

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El-Ibrahimi –Bordj

Bou Aréridj

Faculté des sciences de la nature et de la vie et
sciences de la terre et de l'univers

Department Sciences biologiques

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعريريج »

كلية علوم الطبيعة والحياة و علوم الأرض و الكون

قسم علوم البيولوجية



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARERIDJ

Mémoire de fin d'études

EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Master 2

Filière : biologie

Option: Analyse et contrôle de qualité des denrées
alimentaires

Thème

**Contrôle de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux
de la région de Bordj Bou Aréridj.**

Présenté par:

ALLOUNE MERIEM

GOUADER YASMINA

Encadré par :

D^r: A. BENOUDAH

Jury de soutenance:

Président : D^r. BEN THABET ABDELOUAHAB

M.C.A Univ de BBA.

Encadreur : D^r. BENOUDAH ALI

M.C.A Univ de BBA.

Examineur : Mr. MERIBAI ABDELMALEK

M.A.A Univ de BBA.

Juin 2013

Résumé

L'eau est exposée dans la nature à des pollutions, les phénomènes de contamination de l'eau peuvent être observés sous différents aspects. Les eaux des barrages, sont plus exposées aux pollutions physiques, chimiques et microbiologiques. Pour mieux évaluer ces dernières, il existe des paramètres ; permettant d'estimer leur ampleur.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de barrage Ain Zada, par une comparaison des échantillons d'eau de barrage avec des échantillons de l'eau de robinet et de mettre l'accent sur les dangers des résidus chlorés.

Le contrôle microbiologique et physico-chimique des échantillons du barrage avant traitement a révélé une pollution bactérienne, il s'agit d'une contamination par des bactéries indicatrices de pollution fécale et des spores bactériennes, par contre les échantillons de l'eau de robinet après traitement sont de bonne qualité et sont exemptes de toute pollution et tous les paramètres physico-chimiques étudiés sont dans les normes, donc le fonctionnement de la station semble rigoureux et efficace.

Mots clés : Eau de barrage, eau de robinet, résidus chlorés, pollution, traitement.

ملخص

يتعرض الماء في الطبيعة إلى التلوث، ويمكن ملاحظة ظاهرة تلوث المياه في عدة أوجه، مياه السدود أكثر عرضة للتلوث الفيزيائي والكيميائي و الميكروبي. لأفضل تقييم لهذا الأخير يوجد معايير لتقدير مدى خطورتها.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم فعالية محطة معالجة المياه في سد عين زادة، من خلال مقارنة عينات من المياه قبل المعالجة مأخوذة من السد مع ماء عينات من الماء المعالج، مع الإشارة إلى مخاطر الكلور ومشتقاته.

التحليل الميكروبيولوجي والفيزيوكيميائي، يكشف عن التلوث الجرثومي لمياه السد، و يؤكد سلامة المياه الصالحة للشرب من التلوث وبالتالي فإن للمحطة فعالية في معالجة المياه.

الكلمات المفتاحية : مياه السد، مياه الصالحة للشرب، مشتقات الكلور، تلوث، معالجة.

Abstract

The water is exposed in nature to pollution, the phenomena of water contamination can be observed in different aspects. Water dams are more vulnerable to physical, chemical and microbiological pollution. To better assess the latter, existed parameters, to estimate their magnitude.

The objective of this study is to evaluate the effectiveness of the treatment station at the dam of Ain Zada, by comparing the samples water before treatment taken from the dam of Ain Zada with the samples water tap, and put an emphasis on the dangers of chlorine products.

Microbiological, physical and chemical control of samples dam, reveals a bacterial pollution of these waters, it is the indicator bacteria of fecal pollution and bacterial spores by samples against the water tap are good and are exempt from pollution and all physical-chemical parameters studied are the standards, so the operation of the station seems rigorous and efficacy.

Keywords: Water reservoir, tap water, in chlorinated products, pollution, treatment.

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*Ma profonde gratitude et sincère reconnaissance envers **Mr Benouadah Ali** pour son soutien et la disponibilité, dont il a fait preuve par sa personne et ses moyens, dans la bonne humeur - Encore Merci-.*

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

Nous remercions chaleureusement nos parents pour leur soutien et leur encouragement.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je dédie cette thèse à ...

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner.

A mon très cher père

Celle qui m'envahi de ses faveurs et était pour moi le conduite exemplaire et idéale quant à mon itinéraire scolaire et universitaire

A ma très chère sœur KARIMA

A mes très chers frères : Aissa, Zakaria et Oussama

A mon très cher frère Marouane et son épouse Sara et leurs enfants

ZIAD et IMAD

A mes grandes mères maternelles et mes grands pères

A mes chères cousins et cousines

A mes chères amies

A mes chers collègues

YASMINA

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A mes parents pour tous les sacrifices consentis, pour ces encouragements et son soutien moral. Merci pour être sacrifiées pour que ces enfances grandissent et prospèrent.

A mes frères et sœurs pour leur disponibilités, leur soutien moral, leur encouragement.

A mes belles sœurs et beaux frères.

A mes chères cousins et cousines.

A mes neveux: Abdallah, Moncef, Amr Mohamed.

A mes nièces: randa, dina, chahd, chadha, mirale, raghad, maya, amani.

A tout mes collègues et amies.

MERJEM.

Sommaire

Introduction générale

Partie théorique

Chapitre I : Propriétés et pollution de l'eau

I-1- Ressources en eau	3
I-1-1- Les eaux souterraines.....	3
I-1-2- Les eaux de surface.....	3
I-1-3- Les eaux de mers et océans.....	4
I- 2- Propriétés de l'eau.....	5
I-2-1- Propriétés physiques.....	5
I-2-2- Propriétés chimiques.....	5
I-2-3- Eléments majeurs : origine et teneur	6
I-2-3-1- Magnésium (Mg^{2+})	6
I-2-3-2- Sodium et potassium (Na^+ , K^+).....	6
I-2-3-3- Les sulfates (SO_4^{2-}).....	6
I-2-3- Propriétés biologiques de l'eau.....	7
I-3- Les principaux polluants des eaux naturelles	7
I-3-1- Les polluants physiques.....	7
I-3-2- Les polluants chimiques.....	7
I-3-2-1- Les éléments chimiques minéraux	8
I-3-2-2- Les éléments chimiques organiques.....	8
I-3-3- Les polluants microbiologiques.....	8
I-4- Eau pour consommation humaine (Eau potable).....	8
I-5- La désinfection.....	9
I-5-1- Méthodes de désinfection.....	9
I-6- Paramètres de qualité des eaux.....	9
I-6-1- Paramètres physico-chimiques.....	9
➤ La température.....	9
➤ Le pH.....	9
➤ La conductivité électrique.....	10
➤ La turbidité.....	10

➤ Les nitrates	10
➤ Alcalinité	10
➤ Les chlorures.....	11
➤ Les sulfates	11
➤ Les résidus secs	11
➤ Dureté de l'eau (ou titre hydrotimétrique).....	11
➤ Chlore.....	11
➤ Le fer.....	12
I-6-2 L'examen microbiologiques	12
I-6-2-1- Généralités	12
I-6-2-2 -Dénombrement des microorganismes revivifiables	13
-Définition et nature des microorganismes revivifiables.....	13
- Intérêt du dénombrement des microorganismes revivifiables.....	13
I-6-2-3- Recherche des coliformes totaux et des coliformes thermo-tolérants.....	14
- Définition et nature des coliformes.....	14
- Intérêt de la recherche et dénombrement des coliformes.....	14
I-6-2-4- Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux ou entérocoques.....	14
- Définition et nature des microorganismes recherchés.....	14
-Intérêt du dénombrement des streptocoques fécaux ou entérocoques	15
I-6-2-5- La recherche de Clostridium sulfito-réducteurs.....	15
-Définition et nature des microorganismes.....	15
CHAPITRE II : Le chlore et les sous produits chlorés	
II- 1- Présence et propriétés physiques du chlore	16
II-2- Composition chimique en milieu aqueux.....	16
II-3- Utilisations du chlore.....	17
II-4- Utilisation du chlore dans le traitement de l'eau.....	18
II-4-1- Définition de la chloration.....	18
- Désinfection primaire.....	18
- Désinfection secondaire.....	18
- Mécanisme d'action.....	19
- Pharmacocinétique.....	19

II-4-2- Principaux avantages et inconvénients de chloration.....	20
- Avantages.....	20
- Inconvénients.....	20
II- 5- Les sous produits de chloration (SPC).....	20
II-5-1- Mécanisme de formation des SPC.....	21
II-5-2- Exposition de la population aux trihalométhanes.....	21
II-5-3- Voies d'absorption.....	21
II-5-4- Pharmacocinétique et métabolisme.....	22
II-5-5- Données toxicologiques et épidémiologiques.....	22

Partie expérimentale

CHAPITRE III : Matériels et méthodes

III-1- Présentation de la zone d'étude.....	24
III-2- Echantillonnage.....	24
III-2-1- Techniques de prélèvement	24
III-2-2- Transport et conservation au laboratoire.....	25
III-3 Matériels.....	26
III-3-1- Matériels lourds.....	26
III-3-2- Ustensiles	26
III-3-3- Verreries	26
III-3-4- Milieux de culture.....	26
III-3-5- Réactifs.....	26
III-3-6- Indicateurs colorés.....	27
III-4- Méthodes	27
III-4-1- Les analyses physico-chimiques des eaux.....	27
III-4-2- Les analyses bactériologiques des eaux.....	34
III-4-3- L'analyse statistique.....	36

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV-1- Résultats.....	37
IV-1-1- Résultats des analyses physico-chimiques.....	37
IV-1-2- Résultats des analyses bactériologiques.....	39
IV-2- Discussion.....	41
IV-2-1- Paramètres physico-chimiques.....	41
IV-2-2- Paramètres bactériologiques.....	49

Conclusion.....53

Références bibliographiques.

Annexes.

Liste des figures

Chapitre III

Figure III.1: carte illustrant la zone d'étude et les points de prélèvements à partir du barrage	24
Figure III.2 : pH- mètre.....	27
Figure III.3 : conductimètre	28
Figure III.4 : turbidimètre.....	29
Figure III.5 : spectrophotomètre UV- Visible.....	31
Figure III.6: spectrodirect.....	33

Chapitre VI

Figure VI.7 : le pH des échantillons d'eau étudiée.....	41
Figure VI.8 : la turbidité des échantillons d'eau étudiée.....	42
Figure VI.9 : la conductivité électrique des échantillons d'eau étudiée.....	43
Figure VI.10: le taux de chlorures dans les échantillons d'eau étudiée.....	44
Figure VI.11 : la teneur en nitrites des échantillons d'eau étudiée.....	45
Figure VI.12: la teneur en nitrates des échantillons d'eau étudiée.....	46
Figure VI.13 : la dureté totale des échantillons d'eau étudiée.....	47
Figure VI.15: le titre alcalimétrique complet des échantillons d'eau étudiée.....	48
Figure VI.16: boîte GN positive.....	49
Figure VI.17: tube BLBCP positif.....	50
Figure VI.18: les spores de Clostridium sulfito-réducteurs.....	52

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.I : principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines.....4

Tableau I.II : critères microbiologiques de l'eau potable.....12

Chapitre IV

Tableau IV.III : les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de barrage.....37

Tableau IV.IV: les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de robinet.....38

Tableau VI.V: résultats de la recherche de la flore aérobie mésophile.....39

Tableau IV.VI : résultats de la recherche des coliformes totaux.....39

Tableau IV.VII: résultats d'incubation des coliformes fécaux.....40

Tableau IV.VIII : résultats de la recherche des clostridium sulfito-réducteurs.....41

Tableau IV.IX : classification des eaux potables selon l'extrait sec.....43

Tableau IV.X : normes pour la dureté des eaux de boisson.....47

Liste des abréviations

% : pour cent.

(-) : négatif.

(+) : positif.

BLBCP : Bouillon Lactosé au Bromo Crésol Pourpre.

°C : degré Celsius.

ASR : anaérobie sulfite réducteur.

Ca⁺² : ions calcium.

CaCO₃ : carbonate de calcium.

Cl : chlore.

Cl₂ : dichlore.

CO₂ : dioxyde de carbone.

CO₃⁻² : carbonate.

d : densité.

DJA : dose journalière admissible.

E. coli : *Escherichia coli*.

Ech : Echantillon

EDTA : acide éthylène-diamine-tétracétique.

erg/cm : unité de mesure d'énergie.

EVA : éthyl violet azide de sodium.

Fe : fer.

g/cm³ : gramme par centimètre cube.

g/l : gramme par litre.

GN : gélose nutritive.

h : heure.

H : hydrogène.

HAA : acides haloacétiques.

HCO₃⁻ : ions hydrogénocarbonate.

HOCl : acide hypochloreux.

K⁺ : ions potassium.

kJ/mol : kilo joule par mol.

Km³ : kilo mètre cube.

méq/l : milli équivalent par litre.

MES : matière en suspension.

mg/l : milligramme par litre.

Mg²⁺ : ion magnésium.

MgSO₄ : sel de magnésium.

ml : millilitre.

mn : minute.

N : normal.

Na⁺ : ion sodium.

NET : Noire d'Eriochrome T.

NO₂⁻ : ion nitrites.

NO₃⁻ : ion nitrates.

NPP : nombre le plus probable.

NTU : nephelometric turbidity unit.

OCl⁻ : hypochlorite.

OH⁻ : hydroxyde.

OMS : organisation mondiale de santé.

pH : potentiel hydrogène.

RS : résidus secs.

S/C : simple concentration.

sec : seconde.

SM : solution mère.

SO₄²⁻ : ions sulfate.

SPC : sous produit de chloration.

TA : titre alcalimétrique.

TAC : titre alcalimétrique complet.

TH : titre hydrotimétrique.

THM : trihalométhanes.

UV : ultra violet.

VF : viande foie.

µg/l : microgramme par litre.

µS/cm : micro siemens par centimètre.

***Introduction
générale***

Introduction générale

L'eau est l'élément essentiel sur notre planète, car elle entretient la vie sur terre. Pour l'homme, l'eau destinée à la consommation constitue un élément fondamental pour les processus industriels comme l'agroalimentaire [1].

L'approvisionnement en eau pour la population peut se faire à partir de deux sources aux caractéristiques bien différentes :

Les eaux souterraines (les puits, les sources) difficiles d'exploiter car elles ne sont pas accessibles. Elles ont leur origine dans les eaux superficielles qui filtrent à travers les différentes couches de la terre et passent à la nappe aquifère, ce système de filtration naturelle permet que l'eau soit purifiée.

Les eaux superficielles (lacs, rivière, barrage), se trouvent exposées à l'environnement et pour ceci elles sont susceptibles de pollution, donc malgré l'importance de l'eau, elle peut être source de maladies dites hydriques causées par les bactéries, les virus ou les parasites, c'est pourquoi un des objectifs majeurs de traitement de l'eau est de pouvoir fournir aux consommateurs une eau saine du point de vue microbiologique.

L'eau de robinet, l'un des produits destinée à la consommation humaine les mieux surveillés, doit répondre à des critères de qualité très strictes et aux normes en vigueur. Les paramètres de qualité retenus par la réglementation actuelle reposent sur des données bactériologiques (l'eau ne doit comporter aucun germe susceptible de nuire à la santé), chimique, physique et gustative (l'eau doit être limpide, sans gout ni odeur désagréable). Le besoin en eau de qualité alimentaire concerne non seulement les populations, mais aussi les éleveurs ainsi que de nombreuses entreprises, comme celles du secteur agroalimentaire, qui utilisent souvent l'eau en contact des aliments produits et élaborés. Dans le cadre de leur démarche de qualité et de la sécurité sanitaire qu'elles doivent mettre en œuvre, il faut garantir l'utilisation d'eau de qualité alimentaire conforme à la réglementation.

L'eau prélevée dans le milieu naturel n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine car des éléments liés à l'activité de l'homme peuvent être entraînés (nitrate, matière organique, pesticide, matière en suspension, micro-organismes) [1].

L'objectif général de ce travail est de vérifier l'efficacité de traitement de l'eau par chloration, par comparaison des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau avant traitement (l'eau de barrage) et après traitement (l'eau destinée à la consommation

humaine ou l'eau de robinet) et de mettre un accent sur des dangers de sous produits chlorés par une recherche bibliographique.

La première partie de ce travail est relative à l'étude bibliographique. Nous avons jugé utile de rappeler dans le premier chapitre les propriétés et pollution des eaux, les méthodes de désinfection, ainsi que quelques paramètres physico-chimiques (nitrate, nitrite, chlorures, dureté...etc.) et microbiologiques (coliformes totaux et fécaux, streptocoques...etc.).

Le deuxième chapitre traite la présence et propriétés du chlore, son comportement en milieu aqueux, ses utilisations notamment en traitement des eaux, la formation de sous produits de chloration en particulier trihalométhane (THM), l'exposition de population aux THM, et enfin les données toxicologiques et épidémiologiques liés aux sous produits chlorés.

La seconde partie de l'étude est la partie expérimentale, elle est présentée en deux chapitres (3 et 4), nous décrivons dans le troisième chapitre les différents protocoles expérimentaux mis en œuvre au cours de cette étude, l'appareillage et les méthodes d'échantillonnage. Le chapitre (4) est consacré aux résultats analytiques de quelques caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques d'eau de barrage d'Ain Zada et d'eau de robinet de différents points de la ville de Bordj Bou Arréridj

Chapitre I :
Propriétés et
pollution de
l'eau

I-1 Ressources en eau

La plus grande partie de l'eau sur terre est constituée des océans et des mers. La quantité d'eau douce n'atteint pas 3% dont les 2/3 se trouvent sous forme de glace dans les calottes polaires et les glaciers. L'eau douce contenue dans le sous-sol, les lacs, les rivières, les courants, les étangs et les marais représente moins de 1% de tout le stock mondial d'eau [2].

I-1-1 Les eaux souterraines

L'eau souterraine provient essentiellement de l'infiltration de l'eau de pluie, qui atteint les nappes aquifères en traversant les couches souterraines [2]. La porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. Une nappe peut être libre, elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue. Elle peut être captive, elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable elle est généralement plus profonde. Un cas particulier est présenté par les nappes alluviales, ce sont les nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière. La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau souterraine [3]. Ces eaux présentent une faible turbidité, une température et une composition chimique constante.

I-1-2 Les eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages...etc.). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [4].

Le tableau (I.I) représente les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau I.I : principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines [4].

Caractéristiques	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Variable suivant saisons	Relativement constant
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...etc.	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même region
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferrobactéries fréquentes

I-1-3 Les eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « Eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement [5].

I- 2 Propriétés de l'eau

Indispensable à la vie, catalyseur de nombreuses réactions chimiques, l'eau est également le principal agent d'érosion et sédimentation et donc un facteur déterminant de la formation des paysages. Sur la terre, l'eau existe dans les trois états : liquide (eau proprement dite), solide (glace) et gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau- glace, eau- vapeur, glace- vapeur selon les conditions de température et de pression [6].

I-2-1 Propriétés physiques

Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possibles entre les molécules d'eau ; il donnera lieu à bien des anomalies physiques que nous signalons brièvement, telles que :

- **La Température d'ébullition:** anormalement élevée, si on la compare avec celle des composés de masse moléculaire du même ordre et possédant plusieurs atomes d'hydrogène. Dans les conditions normales elle est de 100°C.
- **La masse volumique :** elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1g/cm³.
- **La viscosité :** elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures [5].
- **La tension superficielle :** elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. Elle est extrêmement élevée ; égale à 73erg/cm à 18°C [6].

I-2-2 Propriétés chimiques

L'énergie de formation de la molécule d'eau est élevée (242 kJ/mol). Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques. La solvation (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre, pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau, et forger ainsi des nouvelles structures [5-6].

I-2-2-1 Eléments majeurs : origine et teneur

➤ Magnésium (Mg^{2+})

D'un point de vue chimique, le magnésium s'apparente au calcium ; il est donc souvent présent dans les roches carbonatées, les roches évaporitiques (sels de magnésium $MgSO_4$), et les roches magmatiques.

Les minéraux magnésiens sont moins solubles que les minéraux contenant du calcium. Dans les roches carbonatée magnésiennes (exemple : dolomie), les concentrations en Mg^{2+} sont de l'ordre de quelque dizaines de mg/l. Les aquifères évaporitiques riches en minéraux magnésien peuvent contenir de forte teneur en magnésium, de quelques centaines de mg/l à quelque g/l. dans les roches magmatiques les concentrations sont généralement plus faibles, de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l [7].

➤ Sodium et potassium (Na^+ , K^+)

Le sodium et le potassium les 6^{ème} et 7^{ème} éléments les plus abondants à l'état naturel sont en proportions très variables. Aucune norme ne limite la concentration en sodium (ou en potassium) dans les eaux potables. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols.

Le potassium, beaucoup moins abondant que le sodium, et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieurs à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier bien que le potassium soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau [8-9].

➤ Les sulfates (SO_4^{2-})

Dans les nappes libres, la présence de sulfate est généralement liée à l'oxydation de pyrite [FeS_2] : minérale riche en soufre que l'on rencontre dans tous les types de lithologie (Calcaire, sable, roches magmatiques). Dans ce contexte, les concentrations en sulfate sont de l'ordre de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l.

Dans les nappes captives, le soufre est également présent mais sous sa forme réduite [H_2S]. Les sulfates peuvent également provenir du lessivage de formations évaporitiques, exp : gypse [$CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$]. Dans ce cas les teneurs en sulfates sont très fortes (quelques centaines de mg/l à quelques g/l) [7].

I-2-3 Propriétés biologiques de l'eau

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants [10]. Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants.

I-3 Les principaux polluants des eaux naturelles

La pollution d'eau peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés. Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

I-3-1 Les polluants physiques

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension :

Les éléments grossiers : leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simples grilles. Dans les eaux de surface, ces éléments sont généralement les brindilles, les feuilles, les arbres...etc.

Les sables : les sables sont des particules minérales d'une certaine dimension. Ils sont généralement à base de silice ou de composition minérale équivalente. Leur masse spécifique est de 2,5 à 2.6 g/cm³, ce qui permet leur élimination par simple décantation [11].

Les matières en suspension (MES) : les matières en suspension rencontrées dans les eaux (essentiellement superficielles) sont très diverses tant par leur nature que leur dimension. Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes, et de produits de dégradation animaux ou végétaux [12].

I-3-2 Les polluants chimiques

La pollution chimique d'une eau est autrement plus complexe et peut provenir de plusieurs sources. On distingue selon la nature de la pollution chimique :

Les éléments chimiques minéraux.

Les éléments chimiques organiques.

I-3-2-1 Les éléments chimiques minéraux

L'eau étant un très bon solvant permettra la mise en solution de nombreux composés avec lesquels elle sera en contact. La dissolution des sels, la corrosion des métaux et dissolution des acides et des bases sont des phénomènes qui donnent lieu à des eaux de rejets caractérisées par certaines formes de pollution dont les plus représentatives sont :

- L'élévation de la température; une eau plus chaude constitue une pollution.
- Des eaux dont le pH présente de grands écarts par rapport à la neutralité sont polluées [13].
- La présence des métaux lourds dans les eaux sous formes dissoute et en suspension ainsi que sous une forme difficilement soluble dans les sédiments [4], Ils ont un effet cumulatif. Leur fixation sélective sur des organes et tissus sensibles peut être dangereuse aux concentrations élevées [10].
- La formation des sels parfois en grandes quantités, tels que des chlorures, des nitrates, des sulfates et des phosphates, ont une grande importance vis-à-vis l'environnement [4].

I-3-2-2 Les éléments chimiques organiques

La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne. Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous produits de désinfection, odeurs, saveurs...etc.

I-3-3 Les polluants microbiologiques

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

I-4 Eau pour consommation humaine (Eau potable)

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles, a plus ou moins long terme, de nuire à la santé des individus. Par conséquent, en fonction des caractéristiques de l'eau brute destinée à la production d'eau potable, la mise en place de traitements spécifiques s'avère le plus souvent nécessaire afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de santé publique.

I- 5 La désinfection

Les eaux de surface ne sont pratiquement jamais potables sans aucun traitement du fait de diverses substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution. Pour améliorer leur qualité (potabilité), elles nécessitent des traitements appropriés c'est-à-dire leur faire subir des modifications physico-chimiques ou biologiques [6]. Le but de la désinfection est d'éliminer tous micro-organismes pathogènes présents dans l'eau et maintenir le chlore résiduel dans les conduites afin d'empêcher le développement de maladies hydriques.

I-5-1 Méthodes de désinfection

Divers agents désinfectants peuvent être utilisés tels que, l'ozone, les rayons ultraviolets. Mais le chlore est l'agent le plus utilisé comme désinfectant final, avant refoulement de l'eau dans le réseau ; il permet d'achever la désinfection de l'eau et de protéger le réseau contre les développements bactériens vu son effet rémanent (l'effet persistant du chlore) [7].

I-6 Paramètres de qualité des eaux

I-6-1 Paramètres physico-chimiques

La température : la température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C. Dans les eaux naturelles et au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables, une modification de la couleur, ainsi qu'une augmentation de la turbidité. La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres [14-15-16]. Généralement on utilise un thermomètre pour mesurer la température.

Le pH : le pH correspond pour une solution diluée, à la concentration d'ions d'hydrogène. Il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans :

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;
- Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites des pH ;

- L'efficacité de certains traitements (coagulation, contrôle de la corrosion, chloration).
Pour mesurer le pH, on utilise un pH mètre [14-15].

La conductivité électrique : la conductivité, caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température. La conductivité électrique s'exprime en micro siemens/cm. La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée [14-17].

La turbidité : la turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale [17-18]. Pour mesurer la turbidité on utilise souvent le turbidimètre [8-14]. Cette turbidité doit être éliminée pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de consommation mais aussi pour permettre une désinfection efficace et éviter les dépôts dans l'usine ou dans le réseau. En effet, les MES peuvent servir de support aux microorganismes qui seront ainsi partiellement protégés de l'action des désinfectants et qui pourront ensuite se développer dans les réseaux et entraîner des problèmes sanitaires [17].

Les nitrates (NO_3^-) : les nitrates sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons. La consommation d'eau chargée en nitrates ou nitrites par la femme enceinte ou le nourrisson peut constituer un risque pour le nouveau-né [19].

L'alcalinité : l'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH :

- **alcalinité au virage du rouge de méthyle** : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- . Cette alcalinité se nommée également titre alcalimétrique complet TAC.

- **alcalinité au point de virage de la phénophtaléine** (alcalinité composite) : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8.3. L'alcalinité composite se nommée également titre alcalimétrique (TA) [14-15-20].

Les chlorures : en plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent aux eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture [11].

Les sulfates : les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates, en proportion très variables. Leur présence résulte de la solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites par exemple). Les eaux traitées au sulfate d'aluminium ajouté lors du traitement en mesurant la teneur en sulfates avant et après la coagulation, bien qu'une légère fraction d'ions SO_4^{2-} soit entraînée par adsorption avec le floc [16].

Les résidus secs : la détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement avant la mesure, le résidu correspond alors à la matière dissoute [21].

Dureté totale de l'eau (ou titre hydrotimétrique) : la dureté totale d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre [22].

Chlore : le chlore total est l'ensemble des espèces chimiques renfermant du chlore à l'état oxydé. Correspond habituellement à la somme du chlore libre et du chlore combiné présents dans l'eau.

Chlore libre : quantité de chlore présent dans l'eau sous forme de gaz dissous (Cl_2), d'acide hypochloreux (HOCl) et/ou d'ion hypochlorite (OCl^-) qui n'est pas lié à l'ammoniac ni à d'autres composés.

Le risque de trouver du chlore libre dans les eaux de surface est très limité dans la mesure où cette molécule est très réactive. Le chlore libre peut se combiner à des substances organiques pour former des formes halogénées (chloroforme par exemple) [22].

Le fer : le fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine tellurique, mais le plus souvent, il provient de lessivage des terrains et de pollution minière ou métallurgique. Le fer se trouve sous forme ferrique et précipite sous forme d'hydroxyde ferrique, il sera donc associé au MES. Leur élimination dans l'eau potable est basée sur l'oxydation chimique ou biologique. L'oxydation chimique aérée permet de faire précipiter le fer sous forme d'hydroxyde ferrique et le retenir ensuite par filtration ou décantation si n'est pas complexé, s'il est complexé il faut utiliser un oxydant plus puissant comme le chlore, le dioxyde de chlore ou l'ozone, avec l'augmentation de pH favorise cette oxydation.

I-6-2 L'examen microbiologique

I-6-2-1 Généralités

L'eau potable ne doit contenir aucun microorganisme pathogène et doit être exempte de toutes bactéries indiquant une pollution par excréments. Le principal indicateur bactérien recommandé pour suivre la pollution humaine est constitué par l'ensemble des microorganismes du groupe coliformes. Une eau qui est porteuse d'une seule *Escherichia Coli* par 100 ml devient potentiellement dangereuse. Ce point est important, car le critère de potabilité de l'eau se fixe à partir de la présence ou de l'absence de ces germes témoins [23]. Une eau de bonne qualité est donc une eau satisfaisante certains critères de teneur bactérienne mesurée en termes de bactéries coliformes.

Tableau I.II : critères microbiologiques de l'eau potable.

Germes	Coliformes Totaux (37°C)	Coliformes Thermo-tolérants (44°C)	Germes totaux (22°C) (37°C)	Streptocoques Fécaux (37°C)	Anaérobies sulfite-réducteurs (37°C)
Normes	0/100mL	0/100ml	100/ml	0/100mL	1/20ml

Le but essentiel des analyses microbiologiques d'une eau est en premier lieu de confirmer la présence des bactéries, puis définir les circonstances dans les quelle cette eau a été contaminée et enfin de déterminer l'efficacité du programme de désinfection de l'eau de boisson. Quelque soit l'importance du laboratoire d'analyse, chargé de la surveillance des eaux il doit nécessairement pouvoir réaliser des épreuves bactériologiques en particulier le test de colimétrie sur les eaux qui lui sont adressées pour un contrôle bactériologique [24].

I-6-2-2 Dénombrement des microorganismes revivifiables

- **Définition et nature des microorganismes revivifiables**

Les microorganismes revivifiables : toutes bactéries aérobies, levure ou moisissure, capable de former des colonies dans le milieu spécifié et dans les conditions d'essai décrites dans la norme [25].

Soit dans les milieux naturels de très bonne qualité microbiologiques pour contrôler une possible contamination bactérienne. Ce sont essentiellement des eaux souterraines des nappes profondes qui seront ainsi contrôlées.

Le dénombrement des germes revivifiables, nommées également mésophiles aérobies en fonction de leurs conditions de développement, et utilisés comme indicateur de pollution :

Soit dans les réseaux : une augmentation de la concentration bactérienne après la station de traitement peut être le signe d'une multiplication bactérienne dans le réseau ou d'une intrusion de bactérie à l'intérieur de celui-ci [25].

Parmi les bactéries cultivant dans les conditions de la norme, on peut distinguer deux catégories différentes sur le plan de l'hygiène :

- Les microorganismes se développant à 20°C : qui sont des saprophytes présents naturellement dans l'eau.
- Les microorganismes se développant à 37°C : qui proviennent de l'homme ou d'animaux à sang chaud. Même s'il ne s'agit pas forcément de germes pathogènes, ils peuvent montrer une contamination de l'eau analysée par des produits d'animaux, en particulier les matières fécales [25].

- **Intérêt du dénombrement des microorganismes revivifiables**

Le principal intérêt du dénombrement de ces microorganismes, réside dans la possibilité de détecter les variations par rapport au nombre attendus grâce à une surveillance fréquente et à long terme. Toute augmentation soudaine du nombre de microorganismes revivifiables peut prévenir d'une pollution sérieuse est appeler à des investigations immédiates [25].

I-6-2-3 Recherche des coliformes totaux et des coliformes thermo-tolérants

Afin de s'assurer le caractère potable de l'eau distribuée, celle-ci doit être testée.

Les tests microbiologiques actuels reposent sur l'utilisation des bactéries indicatrices. Les organismes indicateurs les plus utilisées sont les coliformes.

- **Définition et nature des coliformes**

- Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisées depuis très longtemps comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase permettant la dégradation du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé appropriés [26-27].

- Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* et dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Entérobacter* et *Klebsiella* [27-28]. La bactérie *E. coli* représente toute fois 80 à 90% des coliformes détectés [27-29].

- **Intérêt de la recherche et dénombrement des coliformes**

Les coliformes dans l'eau perdent leur viabilité plus lentement que la majorité des bactéries pathogènes intestinales et constituent donc un indicateur de contamination fécale de l'eau de première importance. De plus, leur résistance aux agents désinfectants, et notamment au chlore, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes; ils vont donc constituer de bons indicateurs d'efficacité de traitement. Malheureusement, les coliformes comprennent une grande variété de bactérie qui ne provient pas toutes du système digestif.

I-6-2-4 Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux ou entérocoques

- **Définition et nature des microorganismes recherchés**

Les streptocoques fécaux, appartiennent à un groupe de streptocoque qui n'est pas tous d'origine fécale (groupe D). Se présentent sous forme de cocci à Gram positif, sphériques à ovoïdes, formant des chainettes, ne possèdent pas de catalase mais possèdent l'antigène de

groupe D. toute fois, leur recherche, associée à celle des coliformes fécaux, constitue un bon indice de contamination fécale, ils témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne.

- **Intérêt du dénombrement des streptocoques fécaux ou entérocoques**

La recherche des streptocoques fécaux ne doit être considérée que comme un complément à celle des coliformes thermo-tolérants. La présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence des coliformes thermo-tolérants pour être le signe certain de contamination fécale d'une eau d'alimentation [25].

I-6-2-5 La recherche de *Clostridium* sulfito-réducteurs

- **Définition et nature des microorganismes**

Les *Clostridium* sulfito-réducteur sont des germes témoins de contamination pouvant être fécale et à l'origine d'accident technologique, deux espèces sont responsables de toxoinfection alimentaire : *Clostridium perfringenes* et *Clostridium botulinum* [25].

Cette recherche concerne des bactéries anaérobies strictes. Ces bactéries ne peuvent pas vivre en présence d'oxygène : pour quelles se développent, il faut créer des conditions d'anaérobiose. Parmi ces bactéries anaérobies le genre *Clostridium*, également recherché dans le domaine de l'eau, qui est constitué par des bacilles Gram positif de grande taille, isolés ou en chaînette, ces bactéries sont mobiles, capable de se sporuler, catalase (-), anaérobies strictes, mésophile, sacharolytique, protéolytique et fréquemment gazogène.

Chapitre II :
Le chlore et les
sous produits
chlorés

II- 1 Présence et propriétés physiques du chlore

Le chlore est un élément chimique (symbole Cl) appartenant au groupe des halogènes et dont la masse atomique est de 35,4527 [30]. Dans la nature, on trouve le chlore uniquement sous forme d'ion chlorure (Cl⁻), d'une valence de -1 [30]. Le sel dissous des océans, qui constitue environ 1,9 % de la masse de l'eau de mer, est en grande partie composé de chlorures. La plupart des sels chlorés sont solubles dans l'eau; par conséquent, le chlorure solide n'abonde habituellement que sous les climats secs ou dans les grandes profondeurs du sol. L'ion chlorure est présent en grande quantité dans la nature et il est nécessaire à la majorité des formes de vie. Le chlore à l'état moléculaire ou atomique (Cl₂) n'est pas d'origine naturelle; il peut être produit industriellement soit par électrolyse du chlorure de sodium dissous dans l'eau, soit par l'oxydation du chlorure d'hydrogène [30-31]. Le Cl₂ se solidifie à -101,5 °C, à la pression atmosphérique normale [30-31].

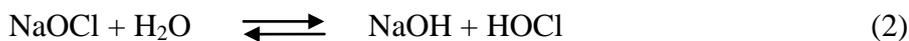
À l'état gazeux, le chlore est jaune verdâtre; il est 2,5 fois plus lourd que l'air, il est extrêmement irritant pour les muqueuses [30]. Le chlore gazeux est peu soluble dans l'eau [32].

II- 2-Composition chimique en milieu aqueux

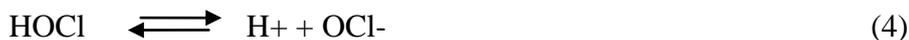
Lorsqu'on l'ajoute à l'eau, le chlore gazeux (Cl₂) se dissout rapidement et un équilibre s'établit avec l'acide hypochloreux (HOCl), selon l'équation chimique suivante (1):



L'ajout de NaOCl et de Ca(OCl)₂ à l'eau produit le même oxydant essentiel, le HOCl, d'après les réactions chimiques (2) et (3) ci-dessous [30-31-33], mais donne des réactions secondaires et des produits différents :



Le HOCl se dissocie ensuite en anion hypochlorite (OCl⁻), selon l'équation chimique (4) :



Toutes ces réactions chimiques, et donc l'efficacité de la désinfection, dépendent beaucoup du pH et de la température du milieu aqueux, qui sont des conditions déterminent l'importance de la transformation en l'un ou l'autre des trois dérivés chlorés, Cl₂, HOCl et OCl⁻. À un pH faible, le HOCl est prédominant et est plus efficace pour inactiver les microbes. Par exemple, à des températures de 0 °C et 20 °C, une solution aqueuse de chlore à un pH de 6,5 renfermerait environ 95,5 et 92,4 % respectivement de HOCl (4,5 et 7,6 % d'ions OCl⁻); à un pH de 8,5, l'équilibre est inversé et la solution ne renferme plus que 17,5 et 10,8 % de HOCl

(82,5 et 91,2 % d'ions OCl^-), respectivement. Le pH de l'eau potable varie habituellement de 6,5 à 8,5.

II-3 Utilisations du chlore

Le chlore est principalement utilisé dans la fabrication de substances organochlorées (chlorure de vinyle, tétrachlorométhane, perchloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthane et chlorobenzènes), de substances organiques non chlorées (oxyde de propylène et glycols) et de substances inorganiques chlorées (hypochlorite de sodium, acide chlorhydrique et acide hypochloreux). Il est également employé à grande échelle comme agent de blanchiment dans la fabrication des pâtes à papiers, le blanchiment des textiles et des tissus, la préparation des pesticides, des herbicides, des adhésifs et des produits pharmaceutiques et le dégazage de l'aluminium, ainsi que pour l'épuration de l'eau potable et de l'eau des piscines et l'assainissement des déchets industriels et des eaux usées [34].

Le chlore est le désinfectant le plus couramment utilisé dans le monde pour traiter l'eau potable [35]. En raison de ses propriétés germicides, de sa facilité d'utilisation, de mesure et d'élimination, de sa persistance et de son faible coût [30-31-33]. Il joue un rôle important dans le traitement de l'eau potable dans les pays développés en réduisant ou en éliminant presque les maladies d'origine hydrique comme la fièvre typhoïde, le choléra, la dysenterie et d'autres maladies gastro-intestinales [33-36]. On peut également l'ajouter dans les systèmes de traitement de l'eau potable pour empêcher la formation d'algues, de champignons et de bactéries, limiter la croissance des biofilms dans le réseau de distribution et assurer la propreté des matériaux filtrants à l'usine de traitement [30-37]. Dans le choix du type de chlore à utiliser pour traiter l'eau potable, il faut considérer un certain nombre de facteurs, dont le coût, la disponibilité, l'entretien du matériel et la facilité d'utilisation. Par exemple, le chlore gazeux est environ trois fois moins cher que les hypochlorites [30], mais il peut être plus difficile à utiliser que les sels d'hypochlorite. L'hypochlorite de calcium peut causer des problèmes d'entartrage pendant le traitement de l'eau, mais il est moins cher que l'hypochlorite de sodium. Bien que l'hypochlorite de sodium en solution soit difficile à transporter, il est souvent préféré aux autres parce qu'il est plus facile d'utilisation et qu'il cause le moins de problèmes d'entretien du matériel de pompage et des appareils de mesure [30]. L'hypochlorite de calcium est le plus couramment utilisé pour désinfecter les approvisionnements d'eau potable [35], et assainir l'eau des piscines [37-38].

II- 4 Utilisation du chlore dans le traitement des eaux

Les sources d'eau potable sont souvent contaminées par divers organismes pathogènes, notamment les virus entériques, les bactéries et les protozoaires, qui pourraient causer l'écllosion de maladies d'origine hydrique [30]. La chloration de l'eau potable a pour but premier de la désinfecter par la destruction ou l'inactivation des organismes pathogènes présents [31].

II-4-1 Définition de la chloration

La chloration est un moyen simple et efficace pour désinfecter l'eau en vue de la rendre potable. Elle consiste à introduire des produits chlorés (pastilles de chlore, eau de javel...etc.) dans l'eau pour tuer les micro-organismes qu'elle contienne. Après un temps d'action d'environ 30 minutes, l'eau est normalement potable. Elle le reste pendant quelques heures ou jours (en fonction des conditions de stockage) grâce à l'effet rémanent du chlore.

- **Désinfection primaire**

La désinfection primaire consiste à utiliser un désinfectant dans une usine de traitement de l'eau potable dans le but premier d'inactiver les pathogènes microbiens. Il est possible de prédire l'efficacité d'une désinfection au chlore d'après la concentration résiduelle de chlore, la température, le pH et le temps de contact. Cette relation est communément appelée le critère CT (concentration-temps) et les fournisseurs d'eau potable s'en servent pour assurer l'inactivation adéquate des organismes pendant la désinfection. Le critère CT correspond à la concentration résiduelle (C) de désinfectant en mg/l mesurée à la sortie du bassin de chloration, multipliée par le temps de contact (T) avec le désinfectant en minutes. La valeur CT requise pour parvenir à l'inactivation nécessaire varie selon le microorganisme ciblé. Pour en savoir d'avantage sur les valeurs CT habituellement requises pour inactiver *Escherichia coli* [39], les virus entériques [40] et certains protozoaires (par ex., *Giardia*) [41].

L'efficacité de la désinfection peut varier en fonction d'autres facteurs, notamment de la conception du bassin de chloration, de la qualité du mélange et de la présence de lumière solaire [30-42].

- **Désinfection secondaire**

L'eau traitée peut subir une désinfection secondaire au moment où elle quitte l'usine de traitement ou aux points de rechloration répartis sur l'ensemble du réseau de distribution. Cette désinfection sert à introduire et à maintenir une concentration résiduelle de chlore dans

le réseau de distribution de l'eau potable (0,2 à 0,6 mg/l) [43]. De manière générale, le maintien d'une concentration résiduelle du chlore présente trois grands avantages :

- Elle peut limiter la croissance des biofilms dans le réseau de distribution et les problèmes connexes de goût et d'odeur [30-44].
- Elle peut offrir une certaine protection en cas de contamination microbienne du réseau de distribution, selon l'ampleur de la contamination et la sensibilité au chlore des microorganismes à l'origine de la contamination.
- Plus important encore, une chute rapide de la concentration du chlore constitue une indication immédiate d'une défaillance du traitement ou d'une brèche dans l'intégrité du réseau de distribution [44].

En général, il faut analyser l'eau tous les jours à la sortie de l'usine de traitement pour déterminer la concentration résiduelle du chlore et la turbidité; il faut également l'analyser au moins une fois par semaine pour dénombrer les coliformes totaux à des fins de surveillance de l'efficacité opérationnelle, et les bactéries *E. coli* afin de confirmer l'innocuité microbiologique de l'approvisionnement d'eau [39]. Aux fins de la numération des coliformes totaux et des bactéries *E. coli*, il faut mesurer les concentrations résiduelles de chlore dans le réseau de distribution au moment de l'échantillonnage pour confirmer qu'elles sont adéquates. Étant donné les avantages opérationnels de la désinfection secondaire, les opérateurs devraient maintenir une concentration résiduelle du chlore dans l'ensemble du réseau pour obtenir une indication de son intégrité et empêcher la recroissance bactérienne. Il peut être difficile de maintenir cette concentration résiduelle dans les sections du réseau de distribution où le débit est faible, ce qui peut entraîner la formation de sous-produits chlorés de désinfection en concentrations inacceptables, donc il est nécessaire de mise en œuvre de stratégies d'élimination appropriées.

- **Mécanisme d'action du chlore :**

Le pouvoir oxydant du chlore provoque la destruction des protéines au niveau membranaire et chromosomique.

- **Pharmacocinétique du chlore :**

PH : si le pH < 5, il y a dégagement de chlore gazeux : la solution perd son activité.

Si le pH = 5, l'activité est maximale.

Température : si elle augmente, la stabilité des solutions diminue mais l'action antimicrobienne est plus rapide à 37°C qu'à 22°C.

Les minéraux : Le fer, cobalt, nickel, cuivre et manganèse diminuent la stabilité des solutions d'hypochlorite. Ainsi, les matières organiques, les savons, réduisent le pouvoir antimicrobien [45].

II-4-2 Principaux avantages et inconvénients de chloration

- **Avantages**

- Le traitement est rapide, peu coûteux et relativement simple à mettre en œuvre. Il existe une variété intéressante de moyens.
- Il peut être utilisé à l'échelle individuelle, familiale ou collective.
- L'eau traitée par chloration est normalement protégée des micro-organismes et germes pendant quelques jours.

- **Inconvénients**

- La fiabilité de ces traitements est bonne, mais pas sans faille.
- Les produits ne sont pas disponibles partout et les indications de concentration manquent parfois de fiabilité.
- Il est difficile de traiter des grandes quantités d'eau.
- la dose de chlore n'est pas toujours facile à déterminer.
- la chloration des eaux peut créer des sous-produits (composants organochlorés) jugés nocifs sur le plan sanitaire [46].

II- 5 Les sous produits de chloration

Le chlore peut réagir avec la matière organique de l'eau, les ions bromure, les ions iodure, et former des sous-produits. La présence de ces composés dans les réseaux d'eau potable, d'appellation générique sous-produits de chloration (SPC), pose un problème de santé publique qui concerne la plupart des usines de traitement d'eau superficielle.

En 1974, la découverte des SPC dans les réseaux d'eau potable [47-48] a entraîné la réalisation de nombreuses études pour caractériser les propriétés toxicologiques et épidémiologiques de ces composés [49-50]. Près de 600 SPC sont identifiés à ce jour et les familles majoritaires ont été régulièrement étudiées dans les réseaux d'eau potable [49-51]. Parmi celles-ci, les trihalomethanes (THM) et les acides haloacétiques (HAA) représentent à elles deux entre 20 et 30 % de la masse totale des SPC [52-53]. En France, les THM sont réglementés par le code de la santé publique "3" et font l'objet de contrôles réguliers dans l'eau distribuée. La formation des SPC dépend de la nature de l'eau brute (les eaux de surface sont plus propices à la formation de SPC), des conditions d'élimination de la matière

organique et de la stratégie de désinfection (nature du désinfectant, point d'injection, dose appliquée, temps de contact).

II-5-1 Mécanisme de formation des sous produits chlorés

Les premières études ont permis d'identifier les principaux facteurs intervenants dans la formation des SPC : la matière organique, les ions bromure, le chlore libre, le pH, la température et le temps de contact [54-55].

La matière organique naturelle est source de nombreux précurseurs pour la formation de SPC. Les substances humiques, caractérisées par une odeur importante (présence de cycles aromatiques), représentent la fraction la plus réactive et formatrice de SPC, notamment grâce à leurs sites métadihydroxybenzeniques, très réactifs avec le chlore [56]. Les mécanismes réactionnels qui peuvent se produire entre la matière organique et le chlore libre sont de types addition, substitution et oxydation [55].

II-5-2 Exposition de la population aux trihalométhanes

Selon les informations disponibles, pour la population générale, la principale source d'exposition aux THM est l'eau utilisée à des fins de consommation et à d'autres fins domestiques (lessive, douche, bain...etc.). Il est rapporté que l'addition d'agent de blanchiment chloré au moment de la lessive favorise également la formation de chloroforme et constitue une autre source d'exposition significative aux sous-produits de la chloration [57]. L'alimentation, notamment l'ingestion de boissons produites avec de l'eau traitée, pourrait aussi être une source d'exposition aux trihalométhanes [58]. La pratique de la natation dans les piscines dont l'eau a été désinfectée au moyen de chlore représente enfin une source d'exposition non négligeable aux THM [59-60-61].

II-5-3 Voies d'absorption des trihalométhanes

L'ingestion constitue une voie importante d'absorption des THM contenus dans l'eau de robinet. L'utilisation de l'eau à des fins domestiques, particulièrement lors de la prise de douches et de bains, contribue également à l'absorption des THM par inhalation et par contact cutané [62-63-64-65]. Pour des concentrations de chloroforme dans l'eau inférieures à 50 µg/l, l'absorption par inhalation et contact cutané lors de la prise d'une douche de 10 minutes serait égale ou supérieure à l'absorption par ingestion d'un litre d'eau chlorée [63-64-65]. Cependant, même si les doses absorbées sont du même ordre, elles ne sont pas nécessairement équivalentes d'un point de vue toxicologique [64-66]. En effet, les THM absorbés par ingestion sont en bonne partie métabolisés lors du premier passage au foie alors que ceux

inhalés ou absorbés par voie cutanée se retrouvent directement dans la circulation sanguine [64]. Par ailleurs, l'inhalation et le contact cutané ne sont pas des voies d'absorption significatives pour tous les sous-produits de la chloration. À titre d'exemple, les acides acétiques halogénés, qui sont les sous produits les plus communs après les THM, sont non volatils [67-68-69], et possèdent un faible coefficient de perméabilité au niveau cutané [70]. Par conséquent, pour ces substances, l'ingestion d'eau demeure de loin la principale voie d'exposition.

Dans le cas du trichlorométhane, une étude a montré que la totalité de la dose ingérée se trouvait absorbée par le tractus gastro-intestinal [71].

II-5-4 Pharmacocinétique et métabolisme :

Les THM ingérés sont absorbés au niveau gastro-intestinal. À cause de sa grande volatilité, le chloroforme peut également être absorbé par les poumons. Une fois absorbés, les concentrations de THM les plus importantes se retrouvent dans les tissus adipeux, le foie et les reins. Une partie des THM absorbés est exhalée sous forme inchangée. Le reste est oxydé en composés dihalocarboxyliques très réactifs (exp : phosgènes, chlorobromocarboxyles) puis hydrolysé en dioxyde ou monoxyde de carbone avant d'être expiré. Les données suggèrent que ces composés dihalocarboxyliques seraient responsables des effets toxiques des THM [72-73].

II-5-5 Données toxicologiques et épidémiologiques

La présence de chloroforme et d'autres sous-produits de la désinfection par le chlore (SPC) a été signalée dans l'eau potable pour la première fois dans les années 1979 [74-75].

Les concentrations mesurées dans l'eau potable sont toutefois beaucoup trop faibles pour provoquer de tels effets chez l'humain [73-76]. Une exposition prolongée à des fortes doses de THM peut entraîner une toxicité hépatique et rénale. Chez l'animal, ces effets peuvent être observés lorsque les doses sont de l'ordre de plusieurs mg par kg de poids corporel [76].

De nombreuses études épidémiologiques ont été réalisées afin d'évaluer le risque de cancer chez les populations exposées à ces produits. Jusqu'à maintenant, seul un excès de cas de cancer de la vessie a été observé de façon assez constante chez les consommateurs d'eau chlorée [76-77].

Les sous-produits de la chloration sont également associés à des effets mutagènes. De nombreuses études ont démontré que c'est principalement la fraction acide non volatile des sous-produits de la chloration qui est responsable de ces effets [78].

Plusieurs études épidémiologiques ont montré une association entre les SPC et certains cancers chez l'homme (vessie et colorectal le plus souvent) [79-80].

Les preuves appuyant les effets sur la reproduction et le développement chez l'humain associés à l'exposition aux sous-produits de la chloration demeurent minces et les études faites jusqu'à ce jour ne permettent pas de confirmer le lien de cause à effet [81].

Les principaux types de tumeurs observés chez les rongeurs (rat et souris) exposés à des THM ou à des acides acétiques halogénés sont le cancer du foie, des reins et du colon [82-83].

Chapitre III :
Matériels et
méthodes

III-1 Présentation de la zone d'étude

Le barrage d'Ain Zada est situé à la commune d'Ain taghroute à 11 Km au nord et à 25 Km à l'ouest de Sétif, il alimente en eau potable les villes de Bordj Bou Aréridj, Sétif et El Eulma il est opérationnel depuis décembre 1985. Additivement au oued taghroute et kharouaa, ce barrage est implanté sur le principale oued: oued boussalem, sa capacité est de 125 millions Km^3 et son apport moyen annuel est environ de 70 Km^3 .



Figure III.1: carte illustrant la zone d'étude et les points de prélèvements à partir du barrage.

III-2 Echantillonnage

III-2-1 Techniques de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension...etc.) [84]. Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons

neufs en verre borosilicaté. Pour les analyses microbiologiques, les flacons utilisés doivent assurer une fois bouchés, une protection totale contre toute contamination. Il est conseillé d'utiliser des flacons en verre de 250, 500, 1000 ml. Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée, car il ne doit rester aucune trace d'un éventuel détergent ou antiseptique. Les flacons en verre seront stérilisés par la chaleur, soit à l'autoclave à 120°C pendant 1 heure, soit au four Pasteur à 180°C pendant 1 h 30 [85].

Suivant l'origine de l'eau le mode de prélèvement varie. Dans le cas d'une rivière, d'une nappe ouverte, d'un réservoir, d'une citerne, la bouteille sera plongée à une certaine distance du fond (50 cm). Dans le cas d'un robinet, il sera indispensable de faire couler l'eau pendant un certain temps qui ne sera jamais inférieur à 10 mn [84].

Durant les prélèvements, les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon est placé de telle manière à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport. Les prélèvements s'effectuent dans les meilleures conditions de stérilisation. Pour procéder aux prélèvements, il y a lieu de suivre les étapes suivantes :

- Se laver très soigneusement les mains et les avant-bras, les rincer à l'alcool et les laisser sécher;
- Flamber le robinet pendant au moins 1 minute en utilisant par exemple une lampe à souder portative au gaz butane ou une tige en fer enrobée de coton imbibé d'alcool;
- Ouvrir le robinet et laisser couler 10 minutes avant de faire le prélèvement, tout en gardant la flamme allumée à côté du robinet [84].

III-2-2 Transport et conservation au laboratoire

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible.

L'évolution est difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs: température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau. A cet effet, la circulaire du 21 janvier 1960, relative aux méthodes d'analyses bactériologiques des eaux d'alimentation spécifie que " Si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10°C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C ". Même dans de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon. Si exceptionnellement l'analyse doit être reportée, il faut entreposer les échantillons à 4 °C [84].

Après le prélèvement, les échantillons sont transportés aseptiquement à la température de 4°C dans des isothermes à l'obscurité pour assurer une conservation satisfaisante [85].

III-3 Matériels

Ce travail a été réalisé au niveau de laboratoire de la microbiologie et de chimie au sein de l'université de Bordj Bou Arréridj.

III-3-1 Matériels lourds

Autoclave de marque Sano clav, bain marie de marque Memmert, balance analytique de marque KERN(ALS 220-4N), bec benzen, compteur de colonie Selecta (digital S), étuve universelle réglable de marque Memmert (Allemagne), Hotte microbiologique stérile (Steril-Gemini), hotte chimique, Micropipettes, pH mètre, thermomètre, Plaque chauffante, conductimètre, turbidimètre (Turb 550), spectrophotomètre UV-Visible, spectrodirect (Loviband).

III-3-2 Ustensiles

Boîtes de pétri, distributeur, pissettes, portoirs, spatules.

III-3-3 Verreries

Béchers, entonnoirs, éprouvettes graduées, erlenmeyers, fioles jaugée, flacons, pipettes graduées, pipettes pasteur, burettes, tubes à essais.

III-3-4 Milieux de culture

- Eau distillée, eau physiologique stérile.
- Bouillon Bromo-Crésol-Pourpe-Lactosé (BLBCP) utilisé pour la recherche des coliformes totaux et fécaux.
- Bouillon Rothe pour le test de présomption des streptocoques fécaux.
- Bouillon Ethyle Violet-Azide de sodium Litsky (EVA Litsky), pour le test de confirmation des streptocoques fécaux.
- Gélose Nutritive (GN) pour la recherche de la flore aérobie mésophile totale.
- Gélose Viande de foie (VF) pour la recherche et le dénombrement des Clostridium sulfite-réducteurs.

III-3-5 Réactifs

Acide nitrique pur, carbonate de calcium pur, solution de chromate de potassium à 10%, solution de nitrate d'argent N/10, solution de salicylate de sodium à 0.5%, acide sulfurique concentré (d=1.84), acide sulfurique (0,02N), solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate

double de sodium et de potassium, solution mère étalon d'azote nitrique à 0.1g/l, ammoniacque pur ($d=0.925$), solution mère étalon de NO_2^- 0.23g/l, solution fille étalon d'ion NO_2^- à 0.0023g/l, réactif de ZAMBELLI, solution d'EDTA disodium N/50.

III-3-6 Indicateurs colorés

Noir d'ériochrome T, méthylorange, phénolphtaléine.

III-4 Méthodes

Les dix échantillons (les échantillons 1, 2, 3, 4 et 5 prélevés du barrage d'Ain zada et les échantillons 6, 7, 8, 9 et 10 prélevés à partir de robinet de 5 points de la ville de BBA) ont été prélevés avec toute les précautions d'asepsie nécessaires dans des flacons stériles en verre, de capacité d'environ 1 litre. Les conteneurs à échantillons sont correctement étiquetés pour faciliter l'identification; leur transport a été réalisé dans une glacière; une fois au laboratoire, les analyses bactériologiques préconisées par Guiaurd [86], et modifier par les experts de l'institut Pasteur d'Algérie [87], puis on passe aux analyses physico-chimiques.

III-4-1 Les analyses physicochimiques des eaux

➤ Mesure du pH

Le pH est mesuré directement à l'aide d'une électrode de pH combiné à 20°C. Il consiste à tremper l'électrode dans le bêcher contenant l'échantillon, laisser stabiliser un moment, puis noter le pH [86]. La mesure du pH a été réalisée à l'aide du pH-mètre présenté sur la figure III.2 :



Figure III.2: pH- mètre.

➤ **Mesure de température**

La mesure de la température a été faite, pour chaque prise d'essai à l'aide d'une sonde de température (thermomètre).

➤ **Mesure de la conductivité électrique**

Pour la détermination de la conductivité un conductimètre est utilisé. Elle est déterminée après rinçage plusieurs fois de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de conductivité est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ [84].

Expression des résultats en $\mu\text{S}/\text{cm}$

50 à 400 → qualité excellente.

400 à 750 → bonne qualité.

750 à 1500 → qualité médiocre mais eau utilisable.

A 1500 → minéralisation excessive.

La mesure de la conductivité a été réalisée à l'aide du conductimètre présenté sur la figure III.3 :



Figure III.3: conductimètre.

➤ **Mesure de la turbidité**

Elle se détermine à l'aide d'un turbidimètre. Après remplissage de la cuvette de mesure propre et bien essuyée au papier hygiénique contenant l'échantillon à analyser, bien homogénéisé, la mesure s'effectue rapidement. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en nephelometric turbidity unit (NTU) [84]. La mesure de la turbidité a été réalisée à l'aide d'un turbidimètre présenté sur la figure III.4 :



Figure III.4: turbidimètre.

➤ **Détermination des résidus secs**

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. Elle consiste à prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et la déverser dans la capsule. Cette dernière placée à l'étuve à 105°C pendant 24 heures, puis laisser refroidir pendant 1/4 d'heure au dessiccateur, et peser immédiatement. Les résultats sont donnés en mg/l suivant l'expression [84].

$$RS = (PP - PV) 10 \times 1000.$$

PP: Poids plein de la capsule.

PV: Poids à vide de la capsule.

➤ **Dosage des chlorures (Cl^-)**

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

Mode opératoire : Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/10 utilisés.

Expression des résultats : Pour une prise d'essai de 100ml :

$V \times 10 \times 3.55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligramme de Cl^- par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5.85$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligramme de NaCl par litre d'eau.

➤ **Dosages des nitrates (NO_3^-)**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

Principe : Il est basé sur la réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique (formé par addition à l'échantillon de salicylate de sodium et d'acide sulfurique). En présence d'ammoniaque, le dérivé obtenu donne une coloration jaune stable. L'absorbance de cette solution est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm.

➤ **Dosage des nitrites (NO_2^-)**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

Principe : L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol forme avec les ions nitrites un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. L'absorbance de cette solution est mesurée au spectrophotomètre (figure III.5) à la longueur d'onde de 435 nm.



Figure III.5 : spectrophotomètre UV- Visible.

➤ **Alcalinité (TA et TAC)**

La technique est basée sur le dosage des bases qui se trouvent dans une eau telle que CO_3^- , HCO_3^- et OH^- . Elle se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minérale, le point d'équivalence est déterminé par les indicateurs colorés.

Mode opératoire

Détermination du TA

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une capsule de porcelaine blanche de 12 cm de diamètre. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, se qui se produit en générale pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3, verser ensuite l'acide sulfurique 0,02N dans la capsule jusqu'à la décoloration complète de la solution. Soit V le nombre de ml d'acide utiliser pour obtenir le virage.

Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a eu de coloration, ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec l'acide sulfurique 0,02N jusqu'au virage du jaune au jaune orangé. Soit V le nombre de ml d'acide versé.

Expression des résultats

V exprime le titre alcalimétrique en °F.

➤ **La dureté totale**

La dureté totale appelé aussi le titre hydrotimétrique est la somme des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} présentent dans une eau.

Principe : Titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide EDTA à pH=10. L'indicateur coloré est le NET (Noire d'Eriochrome T), qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium.

Mode opératoire : On ajoute 4 ml de la solution tampon pH=10 (solution de NH_4Cl) à 50 ml d'échantillon, en présence de l'indicateur coloré, la solution doit colore en rouge foncé ou violet, le titrage se fait avec l'EDTA 0,01 N, le virage est atteint par la couleur bleu royale.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression :

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$C_1(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) = C_2 \times V_2 / V_1 \times 1000 \text{ (m mol/l)}$$

C_2 : concentration de l'EDTA (mol/l)

V_1 : volume de la prise d'essai (50ml)

V_2 : volume titré de l'EDTA

Donc : dureté totale = $C_1 = V_2 \text{ EDTA} \times 0,2 \times 2 \text{ méq/l}$.

1°F correspond à 0,2 méq/l.

➤ **Dosage de fer**

Mesuré à l'aide d'un spectrodirect (figure III.6).

Caractéristiques de mesure :

Test numéro : 220.

Plage de mesure : 0,01 – 1 mg/l Fe.



Figure III.6: spectrodirect.

Mode opératoire

- Verser 10 ml d'échantillon dans une cuvette propre de 24 mm et fermer le couvercle de la cuvette, et mettre la cuvette dans la chambre de mesure et appuyer sur la touche ZÉRO.
- Retirer la cuvette de la chambre de mesure et ajouter dans l'échantillon de 10 ml une pastille d'IRON LR directement de l'emballage protecteur et l'écraser à l'aide d'un agitateur propre
- Refermer la cuvette avec le couvercle et mélanger le contenu en agitant jusqu'à dissolution complète de la pastille.
- Placer la cuvette dans la chambre de mesure, puis appuyer sur la touche TEST et attendre 5 minutes de temps de réaction.

La mesure s'effectue automatiquement après écoulement du temps de réaction.

Le résultat de la mesure s'affiche et indique le fer en mg/l.

➤ **Dosage du chlore total**

Mesuré à l'aide d'un spectrodirect.

Caractéristiques de mesure

Test numéro : 110.

Plage de mesure : 0,01 – 2 mg/l Cl₂.

Mode opératoire

- Verser 10 ml d'échantillon dans une cuvette propre de 24 mm et fermer le couvercle de la cuvette, et mettre la cuvette dans la chambre de mesure, et appuyer sur la touche ZÉRO.

- Retirer la cuvette de la chambre de mesure. Ajouter le contenu d'un sachet de poudre de VARIO Chlorine FREE-DPD/F10 directement de l'emballage protecteur dans l'échantillon de 10 ml. Refermer la cuvette avec le couvercle et mélanger le contenu en agitant (20 sec.).

- Placer la cuvette dans la chambre de mesure, et appuyer sur la touche TEST et attendre un temps de réaction de 3 minutes.

La mesure s'effectue automatiquement après écoulement du temps de réaction.

Le résultat de la mesure s'affiche en mg/l chlore total.

III-4-2 Les analyses bactériologiques des eaux

➤ Recherche des germes aérobie mésophiles totaux (GAMT)

Mode opératoire

On utilise la solution mère et les dilutions 10^{-1} à 10^{-3} , l'ensemencement de deux gouttes (0,1ml) de chaque dilution sur la gélose nutritive (GN), et étalement par un râteau stérile, la température d'incubation est 30°C , la lecture se faire à 72 h.

➤ Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux en milieu liquide par la méthode du nombre le plus probable (table de Mac Grady)

Le dénombrement des coliformes totaux se fait en milieu liquide (Bouillon Lactosé au Bromo Crésol Pourpre; (BLBCP) en simple concentration.

Mode opératoire

On prépare une série des tubes contenant le milieu sélectif BLBCP à raison de trois tubes par dilution, (10^{-1} à 10^{-3}).

A partir des dilutions décimales on porte aseptiquement 1 ml dont chaque un des trois tubes correspond à une dilution donnée; puis on mélange bien le milieu et l'inoculum, l'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 h pour la recherche des coliformes totaux et une deuxième série des tubes incubée à 44°C pour la recherche des coliformes fécaux.

Lecture : sont considérés comme positifs les tubes présentent à la fois :

- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu
- Un dégagement de gaz.

➤ Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux en milieux liquide par la méthode du nombre le plus probable (table de Mac Grady)

La recherche et le dénombrement se fait par deux tests :

Test de présomption

On prépare une série des tubes contenant le milieu sélectif Rothe S/C à raison de trois tubes par dilution, (10^{-1} à 10^{-3}).

A partir des dilutions décimales on porte aseptiquement 1 ml dont chacun des trois tubes correspond à une dilution donnée; puis on mélange bien le milieu et l'inoculum, l'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 h.

Test de confirmation

Les tubes de Rothe positifs feront l'objet d'un repiquage dans des tubes contenant le milieu EVA Litsky ; on mélange bien le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 h.

Lecture : sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois

- Un trouble microbien;
- Une pastille blanchâtre ou violette au fond du tube.

Le nombre de streptocoques fécaux est exprimé par le NPP selon la table de Mac Grady.

➤ **Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs**

Mode opératoire

On fait fondre un flacon de gélose viande foie dans un bain marie, après refroidissement on ajoute les additifs (Alun de fer et Sulfite de sodium), il est nécessaire de maintenir le milieu à 45°C jusqu'à l'emploi. On chauffe les deux tubes de SM et 10^{-1} à 80°C pendant 10 minutes puis les refroidis, les contenus des tubes sont versés dans la gélose viande-foie puis on mélange doucement le milieu et l'inoculum en évitant la formation des bulles d'air et l'introduction d'oxygène, laisser solidifier sur pailleuse pendant 30 minutes environ, l'incubation se fait à 37°C pendant 5 jours.

III-4-3 Analyse statistique

Les résultats de quelques paramètres des échantillons d'eau analysés nous permettront de calculer la moyenne et l'écart type.

La moyenne \bar{X} d'un échantillon de taille n de variables $x_1, x_2, x_3, \dots, X_n$ est obtenue par :

$$\bar{X} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$$

L'écart type est un paramètre statistique qui permet d'apprécier la dispersion des variables autour de la moyenne de l'échantillon, il est noté S .

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

Chapitre IV :
Résultats et
discussion

IV- Résultats et discussion

IV-1 Résultats

IV-I-1 Les résultats des analyses physico-chimiques

Tableau IV.III: Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de barrage.

Paramètre	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5	M ± m
Température (°C)	14	13	14	12	13	13,2±0,84
pH à 20°C	8,86	8,50	8,71	8,56	8,60	8,64±0,14
Turbidité (NTU)	10,6	9,20	18,3	20	14,2	14,46±4,69
Conductivité (µs /cm)	1177	1204	1100	1206	1187	1174,8±43,52
Résidus secs (mg/l)	200	100	400	400	500	320±164,32
Chlore totale (mg/l)	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	/
Chlorures (mg/l)	223,65	223,65	241,4	234, 3	244,9	233,4±11,35
Nitrites (mg/l)	0,03	0,07	0,05	0,05	0,08	0,056±0,019
Nitrates (mg/l)	1,44	1,17	1,37	1,27	1,24	1,3±0,11
Dureté totale (°F)	34,8	32,8	33,2	33,6	32,8	33,44±0,83
Titre alcalimétrique (°F)	0	0	0	0	0	/
Titre alcalimétrique complet (°F)	9	9,3	6,9	7,7	7	7,98±1,12
Fer (mg/l)	0,17	0,17	0,14	0,18	0,12	0,16±0,02

M : moyenne

m : ecartype

Tableau IV.IV: Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de robinet.

Paramètre	Ech 6	Ech 7	Ech 8	Ech 9	Ech 10	M ± m	Norme OMS	Norme algérienne
Température (°C)	18	18	19	20	19	18,8±0,84	/	/
pH à 20°C	7,86	7,67	7,87	7,83	7,93	7,83±0,09	6,5-9	6,5-9,0
Turbidité (NTU)	0,80	0,81	0,42	0,42	0,80	0,65±0,21	/	5
Conductivité (µs /cm)	990	1150	1119	957	1230	1089,2±113,7	/	< 2700
Résidus secs (mg/l)	400	200	300	100	430	286±137,77	/	2000
Chlore totale (mg/l)	0,18	0,27	0,46	0,36	0,47	0,35±0,12	/	/
Chlorures (mg/l)	202,3	173	191	142	259,2	193,82±43,11	250	500
Nitrites (mg/l)	0	0,02	0	0,01	0,03	0,021±0,01	3	< 0,1
Nitrates (mg/l)	1,47	1,82	1,85	2,11	2,30	1,91±0,32	40	< 50
Dureté totale (°F)	34,4	34,4	36,4	36,4	33,6	35,04±1,28	50	50
Titre alcalimétrique (°F)	0	0	0	0	0	/	0	0
Titre alcalimétrique complet (°F)	7,6	7,1	7,1	6,9	6,9	7,12±0,29	50	< 50
Fer (mg /l)	Trop bas	/	0,3	< 0,3				

IV-1-2 Résultats d'analyses microbiologiques

➤ La flore totale aérobie mésophile

Le dénombrement de la flore totale procaryote aérobie sur le milieu GN après 72 heures d'incubation, le tableau suivant (tableau V) représente le nombre de colonies comptées sur les boîtes de pétri pour chaque échantillon ainsi ses dilutions.

Tableau IV.V : résultats de la recherche de la flore aérobie mésophile.

Echantillon	Avant traitement					Après traitement				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SM	35	115	53	70	60	0	0	15	2	0
10 ⁻¹	9	9	8	63	6	0	0	9	0	0
10 ⁻²	0	6	1	5	1	0	0	0	0	0
10 ⁻³	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

➤ coliformes totaux et fécaux

Le dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux se fait en milieu liquide BLBCP après 48 heures d'incubation à 37°C et à 44°C. Les tableaux suivants (IV.VI et IV.VII) représentent les résultats d'incubation.

Tableau IV.VI : résultats de la recherche des coliformes totaux.

Echantillon	Avant traitement					Après traitement				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 ⁻¹	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻²	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-
	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nombre caractéristique	210	210	210	200	210	0	0	0	0	0
Nombre de microorganism	15	15	15	9	15	0	0	0	0	0

(+) : Trouble et dégagement de gaz.

(-) : Absence de trouble et de gaz.

$$N = \frac{NPP}{V_{ensemencé}} \times Fd$$

Tableau IV.VII: résultats de la recherche des coliformes fécaux.

Echantillon	Avant traitement					Après traitement				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 ⁻¹	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nombre caractéristique	200	200	200	200	200	0	0	0	0	0
Nombre de microorganism	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0

➤ Les streptocoques fécaux

Absence totale des streptocoques fécaux soit dans les eaux avant traitement ou après traitement.

➤ Les anaérobies sulfito-réducteurs

Les résultats de la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs sur le milieu Viande-foie après incubation pendant 72 h à 37°C sont représentés dans le tableau suivant (tableau XIII).

Tableau IV.XIII : résultats de la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs.

Echantillon	Avant traitement					Après traitement				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SM	1	8	2	2	4	0	0	0	0	0
10 ⁻¹	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0

IV-2 Discussion

IV-2-1 Paramètres physico-chimiques

➤ La température

La température de l'eau de barrage obtenue est $13,2 \pm 0,84$ °C du fait de la température de la saison, alors pour l'eau de robinet elle est $18,8 \pm 0,84$ °C. La température est un facteur important dans la qualité des eaux, elle a un effet sur la solubilité des sels et des gaz, et dans la dissociation de ses sels donc sur la conductivité électrique et la détermination du pH. La température de l'eau gouverne la solubilité, en particulier celle des gaz mais aussi celle des sels ayant des conséquences sur la conductivité électrique [88, 89].

➤ Le pH

Le pH de nos échantillons de barrage (avant traitement) est $8,64 \pm 0,14$, tandis que le pH des échantillons de l'eau de robinet (après traitement) est neutre ($7,83 \pm 0,09$), la figure IV.7 représente le pH des échantillons d'eau étudiée. Le pH est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou l'alcalinité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) à l'interface air-eau, ainsi que de la dissolution du calcaire [90]. Selon les normes algériennes de l'eau potable, le pH est fixé entre 6,5 et 9,00 [91]. Donc on peut dire que nos échantillons sont acceptables de point de vue acidité.

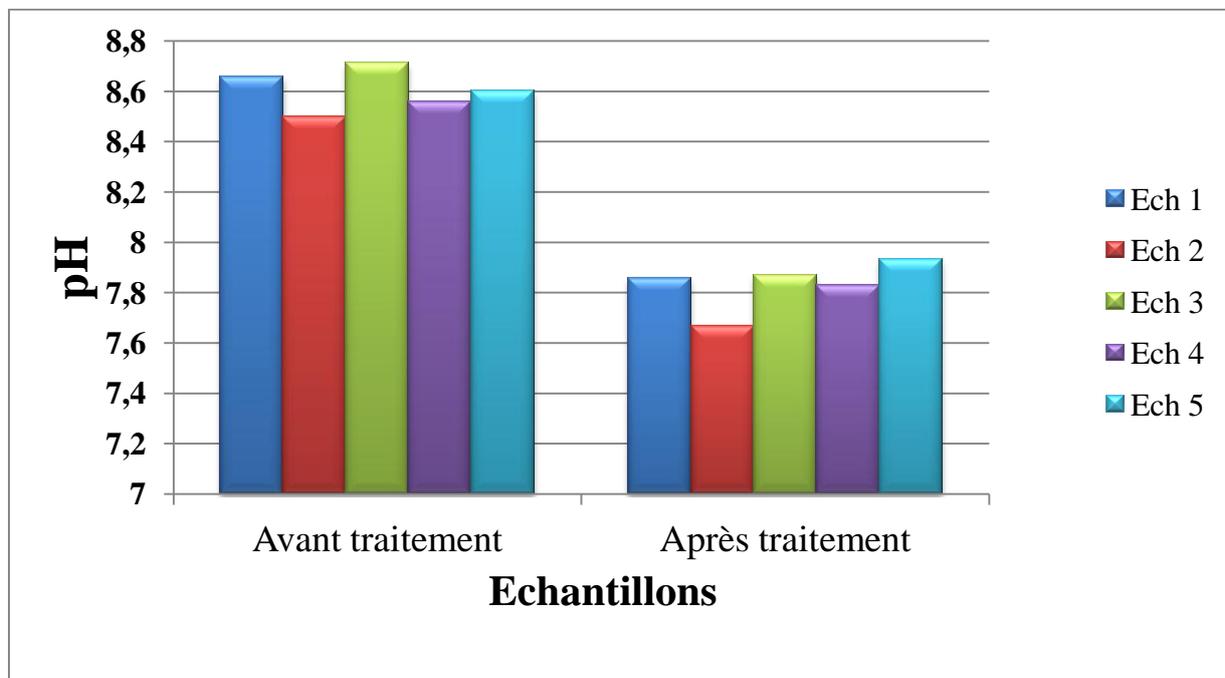


Figure IV.7 : le pH des échantillons d'eau étudiée.

➤ La turbidité

La figure IV.8 représente la turbidité des échantillons d'eau étudiée. Les 5 échantillons de barrage ont montrés des valeurs relativement élevés ($14,46 \pm 4,69$ N.T.U), ce qui veut dire que ces eaux sont chargées de matière en suspension, alors que pour les échantillons de l'eau de robinet (après traitement) les valeurs sont très inférieures ($0,65 \pm 0,21$ N.T.U). La turbidité est paramètre organoleptique due à la présence de matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sables et argiles), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau [14-92]. La norme algérienne de l'eau potable fixée à 5,00 N.T.U [91]. Donc les résultats obtenus montrent que l'eau de robinet est de bonne qualité donc le traitement est efficace.

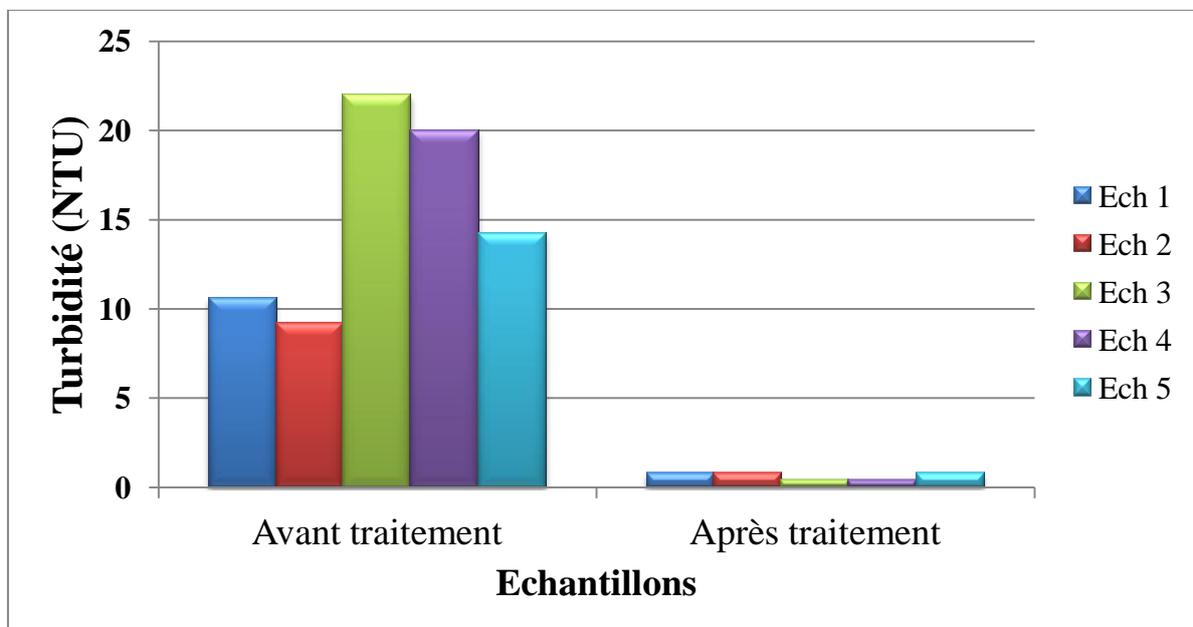


Figure IV.8 : la turbidité des échantillons d'eau étudiée.

➤ La conductivité électrique

La conductivité de nos échantillons de barrage est de $1174,8 \pm 43,52$ $\mu\text{s}/\text{cm}$, alors que la conductivité de l'eau de robinet est $1089,2 \pm 113,7$ $\mu\text{s}/\text{cm}$. La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique; elle détermine la teneur globale des sels minéraux présents dans une solution; une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée [93]. La figure IV.9 représente la conductivité électrique des échantillons d'eau étudiée, toutes les valeurs sont dans la norme algérienne (2700

$\mu\text{S/cm}$), aussi pas de différence remarquable entre les valeurs de la conductivité de l'eau avant et après traitement. Donc nos échantillons sont relativement chargés en minéraux et sont de qualité médiocre mais utilisable.

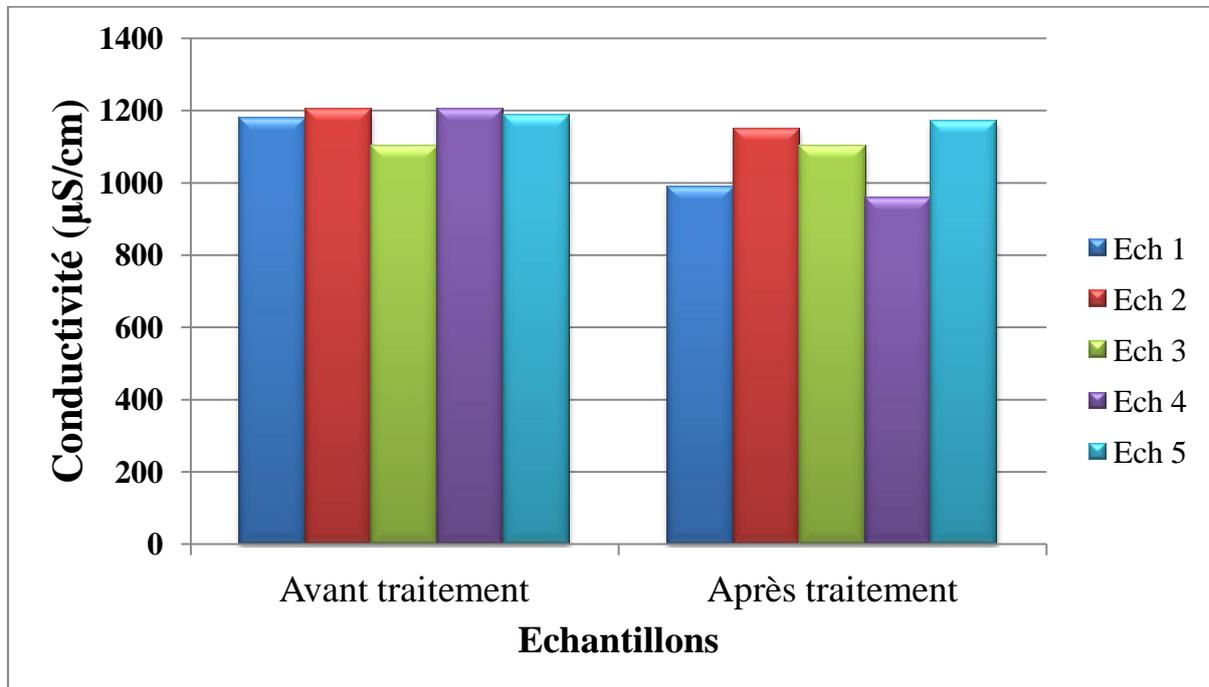


Figure IV.9 : la conductivité électrique des échantillons d'eau étudiée.

➤ Les résidus secs

Les résultats obtenus pour l'eau avant traitement et après traitement sont respectivement $(320 \pm 164,32 \text{ mg/l})$ et $(286 \pm 137,77 \text{ mg/l})$ de résidus secs. La minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec, n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité. En effet, l'évaporation de l'eau à 105°C peut entraîner des transformations de la structure de certains sels: hydrogénocarbonate dissociés donnant des carbonates ou par cristallisation des sulfates avec un certain nombre de molécules d'eau [84, 94]. Le poids de l'extrait sec ne représente pas toujours celui des sels dissous, selon les résultats l'eau traitée est de bonne qualité.

Tableau IV.IX : classification des eaux potables selon l'extrait sec [86].

Potabilité	Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise	Momentanée
Résidus secs mg/l	0-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8000

➤ Chlore total

Nos échantillons de l'eau de robinet contient un taux du chlore total ($0,35 \pm 0,12$ mg/l). Pour SEBY 2006 [95], le résiduel du chlore n'est pas toxique pour l'homme, mais il peut générer un goût et une odeur à des concentrations plus ou moins élevées. Par contre DESJARDINS 1990 [96], GODART 2000 [97], RIBONI et ROBERT 2000 [98], JUERY 2004 [99], et RODIER *et al.* 2005 [84], rapportent que l'utilisation de l'eau de javel pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine peut conduire à la production de sous-produits de désinfection responsables de mauvais goûts et désagréable odeurs, voir dangereux pour la santé; par ses caractères cancérogènes pour l'homme; comme les trihalométhanes, les chlorophénols, les organochlorés. De plus, l'eau de javel est basique et peut provoquer la précipitation du calcium en cas d'eau dure ce qui entraîne le colmatage des équipements. Les trihalométhanes sont des sous-produits de chloration, liés à la présence de matières organiques dans l'eau brute [96].

➤ Les chlorures

Les 5 échantillons de barrage présentent des teneurs en chlorures ($233,4 \pm 11,35$ mg/l), pour les échantillons de l'eau traitée la teneur en chlorures est de $193,82 \pm 43,11$ mg/l. En plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent aux eaux, des taux élevés des chlorures modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture [100]. Les normes algériennes de l'eau potable pour les chlorures sont fixées à 500 mg/l [91]. La figure IV.10 représente le taux de chlorures des échantillons d'eau étudiée. Les résultats obtenus sont normales et acceptables si on les compare avec les normes.

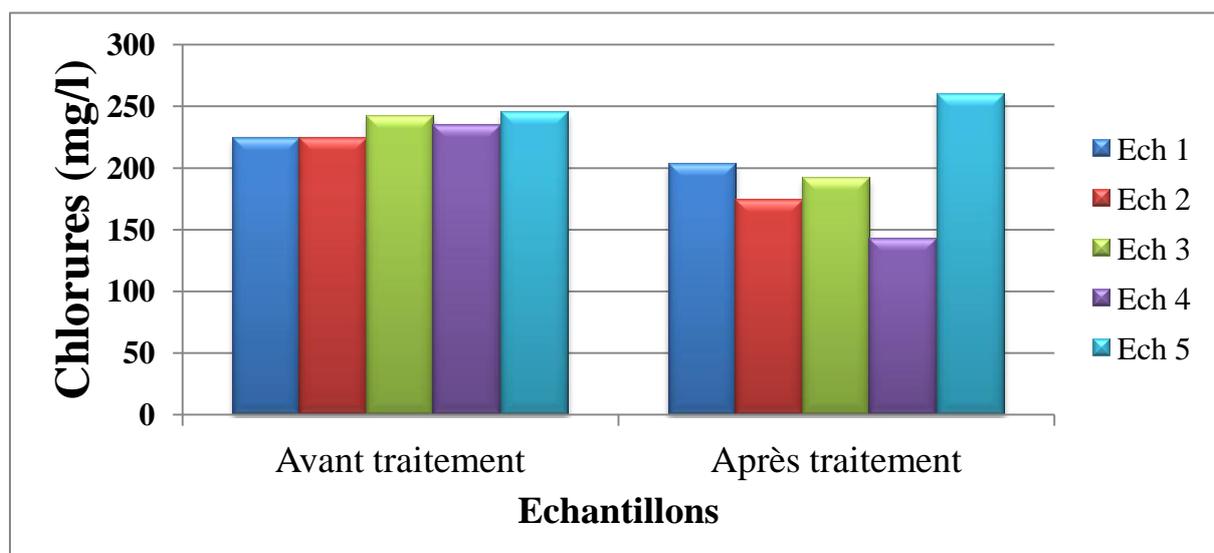


Figure IV.10: le taux de chlorures dans les échantillons d'eau étudiée.

➤ **Les nitrites**

Pour les eaux non traitées (échantillons de barrage), les valeurs observées sont $(0,056 \pm 0,019 \text{ mg/l})$ or, pour l'eau traitée (eau de robinet) toutes les valeurs sont dans la norme $(0,021 \pm 0,01 \text{ mg/l})$, Les nitrites résultent de la dégradation des organismes végétaux et animaux en milieu aqueux. Très toxique, il est rapidement et naturellement oxydé en ion nitrate [101]. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante des bactéries (phénomène de la dénitrification) [83-89]. Une eau qui renferme des nitrites, est considérée comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique [84]. Cependant, les eaux en contact avec certains terrains ou conduites peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure [102]. Pour interpréter les résultats, il sera nécessaire de tenir compte des teneurs en nitrates, en azote ammoniacal, en matière organique et l'examen bactériologique [84]. Pour ce qui est des nitrites, la dose journalière acceptable (DJA) établi par l'OMS 1995 [96], est de $0,02 \text{ mg azote total/kg/jour}$ ($0,06 \text{ mg de NO}_2^-/\text{kg/jour}$), qui est basée sur la prévention d'un risque non cancérigène [103]. La limite de consommation algérienne est fixée à $0,1 \text{ mg/l}$ [104]. La figure IV.11 représente la teneur en nitrites des échantillons d'eau étudiée. Ces valeurs sont négligeables, donc l'eau potable ou l'eau traitée ne contienne pas de nitrites à cause de sa transformation.

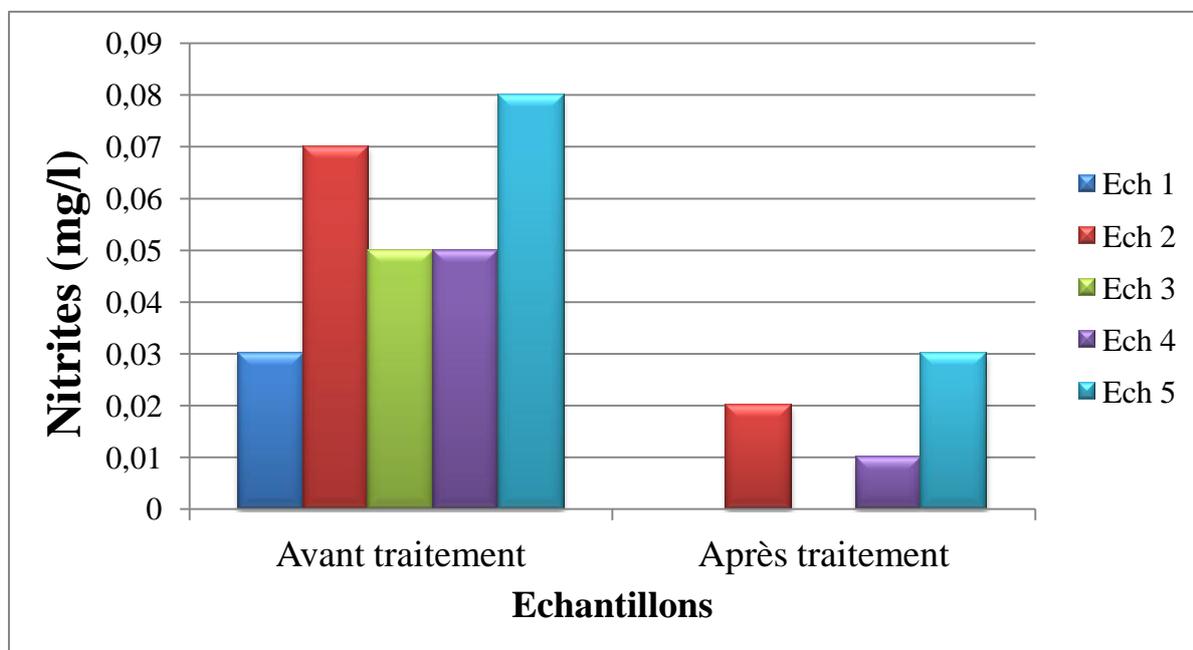


Figure IV.11: la teneur en nitrites des échantillons d'eau étudiée.

➤ **Les nitrates**

Pour les échantillons de barrage la teneur en nitrates est de $1,3 \pm 0,11$ mg/l, or pour l'eau de robinet elle est de $1,91 \pm 0,32$ mg/l. Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique [84-89]. Dans les eaux naturelles non polluées; le taux de nitrate est très variable suivant la saison et l'origine des eaux [84]. Sa présence excessive peut aussi provoquer un problème de santé publique important tel que la méthémoglobinémie [100]. L'excès des nitrates dans les eaux de consommation bloquent les échanges respiratoires au niveau du sang. À des doses supérieures à 100 mg/l peuvent conduire à la formation in vivo de nitrosamines qui sont des dérivés cancérigènes [101]. L'OMS 1995 [96], a établi une dose journalière acceptable (DJA) pour les nitrates présents dans les aliments de 0,84 mg azote total/kg/jour (3,7 mg de NO_3^- /kg/j). Les normes algériennes de l'eau potable pour les nitrates est fixée à 50 mg/l [104].

La figure IV. 12 représente la teneur en nitrates des échantillons d'eau étudiée, comparée aux limites de potabilité algériennes fixées, ces valeurs semblent faibles, mais l'augmentation de la teneur en nitrates après traitement peut être due à la diminution du nombre de micro-organismes qui utilisent les nitrates comme source d'azote.

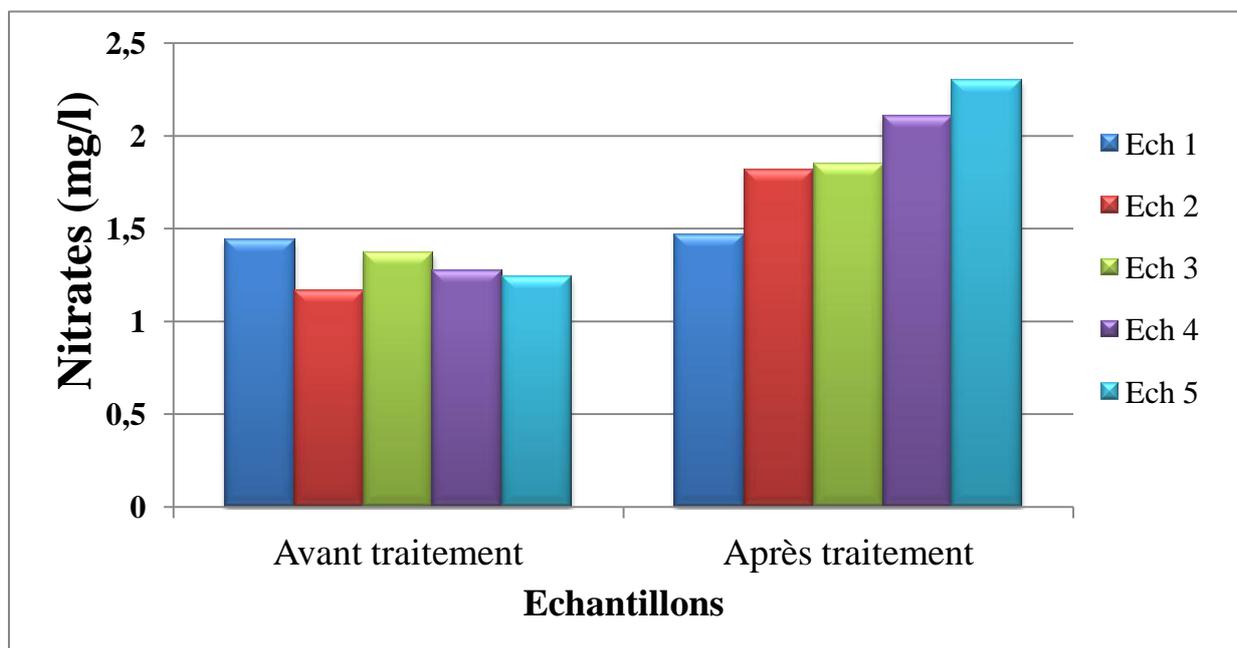


Figure IV.12: la teneur en nitrates des échantillons d'eau étudiée.

➤ **La dureté totale**

Les résultats trouvés pour les eaux avant ou après traitement sont respectivement $33,44 \pm 0,83^\circ\text{F}$ et $35,04 \pm 1,28^\circ\text{F}$. La dureté totale est la quantité du calcium et du magnésium dissoute dans l'eau. La dureté d'une eau, constitue un risque notable dans l'entartrage des canalisations. Pour une eau d'adduction, une dureté élevée contribue également à accroître la consommation du savon [84-102]. La figure IV.13 représente la dureté des échantillons d'eau étudiée, ces valeurs sont dans les normes algériennes de l'eau potable (50°F) [105], donc on peut conclure que ces eaux sont dures.

Tableau IV.X : normes pour la dureté des eaux de boisson [106].

Titre hydrotimétrique (TH °F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

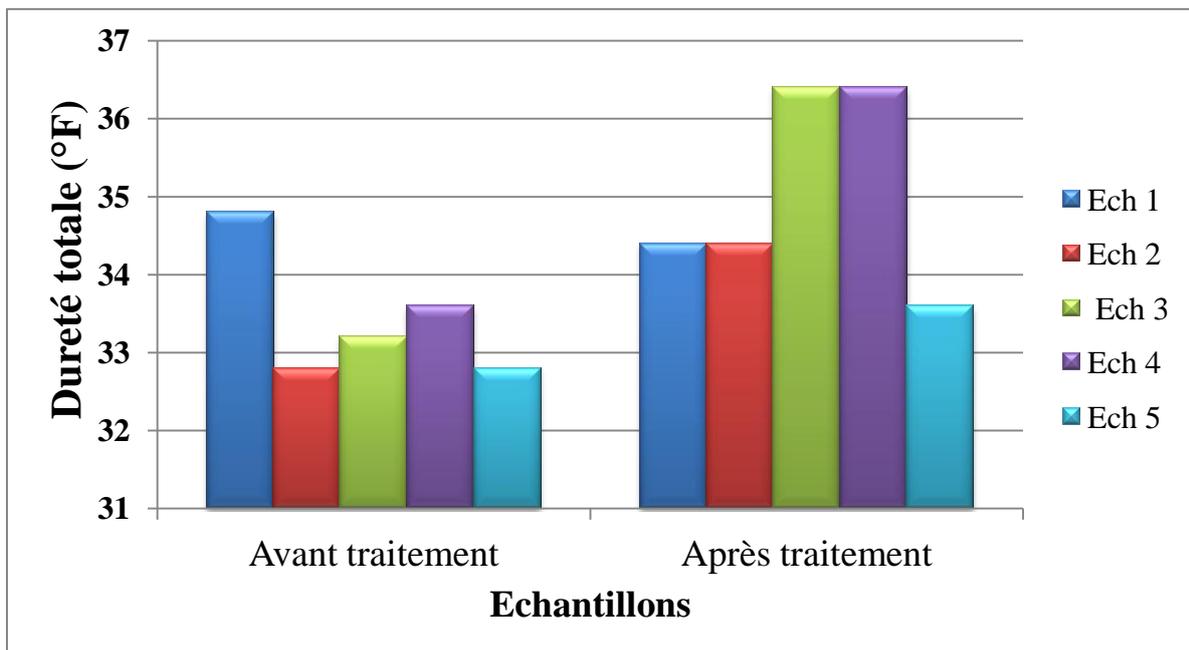


Figure IV.13: la dureté totale des échantillons d'eau étudiée.

➤ Titre alcalimétrique complet

Le titre alcalimétrique de nos échantillons avant traitement est $7,98 \pm 1,12^\circ\text{F}$, alors que le titre alcalimétrique de l'eau après traitement est $7,12 \pm 0,29^\circ\text{F}$. L'alcalinité entraînée par l'ion CO_3^- et OH^- est nulle [94]. Dans les eaux de distribution, la concentration en OH^- est faible, l'alcalinité de l'eau est constituée par des hydrogénocarbonates ou par mélange de carbonates/hydrogénocarbonates [84]. La figure IV.14 représente le titre alcalimétrique complet des échantillons d'eau étudiée, ces résultats sont dans les normes fixées (50°F).

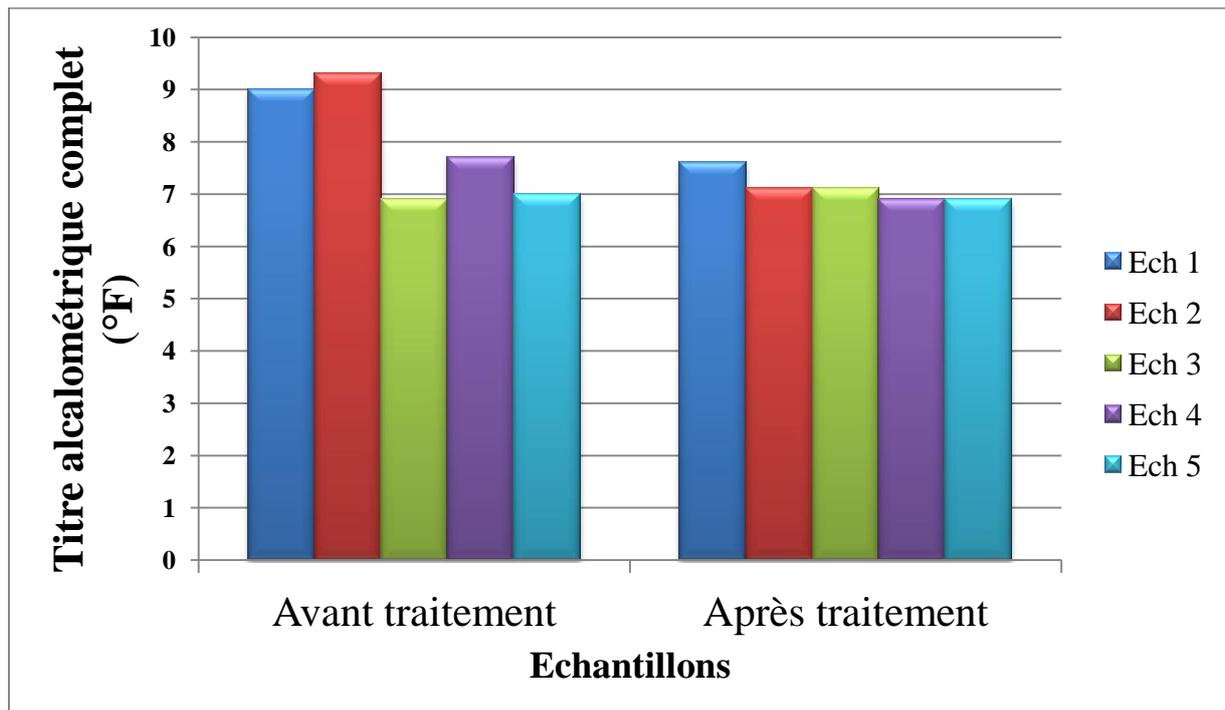


Figure IV.14: le titre alcalimétrique complet des échantillons d'eau étudiée.

➤ Le fer

Les échantillons de l'eau non traitée (de barrage) présentent des teneurs en fer ($0,16 \pm 0,02 \text{ mg/l}$), tandis que l'eau traitée présente des valeurs trop basses non détectées ou ces eaux ne contiennent pas du fer. La norme algérienne de l'eau potable pour le fer est fixée à $0,30 \text{ mg/l}$ [91].

IV-2-2 Les paramètres microbiologiques

➤ La flore aérobie mésophile totale

Le dénombrement des échantillons de barrage (avant traitement) reflète que ces eaux contiennent une charge de flore aérobie, alors que pour l'eau de robinet le dénombrement confirme que cette eau est exempte de germes aérobie (absence totale). L'eau est un milieu écologique aquatique très diversifiée par la flore eucaryote renferment les champignons, levures et moisissures qui peuvent altérer sa qualité organoleptique [107]. D'une manière générale, la présence de germes totaux en quantité anormalement élevée, semble être indicatrice de difficultés de traitement ou d'un entretien inadéquat du réseau [108]. Les germes totaux sont des indicateurs de l'efficacité du traitement [109]. Les réglementations algériennes précisent que pour les eaux destinées à la consommation humaine, la norme guide est inférieure ou égale à 10 UFC/ml à 37°C et 100 UFC/ml à 22°C [96]. Les microorganismes qui se développent à 20°C, sont des saprophytes présents naturellement dans l'eau. Celles qui se développent à 37°C, température du corps humain, proviennent de l'homme ou d'animaux à sang chaud [94-110]. Typiquement, les bactéries mésophiles aérobies et anaérobies facultatives sont constituées des germes du genre comme; *Achromobacter*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Legionella*, *Mycobacterium*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Serratia* et *Xanthomonas* [111]. La flore procaryote colonise les eaux en raison de leur richesse en matière organique, cette flore aquatique est diversifiée et peut renfermer des germes résistants aux antibiotiques, impliqués dans des infections nosocomiales. Le dénombrement montre que l'eau de robinet est de bonne qualité ce qui traduit par l'efficacité du traitement. La figure suivante représente une boîte GN positive après incubation 72 h.

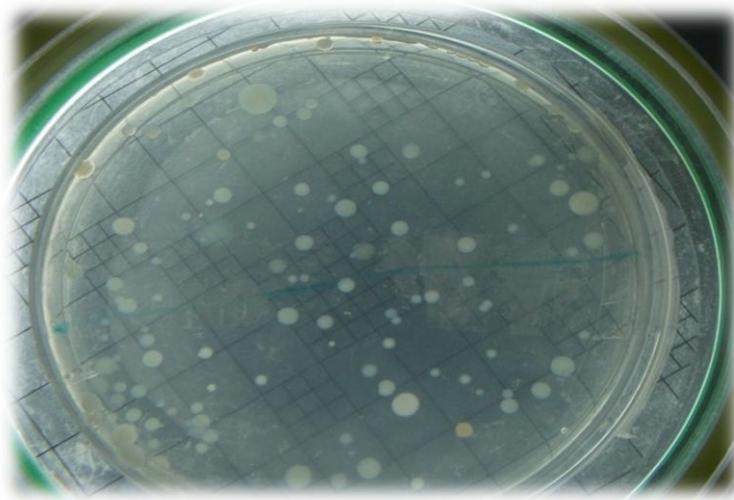


Figure IV.15: boîte GN positive.

➤ **Les coliformes totaux et fécaux**

Pour les résultats de colimétrie aucun germe indicateur de contamination fécale n'as été enregistré en eau traitée, par contre l'eau non traitée de barrage renferme un nombre de coliformes totaux et fécaux, par exemple l'échantillon 2 (eau de barrage) contient 15 coliformes totaux et 9 coliformes fécaux. Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale [94-108], Le risque sanitaire relié directement à la présence des bactéries du groupe de coliformes totaux, est donc faible, à l'exception de certaines souches d'*E.coli* et de certaines bactéries opportunistes qui peuvent causer de graves maladies chez les patients débilisés [94-109]. Les coliformes fécaux doivent être absents dans les eaux transportées sous canalisation [104]. Ils se rencontrent dans les matières fécales humaines ou animales, les eaux usées, les eaux de surface polluées [94]. La présence de coliformes thermotolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'eau par *E. coli* l'espèce la plus présente dans la flore intestinale de l'homme et des animaux [84-94-108]. Pour CHEVALIER (2003) [108], la présence de coliformes fécaux peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles. Selon les résultats obtenus, l'eau de robinet est de qualité satisfaisante. La figure suivante représente un tube de BLBCP positif (virage du milieu et dégagement de gaz).



Figure IV.16: tube BLBCP positif.

➤ **Streptocoques fécaux**

Les résultats montrent l'absence des streptocoques dans nos échantillons du fait de la température basse malgré le pH est favorable (légèrement alcalin). La réglementation algérienne impose l'absence de Streptocoques fécaux dans 100 ml d'eau prélevée [99]. Selon FIGARELLA et LEYRAL (2002) [104], RODIER et al. (2005) [84], la présence de Streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation. Le milieu Rothe est utilisé pour le test de présomption des streptocoques fécaux, ce milieu contient l'azide de sodium comme un agent sélectif et pour la confirmation le milieu EVA Litsky est utilisé, ce milieu à son tour contient l'agent sélectif mais en concentration supérieure à celle du rothe avec l'ethyl violet qui inhibe les streptocoques fécaux qui donne des faux positifs.

➤ **Clostridium sulfito-réducteurs**

Aucune spore n'a été enregistrée dans les échantillons de l'eau potable (eau de robinet), mais pour les échantillons de barrage on a enregistré l'apparition de quelques spores après incubation pendant 24h et avec le temps le nombre de spores augmente. Les normes algériennes tolèrent 1 spore d'anaérobie sulfito-réducteur dans 20 ml d'échantillon analysé. Les spores de clostridium sulfito-réducteurs renferment une grande variété de Clostridium comme *C. perfringens*, *C. sporogenes*, *C. fallax*, *C. septicum*, *C. bifermentans*, *C. roseum*...etc. [94]. EL HAISSOUFI et al (2011) [109], rapporte qu'il faut signaler que les bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont souvent considérées comme des témoins de pollution fécale. Les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices, sont largement répandues dans l'environnement, elles font partie de la flore tellurique naturelle, aussi bien que dans les matières fécales humaines et animales. C'est pourquoi, leur utilisation en tant qu'indicateurs de contamination fécale d'une eau n'est pas très spécifique. La réduction des sulfates entraîne la formation d'hydrogène sulfuré qui se combine avec les sels ferreux pour donner du sulfure de fer [111]. De même, certains goûts et odeurs de sulfures sont produits après la réaction de réduction [113]. Pour le dénombrement des germes sulfito-réducteurs connus par leur croissance lente (généralement plus de 72h), le milieu gélosé viande-foie est utilisé. L'absence des Clostridium sulfito-réducteurs dans l'eau potable qui sont des faibles indicateurs de pollution fécale du fait de leur faible présence dans l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud, donc l'eau est de bonne qualité. La figure suivante représente les tubes positifs.

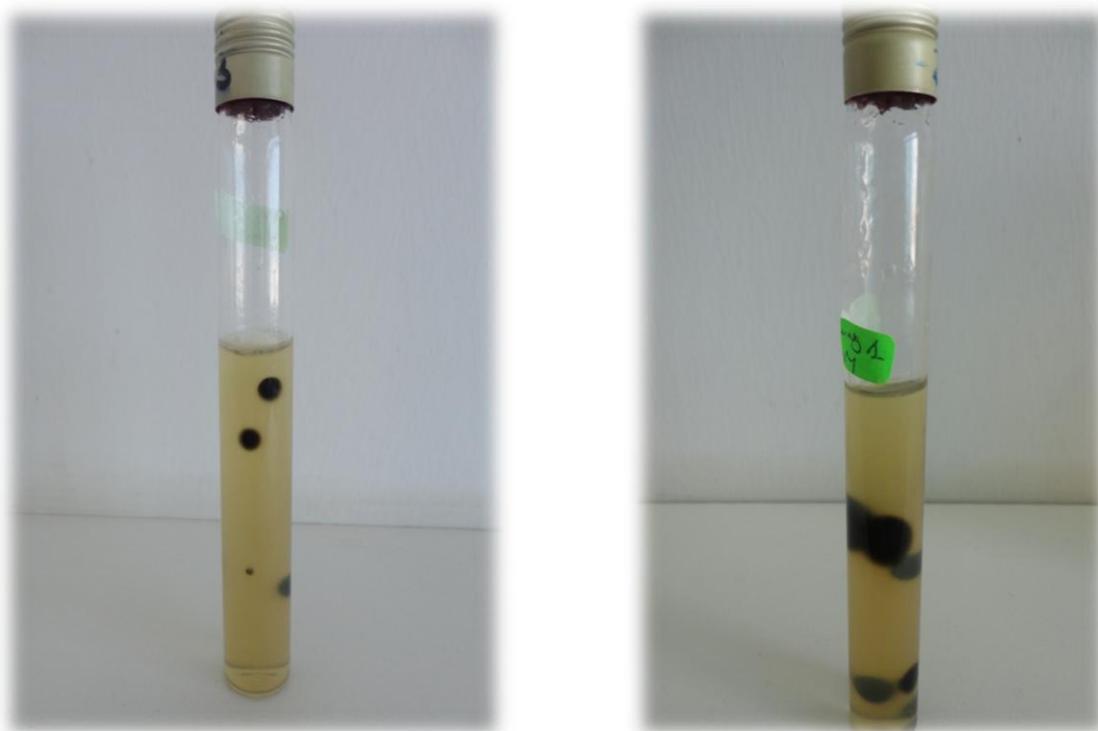


Figure IV.17: les spores de Clostridium sulfite-réducteurs.

*Conclusion
générale*

Conclusion

Notre travail porte sur une contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine en amont et en aval de la station du traitement des eaux du barrage Ain Zada, il s'agit d'une approche analytique, qualitative et quantitative, dont l'intérêt est l'étude de l'efficacité du procédé de traitement de ces eaux.

La charge microbienne des eaux dénombrée par des méthodes normalisées dans des milieux de cultures sélectifs a révélé pour les échantillons de l'eau du barrage la présence d'une flore microbienne diversifiée et en nombre élevé, il s'agit des coliformes totaux, fécaux et des spores bactériennes, par contre les échantillons prélevés en aval du station de traitement (eau de robinet) ont présenté une qualité des eaux exempte de toutes pollution, aussi une absence totale des spores bactériennes donc le fonctionnement de cette station de traitement semble efficace.

Pour les analyses physico-chimiques soit les échantillons du barrage (avant traitement), ou les échantillons de l'eau traitée (eau de robinet) sont dans les normes. La différence entre l'eau non traitée et l'eau traitée en matière des paramètres physico-chimiques est non significative.

En perspectives, ce travail n'est qu'une contribution partielle à l'étude de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux de consommation, non traitées et traitées de la wilaya de Bordj Bou Aréridj, donc il est loin de nous fournir une vision globale de la qualité de ces eaux, il est souhaitable donc de compléter l'étude par un effectif d'échantillonnage plus élevé, plus représentatif, et étaler sur une plus grande superficie sur les quatre saisons de l'année.

Pour assurer l'innocuité des eaux de distribution, nous recommandons dans un avenir très rapproché le respect des mesures suivantes :

- L'analyse d'eau au moins une fois par semaine pour dénombrer les coliformes totaux à des fins de surveillance de l'efficacité opérationnelle du traitement.
- L'analyse d'eau tout les jours à la sortie de l'usine de traitement pour déterminer la concentration résiduelle du chlore.
- La surveillance des conduites.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] http://julientap.free.fr/travail_fichiers/TP_chimie_eau.pdf.
- [2] **CIR** (centre international de référence pour l'approvisionnement en eau collective et l'assainissement). (1983). Alimentation en eau des petites collectivités. Technologies appropriées pour les petites installations dans les pays en voie de développement. La Hayes.
- [3] **OMS**. (2000). Directives de qualité de l'eau de boisson. Volume 2 : Critère hygiène et documentation à l'appui.
- [4] **Degremont**. (1989). Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, P : 5, 24-25.
- [5] **Boglin Jean-claude**. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.
- [6] **Bliedtner Claus & Perraud Robert**. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. p : 271,290, 291.
- [7] **Rodier J., LEGUBE., B MERLET N & coll.** (2009). L'Analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, paris, pp : 1-33.
- [8] **Tardat Henry M., Beaury J.P.** (1984). Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada.
- [9] **POTELON J. L., ZYMAN K.** (1998). Le guide des analyses d'eau potable, la lettre du cadre territorial.
- [10] **Lallogo H.** (1992). Concentration de certains métaux d'importance médicale dans les poissons: cas des poissons de la lagune de Lomé. Mémoire de Technicien Supérieur en Génie Sanitaire (EAM), UL, p: 36.
- [11] **Mizi Abdelkade.** (2006). Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie et des corps gras région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles. Thèse de doctorat d'état, université d'Annaba, Algérie, p : 26- 27.
- [12] **Marcel Dore.** Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P), p : 2-3.
- [13] **Seghiri R.** (1996). Elimination des substances humiques extraites de l'eau de la retenue de Hammam-Ghrouz par coagulation-floculation avec le fer ferrique et les sels d'aluminium, Thèse de Magister, université de Constantine.
- [14] **Rodier J.** (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7ème édition.
- [15] **Beaudry Jean-Paul.** (1948). Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada.
- [16] **Philippo P, Pommery J, Thomas P.** (1981). Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportement des espèces métalliques au contact des matières humiques, *J.fr.Hydrobiol.*
- [17] **Franck Rejsek.** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.
- [18] **Alberta Environmental Protection.** Standards and guidelines for municipal water works, waste water and storm drainage.
- [19] **Laferrriere M., Nadeau A., Malenfant G.** (1995). La contamination par les nitrates : Prévention des risques à la santé, p : 38.
- [20] **RONALAD V.** (2003). Eau, Environnement et Santé Publique, 2ème édition, Ed TEC&DOC, PARIS.
- [21] **RODIER, J.** (2007). L'analyse de l'eau ,7ème édition, Dunod, 107, 118.
- [22] qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre générale. (2005), institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, pp : 3,5.
- [23] **Kettab A.** (1992). Traitement des eaux "les eaux potables", O.P.U, Alger.
- [24] **Bouziyani M.** (2000). L'eau de la punirie aux maladies, Edition Ibn-khaldoun, oran, algerie, pp :60-74-81-84-95-187-191-196-247.
- [25] **Rejsek F.** (2000). Analyses des eaux, aspect réglementaire et technique; Collection Biologie Technique Environnementale, pp: 53-54, 71,142-148.

- [26] **Archibald F.** (2000). The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water system - a cause for concern *Water Quality Research Journal Of Canada*, 35(1): pp: 1-22.
- [27] **Edberg S. C., Rice E.W., Karlin R. j. & Allen M. J.** (2000). *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of applied Microbiology*, 88: pp: 106S.
- [28] **Elmund G. K., Allen M. J. & Rice E. W.** (1999). Comparaison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ.Res.*, 71:pp:332-339.
- [29] **Barthe C., J. Perron & J. M. R. Perron.** (1998). Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), Ministère de l'Environnement du Québec, Canada, pp: 155.
- [30] **White G.C.** (1999). *Handbook of chlorination and alternative disinfectants*, 4^{ème} édition, John Wiley & Sons, New York, NY.
- [31] **Connell G.F.** (1996). *Water disinfection series: The chlorination/chloramination handbook*. American water works association, Denver, CO.
- [32] **U.S. EPA.** (1994). *Drinking water criteria document for chlorine, hypochlorous acid and hypochlorite ion*, office of drinking water, environmental protection agency des États-Unis, Cincinnati, OH.
- [33] **CIRC.** (1991). Chlorinated drinking water, chlorinated by-products, some other halogenated compounds, cobalt and cobalt compounds, dans *Monographies du CIRC sur l'évaluation des risques de cancérogénicité pour l'homme*, vol. 52, Centre International de Recherche sur le Cancer, Lyon, France.
- [34] **Curlin L. C., Bommaraju T.V. & Hansson., C. B.** (1991). Alkali and chlorine products: chlorine, dans : *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*, 4^{ème} édition., vol. 1. John Wiley and Sons, New York, NY.
- [35] **OMS** (1997). *Disinfection*, dans : *WHO seminar pack for drinking water quality*, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse.
- [36] **Bull, R. J.** (2000). *Drinking water disinfection*, dans : Lippman, M. (dir. de publ.), *Environmental toxicants: human exposures and their health effects*. Wiley-Interscience, New York, NY.
- [37] **CCHST.** (2004). *Chemical Profile: Calcium hypochlorite* dans *CHEMINFO*. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, Hamilton, Ontario.
- [38] **Wojtowicz J. A.** (2004). Dichlorine monoxide, hypochlorous acid, and hypochlorites, dans : *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*, vol. 8, 5^{ème} édition., John Wiley & Sons, New York, NY.
- [39] **Santé Canada.** (2006). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Escherichia coli*.
- [40] **Santé Canada.** (2004). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : documentation à l'appui – les virus entériques*.
- [41] **Santé Canada.** (2004). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : documentation à l'appui – Les protozoaires : la giardia et le cryptosporidium*.
- [42] **U. S. EPA.** (1999). *Reregistration eligibility decision: Chlorine gas*, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, Environmental Protection Agency des États-Unis, Washington.
- [43] **Juery C.** (2004). *Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection*. Document technique FNDAE n°2, office internationale de l'eau, SNIDE : 7-14.

- [44] **Le Chevallier, M. W.** (1998). Benefits of employing a disinfectant residual in distribution systems, *Water Supply*, **16**: 61-73.
- [45] **Anonyme.** (2006). Dérivés chlorés.
- [46] **Riboni E & robert M.** (2001). Les méthodes de désinfection de l'eau.
- [47] **Bellar T. A., Lichtenberg J. J. & Kroner R. C.** (1974). The occurrence of organohalides in chlorinated drinking water. *J Am Water Work Assoc*; 66:703.
- [48] **Rook J.J.** (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *water treat exam* 1974; 23: 234.
- [49] **Krasner S. W., Weinberg H. S., Richardson S. D, Pastor S. J., Chinn R & Scilimenti M. J.** (2006). Occurrence of a new generation of disinfection by-products. *Environ Sci Technol* 1; 40(23):7175-85.
- [50] **Richardson S. D., Plewa M. J., Wagner E. D., Schoeny R. & Demarini D. M.** (2007). Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutat Res*; 636(1-3):178-242.
- [51] **Degremont (2005).** Memento technique de l'eau—Tomes 1 et 2. 10e ed. Rueil-Malmaison.
- [52] **Weisel C. P., Kim H., Haltmeier P & Klotz J. B.** (1999). Exposure estimates to disinfection by-products of chlorinated drinking water. *Environ Health*; 107 (2):103-10.
- [53] **Hoyer O.** (1998). Measures to reduce or avoid THM formation during water treatment and distribution. *Water Supply*; 16(3-4):143.
- [54] **Amy G. L., Chadik P. A. & Chowdhury Z. K.** (1987). Developing models for predicting trihalomethane formation potential and kinetics. *JAWWA*; pp: 89-96.
- [55] **Montiel A. J.** (1980). Les halomethanes dans l'eau, formation et élimination. Paris.
- [56] **Oliver B., Lawrence J.** (1979). Haloform in Drinking Water: A Study of Precursors and Precursor Removal. *J Am Water Works*; 71:161-3.
- [57] **Shepherd J. L., Corsi R. L. & Kemp J.** (1996). Chloroform in indoor air and wastewater: the role of residential washing machines, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46, 631-642.
- [58] **Santé Canada.** (1993), Les trihalométhanes. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Documentation à l'appui.
- [59] **Nieuwenhuijsen M. J., Toledano M. B & Elliott, P.** (2000). Uptake of chlorination disinfection by-products; a review and a discussion of its implications for exposure assessment in epidemiological studies, *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 10(6 Pt 1), 586-599.
- [60] **Lévesque B., Ayotte P., Tardif R., Ferron L., Gingras S., Schlouch E., Gingras G., Levallois P & Dewailly, É.** (2000). Étude pilote : Évaluation de la charge corporelle de chloroforme induite par la douche et le bain pour les citoyens des municipalités utilisant le fleuve Saint-Laurent comme source d'eau potable, *Saint-Laurent Vision 2000*, p : 30.
- [61] **Lévesque B., Ayotte P., LeBlanc A., Dewailly E., Prud'Homme D., Lavoie R., Allaire S & Levallois P.** (1994), Evaluation of dermal and respiratory chloroform exposure in humans, *Environ Health Perspect*, 102(12), 1082-1087.
- [62] **Lévesque B., Ayotte P., Tardif R., Ferron L., Gingras S., Schlouch E., Gingras G., Levallois, P. & Dewailly, E.** (2002), Cancer risk associated with household exposure to chloroform, *J Toxicol Environ Health A*, 65(7), 489-502.

- [63] **Backer L. C., Ashley D. L., Bonin M. A., Cardinali F. L., Kieszak S. M. & Wooten J. V.** (2000), Household exposures to drinking water disinfection by-products: whole blood trihalomethane levels, *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 10(4), 321-326.
- [64] **Weisel C. P. & Jo W. K.** (1996), Ingestion, inhalation, and dermal exposures to chloroform and trichloroethene from tap water, *Environ Health Perspect*, 104(1), 48-51.
- [65] **Jo W. K., Weisel C. P. & Liroy P. J.** (1990). Routes of chloroform exposure and body burden from showering with chlorinated tap water, *Risk Anal*, 10(4), 575-580.
- [66] **Blancato J. N. & Chiu N.** (1993). Predictive modeling for uptake and tissue distribution from human exposures, In *Safety of water disinfection: Balancing chemical & microbial risks* (Ed, Gunther F. Craun) ILSI Press, Washington, D.C., pp: 303-316.
- [67] **Xu X., Fresenmaier C. & weisel C. P.** (2001). Assessment of exposure to halo ketones and haloacetic acids in aerosols during showering In *Microbial/disinfection by-products health effects symposium*, 24-26, Marriott Hickory NRidge Conference Center, Lisle, Illinois.
- [68] **Weisel C. P., Kim H., Haltmeier P. & Klotz J. B.** (1999). Exposure estimates to disinfection by-products of chlorinated drinking water, *Environ Health Perspect*, 107(2), 103-110.
- [69] **Kim H., Haltmeier P., Klotz J. B. & Weisel C. P.** (1999). Evaluation of biomarkers of environmental exposures: urinary haloacetic acids associated with ingestion of chlorinated drinking water, *Environ Res*, 80 (2 Pt 1), 187-195.
- [70] **Trabaris M., Xu X., Laskin J. D., Mariano T. M. & Weisel, C. P.** (2001). In vitro dermal exposure assessment of drinking water disinfection by-products In *Micobial/disinfection by-products health effects symposium*, 24-26, Marriott Hickory Ridge Conference Center, Lisle, Illinois.
- [71] **Diderich R., Dujardin R., Lacroix G., Lamy M. H., Lefèvre J. P, Magaud H., Pichard A., Pépin G & Villey C.** (2003). Fiche de données toxicologiques et environnementales du chloroforme. INERIS, editor. 1-44, Verneuil-en-Halatte, INERIS.
- [72] **World Health Organization.** (2000). Environmental health criteria 216. Disinfectants and disinfectant by-products, Geneva, 499 p.
- [73] **Santé Canada.** (1993). Les trihalométhanes. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada , documentation à l'appui.
- [74] **Bellar T. A., Lichtenberg J. J. & Kroner R. C.** (1974). The occurrence of organohalides in chlorinated drinking water. *J Am Water Work Assoc*; 66:703.
- [75] **Rook J. J.** Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water treat exam* 1974;23:234.
- [76] **Organisation mondiale de la Santé.** (2000). Trihalométhanes, in directives de qualité pour l'eau de boisson; Volume 2 - Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, pp. 913-939.
- [77] **King W. D.** (2001). Epidemiological studies of disinfection by-products and cancer risk, In *Microbial pathogens and disinfection by-products in drinking water: Health effects and management of risks* (Ed, G.F. Craun, Hauchman, F.S. and Robinson, D.E.) ILSI Press, Washington, D.C., pp: 243-254.
- [78] **Meier J. R.** (1988), Genotoxic activity of organic chemicals in drinking water, *Mutat Res*, 196(3), 211-245.
- [79] **Villanueva C. M., Cantor K. P., Cordier S., Jaakkola J. J., King W.D & Lynch C. F.** (2004). Disinfection by-products and bladder cancer: a pooled analysis. *Epidemiology*;15 (3):357-67.
- [80] **Villanueva C. M., Cantor K. P., Grimalt J. O., Malats N, Silverman D & Tardon A .** (2007). Bladder cancer and exposure to water disinfection by-products through ingestion, bathing, showering, and swimming in pools. *Am J Epidemiol*.

- [81] **Graves C. G., Matanoski G. M. & Tardiff, R. G.** (2001). Weight of evidence for an association between adverse reproductive and developmental effects and exposure to disinfection by-products: a critical review, *Regul Toxicol Pharmacol*, 34(2), 103-124.
- [82] **Boorman, G. A.** (1999). Drinking water disinfection byproducts: review and approach to toxicity evaluation, *Environ Health Perspect*, 107 Suppl 1, 207-217.
- [83] **Mills C. J., Bull R. J., Cantor K. P., Reif J., Hrudey S. E. & Huston, P.** (1998). Work shop report. Health risks of drinking water chlorination by-products: report of an expert working group, *Chronic Dis Can*, 19(3), 91-102.
- [84] **Rodier J., Bazing C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L.** (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- [85] **Larpent J. P.** (1997). Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.
- [86] **Guiard J. P.** (1998). Microbiologie alimentaire. Edition dunod paris, pp: 133-135,369-377-385.
- [87] **Anonyme (IPA).** (2007). Manuel des modes opératoires des analyses bactériologiques des eaux, service de laboratoire de contrôle de qualité des eaux, guide pratique interne de laboratoire de microbiologie alimentaire, 1-25.
- [88] **Boeglin J. C.** (2000). Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur, 24 p.
- [89] **Dib I.** (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien). Mémoire de magister en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna, 127 p.
- [90] **Aminot A. & Kérouel R.** (2004). Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Edition : Ifremer, France, 336 pages.
- [91] **JORA.** (2009). Le décret exécutif n° 09-414. Journal Officiel de la République Algérienne N°75, 20 décembre 2009, Alger : 10-15.
- [92] **Hade A.** (2007). Nos lacs : *Les connaître pour mieux les protéger*. Edition Fides. Bibliothèque national du Québec Canada.
- [93] **Brémaude C., Claisse J. R., Leulier, F. Thibault J & Ulrich E.** (2006). *Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale*. Edition Educagri. Dijon. France. pp: 220-221.
- [94] **Figarella J & Leyral G.** (2002). Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p.
- [95] **Seby P.** (2006). Etude de la chloration sur le réseau d'eau potable du syndicat d'Annonay-Serrières (07). Mémoire de licence professionnelle, protection de l'environnement, gestion des eaux urbaines et rurales. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 48 p.
- [96] **Desjardin R.** (1990). Le traitement des eaux. 2ème édition revue, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 304 p.
- [97] **Godart H.** (2000). Eau de distribution, traitements unitaires. Ed. Techniques de l'ingénieur, Paris,
- [98] **Riboni E & Robert M.** (2000). Les méthodes de désinfection de l'eau, avantages et inconvénients respectifs entre chlore, U.V., ozone, microfiltration. Ozonoch Särl, Boudry, Switzerland, 5 p.

- [99] **Juery C.** (2004). Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection. Document technique FNDAE n°2, office internationale de l'eau, SNIDE : 7-14.
- [100] **Mizi Abdelkader.** (2006). Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles. Thèse de doctorat d'état, université d'Annaba, Algérie, p : 26, 27.
- [101] **Melquiot P.** (2003). 1.100 mots et abréviation de l'environnement et développement durable. Recyconsulte. Lyon. France. 190 p.
- [102] **HAKMI A.** (2006). Traitement de l'eau de source Bousfer Oran. Mémoire de licence traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie Oran, 48 p.
- [103] **Chausse K., Phaneuf D., Levallois P., Gsse.** (2003). Nitrates/Nitrites-Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 12 p.
- [104] **JORA.** (2000). Les normes de potabilité d'une eau de consommation. Journal officiel de la République algérienne N°51, 20 août 2000, Alger, 4 p.
- [105] **ADE.** (2010). Donnés de l'établissement public Algérien des eaux, direction d'unité de Ouargla, 98 p.
- [106] **OMS.** (1972). Normes internationales applicables à l'eau de boisson. 3ème édition. Ed. Organisation mondiale de la santé, Genève, 74 p.
- [107] **Bouarfa N & Boutfnouchet N.** (2008). Evaluation du risque de contamination des réseaux d'eau potable dans les etablissement de santé par pseudomonas aeruginosa dans la ville de Annaba , algerie .science & technologie N 27volume ,pp : 91-96.
- [108] **Chevalier P.** (2003). Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4 p.
- [109] **El haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y & El oualilalami A.** (2011).Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1: 37-68.
- [110] **Figarella J., Leyral G. & Terret M.** (2007). Microbiologie générale et applique. Ed, Delagrave, paris, 217p.
- [111] **Levallois P.** (2003). Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 3 p.
- [112] **Gauthier F.** (2002). Biofilms et qualité biologique de l'eau potable au cours de sa distribution Mémoire de DESS, Qualité et Gestion de l'Eau. Université de Picardie, Amiens, 69 p.
- [113] **Oieau.** (1999). Les causes de dégradation de la qualité de l'eau pendant son transport. Office international de l'eau, centre national de formation aux métiers de l'eau, 8 p.

Annexes

Annexe 1

Composition des milieux de culture :

Milieu gélose nutritive

Extrait de levure.....	2,0 g
Extrait de viande.....	1,0 g
Peptone.....	5,0 g
chlorure de sodium.....	5,0 g
Agar bactériologique.....	15,0 g

pH final = 7,4

Milieu VF

- Peptone viande-foie	30,0 g
- Glucose.....	2,0 g
- Amidon soluble	2,0 g
- Sulfite de sodium	2,5 g
- Citrate de fer ammoniacal	0,5 g
- Agar agar bactériologique.....	11,0 g

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 7,6 ± 0,2.

Milieu BLBCP

- Tryptone.....	5,0 g
- Extrait de viande	3,0 g
- Lactose	5,0 g
- Pourpre de bromocrésol.....	25,0 mg

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 6,7 ± 0,2.

Milieu Rothe

Polypeptone	20,0 g
Glucose	5,0 g
Chlorure de sodium.....	5,0 g
Phosphate monopotassique.....	2,7 g
Phosphate dipotassique.....	2,7 g
Azide de sodium.....	0,2 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 6,8 ± 0,2.

Milieu EVA Litsky

- Polypeptone.....	20,0 g
- Glucose.....	5,0 g
- Chlorure de sodium	5,0 g
- Phosphate monopotassique	2,7 g
- Phosphate dipotassique	2,7 g
- Azide de sodium	0,3 g
- Ethyl-violet	0,5 mg

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : $6,8 \pm 0,2$.

Annexe 2

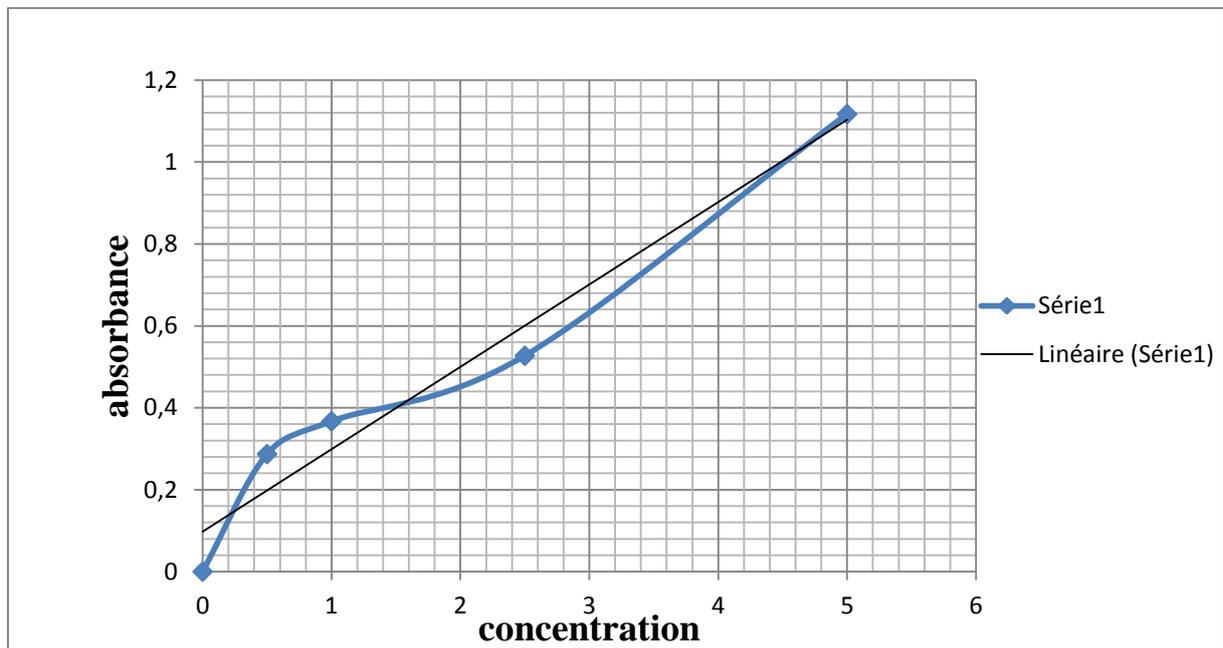


Figure 1: courbe d'étalonnage des ions nitrates (NO_3^-).

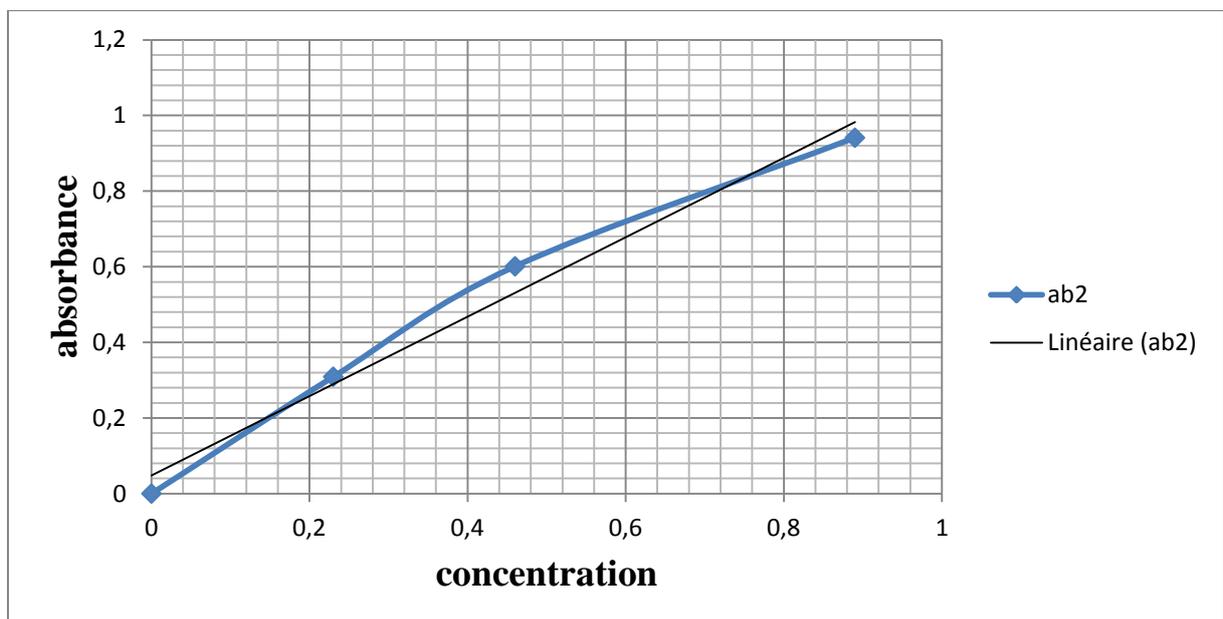


Figure 2: courbe d'étalonnage des ions nitrites (NO_2^-).

Annexe 3: Table de Mac-Grady

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organisme
000	0.0
001	0.3
010	0.3
011	0.6
020	0.6
100	0.4
101	0.7
102	1.1
110	0.7
111	1.1
120	1.1
121	1.5
130	1.6
200	0.9
201	1.4
202	2.0
210	1.5
211	2.0
212	3.0
220	2.0
221	3.0
222	3.5
223	4.0
230	3.0
231	3.5
232	4.0
300	2.5
301	4.0
302	6.5
310	4.5
311	7.5
312	11.5
313	16.5
320	9.5
321	15.0
322	20.0
323	30.0
330	25.0
331	45.0
332	110.0
333	140.0

Annexe 4 : norme de qualité de l'eau potable

Paramètres	unité	Réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation	
		Normes OMS	Normes algériennes
pH à 20°C	/	6,5-9	6,5-9,5
Conductivité à 20°C	µS/cm	/	<2700
turbidité	NTU	/	5
oxydabilité	mg d'O ₂ /l	5	<2
Dureté totale	°F	50	50
calcium	mg/l	50	10-30
magnésium	mg/l	/	<100
alcalinité	°F	50	<50
chlorures	mg/l	250	500
sulfates	mg/l	400	<250
nitrate	mg/l	40	<50
nitrite	mg/l	3	<0,1
fer	mg/l	0,3	<0,3
ammonium	mg/l	1,5	<0,5
silice	mg/l	/	<10