

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'impact du pH sur l'utilisation et le stockage de l'eau de javel au niveau de la station du Barrage Bouhamden-Guelma.

Présenté par :

Chouarfi Medjedi

Bouteraa Aymen

Sous la Direction de :

Dr. STITI Maamar

Juin 2025





Remerciements



Avant tout, nos louanges s'adressent à **Allah**, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, la patience et la volonté d'aller jusqu'au bout de ce travail. Sans Sa miséricorde et Sa guidance, rien de tout cela n'aurait été possible.

Nous tenons à exprimer notre **profonde gratitude** à **Monsieur le Dr. STITI Maàmar**, qui nous a honorés en acceptant de diriger ce mémoire. Sa disponibilité constante, ses conseils avisés, sa patience ainsi que ses orientations rigoureuses ont été essentiels à l'aboutissement de ce travail. Qu'il trouve ici le témoignage de notre respect le plus sincère et de notre reconnaissance.

Nous adressons également nos sincères remerciements au professeur **Boudjahem A. Ghani**, chef du Laboratoire de Chimie Appliquée (LCA), à **M^{me} Bouzit Habiba** et **M^r. Benayahoum Ali**, docteurs en chimie au sein du même laboratoire, ainsi qu'à **M^{me} Boultif Assia**, ingénieure de laboratoire, pour leur aide précieuse, leur bienveillance et leur accompagnement constant qui ont été d'un grand soutien tout au long de notre stage dans ce laboratoire.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à **l'ensemble de l'équipe du laboratoire de l'ADE de Hammam Debagh – Guelma**. Leur accueil chaleureux, leur disponibilité, ainsi que leur collaboration tout au long de notre stage ont grandement facilité notre travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde considération.

Nos remerciements vont également aux **membres du jury**, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour l'intérêt qu'ils y ont porté.

Nous n'oublions pas nos **enseignants**, pour l'enseignement de qualité qu'ils nous ont dispensé durant notre parcours, ainsi que leurs encouragements et leur accompagnement.



Enfin, nous remercions du fond du cœur **toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire**. À toutes et à tous, merci infiniment.





Dédicace



À ma famille bien-aimée, qui est l'essence même de ma vie,

*Je dédie ce travail à mes chers parents, **ma mère** et **mon père**, ainsi qu'à mes sœurs **Amira** et **Rouya** et à ma nièce **Chahed**, qui ont été pour moi un pilier solide et une source constante d'inspiration. Les mots ne suffiront jamais à exprimer toute ma gratitude et mon amour pour vous. Vous êtes le socle sur lequel je m'appuie à chaque étape de ma vie. Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible, chaque précieuse leçon, et tous les sacrifices que vous avez faits pour moi. Je prie Dieu de vous protéger, de vous accorder santé et sérénité, et de remplir vos jours de bonheur. Je vous aime sans limites, et je chéris profondément votre présence dans ma vie. Que cette étape soit le début d'un avenir radieux, riche en succès et en joie pour nous tous.*

*À toi, mon ami **Aymen**, merci pour la confiance que tu m'as accordée et pour avoir accepté de réaliser ce mémoire à mes côtés.*

À mes fidèles amis, qu'ils soient proches ou lointains, je vous remercie du fond du cœur pour votre soutien sans faille.

Et je tiens également à exprimer ainsi ma gratitude à tous les enseignants et à mes camarades de 2^e année de master qui m'ont transmis force et motivation.

Du fond du cœur, merci à vous tous.

Medjedi





Dédicace



À ma famille bien-aimée, véritable essence de ma vie,

*Je dédie ce travail à mes chers parents, ma mère et mon père, ainsi qu'à mes sœurs **Ines** Et **Layen**, et mon frère **Louay** qui ont toujours été pour moi un pilier solide et une source inépuisable d'amour, de réconfort et d'inspiration.*

Les mots ne suffiront jamais à traduire la profondeur de ma gratitude et de mon attachement envers vous. Vous êtes le socle sur lequel je m'appuie à chaque étape de mon existence. Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien sans faille, vos sacrifices silencieux et les valeurs que vous m'avez inculquées.

Je prie Dieu de vous protéger, de vous accorder santé, sérénité et une vie comblée de bonheur. Je vous aime infiniment et chéris profondément votre présence dans ma vie. Puisse cette étape marquer le début d'un avenir prometteur, empli de succès et de joie pour nous tous.

*À toi, mon ami **Medjedi**, merci pour ta confiance et pour avoir accepté de partager avec moi l'aventure de ce mémoire.*

À mes amis fidèles, qu'ils soient proches ou éloignés, je vous adresse toute ma reconnaissance pour votre soutien constant et sincère.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à tous les enseignants et camarades de la deuxième année de master, qui m'ont transmis énergie, motivation et encouragement.

Du fond du cœur, merci à vous tous.

Aymen



Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
Références	3

Première partie : Partie théorique

Chapitre I: Généralités sur l'eau

Introduction :	6
I.I.1 Définition de l'eau	6
I.I.2 Importance de l'eau.....	6
I.I.3 Cycle d'eau	7
I.I.4 Propriétés de l'eau.....	8
I.I.4.1 Propriétés chimiques de l'eau	8
I.I.4.2 Propriétés physiques de l'eau.....	8
I.I.4.3 Propriétés biologiques de l'eau	9
I.I.5 Etat de l'eau	10
I.I.5.1 Liquide	10
I.I.5.2 Solide	10
I.I.5.3 Gazeux	11
I.I.6 Classification de l'eau	11
I.I.6.1 Eaux souterraines	11
I.I.6.2 Eaux de surface	12
I.I.6.3 Eaux des mers et des océans	12
I.I.6.4 Eau de consommation (potable).....	13
I.I.6.5 les eaux usées.....	13
I.I.7 Composition de l'eau	14
I.I.8 La pollution de l'eau	16
I.I.8.1 Les sources de pollution.....	16
I.I.8.1.2 Pollution agricole	17
I.I.8.1.3 Pollution industrielle	17
I.I.8.2 Les principaux polluants	18
I.I.8.2.1 polluants physiques	18
I.I.8.2.2 Polluants chimiques	18

SOMMAIRE

I.I.8.2.3 Polluants microbiologiques	18
Conclusion	18
Références	19

Chapitre II: Chaîne de traitement de l'eau potable au niveau de la station

Introduction.....	22
I.II.1 Les normes de qualité de l'eau	22
I.II.1.1 Les paramètres microbiologiques	22
I.II.1.2 Les paramètres physico-chimiques.....	23
I.II.1.3 Les paramètres organoleptiques.....	24
I.II.1.4 Les paramètres concernant les substances toxiques	24
I.II.1.5 Les paramètres liés aux substances indésirables.....	25
I.II.2 La chaîne de traitement d'eau.....	25
I.II.2.1 Captage	26
I.II.2.2 Le prétraitement	26
I.II.2.3 Peroxydation	27
I.II.2.4 La clarification	27
I.II.2.4.1 Coagulation.....	27
I.II.2.4.2 Floculation	28
I.II.2.5 La décantation et la flottation	28
I.II.2.6 Filtration	29
I.II.2.6.1 Filtration sur sable	30
I.II.7 La désinfection.....	31
I.II.7.1 Efficacité des traitements de désinfection :	32
I.II.8 L'affinage	32
I.II.9 Stockage et distribution	32
Conclusion	33
Références	34

Chapitre III: La désinfection par l'eau de Javel

I.III.1 La désinfection par l'eau de Javel	37
I.III.2 Le rôle du chlore dans la désinfection	37
I.III.3 Définition.....	37
I.III.4 Synthèse de l'eau de Javel.....	37

SOMMAIRE

I.III.5 Propriétés physiques et chimiques de l'eau de Javel	38
I.III.5.1 Propriétés chimiques	38
I.III.5.2 Propriétés physiques.....	38
I.III.6 La décomposition de l'eau de Javel.....	38
I.III.7 Mécanisme réactionnel de la décomposition de l'eau de Javel.....	39
I.III.7.1 Formation d'hypochlorite	39
I.III.7.2 Formation de chlorates	39
I.III.7.3 Formation de chlore gazeux	39
I.III.8 L'efficacité de l'eau de Javel contre les agents pathogènes	40
I.III.9 L'influence du pH sur l'utilisation de l'eau de Javel	40
I.III.10 L'influence du pH sur le stockage de l'eau de Javel.....	42
I.III.11 Avantages et qualités de l'eau de Javel	44
Conclusion	44
Références	45

Chapitre IV: Analyse Physicochimiques et Bactériologiques de l'eau brute et traitée du Barrage Bouhamdene

I.IV.1 Analyses physico-chimiques.....	47
I.IV.1.1 Température	47
I.IV.1.2 Turbidité.....	47
I.IV.1.3 Conductivité électrique	47
I.IV.1.4 Dureté.....	48
I.IV.1.5 PH	48
I.IV.1.6 Potassium (K^+)	49
I.IV.1.7 Sulfates (SO_4^{2-})	49
I.IV.1.8 Sodium (Na^+)	49
I.IV.1.9 Nitrates (NO_3^-)	49
I.IV.1.10 Chlore résiduel libre.....	49
I.IV.2 Les analyses bactériologiques	51
I.IV.2.1 Les Germes totaux à 22 °C et 37 °C	51
I.IV.2.2 Les Coliformes totaux.....	51
I.IV.2.3 Les Coliformes fécaux (Escherichia coli).....	51
I.IV.2.4 Les Streptocoques fécaux.....	51

SOMMAIRE

I.IV.2.5 Les Clostridiums sulfito-réducteurs	52
Conclusion	52
Références :	53

Deuxième partie : Protocoles Expérimentaux & Résultats et discussions

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude

Introduction.....	56
II.I.1 Présentation de la wilaya de Guelma.....	56
II.I.2 Présentation du barrage hammam debagh (barrage de Bouhamdene).....	57
II.I.3 Le cadre géologique et lithologique du barrage	57
II.I.4 Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh	58
II.I.5 Répartition des besoins selon la population.....	59
II.I.6 Climat	59
II.I.7 La station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh	59
Références	61

Chapitre II: Protocoles expérimentaux

II.II.1 Mode de prélèvement	63
II.II.2 Enregistrement et étiquetage des échantillons.....	63
II.II.3 Certaines Analyses Physicochimiques et Chimiques de l'eau brute et traitée réalisées au niveau de la station	64
II.II.3.1 Mesure de la turbidité.....	64
II.II.3.2 Détermination des alcalinités TA et TAC et les bicarbonates	64
A. Titre alcalimétrique simple (TA).....	64
B. Titre alcalimétrique complet (TAC)	65
C. Détermination de la concentration des (HCO_3^-)	65
II.II.3.3 Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)	65
II.II.3.4 Dosage des chlorures (Cl^-)	66
II.II.4 Protocoles expérimentaux de la demande en chlore	67
II.II.4.1 Echantillonnage	67
II.II.5 Méthodes analytiques	67
II.II.5.1 Procédure expérimentale pour la préparation de la solution de l'eau de Javel	67
II.II.5.2 Méthodes de dosage du Chlore	68
II.II.5.2.1 Dosage du chlore résiduel	68

SOMMAIRE

II.II.5.3 Détermination de la demande en chlore	68
II.II.5.4 Description des essais de chloration.....	69
II.II.6 (Le quotient CT) : Dose en désinfectant et son temps de contact	69
II.II.7 Etude de l'influence du pH sur le stockage et l'utilisation de l'eau de javel	71
II.II.7.1 Etude de l'influence du pH sur la stabilité de l'eau de javel au cours de stockage :	71
II.II.7.2 Dosage des ions hypochlorite (ClO^-) dans la solution de l'eau de Javel à différents pH	72
II.II.7.2.1 Dosage iodométrique classique à température ambiante	72
II.II.7.2.2 Dosage acide-base (Par pH-métrie).....	73
II.II.7.2.3 Dosage spectrophotométrique	74
II.II.8 Analyses Bactériologiques de l'eau brute et traitée	76
II.II.8.1 Recherche des germes totaux à 37°C (GT)	76
II.II.8.2 Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF).....	76
II.II.8.3 Recherche des streptocoques fécaux	77
II.II.8.4 Recherche des anaérobies sulfite-réducteur (ASR).....	78
II.II.8.5 Étude du pouvoir désinfectant en fonction du pH.....	79
II.II.8.5.1 Procédure de désinfection.....	79
Références	80

Chapitre III: Résultats & Discussions

II.III.1 Analyses chimiques et physicochimiques de l'eau au niveau de la station de traitement du barrage de Bouhamdene	82
II.III.1.1 Mesure de la turbidité.....	82
II.III.1.2 Mesure de TA et TAC et les bicarbonates (HCO_3^-).....	83
A. Détermination du titre alcalimétrique simple (TA)	83
B. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).....	84
C. Détermination de la concentration des Bicarbonates (HCO_3^-)	85
II.III.1.3 Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	86
II.III.1.4 Dosage des chlorures (Cl^-).....	87
II.III.2 Détermination de la dose optimale en chlore de l'eau de Javel versée pour la désinfection de l'eau	88
II.III.3 Analyses de l'eau de javel utilisée dans la station	94
II.III.3.1 Dosage des ions hypochlorite (ClO^-) dans la solution de l'eau de Javel.....	94

SOMMAIRE

II.III.3.1.1 Dosage iodométrique des ions hypochlorite	94
II.III.3.1.2 Dosage pH métrique des ions hypochlorite	96
II.III.3.1.3 Dosage Spectrophotométrique direct des ions hypochlorite	101
II.III.4 Analyses Bactériologiques	106
II.III.4.1 Recherche des germes totaux à 37°C (GT)	106
II.III.4.2 Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)	107
A. Pour les coliformes totaux (CT)	107
B. Pour les coliformes fécaux (CF)	108
II.III.4.3 Recherche des anaérobies sulfite-réducteur (ASR)	109
II.III.4.4 Recherche des streptocoques fécaux	110
II.III.4.5 Exemple d'Étude du pouvoir désinfectant de la bactérie E. Coli en fonction	112
Références	114
CONCLUSION GENERALE	116

Liste des figures

Première partie : Partie théorique

Chapitre I: Généralités sur l'eau

Figure I.I.1 Cycle de l'eau dans la nature.....	7
Figure I.I.2: Structure de la molécule d'eau.....	8
Figure I.I.3: les différents états de l'eau.....	10
Figure I.I.4: Désordre des molécules.....	10
Figure I.I.5: Structure cristalline des molécules.....	10
Figure I.I.6 : Désordre maximal des molécules.....	11
Figure I.I.7: Les eaux souterraines	11
Figure I.I.8 : Vue des eaux de surface (barrage Bouhamden	12
Figure I.I.9 : Les eaux de mer.	13
Figure I.I.10: Image d'une eau usée.	13
Figure I.I.11: pollution de l'eau.	16
Figure I.I.12: La pollution domestique.....	16
Figure I.I.13: La pollution agricole	17
Figure I.I.14: La pollution industrielle.	17

Chapitre II: Chaine de traitement de l'eau potable au de niveau de la station

Figure II.1 Etape de coagulation	28
Figure II.2 Bassin de décantation.	29
Figure II.3 Etape de filtration sur sable.....	31

Chapitre III: La désinfection par l'eau de Javel

Figure III.1 l'influence du pH sur l'efficacité désinfectante de l'eau de Javel	41
Figure III.2 l'influence du pH sur la dégradation de l'eau de Javel	43

Deuxième partie : Protocoles Expérimentaux & Résultats et discussions

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude

Figure I.1 Image satellite du barrage Bouhamdene.....	57
Figure I.2 Entrée de la Station de traitement des eaux Hammam Debagh	60
Figure I.3 Image avec Google Earth (2025) montrant l'emplacement de station de traitement de l'eau potable Hammam Debagh Wilaya de Guelma.....	60

Chapitre II: Protocoles expérimentaux

Figure II.1 photos réelles d'échantillons prélevés	63
Figure II.2 Image du turbidimètre utilisé	64
Figure II.3 Montage représentant l'analyse de TA	65
Figure II.4 Montage représentant l'analyse de TAC	65
Figure II.5 L'analyse de TH.....	66
Figure II.6 Montage représentant l'analyse des Cl^-	67
Figure II.7 Image représentant le dosage iodométrique classique des ions hypochlorite	73
Figure II.8 Image représentant le dosage ph-métrique	74
Figure II.9 Image représentant le dosage spectrophotométrique direct de l'eau de Javel	75
Figure II.10 Image représentant l'analyse bactériologique de l'eau (Coliformes totaux et fécaux)	76
Figure II.11 Image représentant l'analyse de la bactérie (Escherichia coli) Dans l'eau	79

Chapitre III: Résultats & Discussions

Figure III.1 Evolution de la turbidité (Turb) (Janvier 2025 à Avril 2025)	82
Figure III.2 Evolution du titre alcalimétrique simple (TA) (Janvier 2025 à Avril 2025)	83

LISTES DES FIGURES

Figure III.3 Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) (Janvier 2025 à Avril 2025)	84
Figure III.4 Evolution des bicarbonates (HCO_3^-) (Janvier 2025 à Avril 2025)	86
Figure III.5 Evolution du titre hydrotimétrique (TH) (Janvier 2025 à Avril 2025) ..	87
Figure III.6 Evolution des chlorures (Cl^-) (Janvier 2025 à Avril 2025).....	88
Figure III.7 Evolution du chlore libre + combiné en fonction du chlore injecté à $\text{pH}=7,93$ et $T=15^\circ\text{C}$ après $T_2=2\text{h}$ de contact (Mois de mars).....	90
Figure III.8 Courbe de Dosage pH- métrique de l'eau de Javel (À $\text{pH}=11,5$).....	97
Figure III.9 Courbe du dosage pH- métrique de l'eau de Javel (À $\text{pH}=11,5$ après 5jrs)	100
Figure III.10 Evolution des allures des spectres d'absorption en baissant Le pH de l'eau de Javel	102
Figure III.11 : Superposition des spectres d'absorption des solutions d'eau de Javel à différents pH.....	103
Figure III.12 Evolution des germes totaux (GT) (Janvier 2025 à Avril 2025)	107
Figure III.13 Evolution des coliformes totaux (CT) (Janvier 2025 à Avril 2025)	108
Figure III.14 Evolution des coliformes fécaux (CF) (Janvier 2025 à Avril 2025) ...	109
Figure III.15 Evolution des anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) (Janvier 2025 à Avril 2025)	110
Figure III.16 Evolution des streptocoques fécaux (Janvier 2025 à Avril 2025)	111
Figure III.17 le diagramme de la répartition des deux espèces (HOCl) et (OCl^-) en fonction de pH	113

Liste des tableaux

Première partie : Partie théorique

Chapitre I: Généralités sur l'eau

Tableau I.1 Principaux types de substances présentes dans l'eau et leurs effets	15
---	----

Chapitre III: La désinfection par l'eau de Javel

Tableau III.1 Tableau comparatif de la forme prédominante selon le pH.....	42
Tableau III.2 Résumé des effets du pH sur le stockage.....	43

Chapitre IV : Analyse physicochimiques et bactériologiques de l'eau

Tableau IV.1 classification des eaux selon leur conductivité électrique	48
Tableau IV.2 classifications des eaux selon leur pH.....	48
Tableau IV.3 Normes algérienne de l'eau potable	50

Deuxième partie : Protocoles Expérimentaux & Résultats et discussions

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude

Tableau I.1 Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh.....	58
--	----

Chapitre III: Résultats & Discussions

Tableau III.1 Résultats des analyses de la turbidité (Janvier 2025 à avril 2025)	82
Tableau III.2 Résultats des analyses de TA (Janvier 2025 à Avril 2025)	83
Tableau III.3 Résultats des analyses de TAC (Janvier 2025 à Avril 2025).....	84
Tableau III.4 Résultats des analyses de bicarbonates (Janvier à Avril 2025)	85
Tableau III.5 Résultats des analyses de TH (Janvier 2025 à avril 2025.....	86
Tableau III.6 Résultats des analyses des chlorures (Janvier 2025 à avril 2025)	87
Tableau III.7 L'évolution de la concentration du chlore combiné et chlore résiduel en fonction de la dose de chlore introduite. A pH= 7,93 et T=15°C, Temps de contact T ₂ =2heures. (Mois de mars)	89

LISTE DES TABLAUX

Tableau III.8 Résultats du Dosage iodométrique des ions hypochlorite à différents pH	95
Tableau III.9 Résultats de Dosage pH- métrique de l'eau de Javel (À pH=11,5).....	96
Tableau III.10 Résultats du Dosage pH-métrique de l'eau de Javel (À pH=11,5 après 5jrs)	99
Tableau III.11 Résultats des analyses des germes totaux (Janvier 2025 à Avril2025).....	106
Tableau III.12 Résultats des analyses des coliformes totaux (Janvier 2025 à Avril 2025)	107
Tableau III.13 Résultats des analyses de coliformes fécaux (Janvier 2025 à Avril2025)...	108
Tableau III.14 Résultats des analyses des anaérobies sulfito-réducteurs (Janvier 2025 à Avril 2025).....	109
Tableau III.15 Résultats des analyses des streptocoques fécaux (Janvier 2025 à Avril 2025)	110
Tableau III.16 Résultats des analyses d'E. Coli À différents pH.....	112

Liste d'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 Aérobie et Anaérobies
BGN	Bacilles Gram Négatifs
CF	Coliformes Fécaux
CT	Coliformes Totaux
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DPD	(N,N-Diethyl-p-Phenylen-Diamine)
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique
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	Résidu Sec
TA	Titre Alcalimétrique
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TGEA	Gélose Tryptone Glucose Agar
UFC	Unité Formant Colonie
VHA	Virus de l'Hépatite A
VIH	Virus de l'Immunodéficience Humaine
VLC	Méthode au violet Leuco Cristal

Résumé

L'eau de Javel, solution d'hypochlorite de sodium à pH alcalin élevé, est un désinfectant efficace, mais sa stabilité dépend du pH, de la température, de la lumière et du temps de stockage. Leur variation peut entraîner sa dégradation et réduire son efficacité.

Cette étude vise à évaluer l'efficacité de l'eau de Javel comme désinfectant dans le traitement de l'eau potable à la station du Barrage Bouhamden (wilaya de Guelma), en analysant l'influence du pH sur son stockage, son utilisation et sa stabilité chimique.

Dans ce cadre, des analyses ont été réalisées pour évaluer la concentration en ions hypochlorite (OCl^-), ainsi que sa transformation chimique en fonction du pH.

Les résultats obtenus à partir des méthodes iodométrique, pH-métrique et spectrophotométrique ont permis d'évaluer de manière cohérente la concentration en ion hypochlorite dans l'eau de Javel. L'étude de deux plages de pH a montré que le pH élevé (≥ 11) est favorable à la stabilité de l'eau de Javel lors du stockage, limitant la dégradation du chlore actif. En revanche, un pH plus faible (6,5–8,5) optimise l'efficacité désinfectante en favorisant la forme active de l'acide hypochloreux (HOCl).

Les résultats obtenus mettent en évidence l'impact significatif du pH sur la stabilité de l'eau de Javel, et soulignent la nécessité de contrôler précisément ce paramètre lors de l'utilisation et du stockage de la solution au sein de la station. Ces conclusions visent à optimiser les pratiques de conservation et de désinfection, tout en garantissant la sécurité sanitaire de l'eau distribuée à la population.

Abstract

Sodium hypochlorite solution at high alkaline pH, commonly known as bleach, is an effective disinfectant; however, its stability is highly dependent on pH, temperature, light exposure, and storage duration. Variations in these factors can lead to degradation of the active compound and a subsequent decrease in disinfection efficiency.

This study aims to assess the effectiveness of bleach as a disinfectant in the treatment of drinking water at the Bouhamden Dam station (Guelma Province), by analyzing the influence of pH on its storage, use and chemical stability.

To this end, analyses were conducted to evaluate the concentration of hypochlorite ions (OCl^-) and their chemical transformation as a function of pH. The results obtained from the iodometric, pH-metric, and spectrophotometric methods provided consistent evaluations of hypochlorite ion concentrations in bleach.

The study of two pH ranges showed that high pH values (≥ 11) favor the stability of bleach during storage by limiting the degradation of active chlorine. Conversely, a lower pH range (6.5–8.5) enhances disinfectant efficiency by promoting the active form of hypochlorous acid (HOCl).

These findings highlight the significant impact of pH on the stability of bleach and underline the importance of precisely controlling this parameter during both usage and storage at the treatment station. The conclusions aim to optimize preservation and disinfection practices while ensuring the sanitary safety of the water supplied to the population.

ملخص

يعدّ ماء الجافيل، وهو محلول هيبوكلوريت الصوديوم عند درجة حموضة قلبية مرتفعة، مادة مطهرة فعالة، غير أنّ استقرارها يتأثر بشكل كبير بعوامل عدة، من بينها الرقم الهيدروجيني (pH) ، ودرجة الحرارة، والضوء، ومدة التخزين. إذ إنّ تغيّر هذه العوامل قد يؤدي إلى تحلّل المادة الفعالة، مما يقلّل من فعاليتها في التطهير.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية ماء الجافيل كمطهر في معالجة مياه الشرب بمحطة سد بوحمدن (ولاية قالمه)، من خلال تحليل تأثير درجة الحموضة على تخزينه واستخدامه، وثباته الكيميائي.

وفي هذا السياق، أُجريت تحاليل لقياس تركيز أيونات الهيبوكلوريت (OCI^-) ودراسة تحولها الكيميائي تبعاً لقيم الـ pH. وقد أظهرت النتائج المستخلصة من الطرق الثلاث: الطريقة اليودومترية، والقياس بواسطة pH ، والقياس الطيفي، قيماً متطابقة في تحديد تركيز أيون الهيبوكلوريت في ماء الجافيل.

أظهرت الدراسة أن درجة الحموضة المرتفعة (≥ 11) تُعدّ مناسبة لتخزين ماء الجافيل، حيث تساهم في الحد من تحلّل الكلور النشط. في المقابل، تُعدّ درجة الحموضة المنخفضة نسبياً (6.5–8.5) مثالية لتحقيق فعالية تعقيم أعلى، نظراً لهيمنة حمض الهيبوكلوروز ($HOCl$) ، وهو الشكل الأكثر نشاطاً كمطهر.

تُبرز النتائج التأثير الكبير لدرجة الحموضة على ثبات ماء الجافيل، وتؤكد على ضرورة التحكم الدقيق في هذا العامل سواء أثناء تخزينه أو استخدامه داخل المحطة. وتهدف هذه الاستنتاجات إلى تحسين ممارسات التعقيم وضمان سلامة المياه الموزعة للسكان من الناحية الصحية.

Introduction générale



INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource vitale pour la vie et la santé publique. Pourtant, l'accès à une eau potable reste un défi majeur du XXI^e siècle, notamment dans les régions exposées à la pollution ou à une forte pression démographique et industrielle [1]. Le traitement de l'eau constitue donc une priorité pour prévenir les maladies hydriques et assurer la sécurité sanitaire des populations [2].

Les stations de traitement, comme celle de Hammam Debagh alimentée par le barrage Bouhamdene (Guelma), jouent un rôle clé dans la production d'eau potable. Elles appliquent des procédés physico-chimiques et bactériologiques pour éliminer impuretés et agents pathogènes. La désinfection, ultime étape, vise à détruire les germes résiduels et à garantir la potabilité de l'eau jusqu'à son utilisation [3].

Parmi les désinfectants courants, l'eau de Javel (hypochlorite de sodium, NaClO) est largement utilisée pour son efficacité, son faible coût et sa disponibilité. Toutefois, son pouvoir désinfectant varie selon plusieurs facteurs, notamment le pH, qui détermine la forme du chlore actif. À pH acide ou neutre, le chlore se présente sous forme d'acide hypochloreux (HOCl), plus efficace, tandis qu'à pH basique, il prédomine sous forme d'ion hypochlorite (OCl^-), moins actif [4].

Un enjeu souvent négligé concerne la stabilité de l'eau de Javel durant le stockage. L'hypochlorite de sodium est instable et se dégrade sous l'effet de la lumière, de la température, des impuretés métalliques et surtout du pH. Des conditions de stockage inadéquates peuvent entraîner une perte de chlore actif, compromettant l'efficacité de la désinfection et augmentant les risques sanitaires [5].

À la station de Hammam Debagh, cette problématique est d'autant plus cruciale que l'eau brute du barrage Bouhamdene présente des variations saisonnières de qualité [6]. Il est donc essentiel d'adapter les doses et les valeurs de pH de l'eau Javel, de contrôler le pH de l'eau et d'optimiser les conditions de stockage pour garantir un traitement efficace conforme aux normes en vigueur [1].

INTRODUCTION GENERALE

Le présent mémoire s'inscrit dans cette dynamique de contrôle et d'optimisation des paramètres de désinfection, en se concentrant spécifiquement sur l'étude de l'influence du pH sur l'utilisation et le stockage de l'eau de Javel au niveau de la station du barrage Bouhamdene-Guelma. Il s'agit d'un travail à la fois expérimental et analytique visant à :

- Comprendre l'évolution de la concentration en chlore actif dans les solutions d'hypochlorite au cours du stockage et la désinfection.
- Proposer des recommandations techniques pour améliorer la conservation de l'eau de Javel et adapter le traitement en fonction de son pH.

La première partie de ce mémoire est consacrée à l'étude bibliographique, elle est constituée des quatre chapitres suivants : l'eau, Chaîne de traitement de l'eau au niveau de la station, Les procédés désinfection par l'eau de Javel, et l'Analyse Physicochimiques et Bactériologiques de l'eau brute et traitée du Barrage Bouhamdene.

La deuxième partie portera sur l'étude pratique réalisée sur le terrain au niveau de la station de Hammam Debagh, aux laboratoires pédagogiques du département SM et au laboratoire de recherche LCA (laboratoire de chimie appliquée), elle est composée de trois chapitres en l'occurrence : Présentation de la zone d'étude, Mode opératoire, et Résultats et discussions.

Le mémoire débute par une introduction et se termine par une conclusion générale.

Ce travail s'adresse non seulement aux spécialistes de la chimie et du traitement des eaux, mais également aux gestionnaires des stations de traitement et aux autorités locales soucieuses d'améliorer la sécurité sanitaire de l'eau distribuée à la population.

Références

- [1] Bartram, J., & Ballance, R. (1996). Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. World Health Organization.
- [2] Oppenheimer, J. (2008). Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water. World Health Organization.
- [3] World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. WHO Press.
- [4] Kegley, S. E., & Williams, P. J. (1997). "Chlorine Disinfection in Water Treatment and Its Impact on Public Health." *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(8), 1709-1716.
- [5] Miettinen, M. S. (2001). "Stability of Sodium Hypochlorite Solutions." *Journal of Applied Chemistry*, 51(5), 453-459.
- [6] Kimbrough, D. E., & Shukla, M. (2007). "Seasonal and Climatic Variability in Water Quality of Natural Waters." *Environmental Monitoring and Assessment*, 128(1-3), 241-251.



Première partie :

Etude bibliographique

Chapitre I

L'eau

Introduction :

L'eau, essentielle à la vie, est un symbole d'équilibre et de vitalité. Bien que composée simplement de deux atomes d'hydrogène et d'un d'oxygène (H_2O), sa molécule possède une complexité remarquable à l'origine de propriétés physico-chimiques uniques. Elle régule le climat, façonne les paysages, dissout et transporte les éléments vitaux, et assure la stabilité des écosystèmes.

De l'océan aux gouttes de pluie, l'eau circule en continu grâce au cycle hydrologique (évaporation, condensation, précipitations, ruissellement), assurant l'équilibre des écosystèmes. Pourtant, bien que l'eau couvre 70 % de la planète, seule 2,5 % est douce et exploitable, ce qui en fait une ressource précieuse, limitée et inégalement répartie dans le monde.

La croissance démographique, l'industrialisation, l'agriculture intensive, la pollution et les changements climatiques menacent la qualité et la disponibilité de l'eau douce. Comprendre la nature et les fonctions de l'eau est essentiel pour préserver cette ressource, assurer la santé publique, la sécurité alimentaire et un développement durable pour les générations futures.

I.I.1 Définition de l'eau :

Malgré sa structure simple, l'eau possède des propriétés remarquables. Sa formule H_2O reflète deux atomes d'hydrogène liés à un atome d'oxygène par des liaisons covalentes polaires, permettant la formation de liaisons hydrogène entre molécules [1]. Pure, elle est incolore, inodore et sans goût. Mais dans la nature, elle contient toujours des substances dissoutes ou en suspension (minéraux, gaz, micro-organismes, matières organiques ou polluants), selon les milieux traversés [2].

I.I.2 Importance de l'eau :

L'eau est vitale pour la vie, représentant environ 70 % de la masse corporelle humaine. Elle participe aux principales fonctions physiologiques : régulation thermique, transport des nutriments, élimination des déchets, digestion et circulation [3]. Au niveau cellulaire, elle agit comme solvant et intervient dans les réactions métaboliques.

Sur le plan écologique, l'eau est l'habitat naturel de nombreuses espèces, des micro-organismes aux poissons [4]. Elle est aussi essentielle au développement économique : l'agriculture

consomme plus de 70 % de l'eau douce mondiale [5], à quoi s'ajoutent les besoins industriels, énergétiques et domestiques.

Depuis 2010, l'ONU reconnaît l'accès à une eau potable, propre et suffisante comme un droit humain fondamental [6]. Pourtant, de nombreuses populations, surtout dans les pays en développement, en sont encore privées.

I.I.3 Cycle d'eau :

Le cycle hydrologique décrit la circulation continue de l'eau sur Terre, sous l'effet du soleil et de la gravité. L'eau s'évapore des océans, des sols et des plantes (évapo-transpiration), se condense en nuages, puis retombe sous forme de précipitations (pluie, neige, grêle) [7].

L'eau s'infiltre pour recharger les nappes, ruisselle vers les cours d'eau ou s'évapore de nouveau. Ce cycle régule le climat, soutient les écosystèmes et renouvelle l'eau douce [8]. Cependant, l'urbanisation, la déforestation et la surexploitation le perturbent de plus en plus.

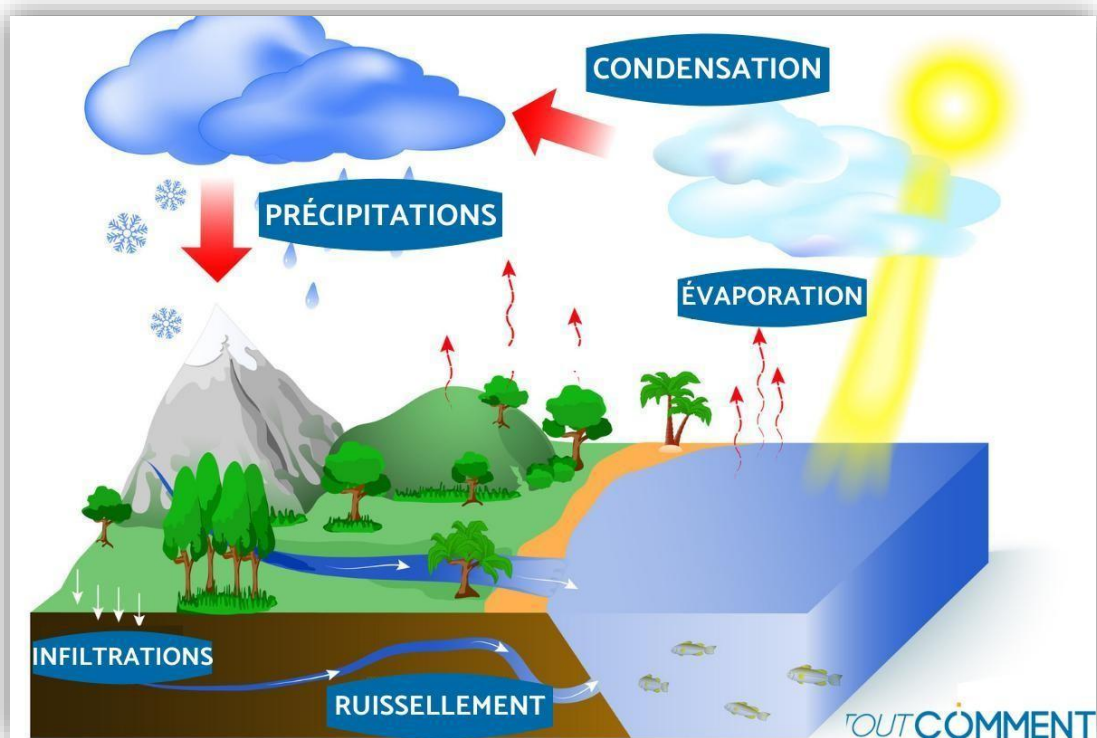


Figure I.I.1 Cycle de l'eau dans la nature

I.I.4 Propriétés de l'eau :

L'eau a des caractéristiques physiques et chimiques distinctives, ainsi que d'autres propriétés : on peut la congeler, la faire fondre, l'évaporer, la chauffer et même la mélanger.

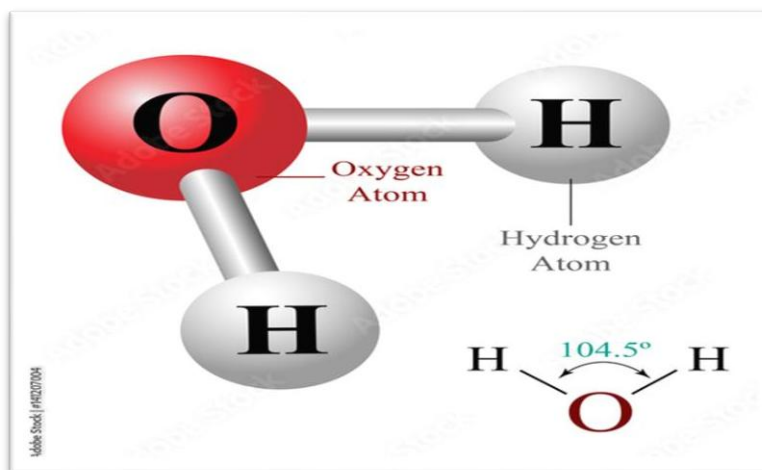


Figure I.I.2: Structure de la molécule d'eau.

I.I.4.1 Propriétés chimiques de l'eau :

L'eau, solvant polaire universel, dissout de nombreux minéraux, gaz et composés organiques grâce à sa constante diélectrique élevée et à ses liaisons hydrogène [9]. Elle intervient aussi dans des réactions clés comme l'hydrolyse, la photosynthèse et la respiration cellulaire [10].

I.I.4.2 Propriétés physiques de l'eau :

- **Masse volumique :**

La masse volumique de l'eau, ou densité, est un indicateur essentiel de sa pureté. À 4 °C et sous pression atmosphérique normale, elle atteint sa valeur maximale : 1 g/cm³ (ou 1000 kg/m³), référence en physique et chimie. Toutefois, cette densité varie avec la température, la pression et la teneur en sels dissous. Une hausse de température la fait baisser, tandis que les solutés l'augmentent. Ces variations influencent des phénomènes naturels comme la stratification des eaux et des procédés industriels de traitement [11].

- **Température d'ébullition :**

Sous pression atmosphérique normale (**1 atm**), l'eau bout à **100 °C**. Cette température élevée, comparée à d'autres liquides de masse similaire, s'explique par ses fortes liaisons hydrogène, qui demandent beaucoup d'énergie pour atteindre l'état gazeux.

- **Tension superficielle :**

À **20 °C**, la tension superficielle de l'eau atteint environ **0,0728 N/m**, l'une des plus élevées parmi les liquides. Elle résulte des fortes liaisons hydrogène entre les molécules, permettant des phénomènes comme la capillarité ou la flottabilité des insectes à sa surface.

- **Viscosité :**

La viscosité de l'eau diminue avec la température : elle passe d'environ **1,002 mPa·s** à **20 °C** à **0,282 mPa·s** à **100 °C**. Cette baisse s'explique par l'augmentation de l'énergie cinétique, qui réduit les interactions entre molécules et facilite leur mouvement.

- **La conductivité électrique**

L'eau pure conduit mal l'électricité, avec une conductivité d'environ **$5,5 \times 10^{-6}$ S/m** à **20 °C**, en raison de sa faible teneur en ions. En revanche, la présence de sels dissous augmente fortement cette conductivité, utilisée dans de nombreuses applications industrielles et environnementales.

I.I.4.3 Propriétés biologiques de l'eau

L'eau est le principal constituant de la matière organique, représentant en moyenne 80 % des organismes vivants. Chez les animaux supérieurs, elle constitue 60 à 70 % de leur masse, tandis que certaines méduses ou algues atteignent 98 %. À l'inverse, les bactéries sporulées peuvent descendre à 50 % [12].

I.1.5 Etats de l'eau :

L'eau peut exister sous trois états en fonction de la température et de la pression :



Figure I.1.3: Les différents états de l'eau

I.1.5.1 Liquide :

État prédominant sur Terre, notamment dans les rivières, lacs, mers et nappes souterraines.

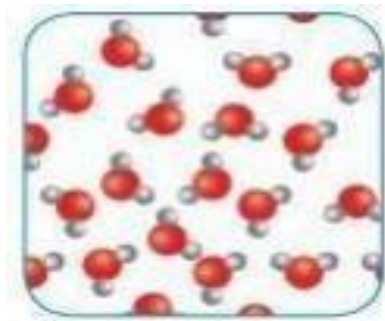


Figure I.1.4: Désordre des molécules à l'état liquide

I.1.5.2 Solide :

Sous forme de glace ou de neige, présente dans les calottes polaires, glaciers ou montagnes.

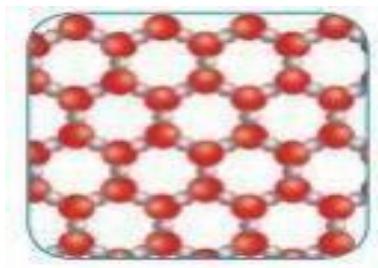


Figure I.1.5: Structure cristalline des molécules à l'état solide

I.I.5.3 Gazeux :

Sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère, influençant le climat et la météo [13].

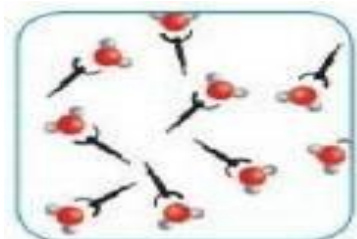


Figure I.I.6 : Désordre maximal des molécules à l'état gazeux

I.I.6 Classification de l'eau

L'eau naturelle peut être classée selon son origine, sa composition et son degré de pollution. Cette classification permet d'adapter les traitements nécessaires pour la rendre potable ou réutilisable.

I.I.6.1 Eaux souterraines

Ces eaux résultent de l'infiltration des précipitations à travers les sols et sont retenues dans des nappes aquifères. Moins exposées aux pollutions directes, elles restent toutefois vulnérables à la contamination par les nitrates et les pesticides [14].

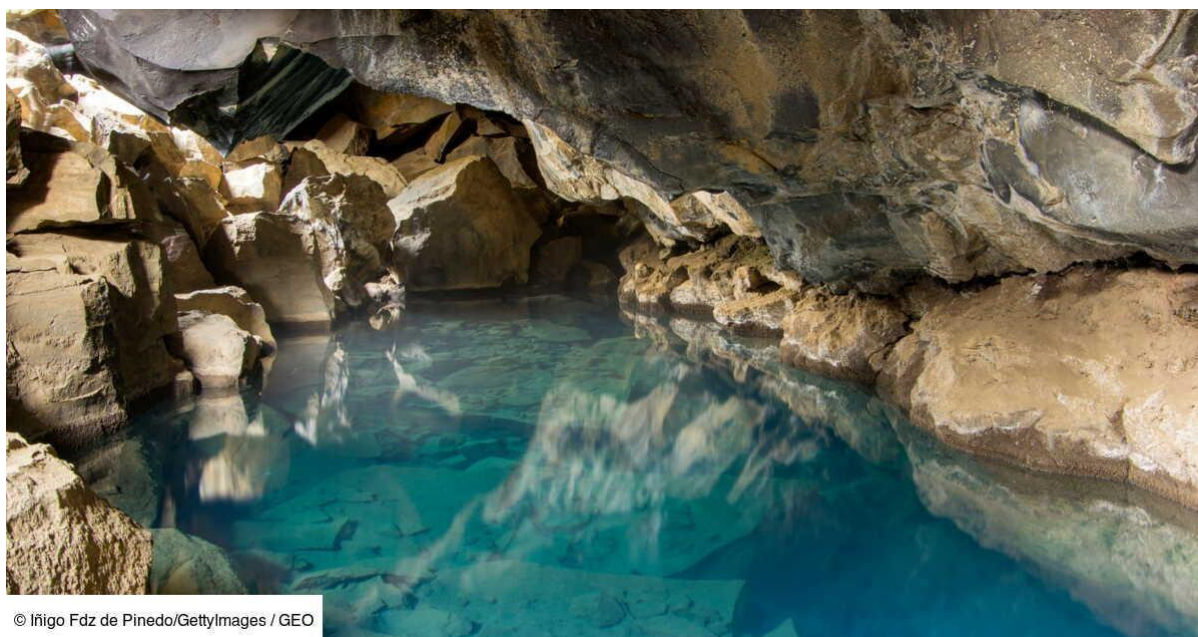


Figure I.I.7: Les eaux souterraines

I.I.6.2 Eaux de surface :

Comprenant les rivières, fleuves, lacs, barrages et réservoirs, elles sont plus exposées aux rejets urbains, agricoles et industriels. Leur qualité fluctue fortement selon les saisons et les activités humaines [15].



Figure I.I.8 : Vue des eaux de surface (barrage Bouhamden)

I.I.6.3 Eaux des mers et des océans :

Les eaux marines, représentant plus de 70 % de la surface terrestre, contiennent en moyenne 35 g/L de sels dissous, essentiellement du chlorure de sodium. En l'état, elles sont impropres à la consommation. Le dessalement, par osmose inverse ou distillation, permet de produire de l'eau douce, mais ces procédés sont énergivores, coûteux et génèrent des rejets salins (brines) à traiter [16].



Figure I.I.9 : Les eaux de mer.

I.I.6.4 Eau de consommation (potable) :

L'eau potable doit répondre à des critères stricts de qualité microbiologique, chimique et physique. Elle est généralement obtenue après traitements de clarification, désinfection et filtration [17].

I.I.6.5 les eaux usées :

Ce sont les eaux ayant été altérées par des usages domestiques, industriels ou agricoles. Leur traitement est essentiel avant rejet dans le milieu naturel ou réutilisation, afin d'éviter des risques sanitaires et environnementaux [18].



Figure I.I.10: Image d'une eau usée.

I.I.7 Composition de l'eau :

L'eau naturelle contient une multitude de substances dissoutes ou en suspension :

- **Minéraux** : calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorures, sulfates, etc.
- **Gaz dissous** : dioxygène, dioxyde de carbone, parfois méthane ou hydrogène sulfuré.
- **Matières organiques** : naturelles (acides humiques) ou issues de la pollution.
- **Micro-organismes** : bactéries, virus, algues, parasites [19].

Sa composition dépend de son origine (eau de pluie, de surface, souterraine) et des activités anthropiques environnantes.

Tableau I.1 Principaux types de substances présentes dans l'eau et leurs effets

Type de substance	Exemples	Origine	Effets / Remarques
Ions minéraux	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻	Dissolution des roches, apports agricoles (nitrates)	Influencent la dureté, la minéralisation, la conductivité; certains peuvent être toxiques à forte dose (ex. : NO ₃ ⁻)
Gaz dissous	O ₂ , CO ₂ , N ₂	Échanges avec l'atmosphère, activité biologique	L'oxygène est vital pour les organismes aquatiques ; le CO ₂ joue un rôle dans l'équilibre acido-basique
Substances organiques	Acides humiques, fulviques, composés organiques Divers	Décomposition de matières végétales et animales	Peuvent influencer la couleur de l'eau, consommer de l'oxygène, réagir avec le chlore pour former des sous-produits
Particules en suspension	Argile, limon, sédiments, matières organiques	Érosion, ruissellement, perturbations naturelles ou humaines	Augmentent la turbidité ; peuvent transporter des polluants ou micro-organismes adsorbés
Micro-organismes	Bactéries (E. coli), virus, protozoaires (Giardia, Cryptosporidium)	Contamination fécale, ruissellement, décomposition organique	Risques sanitaires importants ; indicateurs de pollution biologique ; nécessitent une désinfection

I.I.8 La pollution de l'eau :

La pollution de l'eau constitue une menace importante pour la santé humaine ainsi que pour les écosystèmes aquatiques. Elle provient essentiellement des activités anthropiques et se traduit par la présence de substances ou d'agents susceptibles de détériorer les qualités physico-chimiques et biologiques de l'eau.



Figure I.I.11: pollution de l'eau.

I.I.8.1 Les sources de pollution :

Les rejets domestiques sont une source majeure de pollution de l'eau. Ils comprennent les eaux usées des foyers, riches en détergents, matières organiques, huiles, microplastiques et agents chimiques. Les eaux grises (douches, lavabos) et noires (toilettes) contiennent de fortes concentrations de polluants et de germes pathogènes [20].



Figure I.I.12: La pollution domestique

I.I.8.1.2 Pollution agricole :

Exemple : Engrais azotés et phosphatés, pesticides et lisiers lessivés par les pluies.



Figure I.I.13: La pollution agricole

I.I.8.1.3 Pollution industrielle :

Les rejets industriels liquides contiennent divers polluants : métaux lourds (plomb, mercure, cadmium), solvants, hydrocarbures et substances acides ou basiques. Faute de traitement adéquat, ils peuvent contaminer durablement l'environnement, posant un problème chronique et difficile à résoudre.



Figure I.I.14: La pollution industrielle.

I.1.8.2 Les principaux polluants :

I.1.8.2.1 Polluants physiques :

Il s'agit principalement de matières en suspension (MES), de boues, et de variations thermiques excessives (pollution thermique). Les MES réduisent la transparence de l'eau, perturbent la photosynthèse et peuvent obstruer les branchies des poissons [21].

I.1.8.2.2 Polluants chimiques :

Les polluants chimiques regroupent une large variété de composés, tels que les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb), les nutriments (nitrates, phosphates), les hydrocarbures et les solvants organiques. Certains de ces polluants sont toxiques, persistants dans l'environnement et susceptibles de se bio-accumuler, entraînant des effets délétères à long terme tant sur la faune aquatique que sur la santé humaine [22], [23].

I.1.8.2.3 Polluants microbiologiques :

Les polluants microbiologiques incluent des agents pathogènes comme *Escherichia coli*, les entérovirus, *Giardia lamblia* ou *Cryptosporidium parvum*, responsables de maladies hydriques telles que gastro-entérites, dysenterie ou typhoïde. [24]

Ces polluants dégradent les ressources en eau, menacent la santé publique, perturbent les chaînes alimentaires et nuisent à la biodiversité. Leur surveillance et la mise en place de stratégies de prévention et de traitement sont essentielles [25].

Conclusion :

L'eau, en tant qu'élément fondamental de la vie, possède une richesse de propriétés et de fonctions qui la rendent indispensable à tous les niveaux de l'activité biologique, économique et écologique. Sa présence sous diverses formes et dans divers milieux en fait une ressource stratégique, mais également fragile face aux pressions anthropiques. Sa préservation nécessite une connaissance approfondie de ses propriétés, de son cycle et des risques de pollution qui la menacent.

Références

- [1] 2001. Chaplin, M. *Water: its importance to life. Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29(2), 54–59.
- [2] 2003. Debenedetti, P. G., & Stanley, H. E. *Supercooled and glassy water. Physics Today*, 56(6), 40–46.
- [3] 2023. World Health Organization (WHO). *Drinking-water*. WHO.
- [4] 2008. Ball, P. *Water as an active constituent in cell biology. Chemical Reviews*, 108(1), 74–108.
- [5] 2017. Food and Agriculture Organization (FAO). *Water for sustainable food and agriculture*. FAO.
- [6] 2010. United Nations General Assembly. *The human right to water and sanitation*. Resolution A/RES/64/292.
- [7] 2007. Trenberth, K. E., et al. *Estimates of the global water budget. Journal of Hydrometeorology*, 8(4), 758–769.
- [8] 2021. UNESCO. *United Nations World Water Development Report*. UNESCO.
- [9] 2014. Atkins, P., & de Paula, J. *Physical Chemistry*. Oxford University Press.
- [10] 2002. Stryer, L. *Biochemistry*. W.H. Freeman.
- [11] 2012. Lavoisier, A., & Rolland, J. *Chimie Générale : Propriétés de l'eau et solutions aqueuses*. Éditions Techniques Universitaires.
- [12] 2017. Nelson, D. L., & Cox, M. M. *Lehninger – Principes de biochimie* (7e éd.). De Boeck Supérieur.
- [13] 2006. Petty, G. W. *A First Course in Atmospheric Thermodynamics*. Sundog Publishing.
- [14] 2009. Rodier, J., et al. *L'analyse de l'eau*. Dunod.
- [15] 1996. Bartram, J., & Balance, R. *Water Quality Monitoring: A Practical Guide*. WHO/UNEP.
- [16] 2014. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill.
- [17] 2017. World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). WHO.
- [18] 2014. Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering*. McGraw-Hill.
- [19] 2017. American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). APHA.

- [20] 2017. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). *Lignes directrices pour la qualité de l'eau de boisson* (4e éd.). OMS.
- [21] 2000. Buffle, J., et al. *Introduction à la chimie environnementale*. PPUR.
- [22] 2003. Schwarzenbach, R. P., et al. *Environmental Organic Chemistry*. Wiley-Interscience.
- [23] 2007. ATSDR. *Toxicological Profile for Lead*. U.S. Department of Health and Human Services.
- [24] 2014. World Health Organization (WHO). *Water borne pathogens and their public health significance*. Technical Report.
- [25] 2021. UNESCO. *World Water Development Report*. UNESCO.

Chapitre II

**La chaine de traitement
d'eau potable au niveau
de la station.**

Introduction

Le traitement de l'eau est une étape essentielle pour garantir une eau potable conforme aux normes sanitaires et de qualité. L'eau brute provenant des sources naturelles, telles que les barrages, peut contenir diverses impuretés physiques, chimiques et biologiques qui représentent un risque pour la santé publique [1]. Afin d'éliminer ces contaminants, des procédés de traitement spécifiques sont mis en œuvre dans les stations de potabilisation, en suivant une chaîne de traitement bien définie comprenant des étapes physiques, chimiques et biologiques [2]. La maîtrise de ces opérations permet d'assurer une eau propre à la consommation humaine et respectueuse des normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et la réglementation algérienne [3].

I.II.1 Les normes de qualité de l'eau :

L'eau potable doit respecter des normes de qualité strictes, établies pour protéger la santé publique. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) fixe des seuils pour divers contaminants, qui sont ensuite adaptés par les réglementations nationales, comme celles appliquées en Algérie [4].

Ces paramètres se répartissent en plusieurs catégories : microbiologiques, physico-chimiques, organoleptiques, ainsi que les substances toxiques et indésirables.

I.II.1.1 Les paramètres microbiologiques :

Les paramètres microbiologiques servent à identifier la présence d'organismes pathogènes dans l'eau, tels que les bactéries, les virus ou les protozoaires, responsables de nombreuses maladies hydriques. La majorité de ces contaminations est d'origine fécale et constitue un risque sanitaire direct pour la population.

Les indicateurs microbiologiques les plus couramment surveillés sont :

- **Les coliformes totaux** : indicateurs généraux de contamination.

CHAPITRE II : LA CHAÎNE DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE LA STATION.

- **Les coliformes fécaux (ou Escherichia coli)** : indicateurs spécifiques de contamination d'origine fécale.
- **Les entérocoques** : également indicateurs de contamination fécale, plus résistants dans l'environnement.
- **Clostridium perfringens** : utilisés comme indicateurs de contamination ancienne.

Conformément aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et à la réglementation algérienne, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucun germe pathogène ; en particulier, la présence d'Escherichia coli doit être strictement nulle dans un échantillon de 100 mL [5][6].

I.II.1.2 Les paramètres physico-chimiques :

Ces paramètres englobent les propriétés physiques et chimiques de l'eau, qui conditionnent à la fois sa potabilité et son comportement au cours des traitements. Ils incluent notamment :

- **Le pH** : L'intervalle acceptable pour la désinfection se situe généralement entre 6,5 et 8,5. Un pH trop acide ou trop basique peut corroder les canalisations ou altérer l'efficacité des désinfectants [7].
- **La turbidité** : Elle reflète la concentration de particules en suspension. Elle doit rester inférieure à 5 NTU, avec une préférence pour <1 NTU après filtration, afin d'assurer une désinfection efficace [8].
- **La conductivité électrique** : Elle renseigne sur la concentration en ions dissous. Une valeur trop élevée peut indiquer une pollution saline ou minérale.
- **La dureté** : Elle est liée à la concentration en calcium et magnésium. Bien qu'elle n'ait pas d'effet direct sur la santé, une eau très dure ou très douce peut causer des désagréments.
- **Les matières en suspension (MES)** : elles doivent être éliminées pour éviter la croissance microbienne et améliorer l'efficacité des traitements.

I.II.1.3 Les paramètres organoleptiques :

Les paramètres organoleptiques se rapportent aux caractéristiques sensorielles de l'eau, telles que le goût, l'odeur et la couleur. Bien qu'ils n'affectent pas nécessairement la santé, ces éléments jouent un rôle déterminant dans la perception de la qualité de l'eau par les consommateurs et influencent directement son acceptabilité [9].

Les limites recommandées sont :

- **Couleur** : inférieure à 15 unités Hazan.
- **Odeur et goût** : absence d'odeur ou de goût désagréable.
- **Température** : une température entre 10°C et 15°C est généralement considérée comme agréable.

Ces paramètres peuvent aussi être révélateurs d'une contamination organique ou chimique, et doivent donc être surveillés régulièrement.

I.II.1.4 Les paramètres concernant les substances toxiques :

Certaines substances chimiques, même à très faible concentration, peuvent présenter une toxicité aiguë ou chronique pour la santé humaine. Ces contaminants proviennent principalement des activités industrielles, agricoles (pesticides, engrais) ou encore de phénomènes de corrosion au sein des réseaux de distribution d'eau potable.

Parmi les substances les plus réglementées :

- **Les nitrates** : leur concentration ne doit pas dépasser 50 mg/L pour éviter les risques de méthémoglobinémie chez les nourrissons [10].
- **Les métaux lourds** : comme le plomb ($\leq 10 \mu\text{g/L}$), le cadmium ($\leq 3 \mu\text{g/L}$), le mercure ($\leq 1 \mu\text{g/L}$) et l'arsenic ($\leq 10 \mu\text{g/L}$) [6].
- **Les hydrocarbures et solvants chlorés** : substances cancérigènes pouvant être issues de la pollution industrielle.

CHAPITRE II : LA CHAÎNE DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE LA STATION.

Ces contaminants doivent être rigoureusement surveillés, même s'ils ne sont pas toujours détectés dans les eaux de surface.

I.II.1.5 Les paramètres liés aux substances indésirables :

Il s'agit de substances d'origine naturelle ou issues des activités anthropiques, dont la toxicité n'est pas toujours immédiate, mais qui peuvent compromettre la qualité de l'eau et engendrer des effets néfastes à long terme sur la santé humaine et les écosystèmes.

Parmi ces substances, on retrouve :

- **Le fer et le manganèse** : à forte concentration, ils donnent une coloration à l'eau et favorisent la croissance de biofilms.
- **Le chlore et ses sous-produits** : tels que les trihalométhanes (THM), formés lors de la désinfection ; leur concentration doit être limitée pour éviter des effets sanitaires.
- **Le fluor** : nécessaire en faible quantité, mais toxique en excès ($>1,5$ mg/L) [11].
- **Les pesticides** : leur présence est surveillée en raison de leur utilisation massive en agriculture. La limite maximale par substance est souvent fixée à $0,1$ µg/L, et $0,5$ µg/L pour la somme des pesticides

I.II.2 La chaîne de traitement d'eau :

L'eau brute prélevée à partir de sources naturelles telles que les barrages contient une grande variété de polluants, qu'ils soient d'origine organique, minérale ou microbiologique. Avant d'être distribuée à la population, cette eau doit subir un traitement rigoureux pour répondre aux normes de potabilité. Le processus de traitement repose sur une série d'étapes physico-chimiques successives, conçues pour éliminer efficacement les impuretés. À la station de traitement de Hammam Debagh, cette chaîne de traitement est minutieusement adaptée aux caractéristiques spécifiques de l'eau en provenance du barrage de Bouhamdene, garantissant ainsi une eau conforme aux standards de qualité requis [12].

I.II.2.1 Captage

Le captage représente la première étape essentielle dans le processus de traitement de l'eau potable. Il consiste à prélever l'eau brute directement à partir du barrage de Bouhamdene, qui constitue la principale source d'alimentation de la station de Hammam Debagh. L'ouvrage de captage est spécialement conçu pour garantir une prise d'eau sécurisée, en limitant au maximum les risques de pollution accidentelle. Il permet également d'éviter l'entrée de corps étrangers tels que les matières flottantes (feuilles, débris végétaux) ou les particules lourdes (sables, graviers), grâce à des dispositifs de protection intégrés, assurant ainsi la qualité initiale de l'eau avant son traitement.

Le captage s'effectue généralement via :

- Une prise d'eau située à plusieurs niveaux, permettant de capter l'eau à la meilleure qualité possible selon la stratification thermique.
- Des conduites équipées de crépines ou de grilles pour empêcher l'entrée de gros débris [13].

I.II.2.2 Le prétraitement

Le prétraitement comprend des opérations mécaniques visant à éliminer les impuretés grossières, afin de faciliter les étapes ultérieures. Il comprend généralement :

- **Le dégrillage** : élimine les objets solides (branches, plastiques).
- **Le dessablage** : permet la décantation des particules lourdes (sables, graviers) grâce à un écoulement lent.
- **Le dégraissage (si présent)** : séparation des graisses et huiles en surface [14].

Ces étapes protègent les équipements et optimisent les performances des traitements chimiques.

I.II.2.3 Peroxydation

La peroxydation consiste à ajouter un agent oxydant en amont des traitements afin d'éliminer certains composés réducteurs, de désinfecter partiellement l'eau et d'améliorer la coagulation.

Les oxydants utilisés peuvent être :

- Le chlore (Cl_2 ou hypochlorite de sodium – NaOCl)
- Le dioxyde de chlore (ClO_2)
- Le permanganate de potassium (KMnO_4)
- L'ozone (O_3)

Objectifs de la peroxydation :

- Oxydation de la matière organique dissoute
- Amélioration de la coagulation
- Réduction des odeurs, goûts et micro-organismes [15]

La peroxydation est particulièrement efficace pour les eaux riches en matière organique naturelle (NOM).

I.II.2.4 La clarification

La clarification a pour but d'éliminer les matières en suspension et les colloïdes présents dans l'eau. Elle repose sur deux étapes complémentaires : **la coagulation** et **la floculation**

I.II.2.4.1 Coagulation

La coagulation est un procédé chimique consistant à neutraliser les charges électriques des particules colloïdales afin de permettre leur agglomération.

- Les coagulants utilisés sont souvent des sels métalliques comme le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ou le chlorure ferrique (FeCl_3).
- L'efficacité dépend du pH, de la turbidité et de la dose de réactif [16].



Figure II.1 Etape de coagulation

I.II.2.4.2 Flocculation

Après la coagulation, la flocculation permet de former des floccs plus gros par agitation lente, facilitant leur décantation.

- Elle se déroule dans des bassins munis d'agitateurs à pales tournantes ou à chicanes.
- Des polymères (floculants) peuvent être ajoutés pour améliorer l'agrégation des floccs.

Ces étapes permettent de piéger les impuretés et d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension [17].

I.II.2.5 La décantation et la flottation :

Après la coagulation-flocculation, deux procédés physiques permettent de séparer les floccs formés : la décantation et la flottation.

La décantation repose sur la gravité : l'eau est dirigée dans des bassins à faible vitesse d'écoulement, appelés décanteurs, où les floccs plus denses que l'eau se déposent au fond pour former des boues. Ces dernières sont évacuées périodiquement. On distingue les décanteurs

CHAPITRE II : LA CHAÎNE DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE LA STATION.

classiques (rectangulaires ou circulaires) et les décanteurs à lamelles, qui offrent une plus grande efficacité pour un encombrement réduit. Ce procédé est simple, économique et couramment utilisé, à condition que les floccs soient suffisamment lourds [18].

La flottation, en revanche, est utilisée lorsque les floccs sont trop légers pour se déposer. Elle consiste à injecter de fines bulles d'air dans l'eau (procédé de flottation à air dissous), qui s'attachent aux particules et les font remonter à la surface. Une écume se forme et est ensuite raclee mécaniquement. Ce procédé est efficace pour traiter des eaux contenant des algues, des huiles ou des floccs peu décantables, bien qu'il soit plus coûteux à exploiter [19].



Figure II.2 Bassin de décantation.

I.II.2.6 Filtration :

La filtration constitue une étape essentielle après la clarification. Elle permet de retenir les particules fines, les microorganismes résiduels et les floccs non décantés, améliorant ainsi la limpidité de l'eau.

I.II.2.6.1 Filtration sur sable

À la station de Hammam Debagh, la filtration s'effectue principalement par des filtres à sable, méthode largement utilisée dans les stations de traitement d'eau potable pour son efficacité et sa simplicité de mise en œuvre.

Un filtre à sable est composé de plusieurs couches superposées de matériaux filtrants :

- **Une couche supérieure de sable fin** (granulométrie entre 0,4 et 1,2 mm)
- **Des couches inférieures de graviers** de plus en plus grossiers
- **Un système de drainage** en fond de filtre

L'eau traverse ces couches de haut en bas. Les particules en suspension sont piégées mécaniquement dans les interstices entre les grains de sable ou par adsorption. Ce processus permet d'abaisser considérablement la turbidité et de réduire la charge bactérienne de l'eau.

Les filtres sont entretenus par lavage à contre-courant (backwash), généralement une fois que la perte de charge atteint une valeur critique, signe de colmatage. Ce nettoyage consiste à faire circuler de l'eau (parfois de l'air) de bas en haut pour évacuer les matières retenues.

La filtration sur sable offre plusieurs avantages :

- Grande efficacité sur les particules fines
- Coût d'exploitation modéré
- Robustesse et fiabilité

Elle est toutefois sensible aux variations de turbidité de l'eau brute et nécessite un bon suivi de la qualité d'entrée pour éviter les colmatages fréquents [20].

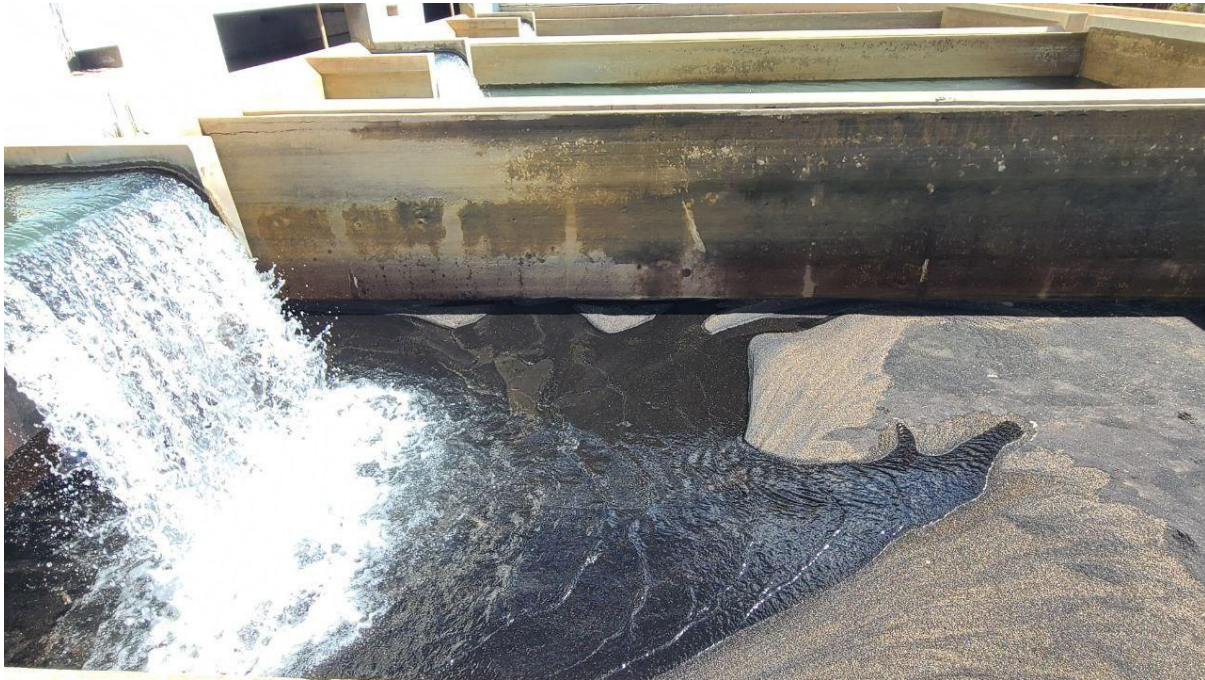


Figure II.3 Etape de filtration sur sable

I.II.7 La désinfection :

La désinfection est l'étape finale du traitement, indispensable pour éliminer les microorganismes pathogènes encore présents.

- **L'hypochlorite de sodium (eau de Javel)** : très utilisé pour son efficacité, sa disponibilité et sa persistance.
- **Le chlore gazeux** : utilisé dans les grandes installations.
- **Le dioxyde de chlore ou l'ozone** : efficaces mais plus coûteux.

L'efficacité dépend de plusieurs facteurs :

- **Le pH** : optimal entre 6,5 et 7,5 pour l'hypochlorite [21]
- **La température** : une eau plus chaude facilite la réaction
- **La turbidité** : une eau limpide permet un bon contact
- **Le temps de contact** et la concentration résiduelle de chlore

I.II.7.1 Efficacité des traitements de désinfection :

L'efficacité de la désinfection est vérifiée par la teneur en chlore résiduel libre (**0,2–0,5 mg/L**) et par l'analyse microbiologique (*E. coli*, coliformes). Une désinfection réussie assure la sécurité microbiologique, prévient la recontamination et garantit la conformité aux normes de potabilité.

I.II.8 L'affinage :

L'affinage, étape finale non systématique, est utilisé lorsque nécessaire pour améliorer la qualité organoleptique (goût, odeur, couleur) ou chimique de l'eau, en éliminant les résidus ou substances indésirables restants après le traitement classique.

Les principales méthodes d'affinage incluent :

- Filtration sur charbon actif, pour éliminer les micropolluants organiques (pesticides, composés organohalogénés, etc.) et les goûts/odeurs désagréables
- Ozonation finale, qui oxyde certains résidus organiques ou biologiques

Cette étape vise à améliorer la qualité globale de l'eau, en réponse à des exigences sanitaires, réglementaires ou de confort pour le consommateur [22].

I.II.9 Stockage et distribution :

Après traitement, l'eau est stockée dans des réservoirs en hauteur ou sous pression pour :

- Assurer une réserve en cas de forte demande,
- Maintenir une pression constante,
- Prolonger l'action du désinfectant (souvent le chlore).

CHAPITRE II : LA CHAÎNE DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE LA STATION.

La distribution se fait via un réseau de canalisations alimentant les zones desservies. Ce réseau doit être surveillé pour prévenir toute recontamination (fuites, stagnation, retour d'eau polluée, biofilm, etc.). Des contrôles réguliers sont réalisés à différents points pour garantir la qualité de l'eau jusqu'au robinet [23].

Conclusion :

La chaîne de traitement de l'eau à la station de Hammam Debagh, depuis le captage jusqu'à la désinfection finale, repose sur un enchaînement rigoureux d'étapes complémentaires. Chaque phase cible des impuretés spécifiques (physiques, chimiques, biologiques) grâce à des procédés physico-chimiques et biologiques. L'efficacité du traitement repose sur un suivi constant des paramètres essentiels à chaque étape.

Références

- [1] 2009. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. *L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (9e éd.). Dunod.
- [2] 2005. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (11e éd.). Lavoisier.
- [3] 2017. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (4e éd., 1er addendum). OMS.
- [4] 2011. Ministère des Ressources en Eau (Algérie). *Normes algériennes de potabilité de l'eau*. Journal Officiel, N° 37.
- [5] 2017. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (4e éd., 1er addendum). OMS.
- [6] 2010. Ministère de la Santé (Algérie). *Guide des normes de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine*.
- [7] 2009. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. *L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Dunod.
- [8] 2005. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (11e éd.). Lavoisier.
- [9] 2004. World Health Organization (WHO). *Acceptability aspects of drinking-water. Guidelines for Drinking-water Quality*, 3rd ed., Vol. 1.
- [10] 2011. World Health Organization (WHO). *Nitrate and nitrite in drinking-water*. Background document for WHO Guidelines.
- [11] 2022. World Health Organization (WHO). *Fluoride in Drinking-water. Guidelines for Drinking-water Quality*.
- [12] 2022. Direction de l'Hydraulique de Guelma. *Rapport technique sur le fonctionnement de la station de Hamam Debagh*.
- [13] 2005. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (11e éd.). Lavoisier.
- [14] 2009. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. *L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Dunod.
- [15] 2011. Lemoine, C., & Vialle, C. *Traitement des eaux*. Ellipses.
- [16] 2003. Tchobanoglous, G., & Burton, F. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
- [17] 2017. World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO.
- [18] 2005. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (11e éd.). Lavoisier.

CHAPITRE II : LA CHAÎNE DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE LA STATION.

- [19] 2003. Tchobanoglous, G., & Burton, F. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
- [20] 2005. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (11e éd.). Lavoisier.
- [21] 2008. World Health Organization (WHO). *Chlorine in Drinking-water: Background document for WHO Guidelines*.
- [22] 2005. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (11e éd.). Lavoisier.
- [23] 2017. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). *Lignes directrices pour la qualité de l'eau de boisson* (4e éd.). OMS.

Chapitre III

La désinfection par l'eau de Javel

I.III.1 La désinfection par l'eau de Javel

La désinfection est une étape essentielle du traitement de l'eau potable, visant à éliminer les agents pathogènes responsables de maladies hydriques. L'eau de Javel, solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl), figure parmi les désinfectants les plus couramment utilisés en raison de son efficacité, de son faible coût et de sa simplicité d'emploi [1].

Son efficacité repose sur l'oxydation des composants cellulaires des microorganismes, entraînant leur inactivation. Grâce à ses propriétés biocides, l'eau de Javel est largement utilisée en fin de traitement pour assurer une désinfection durable jusqu'au point de consommation.

I.III.2 Le rôle du chlore dans la désinfection

Le chlore, sous ses formes Cl_2 , HOCl et OCl^- , constitue l'agent actif de l'eau de Javel. En solution aqueuse de pH légèrement supérieure à la neutralité, il forme principalement l'acide hypochloreux (HOCl), la forme la plus efficace pour l'inactivation des microorganismes [2].

Cette molécule neutre traverse facilement les membranes cellulaires et oxyde les composants essentiels à leur survie. L'efficacité de la désinfection dépend donc étroitement de la proportion de HOCl , elle-même fortement influencée par le pH de l'eau.

I.III.3 Définition

L'eau de Javel commercial après dilution, est une solution contenant 2,6 % à 3,6 % de chlore actif, principalement sous forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl). Utilisée comme désinfectant, désodorisant et agent blanchissant, son efficacité et sa stabilité varient selon plusieurs facteurs : concentration, température, lumière et surtout pH [3].

I.III.4 Synthèse de l'eau de Javel :

L'eau de Javel est obtenue industriellement par la réaction du chlore gazeux avec une solution froide et diluée d'hydroxyde de sodium (soude caustique) :



La réaction produit un mélange de chlorure de sodium (NaCl) et d'hypochlorite de sodium (NaOCl), principe actif de l'eau de Javel. Elle est réalisée à basse température afin de limiter la formation de chlorates, substances indésirables et potentiellement toxiques [4].

I.III.5 Propriétés physiques et chimiques de l'eau de Javel :

I.III.5.1 Propriétés chimiques :

- PH basique (environ 11–13) pour stabiliser l'hypochlorite.
- Puissant oxydant : capable d'oxyder les métaux, matières organiques, et microorganismes.
- Réagit avec les acides pour libérer du chlore gazeux toxique.

I.III.5.2 Propriétés physiques :

- Liquide clair à jaune pâle.
- Odeur caractéristique de chlore.
- Densité : environ 1,1–1,2 g/cm³.
- Très soluble dans l'eau.

I.III.6 La décomposition de l'eau de Javel :

L'hypochlorite de sodium est une substance instable qui se dégrade progressivement sous l'effet du pH, de la température et de la lumière [5]. Cette décomposition réduit son pouvoir désinfectant, ce qui rend essentiel le contrôle rigoureux des conditions de stockage.



Cette réaction conduit à la formation de chlorate de sodium (NaClO₃), une substance nocive si elle est présente à forte concentration dans l'eau potable.

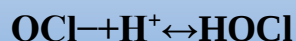
I.III.7 Mécanisme réactionnel de la décomposition de l'eau de Javel :

I.III.7.1 Formation d'hypochlorite :

L'hypochlorite est formé en solution lors de la dissolution de NaOCl :



L'ion hypochlorite peut ensuite s'équilibrer avec l'acide hypochloreux (HOCl) :



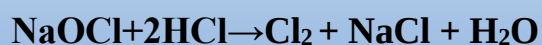
I.III.7.2 Formation de chlorates :

À température ambiante, le principal produit de décomposition de l'hypochlorite est le chlorate. Cette transformation est catalysée par des ions métalliques (Fe^{3+} , Cu^{2+} , etc.) et favorisée par un pH faible ou élevé, ainsi que par la chaleur :



I.III.7.3 Formation de chlore gazeux :

En présence d'acide, l'hypochlorite libère du chlore gazeux :



Cette réaction est dangereuse et peut être source de toxicité dans un environnement clos.

I.III.8 L'efficacité de l'eau de Javel contre les agents pathogènes

L'eau de Javel est un désinfectant à large spectre, efficace contre de nombreux agents pathogènes, notamment les bactéries (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp.), les virus (entérovirus, rotavirus) et certains protozoaires comme (*Giardia lamblia*), bien que ces derniers soient plus résistants [6].

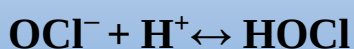
L'efficacité de l'eau de Javel dépend de plusieurs facteurs :

- La concentration en chlore actif.
- Le temps de contact avec l'eau.
- La température de l'eau.
- Le pH, qui influence la forme chimique du désinfectant (HOCl vs OCl⁻).

Plus la fraction de HOCl est élevée, plus la capacité désinfectante est forte [7].

I.III.9 L'influence du pH sur l'utilisation de l'eau de Javel

Le pH influence directement l'efficacité désinfectante de l'eau de Javel. En solution, l'hypochlorite de sodium (NaOCl) libère l'ion hypochlorite (OCl⁻), en équilibre avec l'acide hypochloreux (HOCl), forme la plus active pour l'inactivation des microorganismes. Un pH optimal favorise la présence de HOCl, maximisant ainsi l'efficacité du traitement.



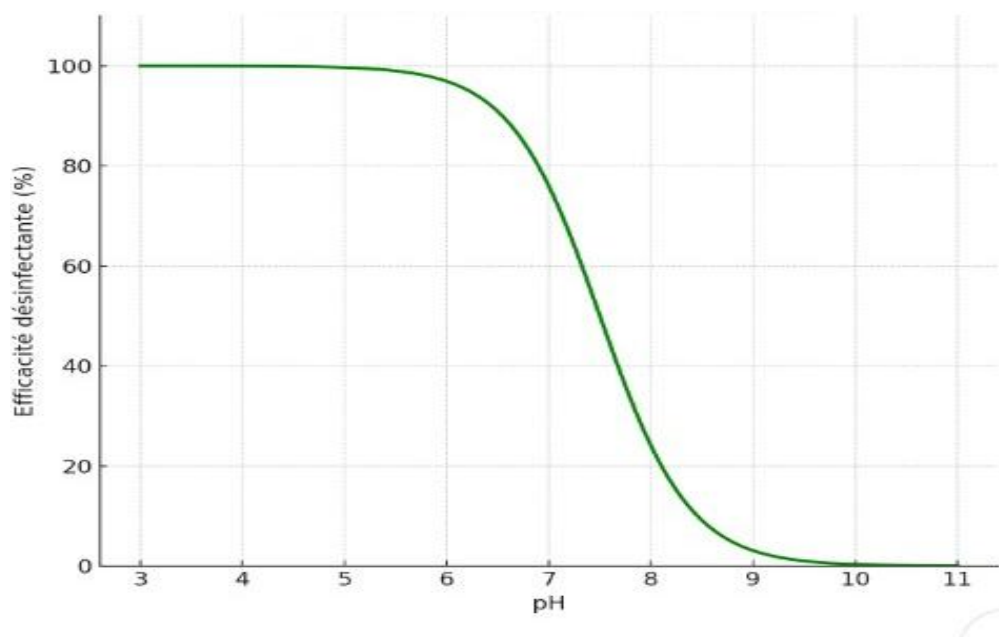


Figure III.1 l'influence du pH sur l'efficacité désinfectante de l'eau de Javel

Le graphique précédent montre que :

- À **pH < 5** : le chlore est principalement sous forme de **Cl₂ gazeux**, peu efficace et dangereux.
- À **pH 5 à 7.5** : le HOCl est majoritaire, représentant la zone optimale de désinfection.
- À **pH > 8** : la forme prédominante devient OCl⁻, beaucoup moins efficace en désinfection.

Cette influence est démontrée expérimentalement : l'activité bactéricide de l'eau de Javel est multipliée par **80 à 100** lorsque HOCl prédomine par rapport à OCl⁻ [8].

Tableau III.1 Tableau comparatif de la forme prédominante selon le pH

PH	Forme prédominante	Efficacité désinfectante
< 5	Cl ₂	Très faible, dangereux
5 – 7.5	HOCl	Très élevée
> 8	OCl ⁻	Faible

Ainsi, pour une désinfection efficace, le pH de l'eau doit être ajusté entre 6 et 7,5, assurant une majorité de HOCl en solution.

I.III.10 L'influence du pH sur le stockage de l'eau de Javel

Contrairement à son utilisation, le stockage optimal de l'eau de Javel requiert un pH élevé, généralement entre 11 et 13, pour stabiliser l'hypochlorite et limiter sa dégradation. Ce pH élevé permet :

- La réduction de la formation de chlorate (ClO₃⁻).
- La diminution de l'évaporation de Cl₂ gazeux.
- Une conservation prolongée de la concentration en chlore actif.

Lorsque le pH diminue, les réactions de dégradation s'accélèrent :



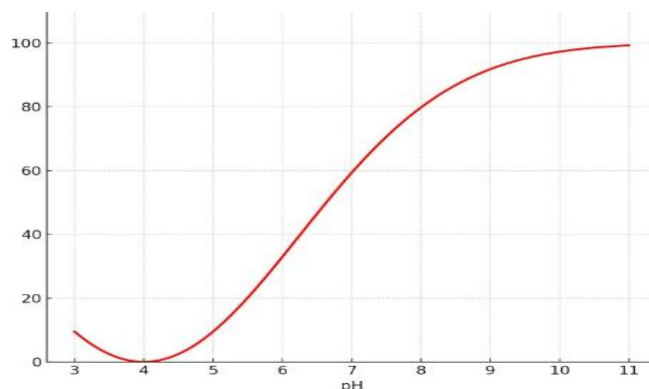


Figure III.2 l'influence du pH sur la dégradation de l'eau de Javel

Les études montrent qu'à **pH < 9**, la stabilité est significativement réduite : on observe une perte de 10 à 20 % de chlore actif par mois à température ambiante [9].

De plus, un stockage à pH trop bas peut entraîner la libération de **chlore gazeux toxique**, augmentant le risque pour les opérateurs et le matériel.

Tableau III.2 Résumé des effets du pH sur le stockage

pH de stockage	Stabilité	Risques
< 9	Faible	Formation de ClO_3^- , dégagement de Cl_2
11–13	Élevée	Faible taux de décomposition

Pour garantir une efficacité à long terme, les stations de traitement comme celle de Hammam Debagh veillent à maintenir un pH de stockage entre 12 et 13, tout en conservant la Javel à l'abri de la lumière et à température modérée.

I.III.11 Avantages et qualités de l'eau de Javel

L'utilisation de l'eau de Javel dans la désinfection de l'eau potable présente plusieurs avantages

- Efficacité contre un large spectre de pathogènes.
- Action rapide dès les premières minutes de contact.
- Effet rémanent, protégeant l'eau jusqu'à sa distribution.
- Faible coût et facilité de fabrication.
- Dosage simple et adaptable selon la qualité de l'eau.

Cependant, elle nécessite une gestion rigoureuse (pH, température, durée de stockage) pour éviter la formation de sous-produits indésirables (chlorates, trihalométhanés).

Conclusion :

L'eau de Javel demeure l'un des désinfectants les plus utilisés en traitement de l'eau potable en raison de sa simplicité, de son efficacité microbiologique et de son faible coût. Toutefois, son efficacité dépend de facteurs clés tels que le pH, la température, la concentration et les conditions de stockage. Une gestion rigoureuse de ces paramètres est essentielle pour assurer une désinfection optimale et limiter la formation de sous-produits indésirables comme les chlorates.

Références

- [1] 2017. World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th edition). Geneva.
- [2] 2010. White, G. C. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. Wiley.
- [3] 2009. Lente, G., et al. *Kinetics and mechanisms of decomposition of hypochlorite. Inorganic Chemistry*.
- [4] 2005. Duguet, J.-P. *Traitement des eaux. Techniques de l'Ingénieur*.
- [5] 2006. Gordon, G., & Adam, L. C. *Hypochlorite decomposition: Effects of temperature, concentration, and pH. Water Research*.
- [6] 2020. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *Chlorine Disinfection*. CDC.
- [7] 1999. Environmental Protection Agency (EPA). *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. U.S. EPA.
- [8] 2001. Block, S. S. *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Lippincott Williams & Wilkins.
- [9] 2002. Gallard, H., & von Gunten, U. *Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and formation of chlorinated by-products. Water Research*.

Chapitre IV

**Analyse physicochimiques et
bactériologiques de l'eau
brute et traité au niveau de
la station.**

L'évaluation de la qualité de l'eau repose sur des analyses physico-chimiques et bactériologiques régulières, indispensables pour vérifier sa potabilité et l'efficacité des traitements. À la station de Hammam Debagh, ces contrôles sont menés en continu afin d'assurer la conformité de l'eau aux normes nationales et internationales, notamment celles de l'OMS [1].

I.IV.1 Analyses physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques permettent d'évaluer les caractéristiques fondamentales de l'eau, influençant directement le choix et l'efficacité des traitements appliqués.

I.IV.1.1 Température :

La température a un impact majeur sur la solubilité des gaz, la cinétique des réactions chimiques, la croissance des micro-organismes et la mesure du pH. Elle influence également l'efficacité des traitements, notamment la désinfection [2]. Une température élevée peut favoriser le développement microbien et diminuer l'efficacité du chlore. L'OMS recommande une température inférieure à 25 °C pour l'eau potable [1].

I.IV.1.2 Turbidité :

La turbidité reflète la concentration de particules en suspension dans l'eau. Une turbidité élevée peut réduire l'efficacité des désinfectants en protégeant les micro-organismes et indiquer une possible contamination [3]. Selon l'OMS, la turbidité ne doit pas dépasser 5 NTU, avec une valeur cible inférieure à 1 NTU pour assurer une désinfection optimale [1].

I.IV.1.3 Conductivité électrique :

La conductivité mesure la teneur en ions dissous dans l'eau, servant d'indicateur global de la minéralisation [4]. Une conductivité élevée peut révéler une pollution ou une forte charge en sels d'origine naturelle ou humaine. La valeur recommandée est généralement inférieure à 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [1].

CHAPITRE IV : ANALYSE PHYSICOCHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DE L'EAU

Tableau IV.1 Classification des eaux selon leur conductivité électrique

Type d'eau	Conductivité (µS/cm)
Eau très faiblement minéralisée	< 50
Eau faiblement minéralisée	50 – 500
Eau moyennement minéralisée	500 – 1500
Eau fortement minéralisée	1500 – 5000
Eau saumâtre	5000 – 50 000
Eau de mer	≈ 50 000 – 60 000

I.IV.1.4 Dureté :

La dureté correspond à la concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Une eau très dure peut entraîner des dépôts de tartre, tandis qu'une eau trop douce peut être corrosive pour les canalisations [5]. La dureté idéale se situe entre 150 et 500 mg/L de CaCO_3 [1].

I.IV.1.5 PH :

Le pH indique le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau. Il joue un rôle clé dans la solubilité des métaux lourds et l'efficacité des désinfectants comme l'eau de Javel [6]. L'OMS recommande un pH compris entre 6,5 et 8,5 pour l'eau potable [1].

Tableau IV.2 Classifications des eaux selon leur pH.

Type d'eau	pH	Caractéristique
Eau fortement acide	< 5,5	Corrosive, agressive
Eau modérément acide	5,5 – 6,5	Légèrement corrosive
Eau neutre	6,5 – 7,5	Équilibrée, idéale pour boire
Eau modérément basique	7,5 – 8,5	Légèrement alcaline
Eau fortement basique	> 8,5	Alcaline, goût amer possible

Remarques :

- Le pH optimal pour l'eau potable se situe entre **6,5** et **8,5**, selon les normes de l'OMS.
- Des valeurs trop acides ou trop basiques peuvent endommager les canalisations ou rendre l'eau impropre à la consommation.

I.IV.1.6 Potassium (K^+) :

Le potassium est naturellement présent en faible quantité dans l'eau. S'il ne présente pas de risque sanitaire à faible concentration, des niveaux élevés peuvent indiquer une pollution organique ou industrielle [7]. Les concentrations usuelles sont inférieures à 12 mg/L selon les recommandations de l'OMS [1].

I.IV.1.7 Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates proviennent principalement de la dissolution de roches ou de rejets industriels. À des concentrations élevées, ils peuvent provoquer des effets laxatifs et donner un goût désagréable à l'eau. L'OMS fixe une limite recommandée de 250 mg/L [1], [8].

I.IV.1.8 Sodium (Na^+) :

Le sodium est un constituant courant de l'eau, notamment dans les régions où l'eau est adoucie ou où l'infiltration d'eau salée est possible. Une teneur excessive en sodium (>200 mg/L) peut présenter un risque pour les personnes souffrant d'hypertension [9].

I.IV.1.9 Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates sont des indicateurs de pollution agricole (engrais), domestique ou industrielle. Leur ingestion en excès peut causer la méthémoglobinémie chez les nourrissons ("blue baby syndrome") [10]. La concentration maximale admissible est de 50 mg/L [1].

I.IV.1.10 Chlore résiduel libre :

Le chlore est utilisé comme désinfectant dans l'eau potable. La mesure du chlore résiduel permet de vérifier l'efficacité de la désinfection et la protection contre une recontamination [11]. L'OMS recommande une concentration de chlore libre entre 0,2 et 0,5 mg/L à la sortie du traitement, et au moins 0,2 mg/L au point d'usage [1].

CHAPITRE IV : ANALYSE PHYSICOCHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DE L'EAU

Tableau IV.3 Normes algérienne de l'eau potable

Paramètre	Unité	Valeur maximale autorisée	Remarques
PH	-	6,5 – 8,5	Zone de neutralité
Conductivité électrique	µs/cm	2800	À 25°C
Turbidité	NTU	5	Doit être la plus faible Possible
Température	°C	Pas de norme stricte	Recommandée : < 25 °C
Chlore libre résiduel	mg/L	0,2 – 0,5	À la sortie des stations
Dureté totale (TH)	°F	15 – 50	Idéalement < 30 °F
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	50	Limite liée aux risques Sanitaires
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,5	Signe de pollution
Fer total (Fe)	mg/L	0,3	Taches, goût métallique
Chlorures (Cl ⁻)	mg/L	200	Donne un goût salé à forte Dose
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250	À fortes doses, laxatif
Fluorures (F ⁻)	mg/L	1,5	Excès : fluorose
Aluminium (Al)	mg/L	0,2	Provient du traitement au sulfate d'alu
Coliformes totaux	UFC/100 ml	0	Doivent être absents
Coliformes fécaux (E. coli)	UFC/100 ml	0	Indicateur de pollution fécale
Germes pathogènes	-	Absents	Aucun germe ne doit être Détecté

Remarques importantes :

- Ces normes sont alignées avec les recommandations de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).
- Elles concernent l'eau destinée à la boisson et à la préparation des aliments.
- L'eau distribuée doit être claire, sans odeur, sans goût anormal, et sans danger microbiologique ou chimique.

I.IV.2 Les analyses bactériologiques :

Les analyses microbiologiques visent à détecter la présence de micro-organismes pathogènes ou d'indicateurs de contamination fécale. Elles sont essentielles pour assurer la sécurité sanitaire de l'eau destinée à la consommation humaine.

I.IV.2.1 Les Germes totaux à 22 °C et 37 °C

Ces germes traduisent la charge bactérienne globale de l'eau. Leur présence à 37 °C peut révéler une contamination récente. D'après les normes de l'OMS, l'eau potable ne doit contenir aucun germe pathogène dans 100 mL d'échantillon [1].

I.IV.2.2 Les Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des indicateurs courants de contamination microbiologique. Leur détection suggère une pollution d'origine environnementale ou fécale. Toute eau destinée à la consommation doit en être totalement exempte [12].

I.IV.2.3 Les Coliformes fécaux (Escherichia coli)

La présence d'E. coli indique une contamination fécale directe et représente un risque sanitaire majeur. Selon les normes de l'OMS, aucun E. coli ne doit être détecté dans 100 mL d'eau [1], [13].

I.IV.2.4 Les Streptocoques fécaux

Ces bactéries sont également utilisées comme indicateurs de pollution fécale. Elles permettent de différencier une contamination d'origine humaine ou animale [14].

I.IV.2.5 Les Clostridium sulfito-réducteurs

Ces bactéries sporulées, plus résistantes que les coliformes, peuvent révéler une contamination ancienne ou persistante [15]. Leur détection permet d'évaluer l'efficacité des procédés de désinfection et la sécurité microbiologique de l'eau.

Conclusion :

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées à la station de Hammam Debagh assurent la conformité de l'eau traitée aux normes de potabilité. Le contrôle rigoureux de paramètres clés tels que le pH, la turbidité, les nitrates et les résidus chlorés, combiné à une surveillance microbiologique stricte, garantit la sécurité sanitaire de l'eau distribuée. Ces contrôles sont essentiels pour prévenir tout risque lié à la consommation d'eau contaminée.

Références :

- [1] 2017. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). *Directives pour la qualité de l'eau de boisson* (4e éd.). OMS.
- [2] 1980. Snoeyink, R., & Jenkins, D. *Water Chemistry*. Wiley.
- [3] 2017. World Health Organization (WHO). *Turbidity in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO.
- [4] 2013. Tchobanoglous, M., Burton, F. L., & Stensel, H. D. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill.
- [5] 2013. Binnie, C., & Kimber, M. *Basic Water Treatment*. Royal Society of Chemistry.
- [6] 2010. White, G. C. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants* (5th ed.). Wiley.
- [7] 2012. Ahmed, M., & Rahman, M. A. *Potassium levels in water and health effects*. *Environmental Health Journal*.
- [8] 2019. Health Canada. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Sulfate*. Health Canada.
- [9] 2013. National Research Council (NRC). *Sodium Intake in Populations: Assessment of Evidence*. The National Academies Press.
- [10] 2004. Fewtrell, L. *Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease*. *Environmental Health Perspectives*.
- [11] 2016. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Water Disinfection with Chlorine and Chloramine*. U.S. EPA.
- [12] 2001. Leclerc, H., et al. *Microbiological indicators for faecal contamination in waters*. *Comptes Rendus Biologies*.
- [13] 2002. Rompré, A., et al. *Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches*. *Journal of Microbiological Methods*.
- [14] 2011. Payment, P., & Locas, A. *Pathogens in water: value and limits of correlation with microbial indicators*. *Groundwater*.
- [15] 2011. World Health Organization (WHO). *Clostridium perfringens in Drinking-water: Background document for WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO.

Deuxième partie :
Protocoles expérimentaux
&
Résultats et discussions

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Une bonne compréhension du contexte géographique, géologique, climatique et socioéconomique est essentielle pour évaluer le traitement et la qualité de l'eau. En effet, les caractéristiques du bassin versant, les infrastructures hydrauliques et les besoins des populations influencent directement la gestion de cette ressource. Cette étude porte sur la région de Hammam Debagh, située dans la wilaya de Guelma, à l'est de l'Algérie, zone stratégique sur le plan hydrologique.

Le barrage de Bouhamdene (ou barrage de Hammam Debagh), mis en service à la fin des années 1980, constitue l'une des principales sources d'eau potable de la région. Il alimente en eau les wilayas de Guelma, de Skikda et d'Annaba, tout en soutenant l'irrigation, l'agriculture et le tourisme thermal. Sa position géographique et son relief en font un point clé du réseau d'approvisionnement.

La région se distingue également par sa géologie particulière, influençant la qualité des eaux superficielles et souterraines. Son climat méditerranéen semi-humide, marqué par une variabilité saisonnière des ressources, impose une gestion rigoureuse des volumes stockés.

Avant de détailler le fonctionnement du barrage et de la station de traitement de Hammam Debagh, nous présenterons brièvement la wilaya de Guelma, ses caractéristiques naturelles, ses besoins en eau, ainsi que les enjeux liés à la distribution de l'eau potable. Cette mise en contexte est indispensable pour comprendre les fondements et les contraintes de notre étude expérimentale.

II.I.1 Présentation de la wilaya de Guelma

La wilaya de Guelma est située dans le nord-est de l'Algérie, à environ 60 km à l'ouest d'Annaba et 120 km au sud-est de Constantine. Elle s'étend sur une superficie de 4 101,61 km² et compte environ 537 000 habitants selon les dernières estimations [1]. La wilaya est connue pour sa richesse historique, notamment le site archéologique de Kalaa des Beni Hamad, ainsi que pour sa vocation agricole, particulièrement dans les plaines fertiles de Guelma et de Bouchegouf.

Sur le plan administratif, Guelma comprend 10 daïras et 34 communes, et bénéficie d'un réseau hydrographique important grâce à la présence de plusieurs oueds, notamment l'oued Seybouse, qui joue un rôle vital dans l'approvisionnement en eau [2].

II.I.2 Présentation du barrage Hammam debagh (barrage de Bouhamdene).

Le barrage de Hammam Debagh, également connu sous le nom de barrage de Bouhamdene, est situé à environ 20 km au nord-ouest de la ville de Guelma, dans la commune de Hammam Debagh. Il a été mis en service en 1987 et constitue l'un des ouvrages hydrauliques les plus importants de la région nord-est algérienne [3].

Ce barrage est de type poids en béton, construit sur l'oued Bouhamdene, un affluent de l'oued Seybouse. Il est destiné à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à la régulation des crues, tout en assurant le remplissage de la station thermique de Hammam Debagh et la protection de la plaine agricole de Guelma [4].

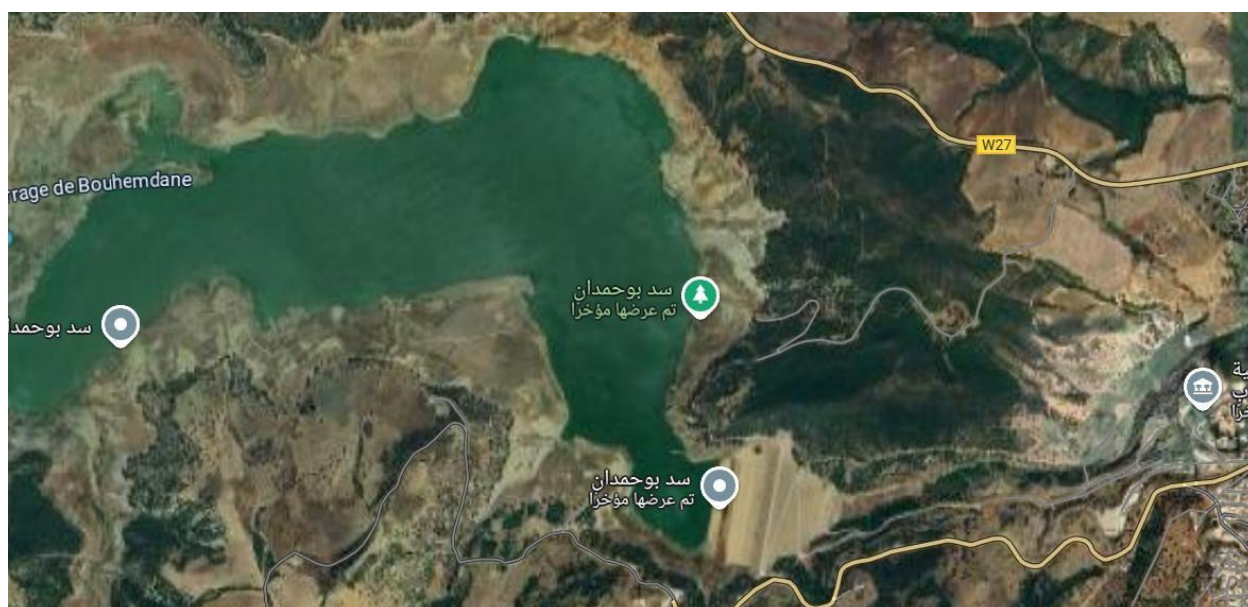


Figure I.1 Image satellite du barrage Bouhamdene

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

La région de Hammam Debagh repose sur un substratum géologique varié. Elle est principalement constituée de formations calcaires, marneuses et dolomitiques, issues du Jurassique et du Crétacé [5]. Ces formations favorisent la circulation des eaux souterraines, ce qui renforce l'importance stratégique du barrage pour la recharge des nappes phréatiques.

On y retrouve également des manifestations volcaniques anciennes, témoins de l'activité géothermale, à l'origine des sources thermales exploitées à Hammam Debagh. Le socle

géologique assure une bonne assise au barrage, limitant les risques de fissuration ou d'infiltration excessive [6].

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

Le barrage possède une capacité de stockage de 220 millions de m³, ce qui en fait l'un des plus grands de l'est algérien. Il présente les caractéristiques techniques qui sont présentées dans le tableau suivant [7] :

Tableau I.1 Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh

Caractéristique	Valeur
Nom du barrage	Barrage de Hammam Debagh (Bouhamdene)
Type de barrage	Barrage-poids en béton
Oued	Oued Bouhamdene
Hauteur du barrage	52 mètres
Longueur de la crête	600 mètres
Largeur à la base	115 mètres
Capacité de stockage	220 millions de m ³
Débit moyen annuel	135 millions de m ³ /an
Année de mise en service	1987
Usages principaux	Alimentation en eau potable, irrigation, régulation des crues
Localisation	Commune de Hammam Debagh, Wilaya de Guelma
Gestionnaire	Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)

Il alimente en eau plusieurs communes de la wilaya de Guelma, ainsi que des localités des wilayas voisines (Skikda, Annaba).

II.I.5 Répartition des besoins selon la population

L'eau du barrage de Bouhamdene est traitée à la station de Hammam Debagh avant d'être distribuée à une population estimée à plus de **1 000 000 d'habitants** répartis entre les wilayas de Guelma [8]. La demande en eau potable a fortement augmenté en raison de la croissance démographique et du développement économique.

La répartition moyenne journalière des besoins est estimée à :

- Guelma : 7,15 hm³/ans
- Ain hassainia : 0,3 hm³/ans
- Hammam debagh : 086 hm³/ans
- Medjaz amar : 0,18 hm³/ans
- Ben djerrah : 0,53 hm³/ans

Cela nécessite une régulation permanente du débit du barrage, surtout durant les périodes de sécheresse.

II.I.6 Climat

Le climat de Guelma est de type méditerranéen semi-humide, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Les précipitations annuelles varient entre 500 et 700 mm, principalement entre novembre et mars [9].

La température moyenne est d'environ 18 °C, pouvant atteindre 40 °C en été. Ce climat influence fortement la gestion des ressources hydriques, en particulier le remplissage du barrage et la planification saisonnière de la distribution d'eau [10].

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

La station de traitement des eaux de Hammam Debagh, située en aval immédiat du barrage, a été conçue pour traiter environ 145 000 m³/j. Elle est dotée de plusieurs unités de traitement, Cette station joue un rôle central dans l'approvisionnement en eau potable d'une grande partie du nord-est algérien. Elle est gérée par l'Algérienne des Eaux (ADE). Elle a été mise en service

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

en 2003 et mobilise une main-d'œuvre qualifiée, notamment des ingénieurs chimistes et des techniciens spécialisés [11].



Figure I.2 Entrée de la Station de traitement des eaux Hammam Debagh

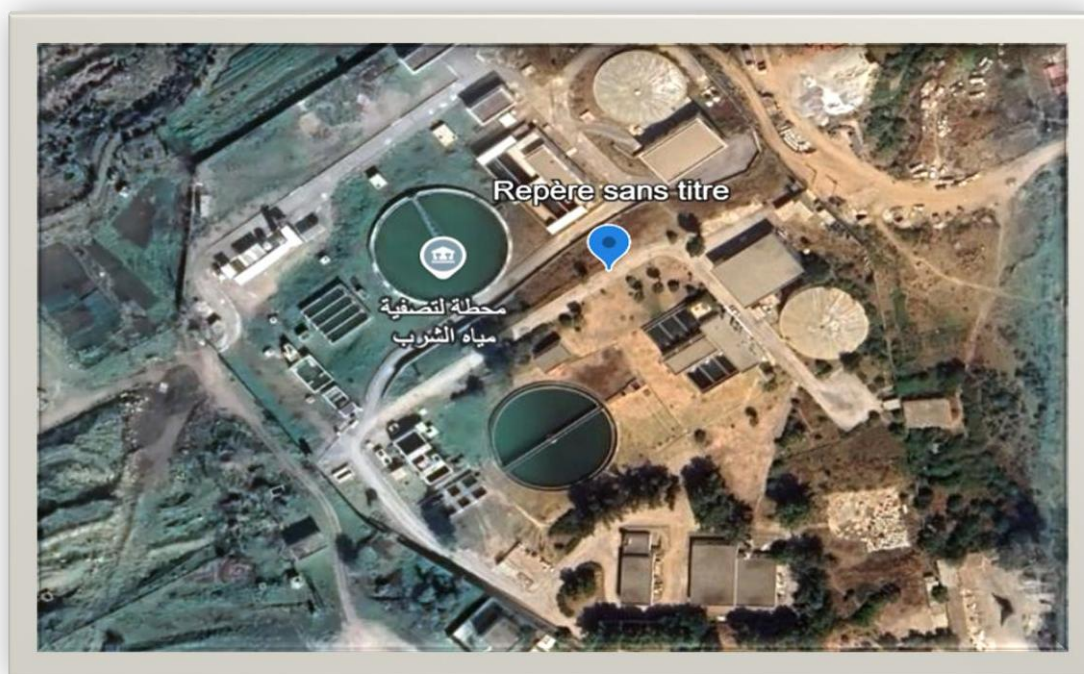


Figure I.3 Image avec Google Earth (2025) montrant l'emplacement de station de traitement de l'eau potable Hammam Debagh Wilaya de Guelma.

Références

- [1] 2023. Office National des Statistiques (ONS). *Rapport démographique*. ONS.
- [2] Ministère de l'Intérieur (Algérie). *Présentation de la Wilaya de Guelma*. Disponible sur : www.interieur.gov.dz
- [3] 2020. Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT). *Rapport technique du barrage Bouhamdene*. ANBT.
- [4] 2023. Algérienne des Eaux (ADE) – Direction régionale de Guelma. *Données internes*. ADE.
- [5] 2019. Direction des Ressources en Eau de Guelma. *Étude géologique régionale*.
- [6] 2018. Service Géologique National. *Atlas géologique de l'Algérie*.
- [7] 2021. Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT). *Fiche technique du barrage Bouhamdene*. ANBT.
- [8] 2023. Algérienne des Eaux (ADE). *Plan directeur d'alimentation en eau potable – Wilaya de Guelma*. ADE.
- [9] 2022. Office National de la Météorologie (ONM). *Données climatiques régionales*. ONM.
- [10] 2022. Centre National des Études et Recherches sur l'Eau (CNERH). *Bulletin hydrologique annuel*. CNERH.
- [11] 2022. Algérienne des Eaux (ADE) – Station de Hammam Debagh. *Manuel de traitement de l'eau*. ADE.

Chapitre II

Protocoles expérimentaux

II.II.1 Mode de prélèvement

Avant le prélèvement, il est recommandé de laisser couler l'eau pendant au moins 5 minutes pour évacuer l'eau stagnante. Les échantillons doivent être recueillis dans des bouteilles stérilisées, remplies aux deux tiers pour permettre l'aération, notamment lors des analyses microbiologiques.

Pour les analyses physico-chimiques, on utilise des flacons en verre ou en polyéthylène, remplis entièrement afin d'éviter la présence de bulles d'air qui pourraient altérer les résultats. Chaque échantillon doit être conservé entre 2 et 5 °C et analysé dans un délai maximal de 24 heures.

II.II.2 Enregistrement et étiquetage des échantillons

Avant toute utilisation, les échantillons doivent être soigneusement étiquetés. Les étiquettes doivent être bien lisibles et distinctes de l'échantillon lui-même. Il est essentiel d'y inscrire avec précision la date et l'heure du prélèvement, les conditions climatiques, un numéro d'identification unique, ainsi que toute observation particulière ou situation inhabituelle.

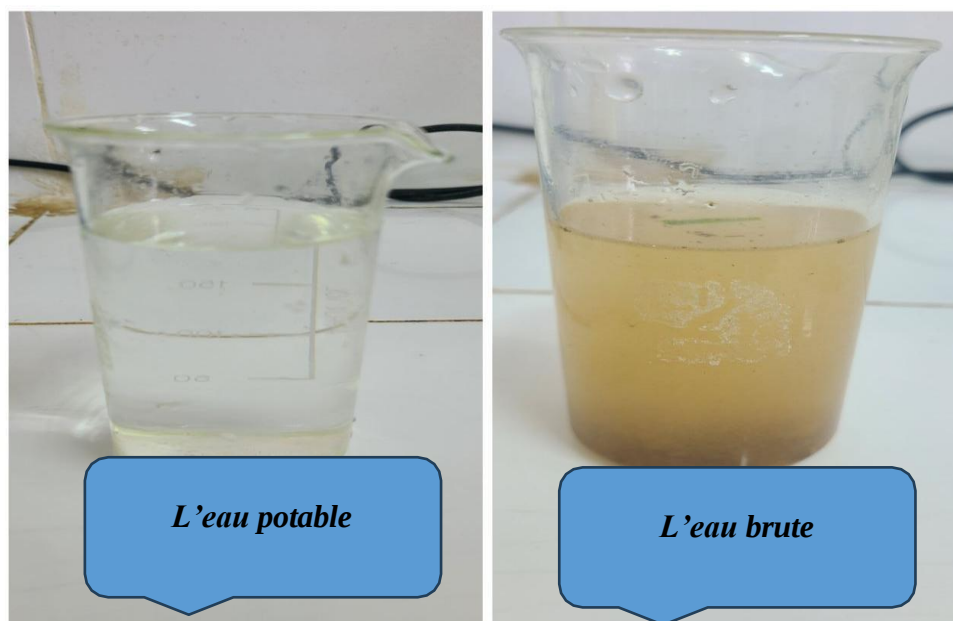


Figure II.1 photos réelles d'échantillons prélevés

II.II.3 Certaines Analyses Physico-chimiques et Chimiques de l'eau brute et traitée réalisées au niveau de la station :

II.II.3.1 Mesure de la turbidité :

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.



Figure II.2 Image du turbidimètre utilisé

II.II.3.2 Détermination des alcalinités TA et TAC et les bicarbonates

A. Titre alcalimétrique simple (TA)

Mode opératoire :

- A 100 ml d'eau à analyser, ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine.
- 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.



Figure II.3 Montage représentant l'analyse de TA

B. 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.



Figure II.4 Montage représentant l'analyse de TAC

C. Détermination de la concentration des (HCO_3^-)

Voir Partie II chapitre III.

II.II.3.3 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(NET). Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose.

CHAPITRE II : PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

- 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.



Figure II.5 L'analyse de TH

II.II.3.4 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.



Figure II.6 Montage représentant l'analyse des Cl^-

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

II.II.4.1 Echantillonnage

Les essais ont été réalisés au sein du laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh. Les échantillons d'eau brute, prélevés manuellement au niveau du barrage, ont été recueillis dans des bouteilles en plastique de 1,5 L préalablement rincées avec l'eau à analyser. Après le prélèvement, les échantillons ont été rapidement transportés au laboratoire pour analyse.

Ces prélèvements, effectués au cours du mois de mars 2025, avaient pour objectif principal de déterminer la demande en chlore des eaux brutes issues du barrage.

II.II.5 Méthodes analytiques

II.II.5.1 Procédure expérimentale pour la préparation de la solution de l'eau de Javel

Une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl), à une concentration de 43° chlorométriques, est préparée par dilution dans de l'eau distillée. Avant son utilisation, le pH de cette solution est ajusté entre 7,5 et 8 par l'ajout contrôlé d'acide chlorhydrique concentré (HCl). Ce réglage favorise la formation d'un mélange d'acide hypochloreux (HClO) et d'ions hypochlorite (ClO^-), constituant le chlore actif responsable de l'effet désinfectant.

Le titre de la solution, exprimé en g/L et en degrés chlorométriques, est régulièrement contrôlé par la méthode iodométrique, à l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, N/10) [1].

Afin de préserver sa stabilité, la solution d'eau de Javel est conservée à l'abri de la lumière.

II.II.5.2 Méthodes de dosage du Chlore

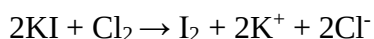
II.II.5.2.1 Dosage du chlore résiduel

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

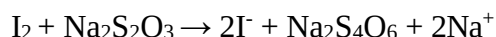
Principe de la méthode iodométrique :

Il s'agit d'une technique d'oxydoréduction qui comprend deux étapes :

1. Un excès d'iodure de potassium (KI) est ajouté, ce qui libère une quantité équivalente d'iode (I_2). La réaction a lieu dans un environnement acide avec un pH de 3 à 4. On privilégie l'acide acétique plutôt qu'un acide fort pour ce dosage.



2. L'iode ainsi libéré est dosé par une solution normale de thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$) selon la réaction suivante :



$$[Cl_2 \text{ résiduel}](\text{mg/l}) = \frac{N_1 \times V_1 \times 35,5 \times 10^3}{V_2}$$

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).[3]

II.II.5.3 Détermination de la demande en chlore

Objectif de la méthode :

L'évaluation de la consommation de chlore permet de déterminer la dose optimale nécessaire pour atteindre une concentration résiduelle spécifique, après un temps de contact défini et à un pH donné. La méthode la plus couramment utilisée repose sur le réactif DPD (N,N-diéthyl-p-phénylènediamine), qui distingue le chlore libre du chlore combiné.

En présence de chlore libre, la DPD produit une coloration rose dont l'intensité, proportionnelle à la concentration, est évaluée à l'aide d'une échelle colorimétrique (pH optimal entre 6,2 et 6,5). L'ajout d'iodure de potassium (KI) libère le chlore combiné, qui réagit à son tour avec la DPD, permettant de mesurer le chlore résiduel total. Par soustraction, on obtient la concentration de chlore combiné.

La demande en chlore doit être interprétée en tenant compte des objectifs de traitement et des conditions opérationnelles : température de l'eau, durée de contact (1 à 2 h dans les réservoirs) ou temps de séjour dans le réseau de distribution (quelques heures à plusieurs dizaines d'heures).

Principe de la méthode :

Des concentrations croissantes de chlore sont ajoutées à une série de flacons contenant un même volume d'eau à analyser. Le flacon dans lequel du chlore libre est détecté, après un temps de contact défini (généralement de 1 à 2 heures), correspond à la dose nécessaire pour satisfaire entièrement la demande en chlore de l'eau [4].

II.II.5.4 Description des essais de chloration :

Les tests ont été réalisés dans des flacons de 100 mL à température ambiante (18–20 °C). De petites quantités d'eau de Javel diluée au dixième y ont été ajoutées, puis les flacons, après agitation, ont été conservés à l'abri de la lumière. Cette procédure visait à évaluer la consommation de chlore des échantillons. La quantité de chlore consommée a été déterminée par la différence entre le chlore introduit et le chlore résiduel mesuré.

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

Le quotient CT est utilisé pour déterminer la quantité de désinfectant nécessaire à la désinfection de l'eau. Il correspond au produit de la concentration résiduelle du désinfectant (en mg/L) par le temps minimal de contact (T, en minutes) entre le désinfectant et l'eau. L'unité du CT est le mg·min/L.

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

CHAPITRE II : PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

Une fois la concentration résiduelle de désinfectant atteinte, il est essentiel de la maintenir pendant un temps de contact suffisant afin d'éliminer les micro-organismes pathogènes.

Pour assurer une désinfection efficace, il est souvent nécessaire d'appliquer une concentration de désinfectant supérieure à la dose initiale estimée.

En général, plus la concentration du désinfectant (mg/L) est élevée, plus le temps requis pour inactiver un micro-organisme spécifique est réduit.

Des essais en laboratoire permettent de déterminer les conditions optimales, notamment la durée de contact la plus efficace.

II.II.7 Etude de l'influence du pH sur le stockage et l'utilisation de l'eau de javel :

II.II.7.1 Etude de l'influence du pH sur la stabilité de l'eau de javel au cours de stockage :

L'objectif principal de cette étude est de déterminer les conditions optimales de pH et de stockage permettant de maximiser la conservation du chlore actif dans l'eau de Javel., afin de préserver son efficacité désinfectante. Les résultats permettront d'optimiser les pratiques de stockage et d'utilisation au sein de la station de Hammam Debagh, en assurant une désinfection efficace de l'eau potable tout en minimisant les pertes de réactif.

❖ Préparation des solutions d'eau de javel et ajustement du pH

- Préparer des solutions d'eau de Javel à différentes valeurs de pH 10,5, 11,5 et 12,5
- Ajuster le pH de chaque solution à différentes valeurs à l'aide de tampons stables (phosphates, borates) et ne réagissant pas avec l'eau de Javel ou en utilisant des acides (HCl) ou des bases (NaOH).
- Vérifier et ajuster les pH avec un pH-mètre précis. Il est important de maintenir les pH à des niveaux constants pendant toute la durée de l'étude.
- Stocker des échantillons d'eau de Javel à différents pH (dans des flacons en verre ambré pour limiter l'influence de la lumière) dans des conditions similaires à celles du stockage en station.

❖ Planification expérimentale :

- Mesurer régulièrement la concentration en chlore actif (chlore libre), représenté par l'hypochlorite de sodium (NaOCl), dans des solutions d'eau de Javel soumises à différents niveaux de pH (10,5 ; 11,5 et 12,5). Les mesures seront effectuées après une période de 5 jours afin d'observer la dégradation chimique du NaOCl sous l'influence du pH, en utilisant les techniques suivantes :

- ❖ **Dosage spectrophotométrique** : en mesurant l'absorbance à une longueur d'onde spécifique (292 nm), liée à la présence d'ions hypochlorite (OCl^-),
- ❖ **Dosage iodométrique** : une méthode classique basée sur une réaction d'oxydoréduction entre le chlore et l'iodure de potassium.

- ❖ **Dosage (pH-métrie)** : permettant d'évaluer la concentration en hypochlorite par titration acide.

II.II.7.2 Dosage des ions hypochlorite (ClO^-) dans la solution de l'eau de Javel à différents pH

II.II.7.2.1 Dosage iodométrique classique à température ambiante

Cette technique consiste à incorporer une solution d'iodure de potassium dans l'échantillon de l'eau de Javel, puis à réaliser la titration de l'iodure libéré grâce au thiosulfate de sodium.

Produits	Solutions/Solvants	Matériel
Iodure de potassium	HNO_3 1 M - Thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,100 M - Empois d'amidon - Sol. P d'eau de Javel à 15,1% de chlore actif et densité 1.21	- Béchers de 150 (2) ml - Pipette jaugée de 50 ml - Pipette graduée de 5 ml - Burette de 10 ml - Agitateur magnétique non-chauffant

1. Ajuster le pH de l'eau de Javel à **10,5** (ou **11,5** ou **12,5**) à l'aide de NaOH dilué.
2. Prélever **50 ml** de cette solution d'eau de Javel à pH ajusté dans un **Bécher**.
3. Ajouter environ **0,5 g** de solution de **KI**.
4. Ajouter ensuite **5 ml** d' HNO_3 (1M).
5. Une **coloration brun-jaune** apparaît (formation d'iode libre).
6. Titrer avec la **solution de thiosulfate de sodium** ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ **0,01 M**) depuis une burette jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle.
7. Ajouter quelques gouttes de **solution d'amidon** (la solution devient bleu foncé).
8. Continuer le titrage jusqu'à la **disparition totale de la couleur bleue**.
9. Noter le **volume exact de thiosulfate** utilisé pour chaque pH.

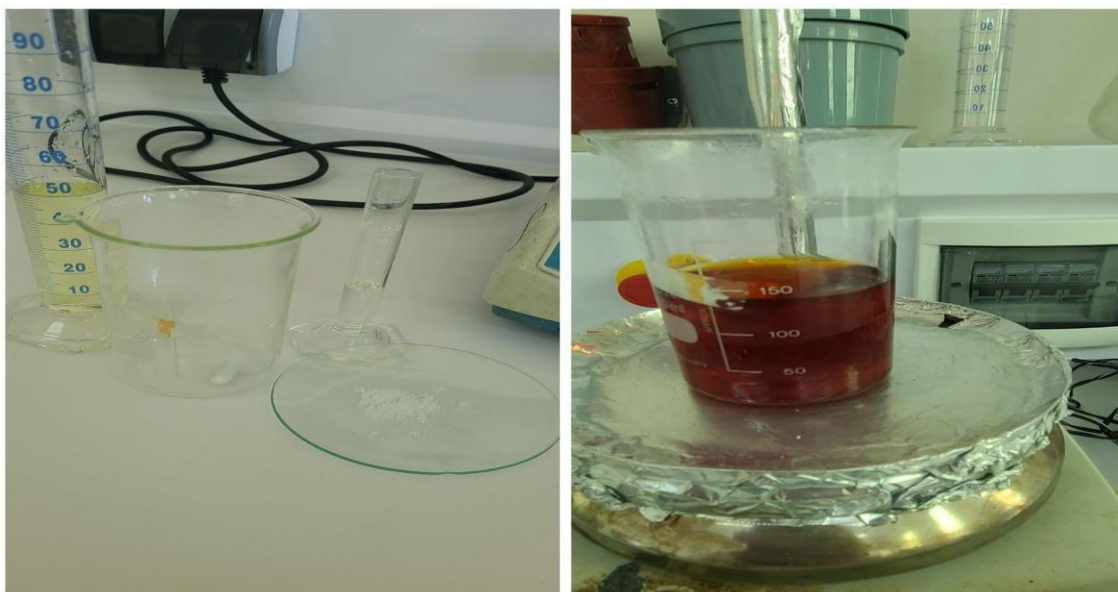


Figure II.7 Image représentant le dosage iodométrique classique des ions hypochlorite

II.II.7.2.2 Dosage pH-métrique

Mode opératoire :

La présente analyse vise à évaluer la stabilité de l'eau de Javel en déterminant la quantité d'acide nécessaire à la neutralisation de la solution, en fonction du pH initialement imposé.

Produits	Solutions/Solvants	Matériel
Iodure de potassium	- HCl 0,5 M - Sol d'eau de Javel	- Bécher de 150 ml - Pipette jaugée de 100 ml - Burette de 10 ml - PH-mètre + électrodes (verre + ECS) - Agitateur magnétique

1. Ajuster l'eau de Javel à un pH initial de **10,5**, **11,5** ou **13** à l'aide de NaOH ou HCl dilués.
2. Prélever **100 mL** de la solution ajustée dans un **bécher**.
3. Placer la sonde du **pH-mètre** dans la solution.

CHAPITRE II : PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

4. Ajouter lentement de l'**acide chlorhydrique (HCl 0,5 M)** à l'aide d'une burette, tout en agitant avec un **agitateur magnétique**.
5. Surveiller en temps réel l'évolution du **pH**.
6. Arrêter le titrage lorsque le pH atteint environ **3**.
7. Noter le **volume d'acide ajouté** pour chaque pH initial (10,5 ; 11,5 ; 12,5).
8. Ce volume permet d'estimer la concentration en hypochlorite présente et sa stabilité selon le pH initial.



Figure II.8 Image représentant le dosage pH-métrique

II.II.7.2.3 Dosage spectrophotométrique

Produits	Solutions/Solvants	Matériel
Eau de javel	Sol. P d'eau de Javel Eau distillée	Fioles jaugées de 100 (5) ml Pipettes jaugées de 5,50 ml Spectrophotomètre + cuves en quartz

CHAPITRE II : PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

Préparation des solutions :

Dans une fiole jaugée de 100 ml, diluer la solution P.

- Prélever 5 ml de cette solution dans un bécher propre.
- Transférer rapidement le mélange dans une cuvette en quartz propre.
- Mesurer l'absorbance à 292 nm à l'aide du spectrophotomètre UV-Vis.
- Répéter exactement la même opération pour chaque pH testé (10,5-11,5-12,5-9,5-8-6,5)



Figure II.9 Image représentant le dosage spectrophotométrique direct de l'eau de Javel

II.II.8 Analyses Bactériologiques de l'eau brute et traitée

II.II.8.1 Recherche des germes totaux à 37°C (GT)

La recherche et le dénombrement des germes totaux sont effectués à deux températures distinctes : 22 °C pour cibler les micro-organismes psychrophiles, et 37 °C pour les micro-organismes mésophiles.

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 Gélos.

Incubation

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

II.II.8.2 Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)

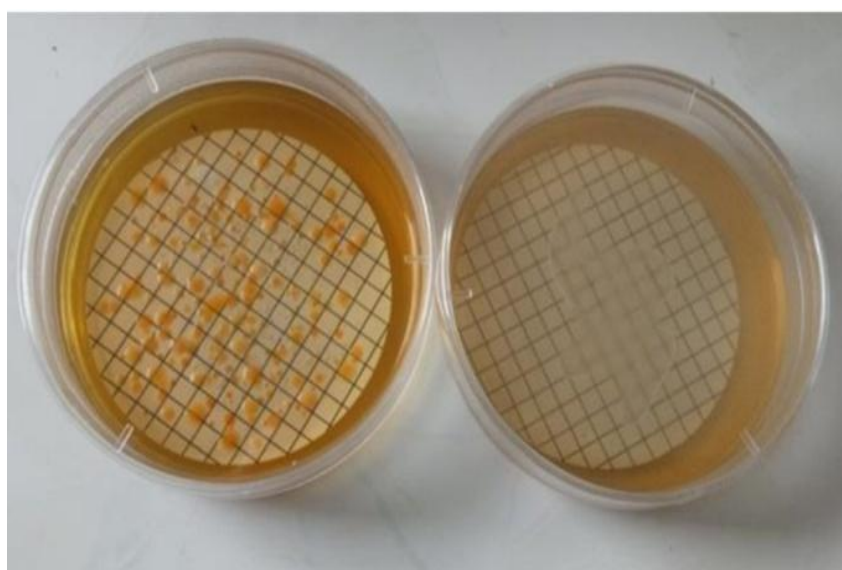


Figure II.10 Image représentant l'analyse bactériologique de l'eau (Coliformes totaux et fécaux)

Mode opératoire :

A. 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.

B. Pour les coliformes fécaux

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

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.8.3 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.

Incubation

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

II.II.8.4 Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR)

- 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 $45 \pm 1^\circ\text{C}$.
- 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 paillasse pendant 30 minutes environ.

Incubation

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

II.II.8.5 Étude du pouvoir désinfectant en fonction du pH :

II.II.8.5.1 Procédure de désinfection :

Un test de désinfection a été réalisé sur une culture de micro-organismes représentatifs de l'eau du barrage. *Escherichia coli* a été choisi comme indicateur bactérien standard. La bactérie est introduite dans des tubes contenant de l'eau de Javel ajustée à différents pH (6,5 ; 7,5 ; 8,5). Après des temps de contact définis (20 à 30 minutes), des prélèvements sont effectués pour des dénombrements microbiologiques (par culture sur gélose ou filtration sur membrane). Les résultats permettent de comparer les réductions de charge bactérienne et de déterminer le pH optimal pour l'efficacité de désinfection.



**Figure II.11 Image représentant l'analyse de la bactérie (*Escherichia coli*)
Dans l'eau**

Références

- [1] 2009. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. *L'analyse de l'eau* (9e édition, entièrement mise à jour). Dunod, Paris.
- [2] 1989. Degremont. *Mémento technique de l'eau* (Tome 1, 9e éd.). Technique et Documentation.
- [3] 1972. Bergan, T., & Lystad, A. *Evaluation of disinfectant inactivators. Acta Pathologica et Microbiologica Scandinavica, Section B*, 80(4), 507–510.
- [4] 2023. Rahal, D. R., & Toubi, N. *Étude de l'efficacité du processus de chloration au niveau de la station de traitement de l'eau du barrage Bouhamdene-Guelma.*

Chapitre III

Résultats & Discussions

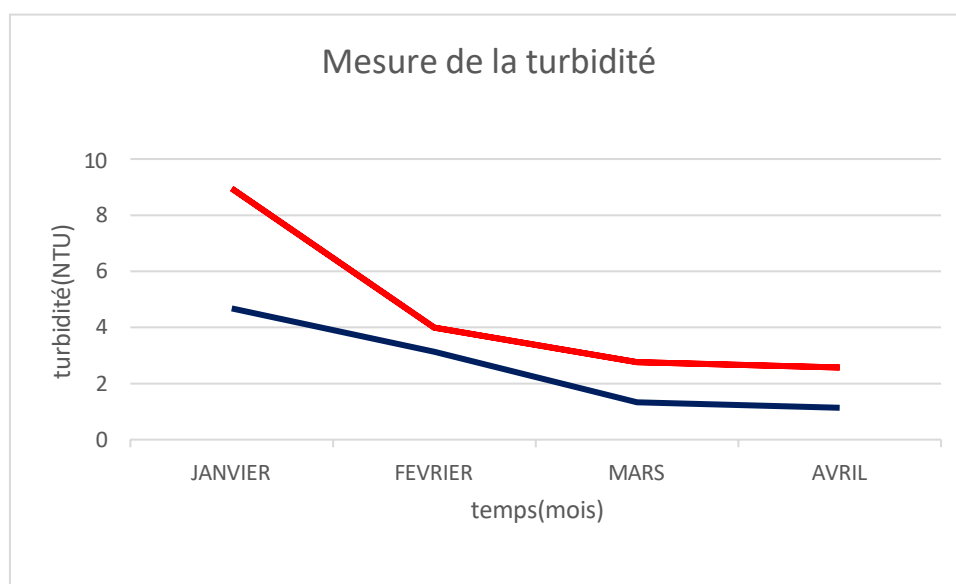
II.III.1 Analyses chimiques et physicochimiques de l'eau au niveau de la station de traitement du barrage de Bouhamdene :

Dans cette section, nous présentons nos résultats les plus importants, ainsi que leurs implications et interprétations dans le contexte de notre étude.

II.III.1.1 Mesure de de la turbidité :

**Tableau III.1 Résultats des analyses de la turbidité
(Janvier 2025 à avril 2025)**

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
Turbidité (NTU) Eau Brute (EB)	8,95	3,99	2,76	2,57
Turbidité (NTU) Eau Traitée (ET)	4,68	3,14	1,34	1,14



**Figure III.1 Evolution de la turbidité (Turb)
(Janvier 2025 à Avril 2025)**

Interprétation et Discussion :

La turbidité, qui mesure la clarté de l'eau, est influencée par la présence de particules colloïdales en suspension. L'analyse du graphique montre une variation de la turbidité des eaux brutes au fil du temps, avec une hausse marquée entre janvier et avril, principalement due aux précipitations. En effet, les eaux de ruissellement entraînent des particules telles que l'argile, le limon, le sable, ainsi que des micro-organismes, augmentant ainsi la turbidité.

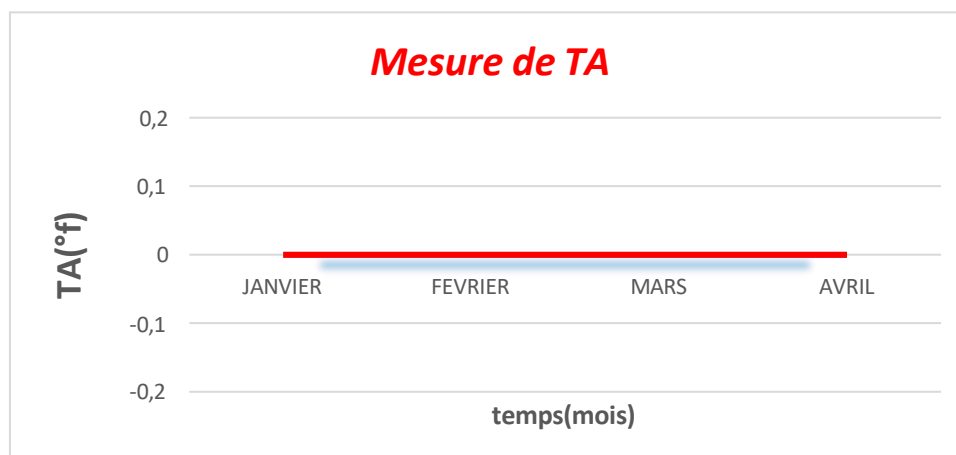
Cependant, après traitement à la station, une nette diminution est observée : toutes les valeurs de turbidité de l'eau traitée restent inférieures au seuil de 5 NTU, conformément à la norme algérienne de potabilité.

II.III.1.2 Mesure de TA et TAC et les bicarbonates (HCO_3^-) :

A. Détermination du titre alcalimétrique simple (TA)

**Tableau III.2 Résultats des analyses de TA
(Janvier 2025 à Avril 2025)**

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
TA(°f) Eau Brute (EB)	0	0	0	0
TA(°f) Eau Traitée (ET)	0	0	0	0



**Figure III.2 Evolution du titre alcalimétrique simple (TA)
(Janvier2025 à Avril 2025)**

Interprétation et Discussion :

Les données obtenues montrent que les valeurs du titre alcalimétrique s'élèvent à 0f°. Ces résultats correspondent parfaitement aux normes concernant la qualité de l'eau potable, fixées à 12f°.

B. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Tableau III.3 Résultats des analyses de TAC
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
TAC(°f) Eau Brute (EB)	13,6	13,9	16,5	16,7
TAC(°f) Eau Traitée (ET)	13,3	13,3	16,1	16,00

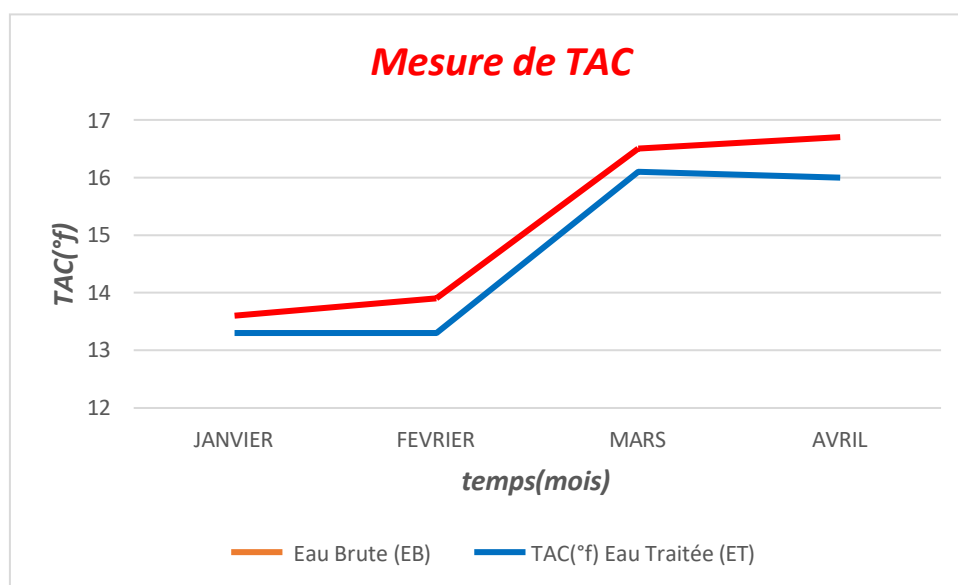


Figure III.3 Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) permet d'évaluer la concentration en bases libres dans l'eau. Les résultats montrent que les valeurs du TAC pour l'eau brute et l'eau traitée sont quasiment identiques, toutes deux conformes à la norme algérienne fixée à 12 °f. Une légère diminution est toutefois observée après traitement, sans impact significatif sur la qualité de l'eau.

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

Expression des résultats :

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ mg/l} = (V \times C \times M(\text{HCO}_3^-) / \text{PE}) \times 1000$$

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ mg/l} = (V \times 0.02 \times 61 / 100) \times 1000$$

V : volume d'acide versé dans le titrage de TAC.

C : concentration de l'acide versé (0,02 mol/l).

M(HCO_3^-) : masse molaire de bicarbonate (HCO_3^-) = 61 g/mol.

PE : prise d'essai

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ (mg/l)} = \text{TAC } ^\circ\text{f} \times C \times M(\text{HCO}_3^-) / \text{PE}$$

Et après les calculs :

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ mg/l} = \text{TAC } (^\circ\text{f}) \times 12,2$$

**Tableau III.4 Résultats des analyses de bicarbonates
(Janvier à Avril 2025)**

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
HCO_3^- (mg/l) Eau Brute (EB)	165,92	169,58	207,4	208,6
HCO_3^- (mg/l) Eau Traitée (ET)	162,26	162,26	196,42	196,51

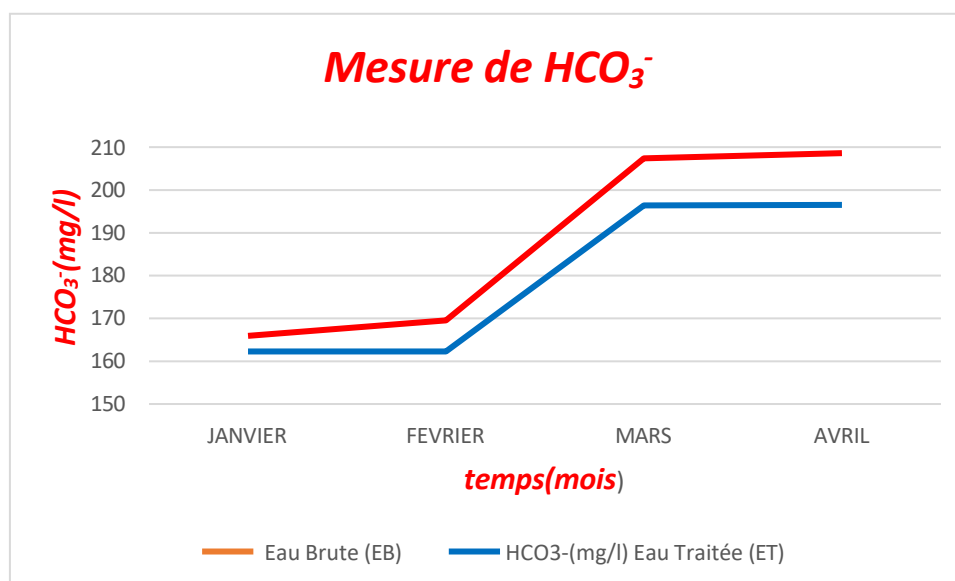


Figure III.4 Evolution des bicarbonates (HCO_3^-)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

Selon le graphique, les concentrations en bicarbonates dans l'eau brute (208,6 mg/L) et l'eau traitée (162,26 mg/L) restent relativement proches. Ces valeurs sont largement inférieures au seuil maximal de 350 mg/L fixé par la norme algérienne, ce qui indique une bonne stabilité de ce paramètre au cours du traitement.

II.III.1.3 Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

Tableau III.5 Résultats des analyses de TH
(Janvier 2025 à avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
TH (°f) Eau Brute (EB)	24	25	25,2	25,6
TH (°f) Eau Traitée (ET)	24	25	25,2	25,6

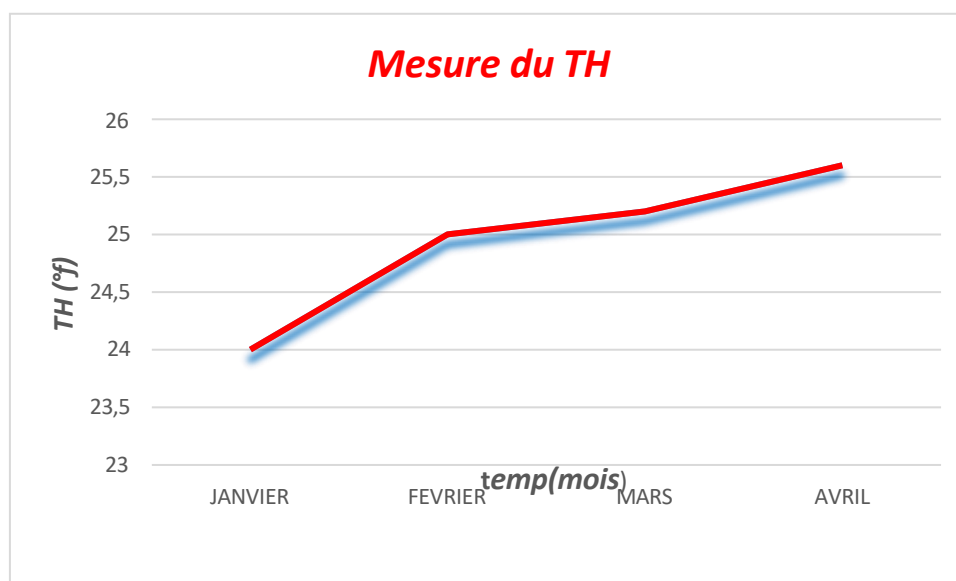


Figure III.5 Evolution du titre hydrotimétrique (TH)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

Le graphique ci-dessus illustre l'évolution mensuelle de la dureté totale (titre hydrotimétrique) de l'eau. Les résultats indiquent que la dureté de l'eau issue du barrage demeure largement inférieure à la limite fixée par la norme algérienne, soit 500 °F.

II.III.1.4 Dosage des chlorures (Cl⁻) :

Tableau III.6 Résultats des analyses des chlorures
(Janvier 2025 à avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
Cl ⁻ (mg/l) Eau Brute (EB)	71	71	85,2	85,2
Cl ⁻ (mg/l) Eau Traitée (ET)	71	71	85,2	85,2

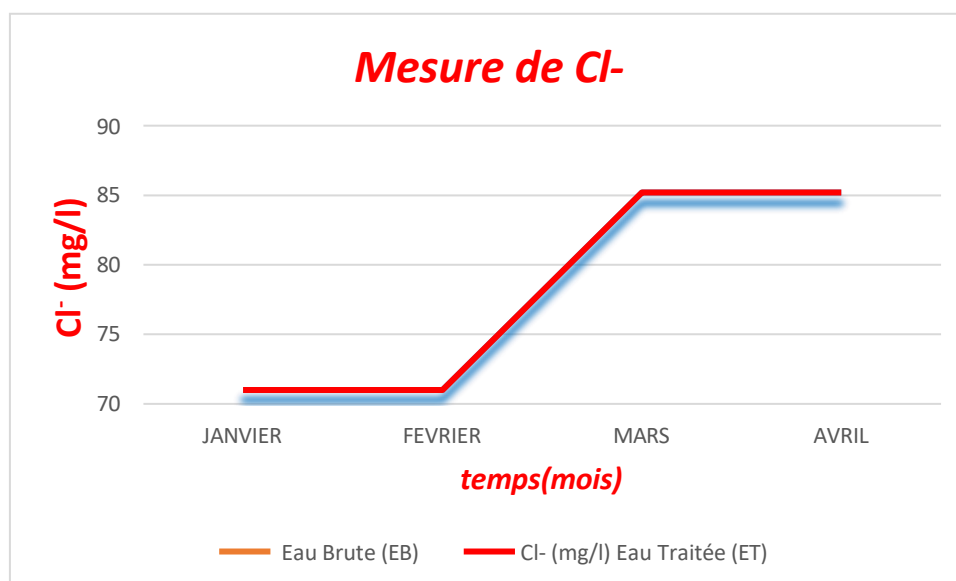


Figure III.6 Evolution des chlorures (Cl⁻)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

La teneur en chlorures de l'eau dépend principalement de la nature géologique des sols traversés. Une concentration élevée peut entraîner des troubles digestifs et accentuer la corrosion des conduites. La norme algérienne fixe la limite à 500 mg/L pour garantir la potabilité.

Les données relevées entre janvier et avril montrent des valeurs comprises entre 85,2 et 71 mg/L, bien en deçà du seuil réglementaire. L'eau du barrage Bouhamdene peut donc être qualifiée de non corrosive et de bonne qualité.

II.III.2 Détermination de la dose optimale en chlore de l'eau de Javel versée pour la désinfection de l'eau :

La détermination de la dose optimale de chlore est une étape clé dans la désinfection de l'eau potable. Elle dépend de plusieurs facteurs, dont la qualité physico-chimique de l'eau brute, la charge microbienne, et surtout le pH, qui influence la forme chimique du chlore (HOCl ou OCl⁻) et donc son efficacité germicide.

Pour chaque valeur de pH, des tests sont réalisés avec différentes doses de chlore afin d'identifier la quantité minimale assurant une réduction microbienne efficace, tout en maintenant un résiduel libre suffisant dans l'eau distribuée.

Chapitre III : résultats & discussions

L'objectif est double : garantir une désinfection efficace à la station et préserver une protection microbiologique dans le réseau jusqu'au consommateur. La présence de chlore résiduel empêche la recontamination ou la repousse bactérienne.

Toutefois, un excès de chlore peut générer des sous-produits de désinfection comme les trihalométhanés, potentiellement nocifs, et altérer le goût ou l'odeur de l'eau. D'où la nécessité de respecter les seuils réglementaires tout en optimisant le traitement.

Tableau III.7 L'évolution de la concentration du chlore combiné et chlore résiduel en fonction de la dose de chlore introduite. A pH= 7,93 et T=15°C, Temps de contact T₂=2heures. (Mois de mars)

Chlore injecté mg/l	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Chlore combiné mg/l	Trace	0,2								
Chlore libre mg/l			Trace	0,2	0,4	1	1	1	>1	> 1

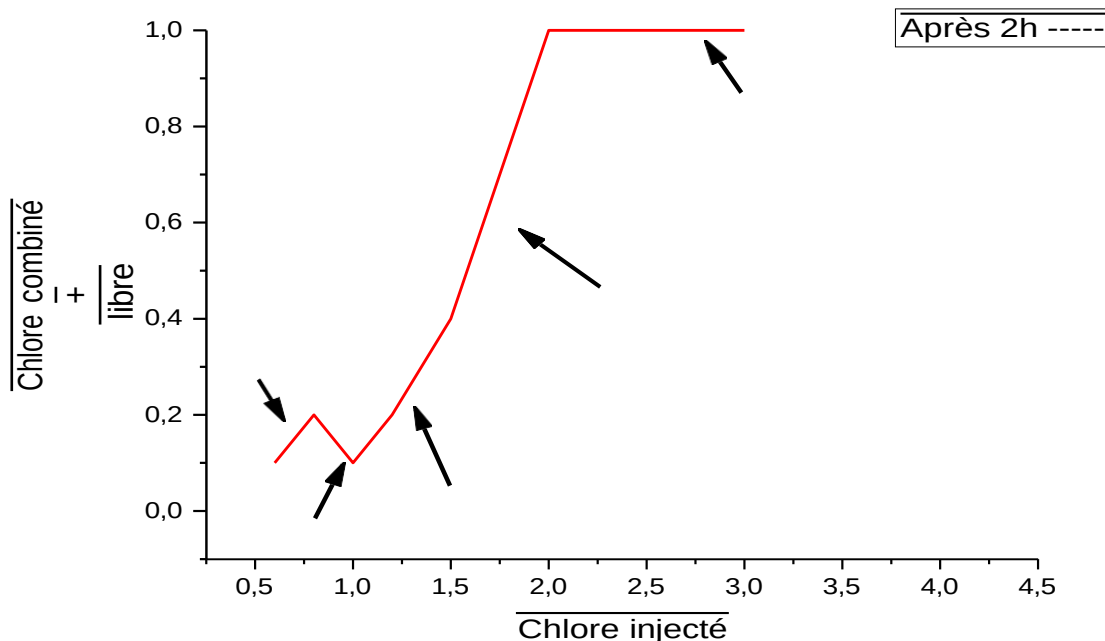


Figure III.7 Evolution du chlore libre + combiné en fonction du chlore injecté à PH=7,93 et T=15°C après T₂=2h de contact (Mois de mars)

Interprétation et Discussion :

Après un temps de contact de deux heures, à un pH de 8 et une température de 7 °C, l'évolution des concentrations en chlore libre et combiné selon les doses de chlore injectées révèle un déplacement du point de rupture (break point), désormais situé à 2,0 mg/L. Ce décalage par rapport aux conditions standards est probablement dû à une prolifération accrue d'algues dans l'eau du barrage, conséquence directe de la faible pluviométrie observée durant cette période printanière. La présence excessive de matière organique algale augmente la demande en chlore, modifiant ainsi la courbe de chloration et retardant l'apparition du résiduel libre.

La courbe de détermination du chlore résiduel présente une évolution caractéristique en **cinq étapes distinctes** :

Étape I : Oxydation des substances réductrices

Dans un premier temps, tout le chlore injecté est rapidement consommé par des réactions d'oxydation avec les substances réductrices inorganiques dissoutes dans l'eau. Parmi celles-ci, on retrouve notamment les ions ferreux (Fe^{2+}), manganèse (Mn^{2+}) et le sulfure d'hydrogène (H_2S). À ce stade, aucun chlore résiduel n'est détecté, ce qui indique l'absence de tout désinfectant actif disponible dans le milieu.

Étape II : Formation des chloramines

Une fois ces substances réductrices totalement oxydées, le chlore commence à réagir avec les composés azotés tels que l'ammoniac (NH_3) ou les amines organiques. Ces réactions aboutissent à la formation de chloramines (monochloramine, dichloramine, trichloramine), connues sous le nom de chlore combiné. Les chloramines ont un pouvoir désinfectant modéré, mais elles sont plus stables que le chlore libre.

Étape III : Destruction des chloramines

Lorsque tous les composés azotés disponibles ont été consommés, les chloramines formées commencent à être oxydées à leur tour. Cela entraîne une diminution progressive du chlore combiné dans le milieu, traduisant une perte temporaire de la capacité désinfectante. Cette phase marque l'amorce de la transition vers le chlore libre.

Étape IV : Zone de transition

Malgré l'ajout continu de chlore, aucune augmentation nette du chlore résiduel libre n'est observée dans cette zone. Le chlore ajouté continue de réagir avec les composés intermédiaires formés, notamment par des réactions telles que :



Cette réaction illustre la décomposition des chloramines, avec une perte d'efficacité désinfectante à ce stade.

Étape V : Apparition du chlore libre (après le point de rupture)

Une fois le point de rupture atteint (ici observé à 2,0 mg/L), toute dose supplémentaire de chlore reste sous forme de chlore libre. Celui-ci est hautement réactif et possède un fort pouvoir désinfectant, capable d'inactiver les micro-organismes pathogènes restants dans l'eau.

Chapitre III : résultats & discussions

La présence de chlore libre garantit également une désinfection résiduelle dans le réseau de distribution, assurant une protection continue jusqu'au consommateur final.

Le point de rupture constitue une référence cruciale dans l'estimation de la demande en chlore. Celle-ci est définie comme la différence entre la quantité de chlore ajoutée et celle mesurée sous forme résiduelle libre après un temps de contact donné. Connaître cette valeur permet d'optimiser le dosage de chlore, afin de garantir une désinfection efficace tout en limitant les excès, susceptibles de générer des sous-produits indésirables.

Évolution du chlore libre et combiné après deux heures de contact :

- **Chlore libre** : Après deux heures, le chlore libre injecté continue de réagir avec les composés organiques et inorganiques encore présents. Son niveau peut être légèrement inférieur à celui

Mesuré après une heure, mais reste suffisant pour garantir une désinfection continue de l'eau.

- **Chlore combiné** : La concentration en chlore combiné peut continuer d'augmenter légèrement après deux heures, traduisant la poursuite des réactions avec les composés azotés. Toutefois, une surveillance étroite est nécessaire, car un excès de chloramines peut provoquer des effets indésirables : odeurs désagréables, irritation des muqueuses, baisse de l'efficacité désinfectante.

Il est donc crucial de maintenir un équilibre entre chlore libre et chlore combiné pour assurer à la fois l'efficacité microbiologique et la qualité organoleptique de l'eau. Des ajustements peuvent être nécessaires sur la dose de chlore injecté et/ou sur le temps de contact, notamment en cas de température plus basse, comme dans ce cas à 7 °C, où les réactions sont plus lentes.

Évaluation du quotient CT (Concentration × Temps)

Le quotient CT est un indicateur fondamental de l'efficacité de la désinfection, représentant le produit de la concentration en désinfectant (C, en mg/L) par le temps de contact (T, en minutes). Il permet de quantifier l'efficacité du traitement en fonction des caractéristiques spécifiques de l'eau traitée.

Chapitre III : résultats & discussions

Dans les conditions expérimentales :

Température = 7 °C

PH = 8

Temps de contact (T) = 120 minutes

Concentration (C) = 3,5 mg/L

Le quotient CT est calculé comme suit :

$$CT = C \times T = 3,5 \text{ mg/L} \times 120 \text{ min} = 420 \text{ mg min/L}$$

Cette valeur représente l'énergie de désinfection apportée au système. Elle peut être comparée aux valeurs de référence recommandées par les agences sanitaires (OMS, USEPA) pour différents types de micro-organismes, afin de vérifier que l'objectif de désinfection complète est atteint.

II.III.3 Analyses de l'eau de javel utilisée dans la station

L'analyse de l'eau de Javel repose sur la quantification de ses principaux ions : **hypochlorite (ClO^-)**, **chlorure (Cl^-)**, **chlorate (ClO_3^-)** et **chlorite (ClO_2^-)**. Leur concentration reflète la qualité, la stabilité et la fraîcheur du produit.

Une élévation des ions Cl^- , ClO_3^- ou ClO_2^- indique une dégradation de l'hypochlorite de sodium, souvent liée au pH, à la température, à la lumière ou à un stockage prolongé, réduisant ainsi l'efficacité désinfectante.

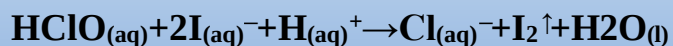
De plus, les chlorates et chlorites, potentiellement toxiques à forte dose, posent un risque sanitaire et environnemental.

II.III.3.1 Dosage des ions hypochlorite (ClO^-) dans la solution de l'eau de Javel

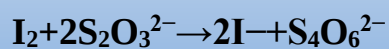
Dans ce travail, nous avons étudié une eau de Javel commerciale à **15,1 %** de chlore actif (**de molarité 2,33 mol/L**). Ses concentrations en hypochlorite de sodium à différents pH ont été mesurées par des techniques spécifiques afin d'évaluer sa stabilité et son efficacité.

II.III.3.1.1 Dosage iodométrique des ions hypochlorite :

Les ions hypochlorite, en tant qu'agents oxydants, peuvent être dosés de manière classique par titrage iodométrique en milieu acide, selon les réactions suivantes :



Le diiode (I_2) formé est ensuite titré par une solution standard de thiosulfate de sodium selon la réaction :



Chapitre III : résultats & discussions

En milieu acide, la réaction met en jeu l'oxydant le plus puissant (HClO) et le réducteur le plus fort (I⁻). Les ions iodure étant introduits en large excès, les espèces présentes à la fin de la réaction sont essentiellement le diiode (sous forme I₃⁻) et les ions chlorure (Cl⁻).

Le diiode formé est ensuite titré de manière classique à l'aide d'une solution de thiosulfate. D'un point de vue stœchiométrique, un équivalent molaire d'ions hypochlorite réagit avec deux équivalents d'ions thiosulfate.

À partir de la moyenne des volumes équivalents mesurés lors du titrage ($V_{eq} = 122,5$ mL), on peut déterminer la concentration en ions hypochlorite dans la solution commerciale selon la relation suivante :

$$C_{ClO^-} \times V_1 = 2 \times (C_2 \times V_{eq})$$

Prenons l'exemple de pH=11,5, en remplaçant les données expérimentales :

- $V_{eq} = 122,5$ mL
- $C_2 = 0,1$ mol/L
- $V_1 = 50,0$ mL

$$C_{ClO^-} = \frac{(C_2 \times V_{eq})}{V_1} = \frac{2(0,1 \times 122,5)}{50}$$

$$C_{ClO^-} = 0,49M$$

Tableau III.8 Résultats du Dosage iodométrique des ions hypochlorite à différents pH

Essai n°	PH initial	Temps (T)	Volume thiosulfate utilisé (ml)	[C _{ClO⁻}]
1	12,5	T ₀	130	0,52 M
3	12,5	5 jours	127,5	0,51 M
4	11,5	T ₀	122,5	0,49 M
6	11,5	5 jours	120	0,48 M
7	10,5	T ₀	115	0,46 M
9	10,5	5 jours	110	0,44 M

Interprétation des résultats obtenus :

- À pH élevé (12,5) : La concentration en ClO^- reste quasiment constante après 5 jours (0,52 $\rightarrow$ 0,51 M). D'où une Stabilité élevée de l'hypochlorite à pH basique fort.
- À pH 11,5 : On remarque une Légère baisse de la concentration (0,49 $\rightarrow$ 0,48 M). Et Une faible dégradation du ClO^- commence à apparaître
- À pH 10,5 : On remarque une baisse plus marquée des concentrations en ClO^- (0,46 $\rightarrow$ 0,44 M). Ce qui est traduit également par une faible baisse de ClO^- à pH moins basique.

On déduit alors que la stabilité de l'hypochlorite dans l'eau de Javel diminue avec la baisse du pH.

II.III.3.1.2 Dosage pH métrique des ions hypochlorite :

D'après le dosage iodométrique à différents pH (12,5 à 10,5) réalisé à $t = 0$ et après 5 jours, la concentration en hypochlorite (ClO^-) reste globalement stable, avec de faibles variations (0,01 à 0,02 M). Cela indique une dégradation lente et une bonne stabilité du ClO^- en milieu basique. Ainsi, nous pouvons limiter notre dosage pH-métrique de l'hypochlorite dans l'eau de Javel à un **pH moyen de 11,5**, garantissant un bon compromis entre stabilité et précision.

Les ions hypochlorite, de nature basique, peuvent être titrés à l'aide d'un acide fort, en suivant l'évolution du pH au cours de la réaction. Les résultats obtenus lors de ce dosage sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.9 Résultats de Dosage pH- métrique de l'eau de Javel

(À pH=11,5)

V	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
PH	11,56	11,40	11,28	10,60	9,84	9,15	8,81	8,64	8,50

V	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
PH	8,40	8,30	8,21	8,13	8,06	8,00	7,94	7,89	7,83

V	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
PH	7,79	7,73	7,69	7,64	7,58	7,54	7,50	7,46	7,42

V	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
PH	7,37	7,31	7,25	7,20	7,14	7,10	7,06	6,99	6,92	6,86

V	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23
PH	6,79	6,72	6,62	6,53	6,38	6,23	6,07	5,85	5,33	4,76

V	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28
PH	4,11	3,83	3,64	3,45	3,34	3,25	3,16	3,12	3,06	3,00

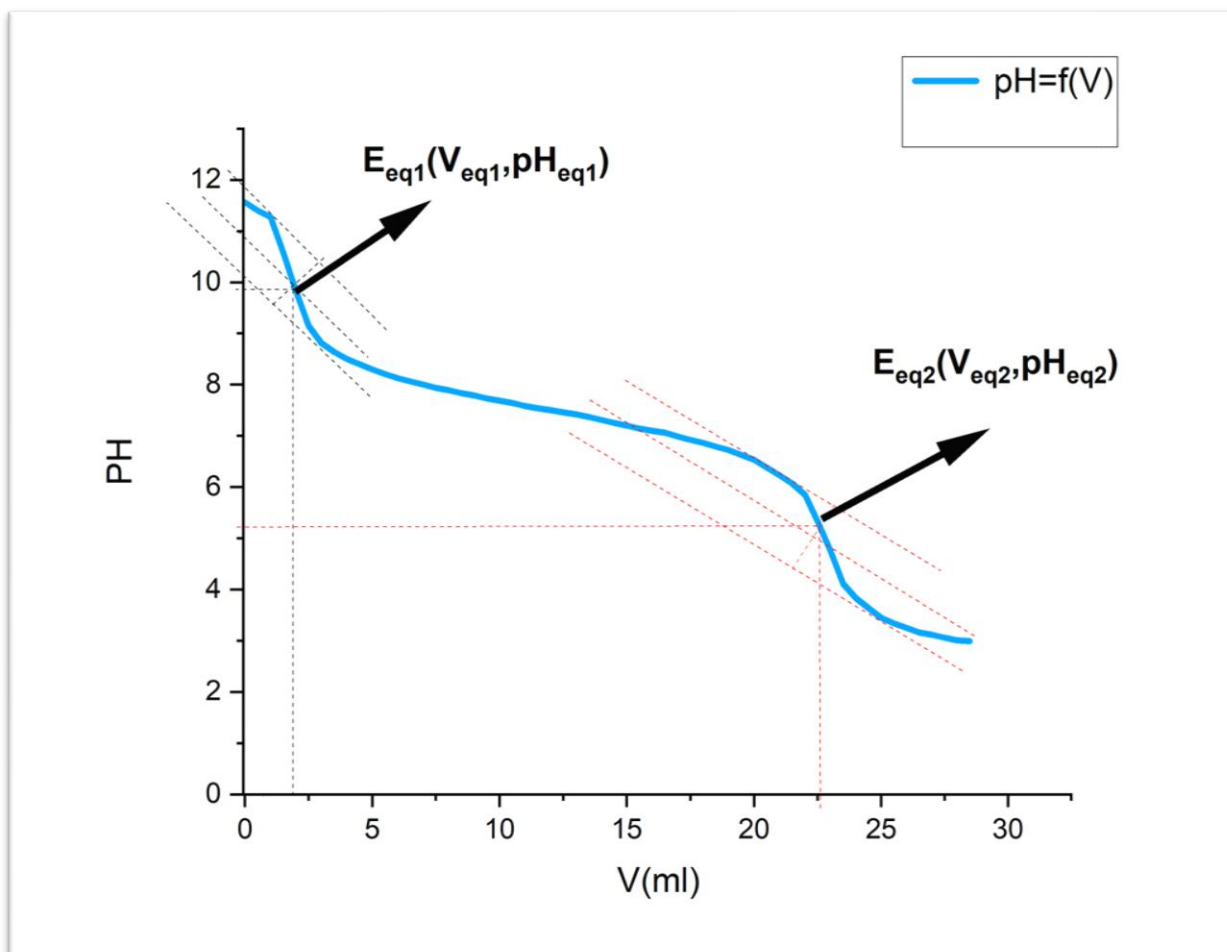


Figure III.8 Courbe de Dosage pH- métrique de l'eau de Javel (À pH=11,5)

➤ **Détermination de la concentration des ions hypochlorite (ClO^-) :**

L'analyse du graphique du dosage pH-métrique révèle la présence de deux sauts de pH successifs, traduisant deux points d'équivalence distincts. Le premier correspond à la neutralisation des ions hydroxyde (OH^-), base forte, tandis que le second indique la neutralisation des ions hypochlorite (ClO^-), base plus faible. Ainsi, entre les volumes équivalents V_{eq1} et V_{eq2} , l'acide chlorhydrique (HCl) neutralise successivement ces deux

Chapitre III : résultats & discussions

espèces basiques. La quantité totale de HCl consommée pour ces deux réactions est donnée par :

$$n_{HCl} = n_{OCl^-} + n_{OH^-}$$

$$n_{OH^-} = (C_{\text{éq1}} \times V_{\text{éq1}})_{OH^-}$$

$$n_{HCl} = n_{OCl^-} + (C_{\text{éq1}} \times V_{\text{éq2}})_{OH^-} \quad (*)$$

$$C_{\text{éq1}} = [OH^-]$$

On a: $pH + pOH = 14$

$$pOH = 14 - pH$$

Au premier point d'équivalence : $pH=9,95$

Donc : $pOH = 14 - 9,95$

$$pOH = 4,05$$

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-4.05}$$

$$[OH^-] = 0,000089M$$

D'où : $n_{OH^-} = [OH^-] \times V_{\text{éq1}}_{OH^-} = 0,000089 \times 2 \times 10^{-3}$

$$n_{OH^-} = 1,78 \times 10^{-7}$$

Donc, on peut négliger la quantité de OH^- devant celle de OCl^-

Et enfin, dans l'équation (*) donnée ci-dessus, on trouve : $\approx n_{OCl^-}$

Pour les 2 sauts on peut écrire :

$$n_{HCl} \approx n_{ClO^-} = C \times \Delta V$$

$$n_{ClO^-} = 0,5 \times (22,6 - 2)$$

$$n_{ClO^-} = 10,3 \text{ mmol} = 10,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{ClO^-} = C_{ClO^-} \times \Delta V$$

$$C_{ClO^-} = \left(\frac{n}{V}\right)_{ClO^-} = \frac{0,00103}{(22,6 - 2) \times 10^{-3}} = 0,5 \text{ M}$$

$$\mathbf{C_{ClO^-} = 0,5M}$$

Chapitre III : résultats & discussions

Tableau III.10 Résultats du Dosage pH-métrique de l'eau de Javel
(À pH=11,5 après 5jrs)

V	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
PH	11,56	11,15	10,74	10,60	9,95	9,32	8,55	8,48	8,29

V	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
PH	8,18	8,10	7,99	7,86	7,82	7,76	7,67	7,64	7,61

V	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
PH	7,49	7,47	7,42	7,39	7,33	7,28	7,23	7,16	7,11

V	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
PH	7,06	7,02	6,96	6,90	6,84	6,78	6,70	6,62	6,50	6,43

V	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23
PH	6,27	6,11	5,86	5,43	4,63	4,02	3,76	3,46	3,36	3,27

V	23,5	24	24,5	25
PH	3,14	3,08	3,01	2,92

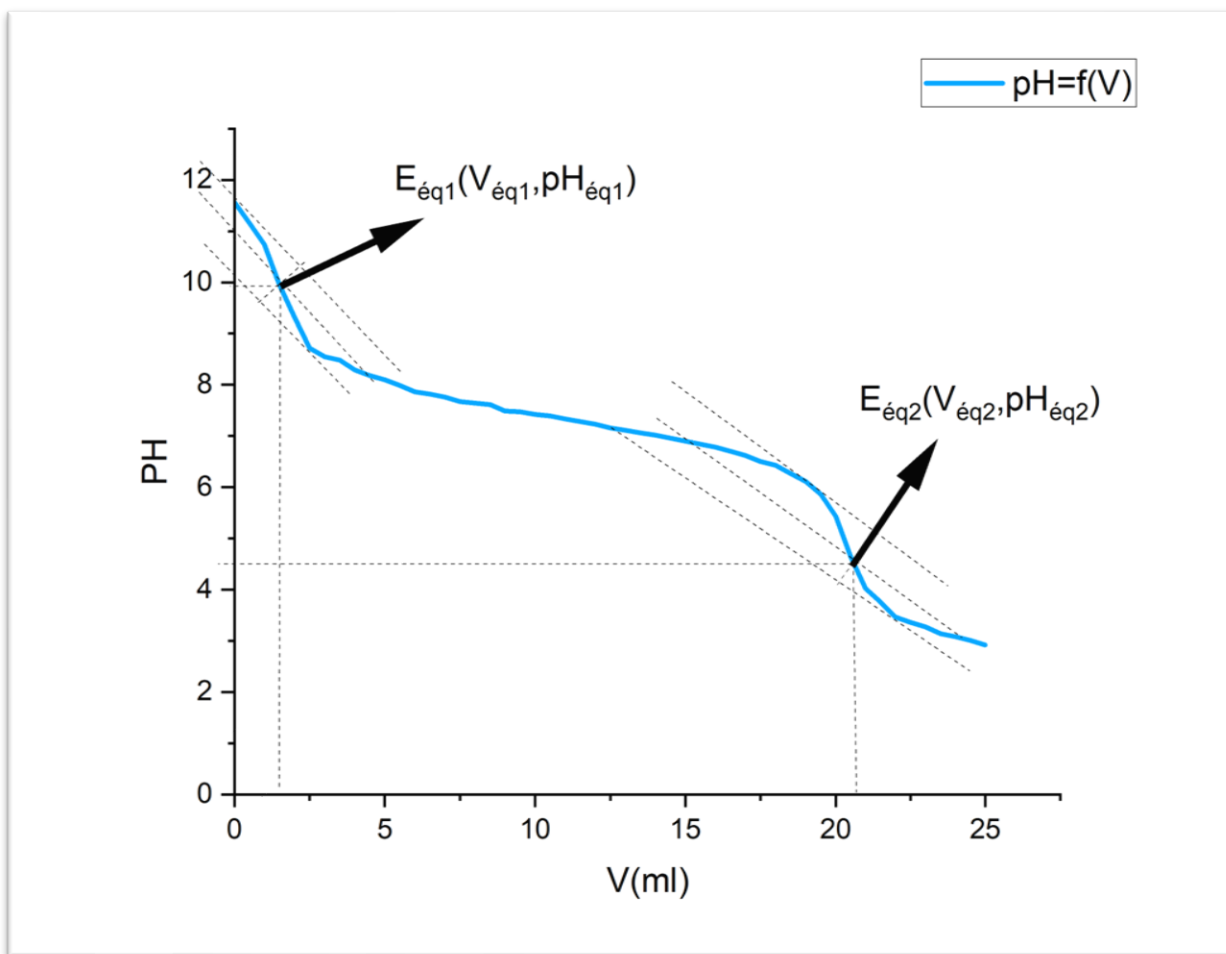


Figure III.9 Courbe du dosage pH- métrique de l'eau de Javel

(À pH=11,5 après 5jrs)

➤ **Détermination de la concentration des ions hypochlorite (ClO^-) :**

$$n_{\text{HCl}} = n_{\text{OCl}^-} + n_{\text{OH}^-}$$

$$n_{\text{OH}^-} = (C_{\text{éq1}} \times V_{\text{éq1}}) -$$

$$n_{\text{HCl}} = n_{\text{OCl}^-} + (C_{\text{éq1}} \times V_{\text{éq2}})_{\text{OH}^-} \quad (*)$$

$$C_{\text{éq1}} = [\text{OH}^-]$$

On a:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

Au premier point d'équivalence : pH=9,84

Donc : pOH = 14 - 9,84

$$pOH = 4,16$$

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-4.16}$$

$$[OH^-] = 0,00007M$$

$$D'où : n_{OH^-} = [OH^-] \times V_{eq1} = 0,00007 \times 1,5 \times 10^{-3}$$

$$n_{OH^-} = 1,4 \times 10^{-7}$$

Donc, on peut négliger la quantité de OH^- devant celle de OCl^-

Et enfin, dans l'équation (*) donnée ci-dessus, on trouve : $\approx n_{OCl^-}$

Pour les 2 sauts on peut écrire :

$$n_{HCl} \approx n_{ClO^-} = C \times \Delta V$$

$$n_{ClO^-} = 0,5 \times (20,5 - 1,5)$$

$$n_{ClO^-} = 9,5 \text{ mmol} = 9,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{ClO^-} = C_{ClO^-} \times \Delta V$$

$$C_{ClO^-} = \left(\frac{n}{V} \right) ClO^- = \frac{0,0095}{(20,5 - 1,5) \times 10^{-3}} = 0,5 \text{ M}$$

$$C_{ClO^-} = 0,5M$$

Interprétation des résultats obtenus :

Le dosage pH-métrique à pH 11,5 donne une concentration stable de 0,5 M en ClO^- après 5 jours. Cela montre que l'hypochlorite se conserve bien à ce pH et que le dosage reste fiable.

Remarque importante : La dilution des solutions mères d'eau de Javel a permis d'assurer la précision, la fiabilité et la sécurité des titrages iodométrique et pH-métrique.

II.III.3.1.3 Dosage Spectrophotométrique direct des ions hypochlorite

Le dosage spectrophotométrique repose sur l'absorption spécifique des ions hypochlorite (ClO^-) à 292 nm.

À $pH \geq 11$, ClO^- est majoritaire, et le dosage est fiable, car aucune autre espèce n'interfère.

À partir de $pH \approx 8,5$, ClO^- se transforme progressivement en acide hypochloreux ($HClO$) selon l'équilibre :



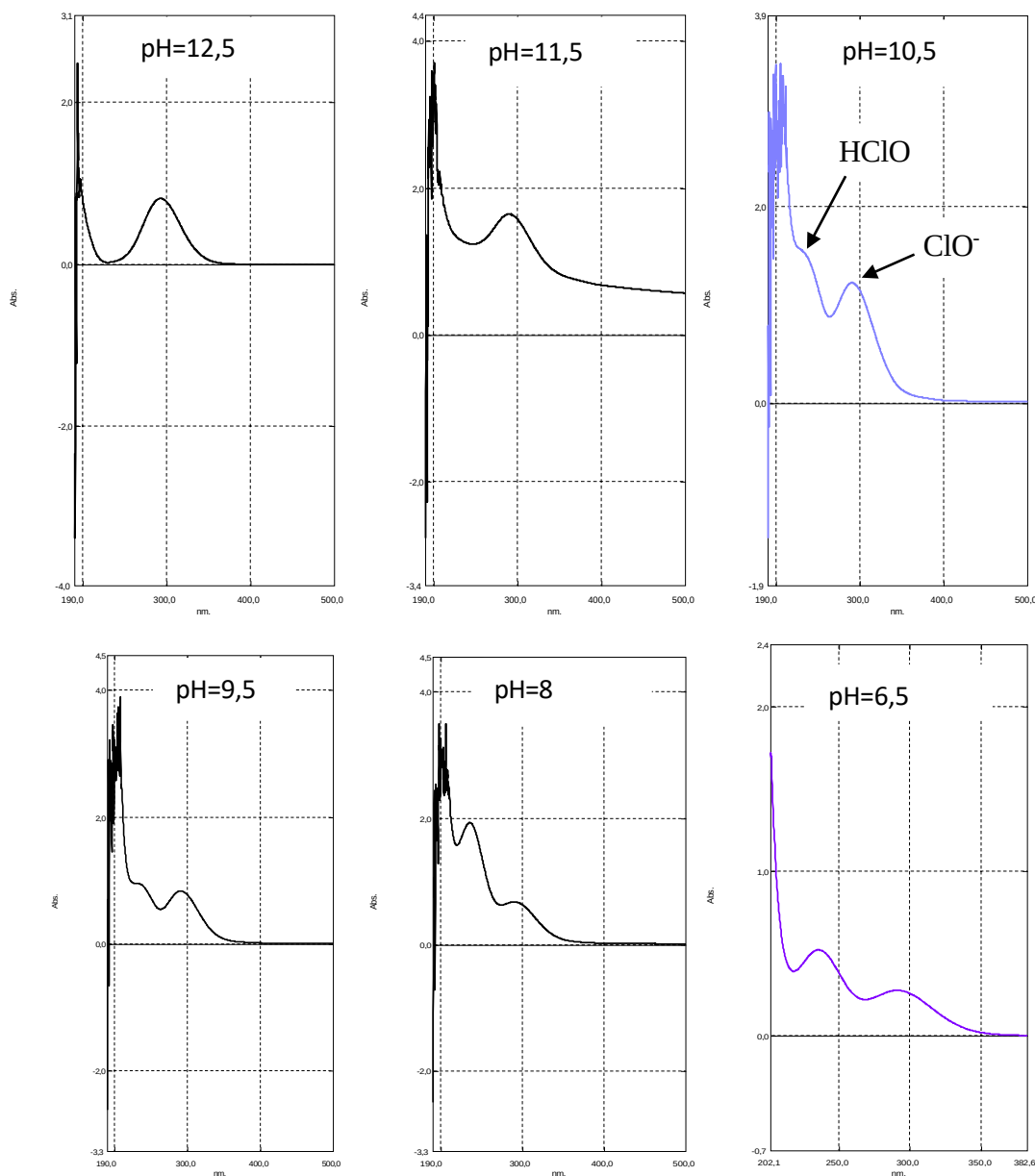
Chapitre III : résultats & discussions

Cette transformation se manifeste par :

Une diminution de l'absorbance à 292 nm (moins de ClO^-),

L'apparition d'une nouvelle bande d'absorption (HClO), généralement autour de 235 nm (voir Figure III.10 ci-dessous).

En conséquence, le dosage direct de ClO^- devient peu fiable à $\text{pH} < 9$, en raison des interférences spectrales et de la conversion chimique.:



**Figure III.10 Evolution des allures des spectres d'absorption en baissant
Le pH de l'eau de Javel**

Chapitre III : résultats & discussions

La superposition des spectres d'absorption des solutions d'eau de Javel de concentration en ClO^- inconnue à différents pH, enregistrée entre 200 et 400 nm, est présentée sur la figure suivante :

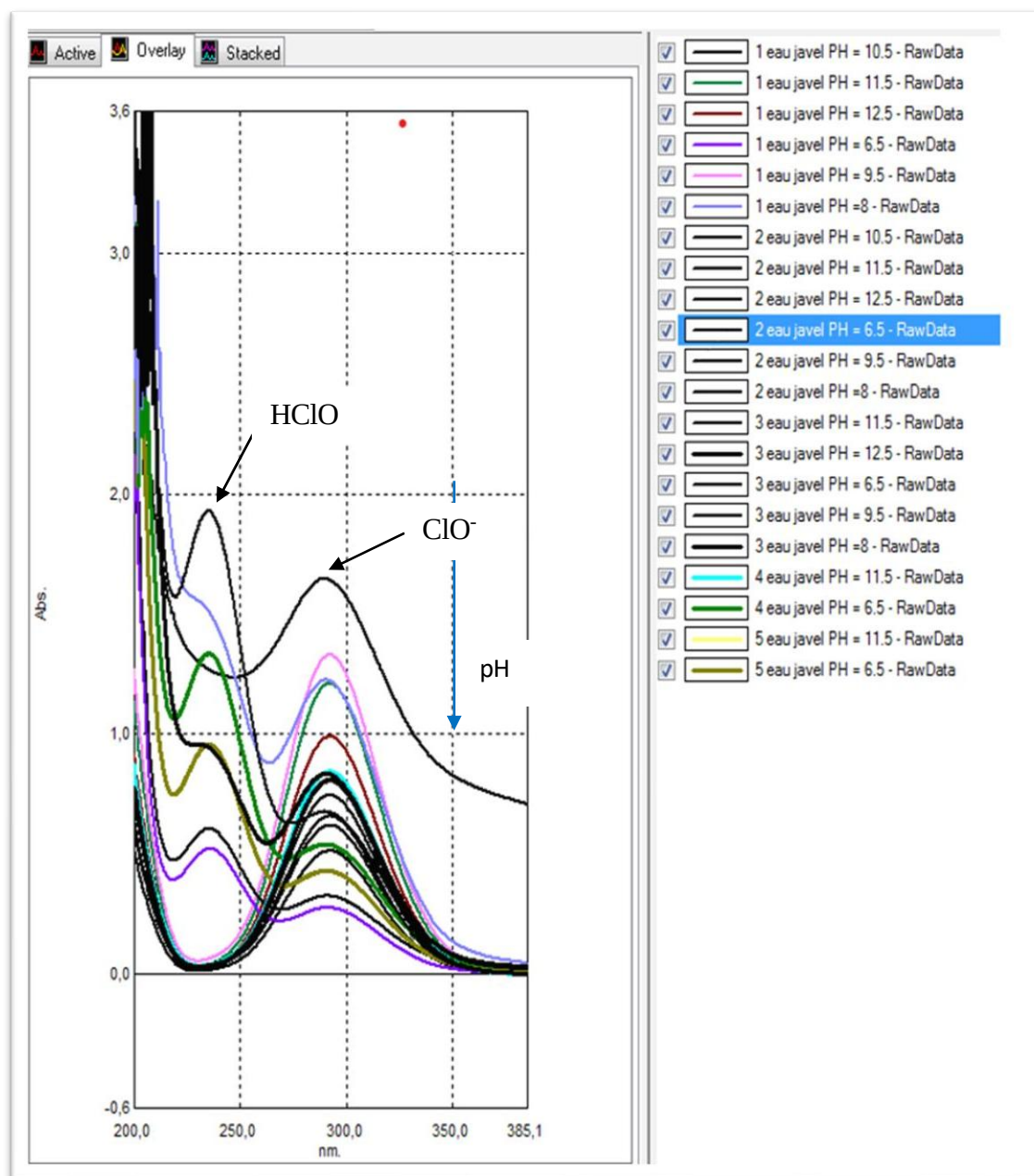


Figure III.11 : Superposition des spectres d'absorption des solutions d'eau de Javel à différents pH

On constate que l'absorbance à 292 nm diminue de façon monotone lorsque le pH diminue, tandis que celle à 235 nm augmente. Faisant apparaître un équilibre acide base reliant les deux espèces HClO et ClO^- absorbant respectivement à 235 et 292 nm.

➤ Détermination de la concentration en ions ClO^- :

On peut déterminer avec une assez bonne précision la concentration de ces ions dans une eau de Javel à partir de la mesure de l'absorbance à 292 nm, en appliquant la loi de Beer-Lambert suivante :

$$A = \epsilon l C$$

Où :

A : Absorbance de la solution.

ϵ : coefficient d'extinction moléculaire ($\epsilon_{\text{NaOCl}} = 362 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

l : Largueur de la cellule.

C : Concentration du composé analysé.

$$C = \frac{Af}{\epsilon l}$$

Tel que : f est le coefficient de dilution.

$$\text{Soit : } C_{\text{ClO}^-} = \frac{0,47 \times 2 \times 200}{362} = 0,51 \text{ M}$$

$$C_{\text{ClO}^-} = 0,51 \text{ M}$$

Interprétation des résultats obtenus

Le dosage spectrophotométrique a permis de déterminer une concentration de 0,51 M en ions hypochlorite (ClO^-). Ce résultat est cohérent avec ceux obtenus par les méthodes pH-métrique et iodométrique, qui ont également donné des concentrations proches, autour de 0,50 M à pH 11,5.

Conclusion générale :

La connaissance précise des concentrations en ions hypochlorite dans l'eau de Javel est essentiel pour garantir son efficacité désinfectante, sa qualité et sa conformité réglementaire, tout en optimisant les processus de production. De plus, en surveillant ces concentrations au fil du temps, ils peuvent prendre des mesures pour prévenir la dégradation de l'eau de Javel pendant le stockage.

Chapitre III : résultats & discussions

Les résultats des trois méthodes se convergent, Cette concordance entre les trois méthodes confirme :

La fiabilité du dosage spectrophotométrique à pH basique, où ClO^- est la forme majoritaire et absorbante à 292 nm.

La validité du dosage pH-métrique, qui repose sur l'estimation indirecte via le potentiel acido-basique

La précision de l'iodométrie, fondée sur une réaction redox quantitative.

Ainsi, ces méthodes **se recoupent** et renforcent l'interprétation selon laquelle la concentration réelle en ClO^- est bien d'environ **0,5 M** dans l'échantillon étudié à pH 11,5, avec une bonne stabilité dans le temps.

II.III.4 Analyses Bactériologiques

L'évaluation microbiologique de l'eau est essentielle pour garantir sa potabilité et sa conformité aux normes sanitaires. Elle vise à détecter d'éventuels micro-organismes pathogènes responsables de maladies hydriques.

Les principaux indicateurs surveillés incluent les coliformes totaux, E. coli, les entérocoques intestinaux, les spores de Clostridium perfringens et les germes aérobies mésophiles, en raison de leur fréquence et de leur impact sur la santé publique.

Ces germes sont systématiquement recherchés dans les analyses de l'eau brute et traitée afin d'évaluer la contamination et l'efficacité des procédés de désinfection, notamment la chloration.

Cette section présente les résultats obtenus à différents points du système de traitement et de distribution, tout en soulignant le rôle de ces indicateurs dans la surveillance sanitaire de l'eau.

Une bonne connaissance de ces micro-organismes permet d'adapter efficacement les stratégies de contrôle et de prévention pour assurer une protection durable de la santé publique.

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

**Tableau III.11 Résultats des analyses des germes totaux
(Janvier 2025 à Avril2025)**

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
GT (UFC/ml) Eau Brute (EB)	120	24	16	163
GT (UFC/ml) Eau Traitée (ET)	0	0	0	0

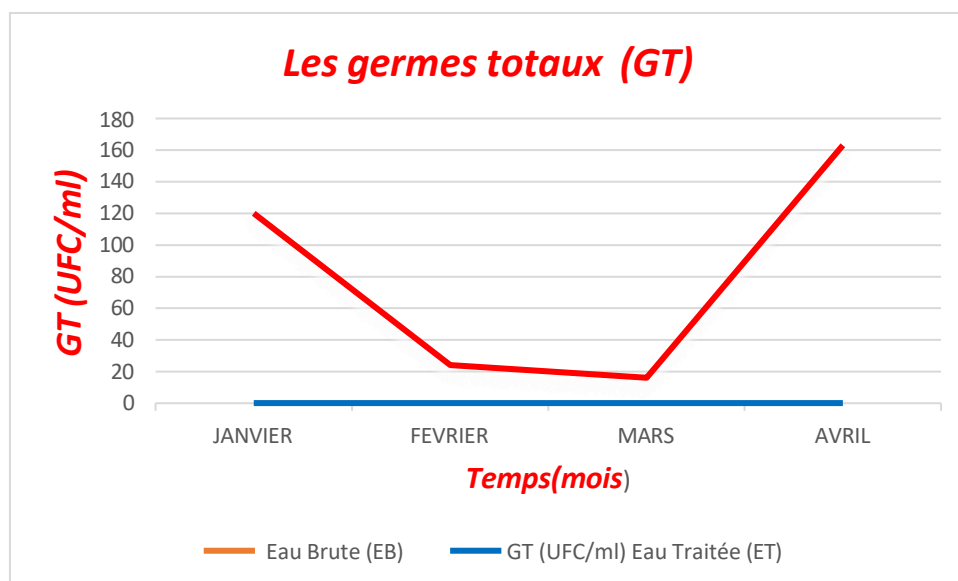


Figure III.12 Evolution des germes totaux (GT)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

La détection des germes totaux à 37 °C donne une indication générale de la charge microbienne de l'eau. Les résultats montrent une forte fluctuation dans l'eau brute, avec un pic en avril (163 UFC/ml) et un minimum en mars (16 UFC/ml). En revanche, aucune contamination n'est détectée dans l'eau traitée, confirmant l'efficacité du traitement et la conformité de l'eau aux exigences sanitaires.

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

A. Pour les coliformes totaux (CT)

Tableau III.12 Résultats des analyses des coliformes totaux
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
CT(UFC/100ml) Eau Brute (EB)	208	164	300	33
CT(UFC/100ml) Eau Traitée (ET)	0	0	0	0

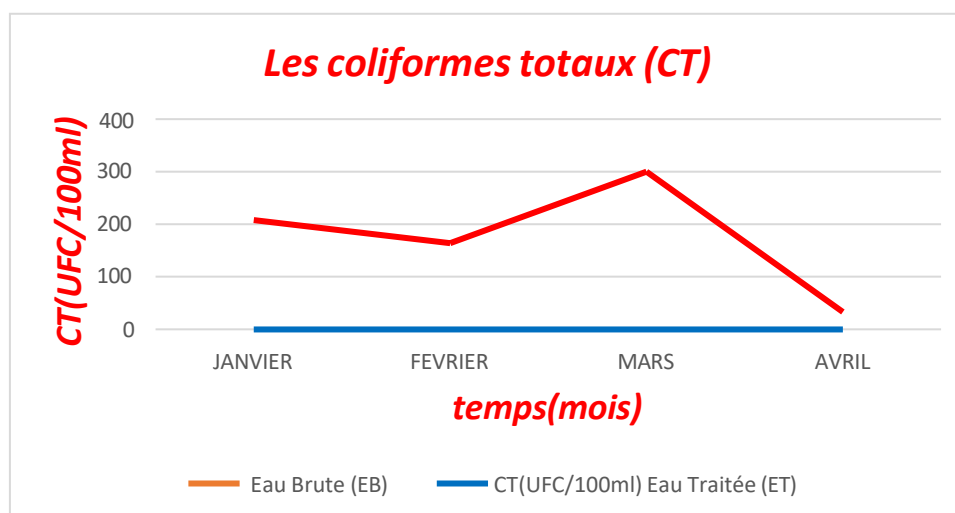


Figure III.13 Evolution des coliformes totaux (CT)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

L'évaluation de la pollution fécale repose sur la détection des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF). Les CT indiquent une contamination générale, tandis que les CF, d'origine humaine ou animale, signalent un risque accru de maladies hydriques.

Les analyses montrent une variation des CT dans l'eau brute, avec un pic en mars (300 UFC/100 ml). En revanche, aucune présence n'est détectée dans l'eau traitée, en conformité avec la norme algérienne (0 UFC/100 ml), ce qui témoigne d'une excellente qualité bactériologique.

B. Pour les coliformes fécaux (CF)

Tableau III.13 Résultats des analyses de coliforme fécaux
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
CF(UFC/100ml) Eau Brute (EB)	3	0	3	0
CF(UFC/100ml) Eau Traitée (ET)	0	0	0	0

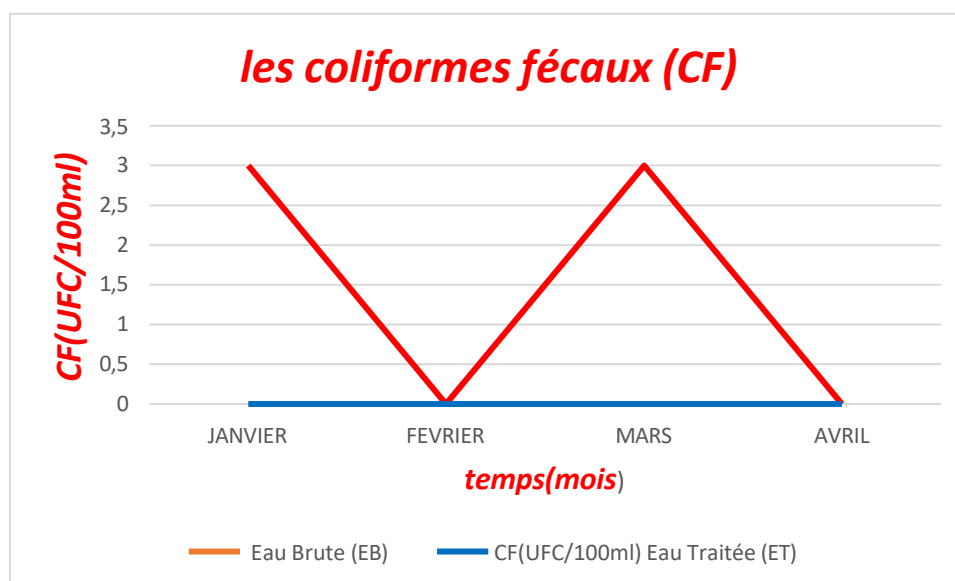


Figure III.14 Evolution des coliformes fécaux (CF)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

Les résultats révèlent une faible différence entre les niveaux de coliformes fécaux (CF) dans l'eau brute et traitée. En janvier et mars, les deux présentent 3 UFC/100 ml, tandis qu'aucune contamination n'est détectée en février et avril. L'eau traitée reste constamment conforme aux normes algériennes, sans aucune charge bactérienne.

II.III.4.3 Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR) :

Tableau III.14 Résultats des analyses des anaérobies sulfito-réducteurs
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
ASR(UFC/100ml) Eau Brute (EB)	1	0	0	0
ASR(UFC/100ml) Eau Traitée (ET)	0	0	0	0

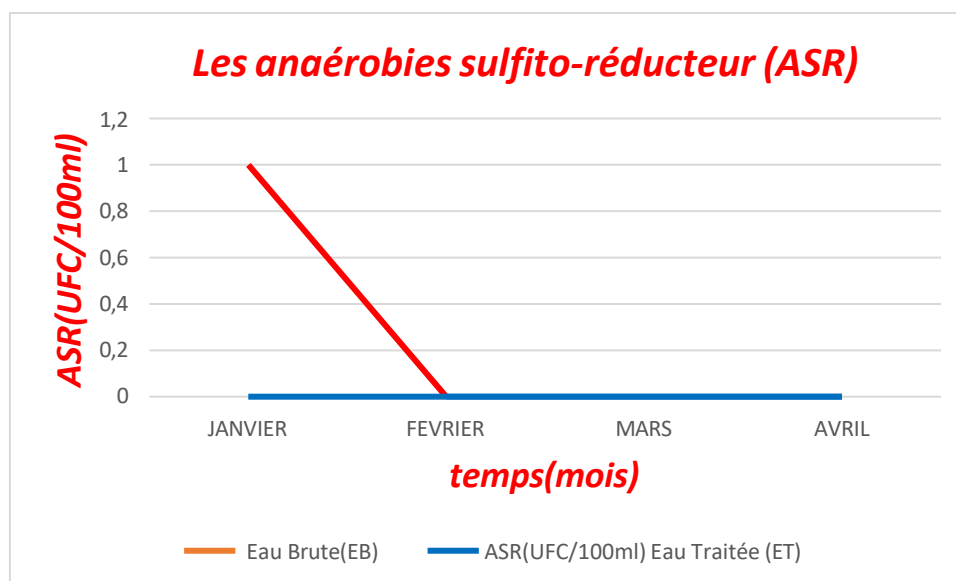


Figure III.15 Evolution des anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Interprétation et Discussion :

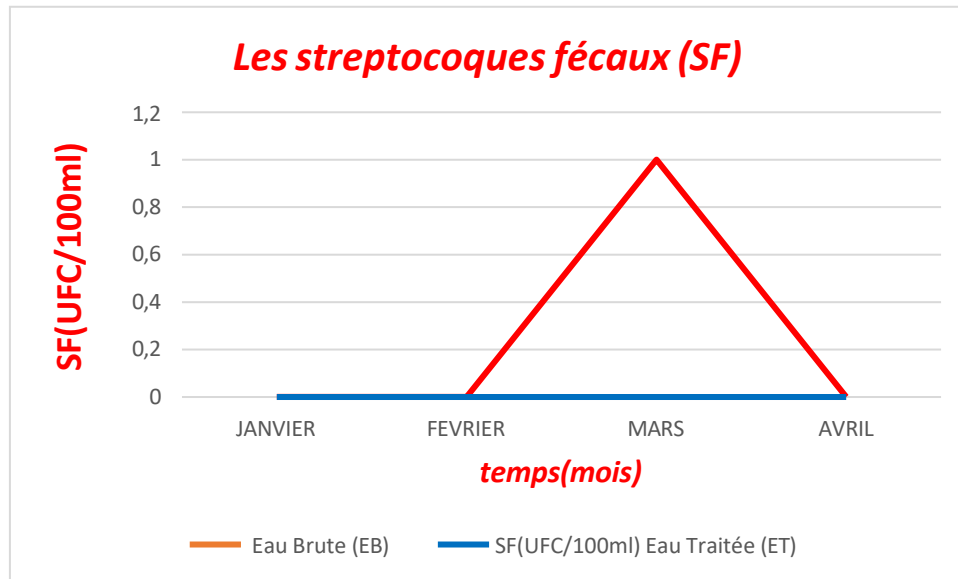
On étudie aussi les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR), car leur présence pourrait signaler des conditions anaérobies propices à la multiplication de bactéries nuisibles.

Les données recueillies indiquent que les sulfito-réducteurs anaérobies se trouvent en faibles concentrations dans l'eau non traitée et sont totalement absents de l'eau traitée.

II.III.4.4 Recherche des streptocoques fécaux

Tableau III.15 Résultats des analyses des streptocoques fécaux
(Janvier 2025 à Avril 2025)

Date de prélèvement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
SF(UFC/100ml) Eau Brute (EB)	0	0	1	0
SF(UFC/100ml) Eau Traitée (ET)	0	0	0	0



**Figure III.16 Evolution des streptocoques fécaux
(Janvier 2025 à Avril 2025)**

Interprétation et Discussion :

La détection des streptocoques fécaux permet d'identifier une contamination d'origine fécale humaine ou animale. En mars, leur présence est signalée dans l'eau brute à 1 UFC/100 ml, tandis qu'aucune trace n'est détectée les autres mois. L'absence constante de ces bactéries dans l'eau traitée confirme l'efficacité du traitement appliqué.

II.III.4.5 Exemple d'Étude du pouvoir désinfectant de la bactérie E. Coli en fonction du pH :

Nous avons retenu *Escherichia coli* comme indicateur bactérien de référence en raison de sa sensibilité aux traitements désinfectants et de sa présence courante dans les eaux contaminées.

**Tableau III.16 Résultats des analyses d'E. Coli
À différents pH**

Échantillon	pH de la solution	Présence d'E. coli avant traitement	Présence d'E. coli après traitement
1	6,5	+	–
2	7,5	+	–
3	8,5	+	–

(+) = présence détectée avant traitement

(–) = absence après traitement

Les résultats expérimentaux ont révélé une absence complète de *E. coli* dans les échantillons traités lorsque le pH de l'eau était compris entre 6,5 et 8,5. Cette plage de pH correspond à la zone d'efficacité optimale du chlore actif, car elle favorise la prédominance de l'acide hypochloreux (HOCl), forme moléculaire non dissociée du chlore, reconnue pour son fort pouvoir désinfectant par rapport à l'ion hypochlorite (OCl⁻), majoritaire à pH plus élevé. Ce résultat important est confirmé par l'étude spectrophotométrique (Figure III.11).

Interprétation des résultats obtenus :

Les analyses effectuées ont mis en évidence une efficacité optimale de l'eau de Javel dans la plage de pH comprise entre 6,5 et 8,5. Aucun *Escherichia coli* n'a été détecté après traitement dans les échantillons dont le pH avait été ajusté respectivement à 6,5, 7,5 et 8,5, traduisant une inactivation complète de la bactérie.

Ce résultat confirme que cette plage de pH correspond à la zone d'activité maximale de l'acide hypochloreux (HOCl), forme dominante du chlore actif dans ces conditions, reconnue pour son fort pouvoir désinfectant. Cette efficacité s'explique par la prédominance de l'acide hypochloreux (HOCl) dans cette plage de pH, comme l'a confirmé le dosage

Chapitre III : résultats & discussions

spectrophotométrique précédemment réalisé, ainsi que le diagramme de répartition des espèces HOCl et OCl⁻ en fonction du pH présenté ci-dessous sur la (Figure III.17) [1].

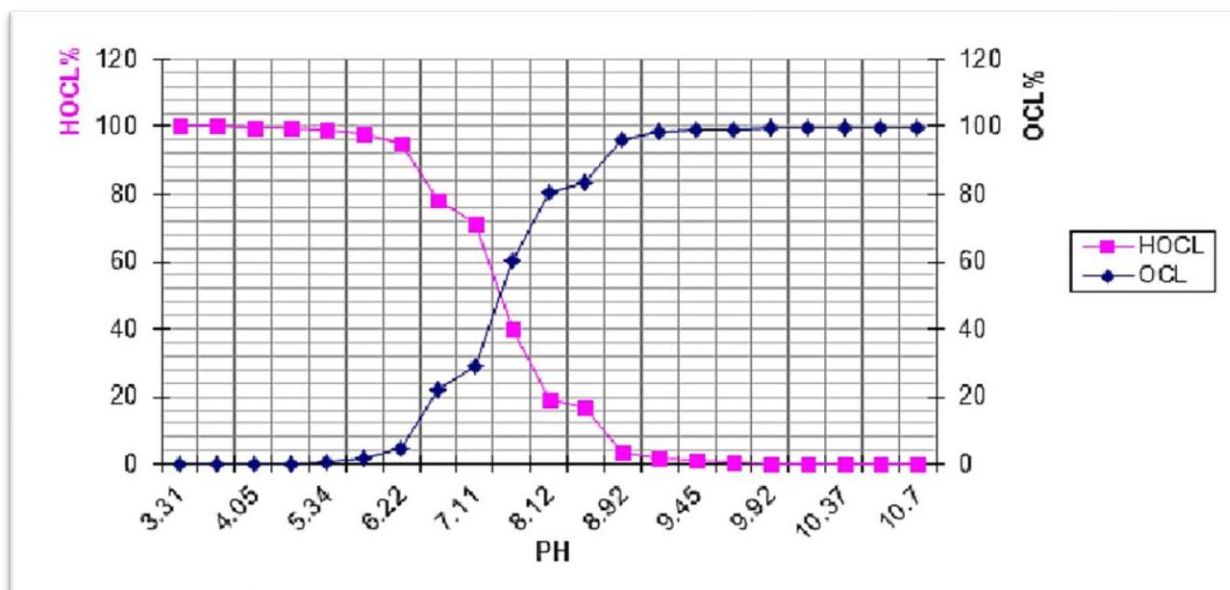


Figure III.17 le diagramme de la répartition des deux espèces (HOCl) et (OCl⁻) en fonction de pH

HOCl (en vert) est la forme la plus efficace pour la désinfection. Elle est dominante entre pH 6,5 et 8,5, ce qui correspond exactement à la zone de test.

OCl⁻ (en bleu) devient majoritaire au-delà de pH 9, ce qui réduit l'efficacité désinfectante.

Le HOCl est la forme la plus active du chlore en termes de pouvoir oxydant et de destruction des micro-organismes. À **pH 6,5**, HOCl, et bien qu'il diminue légèrement à **pH 8,5**, sa concentration reste suffisante pour assurer une désinfection efficace.

Ces résultats confirment donc que l'eau de Javel, lorsqu'elle est utilisée dans un pH compris entre 6,5 et 8,5, constitue un désinfectant très performant pour l'eau potable. Ce domaine correspond d'ailleurs aux valeurs de pH généralement rencontrées dans les réseaux de distribution, ce qui renforce la pertinence de ces résultats dans un contexte d'application réelle.

Références

[1] 2018. Achmit, M., Machkor, M., Nawdali, M., & Loukili, M. *Study of the Influence of the Operating Parameters on the Fractions in HOCl and OCl⁻ During the Disinfection Phase.* *Water Research*, Janvier 2018.

Conclusion Générale



CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la finalisation de notre formation en Master (II) de Chimie Physique. Réalisé au sein de la station de traitement d'eau potable de Hammam Debagh – Guelma, ce travail avait pour objectif principal d'étudier et de comprendre les différentes étapes du traitement de l'eau brute destinée à la consommation humaine, en mettant l'accent sur le rôle du chlore, sous forme d'eau de Javel, dans le processus de désinfection, ainsi que sur l'influence de son pH sur sa stabilité et son efficacité.

À travers une approche méthodologique rigoureuse, alliant observations sur site, prélèvements réguliers, analyses en laboratoire et consultation de la littérature scientifique et réglementaire, nous avons pu dresser un panorama détaillé de la chaîne de traitement de l'eau utilisée dans cette station. L'étude a permis d'analyser chaque étape, depuis la captation de l'eau brute provenant du barrage de Bouhamdene, jusqu'à sa distribution sous forme d'eau traitée, prête à être consommée.

L'une des principales contributions de ce travail réside dans l'analyse approfondie des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la turbidité, la température, la teneur en chlore libre et résiduel, ainsi que d'autres paramètres indicateurs de la qualité de l'eau. Ces analyses ont permis de suivre l'évolution de la qualité de l'eau à travers les différentes étapes du traitement et d'évaluer l'efficacité des opérations appliquées.

Une attention particulière a été accordée à l'analyse bactériologique de l'eau, tant au niveau de l'eau brute qu'au niveau de l'eau traitée. Les résultats obtenus ont révélé une nette amélioration de la qualité microbiologique après l'application des traitements, et notamment après la désinfection par l'eau de Javel. Les dénombrements de coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux ont ainsi permis d'évaluer le degré de potabilité de l'eau distribuée et de valider l'efficacité du traitement désinfectant mis en œuvre.

Par ailleurs, une étude spécifique sur l'eau de Javel utilisée au sein de la station a été menée. Cette étude a porté sur ses caractéristiques physico-chimiques (concentration en chlore actif, stabilité, dégradation), ses conditions de stockage, ainsi que les facteurs influençant son efficacité. L'un des paramètres les plus critiques identifiés est le pH de l'eau de javel, qui influe directement sur la forme chimique du chlore disponible en solution. En effet, il a été démontré que l'efficacité désinfectante du chlore dépend fortement du pH :

CONCLUSION GENERALE

En effet, à pH bas, l'acide hypochloreux (HOCl), plus actif, est prédominant ; à pH élevé, c'est l'ion hypochlorite (OCl^-), moins efficace, qui domine. Cette observation souligne l'importance d'un suivi régulier du pH, tant de l'eau à traiter que de la solution d'eau de Javel elle-même, afin de garantir un pouvoir désinfectant optimal.

Bien que l'eau de Javel soit un désinfectant très utilisé et efficace, sa manipulation, son dosage et ses conditions de stockage doivent faire l'objet d'un suivi attentif pour en garantir les performances.

A des températures données, les conditions de stockage liées au pH de l'eau de Javel dans la station ont également été analysées.

Plusieurs méthodes analytiques ont été utilisées à cet effet, chacune présentant des avantages, mais aussi certaines limitations.

Les résultats obtenus à partir des trois méthodes de dosage utilisées sont les suivants :

- $C_{\text{ClO}^-} = 0.49 \text{ M}$ Par iodométrie
- $C_{\text{ClO}^-} = 0,51 \text{ M}$ par spectrophotométrie
- $C_{\text{ClO}^-} = 0.50 \text{ M}$ par pH métrie

Ces résultats révèlent des faibles écarts entre les méthodes, ce qui peut s'expliquer par plusieurs facteurs : des erreurs expérimentales potentielles, des différences dans la précision et la sensibilité des techniques utilisées, ou encore la présence de réactions secondaires pouvant interférer avec les mesures.

On observe que les concentrations obtenues par ces 3 méthodes se convergent, ce qui suggère une certaine cohérence entre ces méthodes.

Au terme de ce travail, plusieurs recommandations ont été formulées pour optimiser les performances du traitement et la sécurité de l'eau potable produite, notamment :

Les résultats obtenus à partir des méthodes iodométrique, pH-métrie et spectrophotométrique ont permis d'évaluer de manière cohérente la concentration en ion hypochlorite dans l'eau de Javel. L'étude des deux plages de pH a montré que le pH élevé (≥ 11) est favorable à la stabilité de l'eau de Javel lors du stockage, limitant la

CONCLUSION GENERALE

dégradation du chlore actif. En revanche, un pH plus faible (6,5–8,5) optimise l'efficacité désinfectante en favorisant la forme active de l'acide hypochloreux (HOCl).

Ainsi, cette étude met en évidence la nécessité d'adapter le pH en fonction de l'objectif recherché : un pH élevé pour la conservation et un pH modéré pour une désinfection optimale.

Ce travail nous a permis de développer des compétences pratiques et théoriques solides dans le domaine du traitement de l'eau, et de contribuer, à notre échelle, à l'amélioration de la qualité de l'eau distribuée à la population.

Annexe



ANNEXE

**Tableau I : Normes comparées des paramètres physico-chimiques de l'eau potable
(OMS vs Algérie)**

Paramètre	Unité	Limite OMS	Norme algérienne
PH	-	6,5 – 9,2	6,5 – 9
Couleur	(Pt/CO)	-	60
Turbidité	NTU	5	5
CE	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-	2800
Dureté totale (TH)	°F	200	500
Nitrates (NO_3^-)	mg/L	50	50
Nitrites (NO_2^-)	mg/L	0,2	0,2
Ammonium (NH_4^+)	mg/L	0,5	0,5
Fer total (Fe)	mg/L	0,3	-
Chlorures (Cl^-)	mg/L	500	250
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/L	500	400
Aluminium (Al)	mg/L	0,2	0,2
Chlore libre résiduel	mg/L	0,2 – 0,5	0,2 – 0,5

ANNEXE

Tableau II : Normes bactériologiques de l'eau potable (OMS & Algérie)

Paramètre bactériologique	Unité	Norme OMS	Norme algérienne
GT	(UFC/ml)	10	10
CT	(UFC/100ml)	00	00
CF	(UFC/100ml)	00	00
SF	(UFC/100ml)	00	00
ASR	(UFC/20ml)	00	00