

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/20

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Science biologique
Spécialité : Microbiologie appliquée

Présenté par :

ZEKRI Meriem & MANSOURI Nouara

Thème

Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau potable

Soutenu le : 27 / 09 / 2020

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>	
<i>REMINI Hocine</i>	<i>MCB.</i>	<i>Univ. de Bouira Président</i>
<i>RAI AbdelWahab</i>	<i>MCB.</i>	<i>Univ. de Bouira Examineur</i>
<i>MAHDJOUR Mohammed Malik</i>	<i>MCB.</i>	<i>Univ. de Bouira Promoteur</i>

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

*Avant tout, nous remercions **ALLAH** tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage, la réalisation de ce travail.*

Nous aimerons exprimer nos gratitudeux aux êtres les plus chers aux mondes «Nos Parents» pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de nous voir Réussir et pour l'éducation qu'ils nous ont prodigué

*Nous tenons à remercier Monsieur **Mohamed Malik Mahdjoub**, notre promoteur, d'avoir accepté de nous encadrer sur ce thème, Son avis et ses remarques, ses critiques et ses qualités humaines et de nous apporter son attention tout au long de ce travail.*

*On remercie sincèrement les membres du jury qui nous ont fait l'honneur
D'accepter de juger ce travail
Dans le souci de n'oublier personne, nous remercions vivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de nos études.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers Parents "Mohamed et Fatma " sans, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien quel que soit les remerciements que je leur adresse c'est peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.

A mes sœurs et mes frères

*A toute la famille **Zekri***

Je leurs souhaite tout le bonheur du Monde.

A tous mes amis, à qui je souhaite un très bon avenir sans oublier la promotion de microbiologie

A tous ceux qui m'ont consacré temps, patience et conseils surtout dans le moment difficile.

Meriem

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers Parents sans, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien quel que soit les remerciements que je leur adresse c'est peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.

*A mes sœurs : **Fatma, Fatiha, Amina, Rabia et Houria**
et mes frères : **Moustapha, Mohamed, Ali, Zaza et Mohamed**
A toute la famille **Mansouri**
Je leurs souhaite tout le bonheur du Monde.*

*A tous mes amis : **Khadija Talli, Mellek, Joujou, Zineb, Nawel, Hayzou, Foufa, yassmine, Fati, Fatima, Rahima, Safia, Liela et Mimi**, à qui je souhaite un très bon avenir Sans oublier la promotion de microbiologie
A tous ceux qui m'ont consacré temps, patience et conseils surtout dans le moment difficile.*

Nouara

Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
Chapitre I: Généralités sur l'eau.	
I.1. Définition de l'eau.....	03
I.2. La composition de l'eau.....	03
I.2.1. Les gaz dissouts.....	03
I.2.2. Les matières minérales dissoutes.....	04
I.2.3. Les matières organiques dissoutes (MOS)	04
I.2.4. Les matières colloïdales.....	04
I.3. Les états physiques de l'eau.....	05
I.4. Le cycle de l'eau.....	05
I.5. Situation de l'eau dans le monde.....	06
I.6. L'importance de l'eau.....	07
I.6.1. L'eau dans l'alimentation.....	07
I.6.2. L'eau dans l'organisme humain.....	07
I.6.3. L'eau dans les aliments	07
I.6.4. L'eau dans l'industrie	08
I.6.5. L'eau dans l'agriculture	08
I.7. Usage mondial de l'eau	08
I.8. Situation de l'eau en Algérie.....	09
I.8.1. Ressources hydriques en Algérie	09
I.9. Présentation de la Wilaya de Bouira.....	10
I.9.1. Situation géographique.....	10
I.9.2. Population.....	10
I.9.3. Pluviométrie.....	11
I.9.4. Hydrographie de la Wilaya de Bouira.....	11
I.9.4.1. Hydrogéologie.....	12
I.9.4.2. Mobilisation des Ressources en eau.....	12
I.10. Origine et différents types d'eau.....	12
I.10.1. Eaux naturelles.....	13
I.10.2. Eaux souterraines.....	13
I.10.3. Eaux de surfaces.....	13
I.10.4. Eaux potables.....	14
I.10.4.1. L'origine de l'eau potable.....	14
A) Les eaux souterraines.....	15
I.10.5. Eau de source.....	15
I.10.6. Eaux douces.....	15
I.10.7. Les eaux plates.....	15
I.10.8. Eaux dures.....	16
I.10.9. Eaux de marais.....	16
I.10.10. Eaux de mers	16
I.10.11. Les eaux saumâtres.....	16
I.11. La pollution de l'eau.....	17
I.11.1. La pollution.....	17
I.11. 2. La pollution de l'eau.....	17
I.11.3. Les types de la pollution.....	17

I.11.3.1. La pollution physique.....	17
I.11.3.2. La pollution chimique	18
I.11.3.3. La pollution microbiologique	18
I.11.4. Les sources de pollution	18
I.11.4.1. Source domestique	18
I.11.4.2. Source industrielle	18
I.11.4.3. Eaux usées pluviales.....	19
I.11.4.4. Source par l’agriculture.....	19
I.11.4.5. Effluents des établissements hospitaliers.....	19
I.11.5. L’impact de la pollution des eaux sur l’environnement.....	19
I.11.5.1. Impact sur le milieu naturel.....	20
I.11.5.2. Impact sur la faune et la flore.....	20
I.11.5.3. Impact sur l’homme.....	20
I.11.6. Les maladies à transmission hydrique (MTH)	20
I.11.6.1. Quelques Maladies hydriques d’origine bactérienne.....	21
A) Le choléra	21
B) Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes.....	22
Capitre II: paramtres de potabilité.	
II.1. Définition de l'eau potable.....	23
II.2. Les critères de potabilité.....	23
II.2.1. Paramètres organoleptiques.....	24
II.2.1.1. La couleur.....	24
II.2.1.2. La saveur et l'odeur.....	24
II.2.1.3. La turbidité	25
II.2.2. Paramètres physicochimiques.....	25
II.2.2.1. Paramètres physiques	25
A) La température.....	25
B) La Conductivité.....	26
II.2.2.2. Paramètres chimiques.....	26
A) Le PH.....	26
B) Le chlore résiduel.....	27
C) La minéralisation (salinité)	27
D) L'alcalinité.....	28
E) La dureté.....	28
F) Les gaz dessous.....	28
G) Paramètres indésirables.....	28
H) Paramètres toxiques.....	29
II.2.3. Les paramètres microbiologiques.....	31
II.2.3.1. Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale	31
A) Les coliformes.....	31
B) Les coliformes totaux	32
C) Les coliformes fécaux (Coliformes Thermotolérants).....	32
D) <i>Escherichia coli</i>	33
E) Les streptocoques fécaux.....	33
F) Bactéries indicatrices, non réellement spécifiques de pollution fécale	34
II.2.4. Les Organismes indicateurs.....	35
II.2.4.1. Indicateur d'abondance bactérienne.....	35
II.2.4.2. Indicateur de contamination fécal	36
A) Les Coliformes.....	37
B) Les Coliformes totaux	37

C) Coliformes thermo-tolérante.....	37
D) <i>E.coli</i>	38
II.2.4.3. Streptocoques fècaux, streptocoques D, entèrocoques.....	38
II.2.4.4. Spores des bactéries anaérobies sulfato-réductrices de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs, et <i>Clostridium perfringens</i>	39
A) Spores de bactéries anaérobies sulfito réductrices	39
B) Spores de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs.....	39
C) <i>Clostridium perfringens</i>	40
II.2.5. Les méthodes d'analyses Bactériologiques.....	40
II.2.5.1. Les analyses de l'eau brute.....	40
A) Microorganismes recherchées.....	40
B) Les techniques d'analyse.....	40
II.2.5.2. Analyse bactériologiques de l'eau traitée.....	43
A) Les germes recherchés	43
B) Principe de la technique de la membrane filtrante.....	43
	45
Conclusion	
Références bibliographiques	46

Liste des abréviations

MTH : Maladies à transmission hydrique

AEP : Alimentation en Eau Potable

CO₂ : dioxyde de carbone

°C : Degré Celsius

DPD : Diethyl Paraphenylene Diamine

E.coli: *Escherichia coli*

Fig. : Figure

Hm³ : Hectomètre cube

g : gramme

Km² : Kilomètre carré

MES : Matières En Suspension.

MO : Matières organiques

Mg/l : Milligramme par litre

ml : Millilitre

UTN : Unité de Turbidité Néphélométrique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OD : L'oxygène dissous

O₂ : Oxygène

Ph : potentiel hydrogène.

S/m : siemens par mètre

UFC : Unité Formant Colonie

UC : Unité de couleur e

% : Pourcent

Listes des figures

Figure 01 : Structure chimique de la molécule d'eau.	03
Figure 02 : Le cycle de l'eau dans la nature.	06
Figure 03 : Carte géographique représente la localisation des communes à l'échelle de la wilaya de Bouira.	10
Figure 04 : Histogramme qui montre l'évolution de pluviométrie de barrage de Koudiat Acerdoun au niveau de la wilaya de Bouira.	11
Figure 05 : l'eau souterraine.	13
Figure 06 : Source d'Izemourene dans la Wilaya de Bouira.	15
Figure 07 : l'eau de marais.	16
Figure 08 : Les eaux saumâtres.	17
Figure 09 : Bactérie <i>Vibrio cholerae</i> responsable de choléra.	21
Figure 10 : Bactérie <i>Salmonella enterica typhimurium</i> responsable de la fièvre typhoïde	22
Figure 11 : le test DPD par un comparateur colorimétrique.	27
Figure 12 : Bactérie <i>d'E.coli</i>	33
Figure 13 : Streptocoques fécaux	34
Figure 14 : Spores anaérobies sulfite-réducteurs	35
Figure 15 : les groupes des organismes indicateurs dans l'eau	38
Figure 16 : les résultats des dénombrements dans l'eau brute : (A) : Les tubes positifs de milieu BCPL, (B) : Une colonie noire de <i>Clostridium perfringens</i> , (C) : Des colonies des bactéries revivifiables	42
Figure 17 : les résultats des dénombrements dans l'eau traitée : (A) : les colonies de milieu ENDO, (B) : le tube positif de milieu TSI, (C) : Le tube positif de milieu Schubert, (D) : les colonies rouges des streptocoques fécaux	44

Liste des tableaux

Tableau I : Nature des éléments contenus dans l'eau.	05
Tableau II : la répartition pluviométrie interannuelle des régions de la wilaya de Bouira.	11
Tableau III : les quatre (04) bassins versants hydrographiques.	11
Tableau IV : les cinq nappes de la wilaya de Bouira.	12
Tableau V : la capacité de trois barrages hydrauliques de la wilaya de Bouira.	12
Tableau VI : Les normes de qualité physicochimique selon l'OMS.	30
Tableau VII : Les normes de qualité bactériologique.	35
Tableau VIII : les principales étapes d'analyse d'eau brute.	42
Tableau IX : les principales étapes d'analyse d'eau traitée.	43

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Elle constitue l'hydrosphère, elle recouvre environ 72% de la surface de la terre. Le volume total d'eau que porte la terre est de 1,4 milliards de km³ ou 1,4 billions de m³ (1,4.10¹² m³). De ce volume, 2,53%, soit 35 millions de km³, est de l'eau douce. La majeure partie de l'eau de la planète est salée est contenue dans les différentes mers et océans. Une petite partie d'eau salée se retrouve aussi dans des aquifères souterrains (1%) et dans les lacs (0,006%) [1].

L'eau est d'une importance biologique et économique capitale. L'hydrosphère est fondement de la vie et des équilibres biologiques. Elle représente un pourcentage très important dans la concentration de tous les êtres vivants [2]. Elle varie de (50%) pour les bactéries à 70 % chez les animaux supérieurs et atteints 98% chez les méduses et les algues [3]. Le corps d'un être humain adulte est composé de 60% d'eau et une consommation minimale de 1,5 litre d'eau par jour lui est nécessaire. Généralement on ne peut survivre pendant plus de 2 jours sans eau, on peut perdre 40% de son poids corporel, tout le glycogène, toute la graisse, la moitié de ses protéines et survivre encore. Mais la perte de 20% d'eau entraîne la mort [4]. L'eau est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples mais s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade et surtout, la fourniture collective ou individuelle d'eau potable [2].

Lors de précipitation, l'eau ruisselle ou s'infiltre et se charge en composants des sols et des roches mères. Ainsi elle peut acquérir des sels minéraux en grande quantité et, d'autres éléments liés à l'activité de l'homme peuvent être entraînés (matières organiques, micro-organismes...) qui par leur nature et leur concentration peuvent être indispensables, acceptables, indésirables, voire toxiques ou dangereux... [5].

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles, à plus ou moins long terme, nuire à la santé des individus [6], elle constitue un réservoir important pour la survie et la dissémination de microorganismes qui sont à l'origine de nombreuses maladies infectieuses (Choléra, hépatite A ... etc.) dites maladies à transmission hydrique, ce qui la rend impropre à la consommation humaine [7]. C'est dans ce sens que des normes de qualité ont été définies pour juger la potabilité des eaux de consommation, et ce au niveau de chaque pays ou à l'échelle continentale.

Introduction

L'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion, doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Certains affirment en effet qu'elle sera, au troisième millénaire, un enjeu de guerres comme le pétrole l'a été et l'est encore aujourd'hui [8].

Le contrôle de qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humaine et même de toucher la santé toute une population.

L'objectif de ce travail consiste à

- ✓ Caractérise l'eau de boisson salubre
- ✓ D'apprécier les paramètres d'analyse physique, chimique et microbiologique de L'eau
- ✓ Mise en point des indicateurs de qualité microbiologique
- ✓ La planification d'analyse de qualité microbiologique

Notre plan de travail a été chamboulé par la situation exceptionnelle en raison de la flambée mondiale de l'épidémie de Covid-19 qui a également touché l'Algérie, obligeant les autorités à imposer un confinement au pays, c'est ce qui a affecté notre projet de fin d'étude.

CHAPITRE

1

I.1. Définition de l'eau

Nom féminin du latin "*Aqua*", L'eau est un liquide naturel, vital, inodore, sans saveur et transparent à l'état pur, composé d'hydrogène et d'oxygène, sa composition, H_2O , a été déterminée en 1783 par Lavoisier et Meusnier. Elle était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre [9, 10].

L'eau se présente sous multiples formes Pluie, glace, neige, sans oublier l'eau contenue dans le sol et la végétation [11, 12]. C'est également un élément indispensable à toute forme de vie sur notre planète [13].

L'eau est d'une importance physiologique capitale pour la vie sur terre et le climat [14]. Elle est quelque fois désignée sous le nom de "solvant universel" qui sert un milieu réactionnel pour tout métabolisme naturel et vivant [15,10]. Elle contient beaucoup de sels dissous et sur le plan chimique, une eau pure correspond à une eau distillée [14].

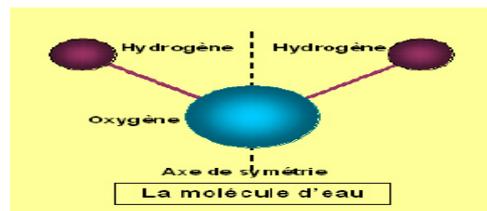


Fig 01 : Structure chimique de la molécule d'eau [15].

I.2. La composition de l'eau

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus, Sa formule chimique est H_2O , c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène par une liaison covalente [15,14].

La composition de l'eau varie de manière complexe dans l'environnement où elle se trouve en fonction des éléments chimiques entrant dans sa formation (eau douce, eau dure, eau juvénile, etc.) [16].

L'eau contient naturellement, en l'absence de toute ingérence humaine, une très grande variété de matières dissoutes, inertes ou vivantes : des gaz, des substances minérales ou organiques et des micro-organismes, comme indique le tableau I [14].

I.2.1. Les gaz dissouts

Lors du contact de l'eau naturelle avec l'air, les gaz de l'atmosphère peuvent se dissoudre. Les gaz dissous dans l'eau sont en majeure partie de $L'O_2$ et du CO_2 qui sont

absorbés par les gouttes de pluie. La solubilité de ces gaz dans l'eau dépend de la température, elle diminue lorsque la température augmente [10, 14, 17].

L'oxygène dissout son taux dans l'eau détermine directement la nature de l'écosystème aquatique aérobie ou anaérobie en outre il est indispensable à l'épuration des milieux aquatiques. Il permet en effet aux bactéries aérobies présentes dans les écosystèmes aquatiques de dégrader la matière organique biodégradable [10, 17].

Le gaz carbonique intervient dans les propriétés organoleptique (gout, odeur, etc.), c'est aussi un élément majeur de système calco-carbonique. Ainsi il joue un rôle important dans l'équilibre physico-chimique de l'eau [17].

I.2.2. Les matières minérales dissoutes

Les composés minéraux présents dans les eaux naturelles, trouvent leur origine dans les échanges qui se produisent entre l'eau et le sol (proviennent essentiellement du lessivage des sols par les eaux de pluie) et entre l'eau et l'atmosphère. Ils résultent aussi du métabolisme des éléments de la biomasse aquatique. Ils sont principalement des sels de calcium, magnésium, sodium et potassium sous formes de carbonates, sulfates, chlorures et nitrate [10,14].

I.2.3. Les matières organiques dissoutes (MOS)

Les MOS peuvent être présents sous forme dissoutes (carbohydrates, acide humique, pigment et composés d'origines artificielles comme les hydrocarbures, les solvants, ou les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton) [10].

Les MOS contenues dans l'eau de source sont surtout de provenance naturelle liée à la matière organique issue de la décomposition des plantes qui sont présentes dans le milieu traversé par les eaux d'infiltration. Mais il y a aussi des composés issus de l'activité humaine, des rejets urbains, industriels et agricoles (épandages, herbicides...) mais en faible quantité dans les eaux profondes. Ces matières sont très souvent à l'origine de couleurs, d'odeurs, ou de saveurs désagréables et peuvent aussi présenter une certaine toxicité [14,17].

I.2.4. Les matières colloïdales

Les matières colloïdales sont des particules de très petites dimensions contenues dans l'eau, dont le diamètre mesure entre 1 et 100 nanomètres. Elles sont responsables entre autre de la couleur et de la turbidité des eaux de surface. L'importance de l'état colloïdale peut être estimée en première approche par la turbidité sinon par la couleur de l'eau [17].

Tableau I : Nature des éléments contenus dans l'eau [14].

Forme des éléments dans l'eau	Nature des éléments
Matière en suspension	Sables, argiles, boues diverses, roches en débris, matières organique, minérales et végétales, débris diverse insolubles
Matière en émulsion	Matières organiques colloïdales, huiles minérales, goudrons, suies pétrole, argiles colloïdales
Matières organique solubilisées	Tourbes, déchets végétaux, matières azotés, produits de synthèse organique solubles, etc.
Sels minéraux	Carbonates-bicarbonates, sulfates-chlorures-nitrates
Gaz	Parmi les principaux : oxygène, azote, gaz carbonique, ammoniac

I.3. Les états physiques de l'eau

L'eau est un composé chimique simple [15]. Elle existe naturellement à l'état solide, liquide et gazeux et passe constamment de l'un à l'autre. Les changements de leurs états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère [18]. Elle est liquide à température et pression ambiantes. L'eau est gazeuse au-dessus de 100°C et solide en dessous de 0°C [15]. Sa plus grosse densité se situe à +4°C [14].

I.4. Le cycle de l'eau

L'eau est un élément fondamental de la vie, recouvrant 72% de la surface de la terre, et représentant une réserve totale de 1350 milliards de km³ dans la biosphère. Ce volume est constant et stable depuis 3 milliards d'années [12].

Toute cette eau se transforme et circule en permanence dans toutes les composantes du système climatique global, l'atmosphère, les océans, les terres immergées, la biosphère continentale et le Cryosphère : c'est le cycle de l'eau d'hydrosphère chauffée par l'énergie solaire, s'évapore et conduit à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se trouve précipitée sous avant d'être rejetées dans l'atmosphère, et en partie s'accumulent dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour, en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol forme de pluie, neige ou grêle sur lithosphère à la surface [14,19].

Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation, d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent et le cycle continu (Fig. 02) [20].

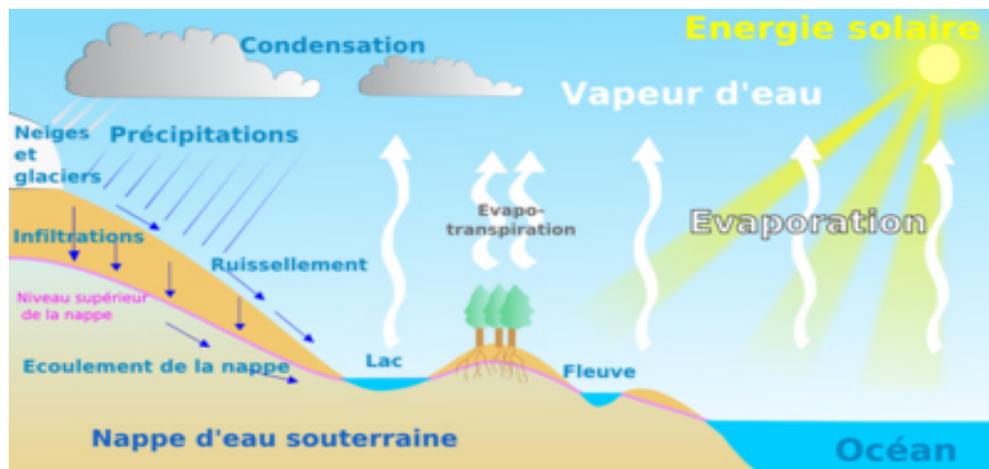


Fig 02 : Le cycle de l'eau dans la nature [21].

En résumé, on retiendra les phénomènes suivants :

1. Evaporation : chauffée par le soleil, l'eau des océans, des rivières et des lacs s'évapore et monte dans l'atmosphère.
2. Condensation : au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui, poussées par les vents, se rassemblent et forment des nuages.
3. Précipitations : les nuages déversent leur contenu sur la terre, sous forme de pluie, neige ou grêle.
4. Ruissellement : la plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste s'infiltrate dans le sol (pour former des nappes souterraines qui donnent naissance à des sources) ou ruisselle pour aller grossir les rivières qui à leur tour, vont alimenter les océans. Et le cycle recommence [15].

I.5. Situation de l'eau dans le monde

Au plan mondial, la question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour plus préoccupante, à cela plusieurs raisons : la première d'entre elle est la démographie galopante que notre planète connaît depuis deux siècles [22].

Aujourd'hui, un tiers de l'humanité vit dans situation dite de (stress hydrique). Alors que certains pays tels que le Brésil, la Russie, les Etats Unies, le Canada, la Chine l'Indonésie, l'Inde, la Colombie, et le Pérou ont la chance de posséder 60% des réserves mondiales d'eau

douces qui se renouvellent chaque année leur permettant de vivre dans l'opulence, d'autre n'ont pas d'eau en suffisance et connaissent des difficultés d'approvisionnement extrêmement fortes, ceux des régions arides notamment en banquent de façon âpre et cette situation n'est pas en passe s'améliorer [23].

I.6. L'importance de l'eau

L'eau est un élément constitutif du milieu naturel dans l'écosystème, c'est également un élément indispensable à toute forme de vie sur notre planète et recouvre les 3/4 de la surface du globe terrestre et elle se présente sous multiples formes Pluie, glace, neige, etc. sans oublier l'eau contenue dans le sol et la végétation.

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. Elle entre dans la composition du corps humain et la plupart des aliments. Elle est utilisée en alimentation humaine et animale, en industrie, en agriculture et autres secteurs. De par sa consommation joue également un rôle important dans la transmission des maladies hydriques par les agents pathogènes qu'elle véhicule [24].

I.6.1. L'eau dans l'alimentation

Sans eau, l'homme ne peut pas survivre. Il en est de même pour tous les êtres vivants. Les aliments déshydratés ne peuvent permettre, sans apport complémentaire d'eau, le développement et la reproduction normale des êtres vivants.

L'eau est très importante dans l'alimentation de l'homme, où elle permet de compenser les pertes hydriques par un apport de 2,2 litres dont 1,2 litres sous forme de boissons de toute nature et 1 litre représentant l'eau contenue dans les aliments [12].

I.6.2. L'eau dans l'organisme humain

L'eau est quantitativement le constituant majoritaire du corps humain. Même si la teneur des différents tissus est variable 10% pour l'ivoire des dents, 22% pour les os, 25% pour les masses grasses, 75% pour les muscles striés et 90% pour le plasma, Elle représente 60% du poids du corps de l'adulte mâle et 55% de celui de la femme.

Elle diminue avec l'âge. Peu après sa conception, le fœtus en contient 95%, après sa naissance le bébé joufflu 80%, l'adulte de 55% à 60% (selon le sexe) et les vieillards dont les rides se creusent 50% seulement [12].

I.6.3. L'eau dans les aliments

L'eau entre à des proportions variables dans la composition de tous les aliments. Elle est indispensable pour donner aux aliments la texture requise et permettre les réactions

biochimiques qui président à leur transformation. Les enzymes présents naturellement dans les aliments en cause d'origine microbienne sont appliqués dans de nombreuses biotransformations, Ils ne peuvent agir que si une certaine quantité d'eau est disponible.

Cette exigence en eau conditionne en particulier les fermentations mais aussi la plus parts des dégradations indésirables du produit de sa récolte à sa consommation [12].

I.6.4. L'eau dans l'industrie

L'eau est utilisée dans l'industrie à différentes fins :

- De façon directe : elle peut être utilisée dans l'entretien (lavage, nettoyage), soit dans le transport hydraulique, soit dans le refroidissement.
- De façon indirecte : dans la production de différents aliments.

Les besoins en eau de l'industrie alimentaire sont certes importants et divers [12].

I.6.5. L'eau dans l'agriculture

De tous les secteurs qui utilisent l'eau douce, c'est l'agriculture qui représente 70% des prélèvements mondiaux de sources naturelles. Toutes les plantes absorbent de l'eau, cette consommation est une nécessité pour leur croissance et leur reproduction, faut en effet 500 - 1000 litres d'eau pour fabriquer 1kg de grain (blé, riz, maïs, orge, soja) [25].

Dans certains pays, l'irrigation représente jusqu'à 95% de toute utilisation d'eau et joue un rôle important dans la production de nourriture et la sécurité alimentaire. L'agriculture irriguée peut entraîner une grande concurrence puisqu'elle représente 90% de l'utilisation d'eau dans certaines régions [12].

I.7. Usage mondial de l'eau

- **Le prélèvement total** : il désigne la quantité totale prélevée annuellement pour les besoins domestiques, industriels et agricoles.

- **Le prélèvement domestique** : il comprend les prélèvements d'eau de consommation personnelle, ceux des établissements commerciaux, services publics et autres usages municipaux. Il peut inclure des données de prélèvements d'usines raccordées au système d'égout.

- **Le prélèvement industriel** : il comprend les prélèvements d'eau des usines non raccordées au système d'égout municipal, et peut comprendre, dans certains pays, l'eau de refroidissement utilisée par des usines.

- **Le prélèvement agricole** : il comprend les prélèvements pour l'irrigation et l'élevage du bétail.

A l'échelle mondiale, il semble que les prélèvements n'exercent qu'une pression modérée sur les ressources en eau : ils ne représentent en 2000 que 9 % des ressources renouvelables et les consommations (part de l'eau prélevée non restituée au milieu de prélèvements sous forme liquide) environ 5 %.

Les différents prélèvements et consommations d'eau par secteur depuis 1900 jusqu'aux prévisions de 2050, pour l'an 2000 :

- Le principal utilisateur d'eau est l'agriculture irriguée (65 % des prélèvements et 84 % des consommations). Le ratio consommation/prélèvement de l'irrigation est de 70%. Ces prélèvements sont peu importants dans les pays tempérés (13 % du total en France). Mais plus le climat est sec, plus l'agriculture doit avoir recours à l'irrigation et plus sa part dans les prélèvements augmente. Des valeurs de l'ordre de 90 % sont fréquentes dans les pays arides.
- La part des prélèvements industriels dans les prélèvements totaux est de 20 % et de 4 % pour les consommations. Le ratio consommation/prélèvement est de 11 %.
- L'eau prélevée pour les usages domestiques représente 10 % des prélèvements totaux et 2 % des consommations. Le ratio consommation/prélèvement est de 14 % [26].

I.8. Situation de l'eau en Algérie

La crise de l'eau en Algérie est extrêmement préoccupante. La population s'accroît et s'entasse toujours dans les villes côtières, la régression des ressources en eau par habitant est patente et la quotidienne dans les grandes villes est désorganisée [27].

I.8.1. Ressources hydriques en Algérie

L'Algérie est un pays dont le climat a une dominance aride en été et tempéré humide en hiver. La tranche pluviométrique varie entre 200 à 400 mm/an selon les régions. C'est le Nord du pays qui dispose de la totalité des ressources en eaux superficielles et souterraines renouvelables.

Les progrès de la recherche en hydrogéologie et la multiplication des stations de mesures réparties à travers le pays, ont permis au Ministère de l'Hydraulique d'avoir de nouvelles estimations à partir de l'année 1987. Selon ces nouvelles estimations, les potentialités totales en eau mobilisables dans le pays avoisinent 19,1 milliards de m³ par an, dont 6,7 milliards sous forme d'eau souterraines soit 30 %, et 12,4 milliards en eau de surface, soit 70 %.

Outre leur faible quantité, les ressources hydriques superficielles sont soumises à des contraintes liées à la nature des terrains et à la fréquence des précipitations. Durant les

périodes de pluies, les Oueds qui drainent généralement des régions de collines et de montagnes, s'emplissent d'eaux superficielles qui charrient sur leur passage de grandes quantités de boues.

Les eaux souterraines constituent un capital essentiel pour l'alimentation en eau potable. Par ailleurs, la plupart des nappes souterraines en Algérie sont largement mobilisées et souvent sur exploitées, dans certaines régions à vocation agricole, les nappes ont atteint un seuil critique de pollution chimique. Au sud du pays, l'essentiel des ressources souterraines est constitué par le système hydrogéologique des eaux fossiles qui sont des eaux non renouvelables. Leur quantité a été évaluée à plus de 4900 milliards m³ [29].

I.9. Présentation de la Wilaya de Bouira

I.9.1. Situation géographique

La Wilaya de Bouira est située au Sud Est d'Alger avec une superficie de 4454 km². La Wilaya est limitée :

- au Nord par les deux Wilayas de Boumerdes et de TiziOuzou .
- à l'Est par les deux Wilayas de Bejaïa et de Bordj Bou Arreridj .
- au Sud par la Wilaya de M'Sila.
- à l'Ouest par les deux Wilayas de Blida et de Médéa (fig03) [30].



Fig 03 : Carte géographique représente la localisation des communes à l'échelle de la wilaya de Bouira [31].

I.9.2. Population

La Wilaya de Bouira compte une population de 833 868habitants soit une densité de 184 habitants au km², la wilaya compte 12 Daïras et 45 Communes [30].

I.9.3. Pluviométrie

La pluviométrie moyenne est de 660 mm/an au nord et de 400 mm/an dans la partie sud. Les températures varient entre 20°C et 40 °C de mai à septembre et entre 2°C et 12 °C de Janvier à Mars.

La précipitation maximale est 720 mm enregistré dans le nord (tableau II) [30].

Tableau II : la répartition pluviométrie interannuelle des régions de la wilaya de Bouira [30].

La zone	pluviométrie interannuelle (mm)
nord	720
centre	520
sud	320

La pluviométrie enregistrée au niveau du barrage de Koudiat Acerdoun est montré dans la figure 04.

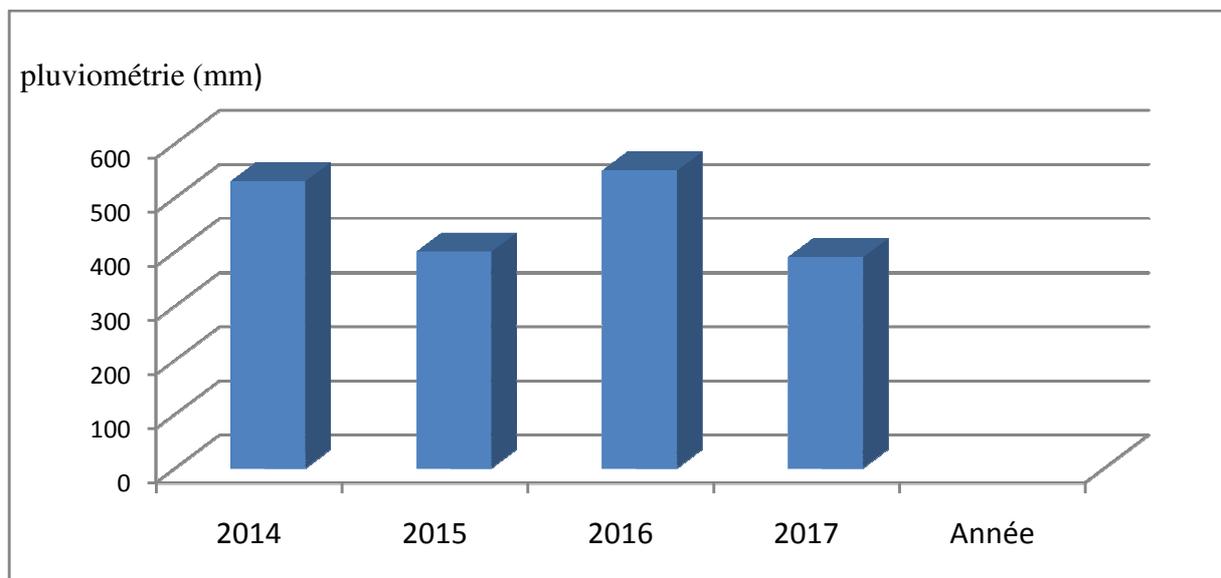


Fig 04 : Histogramme qui montre l'évolution de pluviométrie de barrage de Koudiat Acerdoun au niveau de la wilaya de Bouira [30].

I.9.4. Hydrographie de la Wilaya de Bouira

Son territoire se situe à l'amont des quatre (04) bassins versants hydrographiques indique dans le tableau III.

Tableau III : les quatre (04) bassins versants hydrographiques [30].

bassins versants	La Surface km ²
Sahel	2440
Isser	1166
Hodna	67
Hamiz	56

I.9.4.1. Hydrogéologie

La Wilaya dispose de cinq (05) nappes qui sont représentées dans le tableau IV :

Tableau IV : les cinq nappes de la wilaya de Bouira [30].

Les Nappes	La Surface hm ³
Nappe alluviale Isser	8
Nappe El Madjen et Bouira	25
Nappe des Arribs	2,5
Nappe d'El Esmam	5
Nappe alluviale vallée Sahel	8

Les eaux souterraines de la Wilaya de Bouira estimées à 48,5 Hm³, sont utilisées pour l'AEP, l'industrie et l'irrigation [30].

I.9.4.2. Mobilisation des Ressources en eau

-Barrages : La Wilaya dispose de trois (03) Barrages d'une capacité globale de 831 Hm³. Sont représentées dans le tableau V.

Tableau V : la capacité de trois barrages hydrauliques de la wilaya de Bouira[30].

Ouvrages	Capacité initiale(Hm ³)	Réserve à février 2020(Hm ³)
Barrage Lakhel	27	17
Barrage Tilésdit	164	150
Barrage Koudiat Acerdoune	640	260
Total	831	427
Soit un taux de remplissage global de : 52 %		

I.10. Origine et différents types d'eau

L'origine des eaux et les relations entre leurs compositions peuvent nous aider à envisager sur la base du mode de gisement, deux sources principales d'eau :

- Les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers.
- Les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, les quelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous

pouvons distinguer : Les eaux naturelles, potables et douces, les eaux dures et plates, les eaux salées, marais et, saumâtres [32].

I.10.1. Eaux naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrage) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer [32].

I.10.2. Eaux souterraines

Ce sont toutes les eaux qui se trouvent sous la surface du sol, en contact direct avec le sol ou le sous-sol (fig. 05) et se caractérisent par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante [32].

Ce sont les eaux des nappes phréatiques qui correspondent à 22 % des réserves d'eau douce, soit environ 1000 milliard de m³ de leur origine est représenté par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de pollution, elles sont donc excellentes en qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface [33].

Elles jouent un rôle actif dans les processus géodynamiques, grâce à la large distribution spatiale de leur écoulement et à leur forte capacité à interagir avec l'environnement [24]. Ce sont les eaux qui ne sont ni ré-évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement, s'infiltrant dans le sol et dans le sous-sol et s'y accumulant [34].



Fig 05 : l'eau souterraine [35].

I.10.3. Eaux de surfaces

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol, elles sont constituées par l'ensemble des masses d'eau

courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère [36].

Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit des rassemblements des eaux de ruissellement. Il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours, sa température varie en fonction du climat et des saisons [33].

Une eau de surface est ordinairement riche en O₂ et pauvre en CO₂ ce sont des eaux où viennent boire les animaux et où pataugent parfois les enfants. Leurs abords constituent souvent des lieux de défécation et les feuilles des arbres s'y accumulent et s'y décomposent généralement [37].

Sur les 13 600 millions de km³ d'eau qui couvrent notre planète, seulement 0,014 % est de l'eau douce utilisable par l'homme sous forme d'eaux de surface [38]. Elles sont rarement potables, car elles sont polluées bactériologiquement et chimiquement (industrie et agriculture). Elles doivent subir un traitement particulier les débarrassant de tous organismes pathogènes ou polluants dangereux pour les utilisateurs [10].

I.10.4. Eaux potables

La notion de potabilité est liée directement à l'alimentation humaine. Une eau naturelle est dite potable si elle présente les qualités suivantes :

- Fraîcheur et limpidité, absence d'odeur et de couleur.
- Goût agréable.
- Suffisamment douce, aérée.
- Minéralisation raisonnable.
- Absence de germes pathogènes [32].

I.10.4.1. L'origine de l'eau potable

L'eau potable peut provenir des nappes souterraines atteintes directement par les puits ou les forages ou encore cueillis au niveau des sources, Elle peut être aussi une eau de surface traitée, en distingue quelques types :

- 1- Les eaux souterraines
- 2- L'eau de source
- 3- l'eau de surface

A) Les eaux souterraines

Les eaux potables d'origine souterraines proviennent de deux sources essentielles : Les nappes profondes et les nappes phréatiques [25].

-Les nappes phréatiques ou nappes de puits : elles reposent non loin du sol (quelques dizaines de mètres) [37]. Les eaux des nappes phréatiques sont par contre peu recommandées pour l'alimentation humaine, car largement soumise aux pollutions microbiennes et chimiques.

-Les nappes profondes : elles sont situées à quelques centaines de mètres de profondeur et reposent sur des couches d'argile imperméables, profondes [37]. Les eaux des nappes profondes sont bien protégées des contaminants microbiens. Par contre, elles sont beaucoup plus accessibles aux souillures chimiques [39].

I.10.5. Eau de source

Les eaux des sources sont des eaux adaptées à la consommation humaine, microbiologiquement saines et protégées contre les risques de pollution. Les eaux des sources comme les eaux minérales proviennent d'une nappe ou d'un gisement souterrain (fig. 06), exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité des quelles l'eau est conditionnée [40].



Fig 06 : Source d'Izemourene dans la Wilaya de Bouira[41]

I.10.6. Eaux douces

On parle d'eau douce par opposition aux eaux salées et aux eaux dures [32].

I.10.7. Les eaux plates

Ce sont des eaux caractérisées par un manque total de saveur, pourvu en O₂, sans fraîcheur naturelle [32].

I.10.8. Eaux dures

Une eau dure incruste à froid ou à chaud les récipients qui la contiennent. La dureté est engendrée par la présence des ions calcium, magnésium, et un à degré moindre le fer et l'aluminium [32].

I.10.9. Eaux de marais

Les eaux de « marais » ou « tourbier » sont des eaux douces caractérisées par une faible valeur de pH, due à la présence d'acides organiques et qui les rend très corrosives.

On les appelle parfois « eaux rouges » (fig. 07) en raison de la présence des particules à base d'oxyde de fer en suspension [32].

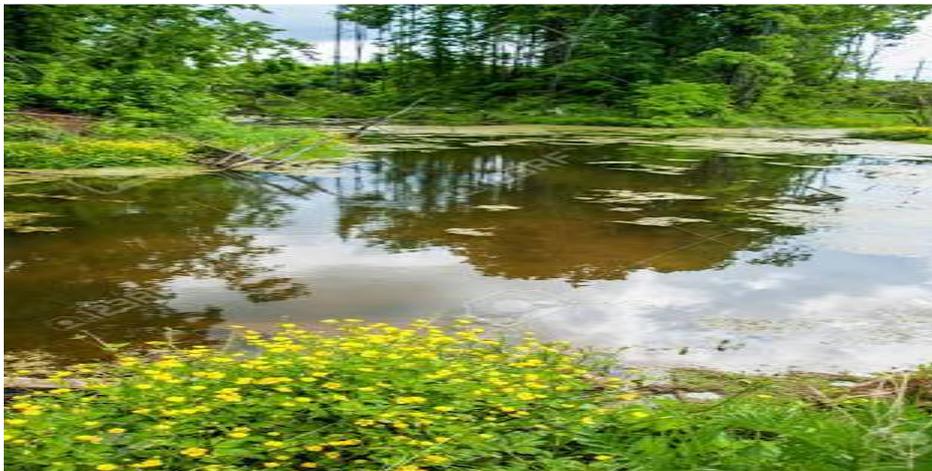


Fig 07 : l'eau de marais [42].

I.10.10. Eaux de mers

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans aux quels ils sont reliés d'autre part [32].

I.10.11. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface (fig 08), mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversé. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [43].



Fig 08 : Les eaux saumâtres [44].

I.11. La pollution de l'eau

I.11.1. La pollution

La pollution est une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu. Elle entraîne une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement [45].

I.11. 2. La pollution de l'eau

C'est la contamination de l'eau par les corps et substances étrangers tels que des micro-organismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autres; dues à des déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de matières de toute nature et, plus généralement, tout à fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques [33].

I.11.3. Les types de la pollution

On distingue plusieurs types de pollution, qui peuvent avoir une origine domestique, agricole ou industrielle :

I.11.3.1. La pollution physique

Elle peut être thermique, radioactive ou due au transport de MES. Ces dernières créent la turbidité qui donne à l'eau un aspect peu agréable, les pollutions radioactives et thermiques proviennent quant à elles du rejet de radio-isotopes ou d'eaux chaudes ayant servi au refroidissement des centrales électriques et nucléaires.

Les conséquences directes de ce rejet, sont l'élévation de la température des eaux naturelles, ce qui modifie le taux d'O₂, augmente l'activité cellulaire et la respiration de la biocénose, diminue la diversité du phytoplancton et peut provoquer la prolifération d'espèces thermophiles [46].

I.11.3.2. La pollution chimique

Les polluants chimiques sont nombreux et d'origines diverses : déchets industriels minéraux et organiques. Ils peuvent être dégradables ou non dégradables. Ce sont les engrais agricoles, les pesticides, les composés organochlorés, les hydrocarbures, les détergers. Certains éléments toxiques (Pb, Ar, ...) dits bio accumulables, peuvent, à travers la chaîne alimentaire depuis le plancton, atteindre l'homme, et provoquent des altérations graves de certains organes [46].

I.11.3.3. La pollution microbiologique

La contamination microbiologique est une forme de pollution de l'eau engendrée par la présence de microorganismes pathogènes [46].

La pollution microbienne est principalement liée aux eaux usées urbaines. Ces dernières sont très chargées en coliformes, bactéries pathogènes, virus et parasites, l'élimination de ces bactéries par les matières fécales contamine les égouts urbains, les eaux résiduaires hospitalières et les eaux de surface [46].

I.11.4. Les sources de pollution

I.11.4.1. Source domestique

Proviennent des utilisations quotidiennes de l'eau à la maison (eau des toilettes et des lavages). Celles-ci représentent environ 150 litres par jour et par habitant. On distingue deux types d'eaux usées domestiques :

– les eaux de lavage ou eaux ménagères, qui proviennent des salles de bain et des cuisines qui sont généralement chargées de graisses, de débris organiques, de détergers et de solvants.

– les eaux vannes, qui viennent des toilettes et sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux. La pollution journalière produite par une personne est évaluée à :

- 70 à 90 g de MES.
- 60 à 70 g de MO.
- 12 à 15 g de matières azotées.
- 3 à 4 g de phosphore.
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml [47].

I.11.4.2. Source industrielle

Les effluents industriels peuvent causer des pollutions organiques (industries agroalimentaires, papeteries), chimiques (tanneries, usines textiles, travaux des métaux...) ou

physiques (réchauffement par les centrales thermiques, MES des mine sou de la sidérurgie, radioactivité...).

Ils peuvent avoir un effet toxique sur les organismes vivants et nuire au pouvoir d'autoépuration de l'eau, ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, radioactivité...) [47].

I.11.4.3. Eaux usées pluviales

Pendant les périodes orageuses, elles peuvent constituer une importante source de pollution des cours d'eau. Quand l'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) pendant son ruissellement, elle se contamine par des résidus : huiles de vidanges, carburants dans le périmètre urbain, et engrais et pesticides en zones rurales [46].

I.11.4.4. Source par l'agriculture

La pollution agricole se développe depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'intensification, surtout dans le domaine des cultures labourées (sur fertilisation, traitements excessifs, érosion des sols). Les herbicides, insecticides et autres produits phytosanitaires de plus en plus utilisés s'accumulent dans les sols, les nappes phréatiques et la chaîne alimentaire [47].

I.11.4.5. Effluents des établissements hospitaliers

Les effluents hospitaliers ont une qualité proche des eaux usées domestiques avec un volume supérieur. Les effluents générés par l'activité hospitalière peuvent présenter un danger potentiel pour l'homme et son environnement compte tenu de la nature et de l'importance des substances spécifiques qu'ils contiennent (résidus médicamenteux, réactifs chimiques, antiseptiques, détergents, révélateurs et fixateurs de radiographies, etc.) et en raison de leur évacuation, au même titre que les rejets urbains classiques, vers le réseau d'assainissement communal sans traitement préalable [46].

I.11.5. L'impact de la pollution des eaux sur l'environnement

La pollution des eaux a un nombre d'effets : en outre elle produit des changements complexes dans les eaux réceptrices et affecte les usages ultérieurs de l'eau de différentes manières plus ou moins apparent. On distingue trois types de désutilités, de gravité croissante : les polluants peuvent d'abord nuire à l'agrément de la vie, ils peuvent ensuite à la santé de l'homme, ils peuvent enfin menacer la survie même de l'espèce [48].

I.11.5.1. Impact sur le milieu naturel

Une eau usée urbaine ou industrielle peut avoir suivant la nature et concentration de ses constituants, un certain nombre d'effet sur le milieu récepteur, même après avoir subi une épuration.

- ❖ Les MES, même en concentration faible sont susceptibles de réduire la transparence du milieu.
- ❖ La modification des équilibres physico-chimiques du milieu et notamment les mécanismes de réduction avec les formes métalliques se fait grâce à la présence de : Nitrate, de phosphates, et l'effet précipité des matières organiques, les effets propres de ses métaux sur l'environnement peuvent accroître à cause de précipitation [9].

I.11.5.2. Impact sur la faune et la flore

Les substances nocives contenues dans les eaux usées déversées dans le milieu naturel peuvent en effet être absorbées et concentrées à plusieurs étapes par des microorganismes aquatiques.

Ces substances peuvent détruire les êtres vivants et végétaux dans les rivières et les lacs, ainsi que les micro-organismes qui interviennent dans l'épuration biologique des eaux usées.

L'altération que l'on peut constater dans la végétation des certains étangs ou les cours d'eau sont souvent le témoin d'une pollution directe par des produits toxiques, ainsi, l'apport trop important d'élément nutritifs peut induire une prolifération intense d'algues aboutissant au phénomène de l'eutrophisation qui limite les possibilités de vie [9].

I.11.5.3. Impact sur l'homme

L'eau est essentielle à la vie mais elle peut être contaminée par des déchets humains, et animaux contenant des microorganismes pathogènes pouvant provoquer des épidémies graves connues sous le nom de maladies à transmission hydrique [9].

I.11.6. Les maladies à transmission hydrique (MTH)

Les maladies à transmission hydrique se définissent comme toute maladie affectant un individu par l'intermédiaire de la consommation d'eau non potable [41].

Elles font partie des maladies infectieuses les plus préoccupantes observées au sein des populations des pays en développement. D'après OMS et l'UNICEF« les maladies liées à l'eau sont une tragédie humaine dont le poids se fait de plus en plus lourd, tuant plus de 5 millions de gens chaque année (10 fois le nombre de personnes tuées par les guerres). Environ

2,3 milliards de gens souffrent de maladies dues à une mauvaise qualité de l'eau [49]. Elles sont la principale cause de mortalité infantile de nombreux pays du tiers monde [50]. Ces maladies proviennent de la pollution humaine ou animale par des matières fécales et de la pollution chimique [49].

L'homme peut être atteint de maladies mais aussi de porteurs sains qui disséminent des micro-organismes pathogènes sans être eux-mêmes victimes de troubles. La voie de contamination par les maladies hydriques est la voie féco-orale [51]. Ces micro-organismes peuvent être : des bactéries pathogènes ou opportunistes, Des protozoaires, des parasites et des virus sont également impliqués [13].

Les maladies d'origine hydrique englobent les diarrhées infectieuses en particulier choléra et shigelloses, fièvre typhoïde, gastro-entérite, maladies diarrhéiques, hépatites virales A et E, les poliomyélites [9, 52].

I.11.6.1. Quelques Maladies hydriques d'origine bactérienne

A) Le choléra :

C'est une maladie contagieuse d'origine bactérienne qui provoque des infections intestinales aiguës, dont les symptômes sont diarrhées fréquentes, vomissements incontrôlables, soif intense et une déshydratation rapide [19]. Elle est provoquée par le bacille à Gram négatif *Vibrio cholerae*, qui produit une toxine responsable des symptômes associés à la maladie (fig. 09) [41].

Plus de 200 sérogroupes de *Vibrio cholerae* ont été identifiés, mais seuls deux d'entre eux, O1 et O139, sont associés au syndrome clinique cholérique capable de produire de larges épidémies [25]. Après l'adhérence à la surface des cellules épithéliales de l'intestin *V. cholerae* en se multipliant produit une entérotoxine altérant le processus ionique avec pour conséquence des pertes d'eau et d'électrolytes sous forme de diarrhées sévères et de vomissement [53]. Le volume d'eau éliminé peut atteindre 15 à 20 L par jour. La dose infectante est importante, de l'ordre de 10^8 bactéries [12].

Le choléra est une maladie à incubation courte allant de quelques heures à 5 jours. Donc cette maladie peut entraîner la mort dans 80% des cas graves non traité [14,19].

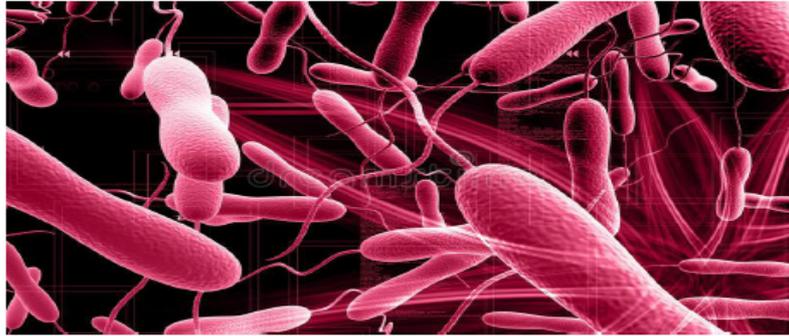


Fig 09 : Bactérie *Vibrio cholerae* responsable de choléra [41]

B) Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes

Ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles (fig. 10) *Salmonella typhi* et *Salmonella paratyphi* A, B, et C. Elles sont caractérisées par la fièvre, céphalées, diarrhée, douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (le tymphos) et peuvent avoir des complications graves, parfois mortelles : hémorragies intestinales, collapsus cardiovasculaire, atteintes hépatiques, respiratoires, neurologiques [9].

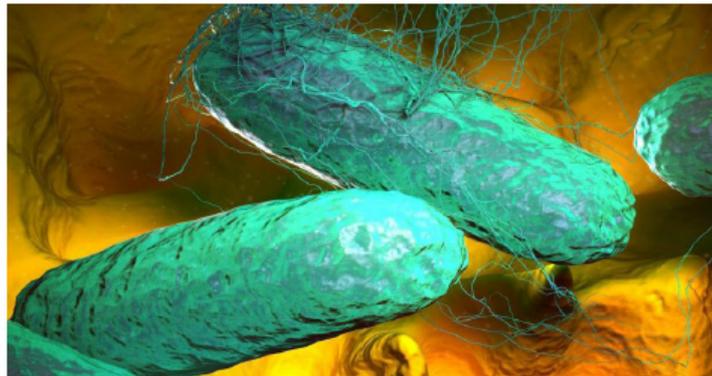


Fig 10 : Bactérie *Salmonella enterica typhimurium* responsable de la fièvre typhoïde [41].

CHAPITRE

II

II.1. Définition de l'eau potable

L'eau est un élément essentiel pour le développement de la vie. En raison de son caractère vital, l'eau doit être mise à la disposition des populations sous forme potable et donc de bonne qualité sanitaire [53].

Une eau potable se définit comme étant une eau exempte de germes pathogène qui provoquent des maladies à transport hydrique, de substances toxiques, ne contenant pas de quantités excessives de matières minérales et organiques. Elle doit par ailleurs, être limpide incolore et ne présenter aucun goût ou odeur désagréables. Les qualités requises sont donc d'ordre physique, chimique et bactériologique [13].

Selon l'O.M.S, l'eau est potable lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à ceux qui la consomment et elle doit être exclue de micro-organismes pathogènes et de substances toxiques, mais elle peut contenir une certaine quantité de sels minéraux et de microorganismes saprophytes. En outre elle doit être agréable à boire [10].

II.2. Les critères de potabilité

Nous obtenons notre eau de boisson de différentes sources selon l'endroit où nous vivons dans le monde (L'eau souterraine, eau de surface et l'eau de pluie) [54].

Pendant que l'eau suit son cycle, elle amasse naturellement beaucoup de choses sur son chemin. La qualité de l'eau diffère naturellement selon le lieu, la saison, et les divers types de roches et sols dans lesquels elle se déplace. L'eau peut aussi être polluée par les activités humaines comme la défécation en plein air, un traitement incorrect des eaux usées, les décharges sauvages, de mauvaises pratiques agricoles, et les déversements de produits chimiques dans les sites industriels [54].

Même si l'eau est claire, elle n'est pas forcément sûre à consommer. Il est important d'évaluer la salubrité de l'eau en prenant en compte des critères stricts fixés par le ministère de la santé, le conseil supérieur du secteur d'hygiène publique [15, 54].

Ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile. Pour cette raison l'OM a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson [15, 55].

Aujourd'hui, 63 paramètres contrôlent la qualité de l'eau. On peut distinguer trois types de paramètres :

-Paramètres organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur).

-Paramètres physiques et chimiques (température, conductivité, minéraux, métaux, produits chimiques et pH).

- Paramètres microbiologiques (bactéries, virus, protozoaires et helminthes) [54, 41].

II.2.1. Paramètres organoleptiques

Ces paramètres concernent les qualités sensibles de l'eau qui sont liés à la couleur, à la saveur, à l'odeur et à la transparence (turbidité) de l'eau [12]. Afin d'obtenir une bonne qualité organoleptique, l'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est d'ailleurs principalement pour ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Néanmoins, il faut tout de même noter que ce sont des paramètres de confort. En effet, ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur spécifique et néanmoins être consommable [56].

II.2.1.1. La couleur

Paramètre traduit une nuisance d'ordre esthétique. Dans l'idéal, l'eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité [15].

La coloration des eaux peut avoir une origine naturelle, industrielle chimique, ou biologique. Elle est due à la présence des MO, comme par exemple les substances humiques (les acides humiques qui réagissent, par ailleurs, avec le chlore pour donner des composés organohalogénés indésirables.), les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. Il est important de la mesurer, étant donné qu'une couleur élevée provoque son rejet par le consommateur [12, 57, 58].

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UC (Unité de couleur) à partir duquel le consommateur peut percevoir la coloration de l'eau dans un verre d'eau [12].

II.2.1.2. La saveur et l'odeur

Ces deux propriétés sont simultanément excitées et ils sont extrêmement difficile de les distinguer l'un de l'autre, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer [12]. La plupart des eaux, qu'elles soient traitées ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur.

Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [15].

Les odeurs sont causées par la présence de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganique comme (le chlore, les hypochlorites...) ou organiques comme (les esters, les alcools...) qui provient de la décomposition de matière animales ou végétales. Plusieurs corps peuvent donner à l'eau une saveur désagréable comme le fer et

manganèse, le chlore actif, le phénol et les chlorophenoles. La saveur est liée à la minéralité de l'eau [10].

Les problèmes de goût et d'odeur sont la cause principale des plaintes formulées par les usagers. Les eaux de consommation doivent posséder un goût et odeur non désagréable [12].

II.2.1.3. La turbidité

C'est le premier paramètre perçu par le consommateur [41]. La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre [15].

La turbidité de l'eau est due à la présence de matériaux solides en suspension, notamment les matières colloïdales, argiles, limons, grains de silice, matière organique et plein d'autres substances comme le zinc, le fer, le manganèse et le sable, etc., qui réduisent sa transparence et donnent un aspect trouble. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité [58, 60].

La mesure de turbidité est ainsi un moyen qui permet de s'assurer l'élimination de certains microorganismes qui résistent au traitement chimique, comme les spores ou les kystes car il y a une bonne corrélation entre l'abattement des microorganismes et la turbidité [57].

II.2.2. Paramètres physicochimiques

Ce sont tous les éléments physique ou chimique constitutif de la structure naturelle d'une eau telles que le pH, la dureté, la température et la conductivité, etc. qui délimitent des concentrations maximales pour un certain nombre d'éléments, notamment des ions comme les chlorures, le potassium et les sulfates, que l'on doit prendre en compte lors de l'analyse de l'eau [56, 41].

La qualité physico-chimique de l'eau informe sur la localisation et l'évaluation d'un niveau de pollution, en fonction d'un ensemble de paramètre. Basée sur des valeurs de références, elle s'apprécie à l'aide de plusieurs paramètres [60].

II.2.2.1. Paramètres physiques

A) La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels est impliquée dans la conductivité électrique ainsi la détermination du pH [41].

Une température élevée peut favoriser des goûts ou odeurs désagréables. De plus, elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biologiques dans le réseau, influence la

croissance bactérienne, l'activité bactérienne s'accroît nettement lorsque la température dépasse 15°C [57].

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante et sans risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité [15].

B) La Conductivité

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau donc elle permet de savoir si l'eau analysée est fortement chargée en sels minéraux ou proche de ce que l'on appelle une eau chimiquement pure, c'est-à-dire dépourvue de sels minéraux. L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S /m) [14, 20].

La conductivité à la plus part du temps, une origine naturelle due au lessivage des terrains ou une origine d'activité humaine (agricole ou domestique) contribuant aussi à l'accroissement de la conductivité. Elle est très utile pour mettre en évidence la qualité de l'eau [12].

II.2.2.2. Paramètres chimiques

La plupart des produits chimiques ne sont que rarement présents, et beaucoup d'entre eux sont le résultat de la contamination humaine. Seuls quelques produits chimiques ont entraîné des effets sanitaires à grande échelle chez les personnes buvant une eau qui en contient des quantités excessives. Parmi ceux-ci on trouve le fluorure, l'arsenic et les nitrates, la présence de ces trois contaminants doit être contrôlée en priorité [54].

La deuxième priorité d'analyse de qualité de l'eau doit concerner des paramètres chimiques qui conduisent couramment l'eau à être rejetée pour des raisons esthétiques, comme les métaux (surtout le fer et le manganèse) et les matières dissoutes totales (salinité) [54].

Lorsque l'eau est désinfectée avec du chlore, il est aussi important de contrôler la qualité de l'eau de boisson en termes de pH et de chlore résiduel libre, qui sont des indicateurs d'un traitement approprié et efficace comme le cuivre ou le plomb provenant de la pollution industrielle [54].

C) Le PH

L'eau naturelle pure est neutre. Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau, il doit être surveillé au cours de toute opération de traitement [41].

Un pH inférieur à 7 peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux des canalisations, avec entrainement des éléments indésirables comme le plomb et le cuivre.

Lorsque le pH est supérieur à 8 il y a diminution progressive de l'efficacité de la décontamination microbienne par le chlore. L'O.M.S préconise pour l'eau destinée à la consommation humaine un pH compris entre 6,5 et 8,5 [20, 41].

Les équilibres physico-chimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité et la température [61].

D) Le chlore résiduel

Le chlore est un produit chimique utilisé pour la désinfection de l'eau. Il est important de le mesurer, car cela sert à contrôler le dosage qui est appliqué ainsi que son évolution durant le traitement. Les principaux produits utilisés sont : l'hypochlorite de calcium, l'hypochlorite de sodium et le chlore gazeux [41].

Méthode de Test chlore résiduel : La méthode la plus rapide et la plus facile pour tester la présence de chlore résiduel est le test DPD en utilisant un comparateur colorimétrique. Une pastille de DPD est ajoutée à un échantillon d'eau, et teint l'eau en rouge. L'intensité de la couleur est comparée visuellement à celle d'une échelle de couleur afin de déterminer la concentration en chlore, plus la couleur est foncée, plus la teneur de l'eau en chlore résiduel est élevé (fig. 12) [64].



Fig 11 : le test DPD par un comparateur colorimétrique.

De fortes concentrations de chlorures peuvent restreindre l'utilisation de l'eau en raison de la saveur qu'ils donnent et l'effet laxatif qu'ils peuvent causer. Le décret n° 2.914/2011 du Ministère de la Santé brésilien établit le niveau de 250 mg/L comme maximum autorisé pour l'eau potable [58].

E) La minéralisation (salinité)

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que carbonates, bicarbonates (HCO_3^-), les chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium Na^+ , potassium (K^+), manganèse (Mn^{2+}). Une minéralisation excessive donne un goût salé [12].

F) L'alcalinité

On peut dire que l'alcalinité mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides. La mesure de l'alcalinité est d'une importance fondamentale dans le processus de traitement de l'eau, car c'est en fonction de sa teneur que s'établit le dosage des produits chimiques utilisés [58].

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes [61].

G) La dureté

La dureté totale est calculée comme la somme des concentrations des ions calcium et magnésium dans l'eau, exprimés en carbonate de calcium (CaCO_3). La dureté d'une eau peut être temporaire ou permanente [58].

La dureté temporaire (carbonatée) est représentée par la teneur en bicarbonate de calcium et de magnésium. Elle est dite temporaire, car elle est éliminée par ébullition de l'eau, là où la dureté permanente (non carbonatée) est liée aux sulfates et aux chlorures de calcium et de magnésium, elle est éliminée par traitement au carbonate de sodium [17].

Le décret n° 2.914/2011 de ministère de santé établit la teneur en dureté totale de 500 mg/L de CaCO_3 comme valeur maximale autorisée pour l'eau potable [58].

H) Les gaz dessous**-L'oxygène dissout (O_2)**

La présence OD dans l'eau est indispensable ; l' O_2 permet de maintenir la qualité de l'eau, notamment son goût ou son degré d'asepsie (Toute baisse de la teneur en oxygène dissous détectée sur le réseau peut alors être interprétée comme un signe de croissance biologique.) [14, 57].

Sa solubilité est liée à plusieurs facteurs particulier : la température, la pression atmosphérique et la salinité et aussi en fonction de l'origine de l'eau. Il est exprimé en mg/l [60].

I) Paramètres indésirables

Ce sont des substances dont la présence est tolérée tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil ou de faible quantité. On peut citer par exemple la teneur maîtrisée en fluor, en nitrates, en nitrites, en sels minéraux, etc. [10, 56].

-Les fluorures

L'adjonction de fluor dans l'eau pour la consommation humaine a pour finalité de prévenir les caries dentaires. Aujourd'hui, cette procédure est considérée comme un processus

normal de traitement de l'eau et la teneur optimale de fluor est une partie essentielle de sa qualité [58].

-Les matières organiques

Elles constituent un milieu nutritif favorable au développement des microorganismes, notamment les pathogènes. Sa présence est un indice de pollution généralement d'origine récente. Elles favorisent l'apparition de « mauvais goûts », notamment à la suite d'une coloration et d'odeurs désagréables [14].

-Ammonium : Il est important d'éliminer l'ammonium avant l'introduction de l'eau dans le réseau parce que l'ammonium réagit avec le chlore pour produire des chloramines, qui sont des désinfectants moins efficaces et peuvent provoquer des goûts désagréables. Certaines bactéries prolifèrent aussi en transformant l'ammonium en nitrites puis en nitrates [57].

-Les nitrites (No₂) : Leur présence dans l'eau est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, ou à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates et leur présence dans l'eau est rare et en faible quantité [14]. Les nitrites peuvent provoquer dans certains cas des phénomènes de méthémoglobinisation pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon [20].

-Les nitrate (NO₃) : Les nitrates dans l'eau proviennent généralement des engrais azotés, de la décomposition des matières végétales et animales, des effluents industriels, dans les eaux naturelles non polluée. Dans l'eau de consommation, la teneur des nitrates est limitée à 10 mg/L [14].

J) Paramètres toxiques

Les normes retenues pour ce groupe de substances telles que les pesticides, l'arsenic (As), les métaux lourds comme le plomb (Pb), le chrome (Cr) et le cadmium (Cd), etc. sont calculées en tenant compte de la marge d'incertitude adoptée en toxicologie, Les teneurs tolérées sont extrêmement faibles car ce sont des poisons mortels pour l'homme [10,56].

-Arsenic (As) : Il est présent dans certaines réserves d'eau potable, y compris les puits. L'exposition à de fortes concentrations d'arsenic peut avoir des effets sur la santé, L'arsenic n'a ni goût ni odeur. Il est donc impossible de savoir si l'eau potable en contient. Parce que l'arsenic peut causer le cancer, il faut limiter le plus possible les concentrations d'arsenic dans l'eau potable [59].

-Les métaux lourds : La définition des métaux lourds varie d'un groupe à l'autre. Certains auteurs prennent en considération la notion de toxicité, et d'autre les définissent comme étant

des éléments à l'état de trace au vu de leurs faibles concentrations en milieu naturels. Les trois métaux étudiés sont :

- Cadmium (Cd) : C'est l'un des métaux les plus toxique et relativement rare, a pris de l'importance comme contaminant de l'environnement seulement à la cour des soixante dernières années.
- Cuivre (Cu) : Il est essentiel au développement de toute forme de vie, cependant son excès affecte le bon fonctionnement de divers organes.
- Plomb (Pb) : l'origine dans les eaux potables distribuées est exclusivement le contact avec des tuyauteries en plomb) [60].

Ces affections sont principalement gastro-intestinales et leurs symptômes incluent des nausées, vomissements, diarrhées, fièvres et maux d'estomac [51].

Les substances proviennent de pollution chimique ne sont pas éliminées par l'organisme et peuvent devenir toxiques si elles sont ingérées en grande quantité comme le plomb (Pb) qui peut être à l'origine du saturnisme, ainsi que de certains dysfonctionnements physiques (trouble de la reproduction, insuffisances rénales, etc.), les nitrates qui peuvent entraîner un empoisonnement du sang (la maladie bleue) qui affecte plus particulièrement les nourrissons, les pesticides qui peuvent engendrer certains cancers et maladies neurologiques. Enfin, l'arsenic (As) qui peut être cancérigène [63].

Ci-dessous, le tableau VI récapitulatif des paramètres physicochimiques de potabilisation de l'eau suivant les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau VI : Les normes de qualité physicochimique selon l'OMS [14].

	Paramètres physique- chimiques (mg/L)	Recommandation(OMS)
Paramètres physiques	Température PH	Ne doit pas dépasser 25°C 6,5< Ph<8,5
Paramètres physiques	Chlorures (Cl-) Sulfate (SO ₄ ⁻²) Magnésium Sodium (Na) Potassium (K) Résidu Sec	<200mg/l <250 mg/l < 50mg/l <150 mg/l < 12mg/l <1500 mg/l
Paramètres physiques indésirable	Nitrate (NO ₃) Nitrite (No ₂) Ammonium (NH ₄) Fer (Fe) Manganèse Mn Cuivre (Cu) Zinc (Zn) Phosphore (P)	<50 mg/l <0,1 mg/l <0,5 mg/l <0,2 mg/l <0,05 mg/l < 01mg/l <05 mg/l <0,01mg/l

Paramètres physiques Toxique	Arsenic (AS) Cadmium (Cd) Cyanure (CN) Chrome totale (Cr) Mercure (Hg) Nickel (Ni) Plombe(Pb)	< 0,05mg/l <0,005mg/l <0,05mg/l <0,05mg/l <0,001mg/l <0,05mg/l <0,05mg/l

II.2.3. Les paramètres microbiologiques

Généralement, tous les ressources d'eaux soient des lacs, des rivières, des fleuves, aussi bien des nappes phréatiques un peu profondes, contient 3 type des germes : typiquement aquatique, tellurique (due par ruissellement) et des germes de contamination humaine ou animale (contamination fécal), que ce soit le type du germe il peut engendre des maladies infectieuses chez l'homme [46].

Dans le domaine de la qualité des eaux de boisson, les analyses bactériologiques concernent non pas des microorganismes pathogènes mais des germes jouant un rôle d'indicateur. Ces germes sont spécifiques de la flore intestinale et ne sont pas nécessairement pathogène. En plus de leur rôle d'appréciation du risque d'une contamination par des matières fécales pouvant véhiculer des organismes pathogènes, permettant également d'évaluer un traitement de désinfection de l'eau.

- Les indicateurs liés à l'efficacité des traitements : bactéries hétérotrophes totales, les coliformes totaux.
- Les indicateurs d'une contamination fécale : les coliformes fécaux, *E. coli*.
- Les indicateurs modèles de pathogènes : *E. coli*, *Salmonella*, les virus [60].

II.2.3.1. Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale

Trois indicateurs sont à noter : les Coliformes totaux, Coliformes fécaux, et Les streptocoques fécaux.

A) Les coliformes

Le terme coliforme regroupe un nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des enterobactériaceae [13], correspond à des organismes en bâtonnets, ce sont des aéro-anaérobies facultatifs, Gram négatif, non sporulant, oxydases négatifs, capables de se multiplier en présence de sels biliaries ou d'autres agents de surface ayants des propriétés équivalentes (inhibitrices) et capables de fermenter le lactose avec production de gaz à 35-37°C [64].

La raison du choix de ce groupe de bactéries comme indicateur de contamination de l'eau est due aux facteurs suivants :

- On les trouve dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris les humains, elles sont facilement détectables et quantifiables par des techniques simples et économiquement viables, sur n'importe quel type d'eau.
- Sa concentration dans l'eau contaminée a une relation directe avec le degré de contamination fécale de cette dernière.
- Elle a la durée de survie la plus importante chez les bactéries pathogènes intestinales, car elles sont moins exigeantes sur le plan nutritionnel et sont incapables de se multiplier dans le milieu aquatique ou se multiplient moins que les bactéries entériques.
- Elles sont plus résistantes aux désinfectants et aux agents tensioactifs que les bactéries pathogènes [58].

B) Les coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries que l'on retrouve fréquemment dans l'environnement, par exemple dans le sol ou la végétation, ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les êtres humains. Les coliformes totaux n'entraînent en général aucune maladie, mais leur présence indique qu'une source d'approvisionnement en eau peut être contaminée par des micro-organismes plus nuisibles [15].

Les coliformes comprennent les genres : *Esherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia* [46].

C) Les coliformes fécaux (Coliformes Thermotolérants)

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de coliformes totaux, l'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes[4].

Le groupe des coliformes fécaux comprend les espèces suivantes : *Citrobacter freundii*, *Citrobacter diversus*, *Citrobacter amalonaticus*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Esherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Moellerella wisconsensus* *Salmonella* (sous-genre III *Arizona*) et *Yersinia enterocolitica* [65].

Un autre test peut fournir les mêmes indications que celles fournies par le dénombrement des coliformes fécaux, c'est le dénombrement des *E. coli* présumés qui correspondent à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, à 44°C.

E.coli : L'espèce la plus fréquemment associée aux coliformes fécaux est *E.coli* représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermo-tolérants détectés [66].

D) *Escherichia coli*

E.coli est l'espèce du genre *Escherichia* des entérobactéries. Appelée communément "colibacille" ou "bacille a colon" (fig. 13). *E.coli* est un habitant de l'intestin et les selles des animaux et des reptiles à sang chaud. Cette espèce qui a fait l'objet d'un très grand nombre d'études constitue le modèle des bacilles à Gram⁻ aérobies. La plupart des *E. coli* se multiplient rapidement (18 à 24 h) sur les milieux habituels [67]. Les colonies ont en moyenne 2 mm de diamètre, et 2 à 4 microns de long sur 0,4 à 0,6microns de large. Elles sont rondes, plastiques et à bords réguliers [68].



Fig12 : Bactérie d'*E.coli* [69].

✓ Intérêt de la recherche et de dénombrement d'*E.coli*

Selon l'OMS, l'indicateur le plus précis pour estimer la pollution fécale est en fait *E.coli*, en raison de son abondance dans les fèces humaines (jusqu'à 1 milliard de bactéries par gramme de matière fraîche), et de sa persistance pour être recherché (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie d'une semaine à un mois) [66].

E) Les streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales.

Les Entérocoques intestinaux (ou Streptocoques fécaux étaient classés dans le genre *Streptococcus* commensaux du tube digestif [70]. Anciennement appelés streptocoques.

Ces bactéries appartiennent à la famille de Streptococcaceae, au genre *Streptococcus* et au groupe sérologique D de Lance Field. Caractérise la présence d'antigène D de Lance Field [13].

Ils sont définis comme étant des Cocci sphériques légèrement ovales (fig. 14), gram positifs, catalase négatif et anaérobies facultatives Ils se disposent le plus souvent en

diplocoques ou en chaînettes [71], se développant le mieux à 37°C et possédant un caractère homo-fermentaire avec production d'acide lactique sans gaz [23].

Elles ne forment pas d'endospores. Leur propriété d'hydrolyser l'esculine en présence de bile [72].

Ce groupe est récemment divisé en 2 sous-groupes : celui des *Entérocooccus* capable de croître en présence de NaCl 6,5% et celui des *Streptococcus* (*Streptococcus bovis* et *Streptococcus equinus*) [73].



Fig 13 : Streptocoques fécaux [74].

✓ **Intérêt du dénombrement des streptocoques fécaux**

L'apport d'entérocoques par rapport aux coliformes consiste en leur plus grande résistance dans les eaux naturelles. Leur présence serait donc le signe d'une contamination fécale de l'eau plus ancienne [66].

F) Bactéries indicatrices, non réellement spécifiques de pollution fécale

-Les Clostridium sulfito-réducteurs

Le clostridium sulfito-réducteur appartient à la famille Clostridiaceae. Il s'agit de bacilles (fig. 15), anaérobies stricte, presque toujours mobiles sporulés, non capsulés (à l'exception de *Clostridium perfringens*), catalase négatif [60].

Ce sont des bactéries à Gram positif mesurant 4 à 6µm de long et 1 à 2µm de large produisant des spores dont le plus caractéristique est *Clostridium perfringens*. 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 [66].

Elles sont souvent considérées comme des témoins de pollution fécale ancienne ou intermittente. Leur permanence marque la défaillance en un point donné du processus de filtration naturelle. L'intérêt de la recherche de tels indicateurs réside dans la propriété de sporuler, ce qui les rend particulièrement résistant aux traitements de désinfection [75].



Fig 14 : Spores anaérobies sulfito-réducteurs [70]

-Les bactéries aérobies revivifiables (germes totaux)

Sa recherche vise à dénombrer non spécifiquement le plus grand nombre de microorganismes, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C s'effectue dans la gélose glucosée à l'extrait de levure.

La charge mésophile totale n'est pas un paramètre d'appréciation de la qualité bactériologique mais quand même peut nous renseigner sur le degré de potabilité des eaux et tous produits alimentaires [64].

-Les bactéries pathogènes

Les bactéries pathogènes jouent le rôle de signal d'alarme. En fait, seules les *Salmonella* et les *Shigella* sont des bactéries fréquemment recherchées, en dehors de cas d'épidémies. Ces dernières années cependant, une certaine importance a été attribuée aux *Yersinia*, *Campylobacter*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Legionella pneumophila*, *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio cholerae* [60]. Le Tableau VII indique les normes de qualité bactériologique.

Tableau VII : Les norme de qualité bactériologique [14] .

Paramètres bactériologique	Unités	Recommandation
Coliformes totaux	Germes/100ml	10
Coliformes fécaux	Germes/100ml	0
Streptocoque fécaux	Germes/100ml	0
Clostridium sulfito réducteur	Germes/20ml	0

II.2.4. Les Organismes indicateurs

II.2.4.1. Indicateur d'abondance bactérienne

Le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables (bactéries aérobies et aéroanaérobies mésophiles hétérotrophes) vise à quantifier non spécifiquement le plus grand nombre de microorganismes saprophytes véhiculés par l'eau, en particulier de bactéries se développant dans les conditions aérobies habituelles de culture quel que soi le milieu utilisé.

Le développement de l'ensemble des bactéries présentes n'est jamais obtenu : certaines espèces demandent des apports nutritifs et conditions de milieu qui sont défavorables à la prolifération d'autres espèces (exigences nutritives se particulières, compétition, stress ...). Cela veut dire que deux résultats ne sont comparables que s'ils proviennent d'analyse pratiques selon la même méthodologie et avec les mêmes milieux de culture.

Le dénombrement des bactéries aérobies mésophiles est utilisé comme indicateur d'abondance.

- Soit dans le milieu naturels, le plus souvent dans les eaux de très bonne qualité microbiologique dont on veut éprouver la protection vis-à-vis de toute contamination : ce sont donc essentiellement les eaux souterraines de nappes profondes ou alluviales, qui sont soumises à cet examen, mais aussi les eaux de surface comme certaines lacs oligotrophes loin des rives. Les bactéries aérobies mésophiles ont alors une valeur d'indicateur de contamination par superficielle eutrophie.

- Soit dans le réseau : une augmentation de concentration bactérienne en aval de station de pompage ou traitement doit être interprétée soit comme une intrusion de l'extérieur dans celui-ci, au niveau des réseaux ou des canalisations. Les bactéries mésophiles ont alors une valeur d'indicateur de pollution, dans le cas des eaux superficielles eutrophes, les bactéries aérobies mésophiles ont une valeur d'un indicateur de charge bactérienne [75].

II.2.4.2. Indicateur de contamination fécal

La plus part des micro-organismes (bactéries, virus, parasites) responsables des maladies humaines d'origine hydrique ayant pour habitat normale les intestins de l'homme ou de certains animaux à sang chaud, et étant difficile de mettre en évidence, l'analyse bactériologique de l'eau se base historiquement sur la mise en évidence de contamination fécale : s'il a été prouvé qu'une eau est soumise à une telle pollution, elle existe un risque pour qu'elle contienne de micro-organisme pathogène de cette origine.

Dans ce contexte, sont recherchés et dénombrés certaines espèces, ou certains groupes de bactéries, la plus représentative de cette contamination : ou dans leur présence ne constitue pas un risque pour la santé : les indicateurs de contamination fécale.

Un indicateur idéal pour la contamination fécale devrait répondre à certains nombres d'exigences ou de références, pour répondre à trois utilisations : apport des renseignements sur la présence de pathogènes, ou leur survie dans le milieu, ou leur résistance aux traitements. Actuellement il n'existe pas d'indicateurs pathogènes non fécaux susceptibles d'application aussi pratiquée que les indicateurs de contamination fécale [55].

A) Les Coliformes

On peut actuellement distinguer deux catégories de coliforme, selon qu'ils ont ou non une origine fécale.

B) Les Coliformes totaux

Les coliformes totaux ont servi d'indicateur pour l'eau de boisson depuis le début des années 1900 et sont fréquemment utilisés pour analyser les effluents d'eaux usées. Cependant, de nouvelles études ont montré que les coliformes totaux ne sont pas utiles en tant qu'indicateur de contamination fécale de l'eau de boisson, et qu'ils ne permettent pas de tirer de conclusions en termes sanitaires ou de santé [55].

A l'origine, les coliformes totaux comprenaient quatre groupes de bactéries : *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter*. Ces quatre groupes se trouvent dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris des humains. Cependant, des découvertes scientifiques récentes ont montré que les coliformes totaux comprennent en réalité un groupe de bactéries bien plus vaste que les quatre groupes originaux. En fait, il y a à ce jour 19 groupes reconnus de bactéries appartenant aux coliformes totaux, dont dix seulement ont été associés aux excréments [55], plusieurs groupes de bactéries dans l'environnement appartenant aux coliformes totaux sont associés au sol, à la végétation, ou aux sédiments aquatiques. Par conséquent, tous les coliformes totaux ne sont pas des bactéries provenant d'excréments. Cela rend difficile de déterminer si l'eau a été contaminée par des excréments ou pas. Donc la présence des coliformes totaux n'indique pas nécessairement une pollution fécale, leur origine peut être environnementale [75].

C) Coliformes thermo-tolérante

Les coliformes fécaux ou les coliformes thermotolérantes ou sont des coliformes qui présentent les mêmes propriétés de structure et de culture caractéristiques des coliformes, mais après incubation à la température 44 °C, Celle-ci permet de sélectionner les espèces de coliformes d'origine fécale. La spécificité de l'indicateur est donc bonne.

Tous les coliformes d'origines fécales sont thermotolérants sous nos climat, mais tous les coliformes thermotolérants ne sont pas forcément d'origine fécale, il est préférable de n'employer que le terme de coliformes thermotolérantes et non celui de coliforme fécaux publique.

Les coliformes thermotolérantes constituent un indicateur relativement fiable de présence, de survie ou de résistance au traitement des bactéries pathogènes fécales.ils sont moins fiable pour les virus entériques, en particulier pour la survie et la résistance au traitement, ils sont forts peu utilisés pour les protozoaires et les helminthes, parasites pour les quels on ne connait aucune indicateur fiable [75].

Les coliformes thermorésistants ne sont pas destinés à être des indicateurs absolus de la présence d'agents pathogènes dans l'eau de boisson. La présence de ces indicateurs bactériens dans un échantillon d'eau suggère plutôt que l'eau a probablement été contaminée par des excréments et qu'elle présente un risque plus élevé de provoquer des maladies [55].

D) *E.coli*

E. coli est le principal indicateur utilisé dans l'analyse de la qualité de l'eau, depuis plus de 50 ans. Il s'agit d'une bactérie coliforme thermorésistante, en plus, d'avantage d'être fortement spécifiquement d'un habitat normal intestinal et de ne pas se multiplier dans l'environnement, c'est excellent marqueur de contamination fécale, récente ou rapprochée [55].

Comme montre le schéma suivant, les coliformes thermorésistants sont un type de coliformes totaux, et *E. coli* fait partie du groupe des coliformes thermorésistants [55].

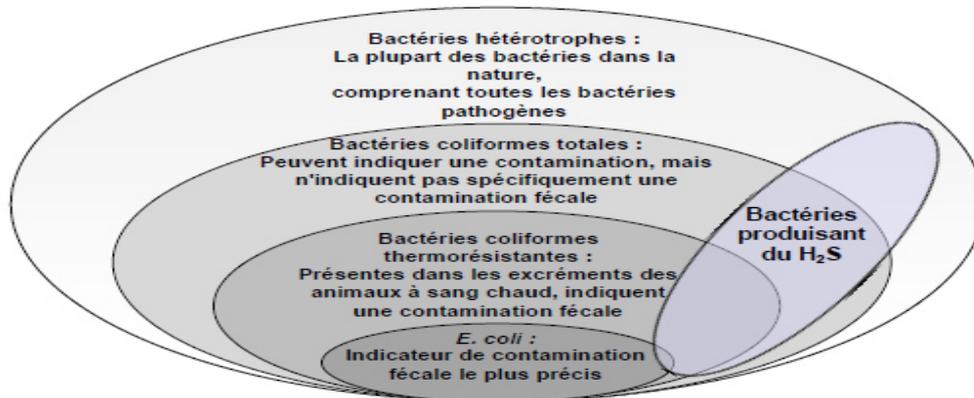


Fig 15 : les groupes des organismes indicateurs dans l'eau [55].

La plupart des *E. coli* sont inoffensives, cependant il existe certaines souches (comme O157:H7) qui sont pathogènes et connues pour provoquer de sévères diarrhées et autres symptômes [55].

II.2.4.3. Streptocoques fécaux, streptocoques D, entérocoques

Les streptocoques du group D sont constitués par des bactéries des genres *streptococcus* et entérocoques possédant la substance antigénique caractéristique du groupe D de lance field dans l'ancienne nomenclature, les streptocoques du groupe D étaient désignés par le terme "streptocoques fécaux".

Les streptocoques du groupe D n'ont pas tous un habitat fécal. Parmi eux, seules les bactéries du genre entérocoques sont d'origine fécale animale ou humaine certaine.

Les avantages des entérocoques en tant qu'indicateurs sont :

- une incapacité à se multiplier dans l'environnement aquatique (contrairement aux coliformes) [75].

II.2.4.4. Spore de bactéries anaérobies sulfato-réductrices de *Clostridium* sulfito-réducteurs, et *Clostridium perfringens*

Le point commun aux bactéries anaérobies sulfito-réductrices (*Clostridium* et certaines Bacilles), aux *Clostridium* sulfito-réducteurs (incluant *Clostridium perfringens* et à la *Clostridium perfringens* est réduire le sulfite de sodium en sulfure "propriétés utilisée pour analyse bactériologique et de sporuler dans les conditions défavorables, Ces différents types sont recherchés dans la réglementation concernent la qualité des eaux d'alimentation [75].

A) Spores de bactéries anaérobies sulfito réductrices

Les méthodes d'analyse sont telles que sous ce terme sont comprises les spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs et celle de certaines *Bacillus* sulfito-réducteurs qui sont abondantes toutes les eaux.

Dans le cas des eaux brutes de surfaces destinées à la potabilisation, leur recherche n'a d'intérêt que pour la mesure de l'efficacité d'un traitement de potabilisation : filtration (les spores sont de tailles moindre et sont plus difficiles a retenir que les formes végétatives) ou chloration (les spores sont beaucoup plus résistances que les bactéries végétatives).

Leur absence est valider, car si un traitement est suffisamment puissant pour les éliminer, il a seulement de grandes chances d'éliminer les pathogènes, mais ne conduit pas à leur élimination systématique [75].

B) Spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs

Ils sont parfois utilisés comme des témoins très sensibles de pollution fécale car leur forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes thermo tolérants ou entérocoques, permettrait de détecter une pollution fécale ancienne ou intermittente.

Or, il existe une grande variété de *Clostridium* aptes à réduire le sulfite (*C.perfringen*, *C.sporogenes* , *C.fallax* , etc.) et ces espèces sont ubiquistes .de ce fait ,il s'agit d'un indicateur de contamination fécal sensible mais trop peu spécifique .

Si l'intérêt de leur recherche et controversé pour la mise en évidence de leurs spores peut en revanche servir d'indicateur d'efficacité de filtration sur sable dans une station de traitement au même titre que les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices, qui sont toutefois plus simples ,donc moins couteuses ,à dénombrer [75].

C) *Clostridium perfringens*

C'est un genre ubiquiste qui ne peut être considéré comme uniquement d'origine fécale comparativement aux deux autres populations précitées, c'est malgré tout la plus spécifique il

est difficile d'établir des corrélations entre sa présence et celle d' *E.coli* ou des coliformes thermotolérants.

La recherche de *C.perfringens* ne présente guère d'intérêt pour la mise en évidence d'une pollution fécale .ceci est conforté par la difficulté et surtout le temps nécessaire à son indentification .cette recherche n'a d'intérêt que lorsque le germe est recherché au titre de pathogène [75].

II.2.5. Les méthodes d'analyses Bactériologiques

II.2.5.1. Les analyses de l'eau brute

A) Microorganismes recherchées

Les microorganismes recherchés dans une eau destinée à la consommation humaine sont : Les Coliformes fécaux (CF), *E. coli*, les coliformes totaux (CT), les *Clostridium* sulfite réducteurs (CSR) les stéptocoque fécaux (SF), Les Microorganismes revivifiables (MR)

B) Les techniques d'analyse

Les méthodes d'analyse et du dénombrement des indicateurs de contamination de l'eau sont :

- ✓ La méthode du nombre le plus probable (NPP)
- ✓ La méthode de l'incorporation en gélose

-Principe de la méthode (NPP)

Cette méthode permet de révéler de plus faibles quantités de germes que la plupart des méthodes de numération en milieu solide. Elle repose sur une analyse statistique et fournit par calcul des nombres les plus probables. Cette méthode est applicable aux échantillons ayant une teneur plus ou moins élevée en MES. Elle consiste à ensemencer trois milieux de culture par dilution, les tubes ensemencés contiennent un milieu nutritif, milieu Rothe, pour les streptocoques fécaux ou BCPL pour les coliformes avec introduction de cloche de Durham. Dans ce dernier, après incubation on note la croissance et la production de gaz dans chaque tube, enfin on compte le nombre des tubes positifs pour chaque dilution et on fait la lecture du NPP correspondant en utilisant la table de MAC CRADY [76].

-Expression des résultats

Le nombre des colonies par 100 ml est obtenu en comptant le nombre de tubes positifs en se référant à la table de Mac Grady qui nous donne le nombre le plus probable (NPP),la formule utilisée est la suivante:

$N = (NPP/V_{ensemencé}) * FD$ avec :

NPP : nombre le plus probable trouvé dans la table de MAC CRADY.

FD : le facteur de dilution : égale à l'inverse de la dilution la plus faible.

N : nombre de bactéries exprimées en coliformes/ml.

Si on travaille sans dilution le N sera égale au NPP trouvé sur la table de MAC GRADY [55].

-Les milieux de cultures Utilisés

***Bouillon de Rothe :** utilisé pour effectuer le test présomptif de recherche et de dénombrement des *entérocoques* dans les eaux d'alimentation.

***Bouillon de Litsky :** Le bouillon de Litsky à l'éthyle-violet est utilisé pour effectuer le test confirmation de recherche et de dénombrement des streptocoques fécaux (entérocoques) dans les eaux d'alimentation, par la méthode du nombre le plus probable.

***Bouillon de BCPL :** Ce milieu est utilisé pour le test présomptif des coliformes d'enrichissement sélectif utilisé pour la recherche et le dénombrement des coliformes dans les eaux par la méthode de NPP [76].

-L'incorporation en gélose

La méthode est fréquemment utilisée pour la recherche des bactéries aérobies revivifiables, elle consiste à m les conditions d'incubation sont :

-A 22°C : on trouve les bactéries adaptées à la température de l'eau.

- A 37°C : on trouve les bactéries pathogènes, qui se développent à la température du corps humain [55].

-Milieu de culture utilisé

La gélose TGEA : est un milieu utilisé pour le dénombrement des microorganismes aérobies revivifiables, C'est un milieu nutritif sans inhibiteurs, dont l'intérêt est de favoriser le développement des micro-organismes qu'on y a déposés. L'ensemble de tous les micro-organismes s'appelle la flore totale [75].

-Dénombrement des spores de *clostridium* sulfito-réducteur

L'échantillon d'eau à analyser sont met au bain marie préchauffé à 80°C pendant 10 minutes suivi d'un refroidissement brutal sous l'eau de robinet, après le refroidissement l'échantillon est filtrée aseptiquement sur une sur une membrane stérile de **0, 2µm** de porosité, dépose Sur la gélose VF.

Le tableau récapitulatifs de principaux germes recherchés dans l'eau brute .

Tableau (VIII) : les principales étapes d'analyse de l'eau brute.

	CT	CF	E.coli	SF	CSR	MR
Technique D'analyse	NPP	NPP	NPP	NPP	Filtration sur Membrane	Incorporation en gélose
Teste préventif (Milieu)	BCPL	Repiquage sur Shubert	Shubert plus réactif de kovacs	ROTHER	VF	TGEA
Incubation	37°C à 48 h	44°C à 24 h	Quelque mn	37°C à 48 h	37°C à 48 h	37°C et 22°C 48 h
Résultat	Dégagement de gaz Trouble	Dégagement de gaz Trouble	Apparition Anneau Rouge	Trouble Virage couleur	Halo noire autour les colonies	Apparition des colonies
Teste confirmation				Repiquage sur milieu EVA		
Incubation				37°C à 24h		
Résultat				Une pastille Blachaire		



(A)



(B)



(C)

Figure 16 : les résultats des dénombrements dans l'eau brute : (A) : Les tubes positifs de milieu BCPL, (B) : Une colonie noire de *Clostridium perfringens*, (C) : Des colonies des bactéries revivifiables

II.2.5.2. Analyse bactériologiques de l'eau traitée

L'analyse bactériologique de l'eau traitée est effectuée par la technique de la membrane filtrante.

A) Les germes recherchés

Il s'agit des germes recherchés lors d'une analyse réduite des eaux de consommation, ce sont :

- ✓ Les Coliformes thermo tolérants ou fécaux, dans 100 ml d'eau.
- ✓ Les Streptocoques fécaux (ou Entérocoques intestinaux) dans 100 ml d'eau.

B) Principe de la technique de la membrane filtrante

C'est la plus utilisée au laboratoire, elle est applicable à toutes les eaux et en particulier à celles contenant une faible quantité de MES et un nombre relativement faible de germes (Eaux traitées). Généralement, on procède à une filtration par un appareil de filtration sur membrane. La membrane est en esters de cellulose, de porosité 0,45/ 0,2 μm , susceptible de retenir les bactéries. Un échantillon de 100 ml d'eau est filtré sur cette membrane, et est déposée à la surface d'un milieu gélosé. milieu, pour les streptocoques fécaux ou ENDO pour les coliformes avec l'apparition des colonies caractéristiques de chaque types , après incubation, enfin Après incubation, on compte le nombre de colonies exprimé en *UFC/100ml*, les tests de confirmations pour coliformes s'effectue par le repiquage de 1 à 2 colonies des boites positifs du milieu ENDO sur le milieu TSI et le repiquage de 1 à 2 colonies des boites [77], positifs du milieu SELENTEZ sur le milieu BEA . (Tableau IX)

Tableau (IX) : les principales étapes d'analyse de l'eau traitée.

	C	CF	E.coli	SF
Milieu	ENDO	Repiquage sur milieu Shubert	Milieu de shubert plus raéctif de kovacs	SELANETZ
Incubation	37°C à 24 h	44°C à 24 h	Quelque mn	37°C à 24 h
Résultat	Colonies rouge brique	Trouble production de gaz	Anneau rouge	Colonies rouges à maron
Test confirmatif	Repiquage sur milieu TSI			Repiquage sur milieu BEA
Incubation	37°C à 24h			44°C à 2 h
Résultat	Appariation colonie Production de gaz			Halo noir

--	--	--	--	--

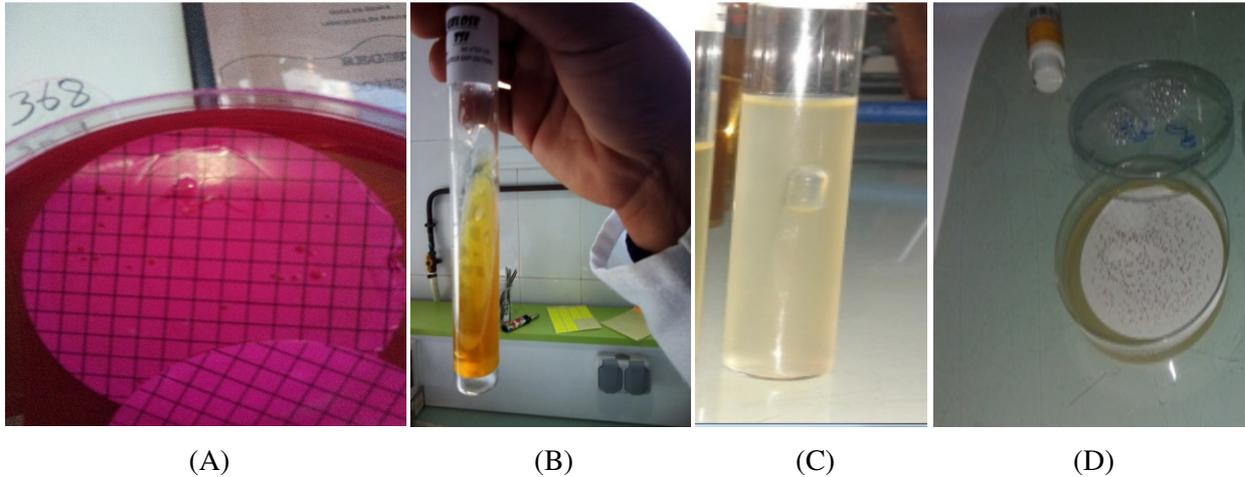


Figure 17 : les résultats des dénombrements dans l'eau traitée : **(A)** : les colonies de milieu ENDO, **(B)** : le tube positif de milieu TSI, **(C)** : Le tube positif de milieu Schubert, **(D)** : les colonies rouges des streptocoques fécaux

-Milieux de culture utilisé

ENDO : Ce milieu permet d'effectuer la recherche et le dénombrement des *E.coli* et des bactéries *coliformes*. Le milieu inhibe la croissance des microorganismes à Gram positif, limite l'envahissement par les *Proteus* et favorise la récupération des coliformes.

SLANETZ : C'est un milieu sélectif utilisé pour le dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux d'alimentation, par la technique de la membrane filtrante. L'acide de sodium permet d'inhiber la croissance des microorganismes à Gram négatif [76].

CONCLUSION

Conclusion

Conclusion

L'eau fait partie de notre environnement naturel, tout comme l'air que nous respirons et la terre qui nous porte et nous nourrit. Elle constitue l'un des éléments familiers et indispensables de notre vie quotidienne. Le problème majeur de l'eau destinée à l'alimentation humaine a été longtemps d'ordre sanitaire. Ce problème découlé de l'existence de microorganismes (bactéries, virus, protozoaires, parasites) transmissibles de nombreuses infections dangereuses chez l'homme. donc, avant toute consommation d'eau, il est indispensable de procéder au contrôle de sa qualité aussi bien physico-chimique que microbiologique.

Sans être parfait, *E. coli* reste à ce jour le meilleur indicateur microbien d'une contamination fécale de l'eau. Mais, il est important pour les praticiens de comprendre que la présence ou l'absence de détection des indicateurs microbiens ne garantit pas que l'eau puisse être bue sans danger.

En perspective, il est intéressant de compléter les analyses bactériologiques par des études plus poussées incluant la recherche de germes pathogènes (Staphylocoques, Salmonelles). Aussi bien, faire l'analyse de l'eau dans d'autres cités de la ville de Bouira.

En fin, Il est nécessaire d'apprendre à la population à traiter l'eau l'échelle familiale par l'utilisation d'hypochlorite à l'aide d'un compte-gouttes.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **O.M.S** (2005-2015) . Décennie internationale d'action sur le thème « L'eau, source de vie». REH, 80, P.195-200.
- [2] **GERIN , M, GOSSELIN P, VIAU S, QUENEL, P, DEWAILLY, E** (2003). Environnement et sante publique, Fondement et pratique, edisem, P.15.
- [3] **ZELLA, I, SMADHI, D** (2006). L'eau : la gouvernance et l'éthique. Edition office des publications universitaires. Alger, P.131.
- [4] **O.M.S** (1997). Surveillance de la qualité de l'eau de boisson, Genève .
- [5] **IGOR, R** (1983). La décennie ; pas seulement une question de pompes ou de tuyaux ; Santé du Monde, O.M.S 1983.
- [6] **Ministère de la santé et de la solidarité** (2005). Qualité de l'eau potable en France : Aspects sanitaires et réglementaires, Dossier d'information. Paris : Direction générale de la santé, p. 43.
- [7] **NANFACK N.A. CARIN, FONTEH F. ANYANGWE, VINCENT K.PAYNE, KATTE BRIDGET, FOGOHO J. MUAFOR** (2014). Eaux non conventionnelles : un risque ou une solution aux problèmes d'eau pour les classes pauvres, Université de Dschang, Cameroun, 2014, p. 96.
- [8] **GARCIA, A** (2006). Etude de la dynamique des *Escherichia coli* dans les rivières du bassin de la Seine, Thèse de Doctorat en Microbiologie, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique.
- [9] **HEDAHDIA, A, ALIOUCHE, S** (2016). Contribution à l'étude de l'origine de la contamination fécale des eaux du barrage Bouhamdane, Guelma. [En ligne]. Mémoire de Master : Santé, Eau, Environnement : Université 8 mai 1945 Guelma, p. 46.
- [10] **CHAIBI, M, KHEDOUSSI, F** (2012). Etude de la qualité des eaux du barrage TichiHaf: Les algues bio indicatrices. [En ligne]. Mémoire de Master : Environnement et Santé Publique : Université Abderrahmane Mira Bejaia, p. 59.
- [11] **BENHALIMA, L** (2019). Maladies à transmission hydrique. [En ligne]. Cour de Master II : Écologie et Génie de l'Environnement : Université 8 Mai 1945 Guelma, p. 117.
- [12] **MANSEUR, Y, DJABALLAH, S** (2016). Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville de Tébessa. [En ligne]. Mémoire de Master : Microbiologie appliquée à la santé et l'environnement : Université Larbi Tébessi - Tébessa, p. 37.

Références bibliographiques

- [13] **BOUCENINA, H** (2018). Analyse bactériologique des eaux de certaines écoles à la wilaya de Mila. [En ligne]. Mémoire de Master : Génétique : Université des Frères Mentouri Constantine, p.55.
- [14] **HAMZAOUI, H, KERMOUCH, F** (2015). Etude comparative entre l'eau de trois sources (El Anzor, El Boukri et Ami Saleh) de la wilaya de Blida sur les plans physico-chimique et bactériologique. [En ligne]. Mémoire de Master : Microbiologie et Toxicologie Alimentaire : Université de Blida1, p. 46.
- [15] **CHELLI, L, KETRANE, R, DJOUHRI, N** (2013). Analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaia et évaluation de leur pouvoir entartrant. [En ligne]. Mémoire de Master : Génie Chimique : Université A. Mira – Béjaia, p.86.
- [16] **KHERBACHE, N** (2014). La problématique de l'eau en Algérie : Enjeux et contraintes. [En ligne]. Mémoire de Master : Économie et géographie : Université Abderrahmane Mira (BÉJAIA), p.225.
- [17] **BENABDALLAH, S, BOURENANE, A** (2013). Analyses physico-chimiques de l'eau de Générale Emballage en vue de son utilisation pour l'élaboration d'une colle. [En ligne]. Mémoire de Master : Analyse : Université A. Mira - Béjaïa, p.52.
- [18] **AIDAOU, A, HARKETT, S** (2013). Evaluation de la Qualité Microbiologiques de l'eau du lac Souterrain : Bir Osman Hammam Debagh-Guelma. [En ligne]. Mémoire de Master : Eau, Santé et Environnement : Université 8 mai 1945 - Guelma, p.62.
- [19] **BOUCHERIT, A, Hakimi, H** (2016). Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du Barrage Hammam Debagh – Guelma. [En ligne]. Mémoire de Master : Santé, Eau et Environnement : Université 8 Mai 1945 Guelma, p. 67.
- [20] **SAMAKE, H** (2002). Analyse physicochimique et bactériologique au L.N.S. des eaux de consommation de la ville de BAMAKO durant la période 2000 ET 2001. [En ligne]. Thèse de doctorat : Université de Bamako, p.69.
- [21] https://www.google.com/imgres?imgurl=https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ea/Cycle_de_l%2527eau.png/400pxCycle_de_l%2527eau.png&imgrefurl=https://fr.wikidia.org/wiki/Cycle_de_l%2527eau&tbnid=7rRbzXaQDObODM&vet=1&docid=jyIChHpo0hck2M&w=400&h=216&q=cycle+de+l%27eau&hl=fr-FR&source=sh/x/im// (Consulté le : 10.07.2020).
- [22] **CLAYSON** (2001). Une crise mondiale de l'eau secrétaire du WWAP, UNISCO.
- [23] **BARRAQUE** (2006). Economique en questions, l'eau des villes et l'eau des champs.

Références bibliographiques

- [24] **GUERD, H, MESGHOUNI , A** (2007). Performance de la station de dessalement des eaux dans la région d'El-Oued. Mémoire de fin d'étude : Supérieures en Biologie : Université Kasdi Merbah-Ouagla, p,67.
- [25] **AZIZI, A** (2014). Réutilisation l'eau condensat. Mémoire de Master : Université des Sciences et de Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, p,67.
- [26] **JULIEN MOREL** (2007). Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d'horizon de la littérature.
- [27] **ANNY** (2004). Epidémies de cholera en Afrique : Analyse d'une étiologie multifactorielle. Mémoire de l'école de santé publique. CPE-LYON, p.59.
- [28] **MBONGO, M** (2005). Etude des déterminants des maladies hydrique chez les enfants de a 05ans[en ligne]. Mémoire de licence : Science de la santé : université pédagogique national.
- [29] **Taleb, M. K.** Etat de l'assainissement d'une zone côtière : Analyses et perspectives d'aménagement. Cas : Commune d'Ain El Turck. Mémoire de Magistère, Université de Tlemcen, p.169.
- [30] **Direction des ressources en eau de la wilaya de Bouira.**
- [31] <https://docplyer.fr/149907477-Rubrique-monographie-Wilaya.html//> (Consulté le 22.07.2020) .
- [32] **DEGREMONT** (2005). «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1.
- [33] **AISSAOUI, A** (2013). Evolution du niveau de contamination des eaux de barrage Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles. Mémoire de Master : Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement : Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, p.4.
- [34] **CHIBANI, S** (2009). Contribution à l'étude de la Qualité Physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhlouf (wilaya de Guelma). [En ligne]. Mémoire de Masters : Hydro-écologie : Santé, Eau et Environnement : Université 8Mai 1945de Guelma, p.107.
- [35] <https://www.banquedesterritoires.fr/localtis-11-juin-2020//> (Consulté le : 08.08.2020)
- [36] **ABDELLIOUI, S, BOUKHDI, HAMA ZAOUI, H** (2012). Qualité microbiologique d'un écosystème lotique Cas de l'Oued El Kebir Ouest (Skikda, Nord - Est Algérien). [En ligne]. Mémoire de Master : Ecologie et Génie de l'Environnement : Université 08 Mai 1945 Guelma, p.20.
- [37] Module 5. Gestion de l'eau dans le processus de préparation et de vente des aliments de rue, p.84.

Références bibliographiques

- [38] SAAB, H. B, NASSIF, N, EL SAMRANI, A. G, DAOUD, R. (2007). Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, Vol 20, pp .341–352.
- [39] GHIZELLAOUI, S (2010). Evaluation de la qualité des ressources en eau alimentant la ville de Constantine, prévision de la demande en eau à l’horizon. Thèse de magister en chimie analytique et traitement des eaux : Université des Frères Mentouri Constantine, pp. 13-24.
- [40] OUALI (2001) Traitement des eaux, Ed office des publications universitaires, Alger.
- [41] BOUGHERB, F, SABOUR, N (2019). Recherche de quelques bactéries des maladies à transmissions hydrique au niveau de quelques sources d’eau de la wilaya de Bouira. [En ligne]. Mémoire de Master : Biodiversité et environnement : Université de AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA, p.47.
- [42] <https://fr.123rf.com/photo-30715966-marècage-ètè-les-marais-fleurs-jaunes-poussent-eau-couverte-de-lentilles-d-eau.html//> (Consulté le 11.07.2020).
- [43] BENABADJI, A, SAIDI, I (2016) . Etude sur le Dessalement de l’Eau Saumâtre préparée à partir des Eaux de Mer issues du prétraitement de la station de Souk-Tlata. Mémoire de Master : Technologies de Traitement des eaux : Université Abou Baker Belkaid, p.5.
- [44] https://inpn.mnhn.fr/habitat/cd_hab/3954// (Consulté le 1.08.2020).
- [45] RANDRIANOMENJANAHARY , A(2017). Etude de la qualité des eaux de puits et des eaux de source de la Commune d’Ankaraobato, District d’Antananarivo Atsimondrano, master en Physique Nucléaire Appliquée et Environnement en physique et applications : Université d’Antananarivo faculté des sciences, p.4.
- [46] DEBABZA , M (2005). Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes. [en ligne]. Mémoire de Masters : Microbiologie appliquée : Université des sciences de Badji-Mokhtar, Annaba (Algérie) .
- [47] <https://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/les-pollutions-leau-maisonagriculture-industrie//> (Consulté le 04.08.2020).
- [48] https://www.futura-sciences.com/fr/question-réponse/t/pollution/-de-l'eau_quels-sontles-indicateur1414// (Consulté le 07.09.2020).
- [49] SOMÉ, Y.S.C, SORO, T.D, OUEDRAOGO, S (2014). Etude de la prévalence des maladies liées à l’eau et influences des facteurs environnementaux dans l’arrondissement de Nomgr-Masson : cas du quartier Tanghin (Ouagadougou-Burkina Faso). Chemosphere. [En ligne], Vol.8, pp. 289-303.

Références bibliographiques

- [50] **LESNE, J.** Hygiène publique, microbiologie et gestion de l'eau. Ecole nationale de la santé publique, Rennes, France. (Consulté le 09.03.2020).
- [51] **SERVAIS, P, BILLEN, B, GARCIA, T et al** (2009). La Contamination microbienne dans le bassin de la Seine. [En ligne]. 8^èm éd. Agence de l'eau Seine-Normandie.
- [52] **AUBRY, P, GAÛZERE, B.A.** (2011) . Les maladies liées à l'eau. [En ligne]. Médecine tropicale, p. 7. Disponible sur : Mise à jour le (20/04/2012).
- [53] **KHALIL DIOP, C** (2006). Etude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnée en sachet et dans la région de Dakar. [En ligne]. Mémoire : Université Cheikh AntaDiop de Dakar, p.30.
- [54] La Fondation de l'Eau Potable .Disponible sur www.safewater.org/ (Consulté le 05.08.2020).
- [55] **CAWST** (2013). Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau de Boisson. [En ligne].T2E 8H6, Canada, 2013, p.197.
- [56] **BADJADJ, N** (2017). Analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Béjaia. [En ligne]. Mémoire de Master : Ouvrages et Aménagements Hydraulique : Université d'Abderrahmane MIRA de Bejaia, p.76.
- [57] **CELERIER, J.L, FABY, J.A.** La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux. [En ligne]. Document technique FNDAE, Série n°12, p. 87.
- [58] **Fondation Nationale de la santé** (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau /National Health Foundation 4^ème éd. Brasilia : FUNAS, 150p. PDF. Disponible sur : <https://www.funasa.gov.br/> (consulté le 04/03/2020). (1. Analyse de l'eau. 2. Contrôle de la qualité de l'eau. 3. Consommation d'eau (santé environnementale). I. Titre. II. Série.).
- [59] <https://www.blet-mesure.fr/hanna/turbidimetre-photometre-portatif.html/> (Consulté le 31.08.2020).
- [60] **BELHADJ, S, YAHIA -DAHMANA, S** (2018). Analyse de la qualité de l'eau suivant les normes de potabilité de quelques sources naturelle dans la commune de Feraoun. [En ligne]. Mémoire de Master : Biodiversité et Sécurité Alimentaire. Université de Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2018, p.30.
- [61] **REDJEM, F, RAHMOUNI, R.** (2018) . Evaluation de la qualité de l'eau potable distribuée dans la commune de Hamma Bouziane (wilaya de Constantine). [En ligne]. Mémoire de Master : Ecologie fondamentale et appliquée : Université des Frères Mentouri Constantine '2', p.39.
- [62] **O.M.S** (2013). Fiche technique eau, hygiène, assainissement en situation d'urgence.

Références bibliographiques

- [63] **IKOU, J.** (2017) Analyse physicochimique et bactériologique de l'eau de l'oued OUM RABIA. [En ligne]. Mémoire : Bio procédé Hygiène et Sécurité des Aliments (BPHSA) : Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, p.24.
- [64] **DIOP, C (2006).** Qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar. Mémoire de 4ème Etude approfondies de productions animales : Université Cheikh AntaDiop de Dakar (Sénégal), p,43.
- [65] **BEN ALI RIM, M** (2014). Evaluation de la pollution des eaux issue de la zone industrielle de Skikda. Thèse de magister en Ecologie et Environnement. Université de Constantine '1', p.15.
- [66] **MAIGA, A** (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière. Thèse diplôme d'état : Faculté de Médecine de Pharmacie et D'odontostomatologie : Université de Bamako (Mali), p.77.
- [67] **BOUBRIT, S, BOUSSAD, N** (2007) . Détermination "in vitro" du pouvoir antibactérien des huiles essentielles d'eucalyptus, myrte, clous de girofle et sarriette. [En ligne]. Et leur application à la conservation de la viande fraîche type hachée. Ingéniorat d'état en biologie : contrôle de qualité et analyse : Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou.
- [68] **PR JEAN-PHILIPPE LAVIGNE – DFGMS2 'Infectieux'**. Disponible sur : <https://science.howstuffworks.com/environmental/life/cellular-microscopic/cell1.htm//> (Consulté le 30.08.2020).
- [69] <https://www.topsante.com/themes/escherichia-coli//> (Consulté le 28.08.2020)
- [70] **20-OMS**, (2000). Directive de qualité pour l'eau de boisson : Vol2 : critères d'hygiène et documentation à l'appui-Genève : OMS, p.1050.
- [71] **BEN CHEHBA ET BEN HENNOU**(2017). Evaluation de qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de source dans les localités de Miliana (Ain défila) et Ain Deheb (Tiaret).Mémoire de master, université Abdelhamid Ben Badis, Mestaganeme, p,134.
- [72] **LAYEB, M, BOUGATTOUCHA, W, BOUDELAA, Y** (2014). L'examen cytotbactériologique des urines. [En ligne].Laborantin diplômé d'état 2010 : Ecole de formation paramédicale de Skikda Algérie.
- [73] **Centre d'expertise et d'analyse environnementale du Québec** (2005).Méthode d'analyse : Recherche et dénombrement des entérocoques par filtration sur membrane MA700-ENT ; (10 REV 2), p.23.

Références bibliographiques

[74] **AIT KACI, M, HAMDI, M (2008)**. Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologique de l'embouchure. Mémoire de DEUA : science de la mer : institut Béni-Messous.

[75] **Hélène , R (2000)**. Qualité microbiologique des eaux brutes distribuées par BRL. Thèse d'Ingénieurs du génie sanitaire : l'Ecole Nationale de la Santé Publique de Languedoc-Roussillon (France).

[76] **BALITERE, K (2015)**. Analyse bactériologique d'eau brute et d'eau traitée. Mémoire de licence : Bioprocédés, Hygiène et sécurité alimentaires : Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, p.18 ;

[77] https://www.google.com/search?q=Streptocoque+image&client=ms-alps-full_aeon6580_we_ndz&prmd=inv&sxsrf=ALeKk01VW0oenPhyLQyyzFV1ttwwSoIPw:1596744184955&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjss8PPr4frAhUIhQKHQzWBROQ_AUoAXoECAwQAQ&biw=320&bih=490&dpr=1.5#imgrc=wh4rs9Trgu6-qM//

(Consulté le 20.08.2020) .

Résumé

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages, mais elle est également un moyen idéal de transport de microorganismes dont certains sont pathogènes et donc dangereux pour la santé publique et provoquent les maladies qui ont été responsables de vastes épidémies de dysenteries, fièvre typhoïde, choléra, dysenterie, etc.

En raison de sa nature vitale, l'eau doit être mise à la disposition des populations sous forme potable et donc de bonne qualité sanitaire en contrôlant les paramètres physicochimiques (conductivité, température, pH, dureté, etc.), organoleptique (saveur, odeur, couleur...) et microbiologique (recherche et dénombrement de l'indicateur de contamination fécale). Une eau dite potable lorsqu'elle répond aux critères suivants : fraîche, limpide, indolore, incolore et suffisamment aérée légèrement minéralisée et absence de germes et substances toxiques avec un goût agréable.

Mots clés : eau potable, les paramètres physicochimiques et microbiologiques, microorganisme pathogène.

Summary

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses. But it is also an ideal means of transporting microorganisms, some of which are pathogenic and therefore dangerous for public health and cause water-borne diseases which have been responsible for vast epidemics of dysentery, typhoid fever, cholera, dysentery, etc.

Because of its vital nature, water must be available to the population in drinking form and therefore of good sanitary quality by controlling the physicochemical parameters (conductivity, temperature, pH, hardness, etc.), organoleptic (flavour, odour, colour, etc.) and microbiological (research and counting of indicators of faecal contamination).

So, it is called potable water when it meets the following criteria: fresh, clear, colourless and sufficiently odourless, slightly mineralized aerated, absence of germs and toxic substances with a pleasant taste.

Key words: potable water, physicochemical and microbiological parameters, pathogenic microorganisms.

ملخص

الماء مورد طبيعي ثمين وضروري لاستخدامات متعددة. لكنه أيضاً وسيلة مثالية لنقل الكائنات الحية الدقيقة، وبعضها مُمرض وبالتالي يشكل خطراً على الصحة العامة ويسبب الأمراض التي تنتقل في المياه والتي كانت مسؤولة عن انتشار أوبئة واسعة مثل حمى التيفوئيد والكوليرا والدوسنتاريا، الخ. يجب توفير المياه الصالحة للشرب للسكان ذات جودة صحية من خلال التحكم في المعايير الفيزيائية والكيميائية (الناقلية، درجة الحرارة، درجة الحموضة، والصلابة، وما إلى ذلك)، الحسية (النكهة، والرائحة، واللون، وما إلى ذلك) والميكروبيولوجية (البحث وحساب مؤشرات التلوث البرازي). يسمى الماء الصالح للشرب عندما يفي بالمعايير التالية: طازج، صافٍ، عديم اللون وعديم الرائحة، بهواء معدني، وغياب الجراثيم والمواد السامة.

الكلمات المفتاحية: الماء الصالح للشرب، المعايير الفيزيائية والكيميائية، الميكروبيولوجية، الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض.