

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de 08 Mai 1945 de Guelma
Faculté des mathématiques et de l'informatique et des sciences de la matière
Département des sciences de la matière.



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Chimie
Option : MASTER 2 – Chimie Physique

**Etude de l'efficacité du processus de chloration au niveau de
la station de traitement de l'eau du barrage Bouhamdane-
Guelma.**

Présenté par :

RAHAL Dorsaf Rayane

TOUBI Narimane

Sous la Direction de :

Dr. STITI Maamar

Juin 2023

Remerciements

C'est avec un immense plaisir et un grand enthousiasme qu'on se livre à la rédaction de cette page. Bien plus que la fin de ce manuscrit, cette action, représente l'opportunité de nous permettre une pensée sur une période très riche en événements.

*Tout d'abord, on remercie, du plus profond de nos cœurs, **Allah** le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'achever ce travail.*

Les travaux ayant fait l'objet de ce mémoire de master ont été réalisés aux laboratoires pédagogiques de Chimie, de l'Université 8 Mai 1945 Guelma.

*On tient à remercier, très chaleureusement **Monsieur le Docteur : Stiti Maamar** enseignant du département de chimie à l'Université 8 Mai 1945 Guelma, notre superviseur, on tient vivement à lui exprimer notre profonde reconnaissance et notre gratitude pour sa disponibilité, sa patience et sa rigueur scientifique. Merci pour vos précieux conseils et votre soutien à tous les instants.*

*Nos vifs remerciements au **professeur Boudjahem Abdelghani**, pour l'honneur et le temps qu'il nous a accordé en acceptant de présider le jury de ce travail.*

*On souhaite vivement associer à ces remerciements ceux pour **Dr : Mme Selaimia Radhia**, pour avoir accepté de faire partie du jury de ce mémoire afin d'évaluer ce modeste travail.*

*Un grand remerciement va au directeur de **la station du traitement des eaux de Hamam Debagh Guelma**, et son équipe pour leur aide,*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous **nos Enseignants** pour leurs efforts fournis afin d'enrichir avec leurs connaissances précieuses tout le long de nos parcours d'études.*

On remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail à tous les chers on vous dit Merci.

TOUBI Narimane & RAHAL Dorsaf Rayane.

Dédicace

Avec un amour éternel,

À tous ceux qui ont façonné ce chemin avec moi,

Je dédie ce mémoire, fruit de tant d'efforts et de passion.

*À **ma mère** qui a joué les deux rôles de mère et père dans ma vie. Qui a assumé avec grâce et détermination les responsabilités des deux parents, tu as toujours été là pour moi, que ce soit pour me consoler, me guider ou m'encourager. Tu as été le pilier solide sur lequel j'ai pu m'appuyer, ta présence et ton dévouement sans faille ont été une source de force et d'inspiration pour moi. Tu t'es dévouée corps et âme pour notre bien-être, et tu as toujours fait passer nos besoins avant les tiens. Au-delà de ton rôle de parent, tu as été mon modèle, mon confident et mon ami. Ta confiance indéfectible en moi m'a toujours donné la force nécessaire pour aller de l'avant et me surpasser. Tu as toujours cru en moi, même lorsque j'ai douté de moi-même. Tu as été ma plus grande supportrice, à poursuivre mes rêves et à croire en mes talents. Ta présence est un cadeau précieux, je suis bénie de t'avoir comme maman.*

*À la personne qui a été ma source d'inspiration, mon soutien inconditionnel et mon guide tout au long de ma vie académique. À **mon père**, mon roc, mon plus grand défenseur, ce mémoire est un témoignage de ton amour, de ta sagesse et de ta foi en moi. Ta disparition prématurée a laissé un vide immense dans ma vie, mais je sais que tu serais fier de moi aujourd'hui. Je me souviens de tes conseils avisés et de ta présence réconfortante. Bien que tu ne sois plus physiquement là pour célébrer cette réalisation avec moi, je sais que tu es présent dans mon cœur et dans mon esprit, tu me manques chaque jour, mais je suis reconnaissante d'avoir eu la chance de t'avoir comme père. Je dédie ce mémoire à ta mémoire, en espérant que cela puisse être un témoignage de mon amour pour toi.*

*À mes adorables petits frères **Amir** et **Yacine**, Vous êtes des étoiles qui brillent et une source constante de joie et de bonheur dans ma vie. Que votre chemin soit rempli de réussite, d'amour et de réalisations. Merci d'être les incroyables petits frères que vous êtes.*

*À toute ma famille aimante, pour leur soutien inconditionnel, en particulier mon cher cousin **Racime** qui apporte tant de joie et de bonheur à nos vies avec son rire et sa personnalité unique qui font de lui un véritable trésor, je suis honorée d'être sa cousine.*

*À mon binôme exceptionnelle **Narimane**, notre complicité et notre travail d'équipe ont été essentiels pour relever les défis et atteindre nos objectifs communs.*

Merci d'avoir partagé cette expérience avec moi, en apportant ton expertise, ta créativité et ton enthousiasme. Je suis reconnaissante de t'avoir à mes côtés et je suis impatiente de voir nos réussites se poursuivre.

*À mes chers collègues **Linda, MAJDI et Malek**, vous êtes véritable source de bonheur pour moi. Les moments d'aventure que nous avons partagés et les éclats de rire que nous avons connus ensemble au cours de ces cinq dernières années resteront à jamais gravés dans ma mémoire.*

*À mes merveilleuses amies **Amani, Amina, Amel et Zineb**, votre amitié sincère, votre soutien inconditionnel et votre présence réconfortante sont des trésors inestimables. Que notre amitié continue de grandir, de prospérer et de nous inspirer mutuellement. Merci d'être les amies extraordinaires que vous êtes. Je suis infiniment reconnaissante de vous avoir à mes côtés.*

*À tous nos Enseignants, en particulier **Mr. KADRI Mekki**, je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre sagesse et votre guidance tout au long de ces cinq années. Votre capacité à transmettre des connaissances non seulement sur les sujets académiques, mais aussi sur la vie en général, a été une source d'inspiration pour moi. Je vous souhaite le meilleur pour l'avenir et je garderai vos enseignements précieux avec moi tout au long de ma vie.*

Je vous dis merci.

Dorsaf

Dédicace

*Je souhaite dédier humblement ce travail à une personne très chère, à mon trésor perdu, à celle que je n'ai jamais oublié et que je n'oublierai jamais : "**Mama Difa laaziza**". Tu es partie bien trop tôt, mais ton amour reste présent et puissant. Chaque souvenir est gravé au plus profond de nous, et ta voix est à jamais ancrée dans nos cœurs. Merci, grand-mère, de nous avoir transmis cette force et ce courage dont tu nous parlais tant. Merci d'avoir fait de notre famille une équipe unie et solidaire. Ton absence a marqué ma vie, et bien que la douleur soit profonde, la présence de **Amima Fouzia, Amima Djahida, Yamouna et Malouka** me donne la force de surmonter cette épreuve. Vous êtes les meilleures tantes que l'on puisse trouver en ce monde.*

*À mes **chers parents**, aucune dédicace ne saurait véritablement exprimer mes sincères sentiments. Leur patience infinie, leur soutien constant, leur assistance inébranlable témoignent de leur amour profond et de mon respect pour les sacrifices immenses qu'ils ont consentis. Je leur suis reconnaissant au-delà des mots pour leur présence inestimable dans ma vie et pour leur soutien indéfectible dans la poursuite de mes aspirations académiques.*

*À mes deux sœurs, **Sirine & Maria**, qui sont les fleurs de la maison, ainsi qu'à mon frère **Nizar**, la prunelle de mes yeux, et que j'ai toujours nommé "mon trésor", je vous remercie infiniment. Votre confiance en moi a été un moteur précieux tout au long de mon parcours.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes sœurs de cœur **Wiwi, Sousou, Jenjoun & Chichi**, dont le soutien inestimable a eu un impact significatif sur mon parcours. Leur présence constante et leur soutien moral m'ont permis de traverser les moments difficiles avec courage et détermination. Même à distance, elles sont restées des piliers solides dans ma vie quotidienne. Leur amitié sincère a été une source de réconfort et de joie tout au long de mon cheminement.*

*Sans oublier ma petite princesse **Linouch**, qui a toujours su me rassurer avec son soutien et son amour inconditionnel. Ta présence précieuse chez nous a été une source de réconfort et de joie inestimable. Merci d'être là ma douce **Linouch**, je t'aime énormément.*

À ma chère grand-mère, **Mama Rahima**, et à mon cher grand-père, '**Papatif**'.
Votre amour, votre sagesse et votre bienveillance ont toujours été une source d'inspiration pour moi. Que Dieu vous garde près de nous, et qu'Il vous accorde une longue et belle vie. Votre présence à nos côtés est un trésor inestimable, et je prie pour que nous puissions continuer à partager de précieux moments ensemble. Vous êtes les piliers de notre famille et je vous aime profondément.

A toutes mes tantes et en particulier '**Khwila Chahinez**', je tenais à la remercier pour son amour et son soutien inébranlables. Tes prières et ta présence bienveillante m'ont accompagné tout au long de ce parcours, et elles m'ont protégé des maux qui auraient pu se dresser sur mon chemin. Que Dieu te garde près de moi, ma chère tante, et sache que tu occupes une place spéciale dans mon cœur. Tes douaaas ont été une source de force et d'inspiration, et je te suis profondément reconnaissante. Ainsi que toutes mes cousines. Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter.

A mon binôme **Dorsaf**, qui m'a accompagné tout au long de la réalisation de ce travail. Je lui exprime ma gratitude la plus sincère, car ces années d'étude auraient été bien moins agréables sans sa présence et son soutien constant. Merci d'être là, je te suis profondément reconnaissante à tous.

À mes chers collègues **Linda, MAJDI et Malek**, vous êtes véritable source de bonheur pour moi. Les moments d'aventure que nous avons partagés et les éclats de rire que nous avons connus ensemble au cours de ces cinq dernières années resteront à jamais gravés dans ma mémoire.

Je tiens à adresser une mention très spéciale à la fin de cette dédicace à mon professeur, **Monsieur Kadri Mekki**. Permettez-moi monsieur de vous exprimer un sincère "Merci" pour votre soutien, votre enseignement et vos conseils précieux tout au long de ces années écoulées. Je souhaite que vous sachiez que votre étudiante gardera un souvenir exceptionnel de cette période d'études. Vous êtes le professeur qui a su m'inspirer, me donner confiance en moi et en l'avenir, et surtout, vous avez réussi à éveiller en moi une passion pour l'apprentissage. J'ai toujours considéré votre parcours et votre dévouement comme un exemple à suivre. Merci infiniment d'avoir été une source de force et d'inspiration pour nous. Vos efforts et votre dévouement ne seront jamais oubliés.

Et enfin, Je tiens à exprimer ma gratitude infinie à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Votre soutien, votre collaboration et votre encouragement ont été essentiels pour mener à bien ce projet. Je vous suis sincèrement reconnaissante pour votre précieuse contribution. Merci du fond du cœur, je vous aime tous.

Narimane

« Rien n'est perdu, rien n'est créé, tout est transformé... »

Ce principe s'applique également à l'eau: source de

vie, ressource précieuse mais difficile d'accès,

qui peut également être source de mort si elle n'est pas bien gérée.

Sommaire

Introduction générale	01
Références bibliographiques	03

Partie I : Partie théorique

Chapitre I *Considérations d'ensemble sur l'eau*

II.1. Introduction	04
II.2. Définition de l'eau	05
I.3. Etat de l'eau	05
II.4. Cycle de l'eau	06
I.5. Propriétés de l'eau	07
I. I .5.1. Propriété chimique	07
II.5.2. Propriétés biologiques	07
I.5.3. Propriétés physiques	08
II.6. Composition de l'eau	09
II.7. Classification des eaux	09
I. I.7.1. Les eaux souterraines	09
I. I.7.2. Les eaux de surface	10
I. I.7.3. Les eaux de mers et des océans	10
II.7.4. Les eaux de consommation (les eaux potables)	11
I. I.7.5. Les eaux usées	11
II.8. Utilisation de l'eau	12
I. I.8.1. Eau domestique (eau potable)	12
II.8.2. Utilisation agricole	12
II.8.3. Utilisation industrielle	13
I. I.8.4. Usages énergétiques	13
I. I.8.5. Usages récréatifs	13
I. I.8.6. Usages liés à la santé	13
II.9. L'importance de l'eau	13
II.10. L'eau en Algérie	13
II.11. L'eau, demain ?	14
II.12. Conclusion	15
Références bibliographiques	16

Chapitre II *La pollution de l'eau*

I.II.1. Introduction	17
I.II.2. Définition de la pollution de l'eau	17
I.II.3. Les sources de pollution de l'eau	17
I.II.3.1. Les rejets domestiques	17
I.II.3.2. Les rejets agricoles	18

I. II.3.3. Les rejets industriels	18
I.II.4. Les types de la pollution de l'eau	19
I.II.4.1. Pollution domestique	19
I.II.4.2. Pollution physique	19
I.II.4.3. Pollution chimique	19
I. II.4.4. Pollution biologique.....	21
I.II.4.5. Pollution organique.....	21
I.II.5. Conséquences.....	21
I.II.5.1. Sur la santé.....	21
I. II.5. 1.1. Les différents types de maladies hydriques	21
I. II.5.1.2. Maladies d'origine bactérienne.....	22
I.II.5.1.3. Maladies d'origine virale	23
I. II.5.1.4. Maladies d'origine parasitaire	25
I.II.5.1.5. Maladies attribuées à l'eau d'origine chimique	25
I.II.5.2. Sur le milieu naturel.....	25
I.II.5. 3. Sur l'économie	26
I.II.6. Que pouvons-nous faire à titre individuel pour lutter contre la pollution de l'eau ?.....	27
I.II.7. La pollution de l'eau en Algérie	27
I.II.1.7. Conclusion	28
Références bibliographiques.....	29

Chapitre III **Traitements des eaux de surfaces**

I.III.1. Introduction	30
I.III.2. Les normes de l'eau potable	30
I. III.2.1. Paramètres organoleptiques de l'eau potable	31
I. III.2.2. Paramètres physicochimiques	31
I. III.2.3. Paramètres concernant des substances indésirables	34
I.III.2.4. Paramètre concernant les substances toxiques	34
I. III.2.5. Paramètres de pollution	34
I. III.2.6. Paramètres biologiques.....	35
I.III.3. La chaîne de traitement des eaux.....	36
I.III.4. Les étapes de traitement	37
I. III.4.1. Captage	37
I. III.4.2. Prétraitement	37
I. III.4.3. Pré-oxydation	38
I.III.4.4. La clarification.....	39
I.III.4.5. La décantation et la flottation	41
I.III.4.6. La filtration.....	41
I.III.4.7. Adsorption	43
I. III.4.8. Les technologies membranaires	44
I.III.5. Désinfection.....	44
I. III.5.1. Le but de désinfection	45
I.III.5.2. Principes généraux de la désinfection	45

II.I.3. Le cadre géologique et lithologique du Barrage	82
II.I.4. Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh	82
II.I.5. Répartition des besoins selon la population.....	83
II.I.6. Climat.....	83
II.I.7. La station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh.....	83
Références bibliographiques	85

Chapitre II *Protocoles expérimentaux*

II.II.1.1. Mode de prélèvement	86
II.II.1.2. Prélèvement et étiquetage des échantillons	86
II.II.2. Analyse Physicochimiques de l'eau brute et traitée du Barrage Hammam- Debagh	86
II.II.2.1. Mesure de la couleur.....	86
II.II.2.2. Mesure de la turbidité	87
II.II.2.3. Mesure de la température (C°) et du pH.....	87
II.II.2.4. Mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	88
II.II.2.5. Mesure de la totalité des solides dissouts TDS (mg/l) et la salinité	88
II.II.2.6. Détermination des alcalinités TA et TAC et les bicarbonates	89
II.II.2.7. Dosage du Calcium (Ca^{2+}).....	90
II.II.2.8. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	91
II.II.2.9. Dosage des Chlorures (Cl^-).....	91
II.II.2.10. Détermination de la matières organique (MO).....	92
II.II.2.11. Détermination du résidu sec (RS).....	93
II.II.2.12. Détermination de la matière en suspension (MES)	93
II.II.2.13. Dosage de l'ammonium (NH_4^+).....	94
II.II.2.14. Dosage du Fer (Fe^{2+})	95
II.II.2.15. Dosage des sulfates (SO_4^-).....	95
II.II.2.16. Dosage des phosphates (PO_4^{3-}).....	96
II.II.2.17. Dosage des nitrates (NO_3^-).....	96
II.II.2.18. Dosage des nitrites (NO_2^-)	96
II.II.2.19. Dosage d'aluminium (Al^{3+}).....	97
II.II.3. Analyses Bactériologiques de l'eau brute et traitée du Barrage Bouhamden	97
II.II.3.1. Recherche des germes totaux à 37 C° (GT).....	97
II.II.3.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)	98
II.II.3.3. Recherche des streptocoques fécaux	98
II.II.3.4. Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR).....	99
II.II.4. Protocole expérimentale de la demande en chlore	100
II.II.4.1. Echantillonnage	100
II.II.5. Méthode analytique	100
II.II.5.1. Procédure expérimentale	100
II.II.5.2. Méthode et dosage	100
II.II.5.2.1. Dosage du chlore résiduel.....	100
II.II.5.3. Détermination de la demande en chlore	101
II.II.5.4. Description des essais de chloration.....	102

II.II.6. (Le quotient CT) : Dose en désinfectant et son temps de contact.....	103
Références bibliographiques.....	104
Chapitre III	Résultats et discussions
II.III. Analyses Chimiques et Physicochimiques de l'eau au niveau de la station de traitement du barrage de Bouhamdane.....	105
II.III.1. Mesure de la turbidité.....	105
II.III.1.2. Mesure de la température (C°)	106
II.III.1.3. Mesure du pH.....	107
II.III.1.4. Mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	108
II.III.1.5. Mesure de la totalité des solides dissouts TDS (mg/l)	109
II.III.1.6 Mesure de la salinité.....	110
II.III.1.7. Mesure de TA et TAC et les bicarbonates	111
II.III.1.8. Dosage du Calcium (Ca^{2+})	114
II.III.1.9. Dosage de la dureté totale ou titre hydrométrique	115
II.III.1.10. Détermination du magnésium (Mg^{2+})	116
II.III.1.11. Dosage des chlorures (Cl^-)	117
II.III.1.12. Détermination de la matière organique (MO)	118
II.III.1.13. Détermination des résidu sec (RS).....	119
II.III.1.14. Détermination des matières en suspension (MES).....	120
II.III.1.15. Dosage de l'ammonium (NH_4^+).....	121
II.III.1.16. Dosage du fer (Fe^{2+}).....	122
II.III.1.17. Dosage des Sulfates (SO_4^{2-})	123
II.III.1.18. Dosage des Phosphates (PO_4^{3-})	124
II.III.1.19. Dosage des nitrates (NO_3^-)	125
II.III.1.20. Dosage de l'Aluminium (Al^{3+}).....	126
II.III.1.21. Dosage de Sodium (Na^+).....	127
II.III.1.22. Dosage de Potassium (K^+).....	128
II.II.2. Analyses bactériologiques	129
II.III.2.1. Recherche des germes totaux à 37 C° (GT).....	129
II.III.2.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF).....	130
II.III.2.3. Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR).....	132
II.III.3. Détermination de la dose optimale en chlore	132
II.III.4. Conclusion générale	137

Liste des figures

Partie I

<i>Chapitre I</i>	<i>Considérations d'ensemble Sur l'eau</i>	
Figure I.1	4
Figure I.2	l'importance de l'eau pour les êtres vivants	4
Figure I.3	les états d'agrégation de l'eau.....	5
Figure I.4	Cycle de l'eau dans la nature	6
Figure I.5	Structure de la molécule de l'eau.....	6
Figure I.6	Les eaux souterraines (Bir Ben Osman)	6
Figure I.7	Eau de surface.....	10
Figure I.8	Eau de mer	11
Figure I.9	Eaux usées	12
<i>Chapitre II</i>	<i>Pollution de l'eau</i>	
Figure II.1	Pollution de l'eau	17
Figure II.2	La pollution agricole	18
Figure II.3	La pollution industrielle	18
Figure II.4	Usage intensif des pesticides.....	20
Figure II.5	Origine des maladies hydriques	22
Figure II.6	Les vibrions cholériques dans une eau polluée	22
Figure II.7	Salmonelles responsables des fièvres typhoïdes.....	23
Figure II.8	Les bactéries Escherichia coli	23
Figure II.9	La maladie de la poliomyélite	24
Figure II.10	Virus de l'hépatite A.....	24
Figure II.11	Virus de l'hépatite E.....	25
Figure II.12	La pollution aquatique.....	26
Figure II.13	La prolifération d'algues	26
<i>Chapitre III</i>	<i>Traitements des eaux de surfaces</i>	
Figure III.1	Bassin de préchloration	38
Figure III.2	Bassin de coagulation (agitation rapide).....	39
Figure III.3	Bassin de floculation (agitation lente)	40
Figure III.4	Bassin de décantation	41
Figure III.5	La mise en œuvre de l'adsorption sur charbon actif.....	43
Figure III.6	Filtre a membrane	44
Figure III.7	Installation d'ozonation	48
Figure III.8	Réservoir pour stockage d'eau potable.....	50
<i>Chapitre IV</i>	<i>La désinfection par le chlore</i>	
Figure IV.1	Le rôle du chlore ajouté dans chaque étape	58

Liste des figures

Figure IV.2 : Les différentes formes du chlore selon le pH de l'eau chlorée	62
Figure IV.3 : Bassin de près-chloration.....	63
Figure IV.4 : Réservoirs du chlore	64
Figure IV.5 : Courbe de Break-point d'une eau naturelle	72

Partie II

Chapitre I Présentation de site du barrage

Figure I.1 : Position géographique de la wilaya de Guelma.....	79
Figure I.2 : Photo réelle du barrage Bouhamdane	80
Figure I.3 : Image satellite du barrage Bouhamdane.....	81
Figure I.4 : Photo satellitaire de la station de traitement de Hammam Debagh	84
Figure I.5 : Entrée de la Station de traitement des eaux Hamam Debagh.....	84

Chapitre II Protocoles expérimentaux

Figure II.1: Photos réelles d'échantillons prélevés.....	86
Figure II.2 : Colorimètre utilisé dans le laboratoire de la station	87
Figure II.3: Image de turbidimètre utilisé.....	87
Figure II.4: Image d'un pH-mètre	88
Figure II.5: Image d'un appareil multi-paramètres	88
Figure II.6 : Multi-paramètres (TDS, Salinité).....	89
Figure II.7 : Montage représentant l'analyse de TA.....	89
Figure II.8 : Montage représentant l'analyse de TAC.....	90
Figure II.9 : Dosage de Calcium (Ca^{2+}).....	90
Figure II.10 : Image représentant l'analyse de TH.....	91
Figure I.11: Montage représentant l'analyse de Cl.....	92
Figure II.12 : Image représentant l'analyse de la MO.....	93
Figure II.13: Image des accessoires pour la détermination des résidus	93
Figure II.14: Image représentant l'analyse de MES	94
Figure II.15: Image représentant l'analyse de NH_4^+	94
Figure II.16: Schéma de spectrophotomètre.....	95
Figure II.17: Images représentant l'analyse de sulfates (SO_4^-)	95
Figure II.18: Image représentant l'analyse de nitrates (NO_3^-).....	96
Figure I.19: Image représentant l'analyse de l'aluminium (Al^{3+})	97
Figure II.20: Image représentant l'analyse bactériologique de l'eau (coliformes totaux et fécaux).....	98
Figure II.21: Image représentant les analyses des coliformes totaux et fécaux	98
Figure II.22 : Image représentant l'analyse de la demande en chlore	102

Liste des figures

Chapitre III

Résultats et discussions

Figure III.1 : Evolution de la turbidité dans l'intervalle (Janvier 2023 à avril 2023).....	105
Figure III.2 : Evolution de la température (T) au cours des mois (Janvier 2023 à avril 2023).....	106
Figure III.3 : Evolution du potentiel d'hydrogène (PH) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	107
Figure III.4 : Evolution de la conductivité électrique (CE) pour l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).....	108
Figure III.5 : Evolution de la totalité des solides dissouts (TDS) dans l'intervalle (Janvier 2023 àAvril 2023).....	109
Figure III.6 : Evolution de la salinité en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	110
Figure III.7 : Evolution du titre alcalimétrique simple (TA) en fonction des mois (Janvier2023 à Avril 2023).....	111
Figure III.8 : Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) au cours des mois (Janvier2023 à Avril 2023).....	112
Figure III.9 : Evolution des bicarbonates (HCO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	113
Figure III.10 : Evolution du calcium (Ca^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	114
Figure III.11 : Evolution du titre hydrotimétrique (TH) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	115
Figure III.12 : Evolution de la teneur du magnésium (Mg^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	116
Figure III.13 : Evolution des chlorures (Cl^-) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	117
Figure III.14 : Evolution des matières organiques (MO) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	118
Figure III.15 : Evolution du résidu sec (RS) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	119
Figure III.16 : Evolution des matières en suspension (MES) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	120
Figure III.17 : Evolution de la teneur en (NH_4^+) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	121
Figure III.18 : Evolution de la teneur du fer (Fe^{2+}) au cours des mois (Janvier 2023 Avril 2023).....	122
Figure III.19 : Evolution des teneurs des (SO_4^{2-}) dans l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).....	123
Figure III.20 : Evolution des teneurs des phosphates (PO_4^{3-}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	124
Figure III.21 : Evolution des nitrates (NO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	125

Liste des figures

Figure III.22 : Evolution de la teneur d'aluminium (Al^{3+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	126
Figure III.23 : Evolution de la teneur de Sodium (Na^+) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 023).....	127
Figure III.24 : Evolution de la teneur de potassium (k^+) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	128
Figure III.25 : Evolution des germes totaux (GT) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	129
Figure III.26 : Evolution des coliformes totaux (CT) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	130
Figure III.27 : Evolution des coliformes fécaux (CF) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	131
Figure III.28 : Evolution des anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	132
Figure.III.29 : Evolution du chlore libre + combiné en fonction du chlore injecté après 1 h de contact	133
Figure III.30 : Evolution du chlore libre + combiné en fonction du chlore injecté après 2h de contact	135

Liste des tableaux

Partie I

<i>Chapitre I</i>	<i>Considérations d'ensemble Sur l'eau</i>	
Tableau I.1	: Propriétés de l'eau	7
Tableau I.2	: Composition de l'eau	8
<i>Chapitre III</i>	<i>Traitements des eaux de surfaces</i>	
Tableau III.1	: Classifications des eaux d'après leurs pH.....	31
Tableau III.2	: Classification des eaux en fonction de leurs duretés.....	32
Tableau III.3	: Relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles	33
Tableau III.4	: Effet bactéricide et rémanent de différents désinfectants (Moles, 2003)	47
<i>Chapitre IV</i>	<i>La désinfection par le chlore</i>	
Tableau IV.1	: Formes du chlore et pouvoir désinfectants.....	57
Tableau IV.2	: Avantages et inconvénients liés à l'utilisation du chlore comme désinfectant	59
Tableau IV.3	: Quelques caractéristiques physiques du chlore gazeux.....	60
Tableau IV.4	: Variation de la constante d'équilibre, K1, de l'acide hypochloreux en fonction de la température	62
Tableau IV.5	: Doses de chlore nécessaire à l'oxydation de 1 mg/l des éléments inorganiques.....	73

Partie II

<i>Chapitre I</i>	<i>Présentation de la zone d'étude</i>	
Tableau I.1	: Les principales caractéristique du barrage Hamam Debagh	82
Tableau I.2	: La répartition des besoins selon la population	83
<i>Chapitre III</i>	<i>Résultats et Discussions</i>	
Tableau III.1	: Résultats des analyses de la turbidité dans l'intervalle (Janvier 2023 à avril 2023).....	105
Tableau III.2	: Résultats des analyses de la température (T) au cours des mois (Janvier 2023 à avril 2023)	106
Tableau III.3	: Résultats des analyses du potentiel d'hydrogène (PH) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023)	107
Tableau III.4	: Résultats des analyses de la conductivité électrique (CE) pour l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).....	108
Tableau III.5	: Résultats des analyses de la totalité des solides dissouts (TDS) dans	

Liste des tableaux

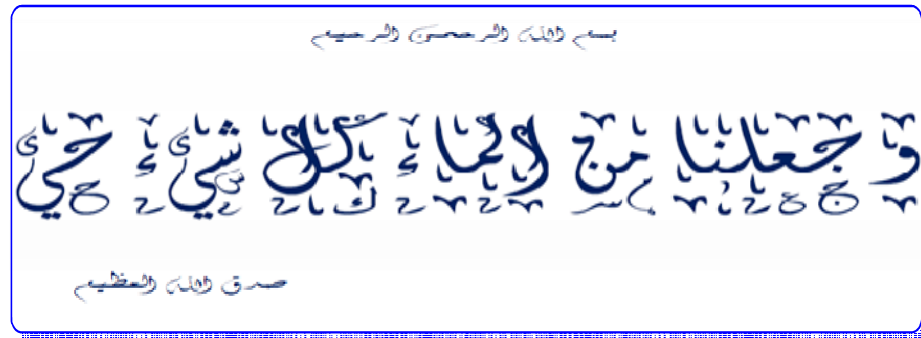
l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).....	109
Tableau III.6 : Résultats des analyses de la salinité en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	110
Tableau III.7 : Résultats des analyses du titre alcalimétrique simple (TA) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	111
Tableau III.8 : Résultats des analyses du titre alcalimétrique complet (TAC) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	112
Tableau III.9 : Résultats des analyses des bicarbonates (HCO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	113
Tableau III.10 : Résultats des analyses du calcium (Ca^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	114
Tableau III.11 : Résultats des analyses de TH pour les mois Janvier 2023 à Avril 2023).....	115
Tableau III.12 : Résultats des analyses du magnésium pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	116
Tableau III.13 : Résultats des analyses des chlorures pour la période (Janvier 2023 à Avril 2023).....	117
Tableau III.14 : Résultats des analyses de la matière organique pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	118
Tableau III.15 : Résultats des analyses de résidu sec pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	119
Tableau III.16 : Résultats des analyses des matières en suspension pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	120
Tableau III.17 : Résultats des analyses de l'ammonium NH_4^+ pour les mois allant de Janvier 2023 à Avril 2023).....	121
Tableau III.18 : Résultats des analyses du Fer (II) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	122
Tableau III.19 : Résultats des analyses de (SO_4^{2-}) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	123
Tableau III.20 : Résultats des analyses des phosphates pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	125
Tableau III.21 : Résultats des analyses de nitrates (NO_3^-) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	126
Tableau III.22 : Résultats des analyses de l'aluminium (Al^{3+}) pour les mois allant (Janvier 2023 à Avril 2023).....	127
Tableau III.23 : Résultats des analyses de Sodium (Na^+) pour les mois allant (Janvier 2023 à Avril 2023).....	127
Tableau III.24 : Résultats des analyses de Potassium (K^+) pour les mois allant (Janvier 2023 à Avril 2023).....	128
Tableau III.25 : Résultats des analyses de germe totaux (GT) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	129
Tableau III.26 : Résultats des analyses de coliforme totaux (CT) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	130

Liste des tableaux

Tableau III.27 : Résultats des analyses de coliforme fécaux (CF) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	131
Tableau III.28 : Résultats des analyses de sulfite-réducteur pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).....	132
Tableau III. 29 : L'évolution de la concentration du chlore combiné et chlore résiduel en fonction de la dose de chlore introduite. Temps = 1 heures. (Mois de Mai).....	133
Tableau III.30 : L'évolution de la concentration du chlore combiné et chlore résiduel en fonction de la dose de chlore introduite. Temps = 2 heures. (Mois de Mai).....	135

Liste des abréviations

Symbole	Signification
AEP	Alimentation en eau potable
ANBT	Agence nationale des barrages et transferts
ASR	Anaérobies sulfito-réducteur
B.H.A.A	Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies
CF	Coliformes fécaux
CT	Coliformes totaux
CT	Quotient : Dose en désinfectant et son temps de contact
DPD	(N,N-diethyl-p-phenylen-diamine)
EDTA	Acide éthylène diamine tétraacétique.
GT	Germes totaux
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
KPA	Kilopascal
MES	Matière en suspension
MO	Matière organique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	Polychlorobiphényles
pH	Potentiel d'hydrogène
Pt/Co	Platinum-Cobalt
RS	Residue sec
UFC	Unité formant colonie.
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
TGEA	Gélose tryptone glucose agar
VHA	Virus de l'hépatite A
VIH	Virus de l'immunodéficience humaine
VLC	Méthode au violet leuco cristal



Résumé

L'eau du Barrage Bouhamden constitue l'une des ressources les plus précieuses en eau potable et d'irrigation de la région de Guelma. Cependant, la qualité de ces ressources se dégrade en permanence compte tenu de nombreux foyers de pollution, d'où l'intérêt d'un traitement et d'un contrôle rigoureux de la qualité de cette eau.

Notre étude consistait à apprécier l'efficacité de la désinfection par chloration par la détermination des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques dans une première étape, puis du break point dans une deuxième étape, afin de déterminer la dose optimale du chlore nécessaire à la désinfection de ces eaux.

Les essais de désinfection réalisés avec l'hypochlorite de sodium (NaClO) ont montré que ces eaux sont très consommatrices de chlore, à cause de leur forte composition en matière organique et minérale. Quant au chlore résiduel, il a été totalement absent au niveau des eaux brutes. Après traitement, on obtient les valeurs : 0,085mg/l et 0,1mg/l pour les temps de contact $T_1=60$ mn et $T_2 = 120$ mn respectivement.

La détermination des coliformes totaux et des coliformes fécaux a révélé une absence totale de germes pathogènes.

Les résultats obtenus après les différentes analyses sont conformes aux normes nationales et celles recommandées par l'OMS.

En définitive, nous pouvons dire que les eaux du Barrage Bouhamden après traitement par le chlore répond aux normes de potabilité exigées par la norme algérienne et internationale selon l'OMS est par conséquent elle est de bonne qualité sur le plan physicochimique que microbiologique

L'ensemble des résultats démontrent clairement que le procédé de chloration des eaux de surfaces peut servir comme un outil efficace dans l'élimination des micro-organismes pathogènes.

Abstract

The water of the Bouhamden Dam is one of the most valuable resources for drinking water and irrigation in the Guelma region. However, the quality of these resources is constantly deteriorating in view of the numerous sources of pollution, which is why it is important to treat and control the quality of this water.

Our study consisted in assessing the effectiveness of chlorination disinfection by determining the physico-chemical and microbiological characteristics in a first step, then the break point in a second step, to determine the optimal dose of chlorine required for disinfection of these waters.

The disinfection tests carried out with sodium hypochlorite (NaClO) have shown that these waters are very consuming of chlorine, because of their strong composition in organic and mineral matter. Residual chlorine was completely absent in raw water. After treatment, the obtained values are: 0.085 mg/l and 0.1 mg/l for the contact times T1=60 min and T2=120 min respectively.

The determination of total and faecal coliforms revealed a total absence of pathogenic germs.

The results obtained after the various tests conform to the national standards and those recommended by the WHO.

Finally, we can say that the water of the Bouhamden Dam after chlorine treatment meets the standards of potability required by the Algerian and international standard according to the WHO is therefore of good quality on the physicochemical and microbiological level.

All the results clearly demonstrate that the chlorination of surfaces water process can be used as an effective tool in the elimination of pathogenic microorganisms.

ملخص

تعد مياه سد بوحمدان من أكثر الموارد قيمة لمياه الشرب والري في منطقة قالمة. ومع ذلك، فإن نوعية هذه الموارد تتدهور باستمرار بالنظر إلى المصادر العديدة للتلوث، ولهذا السبب من المهم معالجة نوعية هذه المياه ومراقبتها.

تمثلت دراستنا في تقييم فعالية تطهير الكلورة من خلال تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية في الخطوة الأولى، ثم نقطة الكسر في خطوة ثانية، لتحديد الجرعة المثلى من الكلور اللازمة لتطهير هذه المياه.

أظهرت اختبارات التطهير التي أجريت مع هيبوكلوريت الصوديوم أن هذه المياه تستهلك الكلور بشكل كبير، بسبب تركيبها القوي في المواد العضوية والمعدنية.

كان الكلور المتبقي غائبًا تمامًا في الماء الخام بعد العلاج، يتم الحصول على القيم: 0.085 مجم / لتر و 0.1 مجم / لتر لآوقات التلامس 60 و 120 دقيقة على التوالي.

كشف تحديد القولون الكلي والبرازي عن غياب تام للجراثيم المسببة للأمراض وتتفق النتائج التي تم الحصول عليها بعد الاختبارات المختلفة مع المعايير الوطنية وتلك التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية.

أخيرًا يمكننا القول إن مياه سد بوحمدان بعد معالجة الكلور تفي بمعايير الصلاحية للشرب التي يتطلبها المعيار الجزائري والدولي وفقًا لمنظمة الصحة العالمية، وبالتالي فهي ذات نوعية جيدة على المستوى الفيزيائي والكيميائي والميكروبيولوجي.

تظهر جميع النتائج بوضوح أنه يمكن استخدام عملية الكلورة كأداة فعالة في القضاء على الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau symbole de la vie sur terre est une richesse et un enjeu économique majeur de tous les secteurs, dont les besoins ne cesseront de croître et de se diversifier. La pénurie d'eau propre est un problème persistant et de plus en plus grave, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Il est généralement rare de trouver l'eau douce et propre [1].

Dans notre pays, la gestion de l'eau est un enjeu majeur pour faire face aux effets du dérèglement climatique. D'autre part, les ressources en eau douce sont exposées à diverses pollutions d'origine multiples générant des dommages pour l'homme et pour son environnement (la faune et la flore). [2].

En Algérie, pays à climat semi-aride, l'approvisionnement en eau potable et industrielle est assuré essentiellement par les eaux de barrages, Ces derniers sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Elles 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..). Les composés chimiques ou produits émergents (pesticides, métaux, produits pharmaceutiques, toxines algales, etc.) représentent également un risque de contamination de l'eau brute.

Et afin de garantir, en toute saison, l'approvisionnement en eau de consommation, il convenait de contrôler et de sauvegarder la qualité des eaux retenues par ces barrages. Mais le contrôle doit se faire aussi sur l'ensemble du système de distribution; car un déversement accidentel ou volontaire de produits toxiques fait également partie des sources de contamination potentielles [3].

Le principal risque de contamination de l'eau brute demeure le risque microbiologique. En effet, l'eau ne doit contenir ni parasites, ni virus, ni bactéries pathogènes: Ces organismes doivent être éliminés par des procédés de désinfection, afin de rendre l'eau propre à l'usage domestique. La filière de désinfection peut s'équiper de différents procédés ; comme les rayons UV, l'ozonation, la chloration,... etc.) Permettant l'enlèvement de ces microorganismes pathogènes de l'eau ou leur inactivation.

L'utilisation du chlore comme désinfectant a considérablement amélioré l'innocuité des réserves d'eau potable et a contribué à réduire les risques de transmission de maladies par l'eau [5]. L'objectif visé n'est pas une stérilisation de l'eau mais la

Introduction générale

production d'une eau qui répond aux normes bactériologiques de potabilité, tout en y maintenant un résiduel de désinfectant pour empêcher la survie des microorganismes dans le réseau de distribution et prévenir ainsi le risque de contamination.

Néanmoins, malgré son rôle primordial dans le processus de désinfection, le chlore présente également des inconvénients, tels que la formation de sous-produits, notamment les trihalométhanes, les chlorophénols et les composés organochlorés à toxicité chronique, dont l'effet cumulatif peut se manifester sous la forme d'effets mutagènes voire cancérogènes. En outre, ces sous-produits peuvent engendrer des altérations du goût et des odeurs désagréables dans certaines eaux destinées à la consommation après leur traitement au chlore [6].

Au niveau de la station, de traitement de Hammam Debagh implanté près du barrage Bouhamdene à Guelma, le traitement de potabilisation de l'eau s'effectue par différents procédés chimiques et physicochimiques (coagulation, floculation, décantation, filtration, et chloration). Dans cette station, une surveillance constante et un contrôle rigoureux de la qualité de ces eaux par l'analyse des paramètres organoleptiques, physico-chimiques, chimique et bactériologiques s'effectue afin de prévenir tout problème de contamination et de protéger la santé des consommateurs.

C'est dans cette perspective que s'inscrit ce travail dont le but principal consistait à étudier l'efficacité du processus de désinfection réalisé par l'hypochlorite de sodium (NaClO) au sein de cette station.

Dans un premier temps, nous essayerons d'effectuer des analyses physicochimiques et bactériologiques sur l'eau brute et l'eau traitée au niveau de la station.

Dans un deuxième temps, notre tâche consistera à trouver les meilleures conditions clé à savoir le PH, la température et le temps de contact pour une dose optimale du chlore nécessaire au processus de désinfection de ces eaux.

La présentation de ce travail se répartit en deux parties distinctes :

- 1) partie étude bibliographique:** composée de quatre chapitres (Considérations d'ensemble sur l'eau, la pollution de l'eau. Traitement des eaux. et La désinfection par le chlore.);
- 2) partie résultats et discussions:** composée de trois chapitres (Présentation de la zone d'étude, Protocoles expérimentaux et Résultats et discussion).

Le mémoire commence par une introduction générale et finie par une conclusion générale.

Références bibliographiques

- [1]. F.Rejsek , (2002). Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques, centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, France.
- [2]. Celerier.J.J.L, Faby.J.A ;(2003), La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux, Document Technique FNDAE, Office international de l'eau SNIDE, France.
- [3]. R. Desjardins. ; (1997), Le traitement des eaux, 2ème édition, Revue et amélioré Edition de l'école poly technique, de Montréal, Canada.
- [4]. R . Cardot , (1999), Les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus, Ellipses Edition Marketing S.A, Paris, France.
- [5]. S. Achour, K. Moussaoui, (1993), La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation des composés organohalogénés, Environ.Tech, 14,885-890.
- [6]. Catherine. J , (2012), Définitions des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaines d'emploi des appareils de désinfection, document technique du Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau N° 2 (FNDAE 02), Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, 58P.

Première partie

Etude Bibliographique

Chapitre I
Considérations d'ensemble
Sur L'eau



I.1. Introduction

L'eau fait partie de notre environnement naturel tout comme l'air que nous respirons et la terre qui nous porte et nous nourrit ; elle constitue un des éléments familiers de notre vie quotidienne. Comme chacun le sait, elle est tout d'abord nécessaire à toute forme de vie. Elle est le constituant pondéralement le plus important des végétaux et des animaux puisqu'elle représente plus de 80 % de leur poids (figure I.1 et Figure I.2) [1].

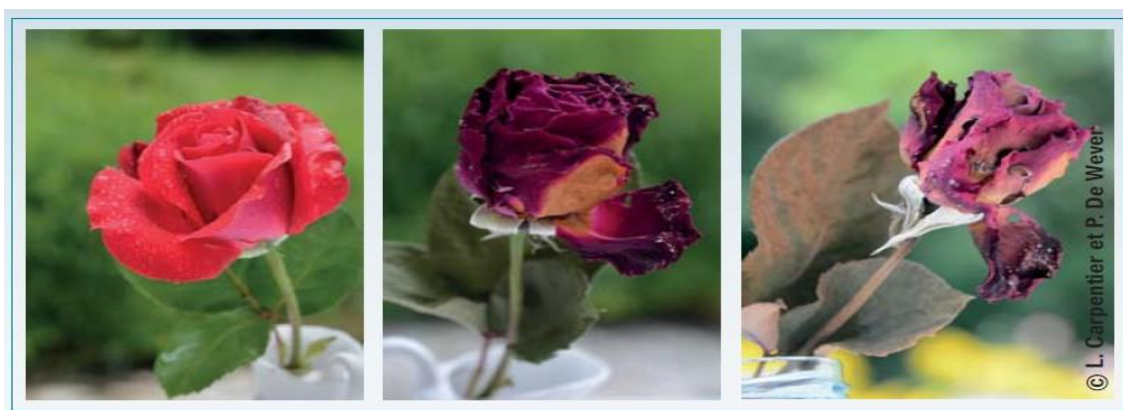


Figure I.1 : L'importance de l'eau pour les êtres vivants.



Figure I.2 : Une méduse (Aurélia) : De l'eau animée par moins de 1% de matière vivante [1].

L'eau est le milieu dans lequel ont lieu la quasi-totalité des processus biologiques. Elle joue ainsi le rôle de transporteur, de solvant et d'agent de réactions chimiques.

Chapitre I Considérations d'ensemble sur L'eau

Avec un petit tour d'horizon, ce chapitre est dédié à l'eau pour permettre de connaître sa composition et son cycle ainsi que ses différentes propriétés (physicochimique, chimique et biologique) et de présenter ses utilisations et son importance.

I.2. Définition de l'eau

L'eau est, avec les composés à base de carbone, la molécule la plus importante pour la réalisation des processus vitaux. C'est une substance naturelle, inodore, incolore et sans saveur à l'état pur, de formule chimique H_2O . Elle existe sous les trois phases : solide, liquide, gaz. [2].

L'eau n'est pas un produit ordinaire « L'eau est un organe noble du monde » a écrit Gaston Bachelard Cette métaphore laisse entendre que l'eau est quasiment un élément physiologique du fonctionnement de la planète. Elle en serait l'équivalent du sang. Elle irrigue, en effet, les continents par un réseau dont la morphologie peut évoquer celle du système circulatoire. Elle abreuve les êtres vivants et leur procure la nourriture, tout comme le sang apporte les éléments nutritifs. Elle charrie les limons et déchets, à l'égal du sang qui évacue les toxines. Son rythme est celui des pluies saisonnières comme les battements du cœur rythment les apports. Son fonctionnement peut être entravé par des barrages et conduire à une sorte d'embolie. Une surcharge d'éléments peut conduire à une thrombose et une asphyxie [1].

I.3. Etat de l'eau

L'eau est le seul composé naturel qui existe sous forme solide, liquide et gazeuse (Figure I.3) Avec l'action conjuguée de la chaleur (exemple: solaire) et de la pression (atmosphérique), elle change de phase. Ces changements d'états interviennent par rupture des liaisons hydrogène qui unissent les molécules d'eau entre elles [3].

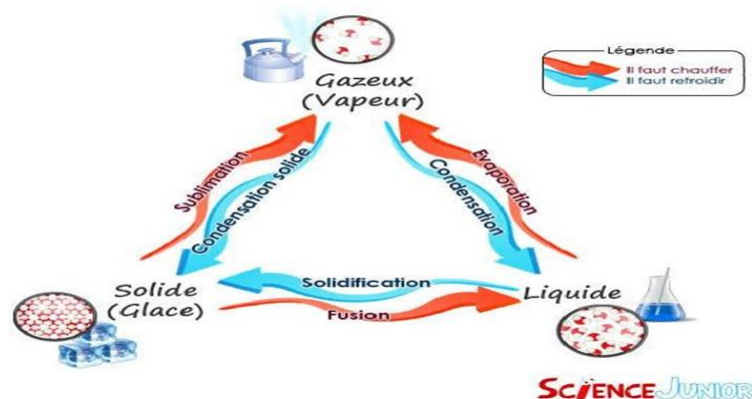


Figure I.3: les états d'agrégation de l'eau.

I.4. Le cycle de l'eau

L'eau peut changer d'état sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère, donc de la pollution atmosphérique. Le cycle de l'eau (Figure I.4.) décompose le phénomène complexe de ces transformations successives de l'eau en différents états. Les 3 phases principales du cycle peuvent être résumées ainsi : évaporation, précipitation, écoulements souterrains et de surface. Leur élément moteur est l'énergie solaire. En fonction des caractéristiques géologiques du sous-sol, les eaux souterraines peuvent connaître de long temps de résidence, parfois de l'ordre du millénaire [4].

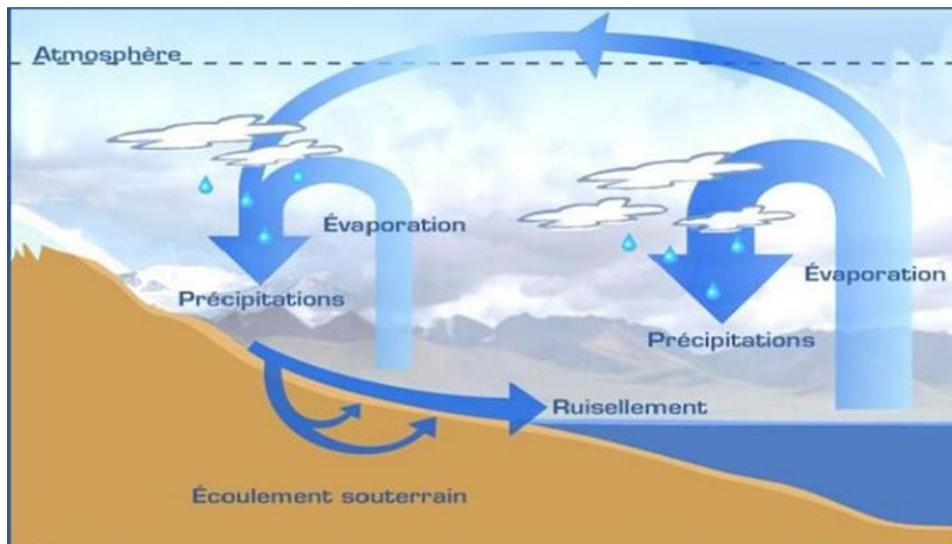


Figure I.4: Cycle de l'eau dans la nature [4].

I.5. Propriétés de l'eau

L'eau possède des propriétés physiques et chimiques uniques et d'autres propriétés : on peut la faire geler, fondre, évaporer ou chauffer et la mélanger.



Figure I.5: Structure de la molécule d'eau.

I.5.1. Propriétés chimiques

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide [2].

L'eau est un excellent solvant qui dissout un très grand nombre de sels. Les réactions chimiques de la vie se passent en milieu aqueux ; les organismes sont très riches en eau (jusqu'à plus de 90%). Ce dernier est un agent chimique très agressif qui risque d'attaquer les parois du récipient qui la contient comme par exemple dans un flacon en verre, des ions silicium passent dans l'eau.

Dans les réactions chimiques, l'eau intervient d'abord par sa dissociation en protons H^+ , souvent associés à H_2O pour former des protons hydratés H_3O^+ , et des ions hydroxyle OH^- . De nombreux métaux peuvent décomposer l'eau en produisant un dégagement d'hydrogène et un hydroxyde métallique [5].

I.5.2. Propriétés biologiques :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants. 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, et plus particulièrement du protoplasme de toutes les cellules. L'eau compose aussi la plus grande partie de nos aliments (70 à 95 % de la plupart de nos viandes et de nos fruits et légumes) [6].

I.5.3. Propriétés physiques :

L'eau possède propriétés physiques intéressantes dont certaines sont récapitulées dans le tableau suivant (Tableau.I.1) :

Tableau 1.1 Propriétés p choisies de l'eau [7].

Point de fusion	0.0000	(°C)
Point d'ébullition	100.000	(°C)
Point triple	0.0100	(°C)

Chapitre I Considérations d'ensemble sur L'eau

Densité liquide à 25(°C)	0.997044	(g/mL)
Densité liquide à 0(°C)	0.999841	(g/mL)
Densité solide à 0(°C)	0.9170	(g/mL)
Capacité calorifique (solide)	37.6	(J/mol K)
Capacité calorifique (liquide)	75.2	(J/mol K)
Conductivité thermique (solide)	2.1	(J/s m K)
Conductivité thermique (liquide)	0.58	(J/s m K)
Moment dipolaire	1.84	(Debye)
Angle H—O—H	104°	
Longueur de liaison, H—O	96	(pm)
Tension superficielle à 25(°C)	72	(mJ/m ²)
Tc, température critique	347.15	(°C)
Pc, pression critique	218.3	(atm))
Vc, Volume critique	59.1	(cm ³ /mol)
E(H—O) Énergie de liaison	64	(kJ)
Kion Constante d'ionisation à 25 (°C)	1.002 x 10 ⁻¹⁴	
pKw à 25 (°C)	13.999	
ΔH°f (liquide) Enthalpie standard de formation	285,8	(kJ/mol)
ΔH°f (gaz) Enthalpie standard de formation	241,8	(kJ/mol)
ΔG°f (liquide) Énergie libre standard de formation	237.2	(kJ/mol)
ΔG°f (gaz) Énergie libre standard de formation	228,6	(kJ/mol)
S° (liquide) Entropie standard	69,9	(J/mol K)
S° (gaz) Entropie standard	188,7	(J/mol K)
ΔHfus Enthalpie de fusion	5,98	(kJ/mol)
ΔH vap Enthalpie de vaporisation	40,5	(kJ/mol)

I.6. Composition de l'eau

L'eau absolument pure ne contient que la molécule H₂O, elle n'existe pas dans la nature, l'absence de minéralisation la rend mauvaise pour la santé. Les eaux naturelles contiennent des substances dissoutes, principalement des sels minéraux provenant des couches géologiques traversées par l'eau. Pour être propre à la consommation, l'eau doit contenir des sels minéraux. Dans le corps humain nos cellules et notre sang contiennent des électrolytes (des sels). Une eau complètement déminéralisée (ou de l'eau distillée)

Chapitre I Considérations d'ensemble sur L'eau

est mauvaise, car un phénomène "osmotique" conduirait les sels de nos cellules ou de notre sang à migrer dans l'eau, réduisant ainsi leur concentration normale dans notre corps [8].

Tableau I.2 : Composition de l'eau.

Les sels minéraux	Minéraux et oligo-éléments	Substances naturelles
Le calcium Ca^{2+}	Le fer le zinc	L'oxygène O_2
Le magnésium Mg^{2+}	Le cuivre le plomb	Gaz carbonique CO_2
Le sodium Na^+	Le cadmium l'uranium	La silice SiO_2
Le potassium K^+		Des matières organiques
Le bicarbonate HCO_3^-		Des bactéries
Le sulfate SO_4^{2-}		
Le chlorure Cl^-		
Le nitrate NO_3^-		
Le fluorure F^-		

I.7. Classification des eaux :

I.7.1. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines se trouvent sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible où leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante générée par les couches du sous-sol traversées. Elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. La dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée [9].



Figure I.6 : Les eaux souterraines (Bir Ben Osman).

I.7.2. Les eaux de surfaces :

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [10].



Figure I.7 : L'eau de surface.

I.7.3. Les eaux des mers et des 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 talque la salinité moyenne est 35g/l [11].



Figure.1.8 : Eau de mer.

I.7.4. Les eaux des consommations(Les eaux potables)

Une eau potable est une eau douce chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine pour éviter toute maladie. Les normes appliquées à une telle eau ne devraient pas être inférieures à celles proposées dans la dernière édition de "Normes internationales pour l'eau potable" publiée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [11].

En mars 2006, les Nations unies ont rappelé que plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et qu'environ 2,5 milliards ne disposent pas d'assainissement. L'eau est tellement nécessaire à la vie que la dégradation de sa qualité peut amener de graves perturbations. La gestion des ressources en eau s'avère de plus en plus nécessaire, car la consommation augmente mais pas la vitesse de renouvellement des eaux.

I.7.5. Les eaux usées

Les eaux usées sont les eaux résiduelles d'une industrie ou d'une communauté, qui sont destinées à être rejetées après usage. Elles sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur qualité initiale, et qui sont devenues impropres à d'autres utilisations de qualité. Les eaux usées, ne doivent pas être rejetées en masse dans le milieu naturel avant d'avoir été traitées en vue de l'élimination des polluants indésirables par passage dans une station d'épuration [11].



Figure I.9 : Image d'une eau usée.

I.8. Utilisation de l'eau

L'eau est la substance de base de tous les êtres vivants : les humains, les animaux et les plantes. Il est également nécessaire pour toutes les activités de développement humain, on peut citer certains usages de l'eau .

I.8.1. Eau domestique (eau potable)

En moyenne, chaque personne consomme 150 litres d'eau par jour. La majeure partie de l'eau consommée est utilisée pour l'hygiène personnelle, l'assainissement de l'environnement, l'entretien ménager et divers travaux ménagers. Boire et préparer à manger ne représentent que 7 % de notre consommation totale. A cela s'ajoute une consommation collective impliquant tous les acteurs : écoles, hôpitaux, bureaux, lavage des rues, fontaines urbaines...

I.8.2. Utilisation agricole

L'agriculture est le principal consommateur d'eau, principalement à des fins d'irrigation. A noter que l'aquaculture (algues, mollusques, crustacés et poissons) est assimilé aux activités agricoles.

I.8.3. Utilisation industrielle

Chapitre I Considérations d'ensemble sur L'eau

L'eau est au cœur de nombreux processus industriels. Il est également largement utilisé dans le lavage et le traitement des déchets, les installations de refroidissement ou le fonctionnement des chaudières. Le refroidissement de l'appareil représente la plupart des utilisations industrielles.

I.8.4. Usages énergétiques

Le cas des barrages et les conduites sous pression qui recueillent des sources et centrales hydroélectriques équipées de turbines. L'eau est également utilisée pour refroidir les centrales thermiques et nucléaires.

I.8.5. Usages récréatifs

Voile, ski nautique, plongée, natation, canoë et pêche, piscines et terrains de sports nautiques, bains chauds naturels, stations de ski d'hiver et patinoires.

I.8.6. Usages liés à la santé : Il s'agit de l'hyperthermie, de la thalassothérapie.

I.9. Importance de l'eau

L'eau est une ressource naturelle indispensable pour la survie de l'humanité et de toute espèce animale ou végétale sur terre.

Pour leur croissance et leur développement, les plantes ont besoin d'eau de bonne qualité et de la bonne quantité pour atteindre les racines au bon moment [5].

Aucune substance liquide ne peut remplacer l'eau. En effet, elle a plusieurs particularités qui la rendent unique parmi les autres substances minérales. Dans sa phase liquide, elle a l'atout d'être un support des formes de vie. C'est le dissolvant des composants qui transporte les molécules clés et active les réactions chimiques. On parle aussi de l'eau en tant que molécule polaire disposant d'un pôle positif (Hydrogène) et un autre négatif (Oxygène). Ses atomes d'hydrogènes ont la capacité de tendre des liaisons avec d'autres molécules.

Aucun autre liquide ne peut former un réseau aussi souple et résistant et agir comme solvant à autant de substances acides ou basiques [2].

I.10. L'eau en Algérie :

La région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord est généralement considérée comme une zone aride et chaude.

Chapitre I Considérations d'ensemble sur L'eau

En Algérie, l'accès à l'eau est limité et réparti de manière inégale, une situation qui s'est aggravée ces deux dernières décennies en raison de la sécheresse, de la pollution et d'une mauvaise gestion. Bien que le pays dispose d'un potentiel d'environ 19 milliards de mètres cubes d'eau par an, soit environ 600 mètres cubes par habitant en 2005, il est classé parmi les pays pauvres en ressources hydriques en raison de son seuil de rareté mondial inférieur à 1000 mètres cubes par habitant et par an, établi par la Banque mondiale.

Les réserves d'eau en Algérie sont principalement composées de 14,2 milliards de mètres cubes d'eau de surface, dont 12,4 milliards proviennent des eaux de surface et 1,8 milliard de mètres cubes d'eau souterraine, ainsi que 5 milliards de mètres cubes d'eau non souterraine renouvelable dans les zones désertiques. La répartition inégale de l'eau entre les différentes régions du pays, notamment entre l'est, l'ouest et le sud, est un autre facteur qui complique la situation.

Les conditions climatiques, allant du sec au semi-aride, contribuent également à la rareté de l'eau en Algérie. Avec une population en croissance et une demande croissante dans les secteurs tels que l'agriculture, l'industrie et le tourisme, la diminution des ressources en eau est une préoccupation majeure.

De plus, en raison de sa grande superficie, l'Algérie est confrontée à une rareté des eaux de surface, qui se trouvent principalement dans le versant nord de la chaîne de montagnes de l'Atlantique, avec seulement environ 30 cours d'eau.

Bien qu'il existe théoriquement environ 250 sites appropriés pour la construction de barrages en Algérie, le nombre de petits et moyens barrages existants est inférieur à ce chiffre, il est donc essentiel de construire davantage de barrages pour doubler la capacité de stockage d'eau et éviter les problèmes de sécheresse [12]

I.11. L'eau, demain ?

Des Défis Face au Changement Climatique et à la Croissance Démographique

De l'eau sur la Terre, il y en a. Cependant, la quantité d'eau douce aisément disponible pour la vie terrestre est très faible. Dès lors, comment économiser, préserver et évaluer la ressource pour aujourd'hui et demain ?

Au quotidien, plantes, animaux, hommes ont besoin d'eau pour vivre et mener à bien leurs activités. Pourtant, ainsi utilisée, l'eau s'altère et la quantité d'eau potable peut venir à diminuer. Face à ce constat, l'enjeu n'est pas de bannir nos usages, mais de

Chapitre I Considérations d'ensemble sur L'eau

trouver des solutions permettant de concilier nos besoins avec une gestion durable de la ressource en eau.

L'eau pourrait manquer dans un proche avenir pour deux raisons : le changement climatique et la croissance démographique. Elle ne manquera pas pour l'usage domestique qui représente de petits volumes. L'accès à l'eau potable et à l'assainissement, dont sont privés un à deux milliards d'humains, est une question de financement et de gestion des équipements, pas de manque d'eau. L'insuffisance concernera l'agriculture.

L'eau est une telle nécessité pour la vie que des guerres, de tout temps, ont été déclenchées pour y avoir accès.

Le changement climatique augmentera probablement les précipitations, mais en modifiera la distribution, sans doute plus vite que l'adaptabilité de l'environnement et des hommes, notamment de leurs coutumes alimentaires.

En 2025, près de 2,5 milliards de personnes dans le monde pourraient manquer d'eau. Pour éviter ou amoindrir ces déficits, il faudra utiliser les eaux de mer, les eaux saumâtres et les eaux usées recyclées [1].

I.12. Conclusion

Ce chapitre évoque certaines généralités sur l'eau ainsi que son importance.

Non seulement l'eau répond aux besoins vitaux de l'espèce humaine, mais elle contribue également au développement durable de diverses façons toutes aussi importantes les unes que les autres. Mais nous voici actuellement devant un constat : l'eau qui paraissait inépuisable,

mises à part quelques régions bien identifiées, ne l'est pas; bien pire encore, sa qualité se dégrade dans les régions les plus avancées du monde en technologie; enfin l'avenir est menaçant pour une partie importante du globe.

Trois dangers menacent : les conflits liés à l'eau, la préservation des écosystèmes et les sécheresses. La protection des écosystèmes et de la biodiversité sont particulièrement préoccupants, car l'Homme n'est pas le seul à avoir besoin d'eau.

au risque de déséquilibrer tous les écosystèmes, les rendant inhabitables même pour l'Homme [13].

Références Bibliographiques

- [1] Patrick De Wever « Terre à portée de main » EDP Sciences. Disponible sur : <https://www.cairn-sciences.info/l-eau-de-la-vie--9782759818082-page-7.htm>
- [2] A. Harez et H. Djelailia, Etude d'une station de traitement et de production d'eau potable à partir d'un forage « Hôpital El-Hadjar », Univ Larbi Ben M'hidi Oum El bouaghi.
- [3] Les états de l'eau. Disponible sur : <http://sciencejunior.fr/chimie/les-trois-etats-de-leau>
- [4] Benchahla Amina, Lamraoui Rania. (2021). Traitement des eaux de barrage Ourkis d'Oum El-bouaghi, Univ Larbi Ben M'hidi Oum El bouaghi.
- [5] Les propriétés physiques et chimiques des eaux. Disponible sur : <https://www.econologie.com/proprietes-eau-physiques-chimiques/>.
- [6] W. MENAA Wissam, Mémoire de fin d'étude (2016), Les analyses Qualitatives et quantitatives des eaux de distribution à la ville de Bab-ezzouar, Univ des Sciences et de Technologie Houari Boumdien.
- [7] O.V.Roussak and H.D.Gesser (2013) , Applied Chemistry, A Textbook for Engineers and Technologists, second Edition ; Springer New York Heidelberg Dordrecht London Springer Science + Business Media New York.
- [8] Caractéristiques et propriétés des eaux. Disponible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eau-proprietes-qualite-valeurs-d-usage-42506210/caracteristiques-et-proprietes-des-eaux-w110/>
- [9] Les états de l'eau. Disponible sur: http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/eau-liquide-solide_gazeuse/.
- [10] Dégréement, « Mémento technique de l'eau », Première édition, (1952).
- [11] B.Zahir (2007). Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : expérimentations et modélisations. Université Ferhat-Abbas Sétif.
- [12] H. Haroush. Stratégie de gestion de l'eau en Algérie, cahiers de politique et de droit, faculté des science politiques et des médias. Vol 7, Pages 60-61.
- [13] Jean-Pierre Chalon « Bulles de sciences »2014 | pages 137 à 155, EDP Sciences | Paris.

Chapitre II

La pollution de l'eau



II.1. Introduction

L'eau qui est essentielle à la vie doit être de bonne qualité pour les besoins humains et environnementaux. Si la qualité de l'eau change, c'est tout l'équilibre qui est menacé.

La qualité de l'eau se définit par son bon état écologique et chimique. Le bon état écologique correspond au bon fonctionnement du milieu et s'apprécie par la biodiversité aquatique (flore et faune). Le bon état chimique tient compte des paramètres de contamination par des substances toxiques.

II.2. Définition de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau est la dégradation associée aux écosystèmes dans lesquels l'eau est l'élément principal. Cela est dû à un certain nombre de facteurs spécifiques : les émissions des activités industrielles et agricoles et les activités humaines courantes qui se produisent dans les rivières, les lacs et les océans.



Figure II.1 : Pollution de l'eau

II.3. Les sources de pollution de l'eau

Les trois principales sources de pollution sont :

II.3.1. Les rejets domestiques

Pollution domestique provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par :

- Des germes fécaux.
- De fortes teneurs en matières organiques.
- Des sels minéraux (azoté, phosphoré).
- Des détergents. [1]

II.3.2. Les rejets agricoles

Pollution agricole provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azoté, phosphoré, potassium) provenant :
Des engrais ; des purins et lisiers (élevage).
- La présence de produit chimique de traitement (pesticides, herbicides...). [1]



Figure II.2 : La pollution agricole

II.3.3. Les rejets industriels

La pollution industrielle provenant des usines est caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau ; tous ses produits ou sous-produits de l'activité humaine se retrouvent ainsi dans l'eau, qui est un bon solvant :

- Matières organiques et graisses (industries agro-alimentaire, équarrissages...) ;
- Hydrocarbures (raffineries) ; Métaux (traitement de surface, métallurgie).
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...) ;
- Eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

[1]



Figure II.3 : La pollution industrielle.

II.4. Les types de la pollution de l'eau

Il existe plusieurs types de pollution comme :

II.4.1. Pollution domestique

Elle provient des ménages et est généralement acheminé par le réseau d'égouts vers les stations d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence de bactéries fécales, de taux élevés de matières organiques, de sels minéraux et de détergents. Elle peut modifier la clarté de l'eau et les conditions d'oxydation [3].

II.4.2. Pollution physique

Il s'agit d'un type de pollution causé par des facteurs physiques (tout élément solide transporté par l'eau), qui est d'origine domestique, principalement la pollution industrielle. Elle peut être divisée en deux catégories : thermique et radioactif [3].

a. Pollution thermique

La température des eaux rejetées par les usines utilisant les circuits de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques et nucléaires, raffineries de pétrole, aciéries, etc.) est de l'ordre de 70 à 80°C. Au contact de l'eau en milieu aquatique, la température chute à 40 à 45°C, provoquant un réchauffement de l'eau qui affecte la solubilité de l'oxygène.

De plus, tout changement de température peut avoir un impact majeur sur la survie des organismes aquatiques. Une baisse importante de la température ralentit les réactions chimiques les plus importantes et les arrête même. Inversement, la hausse des températures tue certaines espèces [3].

b. Pollution radioactive

Les éléments radioactifs sont relativement rares, les sources provenant des centrales nucléaires et des activités de retraitement, mais aussi en grande partie des eaux résiduaire des hôpitaux ou de certaines roches (radon dans les granits). Ces éléments sont très toxiques puisque les doses de radioactivité correspondent à de faibles nombres d'atomes/L. ils présentent deux propriétés spécifiques : ils se désintègrent au cours du temps et peuvent éventuellement rendre leur entourage radioactif. [3]

II.4.3. Pollution chimique

La pollution chimique est due essentiellement aux rejets industriels qui apportent de grandes quantités de substances chimiques, perturbant ainsi l'équilibre de l'écosystème

aquatique, certains de ces produits, entre autres les métaux lourds, sont non biodégradables et peuvent occasionner des intoxications chez l'homme. [3]

a. Pollution par les pesticides

Dernière source de pollution diffuse agricole, les pesticides posent eux aussi de nombreux problèmes. S'il survient un orage peu après l'application, on retrouve une part importante du produit dans l'eau de ruissellement. De plus, alors que, normalement, les produits appliqués sont aujourd'hui biodégradables et devraient totalement disparaître en quelques semaines ou quelques mois, force est de constater qu'une petite fraction de ces produits et de leurs métabolites de dégradation se trouve dans les nappes et les rivières. [3]



Figure II.4 : Usage intensif des pesticides

b. Pollution par les métaux lourds

Les métaux se trouvent dans l'eau sous différentes formes, comme dissous, en suspension et en petits morceaux.

Les éléments possédant une masse volumique supérieure ou égale à 5 g.cm^{-3} . Ils désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. Les métaux lourds constituent des polluants qui ne se dégradent pas dans l'environnement. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et peuvent contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Certains métaux lourds sont particulièrement toxiques comme le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le

nickel (Ni), le chrome (Cr), et à un degré moindre le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Le fer (Fe) et l'aluminium (Al) le sont moins [2].

II.4.4. Pollution biologique

Les polluants biologiques (bactéries, virus et protozoaires) proviennent essentiellement des excréments animaux ou humains. Leur nature vivante conduit à une toxicité potentielle même en présence d'un seul germe par litre. En comparaison, le très toxique DDT n'a effet qu'à partir de plusieurs millions de molécules/l. [3]

II.4.5. Pollution organique :

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives. [3]

II.5. Conséquences

II.5.1. Sur la santé

Les premières conséquences de la pollution de l'eau sont des maladies. Les égouts, qui libèrent de l'eau polluée par des virus et des bactéries, causent des maladies telles que l'hépatite virale, la salmonellose et la typhoïde. [4]

II.5. 1.1. Les différents types de maladies hydriques

Les maladies d'origine hydrique résultent d'une exposition à des microorganismes pathogènes ou à des produits chimiques présents dans l'eau potable ou les eaux utilisées pour les activités récréatives.

L'eau contaminée pénètre le plus souvent dans l'organisme par ingestion ; toutefois, les contaminants de l'eau peuvent aussi être inhalés ou adsorbés, ou peuvent pénétrer dans le corps par les plaies ouvertes.

La majorité des symptômes induits par les agents pathogènes d'origine hydrique sont d'ordre entérique (nausées, vomissements et diarrhées et, plus rarement, colites). D'autres symptômes peuvent cependant être d'ordre neurologique, cardiovasculaire, respiratoire (*Legionella*), oculaire (toxoplasmose), hématologique (septicémie causée par *E. coli* O157:H7) ou dermatologique [4].

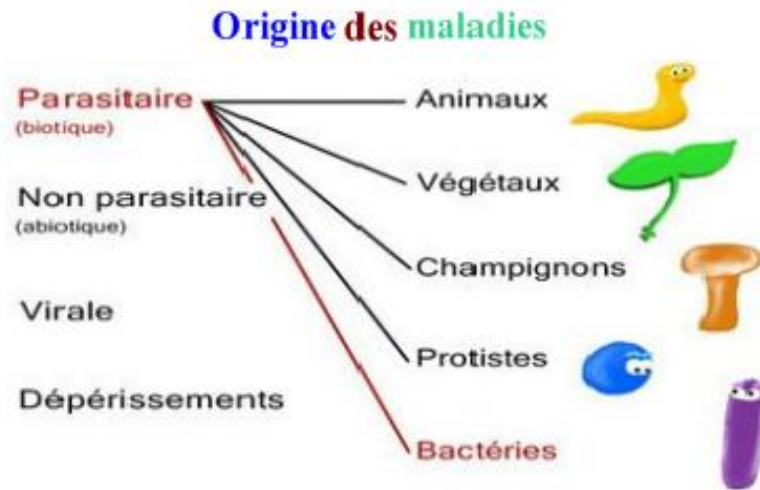


Figure II.5 : Origine des maladies hydriques.

II.5.1.2. Maladies d'origine bactérienne

- **Le choléra**

Le choléra est une maladie toxi-infection due à des vibrions pathogènes apparentant aux vibrions cholériques, le cholera provoque une diarrhée dont l'importance dépend de l'intensité des désordres causes par imprégnation d'épithélium intestinal par la toxine cholérique [5].



Figure II.6 : Les vibrions cholériques dans une eau polluée.

- **Les fièvres typhoïdes, paratyphoïdes**

Les fièvres typhoïde et paratyphoïde sont des maladies infectieuses potentiellement mortelles en l'absence de traitement. Ces fièvres surviennent le plus souvent dans des zones où l'hygiène est précaire et frappent principalement les pays en voie de développement. Ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *S. paratyphi* A, B et C. Elles sont caractérisées par de la fièvre, céphalées, diarrhée, douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (le

tuphos) et peuvent avoir des complications graves, parfois mortelles : hémorragies intestinales, collapsus cardiovasculaire, atteints hépatiques, respirations, neurologiques [6].

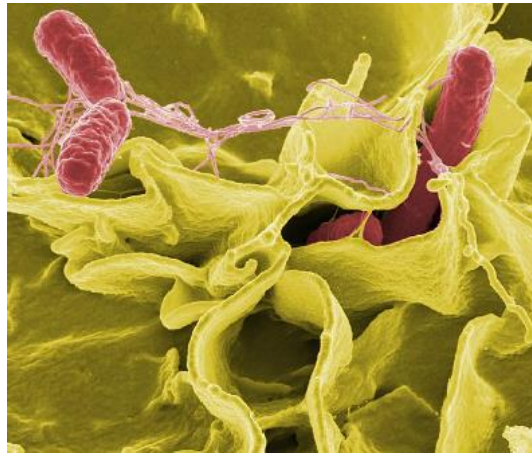


Figure II.7 : Salmonelles responsables des fièvres typhoïdes.

- **Escherichia coli**

Les bactéries E. coli sont des micro-organismes courants que l'on retrouve dans l'intestin des humains et des animaux. Elles aident à décomposer et fermenter les aliments. Il y a des centaines de souches d'E.Coli, dont la plupart sont sans danger pour la santé humaine. Les bactéries E.coli sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale parmi les organismes coliformes. Des tests ont été élaborés pour détecter rapidement et facilement leur présence dans l'eau [2].



Figure II.8 : Les bactéries Escherichia coli

II.5.1.3. Maladies d'origine virale

Les virus sont des organismes vivants qui utilisent le système immunitaire de l'hôte pour se développer et provoquent de nombreuses maladies. Il en existe une multitude, allant de la simple rhinopharyngite et la grippe, aux infections plus graves comme le VIH, certaines otites, bronchiolites et infections cutanées [2]. On peut citer :

- **La poliomyélite (poliovirus)**

La poliomyélite est une infection virale provoquant des paralysies. Le virus responsable de cette maladie est le poliovirus, dont il existe trois types (poliovirus de types 1, 2 et 3). Les poliovirus appartiennent au genre Entérovirus. Il s'agit de petits virus "nus", c'est-à-dire dépourvus d'enveloppe, ce qui leur confère une résistance et une capacité de survie prolongée dans l'environnement [7].



Figure II : La maladie de la poliomyélite.

- **Les hépatites A (virus de l'hépatite A)**

L'hépatite A est une infection causée par le virus de l'hépatite A (VHA), qui est un virus à ARN appartenant à la famille des picornavirus. Ce virus est très courant dans les pays en développement. La période d'incubation de cette infection est généralement d'environ 28 jours (15 à 45 jours) [2].

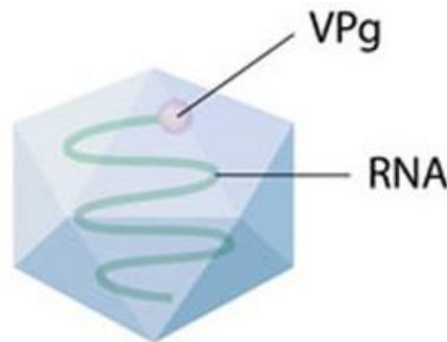


Figure II.10 : Virus de l'hépatite A

- **Les hépatites E (virus de l'hépatite E)**

L'hépatite E est généralement une maladie bénigne, mais elle peut parfois entraîner de graves complications pouvant aller jusqu'à la mort, en particulier chez les personnes vulnérables comme les femmes enceintes ou les personnes atteintes d'une maladie du foie [2].

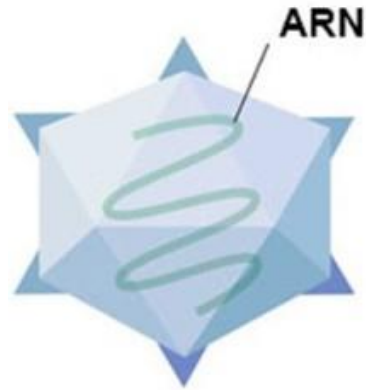


Figure II.11 : Virus de l'hépatite E

II.5.1.4. Maladies d'origine parasitaire

- **La dracunculose**

Connue également sous le nom de maladie du ver de Guinée, est une maladie parasitaire causée par le ver parasite *Dracunculose medinensis*. L'infection survient lorsqu'une personne boit de l'eau contaminée par de petits crustacés parasités avec l'hôte intermédiaire, voire la *D. medinensis* [8].

II.5.1.5. Maladies attribuées à l'eau d'origine chimique

Certaines substances, comme les métaux lourds, ne sont pas éliminées par l'organisme et peuvent s'y accumuler. Leur ingestion prolongée peut entraîner des maladies graves, même si leur concentration dans l'eau est très faible. Cependant, lorsqu'elles sont ingérées en grande quantité, suite à une pollution accidentelle, ces mêmes substances deviennent rapidement toxiques. Parmi ces substances, on trouve notamment le chrome, le nickel, le mercure, le zinc, le plomb, le fluor, les cyanures, les phosphates, les nitrates, l'hydrazine, les phénols, les agents tensio-actifs, les fongicides, les herbicides, les insecticides et les hydrocarbures [2].

II.5.2. Sur le milieu naturel

Un danger à ne pas sous-estimer dans la pollution aquatique est le pétrole qui finit dans les eaux à la suite d'accidents, par exemple : échecs ou naufrages, ou une succession de lavages illégaux de navires citernes qui ne se déroulent pas illégalement dans des bassins autorisés, mais en pleine mer. Il constitue une véritable barrière imperméable composée de couches d'huile et d'hydrocarbures, qui ne permet pas la dissolution de l'oxygène dans l'eau, causant la mort d'organismes vivants par asphyxie.

Les dégâts causés par ces substances affectent également les zones de baignade, la végétation côtière, mais principalement la faune aquatique : par exemple, de nombreux oiseaux de mer, couverts par ces patines, meurent soit par empoisonnement, soit par manque de thermorégulation corporelle. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes [9].



Figure II.12 : La pollution aquatique

II.5. 3. Sur l'économie

Il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches. Personne ne peut nier la nécessité de prendre en compte notre environnement. En certaines périodes de l'année, la prolifération d'algues qui viennent s'échouer et pourrir sur les côtes conduit à des nuisances qui perturbent fortement l'activité touristique de ces régions. Cette prolifération est attribuée aux rejets de polluants azotés et phosphorés locaux ou d'ailleurs. Le maintien de l'activité touristique implique l'élimination de ces nuisances. Ceci représente un coût et un manque à gagner important [10].



Figure II.13 : La prolifération d'algues

II.6. Que pouvons-nous faire à titre individuel pour lutter contre la pollution de l'eau ?

Comme on le voit, la pollution des eaux est l'affaire de tous. Les stations d'épuration d'eaux usées permettent de protéger nos cours d'eau d'une grande partie de ces pollutions mais elles ne peuvent pas traiter tout et n'importe quoi [4].

Si vous voulez aider à garder les eaux propres, il y a beaucoup de choses que vous pouvez faire pour aider à ne pas augmenter la pollution de l'eau. Vous pouvez empêcher la pollution de l'eau des rivières et des lacs à proximité ainsi que des eaux souterraines et de l'eau potable.

Suivez ces quelques directives simples dans votre vie quotidienne, et vous éviterez certains maux de la pollution de l'eau [9] :

- En évitant de rejeter dans les égouts des déchets (même broyés), des cotons tiges, des lingettes, des tampons hygiéniques, des emballages plastiques, des médicaments périmés, des produits toxiques comme des restes de peintures, du white-spirit, des solvants, de l'huile de friture ou des huiles de vidange [4].
- En ayant plus de plantes dans votre jardin, vous empêchez les engrais, les pesticides et l'eau contaminée de s'écouler dans les sources d'eau à proximité [11].
- Conservez l'eau en fermant le robinet lorsque l'eau courante n'est pas nécessaire. Cela permet d'éviter les pénuries d'eau et réduit la quantité d'eau contaminée qui a besoin d'un traitement [9].

II.7. La pollution de l'eau en Algérie

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants [12]. La gestion de l'eau en Algérie pose un problème épineux aux autorités. Les ressources disponibles sont en deçà des besoins. La vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux consommateurs. La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes internationales. Les instruments de gestion de l'eau ne sont pas efficaces [13].

En Algérie, on constate différentes pollutions notamment par le biais des maladies hydriques. Chaque année, durant les saisons chaudes et sèches, des épidémies se déclarent. A Oran, du fait de l'évaporation intense, le taux de salinité de l'eau potable dépasse largement la norme. A Alger et Constantine, des cas de choléra sont signalés. Le développement socio-économique et l'urbanisation rapide ont eu un impact néfaste sur la qualité des ressources en eau [14]. De nombreux cas de pollution industrielle et urbaine ont été observés en l'occurrence au niveau des barrages, des eaux souterraines et des cours d'eau. Ces derniers sont l'exutoire de rejets extrêmement polluants [14].

Un réseau de surveillance de la pollution a été réalisé au niveau de cent stations à travers le pays. Toutefois, il ne concerne que les eaux superficielles. Une trentaine de paramètres physico-chimiques et bactériologiques permettent le contrôle de la pollution. Mais ces mesures ne sont pas continuées. Il est à noter aussi le manque de coordination entre les différents laboratoires et administrations chargées de la surveillance.

A titre d'exemple, les services du Ministère de la Santé ne collaborent pas avec les services des communes qui ont la même responsabilité. Il en est de même entre l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et l'Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement (ANPE). Les divergences entre les administrations de l'eau à tous les niveaux sont beaucoup plus importantes. Le contrôle des unités industrielles est presque absent. Les normes de rejet ne sont pas définies ni les redevances que les industriels doivent payer [14].

Le principal risque, des décharges enfouies dont le nombre reste difficile à évaluer, c'est une pollution de l'eau. La nappe phréatique risque d'être polluée par les lixiviats, les liquides produits par la percolation de l'eau à travers les déchets en dégradation [14].

II.1.7. Conclusion

La pollution comme étant toute modification défavorable des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse pour la consommation. La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques, ainsi que la flore et la faune terrestre.

Chapitre II La pollution de l'eau

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'eau, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des contaminants à la source.

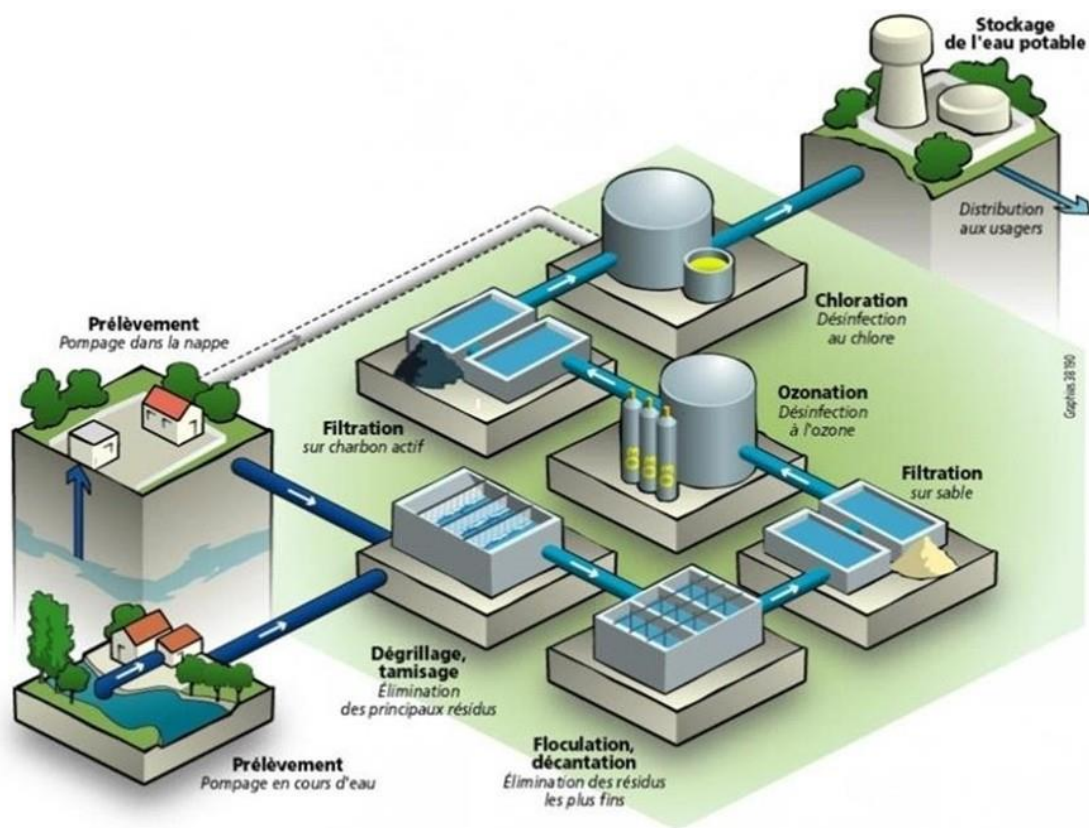
Quand on parle du problème de la ressource en eau, il faut donc avoir présent à l'esprit non seulement que les besoins en quantité seront insuffisants pour de nombreux pays, mais que la qualité de cette ressource est menacée. On doit noter la gravité de la situation dans des pays qui ont à la fois une population à croissance rapide, des ressources en eau insuffisantes et un manque des moyens financiers pour mettre en œuvre les infrastructures indispensables.

Références bibliographiques

- [1] Benmahrez. A, Louelh. Dj, Tizi-Ouzou, 2016, contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager « ENIEM », protection de l'environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [2] Pollution par les métaux Lourds. Disponible sur : <https://chat.openai.com/>
- [3] W. Mena (2016), Les analyses qualitatives et quantitatives des eaux de distribution à la ville de Bab-Ezzouar, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [4] Charron. D, Fleury. M, Lindsay. R, Ogden. N, & Schuster. C, répercussions des changements climatiques sur les maladies transmises par l'eau, les aliments, les vecteurs et les rongeurs
- [5] W Amghar, T Fodil., (2016) résurgences des maladies à transmission hydrique en Algérie : entre causes et effets, économie de la santé, , Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou.
- [6] Alia. S, Athamnia. W, Derdech. S, (2018), évaluation de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux de sources d'Ain Djemel et d'Ain Souda (Wilaya Guelma), Univ 8 mai 1945 Guelma.
- [7] A Mohamed Yhklef (2017), le profil épidémiologique des hépatites virales A, B et CEPH d'ain Temouchent 2001-2016, iInitiation à la recherche clinique et épidémiologique, Univ Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- [8] M Behailil., Hamlaoui. B, Laraiissia. H, 2011, « Qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de sources de la région de Guelma », Univ de 08 Mai 1945 de Guelma.
- [9] Pollution de l'eau, disponible sur : <https://www.aquaportail.com/definition-14353-pollution-de-l-eau.html>
- [10] M Bougouizi., contribution à l'étude bactériologique et physico-chimique de l'eau de l'Oued ElKebir (Wilaya de Skikda), Univ 20 Août 1955-Skikda.
- [11] Pollution des eaux disponible sur : <https://www.aide.be/epuration/pollution-des-eaux>
- [12] La gestion de l'eau en Algérie disponible sur : <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02626669709492019#:~:text=De%20nombreur%20cas%20de%20pollution,stations%20C3%A0%20travers%20le%20pays.>
- [13] La gestion de l'eau en Algérie disponible sur : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626669709492019>
- [14] Pollution des eaux disponible sur : <https://moodle.univ-ouargla.dz/course/info.php?id=12685&lang=ar>

Chapitre III

Traitements des eaux de surfaces



I.III.1. Introduction

Lorsqu'elle est captée en milieu naturel, l'eau brute n'est pas toujours potable, car elle peut contenir des gaz dissous et des matières en suspension. Pour la rendre consommable sans risque, elle doit être acheminée par des canalisations jusqu'à une usine spécialisée dans le traitement de l'eau. Cette dernière subit une série d'opérations visant à répondre à toutes les exigences de qualité avant d'arriver à nos robinets.

Pour définir précisément une eau potable, des normes ont été établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)[1], qui fixe notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives pouvant être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais simplement que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé des consommateurs.

I.III.2. Les normes des eaux potables

Généralement, pour chaque paramètre, on recherche sa présence et l'on détermine sa quantité dans l'eau.

La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter. Si un paramètre dépasse la concentration limite, il y a absence de conformité par rapport aux normes établis [1]. A ce titre l'OMS, dans ses recommandations, ne fixe pas des normes strictes, mais plutôt des valeurs guides qui sont susceptibles d'être utilisées avec une certaine souplesse, dans le souci constant de protection de la santé de la population, tout en permet de porter un jugement comparatif sur la qualité de l'eau [1].

Une eau est dite potable si elle respecte les valeurs imposées par la loi de potabilité. Il existe six catégories de paramètres : organoleptique, physico-chimiques, biologiques, de pollution, en ce qui concerne des substances indésirables et en ce qui concerne des substances toxiques.

Concernant les qualités sensibles de l'eau (la couleur, le goût, l'odeur, la transparence), ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe, car une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être parfaitement consommable d'un point de vue sanitaire [1].

I.III.2.1. Paramètres organoleptiques de l'eau potable

Ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe. [2]

I.III.2.2 Paramètres physico-chimiques

Dans le règlement de l'eau potable, seules les substances présentant un risque direct pour la santé ou donnant une mauvaise qualité esthétique sont contrôlées. Leurs concentrations doivent être comparées aux concentrations maximales acceptables (CMA). Il est donc intéressant de comparer ces normes des paramètres physico-chimiques il y a des produits chimiques suggérés [3].

a) Température (°C)

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [4].

b) pH

Le pH est un paramètre important qui conditionne un grand nombre d'équilibres physicochimiques. Il mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Ses valeurs se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles [5].

Tableau III.1: Classification des eaux d'après leur pH. [5]

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH = 7	pH neutre.
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface.
5.5 < pH < 8	Eaux souterraines.
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense.

c) Salinité

La salinité est l'une des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) au travers de la conductivité électrique de cette eau [6].

d) Les résidus secs à 180°C

La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles [7].

e) Dureté ou titre hydrométrique (TH)

La dureté d'une eau, c'est à dire sa teneur en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} s'exprime par son titre hydrométrique ou (TH). Un degré français correspond à 10 mg. L⁻¹ de carbonate de calcium dissous ou 4 mg. L⁻¹ d'ions Ca^{2+} . La détermination du TH se fait par titrage complexométrique par l'EDTA (acide éthylène diamine tétracétique) [8].

Tableau III.2 : Classification des eaux en fonction de leurs duretés [9].

°f (degré français)	Qualité
0 à 5	Eau très douce
5 à 12	Eau douce
12 à 25	Eau moyennement dure
25 à 32	Eau dure
> 32	Eau très dure

f) Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC) [10].

g) Titre alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique (TA) correspond à la somme des teneurs en ions hydroxyde et carbonate exprimé en degré français (°f) [11].

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

h) Le titre alcalimétrique complet (TAC)

Correspond à la somme des teneurs en ions hydroxyde, bicarbonate et carbonate exprimé en degré français (°F) [12].

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

i) Conductivité électrique

La conductivité est la capacité des ions à conduire ou à transmettre l'électricité résultant du mouvement des particules électriquement chargés. Elle dépend de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de la température et leur valence. La mesure s'effectue par conductimètre et s'exprime en siemens par mètre (s/m) [13].

Tableau III.3: Relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles [14].

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{Cm}$	Minéralisation de l'eau
< 100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

j) TDS

La **quantité des sels minéraux dissous** influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau est appelée le TDS. Une eau, dont la minéralisation est inférieure à 600 mg/l, est généralement

considérée comme bonne. La mesure de la TDS se fait dans le laboratoire à l'aide d'un multi-paramètre ou un TDS-mètre en mettant une quantité de l'eau à analyser dans une cuve stérile et introduire cette eau dans l'une des appareils [15].

k) Oxygène dissous

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utiles pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau [16].

l) Les matières en suspension

Comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, ainsi que le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les matières en suspensions, elle est exprimée en mg/l [17].

I.III.2.3. Paramètres concernant des substances indésirables

Les substances indésirables contenues dans l'eau destinée à la consommation ne présentent aucun danger pour la santé humaine, mais dépassant un certain seuil, elles peuvent provoquer des désagréments d'ordre esthétique ou organoleptique, tels que le fer et le manganèse [18].

I.III.2.4. Paramètre concernant les substances toxiques

Les substances toxiques présentes présentées dans l'eau peuvent s'avérer très dangereuses pour la santé humaine si elles dépassent certaines teneurs détaillées sur le tableau ci-dessous [19].

I.III.2.5. Paramètres de pollution

La pollution des eaux est due à plusieurs facteurs, dont l'activité industrielle, l'activité agricole, le déversement des effluents domestiques et industriels, comme il est précité dans le deuxième chapitre [20].

I.III.2.6. Paramètres biologiques

La qualité microbiologique de l'eau est évaluée en mesurant la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale (entérocoques, E. Coli, coliformes). Dans les eaux de surface, elles sont naturellement présentes en plus grand nombre que dans les eaux souterraines.[21] L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

a) Germes totaux

Ce sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies. Leur présence est indicatrice de pollution bactérienne. Leur dénombrement donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine. Ainsi, ils renseignent sur le degré de protection des eaux [22].

b) Coliformes totaux :

Les coliformes appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Le terme « coliforme » correspond à organismes en bâtonnets, non sporogone, Gram-négatifs, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatif, capable de fermenter le lactose (et mannitol) avec production d'acide et gaz en 48 heures à des températures de 35 et 37 °C. Les coliformes comprennent les genres : Escherichia, Nitrobacter, Entérobactérie, Klebsiella, Yersinia, Sérratia [23].

c) Les 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 maladies toutes aussi sérieuses [24].

d) Les Clostridie Sulfite-Réducteurs :

Sont des bactéries commensales de l'intestin ou saprophytes du sol, elles sont souvent considérées comme des témoins de contamination fécale ancienne ou intermittente. Ce sont des bacilles Gram positifs, anaérobies stricts, isolées ou en chaînettes, mobiles, catalase positive, réduisent le sulfite de sodium en sulfure. La

forme sporulée des Clostridie Sulfito- Réducteurs est beaucoup plus résistante que les formes végétatives [25].

e) Spores anaérobies sulfito-réducteurs :

Les 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 [26]. Le dénombrement bactérien consiste à chercher des bactéries vivant aérobies, c'est-à-dire de développant en présence d'oxygène.

I.III.3. La chaîne des traitements des eaux

Les usines de traitement d'eau potable impliquent plusieurs processus séquentiels qui éliminent les solides, les polluants organiques et inorganiques, certains minéraux et les micro-organismes pathogènes.

La construction de la station d'épuration doit être conçue pour tenir compte de la qualité de l'eau traitée. En général ; Le traitement de l'eau peut être divisé en : traitement primaire pour éliminer les solides, traitement secondaire pour éliminer les composés organiques en plus de l'azote et du phosphore, et traitement tertiaire pour la désinfection.

Il existe différentes tailles de stations d'épuration, telles que les stations centrales pour les grandes villes qui nécessitent un système de distribution avancé, et les stations semi centrales adaptées pour fournir de l'eau potable aux petites communautés sur le lieu d'utilisation. Traiter les eaux de surface en raison de la différence de qualité de l'eau disponible.

Les eaux souterraines nécessitent généralement moins de traitement que celles des lacs, des rivières et des mers. Cependant, une série de processus conventionnels peuvent être identifiés.[27]

I.III.4. Les étapes de traitement

I.III.4.1. Captage

Dans un premier temps, l'eau est captée à partir de ressources superficielles ou souterraines puis elle est conduite par une canalisation jusqu'à l'usine de potabilisation [28].

I.III.4.2. Prétraitement

Pour rendre l'eau potable, on lui applique des traitements variés qui obéissent tous au même principe : éliminer les éléments de matière contenus dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques comme les virus et les microbes. Tout cela se fait dans une usine d'eau potable. [28]

L'étape de prétraitements physiques est systématique en traitement des eaux superficielles, à la prise d'eau et/ou sur l'usine (dégrillage au minimum, dessablage, débouillage, déshuilage, micro-tamassage) [29].

a) Le dégrillage

A l'entrée de la station de traitement, les effluents doivent subir un dégrillage. Ainsi, les matières volumineuses (flottants, etc.) sont retenues au travers de grilles, afin de protéger les pompes.

Ce prétraitement se décline en trois sous-catégories : le pré dégrillage (de 30 à 100 mm), le dégrillage moyen (de 10 à 30 mm) et enfin le dégrillage fin (les barreaux sont espacés de moins de 10 mm) donc il consiste à éliminer les déchets plus ou moins volumineux tels que les chiffons, les textiles, les papiers, les plastiques, ou encore les branches et les feuilles [30].

b) Le tamassage

Permet de retenir des débris d'animaux et végétaux, des algues...etc. [31].

c) Dessablage

Permet d'éliminer le gravier, le sable de telle sorte à éviter des dépôts dans les canalisations, les réservoirs et permet également de protéger les équipements de pompage [31].

I.III.4.3. Pré-oxydation

a) Aération

Elle élimine les gaz excédentaires (H_2S , CO_2) provoque l'oxydation du fer et manganèse et enrichie l'eau en oxygène [31].

b) Pré-chloration

Elle consiste à ajouter du chlore à l'entrée des eaux brutes dans la station de traitement des eaux de surface, avant tout autre traitement. Elle a pour but d'enlever les odeurs, le goût et permet de contrôler la croissance biologique au cours du traitement.



Figure III.1: Bassin de pré-chloration

Cette pratique tend à disparaître, compte tenu des fortes doses de chlore nécessaires dans cette phase et la production importante de sous-produits indésirables, comme nous le verrons par la suite. La pré-chloration d'eau brute a pour but :

- D'oxyder le fer et le manganèse contenus dans l'eau brute, de détruire les matières organiques afin d'améliorer l'odeur et le goût.
- De détruire les micro-organismes, d'inhiber la croissance algale.
- Le produit généralement utilisé est le chlore qui est le plus réactif et le plus économique. Le chlore présente en outre l'intérêt d'éliminer l'ion ammonium lorsque le taux de traitement atteint ce qu'on appelle le point critique ou break point [32].

I.III.4.4. La clarification

C'est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organiques. La clarification comprend les opérations de coagulation, floculation, de décantation et de filtration [33].

a) La coagulation

Est définie théoriquement comme l'opération conduisant à la déstabilisation des particules colloïdales « stables » pour permettre enfin leur agrégation quand le contact a lieu et pour rendre ainsi la décantation ou la flottation plus performante. Techniquement, on la définit plus simplement par « agitation rapide » ou « flash mixing ». Donc la coagulation permet également d'éliminer les matières organiques sous l'effet d'un coagulant [34].



Figure III.2 : Bassin de coagulation (agitation rapide).

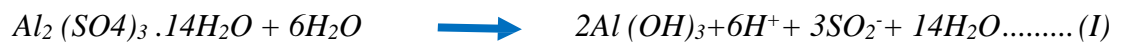
Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, et...) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1 μ m [35].

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le type de coagulant et la dose ont une influence sure :

- La bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée
- Le bon ou mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration.

- Le cout d'exploitation [36].
- Coagulants utilisés : les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et produire des floccs sont :
 - Le sulfate d'Aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$.
 - L'aluminate de sodium $NaAlO_2$.
 - Le chlorure ferrique $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; Le sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$.
 - Le sulfate ferreux $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ [36].

Le coagulant qui est utilisé dans la station du Hammam Debagh est le sulfate d'alumine $[Al_2(SO_4)_3]$



b) La floculation

La floculation est l'opération conduisant à l'agglomération des particules déstabilisées par coagulation. C'est aussi le terme utilisé pour définir l'étude de la cinétique de cette agglomération. Techniquement, on la définit plus simplement par « agitation lente ». Cette opération se situe donc toujours après une coagulation. [37].



Figure III.3 : Bassin de floculation (agitation lente).

Types de Flocculant : pour choisir un flocculant, il faut considérer la taille, la cohésion et la vitesse de décantation du flocc. Comme pour les coagulants, le taux de traitement à mettre en œuvre est donné par essai de floculation [38].

Polymères minéraux : tels que la silice activée (SiO_2), généralement associé au sulfate d'aluminium en eau froide.

Polymères naturels : extraits de substances animales ou végétales : amidons, alginates (obtenus à partir d'algues marines).

Polymères de synthèse : plus récents en apparition, ils ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation. Ils conduisent souvent à un volume de boue très réduit [38]. Le floculant qui est utilisé dans la station du Hammam Debagh est de type poly- Electrolyte.

I.III.45. La décantation et la flottation

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floccs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floccs. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur [39].



Figure III.4 : Bassin de décantation.

I.III.4.6. Filtration

La filtration est un procédé physique disposé généralement après la décantation ou la flottation (notamment dans le cas des eaux de surface). Ce procédé peut être toutefois situé directement après une coagulation (cas des eaux souterraines karstiques) ou après

une pré-oxydation (cas des eaux souterraines contenant du fer, du manganèse ou de l'arsenic). Il permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de la pré-oxydation. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines karstiques). La plus répandue est la filtration sur lit de sable (lit filtrant) [40].

a) Filtres à sables rapides

Ces filtres sont généralement les plus utilisées en traitement des eaux, ils sont appliqués après coagulation floculation et décantation. Ils sont caractérisés par leur débit spécifique important, par contre le colmatage des filtres se fait très rapidement. Lors d'une filtration rapide l'eau traverse la couche filtrante à des vitesses de 5 à 25 m/heure. Vu cette grande vitesse, il faut fréquemment laver les filtres sous peine de voir exagérément augmenter la perte de charge. C'est pourquoi ces filtres comportent toujours un système de lavage rapide et énergétique [41].

b) Filtres à sables lentes

La filtration rapide a pour inconvénient qu'elle est une opération relativement complexe, nécessitant du personnel qualifié. D'autre part, la surface nécessaire à l'installation d'un filtre rapide est très réduite et les débits d'eau filtrée très élevés. La filtration lente assure l'épuration des eaux de surface, sans coagulation ni décantation préalable quand l'eau n'est pas trop chargée en matière en suspension. Elle consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h.

Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. Un filtre de ce type est un filtre ouvert, constitué le plus généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier. Ce procédé a un avantage de produire une bonne qualité d'eau, par contre elle a plusieurs inconvénients :

- Elle occupe une grande superficie.
- Elle produit un débit de traitement faible.
- Elle est sensible au colmatage.
- Elle n'arrête pas la turbidité très élevée [41].

c) Filtres sous pression

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapide, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situées dans des cylindres horizontaux ou verticaux, lesquels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa.

On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Cet avantage ne compense toutefois pas les difficultés auxquelles on se heurte lorsque les filtres sont précédés d'unités de coagulation, de floculation et de décantation. En effet, pour éviter le double pompage, il faut alors que toutes ces unités de traitement fonctionnent sous pression [41].

La station de traitement contient 6 filtres de sable de bassins rectangulaires dont la dimension de chacun est de 18 m de longueur, 2.8 m de largeur et 3.3m de profondeur qui sont installés par rangée de 3. L'eau est envoyée dans les bassins de filtres à sables. La filtration sur lit de sable élimine les derniers flocons. Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin, les particules encore présentes dans l'eau sont alors retenues au fil de leur cheminement (ADE).

I.III.4.7. Adsorption

L'adsorption est un phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour "récupérer" des molécules indésirables de fluide (liquides ou gazeuses) dispersées dans un solvant et qui sont responsables de la couleur, les goûts et les odeurs. La fixation provient de l'établissement, entre le solide et les molécules, de liaisons de Van Der Waals (liaisons de type électrostatique de faible intensité avec des énergies d'interaction entre 5 et 40 kJ mol).

L'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif d'origine végétale ou minérale que nous retrouverons lors de l'étude de traitement des eaux destinées à la consommation humaine [41].

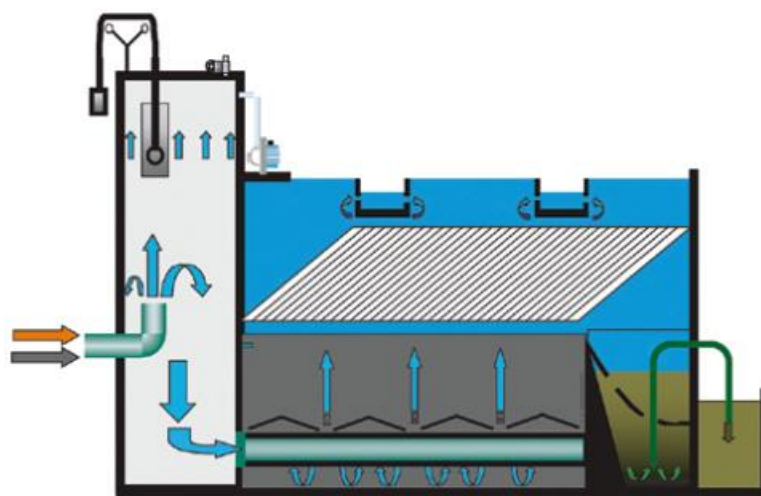


Figure.III.5 : La mise en œuvre de l'adsorption sur charbon actif.

I.III.4.8. Les technologies membranaires :

Parfois les technologies classiques ne suffisent pas et, selon la taille des polluants à retenir, on utilise diverses technologies membranaires

Selon les cas, on utilise donc des membranes qui ont des perméabilités variables, qui peuvent retenir des objets de plus en plus petits, partant de très gros objets pour la filtration, qui seront des objets de l'ordre du micron (μm), pour aller jusqu'à la nanofiltration qui retiendra même quelques sels dissous, voire à l'osmose inverse, qui est une barrière absolue et élimine strictement tous les composés, ne laissant passer que les molécules d'eau pour produire effectivement de l'eau traitée.



Figure.III.6 : Filtre à membrane.

On utilise un procédé d'ultrafiltration à membranes spirales. Cette unité traite 100 000 m³ d'eau par jour. Il faut que les membranes soient robustes et qu'elles puissent être nettoyées pour éviter le colmatage. Aujourd'hui, on sait fabriquer des systèmes qui ont des durées de vie de plusieurs années voire de plusieurs dizaines d'années.[42].

I.III.5. Désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation.

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée. Les quatre principaux désinfectants utilisés en production d'eau potable sont les suivants :

- Le chlore
- Le dioxyde de chlore
- L'ozone
- Le rayonnement UV.[43]

I.III.5.1. Le but de la désinfection

La désinfection a pour but d'éliminer les microorganismes pathogènes et de garantir l'absence de tout germe infectieux (bactérie ou virus) dans les eaux distribuées. Au contraire de la stérilisation, qui permet une destruction totale des germes présents, la désinfection peut laisser subsister quelques germes banals, sans risque pour la santé publique.[44].

I.III.5.2. Principes généraux de la désinfection

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables: puissance du désinfectant, concentration du désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, types de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et concentration de matières organiques dans l'eau.

Il n'existe actuellement aucune loi mathématique connue qui permette de calculer le taux de destruction des microorganismes en fonction de ces variables. Cependant, sur la base de mesures effectuées en laboratoire, on peut énoncer certaines règles particulières. Avant d'appliquer ces règles, il faut toutefois procéder à des vérifications en laboratoire concernant l'eau à traiter, afin de déterminer quelle règle s'applique et d'évaluer les constantes requises.[45]

I.III.5.4. Norme de désinfection

Dans le cadre du contrôle de routine, il n'est pas possible de recenser tous les germes pathogènes présents. Par conséquent, on utilise des organismes-tests spécifiques ou des germes témoins qui servent à la fois de signes de contamination des sources

d'eau brute et d'indicateurs de l'efficacité de la désinfection des eaux traitées. Ces organismes-tests sont soigneusement sélectionnés pour représenter différents types de contaminants et leur présence ou absence permet d'évaluer la qualité de l'eau traitée. En surveillant ces organismes-tests, on peut s'assurer de la pollution minimale des eaux brutes et de la réussite du processus de désinfection dans le traitement de l'eau.

OMS : Absence de coliformes totaux et coliformes thermo tolérants, comme *Escherichia Coli* (indicateur de pollution fécale).[46].

Union Européenne : La directive 98/83/CE du 5/12/1998 est basée également sur des critères bactériens, absence d'E. Coli et d'entérocoque. [46].

France : Le décret n°2001-1220 du 20/12/2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine reprend comme limites de qualité les valeurs paramétriques de la directive 98/83/CE. Elle y ajoute des références de qualité : absence de coliformes et bactéries sulfite-réductrices. [46].

Etats Unis : Le nombre de paramètres microbiologiques pris en compte est plus large : virus, coliforme, lésionnelles, parasites divers ...

La législation sur les eaux de surfaces (SWTR : Surface Water Treatment Rules de l'EPA : Environmental Protection Agency) exige pour les eaux de surface ou eaux souterraines influencées qu'elles soient :

- ✓ Désinfectées ;
- ✓ Filtrées ou au moins être en accord avec les critères d'élimination des différents contaminants. [46]

La désinfection des eaux comportent deux étapes importantes, correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné :

- ✓ **Effet bactéricide, virulicide ou biocide en général** : C'est la capacité de détruire les germes et autres organismes indésirables en une étape donnée du traitement ;
- ✓ **Effet rémanent** : C'est l'effet du désinfectant qui se maintient dans le réseau de distribution et qui permet de garantir la qualité biologique de l'eau.

C'est à la fois :

- ✓ Un effet bactériostatique contre les reviviscences bactériennes ;
- ✓ Un effet bactéricide contre des pollutions faibles et ponctuelles survenant dans le réseau ;
- ✓ Une prévention contre la colonisation du réseau par des micro-invertébrés.

Le tableau suivant rappelle les qualités de chacun des désinfectants utilisés :

Tableau III.4 : Effet bactéricide et rémanent de différents désinfectants [46]

	O ₃	Cl ₂	ClO ₂	Chloramines	UV
Effet bactericide	+++	++	++	+	++
Effet remanent	0	+	++	++	0

(+++): Très efficace ; (++) : Moyennement efficace ; (+) : Peu efficace. (0) : neutre.

Il fait ressortir en particulier la nécessité, après un traitement par l'ozone ou les UV, de compléter la désinfection par une petite dose d'un autre oxydant présentant un effet rémanent.

I.III.5.5. Principaux types de désinfection

la désinfection peut être réalisée par voie physique, physico- chimique ou biologique :

Les traitements physiques concernent surtout l'emploi des **rayons ultraviolet**, dont l'action s'exercerait au niveau des molécules organiques des composés essentiels à la vie de la cellule, notamment les nucléoprotéines.

On utilise en général la longueur d'onde 253.7 nm, émise par des lampes à vapeur de mercure. Dans de bonnes conditions d'emploi, on détruit ainsi la plupart des bactéries et des virus, mais l'usage de ces appareils est pour l'instant réservé à des petits débits ; en outre, l'absence de rémanence de l'effet bactéricide ne garantit pas l'eau contre une contamination secondaire après traitement ;

Les traitements biologiques : on peut considérer qu'ils s'exercent au niveau de la membrane biologique des filtres lents, en même temps qu'une pure rétention mécanique des germes (comme cela se passe également dans les techniques de « filtration sur berge » des rivières, dans le milieu naturel ;

Les traitements physico-chimiques : sont mis en œuvre pour détruire les germes indésirables : on utilise alors des oxydants tels que : le chlore, les chloramines, ClO₂ et l'ozone.[46].

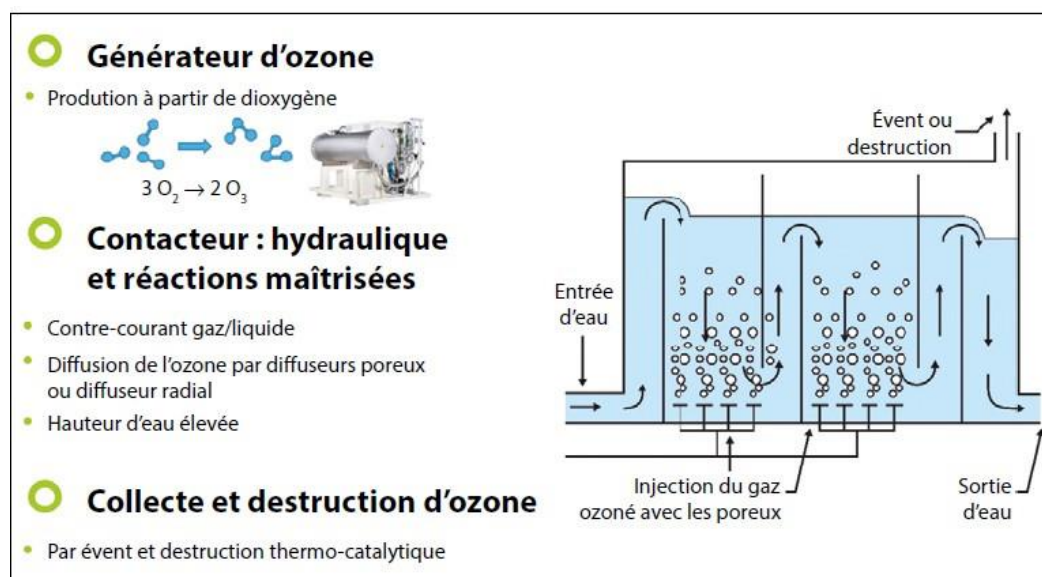


Figure III.7: Installation d'ozonation.[47]

I.III.5.6. Critères permettant de choisir le désinfectant

Tous les procédés et les produits de désinfection n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution, etc.) et sachant qu'un désinfectant ou un procédé de désinfection doit:

- ✓ Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux ;
- ✓ Être toxique, à de faibles concentrations, pour les microorganismes ;
- ✓ Être soluble dans l'eau ;
- ✓ Former avec l'eau une solution homogène ;
- ✓ Être efficace aux températures normales de l'eau de consommation (de 0 à 25 °C) ;
- ✓ Être stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps ;
- ✓ Ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive ;
- ✓ Éliminer les odeurs ;
- ✓ Exister en grande quantité et être vendu à un prix abordable ;
- ✓ Être facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs ;
- ✓ Permettre une mesure aisée de sa concentration et partant un bon contrôle de celle-ci. [45]

I.III.5.7. Produits de désinfection utilisés en Algérie

Pour des considérations techniques et économiques, les produits de désinfection utilisés en Algérie se limitent aux produits suivants [46]:

- Le chlore gazeux Cl_2 ;
- L'hypochlorite de sodium NaClO ;
- L'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$;
- Le chlorure de chaux $\text{Ca}(\text{OCl}_2)$;
- Le permanganate de potassium KmnO_4 ;
- L'ozone O_3 .

I.III.5.8. Efficacité des traitements de désinfection

L'efficacité de la désinfection dépend :

- ✓ Du type de microorganisme ;
- ✓ Du l'âge de microorganisme ;
- ✓ Du mode de désinfection utilisé : physique ou chimique ;
- ✓ Du temps de contact (désinfectant / microorganisme) et la concentration du désinfectant à utiliser [$C \times T = \text{Concentration en désinfectant} \times \text{Temps de contact} = C \text{ (mg/l)} \times T \text{ (minutes)}$] ;
- ✓ Des caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter : pH, température, turbidité, teneur en ammonium. [47]

I.III.6. Affinage

La présence de micropolluants, existant à la prise d'eau ou qu'ils se sont formés en cours du traitement, nécessite, en fin de chaîne, un affinage qui, dans l'état actuel de la technique, fait appel soit au charbon actif seul, en poudre ou sur lit, ou en granulés, soit et c'est ce qui est préférable, aux actions associées du charbon actif et de l'ozone [48].

- L'ozone outre son grand pouvoir désinfectant (élimination des virus et des spores bactériennes), permet l'oxydation de certains micropolluants organiques (pesticides, composés aromatiques ...) et transforme les matières organiques naturelles (qui sont ensuite éliminées par le charbon actif biologique) en augmentant leur biodégradabilité [49].

- Le charbon actif est un matériau poreux qui possède une très grande surface spécifique qui permet l'adsorption et la dégradation par voie microbiologique des matières organiques naturelles et des micropolluants organiques (notamment pesticides) [49].

I.III.7. Stockage et distribution

Une fois rendue potable, l'eau est envoyée dans des réservoirs où elle est stockée avant d'être acheminée par un réseau de canalisations souterraines dans les habitations.

Pour arriver au robinet du consommateur, l'eau potable emprunte un circuit fait de multiples ramifications. En sortie d'usine de production d'eau potable, des pompes de refoulement acheminent l'eau potable dans la partie haute du château d'eau où elle est stockée. Son élévation assure une pression suffisante dans tout le réseau et permet d'avoir « l'eau courante » [50].



Figure III.8 : Réservoir pour stockage d'eau potable.

Conclusion

L'objectif fondamental de ce chapitre est un aperçu général sur le traitement des eaux potables. Il est important de souligner que le respect des normes ne signifie pas que l'eau est exempte de toutes les impuretés, mais plutôt que les concentrations de ces impuretés sont maintenues en dessous des seuils considérés comme sûrs pour la consommation humaine. Ainsi, même une eau potable peut contenir de faibles traces de certaines substances, mais elles sont présentes à des niveaux considérés comme non préjudiciables pour la santé.

Le traitement de l'eau vise donc à réduire au maximum la présence de contaminants et à rendre l'eau conforme aux normes de qualité. Cela garantit que l'eau qui atteint nos robinets est propre à la consommation et ne présente aucun risque pour notre santé.

Il est primordial de maintenir une surveillance constante de la qualité de l'eau potable afin de prévenir tout problème de contamination et de protéger la santé des consommateurs.

Références Bibliographiques

- [1].L. Aouissi et W. Merabti, (2019). Etude physico-chimique et bactériologique et développement d'un système de traitement (membrane à base de charbon actif), Univ 8 Mai 1945 Guelma.
- [2].T. Bensaci, (2006). Détermination De la Qualité Physico-chimique
- [3]. OMS. (2006), Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.
- [4]. S Hellal (2016) . Étude de la nature de l'eau de source de Aïn Franine Kristel,(wilaya d'Oran) et son utilisation, Univ Ahmed Ben Bella Oran.
- [5]. S Aliat., I Bettaka (2019) , traitement de l'eau au niveau de la station Sarl Ben Amor frèresOuargla, Master, Génie des procédés de l'environnement, Univ Kasdi Merbah Ouargla.
- [6]. : B Abbar (2018) , influence de la physico-chimie des eaux de ruissellement sur la vulnerabilite des ouvrages de rétention, Univ le havrenor mandie,.
- [7].K. Labiod. (2010) , étude du caractère incrustant des eaux et son inhition par des essaischimiques et d'électro déposition, Univ Frères Mentouri Canstantine.
- [8] K. Labiod. (2010) , étude du caractère incrustant des eaux et son inhition par des essaischimiques et d'électro déposition, Univ Frères Mentouri Canstantine.
- [9]. H. Benmoussa (2018) , Chimie des eaux, Univ des Sciences et dela Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- [10]. L. Chelli., N. Djouhri. (2013) , analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaia et évaluation de leur pouvoir entartrant, Univ A. MIRA–Béjaia.
- [11]. K. Ben Ali (2013), l'efficacité de traitement des eaux naturelles issues de la nappe continentale inter calaire au niveau d'In Salah, Kasdi Merbah Ouargla .
- [12]. A Nascimento (2015) , surveillance de la qualité de l'eau potable a la société REDAL , Licence, Sciences et Techniques (LST), Universite Sidi Mohamed Ben AbdellahMarroco.
- [13]. R Kouart, M Hammidi(2020) , analyse sphysico-chimiques et bactériologiques des eauxbarrage Bouhamdane de Hammam Debagh et quatre forages de la nappe phréatique de Guelma, Univ 8 Mai 1945 Guelma.
- [14]. M Adjelane, K Bourebaa (2018) , analyse physico-chimique et bactériologique des eaux

d'alimentation de quelques réservoirs de la ville de Bejaia cas du réservoir Egzib et réservoir central. Bejaia-Algériealimentaire, Univ A. MIRA Bejaia.

[15]. Les données de l'IBGE: "L'eau à Bruxelles", 2005.

[16]. B Abbar (2018) , influence de la physico-chimie des eaux de ruissellement sur la vulnérabilité des ouvrages de rétention, , Université le havrenor mandie.

[17]. J. Amimeur, (2018). Contribution à l'étude de l'élimination du plomb par coagulation floculation et par adsorption sur charbon actif. Effet de la minéralisation et des paramètres réactionnels, thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en science en hydraulique, Biskra.

[18]. U.E. (1998), Normes de l'Union Européenne sur l'eau potable. Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine

[19]. E.N.A.GEO. (1971). Entreprise Nationale De Géophysique. Etude Géophysique Dans La Région De Guelma. 52 p.

[20]. Comment traiter l'eau potable disponible sur: <http://www.mawdoo3.com/>

[21]. Traitement de l'eau potable, disponible sur : <https://www.aquawal.be/fr/eau-et-microbiologie.html?IDC=549#:~:text=La%20qualit%C3%A9%20microbiologique%20de%20l'eau%>

[22] M Benattallah, Daoudi (2017) , Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Ouled Mellouk W. Aïn defla, , Univ Djillali Bounaama de Khemis Miliana, .

[24]. Ch Derrouiche, N Hammidi (2020) , évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux brutes et traitées du barrage de Bouhamdane, , Univ 08 mai 1945 Guelma.

[25]. A Amirat, S Neciri (2017) , étude de la qualité bactériologique de l'eau de citerne vendue dans la ville d'Ouargla, Univ Kasdi Merbah, Ouargla.

[26]. M . Bessedik (2012) , traitement des eaux II, , Université de Tlemcen.

[27]. Comment traiter l'eau potable disponible sur : <http://www.mawdoo3.com/comment-traiter-l'eau-potable>

Disponible sur : <http://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les->

[28]. L'eau-du-robinet, disponible sur :

<http://www.cieau.com/espace->

[29]. Arrêté du 2 février 1998 dans le Journal Officiel de la République Française publié le 3 Mars 1998

[30]. R Benredjem, R, L'eau potable, traitement des eaux, Institut national spécialisé dans la formation professionnelle pour l'administration de Jbabra Kaddour Guelma, 2018.

[31]. B Legube., production d'eau potable : Filières et procédés de traitement. Dunod, 2015.

[32]. H Zendagui (2016) étude sur la coagulation-floculation-décantation des eaux épurées de la station d'épuration Ain Lhoutz, , Univ Aboubakr Belkaid – Tlemcen.

[33]. S Bouzidi., Z Chelhi (2017)., Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Guelma, Univ 8 Mai 1945 Guelma.,

[34]. Y Berrahal (2016) , évaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évolution des trihalométhanes et le plomb dans le réseau d'eau Potable, , Univ Djillali Liabes Sidi Belabbès.

[35]. B Legube (2015) , production d'eau potable : Filières et procédés de traitement. Dunod.

[36]. Dahmane, Zidoune (2015). Utilisation des bio-coagulants pour le traitement des eaux potables., Univ Mohamed El Bachir El Ibrahim.

[37]. Y Hadjali (2012), impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station Plage EL Hilel (Ain Témouchent) , , Univ Abou bekr Belkaid Tlemcen.

[38]. Cahier de laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh ADE –Unité de Guelma.

[39]. B Nesrine (2017), analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia,

Univ Abderrahmane MIRA de Bejaia.

[40]. M Selka (2015) , influence des particules argileuses sur la coagulation-floculation, Univ Abderrahmane MIRA de Bejaia.

- [41]. W. Sebih (2013), Prétraitement des eaux moyennement saumâtre par filtration sur sable et filtration sur support, Univ Abou Bekr Belkaid.
- [42]. Ref Patrick De Wever EDP Sciences | « Terre à portée de main »
- [43]. M. Adjelane. K. Bourebaa (2018), analyse physico-chimique et bactériologique des eaux d'alimentation de quelques réservoirs de la ville de Bejaia cas du réservoir Egzib et réservoir central. Bejaia-Algérie, Univ A. MIRA – Bejaia.
- [44]. M. Bouchemal, A. Hammoudi (2016), analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debeigh, Univ Larbi Ben M'hidi–Oum El Bouaghi.
- [45]. **Rodier. J ; (2009)**, L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
- [46]. **ADE ; (2014)**, Algérienne Des Eaux, Wilaya de Guelma, Hamem-Debagh Rapport d'Activité Du mois Mars 2014, Algérie.
- [47]. **Wastewater disinfection; (2000)**, Water and waste water treatment, A Guide For Non engineering professional, Naucy E. Whiting and Joanne E. Driren, pages 207-220.
- [48]. **SAGEP ; (2006)**, Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris, Traitement De Potabilisation Des Eaux De Surface Désinfection, conf 2006/64.
- [49]. B. Nesrine (2017), analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia, Univ Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- [50]. B. Bounab (2016), analyses physico-chimiques de l'eau de la wilaya de Guelma, mise en évidence du caractère corrosif et entartrant des eaux de robinet, univ 08 Mai 1945 Guelma.

Chapitre IV
La désinfection par
le Chlore



I.IV. Introduction

L'utilisation du chlore dans le domaine des eaux potables date du début du 20^{ème} siècle et ses propriétés désinfectantes ont permis la régression de nombreuses maladies véhiculées par les eaux. La désinfection consiste à éliminer les micro-organismes pathogènes ainsi qu'une partie de la pollution organique et minérale [1], [2].

Le chlore est l'oxydant le plus utilisé à cause de sa rémanence et pour des questions économiques et technologiques [3].

Au cours de ce chapitre, nous présenterons un aperçu sur les caractéristiques physiques et chimiques du chlore, la pratique de la chloration et son pouvoir désinfectant, son action sur les constituants minéraux et organiques des eaux, ainsi que l'incidence de la présence d'éléments minéraux sur la demande en chlore.

I.IV.1. La désinfection par le chlore

Lorsqu'on ajoute du chlore à l'eau, il agit en détruisant la membrane de nombreux micro-organismes et en les tuant. Cependant, il se révèle inefficace contre certains kystes, tels que le cryptosporidium, qui sont résistants à la chloration en raison de leur épaisse membrane extérieure. Pour que le processus fonctionne, le chlore doit entrer en contact direct avec les organismes présents dans l'eau. Si l'eau contient des sédiments, il est possible que les bactéries qui y résident ne soient pas atteintes par le chlore. Le chlore désinfecte l'eau et la rend potable du point de vue microbiologique, mais il n'a aucun effet sur certains contaminants chimiques.

Le chlore nécessite un certain temps pour éliminer les agents pathogènes. À une température de 18 °C ou plus, le chlore doit être en contact avec l'eau pendant au moins 30 minutes. Si l'eau est plus froide, la durée de contact doit être prolongée. Par conséquent, il est courant d'injecter du chlore dans l'eau à l'entrée du réservoir ou au début d'un long réseau de canalisations afin de garantir un temps d'action de désinfection suffisant avant d'atteindre l'utilisateur final. La plupart des méthodes de désinfection éliminent les micro-organismes, mais ne protègent pas contre une éventuelle contamination ultérieure dans le système d'approvisionnement en aval. Le chlore présente l'avantage d'être à la fois un désinfectant efficace et de posséder un

pouvoir résiduel, ce qui permet de protéger l'approvisionnement en aval du point de désinfection.

La turbidité et le pH de l'eau ont un impact significatif sur l'efficacité du chlore. La turbidité de l'eau doit être inférieure à 5 NTU et le pH doit se situer entre 7,2 et 6,8.

I.IV.2. Définition

Le Chlore est le désinfectant qui, traditionnellement, a reçu le plus grand nombre d'applications. Il peut être utilisé sous forme [4] :

- De **chlore gazeux Cl_2** (liquéfié en bouteilles ou en tanks, utilisé par prélèvement direct en phase gazeuse, ou en phase liquide par l'intermédiaire d'un évaporateur, et introduit dans l'eau après dosage et mise en solution dans un appareil appelé chloromètre).
- **D'hypochlorite :**
 - De sodium : **$NaOCl$** (liquide : **eau de javel**) ;
 - De calcium : **$Ca(OCl)_2$** (en poudre).

Tableau IV.1 : Formes du chlore et pouvoir désinfectants.

Formes du chlore		Pouvoir désinfectant		
Chlore Total	Chlore libre	- Acide hypochloreux: $HClO$ - Hypochlorite : ClO^-		- Elevé (forme du chlore la plus active) - $ClO^- < HClO$
	Chlore combiné	Chloramines minérales	-Monochloramine NH_2Cl	- $NH_2Cl < ClO^- < HOCl$
			-Dichloramine $NHCl_2$	- $NHCl_2 < NH_2Cl < ClO^- < HOCl$
			-Trichloramine NCl_3	- Peu évalué, sans doute très faible
Chloramines organiques		Sans doute très faible, voire même nul.		

I.IV.3. Le rôle du chlore dans la désinfection

Aux doses habituelles, il demeure inefficace contre les kystes amibiens et les œufs de certains parasites intestinaux.

Il a également plusieurs rôles, secondaires mais importants [5] :

- Oxydation du fer, du manganèse et du sulfure d'hydrogène ;
- Destruction de certains composés engendrant des goûts et des odeurs désagréables ;
- Protection contre les algues et les boues ;
- Enfin, il facilite la coagulation.

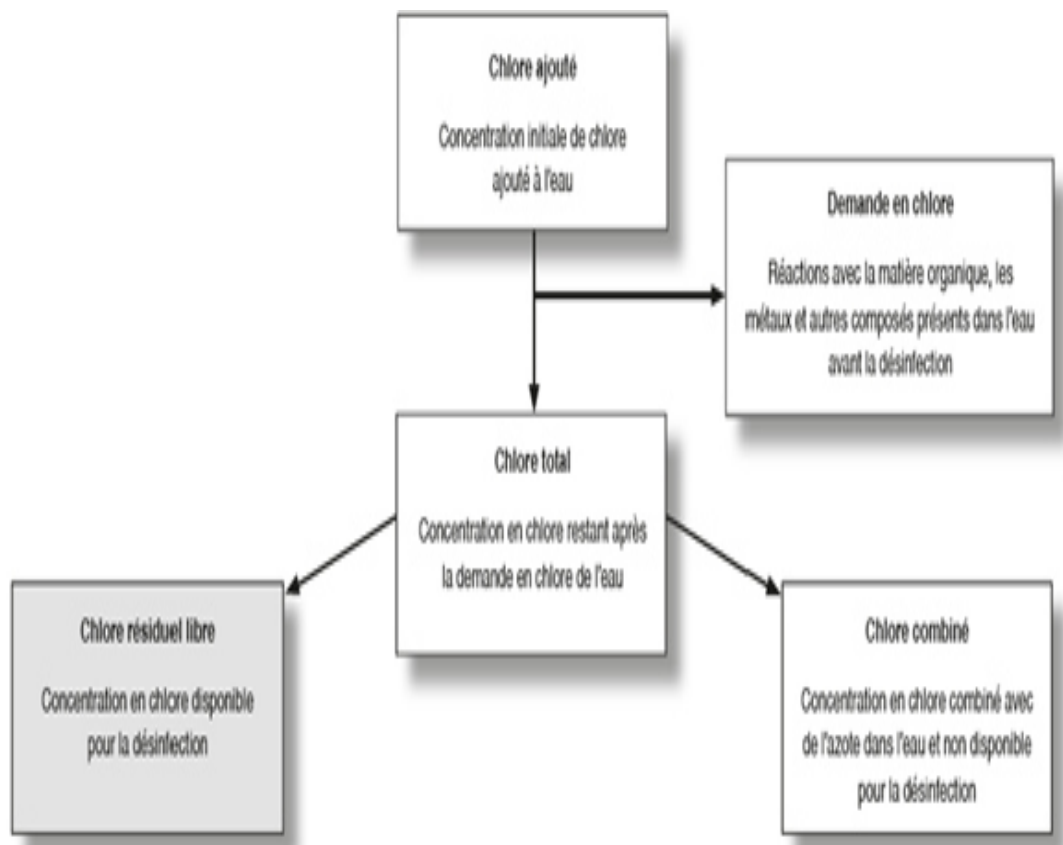


Figure IV.1 : Le rôle du chlore ajouté dans chaque étape.

Chapitre IV La désinfection par le Chlore

Tableau IV.2 : Avantages et inconvénients liés à l'utilisation du chlore et ses dérivés comme désinfectants [6].

Désinfectant	Avantages	Inconvénients
Le chlore gazeux (Cl₂)	<ul style="list-style-type: none"> -Peu coûteux -Disponible sur le marché -Décompose les matières organiques -Facilement soluble dans l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> -Corrosif -Odeur suffocante -Danger provoqué par le gaz chlore en cas d'accident
L'hypochlorite de sodium (NaClO)	<ul style="list-style-type: none"> -Disponible sur le marché -Facile à transporter -Utilisation domestique -Facile à préparer 	<ul style="list-style-type: none"> -Coûteux -Risque d'entartrage des canalisations et des doseurs Perd son degré Chlorométrique lorsqu'il est exposé à l'air et à la lumière
L'hypochlorite de calcium Ca(ClO)₂	<ul style="list-style-type: none"> -Très efficace pour la désinfection des ouvrages hydrauliques -Utilisé pour la désinfection des eaux de baignade -Action stérilisante durable 	<ul style="list-style-type: none"> -Très corrosif -Perd son degré -Risque d'entartrage -Très couteux -Produit importé -Perd son degré Chlorométrique lorsqu'il est exposé à l'air et à la lumière
Le chlorure de chaux (CaOCl₂)	<ul style="list-style-type: none"> -Soluble dans l'eau -Peut produire du chlore sous l'action des acides 	<ul style="list-style-type: none"> -Coûteux -Entartrant -Abandonne lentement son chlore et se transforme en carbonate de calcium. -Produit importé

I.IV.4. Propriétés physico-chimiques du chlore

I.IV.4.1. Propriétés physiques du chlore

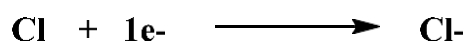
Sous forme libre, le chlore est un gaz jaune verdâtre plus lourd que l'air et se distingue par son odeur irritante [7]. Le chlore fait partie de ce groupe d'éléments chimiques qu'on appelle les halogènes comme le brome, l'iode, et le fluor. Il a comme symbole Cl. Son nombre atomique est 17 et son nombre de masse est de 35,5 [8]. Il était utilisé comme un gaz de combat pour la première fois pendant la guerre mondiale de 1914.

Tableau IV.3 : Quelques caractéristiques physiques du chlore gazeux [9].

Propriété	Unité	Chlore (Cl₂)
Masse moléculaire	g	70,91
Température de liquéfaction	°C	-33,97
Masse volumique (0 °C et 1 atm)	Kg/m ³	3,213
Densité comparée à l'air (0°C et 1 atm)	-	2.486
Température critique	°C	143.9
Pression critique	Kpa	7 811.8
Solubilité dans l'eau à 15.5°C	g/l	7.0

I.IV.4.2. Les propriétés chimiques du chlore

a- L'atome de chlore Cl possède 7 électrons périphériques et montre une forte tendance à accueillir un électron supplémentaire de façon à atteindre la stabilité que confère son enveloppe périphérique constituée de 8 électrons. Il en résulte l'ion chlorure [8].



b- **Les différentes formes du chlore dans l'eau**

Les formes de chlore se répartissent en chlore libre, chlore combiné et chlore

total :

- ✓ **Le chlore libre** : chlore demeurant dans l'eau à la fin d'une période de contact déterminée, et qui peut réagir chimiquement et biologiquement comme acide hypochloreux ou ion hypochlorite.
- ✓ **Le chlore combiné** : partie du chlore résiduel total dans l'eau à la fin d'une période de contact donnée, qui réagit chimiquement et biologiquement en tant que chloramines.
- ✓ **Le chlore total** : la quantité totale de chlore, libre ou combiné, subsistant après le temps de réaction normal de l'eau à la chloration [2].

Quand le chlore est introduit dans l'eau, il y a une **hydrolyse rapide** et réagit pour donner de l'acide hypochloreux selon l'équation suivante :

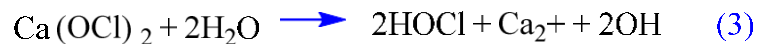


Il se produit une réaction analogue lorsque ce réactif de départ est l'hypochlorite de sodium (eau de javel) ou de calcium :

- Réaction de l'hypochlorite de sodium :



- Réaction de l'Hypochlorite de calcium :



Les équations (1), (2) et (3) montrent que la différence principale entre les hypochlorites et le chlore gazeux concerne les produits secondaires. En effet, l'addition du chlore gazeux libère des ions d'hydrogène H^+ , ce qui abaisse le pH de l'eau, alors que l'addition d'hypochlorites libère des ions d'hydroxydes OH^- , ce qui augmente le pH de l'eau (nous le verrons plus loin, la désinfection est moins efficace lorsque le pH est élevé).

L'acide hypochloreux, HOCl, est un acide faible qui se dissocie de la façon la suivante :



On le constate, cette réaction est fonction du pH de l'eau. Ainsi, un pH élevé favorise la libération d'ions hypochlorites, OCl^- . Par ailleurs, lorsque la concentration de chlore libre est de quelques mg/l et que le pH est situé

entre 5 et 9, la réaction (4) atteint un certain équilibre; dans ces conditions, en effet, il y a coexistence de HOCl et de OCl⁻ comme le montre la figure [10] ; [11].

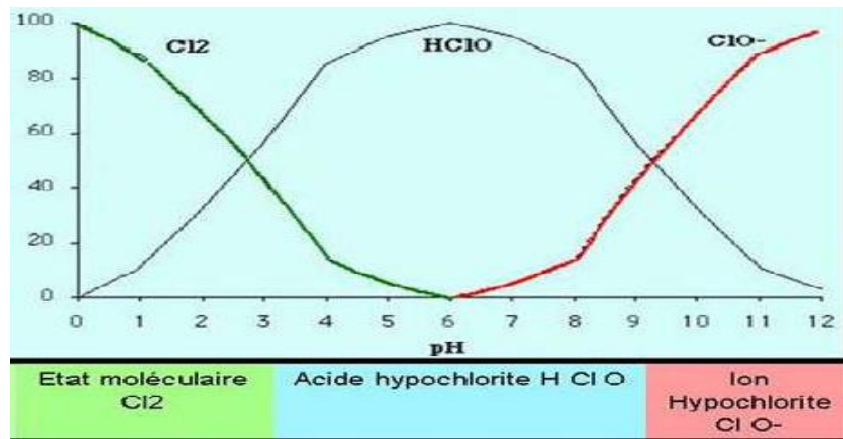


Figure IV.2 : Les différentes formes du chlore selon le pH de l’eau chlorée [5].

Cette notion est importante à connaître, car l’effet germicide de l’acide hypochloreux est très supérieur à celui de l’ion hypochlorite : la désinfection par le chlore sera donc beaucoup moins efficace en milieu alcalin [4].

On peut calculer la proportion de chacun de ces constituants de la façon suivante :

$$K_1 = \frac{[H^+]. [OCl^-]}{[HOCl]}$$

$$K_1 / [H^+] = [OCl^-] / [HOCl]$$

La valeur de K_1 varie en fonction de la température comme le montre le tableau [2].

Tableau IV.4 : Variation de la constante d’équilibre, K_1 , de l’acide hypochloreux en fonction de la température [2].

Température (°C)	K_1 (Mol/L)
0	1.5×10^{-8}
5	1.8×10^{-8}
10	2.0×10^{-8}
15	2.3×10^{-8}
20	2.6×10^{-8}
25	2.9×10^{-8}

I.IV.5. Mise en œuvre de la chloration des eaux (doses- contact CT)

On pratique la chloration de diverses façons selon la qualité de l'eau à traiter et les objectifs à réaliser. [8] ; [11].

Jusqu'à présent on n'a pas considéré du tout la vitesse de réaction du chlore (hypochlorite) avec les micro-organismes. À cet égard, il faut définir le concept **CT**, qui est le produit de la concentration dosée d'hypochlorite par le temps de contact avec le chlore et le microorganisme, pour garantir la désinfection désirée.

La valeur de CT dépend du micro-organisme en question et de la température de l'eau. En plus, tel que on a pu le voir auparavant, l'activité de l'hypochlorite est très influée par le pH, ceci signifie que, en ce qui concerne la désinfection, ce n'est pas la même chose avoir 5 ppm à un pH 7 que à un pH 8. Pour cette raison.

Dans tous les cas, la mise en œuvre de la chloration est étroitement liée au principe du **C x T**, c'est-à-dire, le maintien d'un résiduel de chlore désigné par C pendant un temps T [12].

En ce qui concerne le stockage du chlore, le chlore gazeux est stocké dans des bouteilles en acier de 30 à 50 kg ou des tanks de 500 à 1000 kg. Quant à l'eau de javel, elle peut être livrée par containers, doit être stockée dans des cuves plastiques à l'intérieur d'un cuvelage étanche de rétention et à l'abri de la lumière [12].



FigureIV.3 : Bassin de près-chloration.

I.IV.6. Dosage du chlore

Pour que la désinfection joue son rôle, il faut maintenir une certaine quantité de chlore résiduel pour assurer la qualité de l'eau jusqu'au lieu et moment de sa consommation.

Le dosage de chlore a donc une grande importance sachant les difficultés rencontrées pour doser séparément chaque forme de chlore en ajoutant l'instabilité de ce dernier, surtout aux faibles concentrations.

On peut distinguer de nombreuses méthodes de dosage, de précision et de domaine d'application variable.

En général, l'instabilité du chlore reste une des principales sources d'erreurs et il ne faut pas oublier que la lumière accélère sa décomposition donc il faut l'éviter au prélèvement.

Pour la détermination des teneurs en chlore des eaux et des extraits de javel, il existe différentes méthodes telles que : [13]

- Méthode volumétrique ou iodométrique ;
- Méthodes de DPD (Diethyl -Para -Phénylène -Diamine) ;
- Méthode ampérométrique ;
- Méthode au violet leuco cristal (VLC), [14].

Les plus utilisées est la méthode de DPD et iodométrique. Cette dernière reste la méthode de base pour le dosage du chlore total des eaux traitées et du chlore actif d'une eau de javel [11].



Figure IV.4 : Réservoirs du chlore.

I.IV.7. La pratique de la chloration à travers le monde

Sur le plan pratique, la désinfection par le chlore est généralement réalisée par l'hypochlorite de sodium dans le cas de petites installations et par le chlore gazeux dans les usines importantes, l'usage de ce chlore peut se voir en pré-chloration et en post-chloration, mais au cours de ces dernières années, la chloration a souvent été limitée au post-traitement [7].

Par ailleurs, la chloration d'une eau chargée en matières organiques conduit à la formation de trihalométhanes [15] ; [16].

Pour l'ensemble de la population américaine exposée aux THM par l'eau traitée, l'US EPA estime qu'environ 2232 cas de cancer de la vessie pourraient être évités annuellement aux Etats-Unis en abaissant la norme fédérale pour les THM de 100 µg/l [17]) à 80 µg/l [18].

La concentration maximale admissible pour les trihalométhanes est actuellement aux U.S.A de 100 µg/l (norme de l'E.P.A). C'est un taux élevé, car certaines villes aux U.S.A, New York en particulier, ne traitent pas leur eau et se contentent de chlorer l'eau brute à 0.7 à 2 mg/l de façon à conserver au moins 0.2 mg/l de chlore résiduel au robinet [19].

Par ailleurs, vu les effets secondaires de la chloration, cela a conduit les traiteurs d'eau français à abandonner la pré chloration des eaux brutes et à ne chlorer qu'en fin de filière de traitement pour limiter la formation des trihalométhanes [20] ; [16] ; [21].

Le code de la santé publique reprend les valeurs de la directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998, à savoir que la concentration totale en THM ne doit pas dépasser 100 µg/L. Il n'est pas mentionné de limites particulières pour chaque composé [22].

Par contre, l'Organisation Mondiale de la Santé [23] a publié des valeurs guides concernant les différents composés :

- ✓ 300 µg/L pour le chloroforme ;
- ✓ 60 µg/L pour le dichlorobromométhane ;
- ✓ 100 µg/L pour le chlorodibromométhane ;
- ✓ 100 µg/L pour le bromoforme.

I.IV.8. La pratique de la chloration en Algérie

En Algérie, le chlore est utilisé surtout sous sa forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel) et plus rarement sous forme de chlore gazeux [24]. L'usage de chlore se voit en pré-chloration et en post-chloration.

Du fait du manque d'expérience du personnel des stations, les taux sont rarement ajustés à la qualité de l'eau et sont assez souvent fortement majorés [25].

Des séminaires nationaux sur la désinfection ont aussi montré que la chloration est encore mal maîtrisée, pratiquée de manière aléatoire et sans réglementation précise, notamment pour la fabrication des solutions désinfectantes [25].

I.IV.9. Liste de vérification de la chloration

- Pour une désinfection efficace, le chlore nécessite une période de contact avec l'eau d'au moins 30 minutes. Idéalement, le chlore doit être ajouté à la fin du processus de traitement de l'eau, juste avant le stockage et son utilisation. Cette étape finale garantit que le chlore a suffisamment de temps pour agir sur les micro-organismes présents dans l'eau, assurant ainsi une désinfection adéquate avant que l'eau ne soit stockée ou distribuée aux consommateurs.

- Il est important de ne jamais ajouter du chlore avant une filtration lente sur le sable ou tout autre processus biologique, car cela pourrait compromettre l'efficacité du traitement. En effet, le chlore tue les bactéries présentes dans ces systèmes qui contribuent au processus de traitement de l'eau. Par conséquent, si le chlore est introduit avant la filtration lente sur le sable ou d'autres processus biologiques, il peut rendre le traitement inefficace en éliminant les bactéries nécessaires pour purifier l'eau. Il est donc recommandé de respecter l'ordre des étapes de traitement de l'eau et d'ajouter le chlore à la fin du processus, comme mentionné précédemment, pour assurer une désinfection sans compromettre les autres étapes de purification.

- Il est impératif de suivre rigoureusement la procédure exacte pour ajouter un désinfectant à l'eau, afin d'assurer une désinfection efficace. De plus,

il est crucial de procéder à des contrôles réguliers des systèmes d'approvisionnement en eau afin de détecter toute contamination bactériologique potentielle.

En effet, il est essentiel de s'assurer que l'eau consommée par les populations est réellement potable et sans risque de contamination. En négligeant ces contrôles et en ne respectant pas les procédures adéquates de désinfection, il existe un risque de tromper les populations en leur faisant croire à tort que l'eau est propre à la consommation, alors qu'elle peut présenter un réel danger pour leur santé en raison d'une possible contamination.

Il est donc primordial de mettre en place des mesures de surveillance régulières, de respecter les protocoles de désinfection appropriés et de communiquer de manière transparente avec les populations afin de garantir l'approvisionnement en eau potable et d'éviter tout risque de contamination.

- Le niveau de **chlore résiduel optimal** dans un petit système collectif d'approvisionnement en eau se trouve entre **0,2 et 0,5 mg/l** [6].

I.IV.10. Où et quand tester l'eau ?

Dans la plupart des réseaux d'approvisionnement en eau, la chloration continue est souvent utilisée. La chloration régulière des autres systèmes d'approvisionnement est plus difficile et est généralement effectuée lors d'opérations de maintenance, ou après des réparations pour assurer la désinfection. Les tests de chlore résiduel sont généralement effectués dans les cas suivants :

1. Juste après l'ajout de chlore dans l'eau pour s'assurer que le processus de chloration fonctionne correctement.

2. Au point d'utilisation le plus proche du point de chloration pour vérifier que les niveaux de chlore résiduel se situent dans une fourchette acceptable.

3. Aux points les plus éloignés du réseau où les niveaux de chlore résiduel seront probablement les plus bas. Si les niveaux de chlore résiduel sont inférieurs à la valeur minimum recommandée, il peut être nécessaire d'ajouter du chlore à un point intermédiaire du réseau.

La quantité de chlore résiduel varie au cours de la journée et de la nuit.

Supposant que le réseau de canalisations soit sous pression en permanence, il y aura généralement plus de chlore résiduel pendant la journée que pendant la nuit. Cela s'explique par le fait que l'eau reste plus longtemps dans le système la nuit (lorsque la demande est faible), augmentant ainsi le risque de contamination de l'eau, ce qui réduit la quantité de chlore résiduel. Le chlore résiduel est consommé par la destruction de nouveaux contaminants [23].

I.IV.11. Quelques définitions

Avant de présenter l'action du chlore sur diverses matières de l'eau, il est utile de définir les expressions ci-dessus : [2]

- **Chloramine** : Produit résultant de la combinaison du chlore et de l'ammoniac d'origine organique ou inorganique. C'est un antiseptique que l'on préfère employer dans certains cas à la place du chlore pour la désinfection des eaux, notamment dans les cas où celles-ci contiennent des traces de phénols : il ne se produit pas de goûts de chlorophénols.
- **La demande en chlore** : Quantité de chlore pouvant être consommée par les éléments réducteurs de l'eau pour sa désinfection et pour la destruction des matières organiques.

La demande pour une eau donnée varie avec la quantité de chlore ajoutée, le temps de contact et la température.

- **Chloration au point de remontée ou chloration au point critique** : Addition du chlore à l'eau jusqu'à ce que la demande en chlore soit satisfaite et que toute addition subséquente entraîne une teneur résiduelle directement proportionnelle à la quantité ajoutée au-delà du point de remontée.
- **Chlore actif** : Chlore lui-même, acide hypochloreux, ion hypochlorite ou toute substance dont l'hydrolyse libère l'une de ces trois substances [26].
- **Chlore actif libre**: Cette expression est utilisée pour désigner le chlore lui-même ou existant dans l'eau sous forme d'acide hypochloreux et d'ion hypochlorite [26].
- **Chlore actif combiné** : Désigne les dérivés du chlore qui, par hydrolyse libèrent de l'acide hypochloreux ou des ions hypochlorite. Les plus courants sont les chloramines [26].

- **Chlore résiduel** : Teneur en chlore subsistant dans une eau soumise à la chloration après un temps de contact choisi. Cette teneur indique qu'il n'y a plus dans l'eau de substance susceptible de réagir avec le chlore [26].
- **Chlore total** : Ensemble du chlore en solution sous forme d'hypochlorite, de chlorures, de chlorite et de chlorate, etc [26].
- **Degré chlorométrique** : Unité de concentration des eaux ou extraits de Javel., le pouvoir oxydant de un litre d'eau ou d'extrait de Javel à 20°C.
Un litre de chlore gazeux à 0°C et sous une pression de 1 bar, pèse **3,17 g** [26].
- **Eau de Javel (titre inférieur à 40° chlorométriques) et extraits de Javel (titre supérieur ou égal à 40° chlorométriques)** : Désignent des solutions plus ou moins concentrées d'hypochlorite de sodium, contenant des quantités variables de chlorure de sodium [26].

I.IV.12. Action du chlore sur les constituants de l'eau

I.IV.12.1. Effet biocide du chlore

Pour préserver la santé du consommateur, l'eau distribuée doit être dépourvue de tout germe pathogène constituant un risque microbiologique infectieux. Cet impératif nécessite l'emploi d'un désinfectant énergique et puissant comme le chlore. Le mode d'action du chlore sur les microorganismes est dû principalement à une réaction chimique d'oxydoréduction.

Cependant, les sites d'action de cet oxydant dépendent de la nature du microorganisme et de sa structure chimique [27]. En effet, le chlore pourra avoir une action destructrice directe sur la structure de la cellule vivante, mais cela à des doses résiduelles élevées. De même, la pénétration du chlore dans la cellule et son action sur les constituants cellulaires permet l'inactivation du microorganisme [28] ; [29].

Dans la pratique, l'effet germicide du chlore est influencé par les substances réductrices contenues dans l'eau. Il est alors nécessaire de tenir compte de la demande chimique en chlore avant de décider de la concentration optimale de chlore à appliquer pour la désinfection proprement dite [30]. **On doit donc assurer, la demande de chlore de l'eau avec un léger excès résiduel (0,1 à 0,5 mg/l)**. Ce résiduel présente un pouvoir rémanent important et empêche tout

développement de microorganisme à condition que cela ne produise pas un goût ou une odeur de chlore dans l'eau traitée [20] ; [11].

I.IV.12.2. Effet du chlore sur les composés minéraux

I.IV.12.2.1. La composition minérale des eaux

Les eaux naturelles présentent la particularité d'avoir des compositions physico- chimiques variées. Ainsi leur minéralisation peut varier de quelques milligrammes par litre à quelques dizaines, voire centaines de grammes par litre.

A l'exception de certaines eaux minérales froides et peu minéralisées dont la faible minéralisation constitue leur critère de spécificité, toutes les autres eaux présentent en plus, à des degrés divers, des éléments susceptibles de présenter un rôle ou une action particulière exploitée notamment en thermalisme.

Les caractéristiques minérales essentielles d'une eau naturelle sont représentées par :

- Des éléments majeurs essentiels anioniques (hydrogénocarbonates, sulfates, chlorures) et cationiques (calcium, magnésium, sodium, potassium),
- Une teneur en éléments mineurs spécifiques, naturellement présents dans l'eau, qui signent le faciès de certaines eaux : azote ammoniacal, sulfures, nitrates, fer, manganèse, fluor, bromure.

Les caractéristiques essentielles de l'eau s'acquièrent par contact de l'eau avec les formations géologiques traversées et dépendent des conditions de pression, de température et de temps de séjour [31].

I.IV.12.2.2. Interactions chlore/ éléments minéraux

a- Azote ammoniacal

L'action du chlore sur l'azote ammoniacal présente un intérêt particulier. Elle procède suivant un mécanisme complexe qui conduit en premier lieu à la formation de monochloramine (NH_2Cl) (équation 1), puis de la di- et tri-chloramine (NHCl_2 et NCl_3) (équations 2 et 3) [32]:



L'ensemble de ces chloramines minérales (ainsi que les chloramines organiques éventuellement formées par action du chlore sur des composés organoazotés) constitue ce que l'on appelle **le chlore combiné**, par opposition au chlore libre.

La présence et la concentration de ces différentes formes dépend du pH, de la température, du rapport chlore/ammoniacal et du temps de réaction.

Pour des taux de chloration plus élevés, des réactions complémentaires complexes aboutissent à la destruction des chloramines, la réaction globale (4) étant la suivante :



Cette réaction implique la consommation de 3 moles de chlore pour 2 moles d'azote ammoniacal, soit **un rapport molaire de Cl₂/NH₃ égal à 1,5 et un rapport massique de 7,6 mg de chlore par mg d'azote.**

La dose de chlore correspondant à cette stœchiométrie est appelée « **break point** » ou **point de rupture**.

La courbe ci-dessous représente une courbe typique de break-point, telle qu'on peut l'obtenir sur une eau naturelle.

Le tracé de cette courbe s'obtient en ajoutant des doses croissantes de chlore dans une série de flacons contenant un même volume d'eau.

Après un temps de contact donné (1 ou 2 heures en général) on procède au dosage du chlore total (chlore libre + chlore combiné).

La présence dans les eaux de composés minéraux réducteurs et de matière organique consommatrice de chlore augmente la consommation en chlore et décale le break-point au-delà de la stœchiométrie des réactions Cl₂/ NH₃ (rapport massique > 7,6).

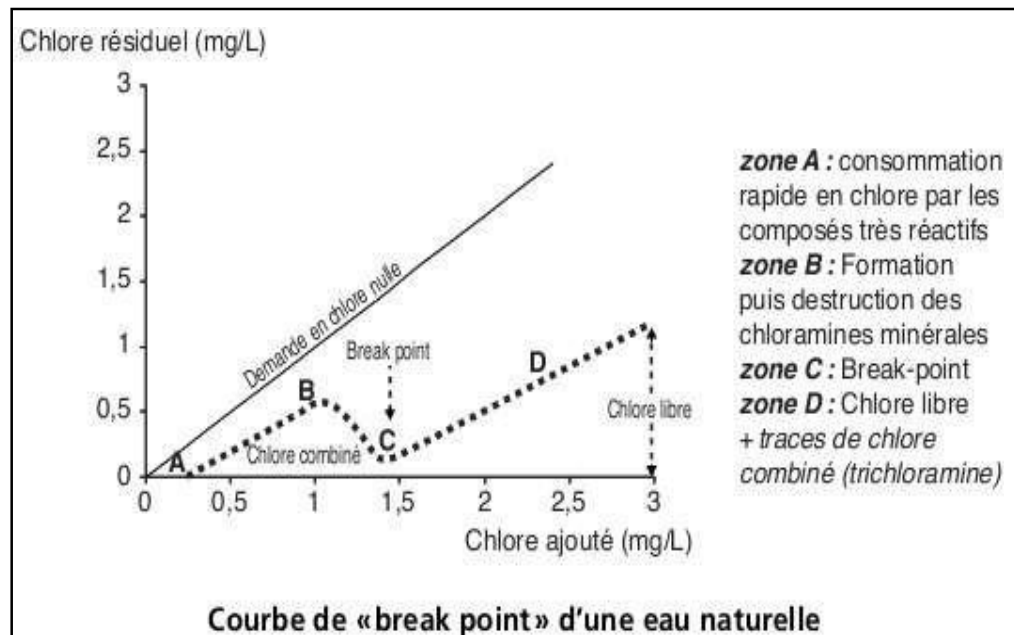
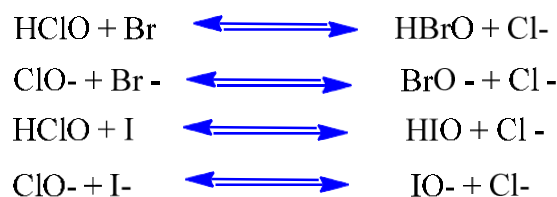


Figure IV.5: Courbe de Break-point d'une eau naturelle [32].

b. Ions bromures et iodures

Les ions iodures se trouvent dans les eaux naturelles à des très faibles concentrations, tandis que les ions bromures se rencontrent à des taux très variables. En présence du chlore, les bromures et les iodures s'oxydent facilement en iode et en brome, ces entités présentent un comportement similaire à celui du chlore. Ils réagissent en combinaison avec le chlore sur les composés organiques pour conduire aux composés organobromés et organoiodés [20] ; [33].

Les réactions susceptibles de se produire sont les suivantes : [13]



c. Fer et manganèse

a. Oxydation du fer

Le chlore réagit avec le fer ferreux pour le transformer en fer ferrique → l'hydroxyde ferrique est éliminé par sédimentation ou filtration comme suit :



La corrosion dans le réseau de distribution et la réaction qui s'ensuit avec le

chlore peut aussi être source de formation de sulfate ferreux. La stabilité du chlore résiduel durant la distribution en sera affectée et il faudra prévoir un supplément de chlore dans le réseau de distribution pour maintenir une teneur en chlore résiduel [34].

b. Oxydation du manganèse

Le chlore transforme le Mn^{2+} en Mn^{4+} → L'oxyde de manganèse forme une couche précipitée lors de la filtration ou dans le réseau comme suit :

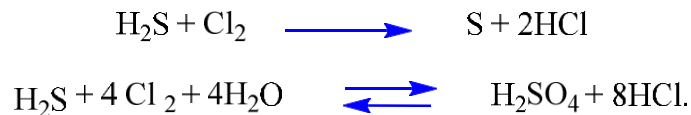


d. Nitrites et sulfures

Les nitrites peuvent être présents dans les eaux à potabiliser ou apparaître comme des composés transitoires lors de l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal. Pour leur élimination, les nitrites devront être oxydés en nitrates [11]. En utilisant le chlore, cette oxydation se produit selon la réaction suivante [13] :



Quant aux sulfures, le chlore détruit l'hydrogène sulfuré contenu dans les eaux et générateur de mauvaises odeurs, en le précipitant sous forme de soufre élémentaire ou pour former de l'acide sulfurique suivant les réactions [35].



- ❖ Le tableau suivant donne une idée des doses de chlore à appliquer pour oxyder 1 mg/l des éléments inorganiques que sont le fer, le manganèse, H_2S et les nitrites. La présence de ces éléments est consommatrice de chlore qui ne sera pas disponible pour la désinfection.

Tableau IV.5 : Doses de chlore nécessaire à l'oxydation de 1 mg/l des éléments inorganiques [4].

Elements	NH_4^+	Fe^{2+}	Mn^{2+}	H_2S	NO_2^-
Cl_2 (mg/l)	7 à 10	0.63	1.3	3.4	1.5

I.IV.12.3. Effet du chlore sur les composés organiques

Il existe trois modes d'action du chlore sur les molécules organiques. On peut citer [12] :

- ✓ Les réactions d'oxydation sur les fonctions réductrices ou réduites ;
- ✓ Les réactions d'addition sur des liaisons insaturées ;
- ✓ Les réactions des substitutions électrophiles sur les sites nucléophiles.

I.IV.12.4. Effet de la minéralisation des eaux sur la chloration des composés organiques

Dans un milieu aqueux, le chlore donne lieu à un ensemble de réactions chimiques compétitives avec les micropolluants organiques et minéraux, en particulier, les ions bromures et l'ammonium (NH_4^+) [20] ; [36]. Ainsi, la présence de certains métaux tels le fer et le manganèse soit en solution, soit combinés à d'autres substances chimiques peut encore compliquer la réaction du chlore avec les constituants de l'eau[37].

I.IV.13. Conclusion

Désinfecter l'eau est une priorité pour la santé publique. Depuis plus d'un siècle, le chlore demeure le désinfectant le plus utilisé pour l'eau potable. Ce traitement vise à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites à l'origine de maladies graves ou mortelles, comme le choléra et la fièvre typhoïde ainsi que la majorité des germes banals moins résistants.

En effet, le chlore et ses composés, tels que l'hypochlorite de calcium, sont relativement bon marché et faciles à obtenir ; en outre, la rémanence du chlore permet à l'eau de rester désinfectée tout au long du circuit des canalisations, des pompes, les châteaux d'eau, et jusqu'au robinet du consommateur.

La désinfection au chlore a un double objectif : d'une part, désinfecter l'eau et, d'autre part, neutraliser certains contaminants minéraux ou organiques par oxydation.

Le chlore donne lieu aussi avec les micropolluants organiques un ensemble de sous-produits organohalogénés comme le THM soupçonnés d'être toxiques. Cependant, les données scientifiques montrent que les avantages de la chloration de l'eau potable avec des doses optimales de chlore surpassent de loin les risques sanitaires que peuvent poser ces sous-produits organiques.

Références bibliographiques

- [1]. **Kemmer. F, (1984)**, Manuel de l'eau, Ed. Technique et documentation, Lavoisier, Paris, France.
- [2]. **Desjardins. R, (1997)**, Le traitement des eaux, 2^{ème} édition, Revue et amélioré Edition de l'école polytechnique, de Montréal, Canada.
- [3]. **Ellis. K. V, (1991)**, Water disinfection: A review with some consideration of the requirement of the third word, Crit. Rev. Environ. Control, 20, 5-6, 341-407.
- [4]. **Moles. J, (2003)**, La désinfection en eau potable, TEE- 03.241R-LDR/RA, France.
- [5]. **Saint. B, (2011)**, Journée d'information & d'échanges des fontainiers, La désinfection de l'eau, France.
- [6]. **Wastewater disinfection, (2000)**, Water and waste water treatment, A Guide for Non engineering professional, Nancy E. Whiting and Joanne E. Drinen, pages 207-220.
- [7]. **Degrémont, (1989)**, Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, 9^{ème} édition, Tome I, Lavoisier éditeur (Technique et documentation), Paris, France, ISBN 2- 9503984-0-5, 592 p.
- [8]. **Beaudry. J.P, (1984)**, Traitement des eaux, Edition le Griffon d'argile, INC Quebec, Canada.
- [9]. **Tchobanoglous. G, Burton. F, Stensel. H.D, (2003)**, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 4th Ed, Mc Graw – Hill Higher Publication, Metcalf & Eddy, Inc, New York, 1218-1244.
- [10]. **Welté. B, Durand. C, (2002)**, Eau potable : Opportunité et efficacité des rechloration sur réseaux, Guide méthodologique, Agence de l'eau Adour Garonne, France.
- [11]. **Rejsek. F, (2002)**. Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques, centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, France.
- [12]. **Cardot. C, (1999)**, Les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus, Ellipses Edition Marketing S.A, Paris, France.
- [13]. **Doré. M, (1989)**, Chimie des oxydants et traitements des eaux. Edition technique et documentation, Lavoisier, Paris, France.
- [14]. **Croué. J. P, (1987)**, Contribution à l'étude de l'oxydation par le chlore et l'ozone d'acides fulviques naturels extraits d'eaux de surface, Thèse de Docteur d'Université, Poitiers, France.
- [15]. **Achour. S, (1992)**, La chloration des eaux de surface et ses effets sur la formation de composés organohalogénés toxiques, Thèse de Magister, ENP, Alger, Algérie.
- [16]. **De Laat. J, Merlet. N, Doré. M, (1982)**, Chloration de composés organiques : Demandes en chlore et réactivité vis-à-vis de la formation de THM, Wat. Res, 16, 1437- 1450

- [17]. **United States Environmental Protection Agency, (1979)**, National interim primary drinking water regulations; Control of trihalométhanes in drinking water; Final rule, In Federal Register (40 CFR Part 141, November 1979), p. 68624-68707.
- [18]. **United States Environmental Protection Agency, (1998)**, National interim primary drinking water regulations; Disinfectants and disinfection byproducts; Final rule, In Federal Register Part IV (40 CFR Part 9, 141 abd 142, December 1998), p. 69390-69476
- [19]. **Michel. M, (1993)**, Organisation de la sécurité des réseaux de distribution d'eau potable. La Houille blanche 1, 38-42.
- [20]. **Merlet. N, (1982)**, Contribution à l'étude du mécanisme de formation des THM et des TOX non volatils lors de la chloration de molécules modèles, Thèse de Doctorat Es-Sciences physiques, Université de Poitiers, France
- [21]. **Jadas Hécart. A, El Morer. A, Stitou. M, Bouillot. P, Legube. B, (1992)**, Modélisation de la demande en chlore d'une eau traitée, Wat. Res, 26, 8, 1073-1084.
- [22]. **Memotec, (2006)**, La problématique des THM dans l'eau destinée à la consommation humaine, séminaire n°9, révision A, France.
- [23]. **OMS, (2006)**, Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.
- [24]. **Achour. S, (2001)**, Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tizi-Ouzou, Algérie.
- [25]. **Achour. S, Moussaoui. K, (1993)**, La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation des composés organohalogénés, Environ.Tech, 14,885- 890.
- [26]. **MOHAND-Said Ouali**, Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux ; ingénierat en chimie industrielle ; option : Génie de l'environnement.
- [27]. **Boisdon.V, (1995)**, Efficacité de la désinfection par les procédés d'oxydation chimique et de rayonnement ultraviolet, T.S.M, 3,228-235.
- [28]. **Deguin. A, (1996)**, Maitrise de la désinfection de l'eau et des sous-produits de désinfection, T.H.M, 7-8, 516-522.
- [29]. **Bourbigot. M.M, (1996)**, La désinfection des eaux : Contraintes, Contradictions, Solutions, L'eau, L'Industrie, Les Nuisances, 195, 24-26.

Chapitre IV La désinfection par le Chlore

- [30]. **Cheval .A, (1982)**, La désinfection des eaux de consommation, Ed Office international de l'eau.
- [31]. **Afssa , (2005)**, Agence Française De Sécurité Sanitaire Des Aliments. Evaluation de la stabilité de la composition des eaux minérales naturelles, rapport de comité d'experts spécialisé « Eaux », p9
- [32]. **Rodier. J, (2009)**, L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
- [33]. **Legube. B , (1996)**, le traitement des eaux de surface pour la production d'eau potable, Guide Technique, Agence de l'eau Loire-Bretagne, France.
- [34]. **Seby. P, (2006)**, Etude de la chloration sur le réseau d'eau potable du Syndicat d'Annonay – Serrières, France
- [35]. **White.G. C, (1972)**, Handbook of chlorination, Ed. Van Nostrand, New York, chap 1,10.
- [36]. **Merlet. N, (1986)**, Contribution à l'étude du mécanisme de formation des THM et des TOX non volatils lors de la chloration de molécules modèles, Thèse de Doctorat Es- Sciences physiques, Université de Poitiers, France.
- [37]. **Knocke. W. R, Van Benschoten.J, Kearney. J, Rehow.D, (1990)**, Alternative oxidants for the removal of soluble iron and manganese, Ed. AWWA Research Foundation, 132-142,U.S.A.

Deuxième partie

*Protocoles Expérimentaux
&
Résultats et Discussions*

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude



II.I. Introduction

Avec l'accélération impressionnante liée au développement industriel depuis le XXe siècle, une technologie des grands aménagements hydrauliques s'est développée. En observant ces réalisations spectaculaires et en cherchant à comprendre leur origine, leur rôle et leur fonctionnement, nous pouvons prendre conscience de l'importance vitale de l'eau pour l'humanité et de la nécessité de maîtriser ses ressources pour le développement des sociétés contemporaines.

Le long des cours d'eau, des digues et des barrages sont construits pour créer des réservoirs avec divers objectifs tels que la régulation du débit en atténuant les crues, le prélèvement d'eau pour l'irrigation des terres agricoles avoisinantes ou pour la production d'énergie hydroélectrique. Au fur et à mesure que l'industrie a commencé à avoir besoin de quantités importantes d'énergie, des installations plus conséquentes et de plus en plus rationalisées ont été conçues et mises en place.

D'autre part, le changement climatique que nous vivons actuellement a des répercussions complexes sur l'eau dans le monde.

Les conséquences du changement climatique sur l'accès à l'eau sont multiples. Le réchauffement climatique entraîne des dérèglements météorologiques extrêmes et provoque une multitude de catastrophes naturelles à travers le monde. Les tempêtes, les sécheresses et les inondations sont de plus en plus fréquentes et intenses.

De nos jours, les retenues d'eau sont un outil important pour la gestion de la ressource en eau. Elles permettent de stocker l'eau en période de crue pour la restituer en période de sécheresse. Ces retenues collectent et stockent l'eau de pluie pour sécuriser les moyens de subsistance et augmentent les rendements des cultures.

Même les retenues de petite taille qui ont souvent une vocation agricole, et servent principalement pour l'irrigation et l'abreuvement du bétail se sont avérées des outils essentiels pour surmonter les aléas du climat.

II.I.1. Présentation de la Wilaya de Guelma

La ville de Guelma appartient à la wilaya Guelma. Le nom français de la ville est Guelma, le nom anglais de la ville est Guelma. [1].

Se situe au Nord-est du pays et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba – Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum-El-Bouaghi et Tébessa), outre la

proximité du territoire Tunisien à l'Est. Sur une superficie de 3.686,84 Km² et abrite une population (Estimée à fin 2009) de 494079 Habitants dont 25 % sont concentrés au niveau du Chef-Lieu de Wilaya. La densité moyenne de cette population est de 132 Hab. /Km²[2].

Le climat est froid en hiver, sec en été. Guelma se situe au cœur d'une grande région agricole, elle est entourée de montagnes (Maouna ou Mahouna, Debagh) ce qui lui donne le nom de ville assiette, sa région bénéficie d'une grande fertilité grâce notamment à la vallée Seybouse et d'un grand barrage (Barrage de Bouhamdene) qui assure un vaste périmètre d'irrigation. Ses ressources agricoles et thermales étaient depuis la nuit des temps la fierté de cette localité [3].



Figure I.1 : Position géographique de la wilaya de Guelma.

II.I.2. Présentation du Barrage Hammam Debagh (Barrage de Bouhamdene)

Le barrage de Hammam Debagh, situé à une vingtaine de kilomètres à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Guelma, unique ouvrage hydraulique, relevant de l'ANBT (Agence nationale des barrages et transferts), destiné à l'alimentation en eau potable ainsi qu'à l'irrigation des terres agricoles, atteint un seuil alarmant de 5%, soit 10,7 millions de mètres cubes sur 183 millions de mètres cubes de sa capacité globale [4].



Figure I.2 : Photo réelle du barrage Bouhamdane.

Le barrage alimente en eau potable (AEP) les agglomérations d'Ain Hassainia, Hammam Debagh, Medjez Amar, Ben Djerrah et Guelma. La population de ces agglomérations est estimée à 162488 habitants selon le recensement de l'année 2008 [5].

Pour l'irrigation le barrage alimente les deux périmètres irrigués Guelma-Bouchegouf d'une part, dont la superficie s'étend sur 13.000 ha, et Drean-Besbès d'autre part dans la wilaya d'El Tarf. Les résultats actuels pour la saison d'irrigation 2016 montrent que le volume prélevé pour l'irrigation avait atteint 20 hm³ [5].

La zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide à subhumide. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations [6]. La température moyenne annuelle modérée dans le barrage Hammam Debagh est de l'ordre de 18,6°C. La représentation des résultats de la température en fonction des précipitations) définit deux saisons typiques d'un climat méditerranéen, avec une saison sèche et chaude qui s'étend du début du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre, et une autre humide et froide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril.

La géologie de la région a été faite à la base de la synthèse des travaux réalisés sur l'Algérie orientale. Le bassin versant de la Seybouse fait partie de la chaîne alpine de l'Algérie orientale [7].



Figure I.3 : Image satellite du barrage Bouhamdane.

Les différents types de pollution dans la région d'étude sont la pollution urbaine représentée par les rejets des eaux usées domestiques de la zone d'étude, qui sont jetés, sans traitement préalable dans les Oueds et la pollution de type agricole [8].

Les précipitations des mois de décembre, janvier et février passés n'ont pas influé sur son taux de remplissage [4].

«En effet, comme nous pouvons le constater cette année, le barrage accuse un faible niveau. Il subit les aléas climatiques de la région. Nous accusons, durant cette période hivernale, de très faibles précipitations dans ce bassin où l'Oued Zenati, principal affluent prenant naissance à Aïn Abid dans la wilaya de Constantine, est resté avare», a déclaré, Douakha Mohamed, directeur du barrage de Hammam Debagh. Et d'expliquer :

«A titre d'exemple, les précipitations relevées ici ont atteint 13,7 mm (millimètres) pour le mois de décembre 2022. 52,7 mm en janvier 2023 et 21 mm en février. Depuis le mois de mars, à ce jours, nous avons enregistré 17,5 mm» [4].

II.I.3. Le cadre géologique et lithologique du Barrage

La géologie et la lithologie sont des parties très importantes dans toute étude hydrologique et hydro chimique. Elles jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltré. Ces paramètres sont conditionnés par la perméabilité du terrain.

La géologie d'Oued Bouhamdane est formée de nappe substratum de calcaire, lequel ont été charriées les nappes dites telliennes, constituées de marnes noirs ou gris. Son bassin versant permet de voir trois formations géologiques : des formations tendres et pentes, des formations superficielles et des formations raides (perméables). La lithologie du bassin versant de l'oued Bouhamdane est complexe. Elle présente des variations de résistance et de faciès allant des roches les plus dures représentées par les roches calcaireuses et gréseuses, aux roches les plus tendres marneuses [9].

II.I.4. Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh

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

Tableau I.1 : Les principales caractéristique du barrage Hamam Debagh.

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

II.I.5. Répartition des besoins selon la population

Le tableau ci-dessous représente la répartition des besoins selon la population.

Tableau I.2 : La répartition des besoins selon la population.

Agglomération	Population (hab)	Besoins (hm³ /an)
Ain Hassainia	5897	0.32
HammamDebagh	15384	0.84
Medjez Amar	3575	0.2
Ben Djerrah	8711	0.48
Guelma	128921	7.1

II.I.6.Climat

La région est soumise à un climat de type méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide marquée par une forte pluviométrie allant d'octobre à mai et par de faibles températures, l'autre sèche et chaude avec de fortes températures ; atteignant leur maximum au mois d'août [10].

II.I.7. La station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh

Elle est située à 1 km à l'amont de la localité du barrage de Bouhamden, à environ 2 km au Nord-ouest de l'agglomération du chef-lieu de la commune et se trouve sur la rive droite d'Oued Bouhamdene à 40 km, elle est mise en service en 2003, sa surface est de 3 hectares, et de 296 m d'élévation : La station est alimentée par le barrage Bouhamdene qui possède une capacité théorique de 220 millions de m³ [11].

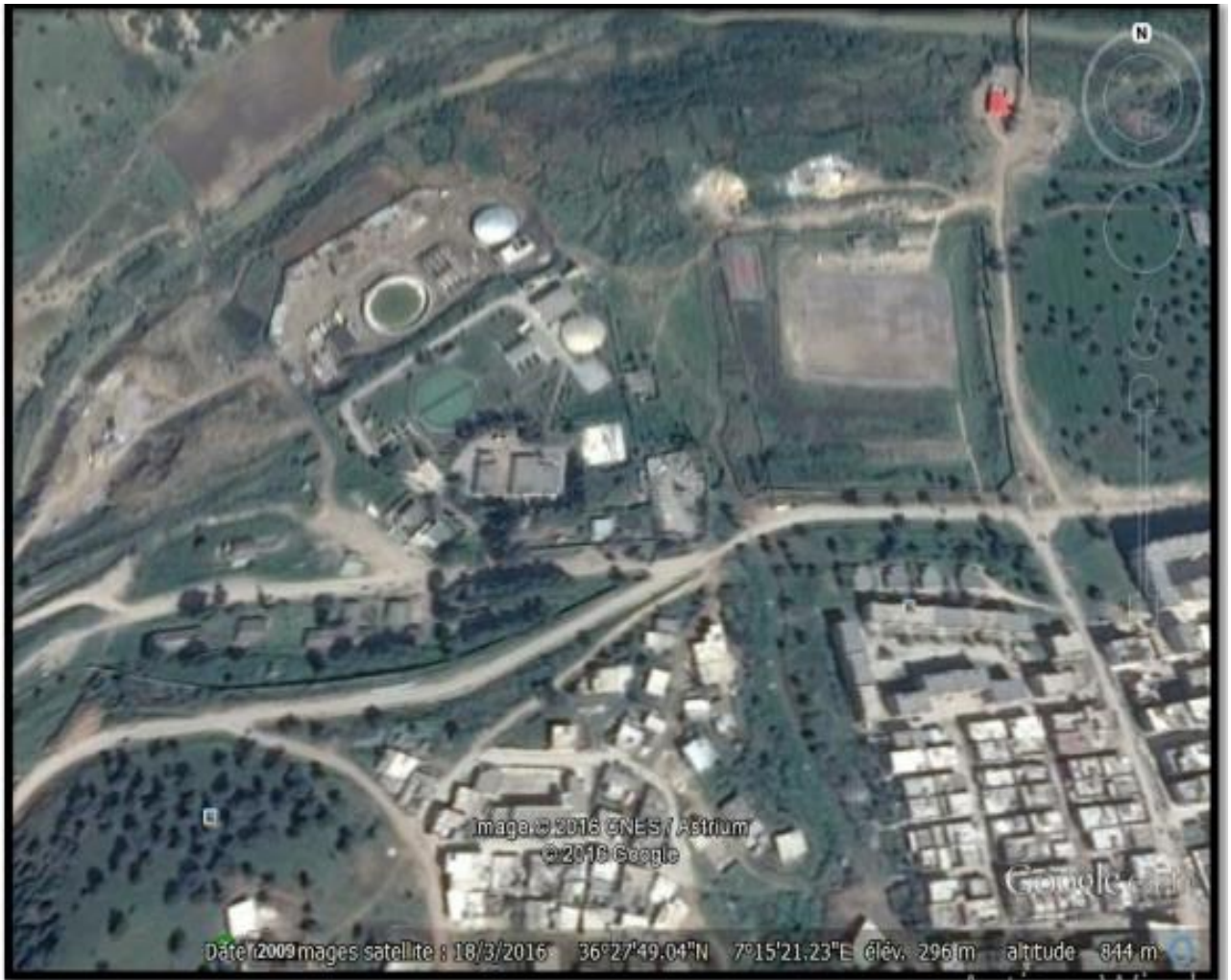


Figure I.4 : Photo satellitaire de la station de traitement de Hammam Debagh.



Figure I.5 : Entrée de la Station de traitement des eaux Hamam Debagh

Références bibliographiques

- [1]. http://www.villes.co/algerie/ville_guelma_24000.html
- [2]. <https://www.dcwguelma.dz/fr/index.php/10-menu-principal/44-situation-geographique>
- [3]. **Khacha. A, 2017**, Diagnostic du réseau d'adduction de Guelma et calcul hydraulique prévisionnel, Master, Hydraulique, Université 08 Mai 1945 Guelma.
- [4]. <https://elwatan-dz.com/barrage-de-hammam-debagh-wilaya-de-guelma-malgre-un-taux-de-remplissage-de-5-lanbt-rassure>
- [5] **Agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau (A.G.I.R.E), Agence de bassin hydrographique constantinois-Seybouse-Mellegue (ABHCSM).** , (2015-2016), Rapport sur l'analyse de l'année hydrologique du barrage Hammam Debagh. 13p
- [6] **Thèse de magister, 2009**, Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien), Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie.134p
- [7] **Durand D.M, 1996**, Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull.Serv. Carte Géol. Algérie, N.S, n°39, 9.89-131, 9 fig., Alger.
- [8] **Bahroun S., Chaib W., 2017**, La qualité des eaux de surface du barrage Mexa Nord- Est Algérien, Journal of water and Land Développement, Vol. 34 (VII–IX), 11–19.
- [9]. **Stiti. S, Traore. M, 2017**, Bioaccumulation des éléments métalliques traces chez troisespèces de poissons (Barbus barbus, Sander lucioperca et Abramis brama) dans le barrage d'Hammam Debagh Nord-Est d'Algérie, Master, Santé, Eau et Environnement, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [10]. **Atamenia. N, Ziaya. W, 2020**, traitement et analyses des eaux du barrage de Hammam Debagh, Master, Génie chimique, Université de 8Mai 1945 Guelma.
- [11]. **Bara Y, 2016**, Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement Cas de la station de traitement de Hammam Debagh - Guelma, Master, Santé, Eau et Environnement, Université 8 Mai 1945 Guelma.

Chapitre II
Protocoles expérimentaux

Protocoles Expérimentaux

II.II.1.1. Mode de prélèvement

Avant de faire les prélèvements des échantillons à analyser, il faut laisser l'eau couler au moins 5 minutes. Le prélèvement exige certaines précautions. L'eau doit être collectée dans les flacons stériles remplis à 2/3 pour avoir un espace d'air. Pour les analyses physicochimiques, les flacons en polyéthylène ou en verre sont remplis entièrement pour chasser les bulles d'air susceptibles de modifier les analyses. L'eau prélevée destinée pour les analyses ne doit pas dépasser les 24 heures après chaque prélèvement et doit être conservée entre 2 et 5 °C [1].

II.II.2.1. Enregistrement et étiquetage des échantillons

Il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et indélébiles. Dans ces derniers, on doit noter avec précision; la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales [1].



Figure.II.1 : Photos réelles d'échantillons prélevés.

II.II.2. Analyses Chimiques et Physicochimiques de l'eau brute et traitée du Barrage Hammam Debagh

II. II.2.1. Mesure de la couleur :

Mode opératoire

Rincer bien la cuvette avec l'eau distillée. Remplir la cuvette avec de l'eau à analyser jusqu'au trait de jauge. Vérifiez l'absence de bulles d'air avant la mesure. Mettre la cuvette dans l'appareil de mesure (colorimètre). Noter les résultats en Pt/Co [2].



Figure.II.2 : Colorimètre utilisé dans le laboratoire de la station.

II.II.2.2. Mesure de la turbidité :



Figure.II.3 : Image du turbidimètre utilisé.

Mode opératoire

- Rincer la cuvette avec l'eau distillée et remplir avec de l'eau à analyser jusqu'au trait jaugé ;
- Vérifier l'absence de bulles d'air avant la mesure.
- Mettre la cuvette dans l'appareil de mesure cliquer sur (ENTRER).
- L'appareil affiche directement le résultat en NTU.
- Noter le résultat de la turbidité [2].

II.II.2.3. Mesure de la température (°C) et du pH

Mode opératoire :

- Remplir le bécher (250 ml) avec l'eau à analyser.
- Rincer bien l'électrode avec de l'eau distillée, Plonger l'électrode dans le bécher.
- Cliquer sur le bouton (ENTRER) de l'appareil (pour chaque paramètre à analyser) et attendre quelques secondes pour que le résultat apparaisse.
- Noter le résultat du pH et la température [2].

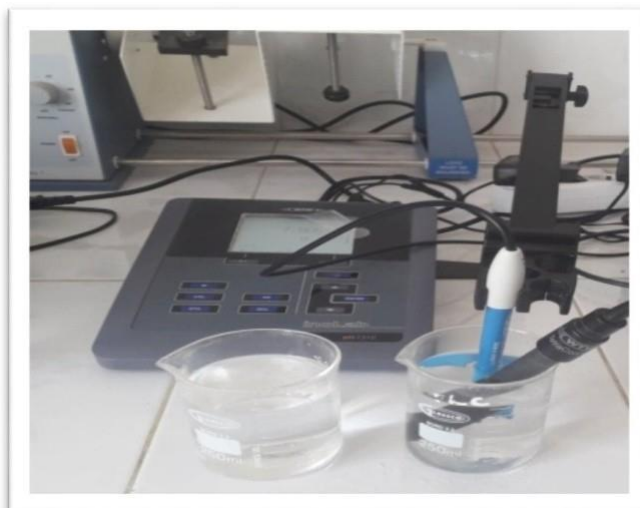


Figure.II.4 : Image d'un pH-mètre

II.II.2.4. Mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :

Mode opératoire :

- Avant de commencer la mesure, il faut d'abord rincer l'électrode de l'appareil par l'eau distillée.
- Plonger l'électrode dans le récipient contenant l'eau à analyser en prenant soins que l'électrode soit complètement immergée.
- Noter le résultat de la conductivité. [1].
-



Figure.II.5 : Images d'un appareil multi-paramètres.

II.II.2.5. Mesure de la totalité des solides dissouts TDS (mg/l) et la salinité :

Mode opératoire :

- Remplir le bécher avec l'eau à analyser.
- Rincer bien l'électrode avec l'eau distillée.
- Plonger l'électrode dans le bécher et cliquer sur le bouton (On).

- L'appareil affiche directement les résultats.
- Noter la TDS et cliquer sur le bouton (x) pour changer le paramètre.
- Laisser un moment jusqu'à l'affichage de la valeur de la salinité.
- Noter les résultats de TDS et de la salinité [3].



Figure.II.6 : Multi-paramètres (TDS, Salinité).

II.II.2.6.Détermination des alcalinités TA et TAC et les bicarbonates :

1) Titre alcalimétrique simple (TA)

Mode opératoire

- A 100 ml d'eau à analyser, ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine.
- Si une coloration rose apparaît, titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur.
- Si la couleur n'apparaît pas le TA = 0 (pH < 8,3 donc TA = 0).
- On note V_{TA} le volume versé [1].



Figure.II.7 : Montage représentant l'analyse de TA.

2) Titre alcalimétrique complet (TAC)

- A 100 ml d'eau à analyser, ajouter 2 à 3 gouttes de méthylorange à 0.5%.
- Titrer par l'acide sulfurique jusqu'au virage rouge orange et noter V_{TAC} le volume versé. [1].



Figure.II.8 : Montage représentant l'analyse de TAC.

3) Détermination de la concentration des (HCO_3^-) ((Voire partie II chapitre 3)

II.II.2.7. Dosage du calcium (Ca^{2+})

Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et une pincée d'indicateur (murexide), et bien mélanger le tout ;
- Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement; le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette; la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.
- Noter le volume V_1 d'EDTA [2].



Figure.II.9 : Dosage du calcium (Ca^{2+}).

II.II.2.8. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de la solution tampon NH_4OH et une pincée d'indicateur : le noir ériochrome T. Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose.
- Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'au virage au bleu; la couleur ne doit pas changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.
- Noter V_{EDTA} le volume d'EDTA utilisé [1].



Figure.II.10 : Images représentant l'analyse de TH

II.II.2.9. Dosage des chlorures (Cl^-) :

Mode opératoire

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10% ;
- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min ; Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent utilisé [1].



Figure. II.11 : Montage représentant l'analyse des Cl^- .

II.II.2.10. Détermination de la matière organique (MO) :

Mode opératoire :

- Introduire dans un erlenmeyer de 250 ml, 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique à 50%.
- Ajouter 10 ml de solution de permanganate de potassium N/80.
- Porter l'échantillon à une ébullition ménagée pendant 10 minutes et à partir du moment où les bulles en formation au fond du ballon viennent à la surface du liquide.
- Ajouter ensuite 10 ml d'acide oxalique N/80 pour décolorer, prévenir immédiatement à la teinte rose faible.
- Retirer alors le béccher de la plaque et le poser sur l'agitateur.
- Titrer pendant que la solution est encore chaude, avec la solution de permanganate de potassium N/80 jusqu'à une coloration rose pâle persistante environ 30 secondes.
- Noter le volume V_1 de la solution de permanganate consommé.
- Faire un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée.
- Noter le volume V_0 de la solution de permanganate consommé [4].



Figure.II.12 : Images représentant l'analyse de la MO.

II.II.2.11. Détermination du résidu sec (RS) :

Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincer avec de l'eau distillée et dessécher
- Prélever 200 ml d'eau à analyser ; porter à l'étuve à 105°C pendant 24 heures ;
- Laisser refroidir pendant ¼ heure aux dessiccateurs ;
- Peser immédiatement et rapidement [4].



Figure. II.13 : Images des accessoires pour la détermination du résidu sec (RS).

II.II.2.12. Détermination des matières en suspension (MES) :

Mode opératoire :

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105°C pendant 20 minutes ;
- Laisser refroidir dans le dessiccateur, ensuite les peser : soit M0 = masse des membranes avant.

- Placer les membranes dans le dispositif de filtration sous vide et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers.
- Rendre les membranes à l'étuve (105°C) afin de sécher les membranes pendant 20 minutes. Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une deuxième fois soit M_1 = masse des membranes après filtration [5].



Figure. II.14 : Image représentant l'analyse de MES.

II.II.2.13. Dosage de l'ammonium (NH_4^+) :

Mode opératoire :

- Prélever 40 ml d'échantillon d'eau à analyser, dans une fiole de 50 ml.
- Ajouter 4 ml du réactif coloré homogénéisé (réactif I), puis ajouter 4 ml du réactif de dichloroisocyanurate de sodium et homogénéisé (réactif II).
- Compléter la fiole jusqu'au jauge (figure II.15); Après au moins 45 min, attendre le développement de la couleur, l'apparition de la couleur verte indique la présence de l'ion ammonium.
- Effectuer les mesures spectrophotométriques UV-visible à 655 nm. [1].
-



Figure.II.15 : Image représentant l'analyse de NH_4^+ .

II.II.2.14. Dosage du fer (Fe^{2+}) :

Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml et ajouter 1 ml d'une solution de chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement.
- Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5.
- Ajouter 2 ml de la solution phénantroline-1,10, compléter à 50 ml puis conserver les fioles à l'obscurité pendant 15 min.
- Enfin, passer au spectrophotomètre pour des mesures à la longueur d'onde de 510 nm [2].



Figure. II.16 : Schéma d'un Spectrophotomètre servant au dosage de (Fe^{2+})

II.II.2.15. Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) :

Mode opératoire :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml avec de l'eau distillée ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 min.
- Passer au spectrophotomètre UV-visible et faites des mesures à la longueur d'onde de 420 nm. [6].



Figure. II.17 : images représentant l'analyse des sulfates (SO_4^{2-}).

II.II.2.16. Dosage des phosphates (PO_4^{3-}) :

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser et 1 ml d'acide ascorbique.
- Ajouter 2 ml du réactif mélange et attendre 10 min ; L'apparition de la coloration bleue indique la présence des phosphates.
- Faire la lecture à l'aide du spectrophotomètre UV-visible à 700 ou 880 nm [1].
-

II.II.2.17. Dosage des nitrates (NO_3^-) :

Mode opératoire :

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à 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 d' H_2SO_4 .
- Laisser reposer 10 min.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.
- Faire la lecture au spectromètre UV- Visible à une longueur d'onde de 415 nm [1].



Figure. II.18 : Images représentant l'analyse des nitrates (NO_3^-).

II. II.2.18. Dosage des nitrites (NO_2^-) :

Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1 ml du réactif mixte ; Attendre 10 min ; L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .

- Faire la lecture au spectrophotomètre UV- Visible à longueur d'onde de 543 nm.
- Expression du résultat : le résultat est donné directement en mg/l [1].

II.II.2.19. Dosage d'aluminium (Al^{3+}) :

Mode opératoire :

- Dans une fiole de 50 ml introduire 25 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2,5 ml de chlorure de calcium ; 1 ml d'acide thioglycolique ; 5 ml de tampon acétate et 1 ml de rouge d'alizarine ; et 15,5 ml d'eau distillée, après 90 min faire la lecture par le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 490 nm [1,2].

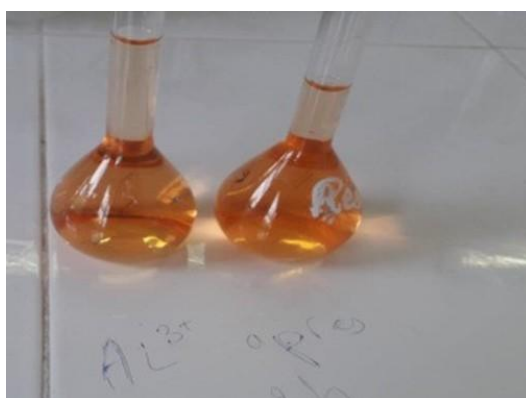


Figure.II.19 : Image représentant l'analyse d'aluminium (Al^{3+})

II.II.3. Analyses Bactériologiques de l'eau brute et traitée du Barrage Hammam Debagh

II.II.3.1. Recherche des germes totaux à 37 °C (GT) :

La recherche et le dénombrement des germes totaux se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les microorganismes à tendance psychrophiles soit à 22°C et ceux mésophiles soit 37 °C [7].

Mode opératoire :

- Verser 1 ml d'eau à analyser au fond de deux boîtes de pétri vides.
- Compléter ces deux boîtes avec une quantité d'environ 15 à 20 ml de gélose TGEA fondue (voir Annexe), refroidir à 45°C.
- Maintenir une agitation délicate en utilisant un mouvement circulaire de va-et-vient en forme de (8) pour permettre à l'eau de se mélanger à la gélose.
- Laisser le milieu 10 minutes sur la paillasse pour se solidifier.
- Rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose [1].

Incubation :

L'incubation se fait à 37 °C pendant 48 h pour la première boîte et à 22 °C pendant 72 h pour la deuxième boîte.

II.II.3.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF) :

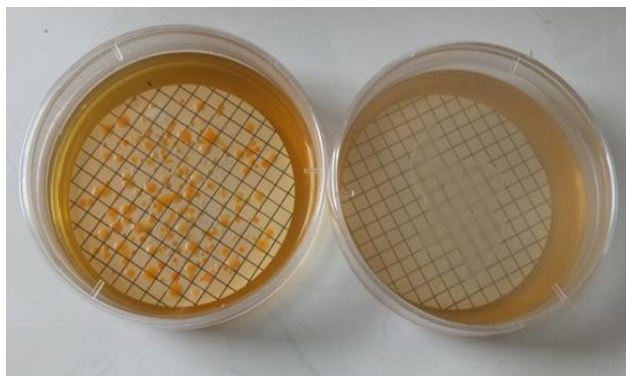


Figure.II.20 : Image représentant l'analyse bactériologique de l'eau (coliformes totaux et fécaux).

Mode opératoire :

Pour les coliformes totaux :

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

Pour les coliformes fécaux :

- Placer dans le milieu Schubert s'il y a des colonies. [7].

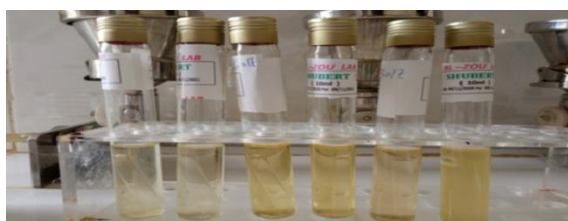


Figure.II.21 : Image représentant les analyses des coliformes totaux et fécaux.

Incubation :

Pour les coliformes totaux :

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

Pour les coliformes fécaux (*Escherichia coli*) :

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

II. II.3.3. Recherche des streptocoques fécaux

Mode opératoire :

- Stériliser l'entonnoir à l'aide d'un bec bunsen.
- Refroidir soit avec l'eau à analyser ou bien de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de 0,45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dernier avec la pince correspondante.
- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 50 ml d'eau à analyser.
- Actionner la rampe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir et transférer la membrane à l'aide de la même pince stérile et placer dans une boîte de pétri contenant de la gélose Slanetz et Bartley [1].

Incubation :

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

II.II.3.4. Recherche des anaérobies sulfite-réducteur (ASR)

Mode opératoire

- Prendre environ 25 ml à partir de l'eau à analyser, dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5ml par tube.
- Ajouter environ 20 ml de gélose viande foie, fondue, puis refroidie à 45 ± 1°C. L'incorporation se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air.
- Mélanger doucement le milieu en évitant la formation des bulles d'air et l'introduction d'oxygène.
- Laisser solidifier sur paille pendant 30 minutes environ [2].

Incubation

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

Remarque : Afin de mener à bien cette étude et de permettre des comparaisons et des conclusions, nous avons opté pour une période de dix mois consécutifs, incluant notre mois de stage, couvrant ainsi presque les quatre saisons de l'année.

II.II.4. Protocoles expérimentaux de la demande en chlore

II.II.4.1. Echantillonnage :

Nous avons effectué les essais des échantillons d'eaux au sein du laboratoire de la station du traitement des eaux Hamam-Debagh. Les échantillons d'eau de barrage ont été prélevés manuellement dans des bouteilles en plastiques de 1,5 L, la bouteille est rincée au préalable avec l'eau à prélever. Puis acheminés au laboratoire de la station de traitement des eaux. Les échantillons d'eau de barrage sont des eaux brutes ont pour but de déterminer la demande en chlore.

Les prélèvements se sont déroulés au cours de la période Mai 2023.

II.II.5. Méthodes analytiques :

II.II.5.1 Procédure expérimentale pour la préparation de la solution du chlore

- : Une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel (NaOCl) de concentration 43° chlorométrique diluée dans l'eau distillée.
- Avant utilisation, cette solution est ramenée à $\text{pH} = 7.5$ à 8 par addition d'acide chlorhydrique concentré HCl . Le chlore actif est donc présent sous forme d'un mélange d'acide hypochloreux HClO et d'ions hypochlorites ClO^- . Son titre exact en g/l puis en degré chlorométrique sont régulièrement vérifiés par la méthode iodométrique à l'aide de solution de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (N/10) [1].
- La solution d'eau de javel est conservée à l'abri de la lumière.

II.II.5.2. Méthodes de dosage du Chlore

II.II.5.2.1. Dosage du chlore résiduel :

Le chlore résiduel est déterminé par la méthode iodométrique, selon Tardat – Henry et Beaudry [2].

Principe de la méthode iodométrique:

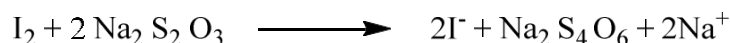
C'est une méthode d'oxydoréduction, ce dosage comporte deux étapes :

1. On ajoute un excès d'iodure de potassium (KI) qui par oxydation libère une quantité équivalente d'iode (I_2). Cette réaction se fait en milieu acide à un

pH de 3 à 4. L'acide acétique est préféré à un acide fort pour ce dosage.



2. L'iode ainsi libéré est dosé par une solution normale de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) selon la réaction suivante :



Expression des résultats :

$$[\text{Cl}_2 \text{ résiduel}] \text{ (mg/l)} = \frac{\text{N}_1 \times \text{V}_1 \times 35.5 \times 10^3}{\text{V}_2}$$

N_1 : Normalité de thiosulfate de sodium 0,1 N.

V_1 : Volume de thiosulfate de sodium versé (chute de burette) en ml.

V_2 : Volume de prise d'essais 10 ml.

35.5: la masse molaire de chlore (en g/l) [8].

II.II.5.3. Détermination de la demande en chlore

Objectif de la méthode :

Déterminer la demande en chlore d'une eau permet d'évaluer le taux de chloration à appliquer à l'eau à traiter pour obtenir une teneur résiduelle en chlore donnée, après un temps de contact fixé et à un pH spécifique. Il est recommandé d'utiliser de la DPD(N,N-diethyl-p-phenylen-diamine), qui permet de distinguer entre chlore libre et chlore combiné.

La DPD, à pH entre 6.2 et 6.5 donne lieu à une coloration rougeâtre qui est proportionnelle à la quantité de chlore libre présent dans le milieu. Par comparaison sur une échelle de couleur, il est possible de déterminer la quantité de chlore libre. Sur le même échantillon, on ajoute de l'iodure de potassium, qui libère le chlore combiné et fait que celui-ci réagisse avec la DPD, ainsi finalement nous disposons de la lecture de chlore résiduel total. Par la différence entre ces deux valeurs, nous pouvons déterminer le chlore Résiduel combiné à température donnée.

Cette demande en chlore doit être effectuée en fonction des objectifs de la

détermination et dans les conditions pratiques de l'installation : température de l'eau, temps de stockage de l'eau chlorée dans le réservoir (en général 1 à 2 heures) ou temps de séjour de l'eau dans le réseau (quelques heures à quelques dizaines d'heures).

Principe de la méthode :

Dans une série de flacons contenant un même volume d'eau à analyser, on ajoute des concentrations croissantes de chlore. La demande en chlore de l'eau est donnée par le premier flacon dans lequel on décèle la présence de chlore libre après un temps de contact déterminé (généralement 1 à 2 heures) [6].

II.II.5.5. Description des essais de chloration

Nos essais ont été réalisés dans des fioles de 100 ml. L'oxydation par le chlore est réalisée à une température ambiante (18 à 20 ° C), par ajout de micro volumes d'eau de javel dilué au 1/10. Après agitation les fioles sont maintenues à l'obscurité.

Ce mode opératoire a été suivi afin de déterminer les consommations en chlore par nos échantillons. Le chlore consommé est déduit de la différence entre le chlore introduit et le chlore résiduel mesuré.



Figure II.22 : Image représentant l'analyse de la demande en Chlore.

II.II.6. (Le quotient CT) : Dose en désinfectant et son temps de contact

Le quotient CT est utilisé pour calculer combien de désinfectant est requis pour désinfecter l'eau. Le "C" réfère à la concentration résiduelle finale d'un désinfectant chimique particulier en mg/L. Le "T" représente le temps de contact minimum (minutes) du matériel à désinfecter avec le désinfectant. Ainsi, l'unité du CT est exprimée en mg.min/L.

$$CT = \text{concentration en désinfectant} \times \text{temps de contact} = C \text{ mg/L} \times T \text{ minutes.}$$

Une fois qu'il y a une concentration résiduelle en désinfectant, Cette concentration résiduelle doit être maintenue durant un temps de contact requis pour éliminer les microorganismes pathogènes.

Pour une désinfection adéquate de l'eau, il est ainsi requis de fournir à l'eau une concentration de désinfectant plus élevé que ce qui était.

Le temps requis pour désactiver un microorganisme particulier **décroit** lorsque la **concentration de désinfectant** (mg/L) **augmente**.

Des essais en laboratoire sont effectués pour trouver quel temps de contact est le plus efficace.

Références bibliographiques

- [1]. **RODIER J. (2009)**, L' Analyse de l'eau 9ème édition DUNOD, Paris
- [2]. **DEGREMONT. (1989)**, Mémento technique de l'eau, 9ème Ed., Ed. Lavoisier, Paris, Tome 1, 575-581.
- [3]. **ACHOUR S ; MOUSSAOUI K. (1993)**, La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation de composés organohalogénés. Environmental technology,14, 885-890.
- [4]. Haas , C.N. Disinfection. Chapter 14 . In Water Quality and Treatment , 5th ed . (ed. R.D. Letterman). New York : McGraw - Hill , 1999 .
- [5]. Schmittinger , P. Chlorine: Principles and Industrial Practice . Weinheim, Germany: Wiley - VCH , 2000 .

- [6]. **CIDF-Ldes Eaux. (2000)**, CIDF Centre International De Formation. Principes généraux de traitement des eaux, Lyonnaise des Eaux, 2000.
- [7]. Rook J. J., Water Treatment and Examination, 23 (2) (1974) 234.
- [8] Bergan, T. and Lystad, A. (1972): Evaluation of disinfectant inactivators. Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica Section B, 80: 507–510



Chapitre III
Résultats & Discussions

II.III. Analyses Chimiques et Physicochimiques de l'eau au niveau de la station de traitement du barrage de Bouhamdane

II.III.1. Mesure de la turbidité :

Tableau 1 : Résultats des analyses de la turbidité pour la période (janvier 2023 à avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
Turbidité (NTU) Eau Brute (EB)	8.81	6.75	8.23	12.5
Turbidité (NTU) Eau Traitée (ET)	0.79	0.53	0.43	1.11

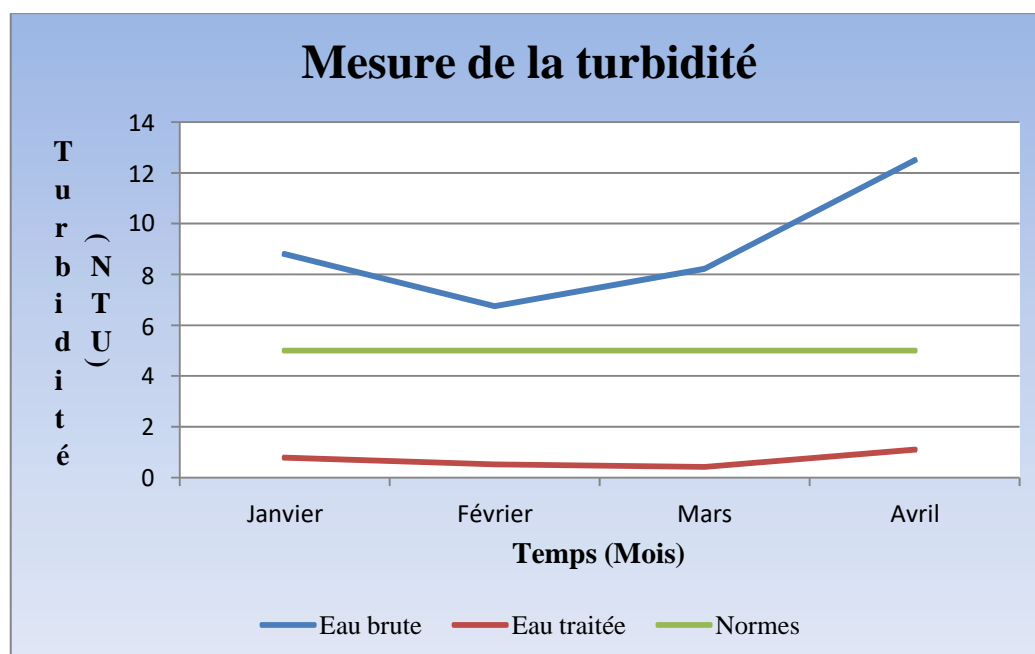


Figure III.1 : Evolution de la turbidité (Turb) dans l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et Discussion :

La turbidité est une propriété qui renseigne sur la limpidité d'une eau ; Elle dépend de matières colloïdales dans l'eau.

L'examen des résultats montré dans la figure ci-dessus révèle une fluctuation de la turbidité des eaux brutes au fil du temps, avec des pics de valeurs tantôt élevées, tantôt basses.

La période allant de janvier, Mars et Avril enregistre une turbidité élevée, en grande partie attribuable aux précipitations. À cette époque de l'année, l'eau, au cours de son trajet, se charge d'un nombre important de particules qui la rende trouble. Les matières en suspension sont de diverses natures, incluant des matières d'origine minérale telle que l'argile, le limon, le sable, des microparticules et des microorganismes.

Cependant, grâce aux traitements effectués dans la station de traitement d'eau, la turbidité a considérablement diminué, avec toutes les valeurs pour l'eau traitée demeurant inférieures à la valeur indicative (5 NTU) établie par la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable.

II.III.1.2. Mesure de la température (C°) :

Tableau 2 : Résultats des analyses de la température pour la période (janvier 2023 à avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avril
T (°C) Brute (EB)	10.3	7.3	12.3	14.6
T (°C) Traitée (ET)	10.3	7.3	12.2	15.7

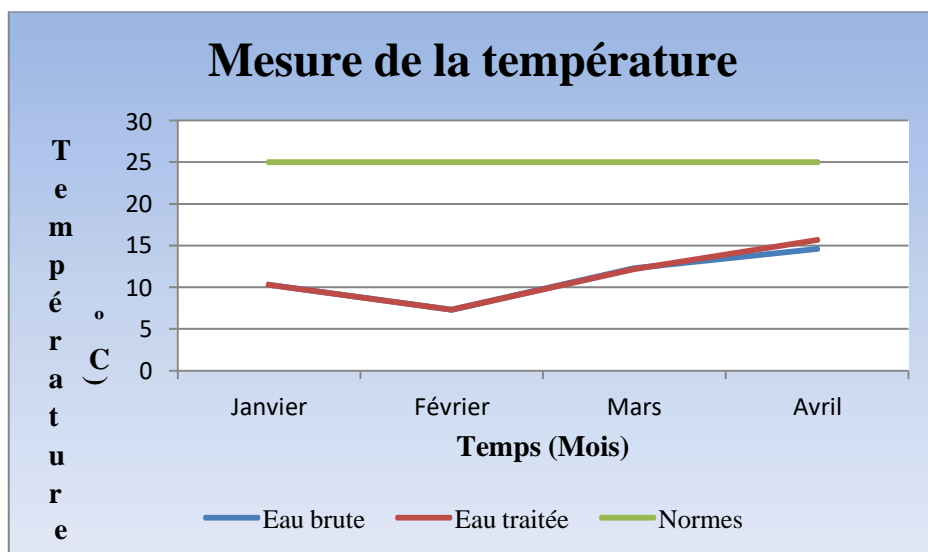


Figure.III.2 : Evolution de la température (T) au cours des mois (janvier 2023 à avril 2023).

Interprétation et Résultats :

Le graphique ci-joint témoigne d'une variation des températures de l'eau brute et de l'eau traitée, oscillant entre 7°C et 15°C. Il est évident que la température augmente à mesure que nous passons de l'hiver au printemps.

Il est réconfortant de constater que toutes les valeurs enregistrées sont conformes aux normes algériennes en vigueur.

II.III.1.3. Mesure du pH :

Tableau 3 : Résultats des analyses de pH pour la période (Janvier 2023 à Avril 2023).

Date de Prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
pH Brute (EB)	8.45	8.2	7.97	7.86
pH Traitée (ET)	7.93	8.07	7.85	7.85

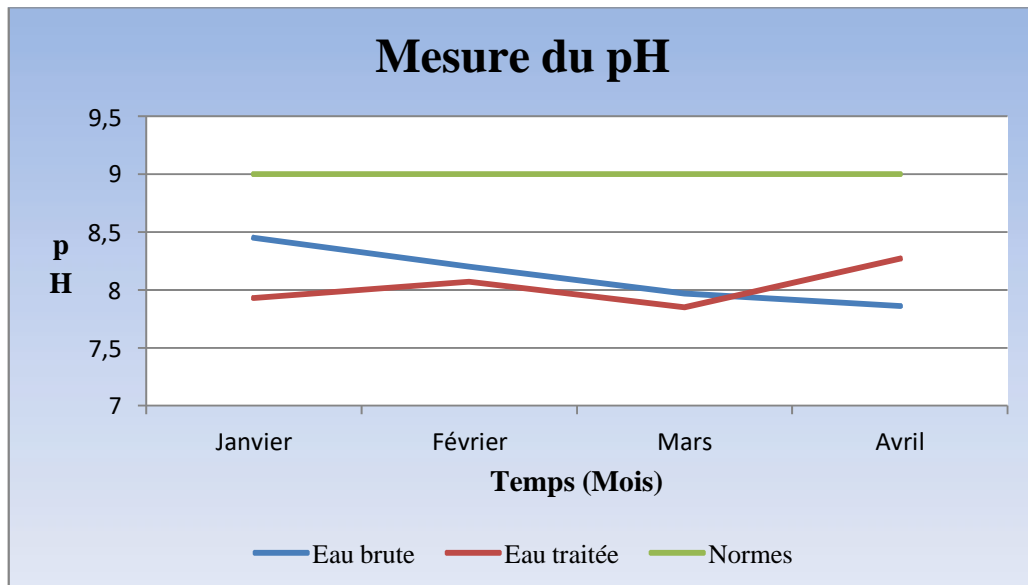


Figure.III.3 : Evolution du potentiel d'hydrogène (pH) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Les résultats obtenus révèlent une variation très faible entre le pH de l'eau brute et celui de l'eau traitée, balançant entre 7,85 et 8,5, avec une légère baisse enregistrée durant les mois de mars et avril.

Malgré cette variation, les valeurs mesurées demeurent toujours inférieures à la norme algérienne.

II.III.1.4. Mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :

Tableau 4 : Résultats de la mesure de la conductivité pour la période (janvier 2023 à mai 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Brute (EB)	1041	1081	1023	1031
CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Traitée (ET)	1048	1050	1135	1036

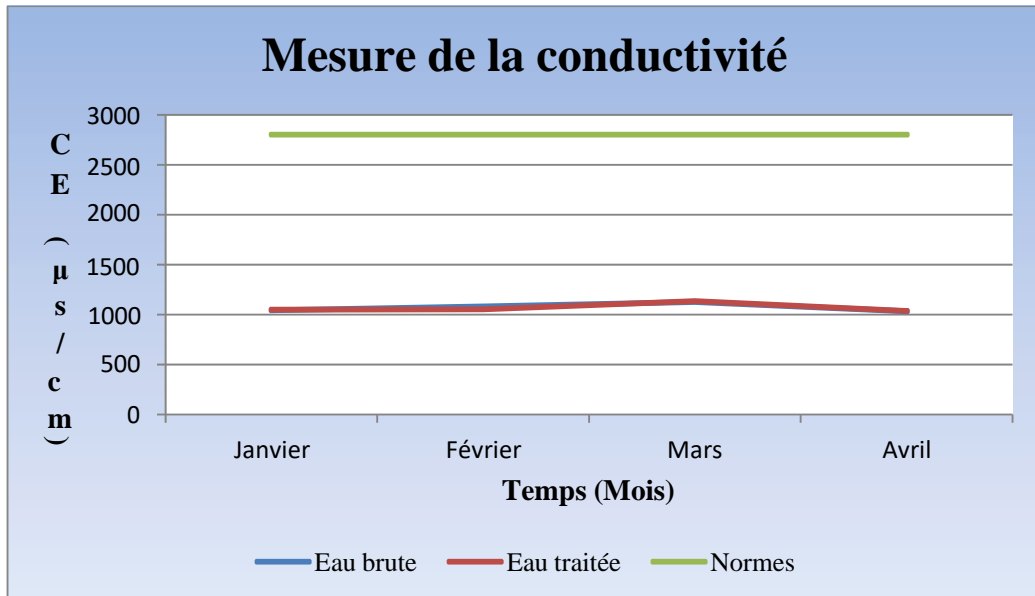


Figure III.4 : Evolution de la conductivité électrique (CE) pour l'intervalle (Janvier2023 à Avril 2023).

Interprétation des résultats obtenus :

De manière générale, la conductivité de l'eau est influencée par une multitude de substances et de matières inorganiques solides dissoutes dans l'eau, notamment les sulfates, les chlorures et les bicarbonates. Lorsque le taux de matières dissoutes dans l'eau augmente, la conductivité électrique de l'eau augmente également.

Les résultats obtenus révèlent que les valeurs de la conductivité électrique sont très proches les unes des autres et n'atteignent pas le maximum autorisé par la norme algérienne, qui est de $2800 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Les valeurs de la conductivité de l'eau traitée (1036-1050 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont nettement inférieures à cette norme, ce qui permet de conclure que cette source d'eau est de bonne qualité.

II.III.1.5. Mesure de la totalité des solides dissouts TDS (mg/l) :

Tableau 5 : Résultats des analyses de la TDS pour la période (janvier 2023 à mai 2023).

Date de prélèvement	Janv	Fev	Mar	Mai
TDS (mg/l) Brute (EB)	489	505	527	344
TDS (mg/l) Traitée (ET)	494	510	543	347

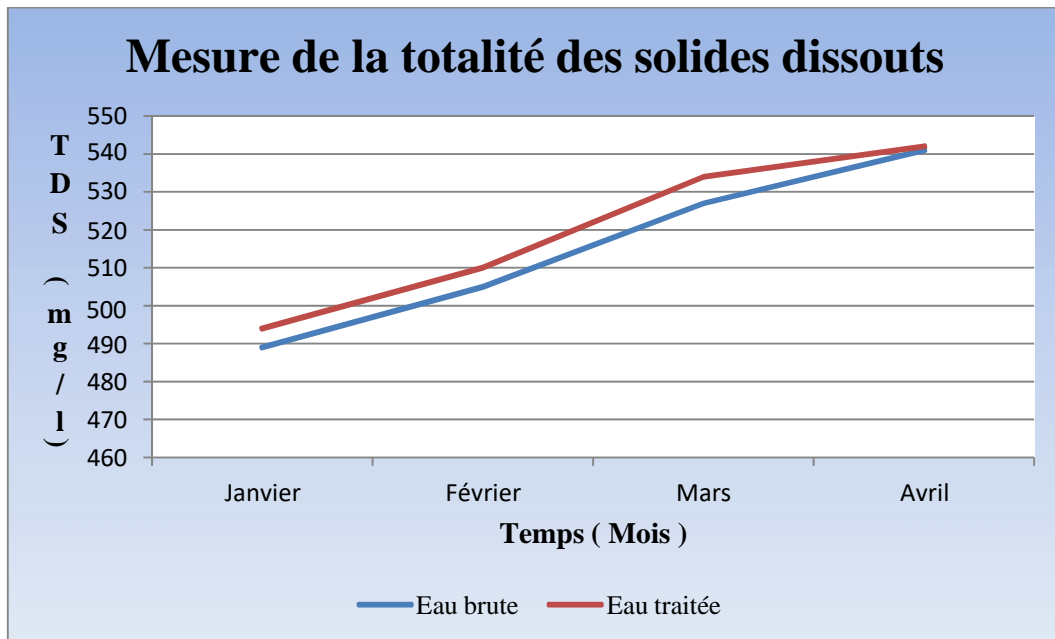


Figure III.5 : Evolution de la totalité des solides dissouts (TDS) dans l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation des résultats:

Ce graphique présente l'évolution temporelle de la concentration totale des solides dissouts en fonction des mois. Selon les résultats obtenus, on peut constater une augmentation significative de la concentration totale de solides dissouts dans l'eau brute ainsi que traitée pendant la période s'étalant de janvier à mars, suivie d'une diminution au mois d'avril.

Ces fluctuations de la concentration en matières solides dissoutes dans l'eau sont à mettre en corrélation tant avec le phénomène de dilution qu'avec divers facteurs naturels, ainsi qu'avec les activités humaines. Toutefois, conformément à la norme algérienne relative à la qualité de l'eau, il est à noter que cette eau traitée peut être considérée comme présentant une qualité satisfaisante.

II.III.1.6. Mesure de la salinité :

Tableau 6 : Résultats des analyses de la salinité pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janv	Fev	Mar	Avr
Salinité (mg/l) Brute (EB)	0.3	0.3	0.3	0.3
Salinité (mg/l) Traitée (ET)	0.3	0.3	0.3	0.3

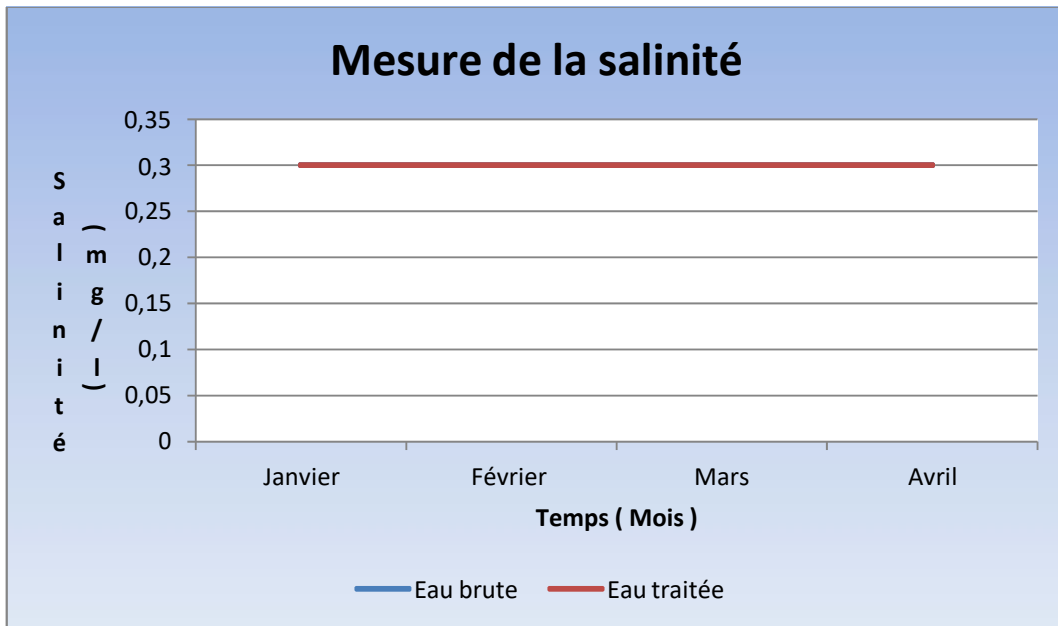


Figure.III.6 : Evolution de la salinité en fonction des mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussions :

Les données recueillies attestent que la salinité des eaux brute et traitée demeure invariable, à 0,3 mg/l. Conformément aux critères de qualité d'eau potable, nous pouvons conclure que cet échantillon d'eau est de type doux.

II.III.1.7. Mesure de TA et TAC et les bicarbonates (HCO₃⁻) :

A) Détermination du titre alcalimétrique simple (TA)

Tableau 7 : Résultats des analyses de TA pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avril
TA (°f) Brute (EB)	0.5	0.3	0.2	0.4
TA (°f) Traitée (ET)	0.3	0.3	0.3	0.4

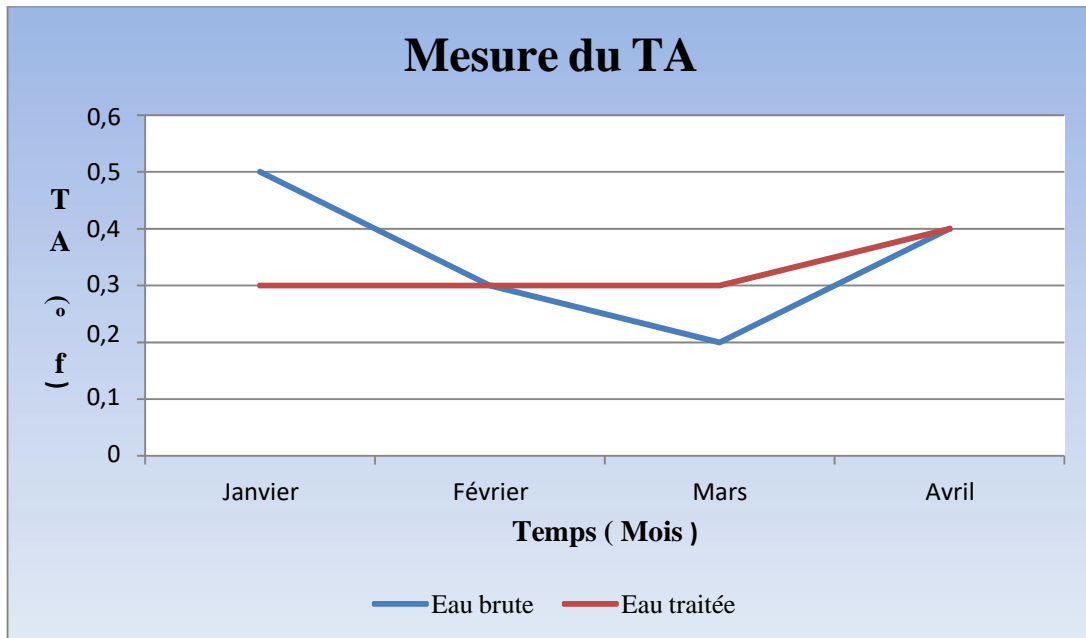


Figure.III.7 : Evolution du titre alcalimétrique simple (TA) en fonction des mois (Janvier2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussions :

Les résultats obtenus indiquent que les valeurs du titre alcalimétrique sont quasiment insignifiantes, oscillant entre 0,2 f° et 0,4 f°, pour l'eau brute et traitée. Ces résultats sont en totale adéquation avec les normes relatives à la qualité de l'eau potable, établies à 12 f°.

B) Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) :

Tableau 8 : Résultats des analyses de TAC pour la période (Janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janv	Fev	Mar	Avr
TAC (°f) Brute (EB)	14.3	14.8	14.6	14.7
TAC (°f) Traitée (ET)	13.9	14.6	14.4	14.6

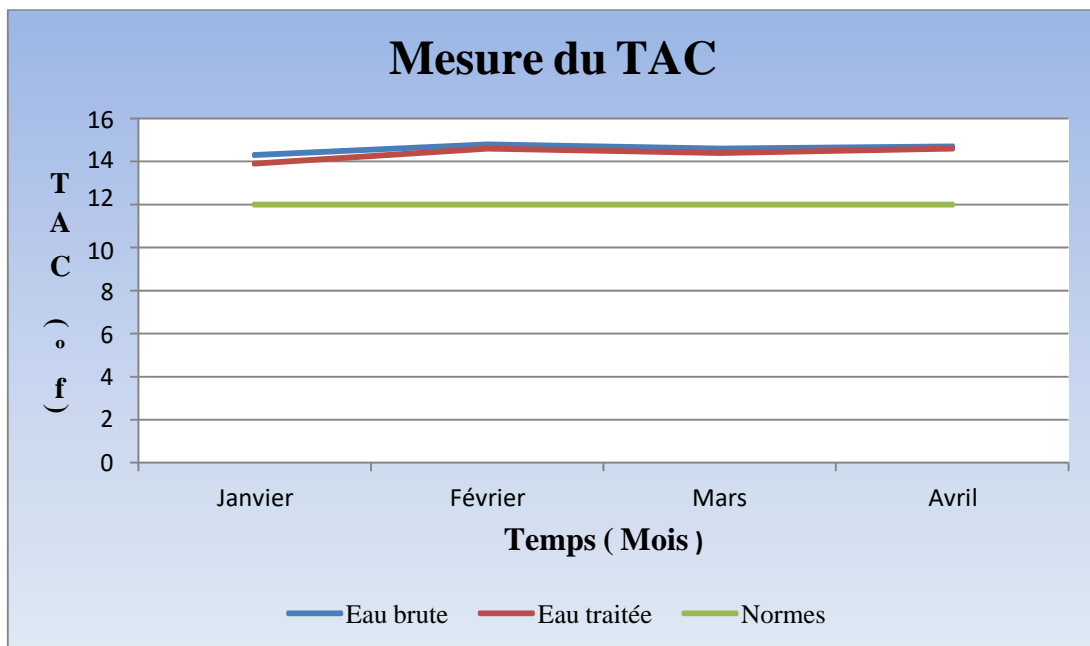


Figure.III.8 : Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussions :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) est un indicateur de la teneur en alcalins libres, tels que les carbonates et les hydrogénocarbonates présentes dans l'eau. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que les valeurs du TAC pour l'eau brute et traitée sont presque similaires, avec une légère baisse observée au cours du traitement. Néanmoins, il est à noter que ces valeurs augmentent de janvier à Avril dépassant même la norme Algérienne qui impose un seuil de 12°f. Ces résultats suggèrent que la qualité

de l'eau est soumise à une variation saisonnière, qui doit être prise en compte dans les mesures de traitement et de contrôle.

C) Détermination de la concentration des Bicarbonates (HCO_3^-) :

Tableau 9 : Résultats des analyses de bicarbonates pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janv	Fev	Mar	Avr
HCO_3^- (mg/l) Brute (EB)	174.46	180.56	178.12	179.34
HCO_3^- (mg/l) Traitée (ET)	169.58	178.12	175.68	178.12

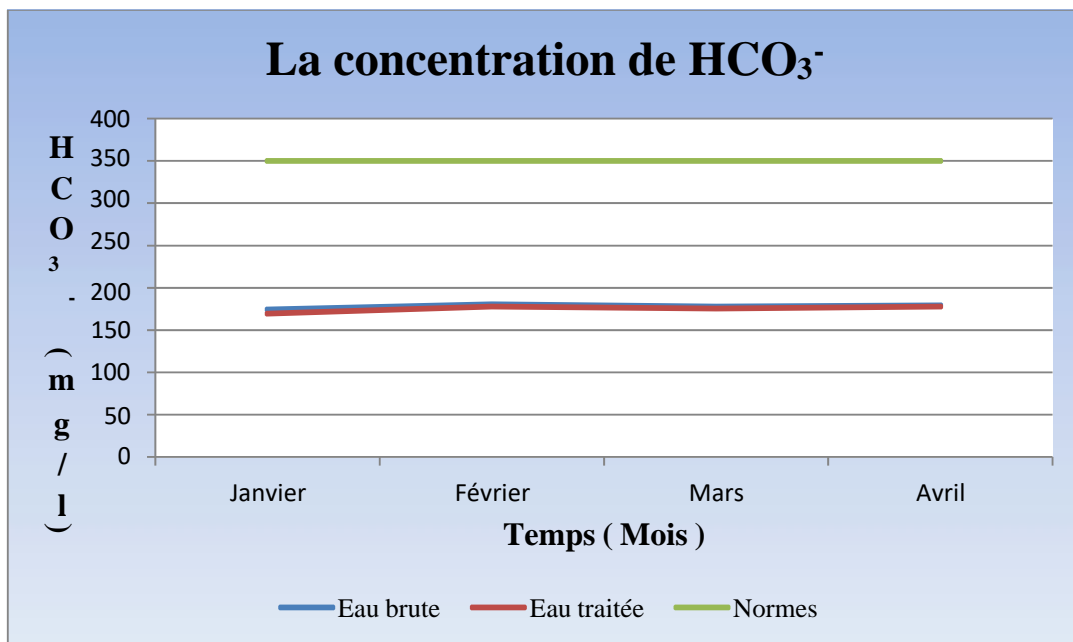


Figure.III.9 : Evolution des bicarbonates (HCO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Selon l'observation de la figure ci-dessus, les concentrations en bicarbonates dans l'eau brute et l'eau traitée sont similaires, oscillant entre 174.46 et 180.56 mg/l. Toutes les valeurs obtenues sont conformes à la norme Algérienne, qui fixe une limite maximale de 350 mg/l.

II.III.1.8. Dosage du calcium (Ca^{2+}) :

Tableau 10 : Résultats des analyses de calcium pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023)

<i>Date de prélèvement</i>	Janv	Fev	Mar	Avr
Ca^{2+}(mg/l) Brute (EB)	81.7	85.7	92.11	92.91
Ca^{2+} (mg/l) Traitée (ET)	81.7	84.9	92.11	92.91

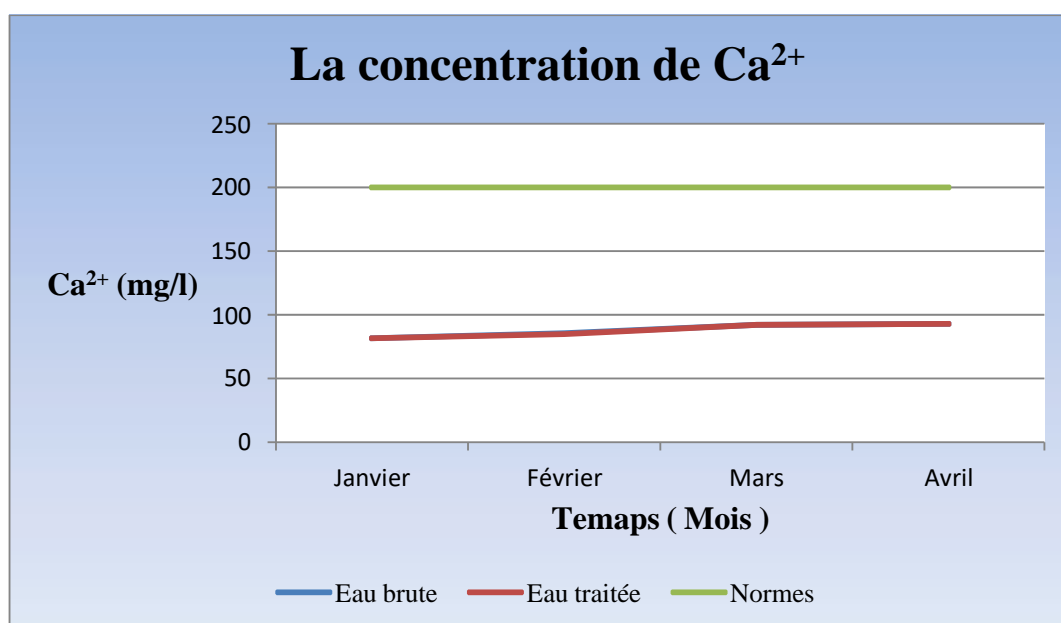


Figure II.I.10: Evolution du Calcium (Ca^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

D'après les résultats des analyses effectuées, la teneur en calcium de l'eau brute et traitée demeure constante avec une légère diminution durant la période de transition de l'hiver au printemps. En se référant à la norme Algérienne fixée à 200 mg/l, il est possible de conclure que la teneur en calcium est jugée acceptable pour toutes les eaux analysées.

II.III.1.9. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) :

Tableau 11 : Résultats des analyses de TH pour les mois (janvier2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
TH (°f) Brute (EB)	35.4	37.4	38.4	39.6
TH (°f) Traitée (ET)	35.4	37.4	38.4	39.6

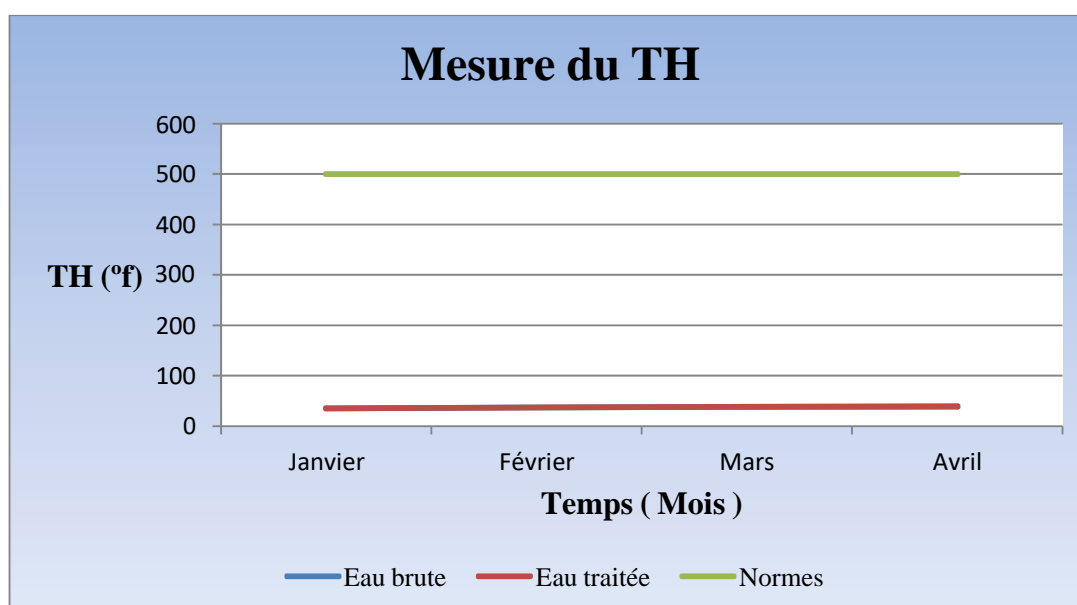


Figure.III.11 : Evolution du titre hydrotimétrique (TH) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

La courbe présentée dans la ci-dessus illustre l'évolution de la dureté totale ou titre hydrotimétrique en fonction des mois. Les résultats obtenus révèlent que les valeurs de la dureté de l'eau brute et de l'eau traitée sont très proches et restent très inférieures à la norme Algérienne, qui est de 500 °f.

II.III.1.10. Détermination du magnésium (Mg^{2+}) :

Tableau 12 : Résultats des analyses du magnésium pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avril
Mg^{2+}(mg/l) Brute (EB)	36.45	38.88	37.91	39.86
Mg^{2+} (mg/l) Traitée (ET)	36.45	39.37	37.91	39.86

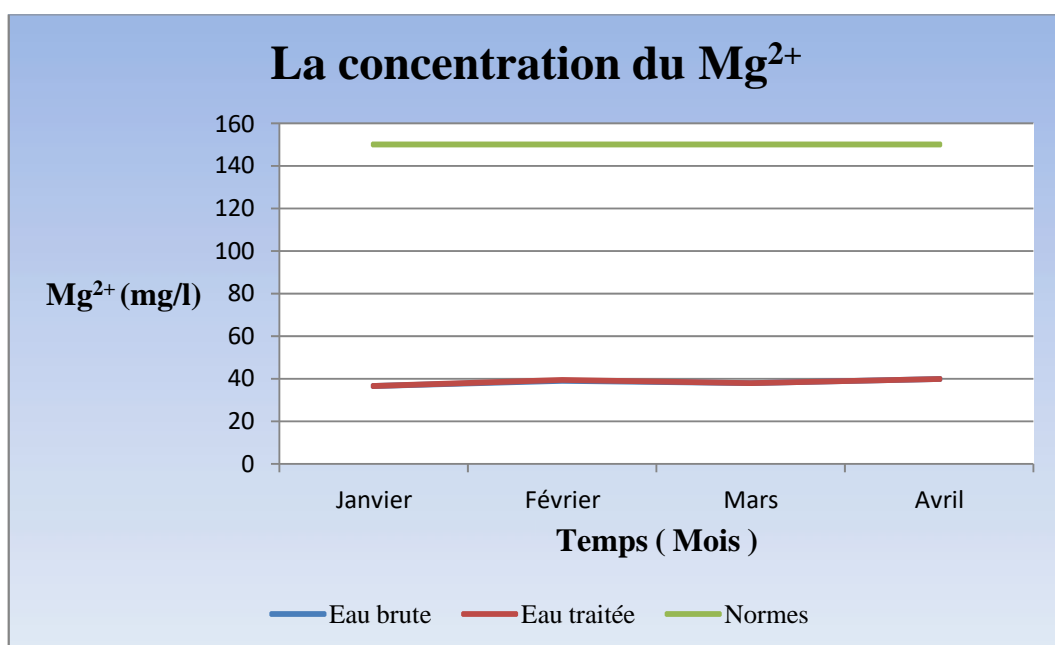


Figure.III.12 : Evolution de la teneur du magnésium (Mg^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Les concentrations en magnésium dans l'eau brute et l'eau traitée sont relativement stables et ne présentent pas de variation significative au cours de la période d'étude. Les valeurs mesurées restent inférieures à la limite maximale fixée par la norme Algérienne, qui est de 150 mg/l. Par conséquent, on peut conclure que la qualité de l'eau étudiée est acceptable en termes de teneur en magnésium.

II.III.1.11. Dosage des chlorures (Cl⁻) :

Tableau 13 : Résultats des analyses des chlorures pour la période (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
Cl ⁻ (mg/l) Brute (EB)	142	142	142	156.2
Cl ⁻ (mg/l) Traitée (ET)	142	142	142	156.2

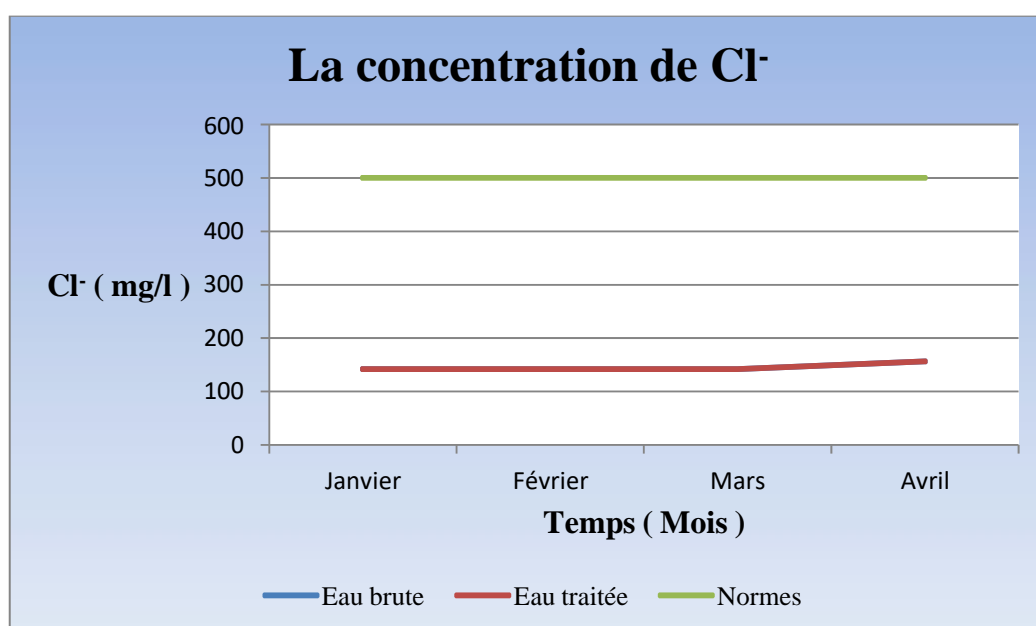


Figure.III.13 : Evolution des chlorures (Cl⁻) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

La concentration en chlorures de l'eau est influencée par la nature géologique du terrain traversé. Les eaux riches en chlorures peuvent causer des troubles digestifs et accélérer la corrosion des canalisations. Selon les normes algériennes en matière de potabilité de l'eau, la concentration de chlorures doit être inférieure à 500 mg/l. Les résultats obtenus montrent que les valeurs de chlorures dans l'eau brute et traitée sont similaires, avec des valeurs comprises entre 142 et 156.2 mg/l, ce qui respecte les normes en vigueur. Ainsi, l'eau du barrage Bouhamdane n'est pas corrosive et peut être considérée comme de bonne qualité.

II.III.1.12 : Détermination de la matière organique (MO) :

Tableau 14 : Résultats des analyses de la matière organique pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
MO (mg/l) Brute (EB)	4.1	5	4.2	5.7
MO (mg/l) Traitée (ET)	3.2	3.1	3.2	4

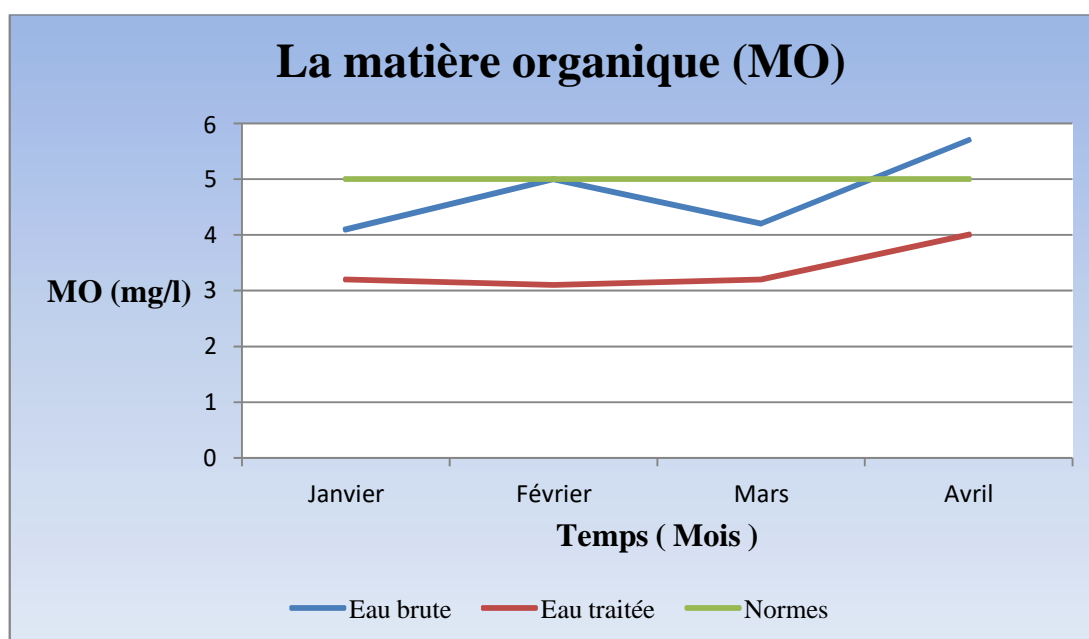


Figure. III.14 : Evolution des matières organiques (MO) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

La mesure de l'oxydabilité aux permanganates, qui permet d'évaluer la présence de matière organique oxydable, est un indicateur important de la qualité des eaux de surface. En effet, ces eaux contiennent naturellement des matières organiques issues de la décomposition d'origine végétale ou animale, sous l'influence de micro-organismes. Les résultats obtenus montrent que la teneur en matière organique de l'eau brute varie entre 4,1 et 5,7 mg/l, tandis que celle de l'eau traitée a considérablement diminué au cours du traitement (3,1 et 4,0 mg) pour atteindre des valeurs inférieures à la norme Algérienne de 5 mg/l.

II.III.1.13. Détermination du résidu sec (RS) ;

Tableau 15 : Résultats des analyses du résidu sec pour les mois janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janv	Fev	Mar	Avr
RS (mg/l) Brute (EB)	760	792	746	874.5
RS (mg/l) Traitée (ET)	745	822.5	752	832

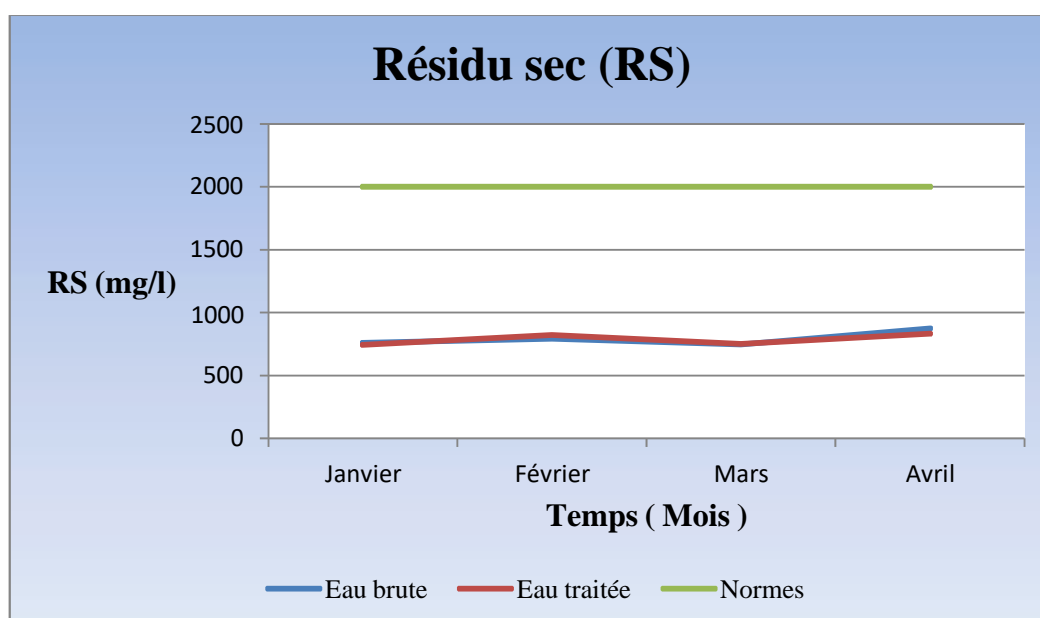


Figure. III.15 : Evolution du résidu sec (RS) en fonction des mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Le résidu sec de l'eau correspond à la quantité de matière solide qui s'y trouve, incluant les substances en suspension et en solution. Cette présence peut donner une coloration brunâtre ou foncée à l'eau, ce qui peut influencer la pénétration de la lumière dans l'environnement aquatique, et donc affecter la faune et la flore présentes. Les résultats obtenus pour les résidus secs de l'eau brute et traitée sont très similaires, ne dépassant pas la norme Algérienne de 2000 mg/l.

II.III.14. Détermination des matières en suspension (MES) :

Tableau 16 : Résultats des analyses des matières en suspension pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
MES (mg/l) Brute (EB)	3	3	3	4
MES (mg/l) Traitée (ET)	0	0	0	0.5

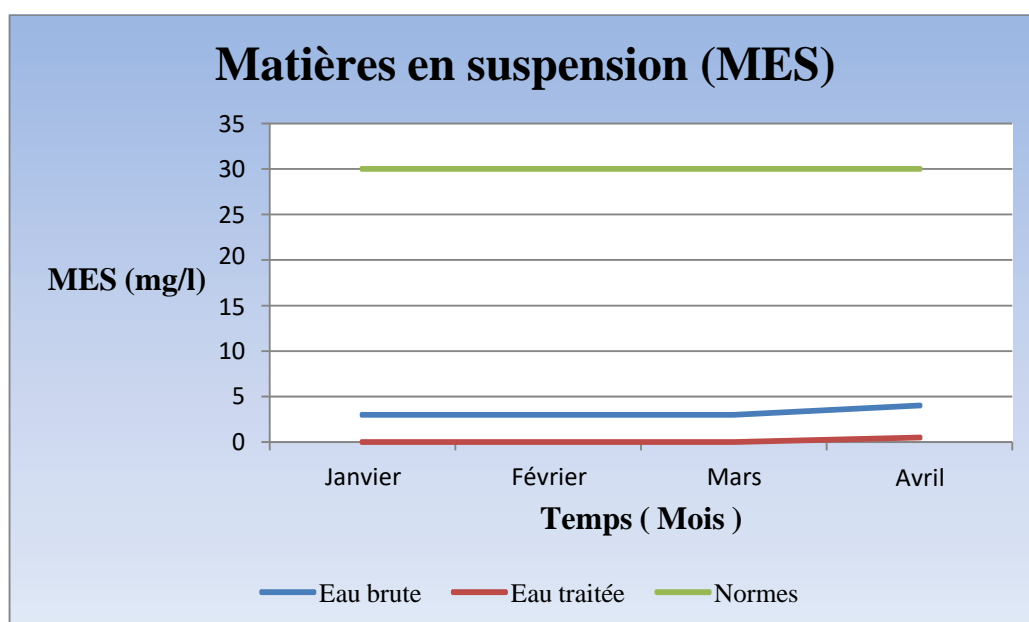


Figure. III.16: Evolution des matières en suspension (MES) en fonction des mois (Janvier 2023 à mai 2023).

Interprétation et discussion :

Les mesures des matières en suspension (MES) pour l'eau brute varient entre 3 et 4 mg/l, ce qui est inférieur à la valeur limite fixée par les normes en vigueur (30 mg/l). Toutefois, après traitement, cette teneur devient nulle, ce qui confirme l'efficacité du processus de traitement appliqué.

II.III.15. Dosage de l'ammonium (NH₄⁺) :

Tableau 17 : Résultats des analyses de l'ammonium NH₄⁺ pour les mois allant de (janvier 2023 au Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
NH ₄ ⁺ (mg/l) Brute (EB)	0.117	0.52	0.129	0.024
NH ₄ ⁺ (mg/l) Traitée (ET)	0	0	0	0

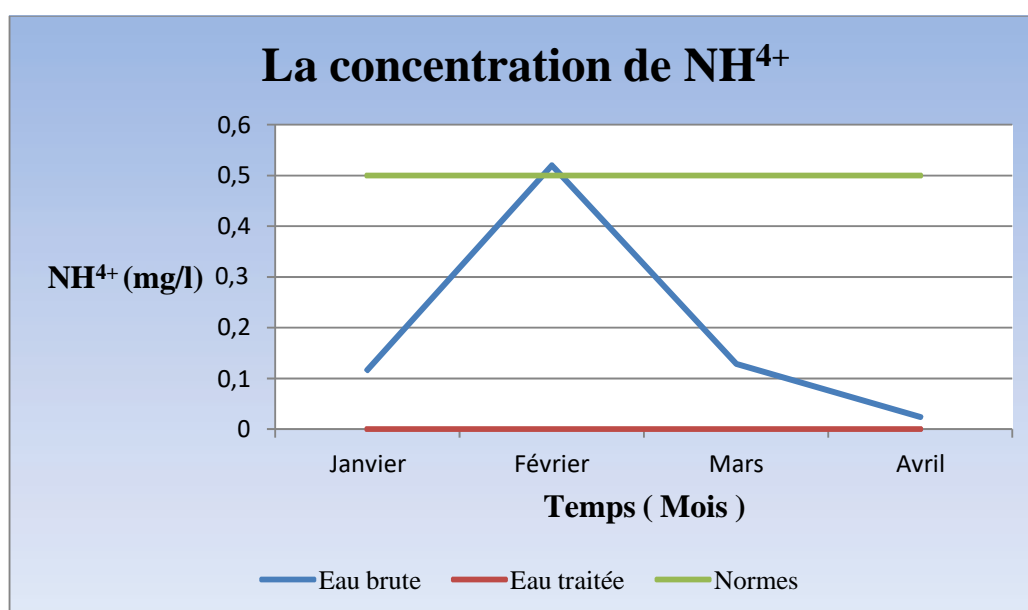


Figure.III.17 : Evolution de la teneur en (NH₄⁺) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

La variation de l'ammonium (mg/l) au cours de plusieurs mois est illustrée dans la Figure présentée ci-dessus. Les résultats obtenus montrent que les concentrations d'ammonium dans l'eau brute varient entre 0,024 mg/l et 0,52 mg/l, mais elles deviennent nulles après traitement. Ainsi, ces valeurs demeurent inférieures à la valeur recommandée par les normes algériennes (0,5 mg/l). Ceci explique l'efficacité du processus de traitement appliqué.

II.III.1.16. Dosage du fer (Fe²⁺) :

Tableau 18 : Résultats des analyses du Fer (II) pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janv	Fev	Mar	Avr
Fe²⁺(mg/l) Brute (EB)	0.12	0.1	0.11	0.19
Fe²⁺(mg/l) Traitée (ET)	0.06	00	0.02	00

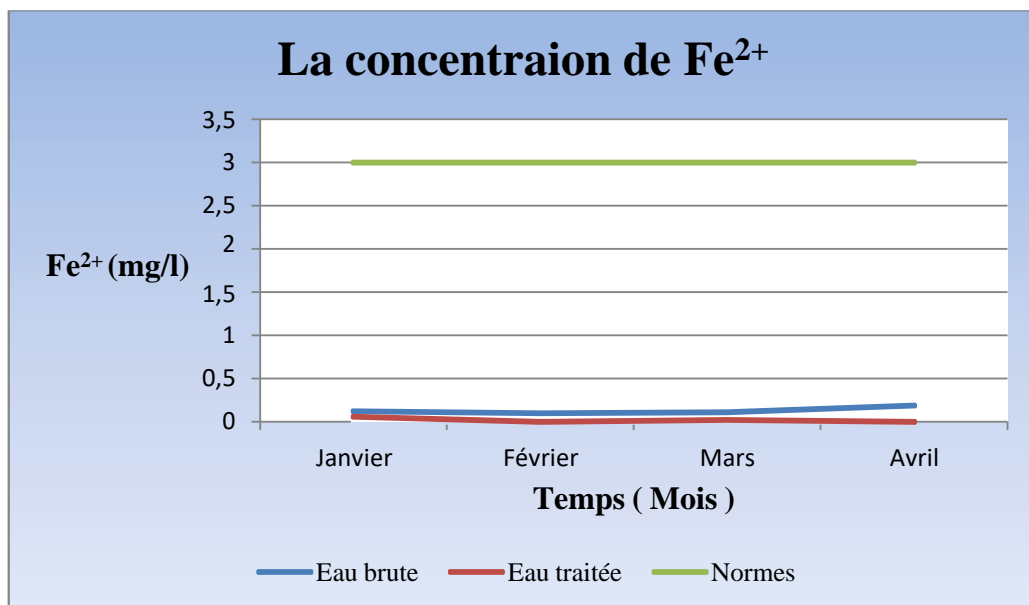


Figure.III.18 : Evolution de la teneur du fer (Fe²⁺) au cours des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

L'analyse graphique présentée ci-dessus permet d'observer que les concentrations des ions ferreux (Fe²⁺) dans l'eau brute sont relativement stables, avec des variations peu significatives. En revanche, pour l'eau traitée, on peut remarquer une nette diminution de ces concentrations, pouvant parfois même atteindre des valeurs nulles. Cette observation montre que la filière de traitement de l'eau est efficace pour éliminer les ions ferreux et assurer la qualité de l'eau potable produite. Il est important de maintenir les niveaux de fer dans les eaux potables en dessous des limites réglementaires (3mg/l) car des niveaux élevés de fer peuvent causer des problèmes de couleur, de goût, d'odeur et de corrosion des canalisations et des équipements de distribution d'eau.

II.III.1.17. Dosage des Sulfates (SO₄²⁻) :

Tableau 19 : Résultats des analyses des Sulfates (SO₄²⁻) pour les mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avril
SO₄²⁻ (mg/l) Brute (EB)	50.5	123	96.5	72-
SO₄²⁻ (mg/l) Traitée (ET)	84	126.5	98.5	80

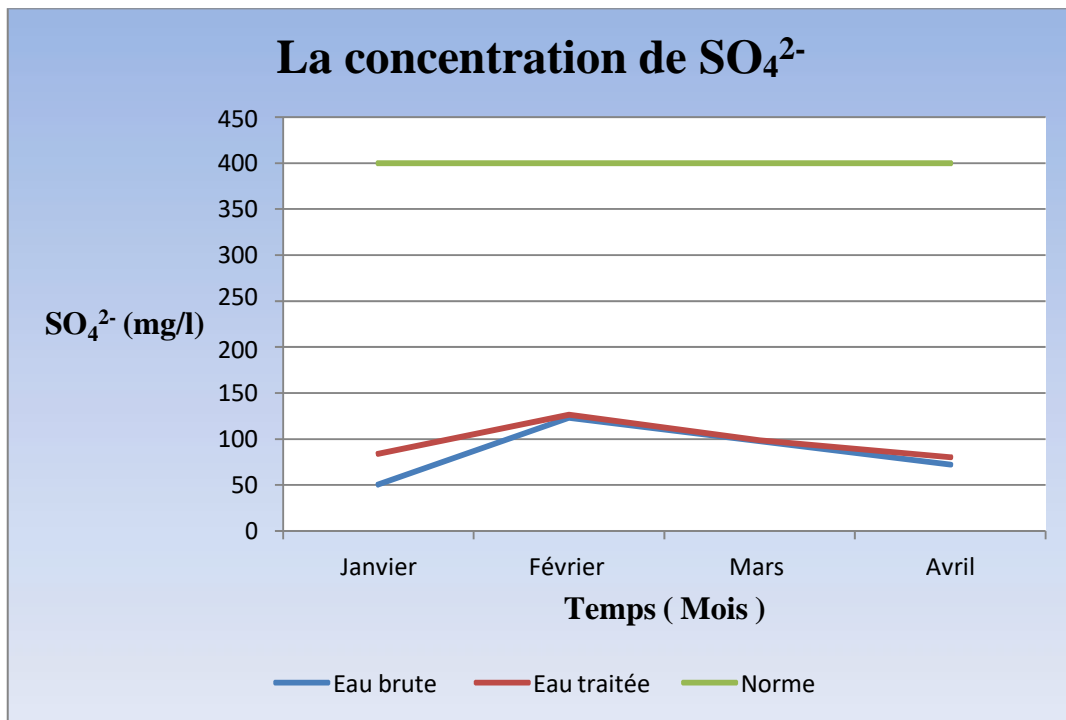


Figure.III.19 : Evolution des teneurs en (SO₄²⁻) dans l'intervalle (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Les sulfates présents dans l'eau peuvent causer des désagréments pour l'environnement car ils sont transformés en sulfures par des bactéries sulfato-réductrices, produisant du gaz sulfureux. En plus des chlorures, les sulfates peuvent également affecter le métabolisme des bactéries contenues dans l'eau. Cependant, d'après les résultats obtenus, les valeurs de concentration en sulfate restent dans les normes, variant entre 50.5 et 123 mg/l pour l'eau brute et entre 80 et 126.5 mg/l pour

l'eau traitée, n'affectant pas la potabilité de l'eau, malgré leur augmentation dans les eaux traitées.

II.III.1.18. Dosage des phosphates (PO_4^{3-}) :

Tableau 20 : Résultats des analyses des phosphates pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
PO_4^{3-} (mg/l) Brute (EB)	0.055	00	0.02	0.051
PO_4^{3-} (mg/l) Traitée (ET)	00	00	00	00

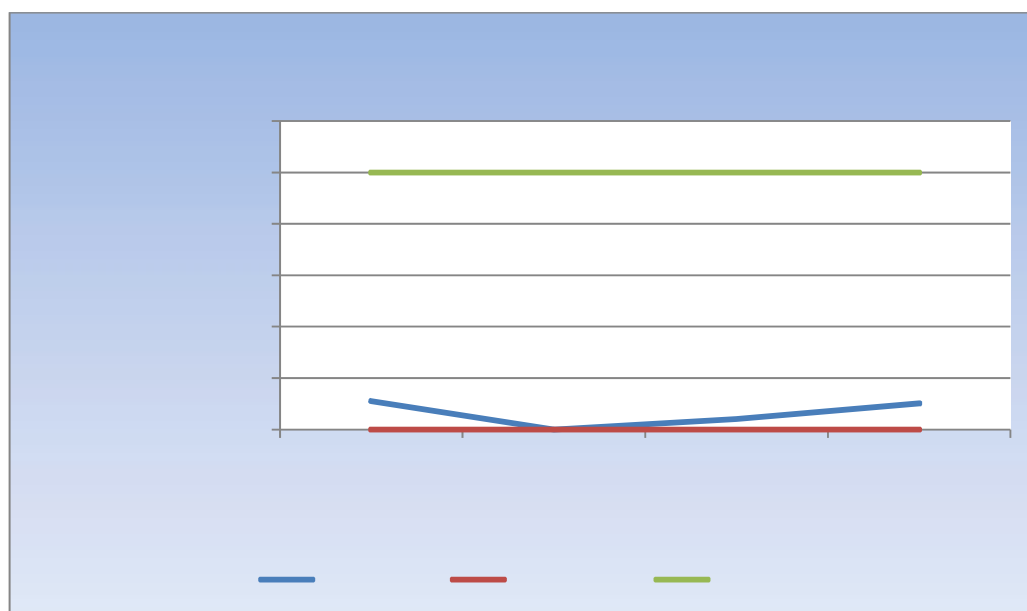


Figure. III.20 : Evolution des teneurs des phosphates (PO_4^{3-}) en fonction des mois (Janvier 2023 à mai 2023).

Interprétation et discussion :

Les données recueillies indiquent une concentration très faible de phosphates dans l'eau brute. Les valeurs enregistrées oscillent entre 0,02 et 0,05 mg/l pour l'eau brute. Cependant, une réduction significative de la teneur en phosphates est observée après traitement, avec des valeurs atteignant 0,00 mg/l, respectant ainsi la norme Algérienne fixée à 0,5 mg/l.

II.III.1.19. Dosage des nitrates (NO_3^-) :

Tableau 21 : Résultats des analyses de nitrates pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
NO_3^- (mg/l) Brute (EB)	0.824	0.422	0.739	1.077
NO_3^- (mg/l) Traitée (ET)	0.735	0.370	0.751	0.979

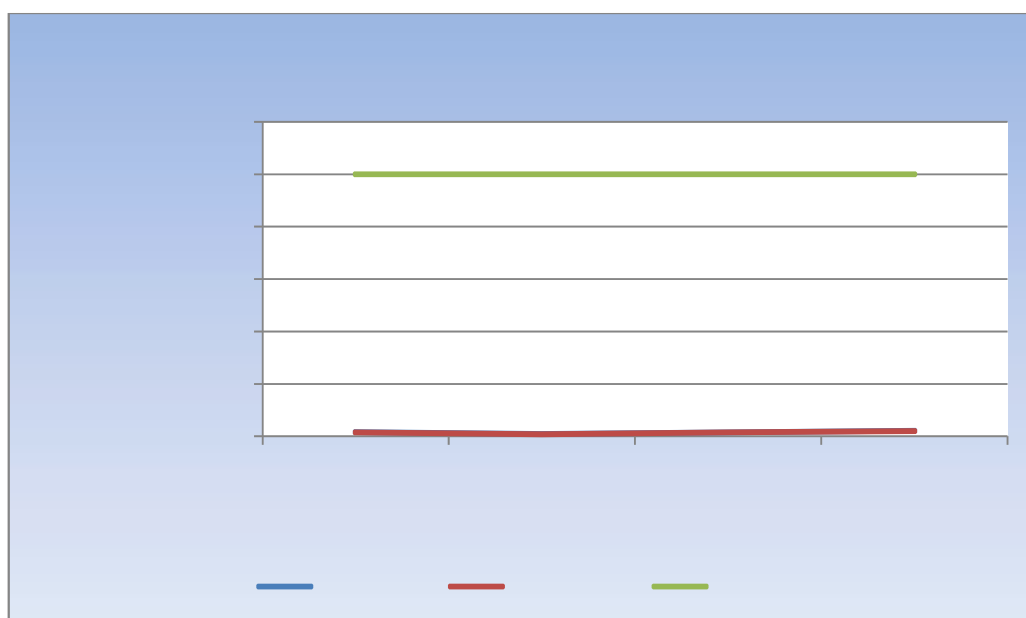


Figure.III.21 : Evolution des nitrates (NO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Les résultats obtenus révèlent que les concentrations en nitrates dans l'eau brute et traitée sont très proches et sont tous deux bien inférieures à la norme Algérienne (50 mg/l). Ces valeurs confirment la qualité des eaux traitées du barrage Bouhamden et leur sécurité d'utilisation vis-à-vis des nitrates.

II.III.1.20. Dosage d'aluminium (Al^{3+}) :

Tableau 22 : Résultats des analyses de l'aluminium pour les mois allant de janvier 2023 au Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avr
Al^{3+}(mg/l) Brute (EB)	0.198	-	-	-
Al^{3+} (mg/l) Traitée (ET)	0.185	0.123	0.167	-

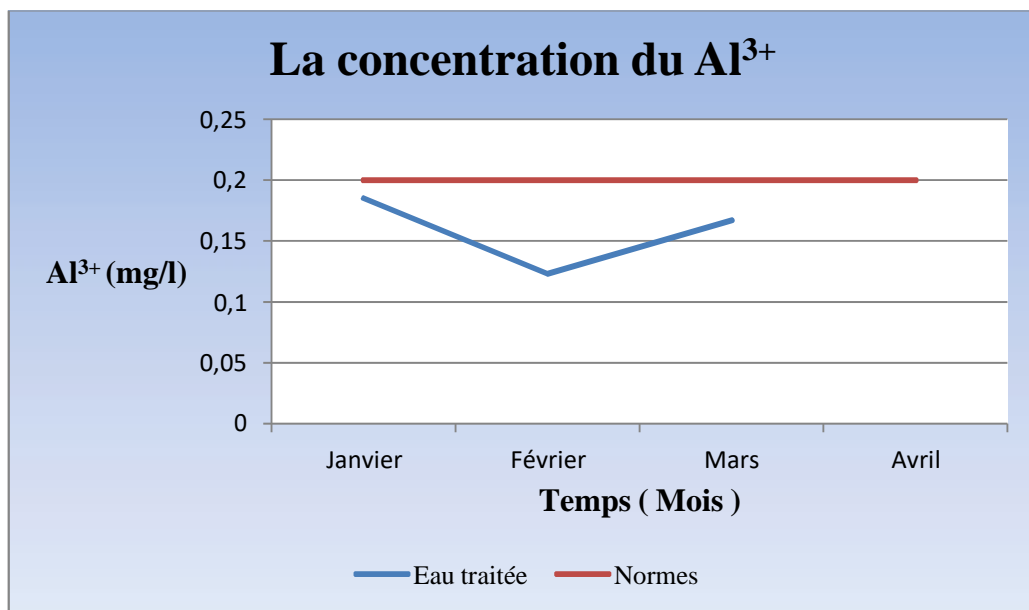


Figure. III.22 : Evolution de la teneur d'aluminium (Al^{3+}) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

La présence d'aluminium dans l'eau traitée est attribuable à l'utilisation de sulfate d'aluminium comme coagulant en grande quantité lors du processus de traitement de l'eau. La norme algérienne fixe une concentration maximale admise d'aluminium dans l'eau destinée à la consommation humaine à 0,2 mg/l. Selon les résultats obtenus, les valeurs d'aluminium dans l'eau traitée varient entre 0,123 et 0,198 mg/l. La teneur en aluminium n'a été mesurée que pour l'eau brute et traitée en janvier, tandis que pour les mois de février et mars, elle n'a été mesurée que pour l'eau traitée. Dans tous les cas, la concentration d'aluminium n'a pas dépassé la norme requise de 0,2 mg/l, mais reste toujours des valeurs à prendre en considération pour d'éventuelle correction (diminution).

II.III.1.21. Dosage de Sodium (Na^+) :

Tableau 23 : Résultats des analyses de Sodium (Na^+) pour les mois allant de janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avril
Na^+(mg/l) Brute (EB)	41	42	43	37
Na^+ (mg/l) Traitée (ET)	41	41	43	38

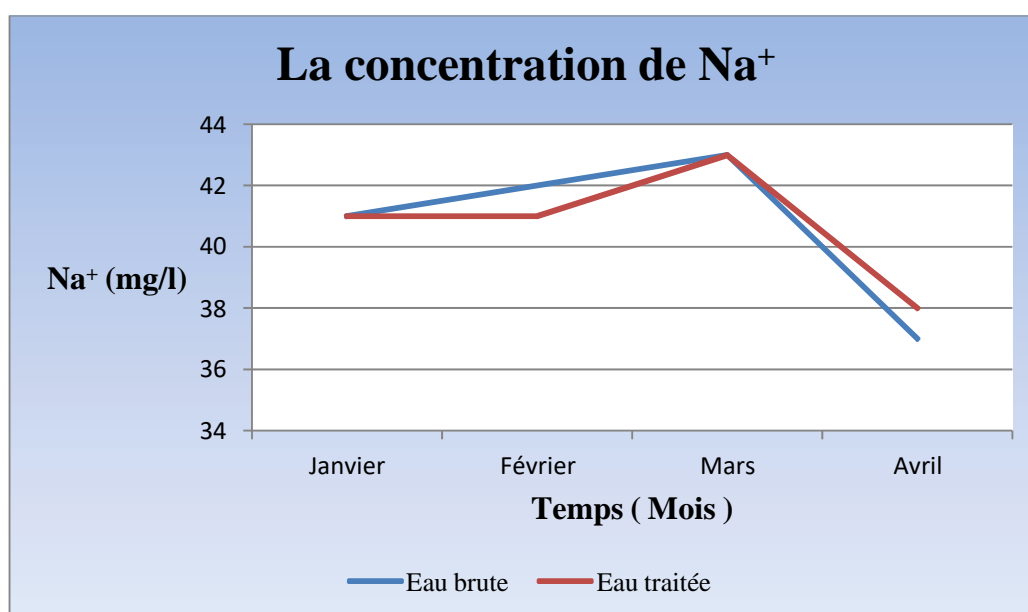


Figure.III.23 : Evolution de la teneur de Sodium (Na^+) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

La figure III.23 illustre la variation de la teneur en sodium de l'eau brute et traitée au cours des mois de janvier à avril. On observe une légère augmentation régulière de la concentration en sodium dans les trois premiers mois pour l'eau brute, suivie d'une légère diminution en avril. Les résultats sont similaires pour l'eau traitée. Bien qu'il n'existe pas de norme spécifique pour la teneur en sodium dans l'eau potable, les agences gouvernementales et fédérales recommandent que les niveaux de sodium ne dépassent pas 20 milligrammes par litre (mg/l) pour les personnes suivant un régime très faible en sodium et 270 mg/L pour celles suivant un régime modérément restreint en sodium.

II.III.1.22. Dosage du Potassium (K^+) :

Tableau 24 : Résultats des analyses de Potassium pour les mois allant de janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avr
K^+(mg/l) Brute (EB)	6.6	6.7	6.3	6.9
K^+ (mg/l) Traitée (ET)	6.6	6.7	6.4	8.9

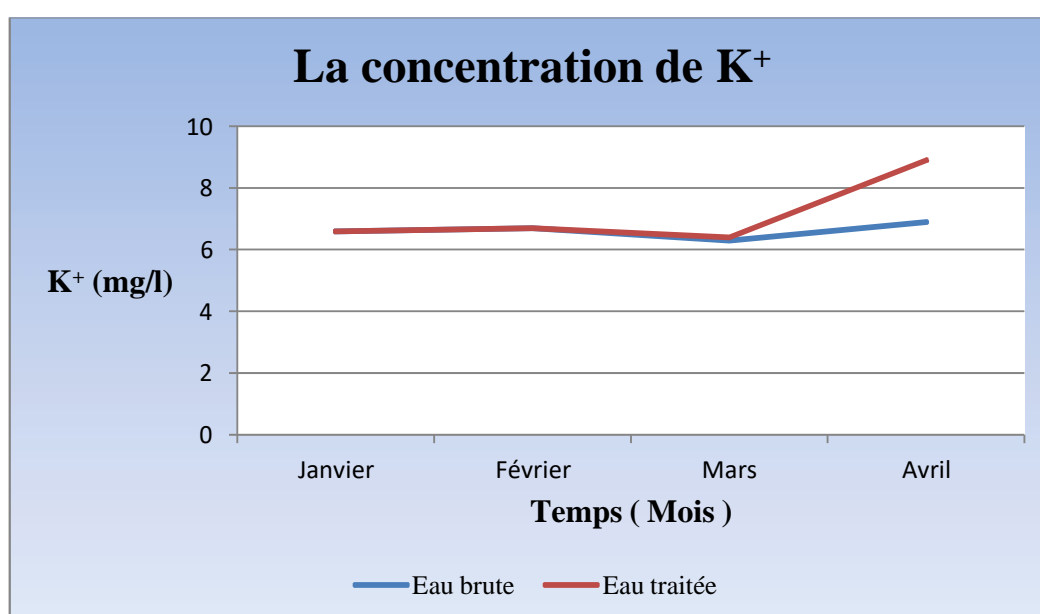


Figure. III.24 : Evolution de la teneur de Potassium (K^+) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Le graphique présenté ci-dessus illustre l'évolution de la teneur en potassium dans l'eau brute et traitée en fonction des mois, de janvier 2023 à avril 2023. On constate une légère augmentation de la teneur en K^+ dans les deux derniers mois pour l'eau traitée (6,4 et 8,9mg/l) Le potassium est un élément naturellement présent dans l'eau, mais peut également provenir d'activités humaines telles que les mines de sel, l'industrie du verre ou l'utilisation d'engrais. Tout comme le magnésium, le potassium joue un rôle important dans le bon fonctionnement du système nerveux et permet, notamment, la contraction musculaire et la prévention des crampes. Il n'existe pas de norme spécifique quant à la quantité de potassium dans l'eau, qu'elle soit brute ou traitée.

II.III.2. Analyses Bactériologiques

II.III.2.1. Recherche des germes totaux à 37 C° (GT) :

Tableau 25 : Résultats des analyses des germes totaux pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

<i>Date de prélèvement</i>	Janvier	Février	Mars	Avril
GT (UFC/ml) à 37°c Brute (EB)	86	142	120	75
GT (UFC/ml) à 37°c Traitée (ET)	00	00	00	00

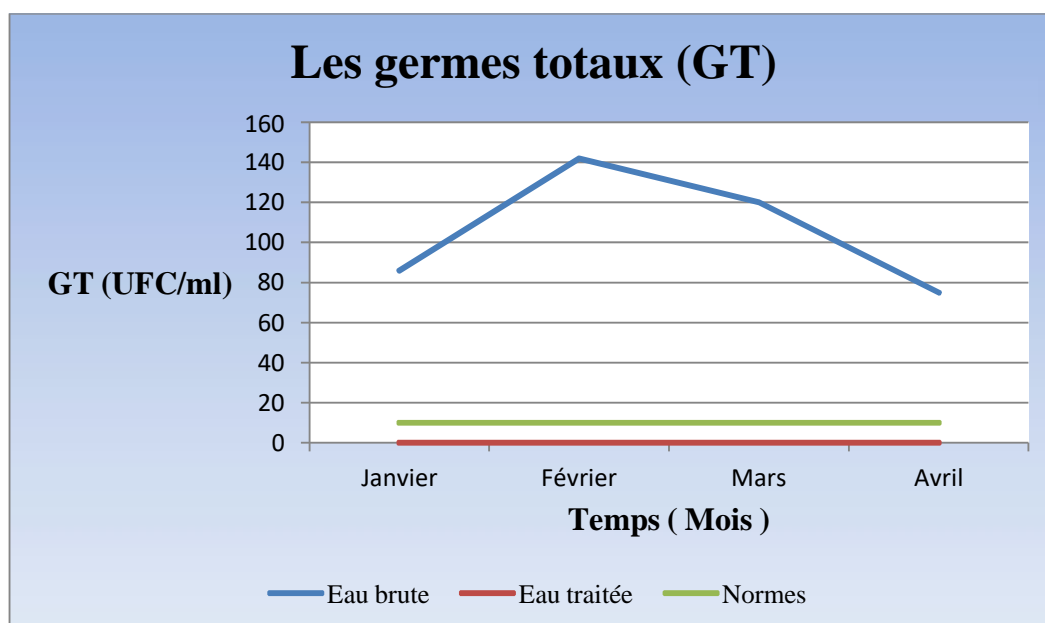


Figure.III.25 : Evolution des germes totaux (GT) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interopération et discussion :

Les résultats obtenus mettent en évidence la fluctuation des valeurs enregistrées des germes totaux. En effet, pour l'eau brute, le pic de charge bactérienne est atteint durant le mois de Février (142 UFC/ml) et la charge minimale est notée en Avril (76 UFC/ml). Toutefois, la charge bactérienne est nulle pour l'eau traitée, témoignant ainsi de l'efficacité du traitement opéré et de la qualité sanitaire satisfaisante de l'eau pour la consommation humaine.

II.III.2.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF) :

A) Pour les coliformes totaux (CT) :

Tableau 26 : Résultats des analyses des coliformes totaux pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
CT (UFC/100 ml) Brute (EB)	01	07	04	00
CT (UFC/100 ml) Traitée (ET)	00	00	00	00

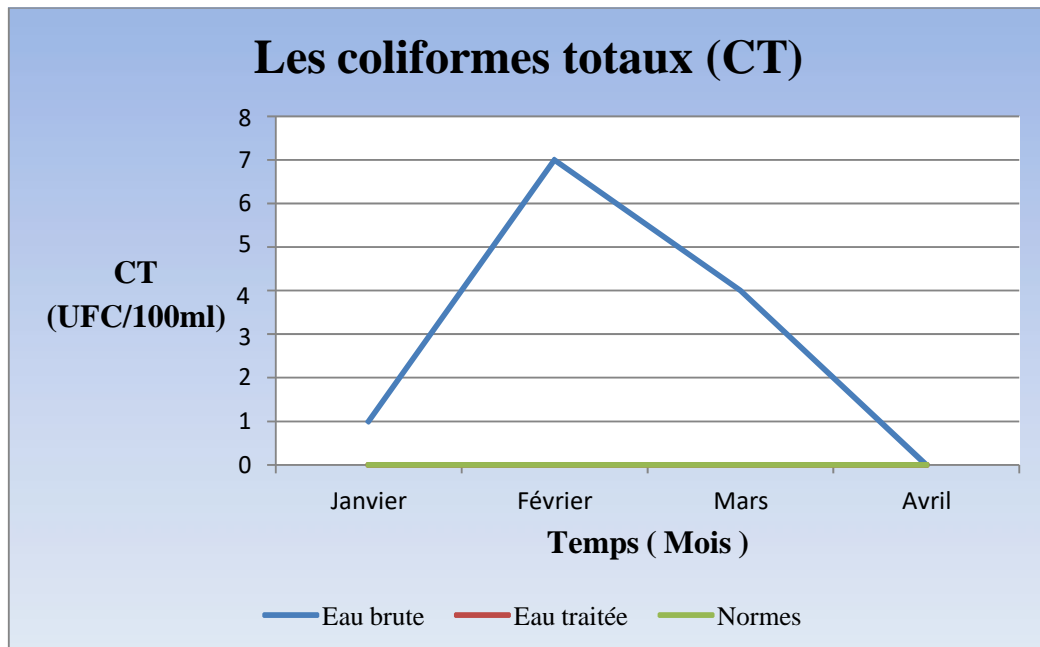


Figure.III.26 : Evolution des coliformes totaux (CT) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

D'après les résultats obtenus, il est possible de constater que les valeurs des coliformes totaux (CT) pour l'eau brute varient au cours des mois. De plus, une charge bactérienne maximale est observée durant le mois de Février (7 UFC/100 ml), tandis qu'une valeur nulle est obtenue pour le mois d'Avril. En revanche, pour l'eau traitée, le dénombrement de ces bactéries est nul, respectant ainsi la norme algérienne fixée à 0 UFC/100 ml. Ces résultats indiquent une excellente qualité bactériologique pour les eaux analysées.

B) Pour les coliformes fécaux (CF) :

Tableau 27 : Résultats des analyses de coliforme fécaux pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
CF (UFC/100ml) Brute (EB)	02	00	02	00
CF (UFC/100ml) Traitée (ET)	00	00	00	00

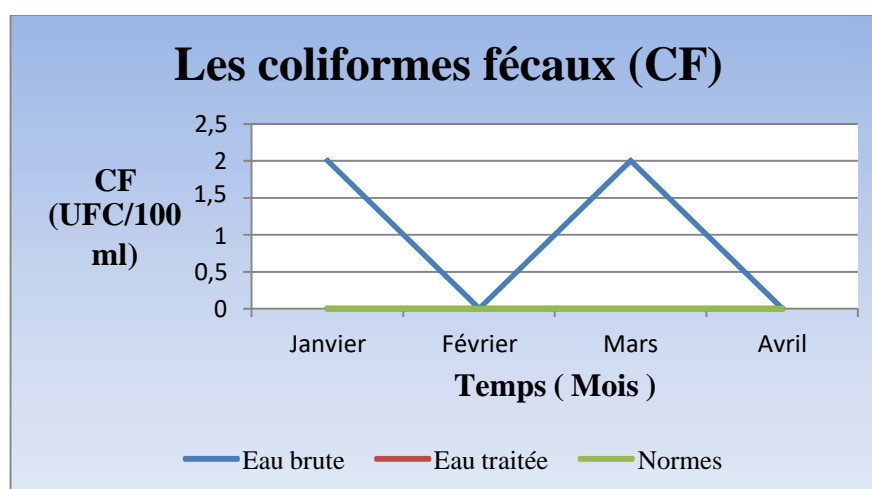


Figure.III.27 : Evolution des coliformes fécaux (CF) en fonction des mois (Janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

D'après les résultats obtenus, il a été observé que la différence entre les valeurs des coliformes fécaux (CF) pour l'eau brute et l'eau traitée est minime et peu significative. En effet, les résultats montrent une similitude des valeurs pour les mois de Janvier et Mars, avec un dénombrement de 2 UFC/100 ml, tandis que pour les mois de Février et Avril, les valeurs sont nulles. Il est important de souligner que la charge bactérienne pour l'eau traitée reste toujours nulle, en conformité avec la norme Algérienne en la matière.

II.III.2.3. Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR) :

Tableau 28 : Résultats des analyses des anaérobies sulfito-réducteurs pour les mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Date de prélèvement	Janvier	Février	Mars	Avril
ASR (UFC/20ml) Brute (EB)	00	00	00	00
ASR (UFC/20ml) Traitée (ET)	00	00	00	00

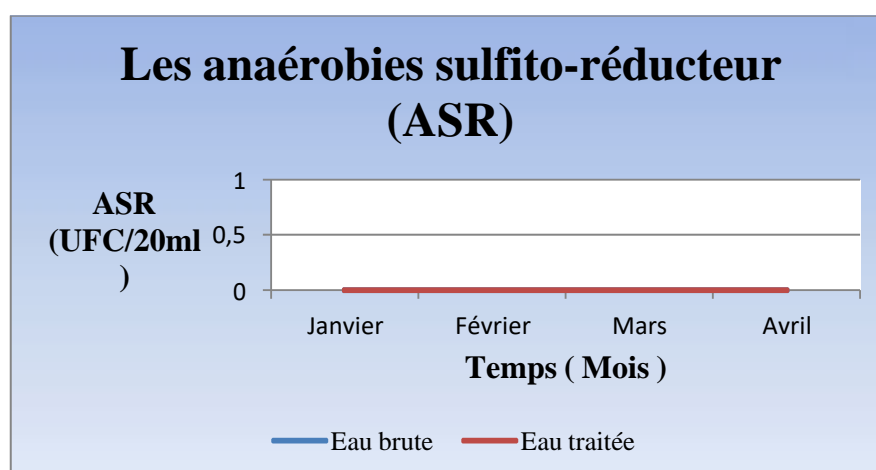


Figure III.28 : Evolution des anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) en fonction des mois (janvier 2023 à Avril 2023).

Interprétation et discussion :

Il ressort des résultats obtenus (Figure III.28) que les anaérobies sulfito-réducteurs sont totalement absents de l'eau brute et de l'eau traitée.

II.III.3. Détermination de la dose optimale en chlore

La recherche des doses optimales de chlore se fait en prenant en compte divers facteurs, tels que la qualité de l'eau, les types et les concentrations des micro-organismes présents, ainsi que le pH de l'eau brute. À un pH spécifique, des tests sont réalisés pour évaluer l'efficacité de différentes doses de chlore dans l'élimination des micro-organismes cibles.

Chapitre III Résultats & Discussions

L'objectif est de trouver un équilibre entre l'élimination efficace des micro-organismes et le maintien d'une réserve de chlore résiduel suffisante tout au long du réseau de distribution d'eau. Cette réserve de chlore résiduel est importante pour prévenir la repousse des micro-organismes et maintenir la désinfection de l'eau jusqu'au point de consommation.

Néanmoins, une quantité excessive de chlore dans l'eau peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine.

Tableau 29: L'évolution de la concentration du chlore combiné et chlore résiduel en fonction de la dose de chlore introduite. A pH= 7.85 et T=20°C, Temps de contact T1 = 1 heures. (Mois de Mai)

Chlore injecté mg/l	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5
Chlore combiné mg/l	0.2	0.25								
Chlore libre mg/l			Traces	Traces	Traces	0.2	0.3	0.8	0.8	> 1

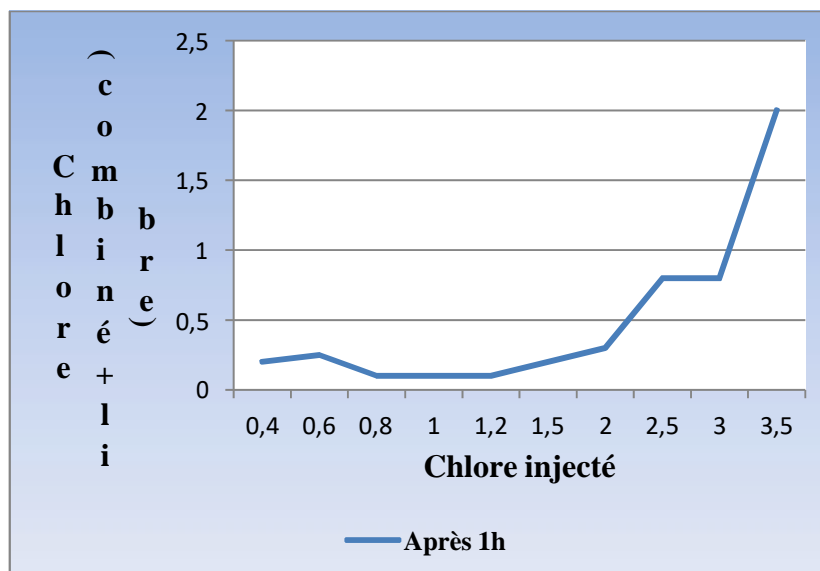


Figure III.29: Evolution du chlore libre + combiné en fonction du chlore injecté à pH= 7.85 et T=20°C après T1 = 1 h de contact (Mois de Mai).

Interprétation et discussion :

A pH= **7.85** et après une heure de contact, on peut observer sur cette courbe un point de rupture (Break Point) situé à une dose de 1,2mg/l de chlore injecté.

Et le graphique obtenu comporte en générale **quatre** étapes :

Étape I Pour des doses de chlore injectées plus faibles, tout le chlore ajouté est utilisé pour oxyder les composés réducteurs dans l'eau, en particulier les composés inorganiques tels que Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , H_2S etc. Presque tout l'hypochlorite ajouté est consommé, ce qui correspond à la "demande immédiate de chlore». il n'y a pratiquement pas de chlore résiduel dans l'eau.

Étape II : Lors de l'ajout supplémentaire de chlore dans l'eau contenant une faible concentration en ammoniac, mais une teneur élevée en dérivés albuminoïdes (substances azotées d'origine animale ou végétale) ou en matières organiques en suspension, y compris les algues, on assiste à la formation de composés chloroorganiques et de chloramines.

Les chloramines agissent comme réserve de chlore et contribuent au test de chlore tout aussi comme le fait le chlore libre. Par conséquent, le graphique montre une légère augmentation du chlore résiduel jusqu'à un certain niveau.

Étape III Lors de l'ajout supplémentaire de chlore, l'oxydation des chloramines et des composés chloro-organiques a lieu. La quantité de chlore résiduel diminue pour atteindre un minimum. Ce point est appelé point de rupture (breakpoint).

À ce stade, l'eau est complètement exempte de toutes sortes d'impuretés et est de qualité potable.

L'ajout de chlore jusqu'à ce point est appelé chloration au point de rupture, qui peut être définie comme la chloration de l'eau à un point tel que non seulement les bactéries pathogènes mais aussi la matière organique, les impuretés, les matières colorantes et les odeurs de l'eau sont oxydées et détruites.

Étape IV : Après le point de rupture située ici à **1,2 mg/l**, selon le graphe, le chlore n'est plus consommé et le chlore ajouté est égal au chlore disponible, ce qui montre à nouveau une augmentation du niveau de chlore résiduel.

Tableau 30 : L'évolution de la concentration du chlore combiné et chlore résiduel en fonction de la dose de chlore introduite. Temps de contact T2 = 2 heures et pH=7.85 et T=20°C (Mois de Mai).

Chlore injecté mg/l	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5
Chlore combiné mg/l	0.2	0.2	0.25	0.25						
Chlore libre mg/l					Traces	Traces	0.1	0.3	0.6	1

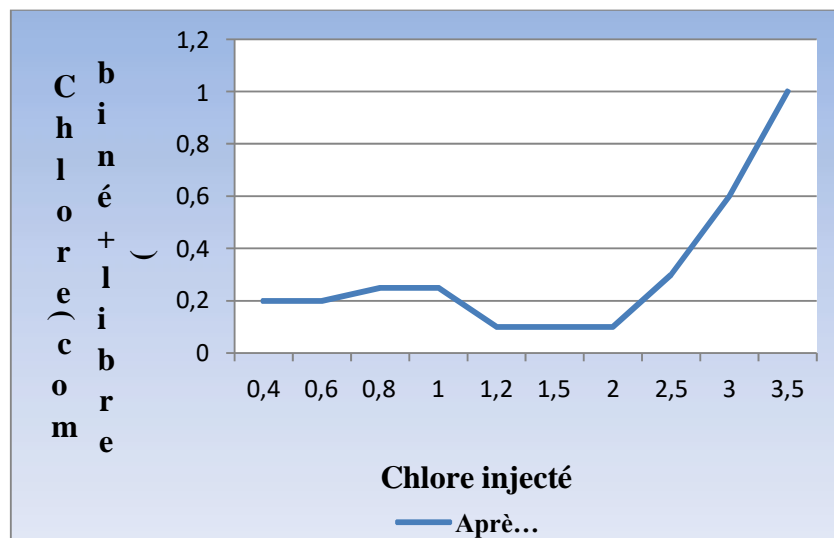


Figure III.30 : Evolution du chlore libre + combiné en fonction du chlore injecté : pH=7,85 et T=20°C, après T2= 2 h de contact. (Mois de Mai).

Interprétation et discussion :

En effet, après 2 heures de contact et à pH=7,85, le point de rupture (break point) a changé et sa valeur est maintenant de 2,0 mg/l, ce changement est dû à la réapparition de grandes quantités d'algues dans le barrage suite à une faible précipitation pendant cette période de printemps. La courbe obtenue présente **5** étapes

Étape I Dans Cette étape a lieu l'oxydation de substances réductrices, spécialement inorganiques: Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S ,... Tout l'hypochlorite qu'on ajoute est consommé, ceci révèle l'absence de chlore disponible.

Étape II - Quand ces substances ont été détruites, il commencerait une étape dans laquelle se formeraient les composés chlorés, principalement les chloramines, qui agiraient comme chlore résiduel, ce qui donnerait un certain caractère désinfectant au système.

Étape III - Quand tout l'ammoniac et les amines organiques ont réagi au chlore, après le palier de la courbe, il commence une étape de destruction de ces composés chlorés formés dans l'étape antérieure.

Étape IV Encore qu'on y ajoute du chlore, il n'y a pas un croisement de la quantité de chlore disponible, bien au contraire on observe une diminution, car on consomme d'avantage le chlore résiduel qui avait été formé, comme l'hypochlorite ajouté.

Dans l'équation suivante on peut observer cet effet:



Alors la capacité désinfectante du système se réduit dans cette étape.

Étape V - Après le point de rupture (breakpoint) situé maintenant à 2,0 mg/l, tout le chlore qu'on ajoute reste comme chlore résiduel. Lorsque toutes ces substances ont réagi avec le chlore, celui-ci reste sous forme de chlore libre.

À partir de ce point, on considère que la désinfection proprement dite et l'élimination des microorganismes par le chlore a lieu, et l'eau contient une quantité résiduelle de chlore libre spécifique.


Ainsi, en se basant sur la courbe de détermination de chlore on peut observer le point de rupture (break point) qui est un bon indicateur de la demande en chlore.


La demande de chlore est la différence qui existe entre la quantité de chlore appliquée à l'eau et celle de chlore libre disponible. Ainsi on peut considérer que la demande en chlore correspond à peu près à la dose dans laquelle le point de rupture est atteint.

Evaluation du quotient CT

Pour la même eau, à **pH = 7,85** et **T= 20 °C**, une eau bien définie par sa composition possède un quotient **CT** constant qui traduit l'efficacité de l'opération de désinfection.

CT = concentration en désinfectant X temps de contact = C mg/L x T minutes.

T1 = 60 mn premier temps de contact
C1 = 1,2 mg/l demande en chlore correspondante
  C1T1 = 1,2mg/l X 60 mn = 72 mg.mn/l

T2=120 mn deuxième temps de contact
C2 = 2 mg/l demande en chlore correspondante
  C2T2 = 2 mg/l X 120 mn = 240 mg.mn/l

II.III.4. Conclusion :

A partir des résultats précédents concernant l'évaluation de la dose optimale en chlore pour la même eau de pH= 7,85 mesuré à 20°C

La chloration réalisée à deux temps de contacts différents : T1=60 mn et T2=120 mn donne deux points de rupture différents de coordonnées (1,2mg/l, 0,085mg/l) et (2 mg/l, 0,1 mg/l); respectivement. Par conséquent, la demande en chlore pour le premier temps de contact est 1,2mg/l et la dose du chlore libre ou résiduel est de 0,085mg/l, par contre la demande en chlore pour le deuxième temps de contact est 2,0 mg/l, alors que le chlore résiduel est de 0,1mg/l.

Ces valeurs de chlore résiduel après désinfection sont très proches des normes exigées, en effet, avec ces doses, l'eau est complètement exempte de toutes sortes d'impuretés et est de qualité potable; de tel sorte que non seulement les bactéries pathogènes mais aussi la matière organique, les impuretés, les matières colorantes et les odeurs de l'eau sont oxydées et détruites.

Le temps de contact ou de désinfection est un facteur important, il dépend de beaucoup de paramètres, et le fait de tenir une concentration donnée de chlore libre ne garantit pas une désinfection appropriée si on ne maintient pas un contrôle rigoureux du temps de contact comme de tous les autres facteurs: pH, température.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Au cours des dernières années, on observe une utilisation croissante des eaux de barrages pour répondre aux besoins de l'agriculture, de l'alimentation des populations et de l'industrie. Les eaux de surface sont souvent impropres à la consommation humaine en raison de la pollution causée par nos activités et d'autres facteurs naturels qui réduisent leur potabilité.

De ce fait, les eaux de surface ont besoin d'un traitement adéquat afin d'acquérir les normes de qualité pour qu'elles soient agréables à l'alimentation humaine. Une eau dite potable doit posséder une faible dureté, une faible teneur en sels minéraux, ne pas présenter de concentrations en substances toxiques ou indésirables supérieures aux normes qui ont été déterminées en tenant compte de la toxicité connue du produit, enfin une pureté bactériologique .

Durant notre stage à la station de traitement des eaux de Hammam Debagh, nous avons observé de près les procédés de traitement adaptés aux eaux brutes provenant du barrage de Bouhamden, en mettant l'accent sur le procédé de chloration.

La désinfection par le chlore joue un rôle essentiel, elle permet de désinfecter l'eau et de protéger la santé publique en assurant sa qualité et sa sécurité.

Actuellement le chlore comme désinfectant demeure privilégié par rapport aux autres agents oxydants, en raison de son efficacité, de sa rémanence et de considérations économiques et technologiques, Cependant, il est important de contrôler attentivement le dosage de chlore afin de minimiser les effets indésirables potentiels.

Dans ce travail, nous avons étudié le procédé de désinfection des eaux par l'hypochlorite de sodium (NaClO) en mettant en relief les différents points qui doivent être pris en considération dans le cadre d'une optimisation de la dose du chlore nécessaire au processus de désinfection de ces eaux.

En se basant sur les résultats les plus remarquables des analyses des paramètres organoleptiques, physico chimiques chimiques et bactériologiques, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- ✓ Sur le plan organoleptique, tous les paramètres respectent les normes en vigueur en Algérie.
- ✓ En ce qui concerne les paramètres physico-chimiques, les eaux traitées répondent aux normes de potabilité établies par la norme algérienne, à l'exception du titre

Conclusion générale

alcalimétrique complet (TAC) et de la matière organique (MO) qui peuvent parfois dépasser les limites recommandées.

- ✓ Les résultats des analyses bactériologiques révèlent l'absence de germes pathogènes dans les eaux traitées, grâce à un bon traitement effectué à la station.

Au cours de cette étude, nous avons cherché également à déterminer la dose optimale de chlore injecté pour garantir l'efficacité du processus de chloration à la station de traitement de l'eau du Barrage Bouhamdane-Guelma. Le suivi de la teneur en chlore résiduel a confirmé que l'injection d'eau de javel était bien pratiquée.

En effet, après traitement, et à partir de la courbe de Break-point, la demande en chlore pour le premier temps de contact $T_1 = 60$ mn est 1,2mg/l et la dose du chlore libre ou résiduel correspondant est de 0,085mg/l, par contre la demande en chlore pour le deuxième temps de contact $T_2=120$ mn est 2,0 mg/l alors que le chlore résiduel est de 0,1mg/l.

Qui sont en conformité avec les valeurs recommandées par les normes algériennes.

En résumé, les résultats globaux indiquent que les eaux traitées sont conformes aux normes organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques établies en Algérie. Le processus de chloration est efficace pour garantir la qualité de l'eau traitée, en maintenant une dose optimale de chlore résiduel.

ANNEXE

Annexe

Tableau I: Les paramètres physicochimiques d'une eau potable selon l'OMS et le journal officiel Algérien.

Paramètres	Normes	
	ALG	OMS
Couleur (Pt/CO)	60	-
Turb (NTU)	05	-
PH	6.5-9	6.5-9.2
CE (µS/cm)	2800	-
TDS (mg/l)	-	-
Salinité	-	-
T (C°)	25	25
TH (°f)	500	200
TA (°f)	12	-
TAC (°f)	12	-
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	350	-
Ca ²⁺ (mg/l)	200	-
Mg ²⁺ (mg/l)	150	150
Cl ⁻ (mg/l)	500	250
MO (mg/l)	05	-
MES (mg/l)	<30	-
RS (mg/l)	2000	-
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.2	0.2
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.5	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	50
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	400	500
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.5	-
Fe ²⁺ (mg/l)	0.3	-
Al ³⁺ (mg/l)	0.2	0.2

Tableau II : Normes des paramètres bactériologiques d'une eau potable.

Paramètres	Normes ALG
GT (UFC/ml)	10
CT (UFC/100 ml)	00
CF (UFC/100ml)	00
SF (UFC/100ml)	00
ASR (UFC/20ml)	00