5 g
agent mouillant non ionique	1 g
eau permutée	1000 ml

Mélanger l'acide phosphorique à environ 800 ml d'eau permutée, ajouter l' amino- 4-benzènesulfonamide, agiter, puis introduire le dichlorure. Après dissolution complète, ajouter l'agent mouillant. Compléter le volume à 1 litre avec de l'eau permutée.

- Solution de chlorure d'ammonium à 85 g / l, il est composé de :

chlorure d'ammonium	85 g
agent mouillant	1 g
eau permutée	1 L

Conservée en flacon en verre à l'obscurité, cette solution est stable 1 mois

- Solution de sulfate de cuivre à 20 g/l.
- Solution d'acide chlorhydrique 5N environ, il est composé de :

acide chlorhydrique	500 ml
eau permutée	500 ml

Verser avec précaution l'acide chlorhydrique dans l'eau en agitant.

- Ether diéthylique.
- Cadmium en granulés d'une granulométrie comprise entre 315 et 710 nm.
- Réducteur en granulés.

cadmium en granulés	10 g
éter diéthylique	50 ml
acide chlorhydrique 5N	50 ml
solution de sulfate de cuivre	200 ml

Traiter le cadmium en granulés par 50 ml d'éther diéthylique puis le rincer à l'eau permutée. Le laver ensuite dans 50 ml d'acide chlorhydrique et rincer trois fois à l'eau permutée. Ajouter 100 ml de solution de sulfate de cuivre, agiter les granulés 5 à 10 mn. Après décantation, éliminer la solution de sulfate de cuivre jusqu'à formation d'un précipité brun colloïdal. Une dizaine de rinçages sont nécessaires. Conserver les granulés dans l'eau.

- Solution mère étalon d'azote nitrique à 1g/l, il est composé de :

nitrate de potassium séché à 105°C pendant deux heures au moins	7.217 g
Chloroforme	1 ml
eau permutée	1 l

Conserver en flacon inactinique, cette solution est stable un mois. Diluer la solution mère au 1/5. Conserver en flacon de verre brun, cette solution est stable un mois.

- Solution mère étalon de nitrite à 100 mg/l, il est composé de :

nitrite de sodium	0.492 g
eau permutée	1 l

Conservée en flacon de verre brun, cette solution est stable une semaine.

III.3.1.3. Préparation de la colonne

Prendre un tube de diamètre interne de 0.081 (violet) et le remplir d'eau permutée. A l'aide d'une pipette pasteur, introduire les granulés de cadmium et mettre aux extrémités un tampon de laine de verre. Avant de mettre en place la colonne ainsi préparée, s'assurer que les tubes sont remplis de réactifs et qu'ils ne contiennent pas de bulle d'air. Quand la colonne n'est pas en fonction, maintenir les granulés à l'abri de l'air en remplissant la colonne de solution de chlorure d'ammonium. Avant la mise en service, débrancher la colonne du circuit analytique

et la rincer à l'eau. La conversion des granulés dans le chlorure d'ammonium permet une remise en fonction plus rapide.

III.3.1.4. Établissement de la courbe d'étalonnage

Préparer à partir de la solution fille étalon, une série de dilutions comprises entre 0 et 20 mg/l d'azote nitrique. Traiter ces solutions selon le procédé décrit dans le mode opératoire. Construire la courbe d'étalonnage.

III.3.1.5. Mode opératoire

La cadence des déterminations est de 20 échantillons par heure, à raison d'un rinçage de 108 secondes pour des prises d'échantillon de 72 secondes. Faire fonctionner l'appareillage avec les réactifs et de l'eau permutée, jusqu'à établissement d'une ligne de base stable. Effectuer les lectures à 520 nm.

III.3.1.6. Expression des résultats :

Dans les mêmes conditions d'utilisation, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligramme par litre. Pour le dosage des nitrates, calculer la concentration en azote nitrique, en azote nitrique en déduisant de la concentration totale en azote celle de l'azote nitreux qui est déterminée sans effectuer l'étape de réduction.

➤ Remarque :

Dans le but d'éviter une contamination entre les échantillons, le temps de rinçage de la sonde entre deux échantillons, doit être égal au double du temps de prélèvement d'un échantillon [43].

III.3.2. Analyse de l'azote sous forme de nitrates par des bandelettes

Gamme de concentrations Nitrates NO_3^- : 0-50 mg N- $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ /L (0-50 ppm N- $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau des eaux de surface, de puits et de forages localisés essentiellement dans la province du Sourou. Les prélèvements étaient conservés à 4°C à l'obscurité jusqu'à leur transfert vers le laboratoire d'analyse. Les tests rapides par bandelettes réactives étaient effectués sur le site de prélèvement.

- Tremper une bandelette de test dans l'échantillon durant 1 seconde
- Après 60 secondes hors de l'eau à l'horizontale, comparer la couleur du coussinet à la gamme de couleurs sur le tube ou ci-dessous (mesure b)
- Le test Nitrates mesure la somme des Nitrites NO_2^- et des Nitrates NO_3^- présents dans l'échantillon [44].

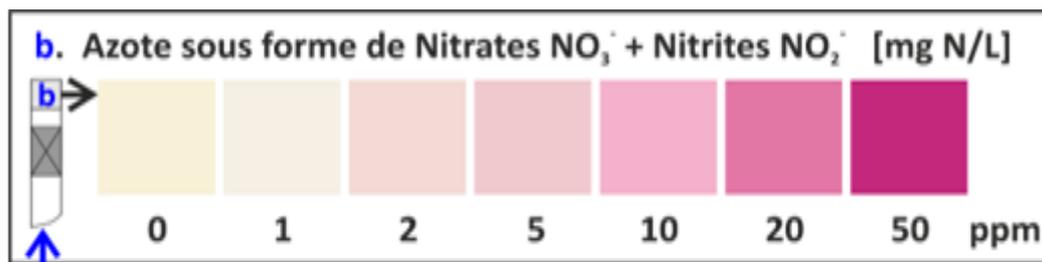


Fig. III.2. Gamme des couleurs des différentes concentrations de NO_3^- [44].

III.4. Analyse de l'azote ammoniacal (NH_4) dans l'eau

Les eaux naturelles contiennent toujours de l'azote ammoniacal, produit normal biodégradable de l'azote organique (protéines, acides aminés, urée, etc.). Cependant, la teneur en azote ammoniacal dans les eaux naturelles devrait être relativement fiable puisque l'ammoniac est oxydé en nitrites et en nitrates.

L'azote ammoniacal est dosé avec une précision acceptable par colorimétrie ou par titrage acide-base. Après distillation par entraînement à la vapeur de l'ammoniac ; le distillat récupéré peut être analysé par deux méthodes (Rodier, 2005 ; Tardat-Henry et al, 1992):

- Colorimétrie directe au réactif de Nessler.
- Titrimétrie par l'acide sulfurique 0,02 N [45].

a. Principe

Il existe aussi des électrodes spécifiques au gaz d'ammoniac NH_3 qui permettent des dosages dans une large gamme de concentrations et qui sont peu sensibles aux interférences.

En milieu alcalin, l'ammoniac est déplacé puis entraîné par la vapeur d'eau. Le dosage est ensuite effectué sur le distillat soit par colorimétrie soit par titrimétrie.

b. Distillation préliminaire

• Réactifs

- Carbonate de sodium à 10%
- Solution d'acide borique à 4%.
- Indicateur de Teshiro.

• Mode opératoire

Dans un ballon triol d'un litre introduire la prise d'essai contenant l'ammonium (200 ml) Ajouter 10 ml de la solution de carbonate de sodium à 10 % Dans un bêcher de 250 ml, introduire 1 ml d'acide borique à 10 % 3 à 4 gouttes de l'indicateur Teshiro et 30 à 40 ml d'eau distillée. Poursuivre la distillation pendant 35 à 40 minutes, le bout du raccord doit être immergé dans le bêcher de l'eau moins 2 mm.

III.4.1. Méthode par titrimétrie

Effectuer le dosage sur le distillat à l'aide d'une solution d'acide sulfurique 0,02 N jusqu'à l'apparition d'une teinte rose ou violet clair. Effectuer les mêmes opérations sur 200 ml d'eau distillé. Soit V (en ml) le nombre de ml d'acide versés pour l'échantillon et V' (en ml) ; quantité d'acide versés pour l'eau distillée.

Expression des résultats [45].

$$C_{\text{NH}_4^+}(\text{en ppm}) = \frac{(V-V') \cdot 0,02 \cdot 1000 \cdot 18}{V''}$$

V'': volume de la prise d'essai.

III.4.2. Méthode par colorimétrie

Le réactif de Nessler (iodo-mercurate de potassium alcalin) en présence d'ions ammonium est décomposé avec formation d'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique de l'ion ammonium

III.4.2.1. Réactifs

- Réactifs de Nessler
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium
- Solution étalon mère d'ammonium à 1 g/l [44].

III.4.2.2. Préparation du réactif de NESSLER : Dissoudre l'iodure de potassium dans 35ml d'eau ;

- Ajouter une quantité suffisante de solution saturée de dichlorure de mercure jusqu'à ce qu'un léger précipité subsiste ;
- Introduire la solution d'hydroxyde de sodium ;
- Ajuster le volume à 1L ;
- Laisser reposer ; décanter [45].

III.4.2.3. Mode opératoire

Prendre 50 ml du distillat recueilli et diluer à 100 par l'eau distillée. Ajouter 2 ml de la solution de tartrate double de sodium et de potassium, puis 2 ml du réactif de Nessler. Agiter et laisser reposer pendant 10 min et enfin lire l'absorbance à la longueur d'onde $\lambda = 420 \text{ nm}$ [46].

III.4.3. Méthode de bandelettes

Gamme de concentrations : 0-6 mg N-NH₄⁺ /L (0-6 ppm N-NH₄⁺)

- Remplir l'éprouvette avec l'échantillon jusqu'au trait supérieur
- Tremper une bandelette de test dans l'échantillon et agiter cette bandelette vigoureusement de haut en bas durant 30 secondes, en prenant soin que les 2 coussinets de test restent immergés
- Retirer la bandelette de l'éprouvette et éliminer l'excès d'eau sur les coussinets
- Maintenir la bandelette hors de l'eau durant 30 secondes à l'horizontale, coussinets vers le haut
- Retourner la bandelette, coussinets vers le bas, et comparer par transparence la couleur du coussinet supérieur à la gamme de couleurs sur le tube ou ci-dessous [44].

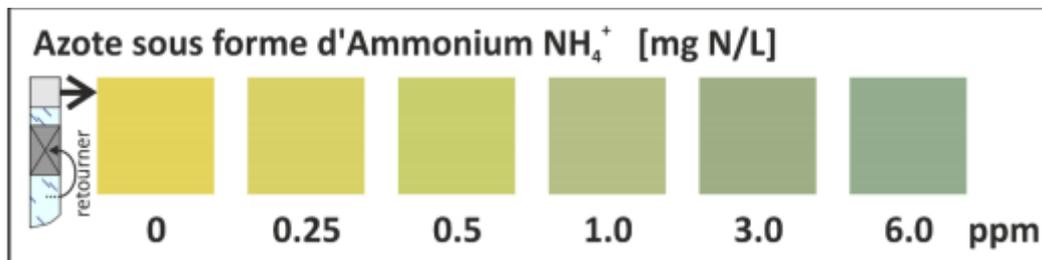


Fig. III.3. Gamme de couleurs des différentes concentrations de NH₄⁺ [44].

III.4.4. Méthode potentiométrique

La mesure de l'activité ionique de l'ammoniac dans des conditions expérimentales bien définies de concentration en ions et de pH, permet de déterminer la concentration en ammonium dans l'eau.

III.4.4.1. Matériel spécial

- Électrode spécifique.
- Appareil de mesure.
- Agitateur électromagnétique.

III.4.4.2. Réactifs

- Eau déionisée exempte d'ions ammonium.
- Solution d'hydroxyde de potassium à 5,6 g/l.
- Solution mère étalon d'ammonium à 1g/l :
Chlorure d'ammonium 2,97 g eau déionisée q.s.p. 1 000 ml
- Solution fille étalon d'ammonium à 100 mg/l : Diluer au 1/10 la solution précédente.
- Solution fille étalon d'ammonium à 10 mg/l : Diluer au 1/100 la solution à 1 g/l.

III.4.4.3. Établissement de la courbe d'étalonnage

Préparer, à partir de dilutions de la solution fille, les étalons dans la gamme de concentrations souhaitées (par exemple de 0,1 à 10 mg/l d'ammonium). Introduire 25 ml de chaque solution dans un bécher de 100 ml, ajouter 25 ml de solution d'hydroxyde de potassium. Placer le bécher sur l'agitateur et immerger rapidement l'électrode, la laisser se stabiliser puis effectuer la lecture. Tracer la courbe d'étalonnage sur papier millimétré semi-logarithmique.

III.4.4.4. Mode opératoire

Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un bécher de 100 ml puis procéder comme pour la courbe d'étalonnage.

III.4.4.5. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 25 ml, la courbe donne directement la teneur en ammonium exprimée en milligrammes par litre [43].

III.5. Conclusion

Dans la méthode de flux continu, utilisée pour l'analyse des nitrates et nitrites, les valeurs sont indiquées dans une courbe d'étalonnage par contre la méthode de bandelette donne des résultats rapides avec une sécurité d'utilisation, rangement et transport facile et pratique. La méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire c'est une méthode facile à mettre en œuvre et les mesures sont simples à obtenir dans le cas d'analyse d'ammonium par rapport aux autres méthodes.

Chapitre IV

Matériels, méthodes et résultats d'analyses

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons résumer le protocole analytique suivi ainsi que le matériel utilisé durant la partie pratique de ce mémoire. Tous les essais expérimentaux ont été menés au laboratoire central de l'ADE de Hammam Debagh. L'analyse des caractéristiques physico-chimique présente un rôle très important dans le contrôle de qualité de l'eau, d'où la nécessité qu'elle soit réalisée à la fois au cours et après le traitement.

IV.2. Analyses physico-chimique

Les échantillons d'eau ont été portés par des bouteilles en polyéthylène de 1 litre, transportés au laboratoire dans une glacière à basse température (4°C). Les paramètres ; pH, CE et T° sont mesurés sur terrain.

IV.2.1. pH

IV.2.1.1. Principe

La mesure du pH d'une solution s'appuie sur la mesure du potentiel d'une électrode à hydrogène plongée dans la solution.

IV.2.1.2. Mode opératoire

- Etalonner le pH-mètre (Figure. IV.1.) par les solutions tampon (pH=4, pH=7), puis rincer l'électrode par l'eau distillée.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon et laisser l'appareil se stabiliser puis noter la valeur du pH.

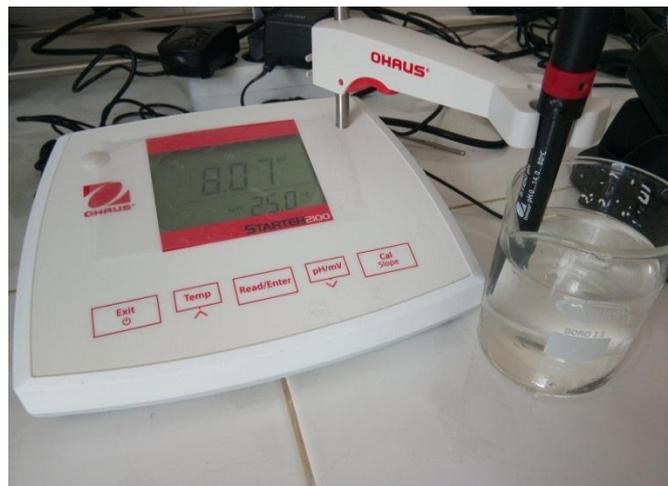


Fig. IV.1. Appareil de PH mètre utilisé.

IV.2.1.3. Résultats

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Le pH de l'eau représente son acidité ou alcalinité [47]. Les normes algériennes qui fixent des

valeurs de pH entre 6,5 et 8,5. Les résultats d'analyse du pH de l'eau brute et l'eau traitée du barrage Bouhamdane sont présentés dans le **Tableau IV.1**.

Tableau IV.1. Variation de pH des eaux brutes et traitées entre Mars et Août 2020

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	8.07	8.29	8.2	8.02	8.46	8.52
Sortie (l'eau traitée)	7.96	8.27	8.23	7.81	8.23	8.42

Les valeurs du pH enregistrées durant la période d'étude sont généralement alcalines dans la station, le maximum est relevé au mois d'Aout. Ceci est probablement dû aux proliférations algales dans cette dernière par rapport au les autres mois.

IV.2.2. Conductivité électrique

IV.2.2.1. Principe

La conductivité électrique (Ce) est déterminée directement à l'aide d'un conductimètre (Figure. IV.2.).

IV.2.2.2. Mode opératoire

- Etalonner d'abord le conductimètre avec la solution de chlorure de sodium ou de potassium ($1413\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Plonger l'électrode dans l'eau et attendre que la valeur se stabilise pour noter le (Ce) qui s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- L'électrode doit être rincée abondamment avec l'eau distillée après chaque mesure.



Fig. IV.2. Appareil de conductimètre utilisé.

IV.2.2.3. Résultats

De manière générale la conductivité de l'eau dépend de beaucoup de substances ou de matières inorganiques solides dissoutes dans les solutions d'eau telles que les sulfates, les

chlorures et les bicarbonates. Toutes ces matières à une certaines concentrations ont la capacité d'engendrer un courant électrique [48].

Si le niveau de quantité de matières dissoutes dans l'eau augmente, la conductivité augmentera également.

Les valeurs de la conductivité des eaux étudiées présentent dans **Tableau IV.2**.

Tableau IV.2. Variation de la conductivité des eaux brutes et traitée entre mars et août 2020

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	752	769	753	572	563	568
Sortie (l'eau traitée)	757	750	752	543	559	572

Suivant les normes algériennes, la valeur de la conductivité des eaux de surface est fixée à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs de la conductivité des eaux brutes varient entre 563 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 769 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et les valeurs de l'eau traitée sont varié entre 543 et 757 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc on peut dire que ce plan d'eau est de bonne qualité.

IV.2.3. Turbidité

IV.2.3.1. Principe

La turbidité est mesurée par un turbidimètre (Figure. IV.3.) de lecture directe. L'unité est le Nephelometric Turbidity Unit (NTU), les mesures s'effectuent simplement après calibrage de l'appareil.

IV.2.3.2. Mode opératoire

- Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyé avec le papier hygiénique avec l'échantillon à analyser.
- Bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulles d'air avant la mesure.
- Mettre la cuve dans l'appareil. Puis noter le résultat.



Fig. IV.3. Turbidimètre utilisé.

IV.2.3.3. Résultats

Le barrage de Bouhamdane est en effet situés dans des régions très boisées, la turbidité dans ce cas pourrait être essentiellement de nature organique, ce qui peut induire une augmentation des doses nécessaires à la préchloration au niveau de la station de traitement et peut entraîner une production substantielle de composés organohalogénés [1].

Les valeurs des turbidités des eaux étudiées sont présentées dans **Tableau IV.3.**

Tableau IV.3. Variation de la turbidité des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	5.80	5.93	4.49	3.85	4.43	6.52
Sortie (l'eau traitée)	1.28	1.16	1.65	1.01	1.10	1.17

Les valeurs de turbidité pour l'eau brute sont varié entre 3.85 et 6.52 NTU dues à la présence de MES, les valeurs pour l'eau traitée sont varié entre 1 et 1.65 NTU, ce qui montre une nette évolution due au traitement appliqué.

La norme de turbidité est de 5 NTU, la turbidité de l'eau du barrage répond donc à la norme sauf dans les 3 mois Mars, Avril et Aout dans l'eau brute, elle dépasse les normes à causes des algues.

IV.2.4. Température

IV.2.4.1. Principe

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Les valeurs obtenues sont estimés en degré Celsius au niveau du forage et au laboratoire.

IV.2.4.2. Mode opératoire

Emerger l'électrode dans l'échantillon (eau de forage et eau de source), et mettre l'appareil (Figure. IV.4.) en mode Température par « X » et laisser l'appareil se stabiliser puis noter la valeur de la température.



Fig. IV.4. Appareil de mesure de la TDS, conductivité, température et la salinité utilisé.

IV.2.4.3. Résultats

La majorité des paramètres physico-chimiques et l'analyse des métaux dépendant de la température. Ainsi un réchauffement entraîne l'apparition des algues flottantes et des organismes aquatiques indésirables. L'eau froide est généralement plus appréciée que l'eau chaude et la température aura un impact sur l'acceptabilité d'un certain nombre de constituants inorganiques et de contaminants chimiques qui peuvent affecter le goût. Une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion [49].

Les différentes valeurs des températures des eaux brutes et traitées dans **Tableau IV.4.**

Tableau IV.4. Variation de la température des eaux brutes et traitées entre Mars et Août 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	11.7	12.2	14.7	14.8	14.9	14.5
Sortie (l'eau traitée)	11.7	12.6	13.5	13	13.5	14.3

Les résultats obtenus au cours de notre échantillonnage par rapport aux normes algériennes montrent que la température de l'eau est bonne.

IV.2.5. Salinité

IV.2.5.1. Principe

La salinité désigne la concentration de sels minéraux dissous dans l'eau. Il ne faut pas confondre la salinité avec la dureté de l'eau qui est relative à son dosage en calcium et magnésium [33].

IV.2.5.2. Mode opératoire

Après avoir noté la température, appuyer de nouveau sur « X » pour mettre l'appareil en mode « SAL » et noter la valeur affichée.

IV.2.5.3. Résultats

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de salinité sont constantes, qui égale 0,1 mg/l dans l'eau brute et traitée.

Selon les résultats des eaux, notre eau est une eau douce.

IV.2.6. Taux des solides dissous

IV.2.6.1. Principe

Le TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions [40].

IV.2.6.2. Mode opératoire

Une fois la salinité est notée, appuyer une nouvelle fois sur la touche « X » pour mettre l'appareil en mode « TDS » et noter la valeur affichée en mg/l.

IV.2.6.3. Résultats

Les différentes valeurs de TDS des eaux brutes et traitée dans **Tableau IV.5.**

Tableau IV.5. Variation de TDS dans l'eau brute et traitée entre Mars et Août 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	326	322	327	337	333	339
Sortie (l'eau traitée)	321	324	329	333	341	340

Ces changements des teneurs de l'eau en matières solides dissoutes sont reliés d'une part au phénomène de dilution et d'autre part à un certain nombre de source naturelle autant que suite aux activités humaines. Les eaux de ruissellement agricoles et urbaines peuvent provoquer un surplus de minéraux dans les sources d'eaux [48].

Selon les normes Algérienne, l'eau d'une bonne qualité à un niveau de TDS qui varie entre 300 et 600 mg/l.

IV.2.7. Détermination de la dureté totale (Titre hydrotimétrique T.H)

IV.2.7.1. Principe

Titration par complexométrie du calcium et du magnésium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH de 12 (milieu basique). Le mordant noir 11 (NET), qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium et magnésium libre en solution. Puis au point d'équivalence, les ions sont combinés avec l'indicateur ce qui libère et provoque un changement de violet à bleu.

IV.2.7.2. Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml introduire :

- 50 ml d'eau à analyser
- 2 ml de la solution tampon NH_3
- 3 gouttes de la solution NET.
- Titration par l'EDTA (V1) jusqu'au virage bleu.
-

IV.2.7.3. Résultats

Généralement les eaux sont caractérisées par des concentrations moyennes en calcium et en magnésium, qui présentent une dureté entre 10 à 50 °F.

Les valeurs de la dureté des eaux étudiées sont présentées dans **Tableau IV.6.**

Tableau IV.6. Variation de TH des eaux brutes et traitée en 2020

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Entrée (l'eau brute)	26.6	28.2	28.2	27.2	27.2
Sortie (l'eau traitée)	26.6	28.2	28.2	27.2	27.2

Les taux de TH pour les prélèvements sont variés entre 26.6 et 28.2°F. La dureté d'eau étudiée ne dépasse pas la norme algérienne.

IV.2.8. Détermination de la dureté calcique

Concentration en ions calcium.

IV.2.8.1. Principe

Pour le déterminer on va faire précipiter sélectivement les ions Mg^{2+} puis procéder au titrage des ions calcium restés sous forme soluble. Pour cela on effectue un titrage par l'EDTA à $\text{pH} \geq 12$ (solution tampon=la soude) et en utilisant le Murexide comme indicateur.

IV.2.8.2. Mode opératoire

- 50 ml d'eau analysé
- On ajoute 2 ml de la solution tampon NaOH
- Une petite spatule d'indicateur coloré (Murexide), puis on titre au moyen de la solution EDTA (V2) jusqu'au virage du rose au bleu.

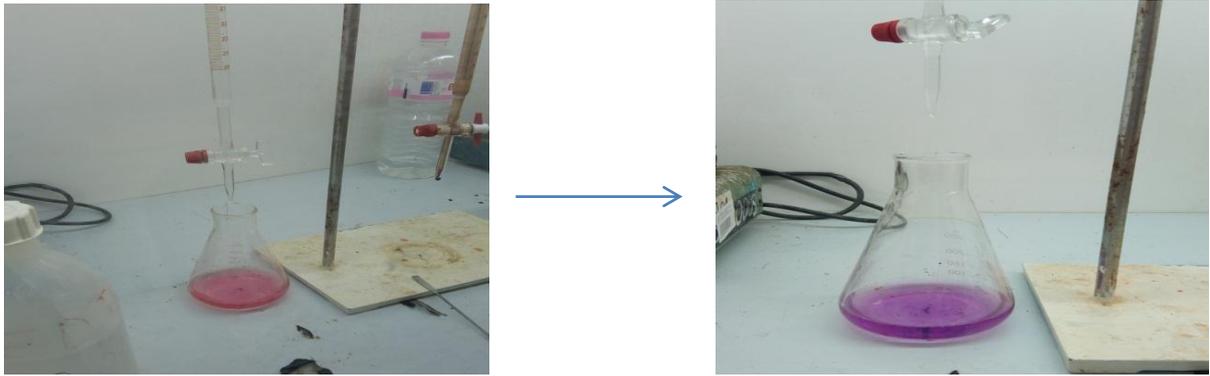


Fig. IV.5. Résultats de recherche de dureté.

IV.2.8.3. Expression des résultats

La teneur global TH = $V1 * 2 = 12,1 * 2 = 24,2 \text{ } ^\circ\text{F} * 10 \text{ mg/l}$

La teneur de calcium = $V2 * 8,01 = 8,7 * 8,01 = 69 \text{ } ^\circ\text{F} * 10 \text{ mg/l}$

La concentration du magnésium en mg/l = $[(\text{La teneur global TH} * 0,2) - (\text{La teneur de calcium} * 0,2)] * \text{Masse molaire de magnésium}$.

Masse molaire de magnésium = 24.305 g/mol

IV.2.8.4. Résultats

Les ions Ca^{2+} dans l'eau peuvent provenir soit de la dissolution des formations carbonatées soit la dissolution des formations gypseuses soit des deux en même temps.

Les valeurs de Ca^{2+} des eaux étudiées sont présentées dans le **Tableau IV.7**.

Tableau IV.7. Variation de Ca^{2+} des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020.

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	68.88	72.09	72.09	76.09	72.89
Sortie (l'eau traitée)	68.80	72.09	72.05	76.09	72.89

Les résultats montrent que les concentrations de Ca^{2+} dans les eaux brute varient entre (68.88 et 76.09) mg/l et l'eau traitée varient entre (68.80 et 76.09) mg/l, donc ils sont dans la norme algérienne.

➤ Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

○ Magnésium

Les valeurs de Mg^{2+} des eaux étudiées sont présentées dans **Tableau IV.8**.

Tableau IV.8. Variation de Mg^{2+} des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020.

	Mars	20 Avril	10 Mai	14 Juin	07 Juillet	17 Août
Entrée (l'eau brute)	22.84	22.84	24.79	24.79	19.93	21.87
Sortie (l'eau traitée)	22.84	22.84	24.79	24.79	19.93	21.87

Les teneurs du magnésium sont assez proches les unes des autres. Notre eau présente des teneurs basses de magnésium.

Les résultats de Magnésium sont variés entre (19.93 et 24.79 mg/l) dans l'eau brute et l'eau traitée pour l'eau traitée bien inférieures aux valeurs de calcium et restent nettement inférieures à la limite admissible du magnésium soit 150 mg/l.

Selon le tableau de la qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium, les eaux du Barrage de Hammam Debagh sont classées comme des eaux de bonne qualité (**Annexe2**).

IV.2.9. Dosage de chlorures (Cl^-)

IV.2.9.1. Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrates d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction (Figure. IV.6.) est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

IV.2.9.2. Réactifs

- Solution de chromate de potassium.
- Solution de nitrate d'argent.

IV.2.9.3. Mode opératoire

- Introduire 25 ml d'eau à analyser, dans un Erlenmeyer au col large.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium (K_2CrO_4).
- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre qui doit persister 1 à 3 min.

IV.2.9.4. Expression des résultats : teneur (mg/l) = V titre * 142



Fig. IV.6. Résultats de recherche de chlorure

IV.2.9.5. Résultats

La concentration des chlorures dans l'eau dépend du terrain traversé. Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives.

Selon les normes algériennes relatives à la potabilité des eaux, les chlorures doivent avoir une teneur inférieure à 500 mg/l dans les eaux de consommation. Sur la base des résultats des analyses effectuées pour l'eau du barrage, la teneur en chlorure est de l'ordre de 71 mg/l pour l'eau brute et de 71 mg/l pour l'eau traitée. De ce fait, et concernant ce paramètre ainsi discuté, la qualité de l'eau de barrage est excellente.

IV.2.10. Détermination de l'alcalinité simple et complète

IV.2.10.1. Principe

Ces détermination sont basées sue la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur colore.

IV.2.10.2. Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool.
- Solution de méthylorange.
- Eau permutée exempte d'anhydrique carbonique libre (par ébullition de 15 min).

IV.2.10.3. Mode opératoire

○ TA :

- 100 ml d'eau à analyser.
- 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine, une coloration rose doit alors se développée.

Si une coloration rose apparait titre avec l'acide sulfurique n/50 jusqu'à la disparition de couleur

Si la couleur n'apparait pas TA=0 (Ph<8.3 donc TA=0).

○ TAC :

- 100 ml d'eau à analyser.
- 2 à 3 gouttes de méthylorange.
- Titrer par l'acide sulfurique N/50 jusqu'au virage rouge orange (Figure. IV.7.).

IV.2.10.4. Expression des résultats

$$\text{TA (°f)} = V \text{ titre}$$

$$\text{TAC (°f)} = V \text{ titre} - 0.5$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = \text{TAC (°F)} * 12.2$$

0.5 : Le volume nécessaire pour le virage de couleur de l'indicateur.

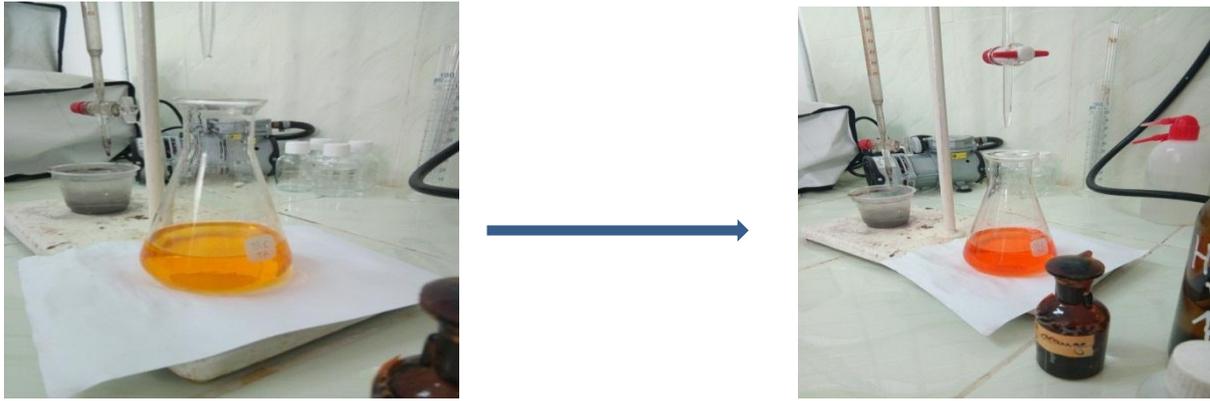


Fig. IV.7. Résultats de recherche d'alcalinité TAC.

IV.2.10.5. Résultats

Le titre alcalimétrique TA témoigne d'une de l'alcalinité d'une eau en prenant en compte la concentration en carbonate et hydroxyde dans l'eau. Il est nul dans tous les résultats (transparence de l'eau).

Les valeurs de TAC des eaux étudiées sont présentées dans **Tableau IV.9.**

Tableau IV.9. Variation de TAC des eaux brutes et traitée 2020

	Avril	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	15.6	15.8	16.2
Sortie (l'eau traitée)	15.7	15.4	15.5

Le titre alcalimétrique complet TAC rend compte de l'alcalinité totale d'une eau, en tenant compte de la teneur en bicarbonate.

Dans l'analyse de ces résultats, Les valeurs de TAC enregistrées oscillent entre 15,7 et 15,8°F, donc sont inférieures à la norme (50°F) selon les normes algérienne des eaux destinées à la consommation humaine.

○ HCO_3^-

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO_2 dissous et la nature lithologique du sol [50]. Les valeurs de HCO_3^- des eaux étudiées sont présentées dans le **Tableau IV.10.**

Tableau IV.10. Variation de HCO_3^- des eaux brutes et traitée 2020

	Avril	Mai	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	190.3	191.54	192.76	197.60
Sortie (l'eau traitée)	191.54	189.1	187.88	189.1

Les résultats de Bicarbonates sont variés entre (190.3 et 197.6) mg/l pour l'eau brute et l'eau traitée sont variés entre (187.88 et 191.54) mg/l, donc ils sont inférieures à la norme selon les normes algérienne des eaux destinées à la consommation humaine.

IV.2.11. Matière organique

IV.2.11.1. Principe

L'opération consiste à mesurer en milieu acide et en milieu alcalin, la quantité d'oxygène utilisé par les matières organique d'origine animales ou végétale contenues dans l'eau.

IV.2.11.2. Réactifs

- Solution d'acide sulfurique H_2SO_4 .
- Solution de permanganate de potassium.
- Solution d'acide oxalique.

IV.2.11.3. Mode opératoire

- Introduire dans un Erlenmeyer de 500 ml, 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique.
- Ajouter 10 ml de permanganate de potassium.
- Porter l'échantillon à ébullition ménagée pendant 10 min.
- Ajouter ensuite 10 ml d'acide oxalique pour la décoloration.
- Titrer avec la solution de $KMnO_4$.
- Revenir immédiatement à la teinte rose faible mais persistante.
- Faire un essai à blanc en opérant dans les mêmes conditions (Figure. IV.8.).



Fig. IV.8. Résultats de recherche de la matière organique

IV.2.11.4. Résultats

En effet, la dégradation des animaux et végétaux (la faune et la flore) contribue à la concentration de la matière organique, les oscillations de la matière organique sont dues à

l'irrégularité des précipitations et par la suite la non uniformité spatio-temporelle des lessivages.

Les valeurs de matière organique des eaux étudiées sont présentées dans le **Tableau IV.11.**

Tableau IV.11. Variation de matière organique des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	7.2	8	6.8	7	8	5.3
Sortie (l'eau traitée)	3.2	3.2	3.5	4	4.1	2.9

La quantité de la matière organique dans l'eau brute varie de 5.3 à 8mg/l et l'eau traité sont variés entre 2.9 et 4.1 mg/l, donc ne dépassant pas les normes algériennes. Une diminution remarquable dans les valeurs après faire un traitement cela explique l'efficacité de traitement.

IV.2.12. Résidu sec

IV.2.12.1. Principe

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

IV.2.12.2. Matériel

- Capsule en porcelaine.
- Balance analytique.
- Etuve réglable.

IV.2.12.3. Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule.
- Porter cette dernière à l'étuve à 105°C pendant 24 h
- Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur (Figure. IV.9.).
- Peser immédiatement et rapidement.

IV.2.12.4. Expression des résultats

Les résultats sont donnés en mg/l

$$(P_p - P_v) \cdot 10 \cdot 1000 = \text{mg/l de RS}$$

D'où P_p : le poids plein de la capsule.

P_v : le poids vide de la capsule.



Fig. IV.9. Dessiccateur utilisé.

IV.2.12.5. Résultats

La variation du résidu sec dépend généralement à la concentration des sels minéraux que contient cette eau.

Les valeurs de résidus secs des eaux étudiées sont présentées dans le **Tableau IV.12.**

Tableau IV.12. Variation de résidus secs des eaux brutes et traitée 2020.

	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	495	442.5	507.5
Sortie (l'eau traitée)	510	445	507

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de l'eau brute varient entre 442,5 et 507,5mg/l, les valeurs de l'eau traitée varient entre (445 - 510mg/l).

Selon le tableau de la potabilité en fonction des résidus secs (**Annexe 3**), la qualité de l'eau du Barrage de Hammam Debagh est bonne.

IV.2.13. Matière en suspension

IV.2.13.1. Appareillage

- Rampe de filtration sous pression à vide.
- Membranes filtration.
- Etuve.
- Erlenmeyer.
- Balance.

IV.2.13.2. Mode opératoire

- Peser les membranes sèches.

- Mettre la membrane sous l'entonnoir de la rompe (Figure. IV.10.), puis verser 200 ml d'eau à analyser.
- Mettre la membrane dans l'étuve à 105°C pendant 20 à 30 min.
- Reposer la membrane.



Fig. IV.10. Rompe utilisé.

IV.2.13.3. Résultats

Les résultats de MES changer en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc.

Les valeurs de MES des eaux étudiées sont présentées dans le **Tableau IV.13.**

Tableau IV.13. Variation de MES des eaux brutes et traitée en 2020.

	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	2	2.5	2
Sortie (l'eau traitée)	00	00	00

Pour l'eau du barrage la quantité du MES varie entre 0 et 2.5 mg/l, et après traitement cette quantité est nulle, donc elle est dans la norme algérienne.

IV.2.14. Dosage du chlore

IV.2.14.1. Principe

Réaction directe avec la (N, N-diéthylphénylène-1, 4diamine) (DPD) et formation d'un composé rose à pH compris entre 6.2 et 6.5.

Mesure de l'intensité de la couleur par comparaison visuelle de la couleur avec une échelle d'étalons permanents.

IV.2.14.2. Réactif

- DPD.

IV.2.14.3. Appareillage

- Comparimètre à DPD.

IV.2.14.2. Mode opératoire

- Dans un tube à essai spécial au comparateur, mettre une quantité d'eau à analyser.
- Ajouter le DPD.
- Agiter jusqu'à la dissolution du DPD et le virage de la couleur au rose.
- Mettre le tube dans le comparimètre (Figure. IV.11.).



Fig. IV.11. Comparimètre utilisé.

IV.2.15. Détermination de la demande en chlore

IV.2.15.1. Principe

On réalise deux expériences avec des temps de contact de 1 et 2 heures.

A 10 flacons de l'eau à analyser, on ajoute des doses croissantes de chlore, avec un décalage de 5 minutes entre l'introduction dans chaque flacon.

Après écoulement du temps de contact (1 et 2 heures), on mesure le chlore résiduel avec un comparateur DPD.

On trace alors la courbe (chlore résiduel)=f(chlore introduit).

On peut en déduire (en présence de NH_4^+ les valeurs du seuil et du break-point [33]).

IV.2.15.2. Définition

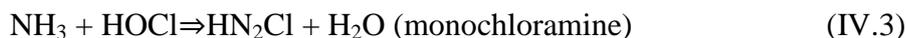
- **Chloramines**

Le chlore se dissout dans l'eau et forme de l'acide hypochloreux (HOCl) qui s'ionise pour donner :



L'équilibre formé est fonction du PH de la solution dans une moindre mesure de la température.

Le chlore réagit très rapidement, entre autre avec l'ammoniaque, pour former des composés appelés chloramines :



Le chlore réagit également avec des composés et plus particulièrement avec certains dérivés azotés .il y a formation de dérivés chloroazotés qui se comportent comme de véritables chloramines [33].

La terminologie suivante est utilisée pour les différentes formes du chlore

HOCL et OCL-et chlore élémentaire dissous	Chlore libre
Chloramines	Chlore combiné
Chlore libre +chlore combiné	Chlore total

- **Seuil**

Point au-delà duquel commence la formation des trichloramines ou maximum de formation de monochloramines (en présence de NH_4^+).

- **Break – point**

C'est le point de rupture, ou point critique : point au-delà duquel l'ion NH_4^+ est complètement oxydé par le chlore. Le chlore introduit se trouve alors sous forme de chlore libre.

IV.2.15.3. Echantillonnage

Effectuer des prélèvements dans des bouteilles en verre ou en polyéthylène et conserver 4°C à une période n'excédant pas les 7 jours.

L'eau à analyse est prélevée le jour même de l'analyse [33].

IV.2.15.4. Réactifs

- **Solution de chlore de concentration 1g/l**

Cette solution est préparée par dilution à partir d'eau de javel du commerce (concentration 150g/l)

Pour cela, il faut prendre 6,7ml de la solution commerciale d'eau de javel, les verser dans une fiole de 1000ml et compléter avec de l'eau distillée. La concentration de la solution finale est de 1g/l.

Cette solution doit être utilisée juste après la préparation et ne se conserve pas.

- **DPD1 et DPD3 pour déterminer le chlore libre et totale** : Comprimés disponibles dans la commerce.

IV.2.15.5. Matériels

- Dix flacons en verre brun à col rodé de 1 litre, lavés et rincés avec l'eau à étudier.
- Un chronomètre.
- Un photomètre ou comparateur (pour doser le chlore).
- Matériels classique de laboratoire (fiolle, pipettes, béchers, etc.) [33].

IV.2.15.6. Application

Dans chacun des flacons de 1 litre, numérotés de 1 à 10, on introduit 1 litre d'eau à analyser.

On ajoute ensuite des doses croissantes de chlore de concentration 1g/l .on laisse un intervalle de 5min entre deux injections.

Les valeurs de la dose de chlore injecté en fonction de temps présentées dans le **Tableau IV.14.**

Tableau IV.14. Variation de la dose de chlore injecté en fonction de temps.

N° flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalle de temps (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Dose de chlore à injecter (ml, mg)	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,5	2	2,5

Ce décalage temporel permet, en fin de test de se ménager le temps nécessaire aux dosages de chlore résiduel tout en gardant un temps de contact identique pour chaque flacon.

Mettre les flacons à l'abri de la lumière et travaille à température ambiante.

Dosage du chlore libre et total par DPD1 et DPD3 après 1et 2heures.

IV.2.16. Jar-test

IV.2.16.1. Principe

La détermination du taux de coagulant est effectuée à l'aide d'un essai expérimental : « Jar-test » qui consiste à mettre des doses croissantes de coagulant dans des récipients contenant la même eau brute. Après quelques instants, on procède sur l'eau décantée à toutes les mesures utiles à la qualité de l'eau. La dose optimale est donc déterminée en fonction de la qualité des différentes eaux comparées.

IV.2.16.2. Matériels

- Un flocculateur avec 6 agitateurs à hélices entraînés par un moteur électrique à vitesse variable.

- 6 béchers de 1L

IV.2.16.3. Réactifs

- Solution de sulfate d'alumine (coagulant) : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
- Solution polyélectrolyte de 1g/l (floculant)

IV.2.16.4. Mode opératoire

- Dans chacun des 6 béchers, on verse un litre d'échantillon d'eau brute à analyser puis on les place dans le flocculateur.
- On met en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tr/min.
- On ajoute le chlore avec une dose correspondant au break point.
- On injecte le coagulant (sulfate d'alumine) en quantités croissantes.

Après deux minutes :

- On ajoute aux différents béchers des différentes dose de floculant (polyélectrolyte) correspondant à 0,1 mg/l.
- On diminue la vitesse d'agitation à 40 tours/min pendant 40 minutes.

→ Au début de cette agitation on note l'apparition des floccs, leurs aspects.

- On relève ensuite les hélices et on laisse l'eau décanter pendant 30 minutes.

→ On note l'estimation de la vitesse de décantation dès la fin de l'agitation lente.

- Ensuite, on détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnagent pour chaque bécher.
- Puis, on filtre le surnagent sur filtre bande blanche (comparable au filtre à sable) et on détermine la turbidité et l'alcalinité.
- On évalue après traitement l'agressivité de l'eau décantée présentant les meilleurs résultats.

- **Caractéristique du choix de la dose optimale :**

Les doses optimales sont celles utilisées dans le bécher présentant la meilleure floculation et réduction de turbidité :

- Turbidité eau décanté < 5 NTU
- Turbidité eau filtré < 0,5 NTU
- Oxydabilité < 2 mg/l
- Taille des floccs supérieure ou égale à 06 (dimension moyenne ou meilleure)
- $7 < \text{pH} < 7.4$



Fig. IV.12. Agitation rapide (la dose du coagulant).

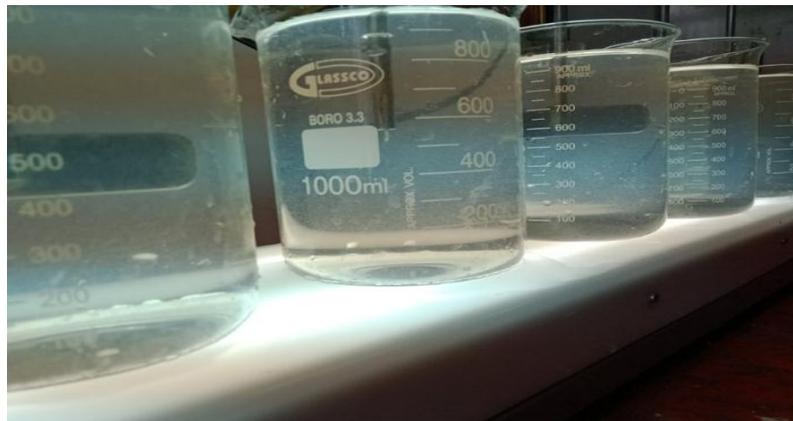


Fig. IV.13. Agitation lente (la dose de floculant).

IV.3.16.5. Résultats

➤ Le jar test a réalisé le **28/01/2020** dont le climat était frais et venteux.

L'eau brute est caractérisée par :

Turbidité	PH	Conductivité	TDS	Salinité	Température
12	7,65	495	327	0,1	10,3

Les résultats de Jar test sont présentés dans le **Tableau IV.15**.

Tableau IV.15. Différentes doses de sulfate d'alumine et polymère 28/01/2020.

Taux sulfate d'alumine g/m ³	5	10	15	20	30	35
Turbidité	10,7	10,3	9,87	8,35	4,36	4,97
Taux de polymère	0,08	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3
Turbidité	4,37	3,77	3,42	4,03	3,73	3,20

L'objectif est d'optimiser la dose du coagulant (sulfate d'alumine) et de floculant. Ses doses sont :

Sulfate d'alumine = 15 g/m³

Polymère = 0.15 g/m³

Le décroissement de la turbidité à partir des points initiaux est important et atteint des valeurs très faibles. Cette diminution de la turbidité est expliquée par le fait que le coagulant ajouté déstabilise les particules colloïdales et en ajoutant un flocculant, ces derniers s'agglomèrent en floc, donc la quantité des particules diminue c'est pour cela que la turbidité diminue.

- D'après les résultats enregistrés dans ces conditions, on remarque que la turbidité a diminué de 4,37 NTU à 3,42 NTU. On distingue alors que la dose 15 g/m³ représente la dose optimale du coagulant pour ce traitement.

- Après la dose optimale, on remarque la ré-augmentation de la turbidité à cause de la réstabilisation des particules.

- Les conditions utilisées dans ce traitement et la présence du flocculant ont donné les meilleurs résultats de traitement. On dit que c'est les conditions idéales pour ce type de charge d'eau.

➤ Le jar test a réalisé le **10/08/2020** dont le climat était ensoleillé et calme.

L'eau brute est caractérisée par :

Turbidité	PH	Conductivité	TDS	Salinité	Température
6,02	8,13	564	330	0,1	15,3

Les résultats de Jar test sont présentés dans le **Tableau IV.16** ci-dessous :

Tableau IV.16. Différentes doses de sulfate d'alumine et polymère 10/08/2020.

Taux sulfate d'alumine g/m³	5	10	15	20	25	30
Turbidité	2,27	2,66	2,45	2,02	1,98	1,99
polymère g/m³	-	-	-	-	-	-
Turbidité	-	-	-	-	-	-

L'objectif est d'optimiser la dose du coagulant (sulfate d'alumine) et de flocculant. Ses doses sont :

$$\text{Sulfate d'alumine} = 5 \text{ g/m}^3$$

Lors de l'ajout de 5 g/m³ de la quantité de coagulant à l'eau, on constate la diminution du rapport de la turbidité à 2,27 NTU, et lorsque l'on augmente la dose à 10g/m³ on constate une augmentation du taux de turbidité à 2.66 NTU.

Après l'ajout de sulfate d'alumine, le taux de la turbidité est dans les normes algérienne (NTU<5) donc ce n'est pas nécessaire d'ajouter le flocculant.

IV.2.17. Dosage de l'Ammonium

IV.2.17.1. Principe

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite de nitrosopentacynoferrate (III) de sodium.

IV.2.17.2. Réactifs

- Eau exemple d'ammonium
- **Réactif coloré (réactif I)** : peser 13g + ou - 1g de salicylate ; 13 g + ou- de citrate trisadiquedihydraté et 0,097g de sodium nitrosopentacynoferrate (III) dihydraté à dissoudre dans 100 ml d'eau distillée .conserver dans un récipient en verre brun. Cette solution est stable pendant 2 semaines.
- **Dichloroisocynurate de sodium (réactif II)** : prendre 3,2g d'hydroxyde de sodium dans 50ml d'eau distillée, +0,2g +ou -0,002g de dichloroisocynuratedihydraté. Dissoudre dans 100ml d'eau distillée .conserver dans un récipient en verre brun.
- **Solution étalons** : chlorure d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ le sulfate d'ammonium.

IV.2.17.3. Mode opératoire

- Prendre 40ml d'échantillon dans une fiole de 50ml ; ajouter 4ml (réactif I) ; puis ajouter 4ml de la solution de réactif II ;compléter la fiole jusqu'à la jauge
- Attendre 1h30min ; l'apparition de la couleur vert indique la présence de l'ammonium effectuer la lecture à 655nm.



Fig. IV.14. Résultats de recherche d'ammonium.

IV.2.17.4. Résultats

L'azote ammoniacal constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Il existe en faible proportion, inférieurs à 0.1mg/l d' NH_4^+ dans les eaux naturelles. Les résultats sont présentés dans le **Tableau.IV.17**.

Tableau IV.17. Variation de l'ammonium eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	0.012	0.02	0.03	0.019	0.01	0.015
Sortie (l'eau traitée)	00	00	00	00	00	00

L'analyse du profil de l'ammonium (tableau précédent), montre que les teneurs varient entre 0.01 à 0.03mg/l pour l'eau brute, les valeurs d'ammonium trouvées pour l'eau traitée sont nettement très inférieures à celles de l'eau brute, traduisant ainsi l'effet du traitement et témoigne une bonne chloration des eaux entraînant ainsi l'oxydation de l'azote. Les concentrations en ion ammonium au niveau de la station sont inférieures à 0.5 mg/l suivant les normes algériennes.

Ces teneurs très faibles pour l'eau brute, laissent prédire que cet élément ne constitue pas un risque de pollution pour les eaux de la station.

IV.2.18. Dosage des nitrites

IV.2.18.1. Principe

Les ions nitrite réagissent en milieu acide (PH=1,9) avec la sulfamilade en formant sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(naphtyl)-éthylénediamine-dichlorohydraté un colorant azotique rouge.

IV.2.18.2. Réactifs

- Solution du réactif

20g de sulfamide ($C_6H_8N_2O_2S$)a dissoudre dans un mélange de 50ml d'acide phosphorique ($d=1,7g/ml=85\%$ de masse) et 250ml d'eau distillée.

Dans cette solution dissoudre 1g de N-(naphtyl)-éthylénediamine-dichlorohydraté ($C_{12}H_{16}Cl_2N_2$)

Compléter avec de l'eau distillée dans une fiole jaugé à un volume de 500ml, cette solution est stable pendant un moins si elle est gardée à l'obscurité (bouteille en verre marron bien fermée) et 4°C au frigo.

IV.2.18.3. Mode opératoire

- Prendre 50ml d'eau à analyser.
- Ajoute 1ml du réactif mixte.
- Attendre 10min.

L'apparition de la coloration rose indique la présence de NO_2^- effectué la lecture à 543nm.



Fig. IV.15. Résultats de recherche de nitrites

IV.2.18.4. Résultats

Les valeurs de nitrite des eaux étudiées présentent dans le **Tableau IV.18.**

Tableau IV.18. Variation de nitrite des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	00	0.004	0.006	0.005	0.006	0.015
Sortie (l'eau traitée)	00	00	00	00	0.004	00

Le tableau précédent montre les valeurs de nitrites comprises entre 0.00 et 0.006 mg/l pour l'eau brute et nulles pour l'eau traitée ce qui reflète l'efficacité du traitement. Les résultats de notre analyse révèlent des teneurs très faibles en nitrites et ne dépasse pas la norme 0.1 mg/l fixée par les normes algériennes.

IV.2.19. Dosage des nitrates

IV.2.19.1. Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paratrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible colorimétrique.

IV.2.19.2. Réactif :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5%(renouveler toute les 24h) 0,5 de salicylate de sodium dans 100ml d'eau distillée.
- Solution d'hydroxyde de sodium 30%.30 g de NaOH dans 100ml d'eau distillée.
- H₂SO₄ concentré.
- Tartrate double de sodium et de potassium, il est composé de :

Hydroxyde de sodium NaOH.....400g.

Tartrate de sodium et de potassium.....60g

Eau distillée1000ml

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 ml

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

IV.2.19.3. Mode opératoire

- Prendre 10ml de l'échantillon à analyser.
- Ajoute 2 à 3 gouttes de NaOH à 30%.
- Ajoute 1ml de salicylate de sodium.
- Evaporer sec au bain marie ou à l'étuve 75-88°C.
- (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2 ml. H₂SO₄ laisser reposer 10mn.
- Ajouter 15ml d'eau distillée.
- Ajouter 15ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 415nm.

IV.2.19.4. Résultats

Les valeurs de nitrite des eaux étudiées présentent dans le **Tableau IV.19.**

Tableau IV.19. Variation de nitrate des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	3.731	2.185	3.012	7	8	5.3
Sortie (l'eau traitée)	2.41	2.633	2.763	4	4.1	2.9

D'après le journal algérien et les normes de l'OMS, il est recommandé pour les nitrates, une valeur de 50mg/l dans une eau destinée à la consommation.

L'analyse des nitrates est effectuée une fois par mois, les résultats sont variés entre 2.185 et 3.731 mg/l pour l'eau brute et entre 2.41 et 2.763 mg/l pour l'eau traitée, ce qui classe l'eau dans les normes.

IV.2.20. Détermination du fer

IV.2.20.1. Principe

Le complexe fer (II) phénanthroline -1,10 est stable dans l'intervalle de PH de 2,5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de fer (II) présent la relation entre la concentration et l'absorbance est linéaire jusqu'à une concentration de 5mg de fer par litre .le maximum d'absorbance se situe à environ (coefficient d'absorption 11×10^2 /mol.cm).

IV.2.20.2. Réactifs

- **Tampon d'acétate**

Dissoudre 40g d'acétate d'ammonium($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) dans l'eau, ajoute 50ml d'acide acétique cristallisable(CH_3COOH) $\rho=1,06\text{g/ml}$. Compléter à 100ml avec de l'eau.

- **Chlorhydrate d'hydroxylamine** solution à 100g/l

Dissoudre 10g de chlorhydrate d'hydroxylamine ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HO}$) dans l'eau et compléter à 100ml .cette solution reste stable pendant une semaine au moins.

- **Solution de phénanthroline -1,10**

Alternativement dissoudre 0,42 g de phénanthroline -1,10 mono hydratée ($\text{C}_{12} \text{H}_8\text{N}_2 \text{H}_2\text{O}$) dans 100ml d'eau contenant 2 gouttes de la solution d'acide chlorhydrique .cette solution est stable pendant une semaine si elle est à l'obscurité.

IV.2.20.3. Mode opératoire

- Prendre 50ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100ml
- Ajoute à la solution transvasées 1ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement ajoute 2ml de tampon acétate pour obtenir un PH compris entre 3,5 et 5,5 de préférence 4,5 ; ajoute enfin 2ml de la solution de phénanthroline -1,10 compléter à 50ml puis conserver les fioles à l'obscurité pendant 15min.
- Enfin passer au spectro pour mesurage à la longueur d'onde de 510nm. expression des résultats est donné en mg /l.

IV.2.20.4. Résultats

Les valeurs de fer des eaux étudiées présentent dans le **Tableau IV.20.**

Tableau IV.20. Variation de fer des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	0.15	0.15	0.09	0.08	0.08	0.1
Sortie (l'eau traitée)	0.01	00	0.01	00	0.03	0.04

Les teneurs en fer total de l'eau du barrage varie de 0.08 à 0.15 mg/l pour l'eau brute et de 0 à 0.04 mg/l pour l'eau traitée. Le tableau précédent, montre alors une diminution du taux du fer dans l'eau traitée qui s'explique par son oxydation lors de la chloration. La concentration en fer de l'eau de la station est inférieure à la norme recommandée qui est de 0.3 mg/l dans les normes algériennes.

IV.2.21. Dosage du sulfate

IV.2.21.1. Principe

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum.

IV.2.21.2. Réactifs

- **Solution stabilisante**, il est composé de :

Acide chlorhydrique	60ml.
Ethanol	200ml
Chlorhydrique de sodium	150ml
Eau distillée	600ml

- **Solution de chlorure de baryum**, il est composé de :

Chlorure de baryum	150g.
Acide chlorhydrique	5ml.
Eau distillé	1000ml.

IV.2.21.3. Mode opératoire

- Prendre 20ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml d'eau distillé.
- Ajoute 5ml de la solution stabilisante.
- Agiter énergiquement pendant 1mn.
- Ajoute 2ml de chlorure de baryum.
- Passer au spectrophotomètre à $\lambda = 420\text{nm}$.

IV.2.21.4. Résultats

En plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent au métabolisme des bactéries contenues dans l'eau. Les bactéries sulfato-réductrices transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux créant des désagréments pour l'environnement.

Les valeurs de sulfate des eaux étudiées présentent dans le **Tableau IV.21**.

Tableau.IV.21. Variation de sulfate des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	92	69.5	98.5	40.5	112.5	38
Sortie (l'eau traitée)	108	72	70	41.5	122	57.5

Les résultats montrent une variation des concentrations des ions sulfates de l'eau brute entre (38 à 112.5 mg/l) et l'eau traité varie entre (41.5 à 122 mg/l). Ces résultats restent

inférieurs à la concentration maximale admissible décrétée par les normes Algériennes (< 400 mg/l).

IV.2.22. Détermination des phosphates PO₄

IV.2.22.1. Principe

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700nm, l'autre plus à 880nm).

IV.2.22.2. Réactifs

- Réactif- mélange

A- 13 g d'heptamolybdate d'ammonium100ml H₂O distillée.

B- 0,35g de tartrate d'antimoine 100ml H₂O distillée.

C- 150ml d'acide sulfurique concentré100ml H₂O distillée.

- mélange (A+C) +B=500ml (stable pendant deux mois).

- **Acide ascorbique** : 10g acide ascorbique100ml H₂O distillée.

IV.2.22.3. Mode opératoire

- Prendre 40ml d'eau à analyser.

- 1ml d'acide ascorbique.

- Ajoute 2ml du réactif –mélange.

- Attendre 10min.

- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO₄ longueur d'onde λ à 700ou 800nm.

IV.2.22.4. Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.2.22.5. Résultats

Les ortho-phosphates (PO₄³⁻) résultent de la dégradation par des bactéries du phosphate organique, les résultats obtenus sont représentés dans le **Tableau IV.22**.

Tableau IV.22. Variation de phosphates des eaux brutes et traitée entre Mars et Août 2020

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Entrée (l'eau brute)	0.325	0.182	0.196	0.104	0.059	0.169
Sortie (l'eau traitée)	0.088	00	00	00	00	0.015

Les concentrations en ortho-phosphates enregistrées au niveau du barrage, sont comprises entre 0.059 et 0.325 mg/l pour l'eau brute et entre 0.00 et 0.088 mg/l pour l'eau traitée. Elles restent toutes fois nettement inférieures à la limite admissible pour le phosphore soit 0,5 mg/l selon le journal algérien, par conséquent, ce paramètre ne constitue pas un risque de pollution majeur pour les eaux du barrage.

IV.2.23. Dosage de l'aluminium

IV.2.23.1. Domaine d'application

Cette méthode est pour la détermination de l'aluminium dans l'eau pour des concentrations entre 0,1 et 0,6 mg/l des échantillons d'eau contenant des concentrations plus élevées peuvent être dilués.

IV.2.23.2. Principe

Les ions d'aluminium se combinent avec le rouge d'alzarine pour former un complexe jaune-rouge peut être mesuré à 490 nm.

IV.2.23.3. Réactifs

- **Chlorure de calcium ($\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) à 0,7 g/l :**

Dissoudre 0,3824 g de chlorure de calcium dans 100 ml d'eau distillée.

- **Acide thioglycolique ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) à 80% :** dans 10 ml d'eau distillée préparation quotidienne.
- **Solution tampon PH=4,6 :** dissoudre 35 g d'acétate de sodium dans 125 ml d'eau distillée, ajouter 16 ml d'acide acétique 96% ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) et compléter à 250 ml avec l'eau distillée.
- **Rouge d'alzarine ($\text{C}_{14}\text{H}_6\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}$) :** Dissoudre 0,05 g de rouge d'alzarine dans un peu d'eau distillée, ajouter 1 goutte d'acide acétique glacial et compléter à 50 ml conservé dans un verre foncé.

IV.2.23.4. Echantillonnage

Les échantillonnages pour laboratoire doivent être prélevés dans des récipients en polyéthylène. Ils doivent être acidifiés avec du HCl à 25% (1 ml de HCl pour 500 ml d'eau) et conserver entre 20° et 5° jusqu'à l'analyse.

IV.2.23.5. Mode opératoire

Dans une fiole de 50 ml introduire :

- Echantillon 25 ml
- Chlorure de calcium 2,5 ml.
- Acide thioglycolique 01 ml.

- Tampon acétate 05ml
- Rouge d'alzarine 01ml.
- Eau distillée 15,5ml.
- Temps de repos 90/120min.
- Longueur d'onde 490nm.

IV.2.23.6. Résultats

La présence d'aluminium dans l'eau traitée est due à l'injection de quantités massives de sulfate d'aluminium utilisé comme coagulant dans le processus de traitement de l'eau, les résultats obtenus sont représentés dans le **Tableau IV.23**.

Tableau IV.23. Variation de l'aluminium des eaux brutes et traitée 2020.

	Mars	Avril	Juillet	Aout
Entrée (l'eau brute)	-	-	-	-
Sortie (l'eau traitée)	0.18	0.14	0.09	0.09

La concentration maximale admise d'aluminium dans l'eau destinée à la consommation humaine est fixée à 0.2 mg/l par le journal algérien. Dans l'eau traitée les valeurs d'aluminium varient entre 0.18 et 0.14 mg/l d'Al³⁺ qui sont très inférieur à la norme. La concentration d'aluminium dans l'eau brute n'est pas mesurée.

IV.3. Analyse bactériologique

Les analyses bactériologiques de l'eau consiste logiquement à rechercher les germes pathogènes qu'elle contenir.

IV.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes par filtration

IV.3.1.1. Principe

C'est la plus utilisable au laboratoire, elle est applicable à toutes les eaux et en particulier à celles contenant une faible quantité de matières en suspension et un nombre relativement faible de germes. Généralement, on procéder à une filtration par un appareil de filtration sur membrane.



Fig. IV.16. Rampe de filtration.

IV.3.1.2. Recherche des coliformes totaux

- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100ml 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 tergitol+TTC.

Cette membrane sera incubée à 37°C, pendant 24 heures et servira à la recherche des coliformes totaux.

IV.3.1.3. Recherche des coliformes fécaux

- Remplir par la suite 100 ml d'eau à analyser.
- Actionner de la même façon la pompe 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 tergitol+TTC.

Cette deuxième membrane sera incubée à 44°C, pendant 24 heures et servira à la recherche des coliformes fécaux.

IV.3.1.4. Lecture et interprétation des résultats

Après 24 heures d'incubation, les coliformes totaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orange, lisses, avec halo.

- A 37°C, en ce qui concerne la recherche des coliformes totaux.
- A 44°C, en ce qui concerne la recherche des coliformes fécaux.

IV.3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux par filtration

La recherche des streptocoques fécaux par filtration est une méthode rapide, simple, normalisée mais nécessitant la disponibilité d'une rampe de filtration.

IV.3.2.1. Mode opératoire

- Stérilisation d'entonnoir à l'aide d'un bac bunsen.
- Refroidissement soit avec 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 correspondant.
- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 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 contenant de la gélose slantz et bartley.

Cette membrane sera incubée à 37°C, pendant 48 heures.

IV.3.2.2. Lecture et interprétation des résultats

- Après 48 heures l'incubation, les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombées. On doit confirmer par transférer les colonies sur des boîtes de milieu BEA, préchauffé à 44°C. Incuber à (44±0.5) °C pendant 2h. Considérer comme positives, toutes les colonies donnant une couleur vert vers le noir dans le milieu.
 - Etant donné le caractère sélectif de la gélose slantz, ne pousseront théoriquement que les streptocoques fécaux.

IV.3.3. Résultats

Les résultats de bactérie dans l'eau brute sont présentés dans le **Tableau IV.24**.

Tableau IV.24. Variation de bactérie dans l'eau brute 2020.

	Mars	Avril	Mai	Juin
Germe totaux	56	97	75	78
Coliforme totaux	03	05	00	04
Streptocoque fécaux	00	00	00	02

Les résultats de l'eau brute sont inférieurs aux normes algériennes des eaux, donc l'eau est de excellente qualité.

IV.4. Conclusion

Au cours de ce chapitre, Une brève description des techniques des analyses physicochimique et bactériologiques de l'eau a été présentée et résultats des analyses physicochimiques de l'eau brute et l'eau traitée obtenues confirment clairement que tous les

paramètres sont retenus au-dessous des valeurs guides. On peut alors conclure que l'eau brute est de bonne qualité en comparaison aux normes de l'Organisation de la Santé.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons apprécié que le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. Pour rendre l'eau potable, on applique des traitements qui, s'ils peuvent varier suivant l'origine et la qualité de l'eau, obéissent tous au même principe; on élimine les matières contenues dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques comme les virus et les microbes.

Dans une étude bibliographique comparative, nous avons revu les différentes méthodes d'analyse de certaines substances chimiques ; en l'occurrence les nitrates, les nitrites, et l'ammonium.

Notre travail consiste à évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du barrage de Bouhamdane, destinée à l'irrigation et à la consommation humaine. Les analyses organoleptiques montrent que les eaux du barrage sont claires, ne présentent ni odeur, ni saveur désagréable, montrent que la plus part des paramètres analysés sont conformes aux normes de l'eau potable avant même que l'eau ne soit traitée par conséquent on peut dire que ces eaux brutes sont très peu chargées en polluants et sont généralement propres.

Une comparaison des teneurs des principaux éléments mesurés indique une différence dans la concentration entre l'eau brute et l'eau traitée, ce qui plaide en faveur de l'efficacité du traitement dispensé au niveau de la station Hammam Debagh, ceci est d'autant plus vrai que la quasi-totalité des paramètres analysés pour l'eau traitée sont conformes à la réglementation nationale en matière de potabilité de l'eau. En effet, les résultats obtenus sur le plan physique ont montré que le pH de ces eaux traitées est correct, leur degré de minéralisation est moyen et leur température est acceptable. La norme de turbidité est de 5 NTU, la turbidité de l'eau du barrage répond donc à la norme sauf dans les trois mois de Mars, Avril et Aout où l'eau brute, a dépassé les normes à causes des algues. Sur le plan chimique, ces eaux sont également dans les normes dans la mesure où elles sont moyennement douces, leurs teneurs en calcium et en chlorures sont normales et surtout leur teneur en nitrates qui sont connus pour leurs effets néfastes sur la santé, est très faible par rapport à la valeur maximale admissible.

Du point de vue bactériologique, les analyses attestent l'absence des germes analysés dans l'eau traitée. Par conséquent nous pouvons conclure que cette eau est de bonne qualité et ne présente pas de danger pour la santé du consommateur.

Conclusion générale

Néanmoins, il faut signaler que la station de traitement Hammam Debagh n'accomplie pas la totalité des tests pour évaluer la qualité de l'eau, ainsi il serait essentiel que la station :

- Complete l'analyse organoleptique en ajoutant le test de l'odorat à la liste d'analyse car il est prépondérant dans la détermination de la qualité perçue par la population ;
- Ajouter d'autres paramètres tels que les métaux lourds, les pesticides... ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M.Bouchemal, A.C.Hammoudi, Mémoire de Master, Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debagh, Université Larbi Ben M'hidi– Oum El Bouagh, 2016.
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau>, consulter le 19/02/2020
- [3] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/connaitre-leau/leau-cest-quoi/>, consulter le 19/02/2020
- [4] <http://aces.ens-lyon.fr/aces/thematiques/limites/eau/comprendre/proprietes-physico-chimique-de-leau>, consulter le 25/09/2020
- [5] <http://doc.lerm.fr/proprietes-physiques-leau/>, consulter le 19/02/2020
- [6] S.Gaamoune, Mémoire de Magister, le rôle des biofilms d'algues dans les traitements biologiques des eaux, Université Farhat Abbas _Sétif, 2019.
- [7] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/connaitre-leau/les-proprietes-de-leau/>, consulter le 19/02/2020
- [8] <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?article171>, consulter le 23/02/2020
- [9] <http://cec.vcn.bc.ca/gcad/modules/wat-souf.htm>, consulter le 23/02/2020
- [10] <https://www.infocrise.lu/fr/eau-potable-origine-eau-potable>, consulter le 23/02/2020
- [11] <https://www.geo.fr/environnement/les-nappes-phreatiques-reserves-d-eau-potable-de-notre-planete-166943>, consulter le 25/09/2020
- [12] <https://fr.wessling-group.com/fr/prestations/analyses-environnementales/analyse-de-leau/eaux-de-surface>, consulter le 25/09/2020
- [13] [cieau.com/connaitre-leau/les-ressources-en-france-et-dans-le-monde/ou-en-sont-les-ressources-en-eau-dans-le-monde/](https://www.cieau.com/connaitre-leau/les-ressources-en-france-et-dans-le-monde/ou-en-sont-les-ressources-en-eau-dans-le-monde/), consulter le 23/02/2020
- [14] <https://www.lenntech.fr/eaudesurface-sol.htm>, consulter le 23/02/2020
- [15] <https://www.cieau.com/leau-et-votre-sante/qualite-de-leau/exigence-de-qualite/>, consulter le 23/02/2020

- [16] M.Boudeffa, Mémoire de Master, Procédures De Traitement et Dimensionnement de L'extension de la Station de Traitement de Bouhamdene, Université de Guelma, 2015.
- [17] A.Lounnas, Mémoire de Magister, Amélioration des procédés de clarification des procédés des eaux de station Hamadi-Kroma de Skikda, Université du 20 Août 1955 Skikda, 2009.
- [18] F.Ezzahra Eimken, Mémoire de licence, Les étapes de traitement des eaux et contrôle de qualité, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2016.
- [19] <https://sites.google.com/site/normesdequalitedeseauxpotable2/geographie-d-algerie>, consulter le 23/02/2020
- [20] https://www.cieleo.com/blog/index/billet/4944_turbidite-de-l-eau-potable-en-seine-maritime
- [21] M.Benseddik, Projet de fin d'études, Détermination de la teneur des métaux lourds (Fe, Cu) dans l'eau par Spectrométrie d'Absorption Atomique, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2010.
- [22] W.Ayad, Doctorat 3ème cycle LMD en microbiologie, évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-Harrouch, wilaya de Skikda, 2017.
- [23] Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable. Office fédéral de la santé publique août 2010
- [24] <https://experteau.com/services/analyse-bacteriologique.php> Consulter le 26/02/2020
- [25] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/ii-la-station-de-production/ii-a-quelles-sont-les-principales-etapes-de-production-d-eau-potable.html>, consulter le 26/02/2020
- [26] <http://tpe-jouaud-protain-ribac.e-monsite.com/pages/ii-la-potabilisation-de-l-eau.html>, consulter le 26/02/2020
- [27] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-a-les-principaux-procedes-de-traitement-physique/1-le-pretraitement.html>, consulter le 19/02/2020
- [28] <http://technique.eau.free.fr/index.php?coagulationfloculation=coagulationfloculation>, consulter le 17/02/2020

- [29] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-a-les-principaux-procedes-de-traitement-physique/2-la-decantation.html>, consulter le 26/02/2020
- [30] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-a-les-principaux-procedes-de-traitement-physique/3-la-filtration-sur-sable.html>, consulter le 26/02/2020
- [31] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-d-les-principaux-procedes-de-traitement-biologique/>, consulter le 26/02/2020
- [32] Dr. M.Bessedik, Université Tlemcen, hydraulique, « traitement de l'eau II »
- [33] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-d-les-principaux-procedes-de-traitement-biologique/1-la-filtration-sur-charbon-actif.html>, consulter le 26/02/2020
- [34] <https://sodimate.com/fr/traitement-des-eaux-usees-par-injection-de-charbon-actif/>, consulter le 25/09/2020
- [35] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-b-les-principaux-procedes-de-traitement-chimique/>, consulter le 26/02/2020
- [36] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-b-les-principaux-procedes-de-traitement-chimique/1-l-ozonation.html>, consulter le 26/02/2020
- [37] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-b-les-principaux-procedes-de-traitement-chimique/1-l-ozonation.html>, consulter le 25/09/2020
- [38] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-b-les-principaux-procedes-de-traitement-chimique/2-la-desinfection.html>, consulter le 26/02/2020
- [39] I.Benfiala, Z.Haouli, mémoire de Master, le Rendement épuratoire de la station d'épuration de la ville de Guelma, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.
- [40] L.Chelli, N.Djoughri, Mémoire de Master, analyse des eaux de réseau de la ville de Bejaia et évaluation de leur pouvoir entartrant, université A.MIRA Béjaia, 2013.
- [41] E.P. ADE, Cahiers techniques du stage T6, perfectionnement à la gestion technique d'un service des eaux (TOME 01), centre de formation aux métiers de l'eau de Tizi Ouzou.
- [42] E.P. ADE, Cahiers techniques du stage T21, perfectionnement à la gestion technique d'un service des eaux (TOME 02), centre de formation aux métiers de l'eau de Tizi Ouzou.

[43] Jean RODIER, Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et Coll, Livre sur l'analyse de l'eau 9eme édition, Dunod, Paris, 2009

[44] <https://www.bioutils.ch/protocoles/13-analyse-de-leau>, consulter le 04/06/2020

[45] Dr. Hasnia Benmoussa, Ce cours est destiné aux étudiants de Master 1 Génie des Procédés de l'Environnement, Chimie des eaux, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2017-2018.

[46] Pr. Y. Cherrah, Laboratoire de Pharmacologie et de Toxicologie TRAVAUX PRATIQUES TOXICOLOGIE ANALYTIQUE II, Université Mohammed V Faculté de médecine et de pharmacie-RABAT, 2009/2010

[47] Z.Massinissa, Mémoire du Master, Apport de la télédétection et des SIG pour le suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage de Telesdit dans la wilaya de Bouira, Akli Mohand Oulhadj _Bouira, 2019.

[48] S.Nadjah, N.Naima, Mémoire du Master, Etude des peuplements de cyanobactéries et des paramètres physico – chimiques de l'eau du barrage Bouhamdane, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2014.

[49] Y.Boukhnef, N.Madaoui, Mémoire de Master, Application de la spectroscopie d'absorption atomique à la recherche des éléments métalliques dans les eaux du surface de la région de Guelma, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019.

[50] N. Djorfi, H. Derbal, Mémoire du Master, Mémoire de Master, Degré de potabilité de quelques sources municipales d'approvisionnement en eau potable dans la plaine de Guelma, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2015.

ANNEXES

Annexes 1 : Normes Algérienne d'eau brute et traitée

Paramètres physico-chimique			
Paramètres	Unités	Eau brute	Eau traitée
pH		6.9-9	6.5-9
Conductivité	μS/cm	2800	2800
Turbidité	NTU	5	5
Température)	°C	25	25
Dureté totale TH	CaCO3 mg /l		500
Alcalinité TAC	° F		50
Matières dissoutes			Pas de valeur guide mais unoptimum en dessous de 1000 mg/l
Résidu sec		2000	1500
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrites	mg/l	0.2	0.2
Ammonium	mg/l	4	0.5
Ortho phosphates	mg/l	10	0.5
Aluminium			0.2
Calcium	mg/l		200
Magnésium	mg/l		150
Chlorure	mg/l	600	500
Sulfate	mg/l	400	400
Fer	mg/l	1	0.3
Paramètre microbiologique			
	Unités	Eau brute	Eau traité
Germe totaux	Germe/ 100 ml	20000	100
Coliforme fécaux	Germe/ 100 ml	20000	0
streptocoques fécaux	Germe/ 100 ml	1000	0

Annexe 2 : Qualité des eaux en fonction de la quantité de Magnésium.

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

Annexe 3 : Qualité des eaux en fonction de la quantité de résidu sec

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