

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Domaine : Science de la Matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie de l'Environnement

## *Mémoire de Fin d'études*

*en vue de l'obtention du diplôme de Master*

*Présenté et soutenu par*

*Melle BOUGRIOUA Mounira*

*Melle REZZOUG Samia*

Caractérisation et traitement des eaux brutes du  
barrage d'El Hamiz en vue de sa potabilisation

*Soutenu le 15 /07/2021 devant le jury composé de :*

- |                                           |                 |                     |
|-------------------------------------------|-----------------|---------------------|
| ◆ <i>M<sup>me</sup> DEHAK Karima</i>      | <i>MCA/UMBB</i> | <i>Présidente</i>   |
| ◆ <i>M<sup>me</sup> AMOKRANE Sonia</i>    | <i>MAA/UMBB</i> | <i>Promotrice</i>   |
| ◆ <i>M<sup>me</sup> BENSADALLAH Leila</i> | <i>MCB/UMBB</i> | <i>Examinatrice</i> |
| ◆ <i>M<sup>r</sup> BOUMCHEDDA Rachid</i>  | <i>CC/SEAAL</i> | <i>Co-promoteur</i> |

Année Universitaire : 2020/2021



## *Remerciements*

*Nous rendons grâce à Dieu tout puissant, pour le courage et la force qu'il nous a données pour mener à bien ce travail jusqu'à son terme.*

*Nous voudrions dans un premier temps remercier sincèrement Madame **AMOKRANE Sonia** pour avoir accepté de consacrer de son temps pour nous encadrer ainsi que pour son aide et ses conseils sur la rédaction de ce mémoire.*

*Nous tenons à témoigner toute notre gratitude à Monsieur **BOUMCHEDDA Rachid** notre encadreur dans SEAL pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.*

*Nos vifs remerciements vont aux membres de jury, Madame **DEHAK Karima** en tant que présidente et Madame **BENSADALLAH Leila** en tant qu'examinatrice, pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'examiner et de juger notre travail.*

*On remercie également l'ensemble du personnel du laboratoire SEAL de nous avoir aidées et guidées tout au long de notre stage pratique.*

*Un grand et sincère merci à ceux qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*



# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A mon père dieu repose son âme*

*A ma mère que dieu la garde à moi*

*A mes sœurs et frères*

*A mon fiancé Ayoub*

*A ma chère amie et binôme : Mounira*

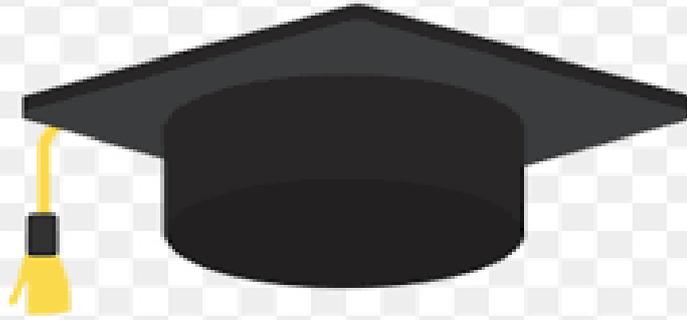
*A tous mes chères amies : Fadia, Rekia,*

*Karima, Khaoula, et Bouchra*

*Et tous qui me sont chers*

*Et enfin qu'à tous mes amis de la  
promotion 2021*

***Samia***



## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents, aucune dédicace aussi parfaite et douce soi-elle, ne saurait exprimer mon affection, ma reconnaissance, ma gratitude, mon respect les plus profonds et tous l'amour que je vous porte,*

*A ma chère sœur Louiza,*

*A mes chers frères Hassen et Salah Eddine,*

*A mon oncle Mourad BAFOU, pour son soutien et son encouragement, aucun mot ne peut exprimer ma gratitude à lui,*

*A mes amies de parcours : Anis, Nada, Sonia, Joujou et Samou,*

*A ma chère binôme : Samia*

*Et enfin, à tous ceux qui me connaissent de près et de loin.*

***Mounira.***



## ملخص

تم تنفيذ عملنا في محطة معالجة المياه سيال، مركز بودواو. يتكون هذا العمل من جهة من توصيف نوعية المياه الخام لسد الحميز، من خلال تطبيق بروتوكولات عملية لقياس المعايير الفيزيوكيميائية المختلفة (درجة الحرارة، الناقلية، درجة الحموضة، المعادن الثقيلة، ومؤشرات التلوث). بالإضافة إلى المؤشرات البكتيريولوجية (الطحالب، الجراثيم والإشريكية القولونية) والحسية بعد مقارنتها بالمعيار 11-125. من جهة أخرى معالجة هذه المياه للوصول إلى المعايير المحددة لصلاحية الشرب؛ أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هذه المياه قابلة للمعالجة، أما بعد المعالجة كانت القيم متوافقة، وبالتالي فإن جودة المياه تتوافق مع المعايير المتبعة.

## Résumé

Notre travail a été réaliser au sein de la station de traitement des eaux SEAAL, centre de Boudouaou. Ce travail consiste d'une part à caractériser la qualité des eaux brutes de barrage d'El Hamiz, en appliquant les protocoles opératoires pour mesurer les différents paramètres physicochimiques (Température, pH, conductivité, métaux lourds, indicateurs de pollution...), ainsi que les paramètres bactériologiques (*les algues, les spores, Escherichia coli...*), et les paramètres organoleptiques après avoir comparé avec la norme 11-125. D'autre part, de traiter ces eaux pour atteindre les critères et les normes spécifiées de potabilité. Les résultats obtenus nous ont montré que cette eau est traitable. Après traitement, les valeurs ont été conformes, donc la qualité de l'eau répond aux normes suivis.

## Abstract

Our work was carried out at the SEAAL water treatment station in the centre of Boudouaou. This work consists on the one hand is characterizing the quality of raw water from the El Hamiz dam, by applying the operating protocols to measure the various physicochemical parameters (temperature, conductivity, pH, heavy metals, pollution indicators), as well as the bacteriological parameters (*algae, spores, Escherichia coli...*), and organoleptic parameters after comparing with the standard 11-125. On the other hand, to treat this water to reach the specified criteria and standards of portability. The results obtained have shown us that this water is treatable. After treatment, the values were compliant, so the water quality meets the standards followed.

## Mots clés

Barrage d'El Hamiz, coagulation-floculation, pollution des eaux, potabilisation, SEAAL, traitement des eaux,

<b>Introduction générale</b> .....	02
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>I.1. Présentation de la société des eaux et de l’assainissement d’Alger</b> .....	04
I.1.1. Organigramme de centre de traitement Boudouaou.....	06
<b>I.2. Généralités sur l’eau</b> .....	06
I.2.1. Définition.....	06
I.2.2. Répartition de l’eau dans la planète.....	07
I.2.3. Cycle d’eau dans la nature.....	07
I.2.4. Les eaux souterraines.....	08
I.2.5. Les eaux de surfaces.....	08
I.2.6. Comparaison entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines.....	09
<b>I.3. Pollution de l’eau</b> .....	10
I.3.1. Types de pollution de l’eau.....	11
I.3.1.1. pollution organique.....	11
I.3.1.2. Pollution microbienne.....	12
I.3.1.3. Pollution par les métaux lourds.....	12
I.3.2. Substances polluantes.....	12
<b>I.4. Paramètres globaux de la qualité de l’eau</b> .....	13
I.4.1. Paramètres organoleptiques.....	13
I.4.2. Paramètres physico-chimiques.....	14
I.4.3. Paramètres toxiques et indésirables.....	18
I.4.3.1. Paramètres toxiques.....	18
I.4.3.2. Paramètres indésirables.....	20

I.4.4. Paramètres de pollution organique.....	21
I.4.5. Paramètres bactériologiques.....	23
<b>I.5. Risques liés à l'eau.....</b>	<b>25</b>
I.5.1. A court terme.....	25
I.5.2. A moyen terme.....	25
I.5.3. A long terme.....	25
<b>I.6. Maladies à transmission hydrique.....</b>	<b>25</b>
<b>I.7. Procédés de traitement des eaux potables.....</b>	<b>27</b>
I.7.1. Préchloration.....	27
I.7.2. Coagulation floculation.....	27
I.7.3. Décantation.....	28
I.7.4. Filtration.....	28
I.7.5. Désinfection.....	29
 <b>Chapitre II : Matériels et méthodes</b>	
<b>II.1. Objectif d'étude.....</b>	<b>32</b>
<b>II.2. Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>32</b>
II.2.1. Caractéristiques de barrage.....	34
<b>II.3. Essai de jar test.....</b>	<b>37</b>
<b>II.4. Caractérisation physicochimique.....</b>	<b>37</b>
II.4.1. Paramètres physiques.....	37
II.4.1.1. Détermination de du pH.....	37
II.4.1.2. Détermination de la conductivité électrique.....	38
II.4.1.3. Détermination de la turbidité.....	39

II.4.2. Paramètres chimiques.....	40
II.4.2.1. Détermination du Fer dissous.....	40
II.4.2.2. Détermination du Manganèse.....	40
II.4.2.3. Détermination de l'oxygène dissous.....	40
II.4.2.4. Détermination de la DCO.....	41
II.4.2.5. Détermination de la DBO <sub>5</sub> .....	41
II.4.2.6. Détermination de la demande en chlore.....	42
<b>II.5. Indicateurs de pollution.....</b>	<b>43</b>
II.5.1. Sulfates.....	43
II.5.2. Phosphates.....	43
II.5.3. Nitrates.....	44
II.5.4. Nitrites.....	44
<b>II.6. Caractérisation biologique.....</b>	<b>45</b>
II.6.1. Détermination des phytoplanctons (algues).....	45
II.6.2. Détermination des streptocoques.....	45
II.6.3. Détermination d'Escherichia coli et bactéries coliforme .....	46
II.6.4. Détermination des spores.....	47
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>	
<b>III.1. Caractérisation de l'échantillon avant le traitement.....</b>	<b>49</b>
III.1.1. Analyse physico-chimique.....	49
III.1.2. Détection des métaux lourds toxiques .....	50
III.1.3. La demande en chlore.....	51
III.1.4. Analyse bactériologique.....	52

<b>III.2. Caractérisation de l'échantillon après le traitement</b> .....	52
III.2.1. Essai de Jar test.....	52
III.2.1.1. Coagulation.....	52
III.2.1.2. Flocculation.....	54
III.2.2. Analyse physico-chimique.....	55
<b>Conclusion</b> .....	59
<b>Références bibliographiques</b> .....	61

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Comparaison entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines.....	9
<b>Tableau 2</b> : Classe de turbidité usuelle.....	14
<b>Tableau 3</b> : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.....	15
<b>Tableau 4</b> : Classification des eaux selon leur pH.....	15
<b>Tableau 5</b> : Qualité de l'eau en fonction de la DBO <sub>5</sub> .....	22
<b>Tableau 6</b> : Les maladies à transmission hydrique.....	26
<b>Tableau 7</b> : Caractéristiques du barrage d'El Hamiz.....	34
<b>Tableau 8</b> : Résultats des analyses avant traitement.....	49
<b>Tableau 9</b> : Concentration des métaux lourds présents dans l'échantillon non traité.....	50
<b>Tableau 10</b> : Résultats obtenus après le test du chlore.....	51
<b>Tableau 11</b> : Teneurs des bactéries dans l'eau brute.....	52
<b>Tableau 12</b> : Résultats de Jar test (coagulation par SA).....	53
<b>Tableau 13</b> : Résultats de Jar test (floculation par PE).....	54
<b>Tableau 14</b> : Paramètres physico-chimiques de l'échantillon traité.....	55

### Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Schéma de la station de Boudouaou.....	4
<b>Figure 2</b> : Obturateurs.....	5
<b>Figure 3</b> : Décanteurs.....	5
<b>Figure 4</b> : Filtres à sable.....	5
<b>Figure 5</b> : Organigramme de centre de traitement Boudouaou.....	6
<b>Figure 6</b> : Modélisation du cycle global de l'eau.....	7
<b>Figure 7</b> : Eau contenue dans les roches : eau souterraine.....	8
<b>Figure 8</b> : Eau de surface.....	9
<b>Figure 9</b> : Chronologie des procédés de traitement des eaux potables.....	30
<b>Figure 10</b> : Situation géographique du barrage.....	32
<b>Figure 11</b> : Photo de la digue du barrage.....	33
<b>Figure 12</b> : Résultats du prélèvement du 24/01/2017.....	35
<b>Figure 13</b> : Résultats du prélèvement du 15/04/2018.....	36
<b>Figure 14</b> : Résultats du prélèvement du 13/04/2021.....	36
<b>Figure 15</b> : pH mètre.....	38
<b>Figure 16</b> : Conductimètre.....	39
<b>Figure 17</b> : Turbidimètre.....	39
<b>Figure 18</b> : spectrophotomètre.....	42
<b>Figure 19</b> : Test du chlore.....	51
<b>Figure 20</b> : Turbidité en fonction des doses de coagulant SA.....	53
<b>Figure 21</b> : Turbidité en fonction des doses de flocculant PE.....	54
<b>Figure 22</b> : Variation des paramètres physico-chimiques avant et après traitement.....	56
<b>Figure 23</b> : Taux d'abattement des paramètres physico-chimiques.....	57

### Liste des abréviations

**°C** : degré Celsius.

**°F** : degré français.

**°TH** : degré hydrotimétrique.

**µg/l** : microgramme par litre.

**µm** : micromètre.

**µS/cm** : micro-siémens par centimètre.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

**B.E.A** : gélose Bile Esculine Azoture.

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone.

**COT** : carbone organique total.

**DBO** : Demande biochimique en oxygène.

**DCO** : Demande chimique en oxygène.

**DPD** : N, N-Diéthylphénylène-1,4 Diamine.

**E. Coli** : Escherichia coli.

**g/cm<sup>3</sup>** : gramme par centimètre cube.

**g/l** : gramme par litre.

**g/mol** : gramme par mole.

**h** : heure.

**H<sub>2</sub>S** : sulfure d'hydrogène.

**hm<sup>3</sup>** : hectomètre cube.

**kg** : kilogramme.

**km** : kilomètre.

## Liste des abréviations

---

**km<sup>2</sup>** : kilomètre carré.

**KMNO<sub>4</sub>** : permanganate de potassium.

**l/seconde** : litre par seconde.

**M** : molarité.

**m<sup>2</sup>** : mètre carré.

**m<sup>3</sup>** : mètre cube.

**m<sup>3</sup>/h** : mètre cube par heure.

**m<sup>3</sup>/J** : mètre cube par jour.

**m<sup>3</sup>/s** : mètre cube par seconde.

**mg/l** : milligramme par litre.

**min** : minute.

**mm** : millimètre.

**mmol/l** : milli mole par litre.

**mol/l** : mole par litre.

**mV** : millivolts.

**N** : normalité.

**NH<sup>4+</sup>** : ion ammonium.

**nm** : nanomètre.

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique.

**O.M.S** : Organisation Mondiale de la Santé.

**PE** : polyélectrolyte.

**pH** : Potentiel d'hydrogène.

**ppm** : partie par million.

## Liste des abréviations

---

**QC** : contrôle qualité.

**SA** : sulfate d'aluminium.

**SEAAL** : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.

**SO<sub>2</sub>** : dioxyde de soufre.

**TA** : titre alcalimétrique.

**TAC** : titre alcalimétrique complet.

**TH** : titre hydrotimétrique.

**tours/min** : tours par minute.

**UFC** : Unité Format Colonie.

**UV** : ultraviolet.

**Va** : vitesse ascensionnelle.

# *Introduction*

## Introduction générale

L'eau est un élément essentiel au fonctionnement de tout écosystème, mais aussi des activités humaines (agriculture, industrie) et de notre vie de tous les jours (usage domestique, loisirs). L'origine des eaux servant à l'alimentation humaine provient des eaux souterraines, des eaux douces de surface c'est-à-dire celle des ruisseaux, des rivières, des fleuves, des barrages, ou dans certains cas, par adoucissement des eaux de mer [1].

L'eau mise à la disposition du consommateur dans le réseau de distribution doit avoir été traitée de façon à être « potable » c'est-à-dire répondre à la réglementation en vigueur pour les eaux destinées à la consommation humaine[2].

Des investissements considérables ont été consacrés à la construction de barrages, notamment dans l'Est du pays. Cependant, ces eaux de surface sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Elles peuvent contenir des quantités non négligeables de matières organiques naturelles mais aussi des composés organiques issus de divers rejets polluants ou de pratiques agricoles intensives [3].

L'Algérie a enregistré ces dernières années des températures supérieures à la moyenne saisonnière, en plus de manque de précipitations en mois de Janvier à Mars, ce qui a provoqué une évaporation inhabituelle des eaux de barrages et donc une baisse du niveau d'eau à un niveau alarmant.

A cause de cette crise, le gouvernement a adopté l'exploitation des eaux de barrages comme solution temporaire pour répondre aux besoins des habitants, pendant ce temps ; d'autres stations de dessalement des eaux de mers seront établies pour faire face au problème de la sécheresse dans le pays.

Le but de notre travail est de caractériser les eaux brutes du barrage d'El Hamiz afin d'effectuer des traitements physico-chimiques et bactériologiques en vue de sa potabilisation.

Notre travail est subdivisé en trois chapitres, le premier traite des généralités sur les eaux naturelles et le problème de la pollution qui menace la qualité de ces eaux, le deuxième expose les différents paramètres de qualité des eaux potables et procédés de traitements des eaux de surface, en dernier la partie expérimentale porte sur les établissement des résultats des analyses de qualité tant pour l'eau brute que l'eau traitée de la station de SEAAL du barrage d'El Hamiz et enfin, nous terminons notre étude par une conclusion générale où sont récapitulés les principaux résultats obtenus.

# *CHAPITRE I*

## *Synthèse bibliographique*

## I.1. Présentation de la société des eaux et de l'assainissement d'Alger

La Station de traitement de BOUDOUAOU fait partie du système de production Isser-Keddara, cette station de traitement d'eau potable a été mise en service en 1987. Elle dispose d'une superficie de 17 Hectares dont une capacité de stockage de 100.000m<sup>3</sup> et une capacité de traitement de 540.000m<sup>3</sup>/J.

- Capacité de production d'eau potable : 1.145.000 m<sup>3</sup>/J.
- Capacité de pompage d'eau brute : 1.236.000 m<sup>3</sup>/J.
- 8 réservoirs totalisant une capacité de 210.000 m<sup>3</sup>.
- 200 km de canalisations de diamètre de 1500 à 2000 mm, dont 12 km de tunnels de diamètre de 2000 à 2500 mm.

Le système de production Isser-Keddara traite les eaux des barrages de Beni Amrane, Keddara et Hamiz. Avant la réalisation de l'usine de Boudouaou en 1987, la capitale était alimentée à partir des champs captant de Mazafran et Baraki.

Les eaux produites par SEAAL sont destinées aux populations de la capitale d'Alger (à hauteur de 60% des besoins), de la wilaya de Boumerdes (à hauteur de 70% des besoins) et de la wilaya de Tizi-Ouzou (à hauteur de 63% des besoins) [4].



**Figure 1** : Schéma de la station de Boudouaou

# Chapitre I : Synthèse bibliographique

- 1- Ouvrage d'arrivée d'eau bute
- 2- Décanteurs
- 3- Filtres
- 4- Réservoirs
- 5- Bâtiment de chlore
- 6- Bâtiment de produits chimiques
- 7- Bâtiment d'exploitation et de Contrôle
- 8- Bâtiment de chaux
- 9- Station d'épuration
- 10- Ateliers
- 11- Bâtiment administratif et laboratoire
- 12- Poste de garde et pont bascule
- 13- Groupe électrogène
- 14- Poste d'alimentation en énergie électrique



**Figure 2 : Obturateurs**



**Figure 3 : Décanteurs**



**Figure 4 : Filtres à sable**

## I.1.1. Organigramme de centre de traitement Boudouaou

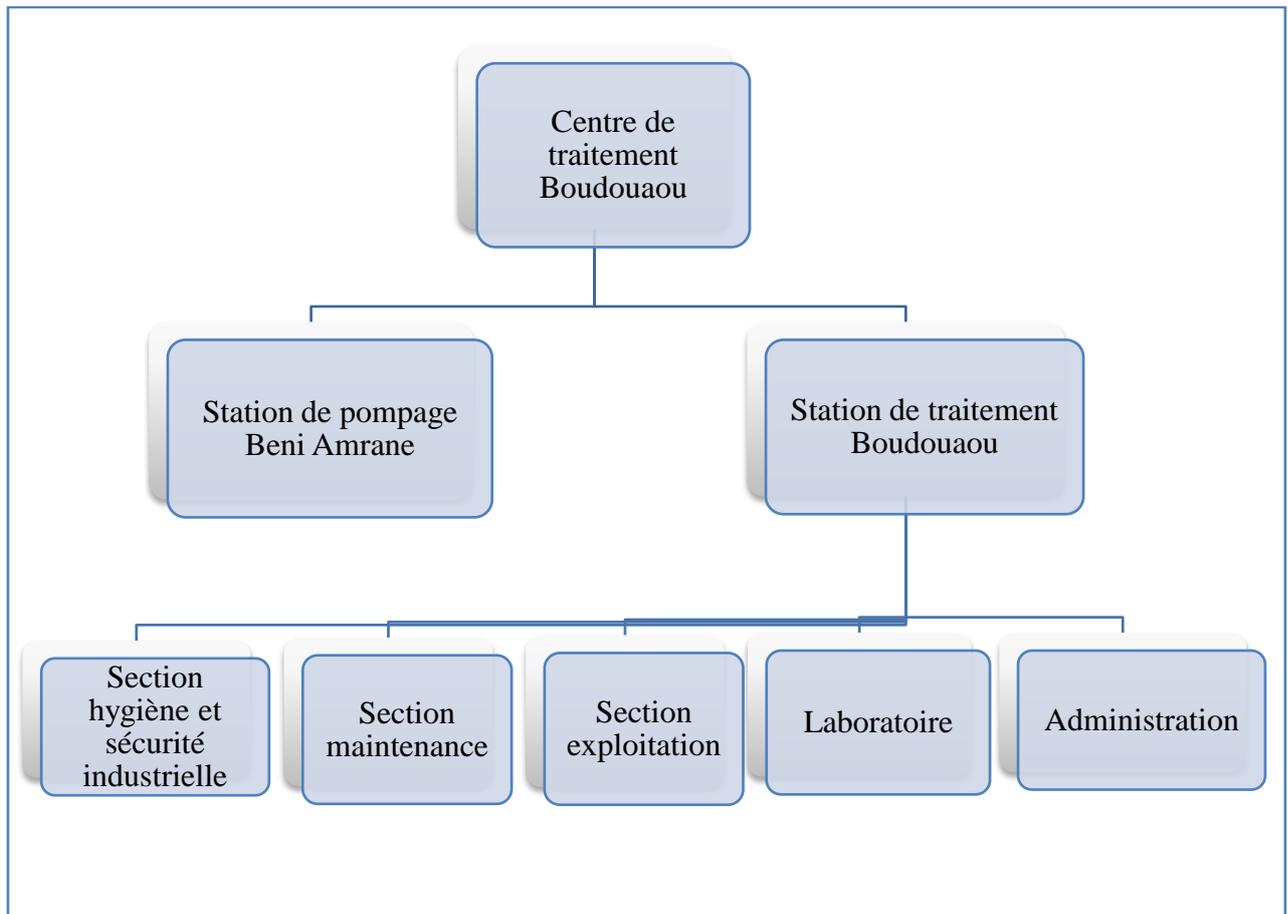


Figure 5 : Organigramme de centre de traitement Boudouaou

## I.2. Généralités sur l'eau

### I.2.1. Définition

L'eau est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. L'eau est gazeuse au-dessus de 100 °C et solide en dessous de 0 °C. Sa formule chimique est H<sub>2</sub>O, C'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène [5].

C'est un fluide indispensable à la vie, très largement répandu à la surface de la terre et jouant un rôle essentiel dans la structure organique des êtres vivants et des végétaux. Il est toujours en mouvement, se déplaçant autour de la planète et passant sous trois formes (liquide, gazeux et solide) [6].

## I.2.2. Répartition de l'eau dans la planète

Les mers et les océans représentent 97,4% de la totalité des eaux terrestres. Les quatre cinquièmes des eaux dites douces sont constituées par les sommets enneigés et les glaciers alors que la quasi-totalité du cinquième restant est localisée dans des nappes phréatiques. L'eau, indispensable à la survie de l'espèce vivante terrestre, représente donc moins d'un pour cent de l'eau douce soit environ 0,014% de l'eau totale.

C'est pourquoi, il est impératif que ce bien de l'humanité soit protégé et utilisé avec le plus grand respect dans le sens du développement durable, défini comme le développement qui couvre les besoins de la société actuelle sans détruire pour autant les possibilités des générations futures de découvrir leur propre besoin [7].

## I.2.3. Cycle d'eau dans la nature

L'eau est partout présente autour de nous et constitue un des éléments fondamentaux de notre planète. Toute cette eau se transforme et circule en permanence dans l'atmosphère, la surface et dans le sous-sol de notre terre : c'est le cycle de l'eau.

L'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 forme de pluie, neige ou grêle sur la lithosphère [8].

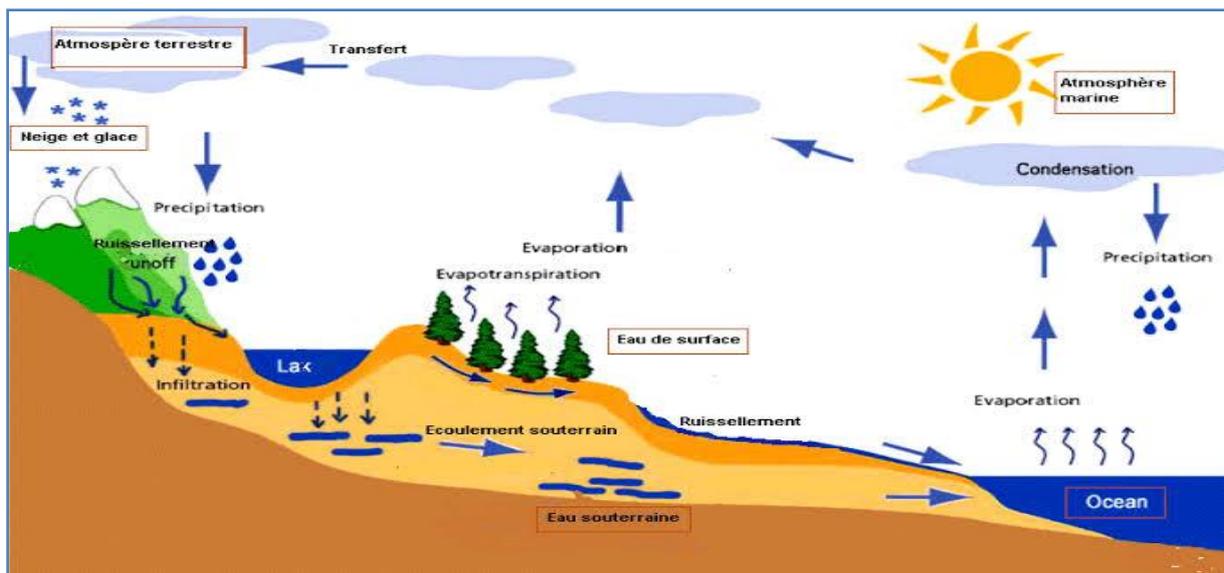
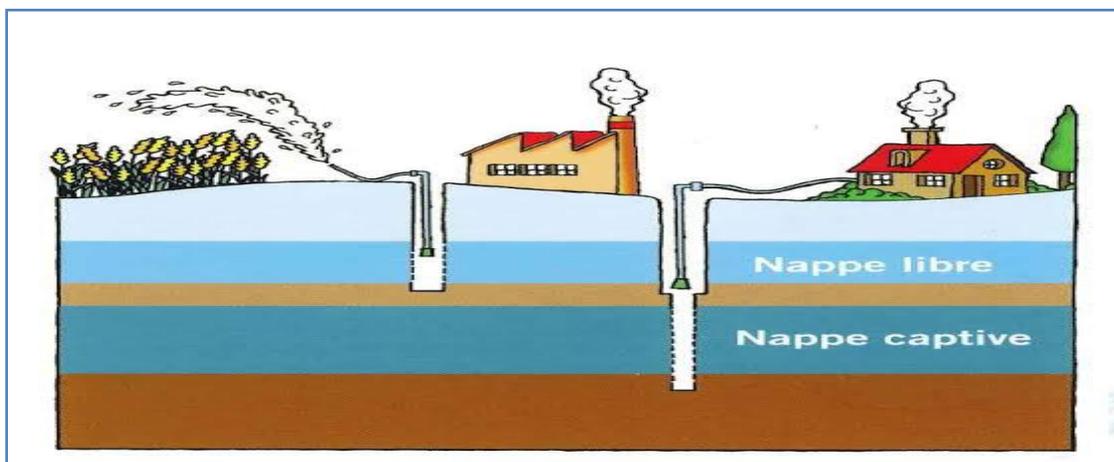


Figure 6 : Modélisation du cycle global de l'eau

## I.2.4. Les eaux souterraines

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



**Figure 7 :** Eau contenue dans les roches : eau souterraine

## I.2.5. Les 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. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction de la nature du sol, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone [9].



**Figure 8 :** Eau de surface

### I.2.6. Comparaison entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines

Les éléments caractéristiques des eaux de surfaces par rapport aux eaux souterraines sont résumés dans le tableau 1

**Tableau 1 :** Comparaison entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines [10].

Caractéristiques	Eau de surface	Eau souterraines
<b>Température</b>	Varie en fonction des saisons	Relativement constante
<b>Turbidité</b>	Niveau variable parfois élevé	Faible ou nulle
<b>Couleur</b>	Principalement dû aux sols en suspension (argile, algue,..) excepté pour les eaux acides et très douces	Principalement dû aux solides dissous
<b>Contenu minéral</b>	Varie avec le sol, les effluents, les pluies,...	Généralement plus important que pour l'eau de surface pour un même endroit
<b>Fer et Mn en solution</b>	Généralement pas, sauf au fond des lacs dans le processus d'eutrophisation	Présent
<b>CO<sub>2</sub> agressif</b>	Absent	Souvent présent en grande quantité

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

<b>O<sub>2</sub> dissout</b>	Souvent proche du niveau de saturation. Absent dans les eaux très pollués	Généralement peu présent
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Absent	Souvent présent
<b>NH<sup>4+</sup></b>	Seulement dans des eaux polluées	Souvent présent sans forcément une pollution bactériologique
<b>Nitrates</b>	Niveau généralement faible	Niveau parfois important
<b>Silice</b>	Généralement en proportion modérée	Niveau souvent important
<b>Micropolluants d'origine organique et minérale</b>	Présent dans l'eau des pays développés mais est susceptible de disparaître rapidement une fois la source éliminée	Normalement pas mais une pollution accidentelle a des effets à très long terme
<b>Organismes vivants</b>	Bactéries, virus, plancton (animal et végétal)	Des bactéries du fer sont fréquemment trouvées
<b>Solvants chlorés</b>	Rarement présent	Souvent présent

### I.3. Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol. Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines [11].

La pollution de la ressource en eau est caractérisée par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore des déchets industriels. Elle peut concerner

les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire [12].

### I.3.1. Types de pollution de l'eau

#### I.3.1.1. Pollution organique

La pollution organique constitue la partie la plus importante, et comprend essentiellement des composés biodégradables. Ces composés sont de diverses origines :

##### ❖ Pollution domestique et urbaine

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux des vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées. Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants [13].

##### ❖ Pollution industrielle

Elle constitue la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraines et peut avoir des causes variées. Les plus fréquentes sont les dépôts de déchets, les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique, qui ont été placés sans précautions, à même le sol, sur des terrains trop perméables. Les installations de stockage ou de transport des produits et déchets des complexes chimiques, raffineries, papeteries, industries alimentaires, peuvent aussi donner lieu à des pollutions chroniques ou accidentelles [13].

Il s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tel que : les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le chrome, le cuivre et le chlore. Ces substances suscitent :

- Peuvent causer des problèmes sur l'organisme de l'individu.
- Perturbent l'activité bactérienne en station d'éruption.
- Affectent sérieusement les cultures [14].

## **I.3.1.2. Pollution microbienne**

Les bactéries, virus et autres agents pathogènes vivant dans les eaux souterraines composent ce que l'on appelle la pollution microbiologique. Elle vient généralement de décharges, d'épandages d'eaux usées, de l'élevage, de fosses septiques, de fuites de canalisations et d'égouts, d'infiltration d'eaux superficielles, de matières fermentées ou du rejet d'eaux superficielle. Ces microorganismes nocifs peuvent générer des maladies graves dans les cas de contact ou d'ingestion de l'eau qui en est porteuse [15].

## **I.3.1.3. Pollution par les métaux lourds**

Parmi les métaux lourds dangereux pour la santé, il faut citer le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le zinc et le chrome. Ces métaux se trouvent à l'état naturel dans le sol, sous forme de traces qui posent peu de problèmes. Cependant, quand ils sont concentrés dans des aires particulières, ils posent un grave danger. L'arsenic Et le cadmium, par exemple, peuvent causer le cancer. Le mercure peut provoquer des mutations et des dégâts génétiques, tandis que le cuivre, le plomb et le mercure peuvent causer des lésions aux os [16].

## **I.3.2. Substances polluantes**

### **❖ Hydrocarbures**

Susceptibles de polluer l'eau ; ils ont pour source les rejets pétroliers, d'huiles de vidanges d'effluents de différentes d'industries. Leur nuisance est l'apparition de goûts et d'odeurs pour des seuils extrêmement variables.

La toxicité serait à craindre dans les eaux de boisson pour des doses supérieures aux seuils d'apparition de goûts et odeurs. On a constaté des affections cutanées dues à des produits d'additions du mazout [17].

### **❖ Pesticides ou herbicides**

D'origine agricole, ils sont destinés à la protection, à l'amélioration de la production végétale et à la préservation des récoltes. Ils sont entraînés par les eaux de pluie ou de ruissellements. Ce sont des produits toxiques et peuvent affecter le goût et l'odeur à une certaine dose [18].

## ❖ Phénols et dérivés

Ils sont l'indice d'une pollution industrielle. Leur nuisance la plus marquante est le goût du chlorophénol qui apparaît dans l'eau en présence de chlore pour des teneurs extrêmement faibles [17].

## I.4. Paramètres globaux de la qualité de l'eau

### I.4.1. Paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais par leur dégradation, peuvent être des facteurs d'alerte pour une pollution ou indiquer un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution [19].

#### a. Couleur

La coloration d'une eau est due, le plus souvent, à la présence des matières organiques dissoutes ou colloïdales. Les eaux chargées prennent souvent une coloration jaune verdâtre, avec présence d'acide humique qui s'élimine difficilement à la filtration. Une eau potable doit être incolore [20].

#### b. Gout (saveur)

C'est un critère d'appréciation gustative de la qualité de l'eau, une eau potable de bonne qualité à un bon gout. La saveur dépend essentiellement de la qualité et la nature des corps dissous [21].

#### c. Odeur

Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ , le sulfure d'hydrogène  $\text{H}_2\text{S}$ , ou organiques comme les esters, les alcools, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales, comme les algues, ou encore dus à la pollution [22].

### d. Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence, elle donne une idée sur sa teneur en matières en suspension notamment colloïdales (argiles, limons, grains de silice, matière organique....etc.), formant parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs ; pour la sécurité de l'eau de boisson il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU [11].

**Tableau 2** : Classe de turbidité usuelle [21].

Valeurs (NTU)	Qualité des eaux
NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

### I.4.2. Paramètres physico-chimiques

#### a. Température

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Quand les eaux naturelles sont au-dessus de 15°C, il y a 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. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles [23].

#### b. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration de la nature des ions, de la température et de la viscosité de la solution. La conductivité s'exprime généralement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 20°C, elle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour une eau naturelle [11].

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

**Tableau 3 :** Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique [24].

Conductivité électrique (exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	De bonne qualité
750 à 1500	Médiocre
> à 1500	Minéralisation excessive

### c. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est le paramètre essentiel pour qualifier l'acidité et la basicité de l'eau. Il est fonction de la quantité d'acide ou de base présente dans la solution, et du degré de dissociation de l'acide ou de la base, facteur se traduisant tous deux par l'activité des ions grammes  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  [25].

**Tableau 4 :** Classification des eaux selon leur pH [17].

pH	Classe	Remarque
$< 5$	Acidité forte	Présence d'acides minéraux ou organiques
$7 < \text{pH} < 8$	Neutralité approchée	Majorité des eaux de surfaces
$5,5 < \text{pH} < 8$	-	Majorité des eaux souterraines
$\text{pH} \geq 8$	Alcalinité forte	Evaporation intense

### d. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, des carbonates et des hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC), leur unité est le degré français ( $1^\circ\text{F}$ ) [26].

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates contenus dans l'eau. Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. La TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates [27].

### e. Matière en suspension

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les matières en suspension, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution de l'eau [28]. La présence des matières en suspension augmente la turbidité de l'eau et diminue sa transparence [11]. Une eau potable ne doit pas contenir de matières, en suspension décantables, Pour une eau qui contient des suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs [17].

### f. Oxygène dissous

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau, il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique [29].

La teneur en oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes, proches de la saturation. Par contre, les eaux profondes n'en contiennent que quelques milligrammes par litre. L'eau saturée d'air à 20 °C et sous pression normale contient 9.1 mg/l d'oxygène, il est mesuré avec un oxymètre [11].

### g. Minéralisation globale

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que les carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, calcium, sodium, potassium, magnésium.

Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs [30].

### ❖ La dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  (ions alcalino-terreux).

Un degré hydrotimétrique ( $^{\circ}\text{TH}$ ) correspond à une concentration en ions  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$ . Un degré hydrotimétrique correspond aussi à un degré français ( $1^{\circ}\text{F}$ ) [31].

### ❖ Sodium

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de sodium sauf pour les maladies hypertendus.

Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau, il ne faut pas qu'il dépasse 200 mg/l ; cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtre et prennent un goût désagréable [32].

### ❖ Potassium

Le potassium est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules [33].

Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 5 à 10 mg/l [21].

### ❖ Sulfates

Les sulfates font partie des éléments principaux des eaux continentales. Le contenu de ces eaux en ions sulfates est cependant très variable. L'eau de pluie en renferme une quantité notable mais la source la plus importante est le sulfate de calcium hydraté, le gypse, minéral fréquent (pierre à plâtre) est assez soluble dans l'eau [34].

Le sulfate qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse, ou apparaît à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux. La limite supérieure admise dans l'eau potable est 250 mg/l [35].

### ❖ Chlorures

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation à travers des terrains salés.

- Infiltration d'eaux marines dans les nappes phréatiques.
- Activités humaines et industrielles.

Les normes Algériennes préconisent pour les chlorures une concentration maximale admissible de 500 mg/l. Une présence excessive des chlorures dans l'eau d'alimentation, la rend corrosive pour les réseaux de distribution et nocive pour les plantes. Une forte fluctuation des chlorures dans le temps peut être considérée comme un indice de pollution [36].

### ❖ Phosphates

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.) [37].

Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution [11].

### I.4.3. Paramètres toxiques et indésirables

#### I.4.3.1. Paramètres toxiques

##### a. Cadmium (Cd)

D'une façon générale, les eaux ne contiennent que quelques microgrammes de cadmium par litre. Lorsque des teneurs plus élevées sont rencontrées dans les eaux superficielles ou les eaux de nappes phréatiques, l'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier). Le cadmium peut aussi être entraîné par les pluies à partir des fumées industrielles. Il peut aussi provenir de sa dissolution à partir de certaines canalisations galvanisées ou en matière plastique. De plus, la présence de cadmium comme contaminant dans les engrais et les boues des stations d'épuration utilisées en agriculture peut contribuer à un accroissement de la pollution des eaux [11].

Le cadmium s'accumule principalement dans le foie et dans les reins entraînant à long terme des atteintes rénales, un ralentissement de l'élimination urinaire et d'éventuels effets hypertensifs [8].

### **b. Plomb (Pb)**

C'est un constituant naturel, largement réparti dans la croûte terrestre. C'est un métal toxique, il est quasiment inexistant dans l'eau à l'état naturel. Sa présence éventuellement ne peut provenir que de la corrosion des canalisations de distribution de l'eau [11].

Le plomb est pour l'homme un toxique à effet cumulatif. Les intoxications (saturnisme) sont conditionnées par la longue rétention du plomb dans l'organisme ce qui en fait un poison typiquement cumulatif. A partir d'une dose journalière de 1mg par jour répétée pendant une période suffisamment longue le plomb est susceptible de provoquer des effets nocifs d'autant plus dangereux qu'ils apparaissent en général sans signe d'alarmes [38].

### **c. Mercure (Hg)**

Le mercure total inclut le mercure minéral (Hg) sous tous ses degrés d'oxydation et les formes organiques tels que le méthylmercure. Il provient essentiellement des terrains volcaniques, de minerai sulfuré : le cinabre, de l'industrie (peintures, teintures, électrique, instruments de mesure, pharmacie, explosifs...) et de l'utilisation en agriculture des fongicides et des bactéricides [39].

D'une façon générale, dans les eaux douces superficielles, sauf cas de pollution caractérisée, la teneur en mercure peut varier entre 0,1 et 2µg/l [11].

### **d. Chrome (Cr)**

Le chrome (Cr) est présent naturellement dans les roches magmatiques et dans les sédiments calcaires et argileux. Dans les eaux naturelles, il peut provenir essentiellement de filons métallifères (chromite). Cependant, la présence de chrome dans les eaux naturelles est assez rare, du fait de sa faible solubilité. Sa présence dans les eaux est en général due aux rejets d'eaux usées. Les dérivés du chrome se retrouvent dans l'eau essentiellement sous forme oxydée : le chrome trivalent (Cr III) et le chrome hexavalent (Cr VI) [40].

### **e. Arsenic (As)**

Il est présent à concentration faible dans les eaux de surface. Sa présence dans l'environnement et par voie de conséquence dans l'eau est à relier à certain nombre de pollutions : utilisation d'engrais phosphatés, d'herbicides, d'insecticides et de détergents (les eaux de blanchisserie peuvent en contenir quelques microgrammes par litre), combustion de

charbon ou de déchets, dépôts de résidus industriels, traitement de minerais arsenicaux (cuivre...), etc [11].

On leur a associé des intoxications humaines endémiques caractérisées essentiellement par une mélanodermie du pied et une sclérose des membres inférieurs. Sachant par ailleurs que l'arsenic est doué de propriétés cancérogènes, il convient donc d'en limiter les rejets dans les eaux [8].

### I.4.3.2. Paramètres indésirables

#### a. Aluminium (Al)

L'aluminium, très répandu sur la terre, il vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium. Lorsqu'il est en solution et en milieu acide, il existe sous forme d' $\text{Al}^{3+}$ , dans une solution dont on élève le pH progressivement, il précipite sous forme de trihydroxyde  $\text{Al}(\text{OH})_3$  qui se dissout sous forme d'aluminate  $\text{AlO}_2^-$  [11].

A des concentrations supérieures à 30  $\mu\text{g/l}$  en aluminium, l'eau peut être considérée comme dangereuse lorsqu'elle est utilisée pour la dialyse rénale [8].

#### b. Fer (Fe)

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux  $\text{Fe}^{2+}$ , le fer ferrique  $\text{Fe}^{3+}$  et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques,) et minérales (silicates, phosphates, ...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait augmenter la concentration du Fe(II) soluble en solution [41].

Pour des raisons de qualité esthétique ou organoleptique, la concentration du fer dans l'eau potable est fixée à des concentrations  $\leq 0,3 \text{ mg/L}$  [42].

#### c. Manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ )

Le manganèse présent dans l'eau peut s'y trouver à l'état soluble ou en suspension ou sous forme de complexes ; sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous, de la présence d'agents complexants. Il provient du contact entre le sol et l'eau, de la décomposition des végétaux qui contiennent entre 0,4 et 0,04 % de leur poids en manganèse (forme complexée),

du métabolisme de certaines bactéries et de l'industrie (sidérurgique, minière, chimique et de la céramique) [38].

Du point de vue gustatif, le manganèse peut donner un goût désagréable à l'eau. Par ailleurs, même à des doses faibles (0,02 mg/l), il est susceptible de former une couche noire sur les canalisations qui lorsqu'elle se détache donne un aspect peu engageant à l'eau. Du point de vue domestique, il présente l'inconvénient, même en quantités faibles, de tacher l'émail et le linge. Dans les stations de traitements des eaux, il favorise la croissance de bactéries du groupe des sidérobactériales (*Gallionella*) perturbant le fonctionnement des filtres à sable et pouvant amener la formation de dépôts dans les canalisations [11].

### **d. Zinc ( $Zn^{2+}$ )**

D'une façon générale, les eaux à pH faible ont des teneurs en zinc plus importantes. La présence de zinc dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. Par contre, le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs pouvant dépasser 1 mg/l provient généralement des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates [11].

### **e. Cuivre**

Le cuivre peut se rencontrer dans certaines eaux naturelles généralement à des teneurs inférieures à 1mg/l sous forme ionique ou de complexes (cyanures, ammoniacque, produits organiques, etc.). En dehors de pollutions industrielles ou de traitements agricoles, ce métal provient habituellement de la corrosion des tuyauteries de distribution, plus rarement il constitue le résidu d'un traitement des algues par les sels de cuivre [39].

Avec certaines eaux douces, des concentrations voisines de 0,5 mg/l peuvent colorer le linge, la porcelaine des évier et donner un noircissement à certaines denrées alimentaires après cuisson (asperges, champignons, etc.) [11].

## **I.4.4. Paramètres de pollution organique**

### **a. Demande chimique en oxygène (DCO)**

C'est la quantité d'oxygène exprimée en mg/l consommée par les matières existantes dans l'eau (dégradable ou non), et oxydable en présence d'oxydants puissants ; tel que le bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) sans l'intervention des micro-organismes [11].

### b. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

On appelle DBO<sub>5</sub> d'une eau la quantité d'oxygène exprimée en mg/l, consommé pendant 5 jours à une température de 20 °C, nécessaire pour décomposer par oxydation biologique des matières organiques présentes dans l'effluent. La valeur obtenue représente environ 80% de la pollution biodégradable totale [21].

**Tableau 5** : Qualité de l'eau en fonction de la DBO<sub>5</sub> [21].

Valeur de la DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Qualité des eaux
DBO <sub>5</sub> < 3mg/l	Très bonne
3mg/l < DBO <sub>5</sub> < 5mg/l	Bonne
5mg/l < DBO <sub>5</sub> < 8mg/l	Moyenne
DBO <sub>5</sub> > 8mg/l	Mauvaise

### c. Le carbone organique total (COT)

Correspond à une mesure globale de la matière organique, particulaire et dissoute, présente dans l'eau. Les eaux souterraines, en subissant une autoépuration chimique et biologique, sont généralement pauvres en COT : de 0,5 mg/l. Cependant, les eaux superficielles présentent des valeurs comprises entre 2 et 12 mg/l, la référence de qualité est de 2 mg/l [43].

### d. Nitrates

Les nitrates présents à l'état naturel et soluble dans le sol, pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Mais ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais. Ils sont l'une des causes de la dégradation de l'eau.

Transformés en nitrites par l'organisme, ils peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine en "méthémoglobine" et provoquer un mauvais transfert de l'oxygène vers les cellules. Cette pathologie peut affecter les nourrissons de moins de 6 mois. Le risque est très difficile à établir. Partant d'un principe de précaution, la norme de potabilité pour l'eau a été fixée à 50 mg/l. Au-delà de 100 mg/l, l'eau ne doit pas être consommée [44].

### e. Nitrites

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Une eau renfermant une quantité élevée de nitrites (supérieure à 1mg/l d'eau) est considérée comme chimiquement impure, cependant, dans l'interprétation définitive de l'analyse chimique de l'eau, l'on doit tenir compte également des teneurs en nitrates, de l'azote ammoniacal, des matières organiques et des résultats des examens bactériologiques. Les valeurs limites recommandées pour les nitrites dans l'eau de boisson, sont de 0,1 mg/l pour les pays de l'Union Européenne et des doses inférieures à 1 mg/l pour l'O.M.S [20].

### I.4.5. Paramètres bactériologiques

#### a. Germes totaux

Ce sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies. Leur présence est indicatrice de pollution bactérienne. Leur dénombrement donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine [45].

Ces microorganismes ne présentent pas d'effets directs sur la santé, mais une concentration trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique et le dénombrement de la flore totale permet d'évaluer la densité bactérienne globale. Une faible valeur est témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution [38].

#### b. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des indicateurs d'une contamination fécale. Ils sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies ; ils sont capables de croître en présence de sels biliaires. *Les coliformes totaux* croissent en aérobiose à 37 °C en milieu liquide bilié lactose au vert brillant en produisant de l'acide et du gaz en 48h [46].

#### c. *Escherichia coli*

Est sans doute le plus spécifique de tous les germes de contamination fécale. Le terme « *Escherichia coli* présumé » correspond à des *coliformes thermo-tolérants* qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et ont des caractères biochimiques propres à cette espèce [45].

### d. Streptocoques fécaux

Ce sont des *Cocci* à gram positif, regroupées en chainettes. Ils sont généralement pris en compte comme des témoins de pollution fécale. On les trouve aussi bien chez les animaux que chez l'homme [47]. Ils sont de forme sphérique ou ovoïde, non sporulées aéro-anaérobies facultatives, ne possédant ni catalase ni oxydase, ce sont des hôtes normaux d'homme, et ne sont pas considérés comme pathogènes [36].

Ils se répartissent en 2 genres *Streptococcus* et *Enterococcus*. La plupart des espèces appartiennent au genre *Enterococcus*. Leur recherche dans le milieu hydrique présente un intérêt certain, car leur comportement diffère nettement de celui des *coliformes*. Leur caractère de bacilles Gram+ leur confère une bonne résistance dans les milieux hydriques (eaux douces et marines). Ce qui permettrait la mise en évidence de pollutions plus anciennes. Cette résistance serait d'ailleurs comparable à celle des *virus entériques*. Ils sont également plus résistants à la désinfection, ce qui présente un intérêt en tant qu'indicateur d'efficacité de traitement, et ne présentent pas (contrairement aux coliformes) de phénomènes de croissance dans les réseaux de distribution. Par contre une partie des espèces est peu spécifique des contaminations fécales [48].

### e. Salmonelles

Ce sont des *coccobacilles* appartenant à la famille des *entérobactéries*, généralement considérés comme pathogènes bien que leur virulence et leurs pathogénie varient énormément : *fièvre typhoïde, les salmonelles systémiques, gastro-entérites, toxine injections alimentaires* [49]. Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des *salmonelles*, non seulement en cas de maladies mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. *Les salmonelles* peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques ainsi que l'eau de mer [21].

### f. Coliformes fécaux

*Les coliformes fécaux ou coliformes thermo tolérants* correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C [50].

## I.5. Risques liés à l'eau

La notion de teneur est liée à la notion de temps d'exposition ; en effet, le temps de réponse de l'organisme humain n'est pas uniforme vis-à-vis des agresseurs potentiels et les risques sanitaires sont souvent divisés en risques à court, à moyen ou à long terme [51].

### I.5.1. A court terme

Il s'agit principalement des maladies à transmission hydrique provoquées par des germes pathogènes (bactéries, virus, salmonelles...). Une seule absorption d'eau polluée peut entraîner la contamination [51].

### I.5.2. A moyen terme

Certains composés perturbent de façon sensible les fonctions vitales : nitrates (Méthémoglobinémie), fluor (fluorose), sulfate de magnésium (eau laxative) et autres [51].

### I.5.3. A long terme

Des phénomènes d'accumulation de composés toxiques peuvent être à l'origine de cancer (métaux lourds, résidus de biocides ou d'hydrocarbures,...) même si la teneur dans l'eau de l'élément incriminé est faible (micropollution).

Ces composés peuvent être à l'origine d'empoisonnement rapide si la teneur est très importante et conduire ainsi à un risque sanitaire à court terme ; cela peut être le cas lors d'une pollution accidentelle (déversement en rivière suite à une forte pluie) [51].

## I.6. Maladies à transmission hydrique

Les maladies à transmission hydrique constituent un groupe de maladies à allures épidémiques, dont la symptomatologie est le plus souvent digestive (diarrhées, vomissements...) et dont la nature et la propagation sont liées à divers facteurs, comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté [20].

Le tableau ci-dessous résume les principaux groupes et genres d'agents pathogènes responsables de maladies d'origine hydrique.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

**Tableau 6** : Les maladies à transmission hydrique [52] [53].

Maladies	Organismes pathogènes responsables	Principaux mode de transmission à l'homme	Principaux moyens de protection	Réservoir de l'organisme pathogène infectieux
<i>Choléra</i>	<i>Vibrio cholera</i>	Eaux et aliments contaminés par des matières fécales ; eaux d'égouts ; voie féco-orale.	Vaccin peu efficace, ébullition ou désinfection de l'eau de consommation	Humains
<i>Fièvre typhoïde</i>	<i>Salmonella typhi</i>	Eaux et aliments contaminés par des eaux d'égouts ; coquillages	Vaccination ; ébullition ou désinfection de l'eau de consommation	Humains
<i>Fièvre paratyphoïde</i>	<i>Salmonella paratyphi (abc)</i>	Eaux et aliments contaminés par des eaux d'égouts ; coquillages	Ebullition ou désinfection des eaux de consommation.	Humains
<i>Tétanos</i>	<i>Clostridium tetani</i>	Spores des bactéries introduites dans la terre, dans la rouille, etc. dans une plaie ; contact avec des eaux d'égout	Vaccination	Humains, animaux et sol
<i>Diarrhée infectieuse</i>	Diverses bactéries	Eaux et aliments contaminés par des eaux d'égouts ; coquillages	Hygiène ; désinfection de l'eau,...	Humains et animaux (porc, bovins, moutons, volailles, chats, chiens, etc.)

## I.7. Procédés de traitement des eaux potables

### I.7.1. Préchloration

Elle permet d'obtenir une meilleure filtrabilité en aidant la coagulation, et une meilleure qualité d'eau. Elle a pour objet :

- La destruction des micro-organismes (algues, bactéries, planctons) existants et susceptibles de se développer dans les ouvrages et dans le lit de boues. Elle assure alors la propreté des décanteurs et des filtres et elle évite les remontées des boues dans ces décanteurs.
- L'oxydation des matières organiques qui pourraient former des complexes organosolubles.
- L'oxydation des ions ferreux et manganoux.
- L'oxydation de l'ammoniaque.
- La diminution du seuil de gout et souvent, l'amélioration de la décoloration de l'eau [54].

### I.7.2. Coagulation- floculation

La coagulation et la floculation se définissent ainsi ;

#### ➤ Coagulation

Processus comportant en premier lieu, la déstabilisation d'une suspension colloïdale, et, en second lieu, l'agrégation des particules en petits amas, ou flocons, sous agitation et sous l'action du mouvement brownien.

#### ➤ Floculation

Processus de grossissement et d'uniformations des flocons sous l'influence d'un brassage modéré [22].

Les coagulants que l'on ajoute contiennent donc des ions bivalents ou trivalents ; les plus utilisés comme le sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$ , la chaux CaO (vive) et  $Ca(OH)_2$  (éteinte), et le chlorure ferrique  $FeCl_3$ .

Les sels d'aluminium les plus employés sont : le sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$ , le chlorure d'aluminium  $AlCl_3$ , et l'aluminate  $Al_2O_3$ .

## - Choix du coagulant

Pour choisir un coagulant, un certain nombre de paramètres doit être pris en considération à savoir :

- Les caractéristiques des eaux brutes tels que : la minéralisation, l'équilibre calco-carbonique et les paramètres physico-chimiques à éliminer (turbidité, couleur, matières organiques).
- Les critères économiques tels que les surcouts dus à l'utilisation des réactifs de neutralisation et/ou de reminéralisation.

## - Les facteurs influençant la coagulation

- pH.
- Concentration de coagulant.
- Vitesse et temps d'agitation.
- Température [38].

### I.7.3. Décantation

La décantation consiste à précipiter les floes formés précédemment au fond des décanteurs, sous la force de leur poids (décantation gravitaire), la décantation à pour rôle :

- De séparer les particules en suspension de l'eau claire.
- D'obtenir une eau décantée qui soit filtrable.
- De se débarrasser des boues [55].

Pour que cette décantation ait lieu, il faut que la vitesse de chute des particules soit supérieure à la vitesse ascensionnelle ( $V_a$ ) de l'eau dans l'appareil :

$$V_a = \text{débit horaire (m}^3/\text{h)} / \text{surface (m}^2\text{)}$$

Ces particules existent dans l'eau brute et sont rassemblées en flocons plus gros (donc plus lourds) par l'adjonction de réactifs chimiques lors de la floculation [54].

### I.7.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans

l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée ou décantée à mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante).

Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique. Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage. D'une façon générale, on distingue deux types de filtration :

- La filtration lente qui a l'avantage d'être une opération facile mais présentant plusieurs inconvénients tels que la nécessité d'une grande surface et l'exigence d'une eau dont la turbidité est faible.
- La filtration rapide, qui en revanche est une opération relativement complexe mais palliant aux inconvénients de la première [19].

### I.7.5. Désinfection

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes moins banals et moins résistants.

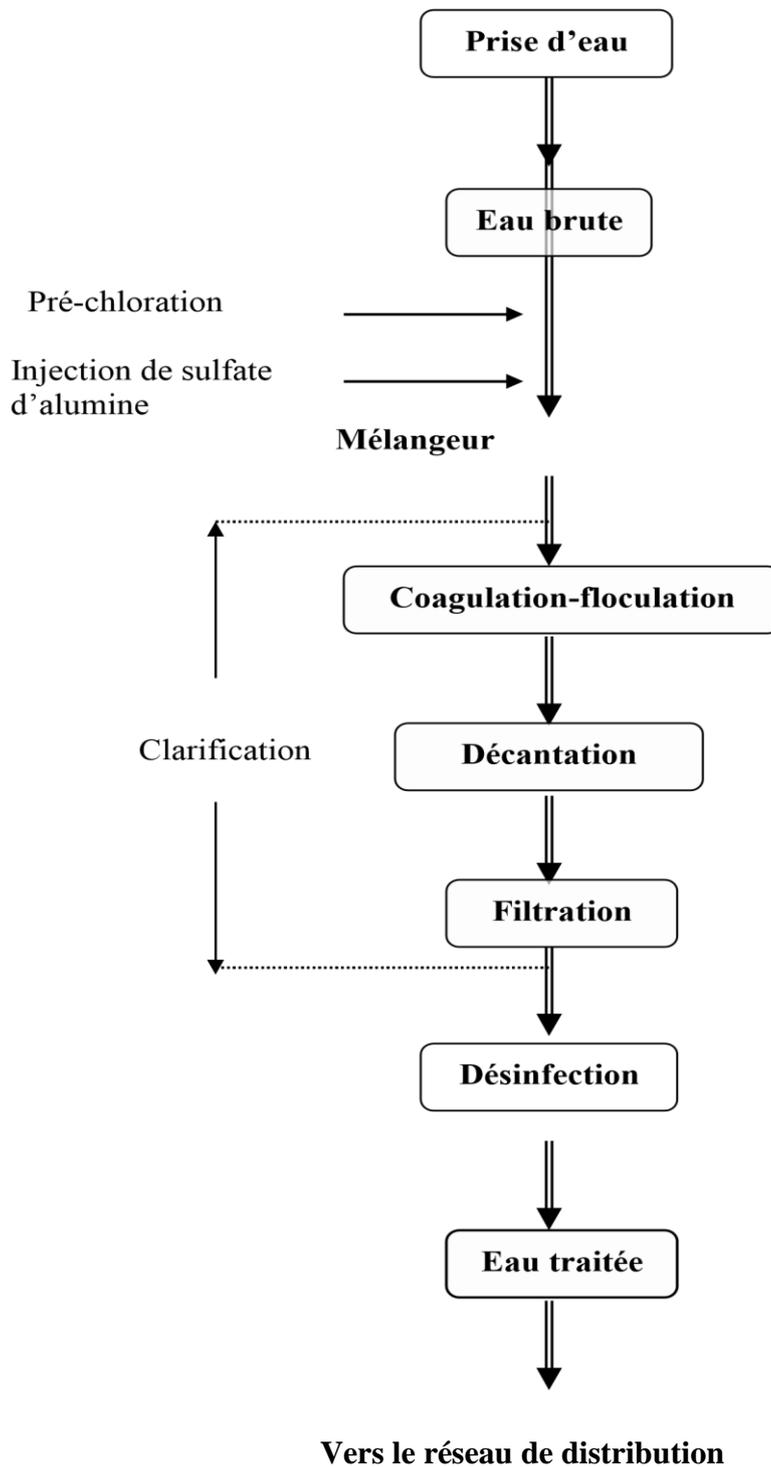
C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, tout en y maintenant un pouvoir désinfectant suffisamment élevé pour éviter les reviviscences bactériennes dans les réseaux de distribution.

L'eau potable, suivant les normes, contient toujours quelques germes banals, alors qu'une eau stérile n'en contient aucun. La désinfection est une post-oxydation. En eau potable, elle est assurée par des oxydants chimiques tels que le dichlore  $\text{Cl}_2$ , le dioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$ , l'ozone  $\text{O}_3$  et dans un certain nombre de cas par un procédé physique comme le rayonnement UV [56].

#### - Action du chlore sur les micro-organismes

Le chlore particulièrement sous sa forme acide hypochloreux est un biocide puissant. L'efficacité du chlore en tant que bactéricides est reconnue de même que son action virulicide notable pour l'inactivation des entérovirus pathogènes.

Pour le chlore, le maintien d'un taux de 0,5 mg/l de chlore libre, pendant un temps de contact de 30 min, permet d'éliminer les bactéries pathogènes et les virus de la poliomyélite [38].



**Figure 9** : Chronologie des procédés de traitement des eaux potables

# *CHAPITRE II*

## *Matériels et méthodes*

### II.1. Objectif d'étude

L'objet de notre travail consiste dans un premier temps à caractériser et évaluer les paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux de barrage El Hamiz en vue de leurs potabilisations, dans un second lieu à suivre les étapes et les processus de traitement au niveau de la station de SEAAL de Boudouaou en se basant sur l'évolution des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Puis, en dernière partie proposer des recommandations afin d'améliorer le processus de traitement.

### II.2. Présentation de la zone d'étude

Le barrage d'El Hamiz est situé sur l'oued Arbaâatche, a un bassin versant de 139 km<sup>2</sup> et une capacité de 21 millions m<sup>3</sup>. Il est situé à 6 km de Khemis El Khechna dans la wilaya de boumerdes. Il a été construit entre 1869 et 1879. Puis consolidé et surélevé de 7 m en 1933. Il est destiné à l'irrigation de périmètre de la Mitidja Est. Depuis 1987, il est dérivé par une galerie ses eaux excédentaires vers le barrage de Keddara [39].

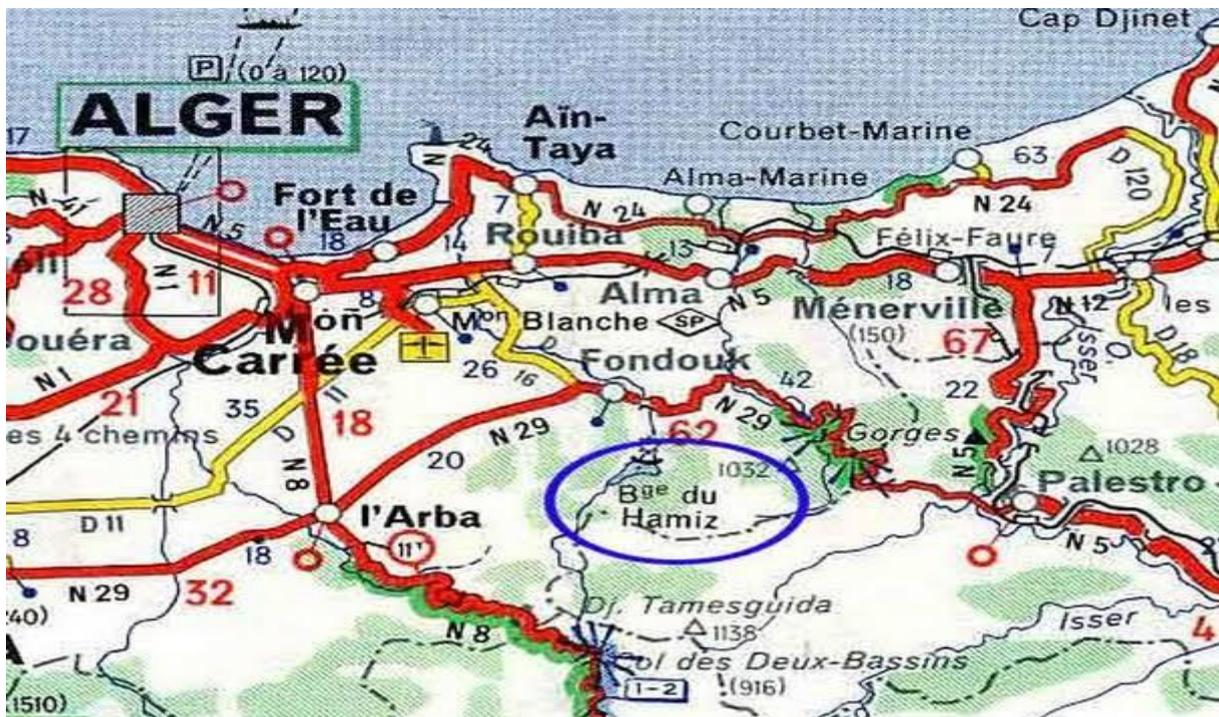


Figure 10 : Situation géographique du barrage

## Chapitre II : Matériels et méthodes

---

Régularisant un bassin versant de  $139 \text{ km}^2$ , sur lequel tombent annuellement en moyenne 839 mm d'eau, l'ouvrage est utilisé pour l'irrigation des riches terres de plaine.

Débit annuel moyen de l'oued : 51,6 millions de  $\text{m}^3$ .

Module :  $1,6 \text{ m}^3/\text{seconde}$ .

Module relatif :  $12 \text{ l/seconde/km}^2$ .

Débit minimum semi-permanent :  $120 \text{ l/seconde}$ .

Débit minimum :  $0 \text{ l/seconde}$ .

Coefficient de ruissellement : 0,42.

Crue maximale enregistrée : 12 novembre. 1935 :  $510 \text{ m}^3/\text{seconde}$ .

(Annuaire hydrologique de l'Algérie, année 1947-1948)



**Figure 11** : Photo de la digue du barrage

## Chapitre II : Matériels et méthodes

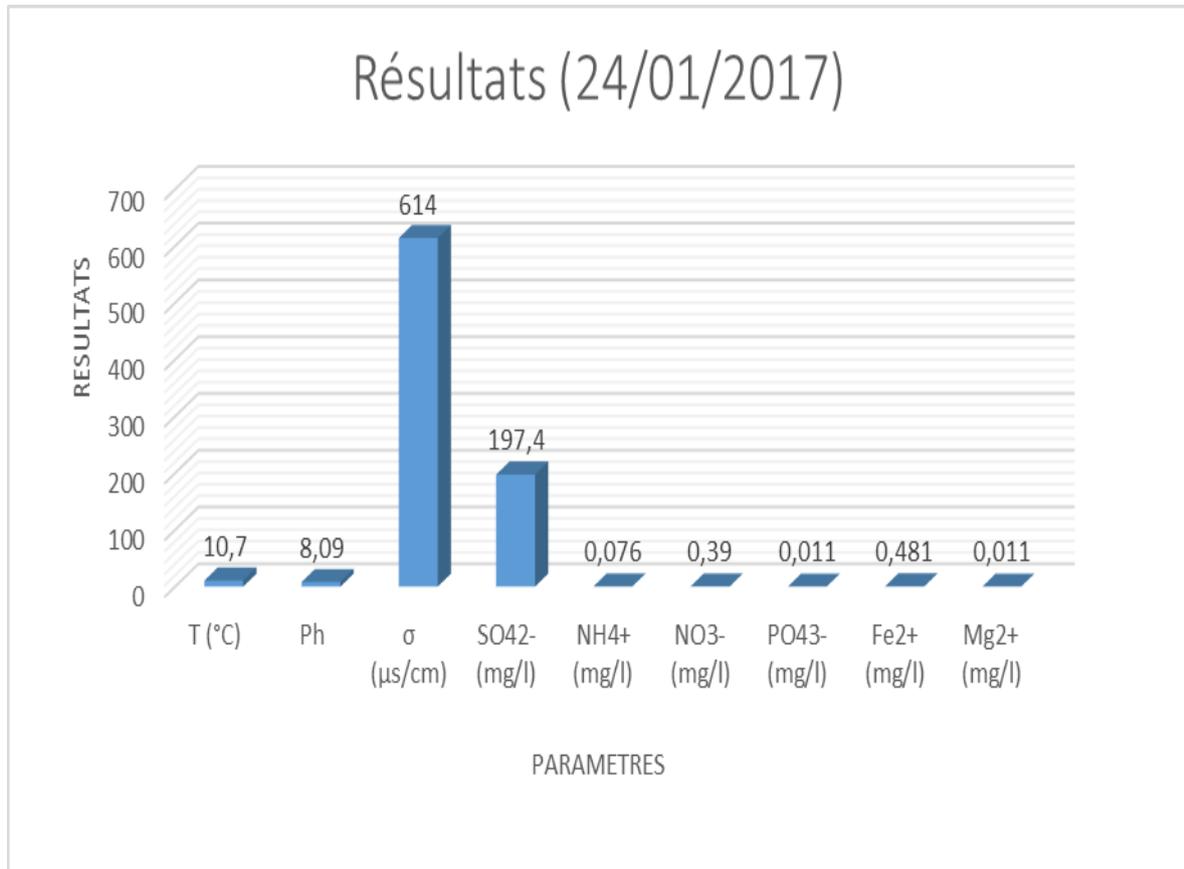
### II.2.1. Caractéristiques du barrage d'El Hamiz [41].

**Tableau 7** : Caractéristiques du barrage d'El Hamiz

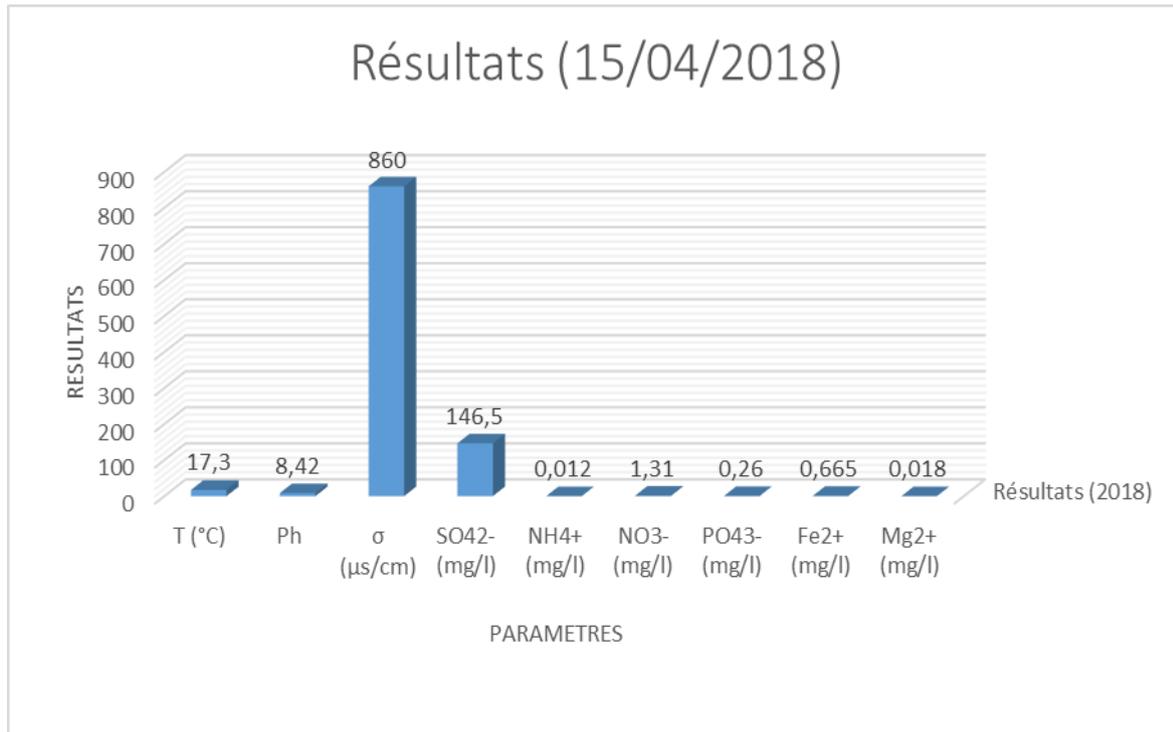
<b>Données générales</b>	
Barrage	Hamiz
Oued	Arbatache
Commune	Arbatache
Wilaya	Boumerdes
Destination	Irrigation de la plaine Mitidja Est, AEP Alger, et transfert des eaux vers la retenue de Keddara par une galerie
Surélévation	7 m en 1935
<b>Données hydrologiques</b>	
Aire du bassin versant	139 km <sup>2</sup>
Précipitation annuelle moyenne	880 mm
Débit annuel moyen de l'oued	55 hm <sup>3</sup>
Débit instantané de la plus forte crue	735 m <sup>3</sup> /s
Envasement annuel	0,05 hm <sup>3</sup>
Volume régularisé	27 hm <sup>3</sup>
<b>Données techniques</b>	
Cote de la retenue normale	174,1 m
Type de l'ouvrage	Poids en maçonnerie
Hauteur de l'ouvrage	45 m
Longueur du couronnement	222 m
Largeur du couronnement	3,3 m
Volume du corps du barrage actuel	60000 m <sup>3</sup> de béton

## Chapitre II : Matériels et méthodes

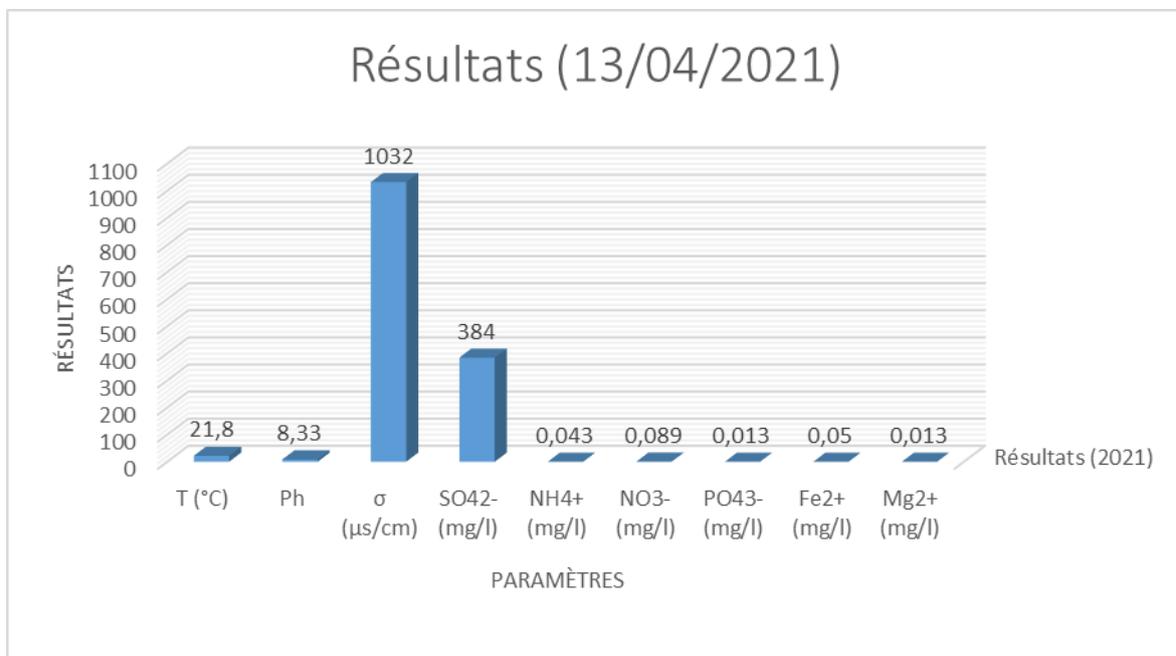
Les figures suivantes représentent les résultats des prélèvements des dernières années, elles nous informent sur les différents paramètres physicochimiques du barrage d'El Hamiz dans les années 2017/2018 et 2021 pour avoir une idée sur la qualité de l'eau de ce barrage [4].



**Figure 12** : Résultats du prélèvement du 24/01/2017



**Figure 13** : Résultats du prélèvement du 15/04/2018



**Figure 14** : Résultats du prélèvement du 13/04/2021

### II.3. Essai de Jar test

#### a) Principe

A des volumes identiques d'eau à traiter, on injecte des quantités croissantes de coagulant de façon à déterminer la dose permettant d'obtenir une eau de meilleure qualité possible. Une fois la dose optimale de coagulant obtenue, à des volumes identiques d'eau (avec dose optimale de coagulant) à traiter, on injecte des quantités croissantes de floculant de façon à déterminer la dose permettant d'obtenir une eau clarifiée de meilleure qualité possible.

#### b) Réactifs

Sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , polyélectrolyte (floculant), solution fille de floculant.

#### c) Appareillage

- Un chronomètre.
- Fioles de diverses contenances (1 litre, 100 ml).
- Un floculateur de laboratoire avec six béchers de floculation.
- Un siphon ( $d \approx 0,5$  mm) recourbé vers le haut pour éviter l'aspiration des boues.
- 7 béchers de 0,5 L pour récupérer les échantillons siphonnés.
- Des pipettes graduées.
- Un pH mètre.
- Un turbidimètre.
- Un spectrophomètre.
- Un conductimètre.
- Une balance analytique : précision 0,1 mg.

#### d) Mode opératoire (voir annexe n°2).

### II.4. Caractérisation physicochimique

#### II.4.1. Paramètre physiques

##### II.4.1.1. Détermination du pH

#### a) Principe

La détermination du pH est basée sur le mesurage de la différence de potentiel d'une cellule électrochimique à l'aide d'un pH-mètre sension +pH<sub>3</sub> HACH.

### b) Appareillage

Sension +pH<sub>3</sub> HACH est un instrument pour mesurer le pH, les mV et la température. Il est doté d'un agitateur.

### c) Réactifs

Solutions tampons : sont des solutions de commerce de pH=4 et pH=7.

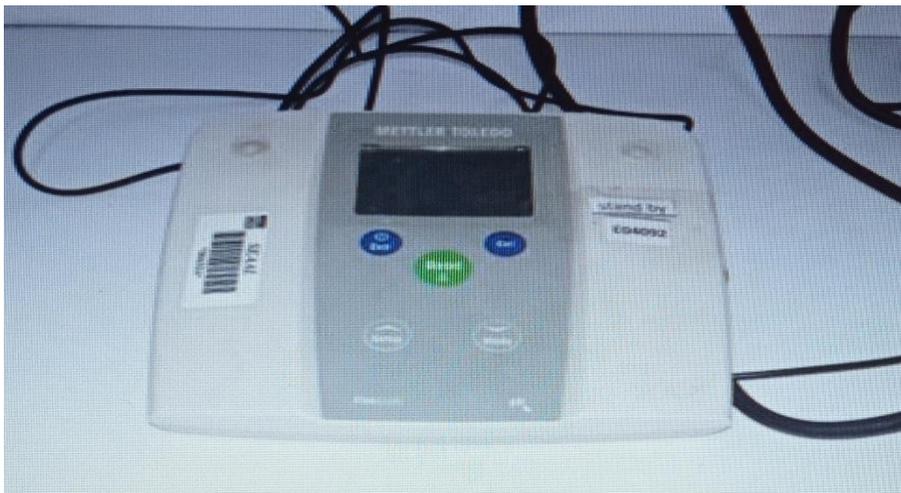


Figure 15 : pH mètre

### II.4.1.2. Détermination de la conductivité électrique

#### a) Principe

Détermination directe, à l'aide d'un instrument approprié de la conductivité électrique de solutions aqueuses. La conductivité électrique est une mesure du courant conduit par les ions présents dans l'eau et dépend de :

- la nature des ions.
- la concentration des ions.
- la température de la solution.
- la viscosité de la solution.

#### b) Réactifs

Solution contrôle de qualité de chlorure de potassium à 0,01 mol/l.

### c) Appareillage

L'appareil utilisé est un conductimètre, METTLER TOLEDO MC 226, équipé d'une électrode de mesure, d'une sonde de température et d'un convertisseur fourni par le fabricant.

Cet appareil a la propriété de compenser la température de l'eau pour se ramener à ces conditions de mesure à 25°C.



**Figure 16 :** Conductimètre

### II.4.1.3. Détermination de la turbidité

#### a) Principe

Son principe repose sur la comparaison de la lumière diffusée par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solution formazine.

#### b) Appareillage

- Cellule en verre de 25 ml.
- Turbidimètre de type E 04102.



**Figure 17 :** Turbidimètre

### II.4.2. Paramètres chimiques

#### II.4.2.1. Détermination du fer dissous

##### a) Principe

Les ions fer (III) sont réduits en ions fer (II) par réaction avec le réactif indicateur phénanthroline en donnant une coloration brune qui est proportionnelle à la quantité du fer présent.

##### b) Réactifs

- Réactifs commerciaux.

##### c) Appareillage

- Cuve rectangulaire de 50 mm.
- Spectrophotomètre HACH type DR6000.

#### II.4.2.2. Détermination du Manganèse

##### a) Principe

Les manganèses sont réduits en ions manganèses (II) avec l'acide ascorbique. Ils réagissent dans des solutions de faible alcalinité avec le 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN) pour former un complexe rouge orangé.

##### b) Réactifs

Réactifs commerciaux (réactif A, B, C).

##### c) Appareillage

Spectrophotomètre HACH type DR6000.

#### II.4.2.3. Détermination de l'oxygène dissous

##### a) Principe

Réaction de l'oxygène dissous de l'échantillon sur de l'hydroxyde de manganèse (II) fraîchement précipité (formé par l'addition de l'hydroxyde de sodium ou de potassium au sulfate de manganèse (II)). Acidification, et oxydation de l'iodure par le composé de manganèse de

valence supérieure formé, avec libération d'une quantité équivalente d'iode. Dosage de la quantité d'iode libérée par titrage au thiosulfate de sodium.

### b) Réactifs

Acide sulfurique concentré, réactif alcalin d'iodure et de nitruure, sulfate de manganèse (II) monohydraté, solution titrée de thiosulfate de sodium, empois d'amidon à 10g/l, phénolphtaléine à 1g/l, iode, iodure de potassium.

### c) Appareillage

- Matériel courant du laboratoire (pipette, bécher... etc).
- Fiole en verre à goulotte étroit de 130 à 350 ml de capacité, jaugée à 1 ml près, munie de bouchon.

### d) Mode opératoire (voir annexe n°5)

#### II.4.2.4. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

##### a) Principe

Le dosage DCO est réalisé par titrage de l'excès de dichromates avec une solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium en présence de sulfate de mercure (II) et d'un catalyseur à l'argent en milieu fortement acidifié par l'acide sulfurique.

##### b) Réactifs

Sulfate de mercure (II), dichromates de potassium, l'acide sulfurique, et sulfate de fer (II).

##### c) Appareillage

- DCO mètre, appareil à reflux continu, avec ses accessoires (réfrigérants, tubes...).
- Burette graduée de précision de capacité 10 ml.
- Erlenmeyer de capacité 100 ml.
- Matériel courant de laboratoire : béchers, fioles,...

#### II.4.2.5. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO)

##### a) Principe

La DBO correspond à l'oxygène qui a été utilisé par des bactéries pour détruire ou dégrader les matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. La méthode consiste à

déterminer la quantité d'O<sub>2</sub> consommée par la matière oxydable à l'aide de bactéries acclimatées pendant une période de 5 jours d'incubation à 20°C.

### b) Appareillage

- Logiciel de mesure « Robot SP50 SKALAR » couplé à un oxymètre de marque HACH HQ40D.
- Armoire thermostatique ou incubateur conservant une température de 20°C.
- Flacons bruns et fiole jaugée.
- Extracteur magnétique et barreaux aimantés.



Figure 18 : spectrophotomètre

### II.4.2.6. Détermination de la demande en chlore

#### a) Principe

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

A 10 flacons de l'eau à analyser, on ajoute des doses croissantes de chlore. Après écoulement du temps de contact, on mesure le chlore résiduel avec un comparateur DPD.

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

#### b) Réactifs

- Solution du chlore de concentration 1g/l, iodure de potassium (KI), acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH) 0,1M, solution de thiosulfate de sodium 0,1M, empois d'amidon.
- DPD 1 (comprimés commercialisés) pour déterminer le chlore libre.

### c) Appareillage

- Dix flacons en verre brun à col rodé de 1 litre, lavés et rincés avec l'eau à étudier.
- Un chronomètre.
- Un comparateur DPD.
- Matériels classique de laboratoires ( fioles, pipettes, béchers, etc.).

### d) Mode opératoire (voir annexe n°6)

## II.5. Indicateurs de pollution

### II.5.1. Sulfates

#### a) Principe

Les ions sulfates, en présence de chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2$ ), précipitent à l'état de sulfate de baryum.

#### b) Réactifs

- Solution mère de sulfate de sodium, concentration 1g/l.
- Solution stabilisante.
- Solution de chlorure de baryum 0,01 N.

#### c) Appareillage

- Matériel courant de laboratoire ( fioles, pipettes, béchers de 250ml...etc.).
- Spectrophotomètre.
- Agitateur mécanique.

#### d) Mode opératoire (voir annexe n°7)

### II.5.2. Phosphates

#### a) Principe

Réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions de molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

Réduction du complexe par l'acide ascorbique pour former un complexe bleu de molybdène de couleur vive.

Mesure de l'absorbance du complexe pour déterminer la concentration en orthophosphates présents.

### b) Réactifs

Acide sulfurique, acide ascorbique, solution à 100 g/l, solution molybdate acide, solution mère de  $\text{PO}_4^{3-}$  de concentration 100 mg/l, solution fille de  $\text{PO}_4^{3-}$  à 1 mg/l.

### c) Appareillage

- Matériel courant de laboratoire ( fioles, pipettes, béchers de 250 ml...etc.)
- Spectrophotomètre

## II.5.3. Nitrates

### a) Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

### b) Réactifs

Solution de salicylate de sodium, solution de tartrate double de sodium et de potassium, solution d'acide sulfurique, solution d'hydroxyde de sodium à 30%, solution mère de nitrate de potassium à 100 mg/l.

### c) Appareillage

- Matériel courant de laboratoire ( fioles et pipettes).
- Capsules de 60 ml.
- Bain marie ou une étuve portée entre 75 à 80°.
- Spectrophotomètre.

## II.5.4. Nitrites

### a) Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'acide orthophosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichloro-hydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1-2 éthane et mesure de l'absorbance à 540 nm.

### b) Réactifs

Réactif coloré, solution étalon mère de nitrites 100 mg/l, solution étalon fille de nitrites 1 mg/l.

### c) Appareillage

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fiolle et pipettes).
- Spectrophotomètre.

### c) Mode opératoire (voir annexe n°8)

## II.6. Caractérisation biologique

### II.6.1. Détermination des phytoplanctons (algues)

#### a) Principe

- Un échantillon d'eau est conservé et stocké jusqu'à l'analyse.
- L'analyse débute par l'homogénéisation de l'échantillon, puis un sous échantillon est placé dans une chambre de sédimentation.
- Dénombrement et identification (par reconnaissance visuelle de leur morphologie) : effectués à l'aide d'un microscope inversé après la sédimentation des algues sur le fond de la chambre.

#### b) Réactifs

Solution de Lugol acide, solution de Lugol alcalin, formaldéhyde à 37 % (pour l'obtention d'une concentration finale de 4 %).

#### c) Appareillage

- Flacons d'échantillonnages.
- Microscope inversé.
- Réticule de comptage.
- Oculaire micrométrique.
- Lame micrométrique ou micromètre objet.
- Filet à plancton.

### II.6.2. Détermination des streptocoques

#### a) Principe

Le dénombrement des *streptocoques* est fondé sur la filtration de l'échantillon à analyser à travers une membrane filtrante ayant une porosité de 0,45  $\mu\text{m}$  suffisante pour retenir les bactéries.

### b) Réactifs

*Gélose de Slanetz et Bartley*, additif T.T.C (Chlorure de 2,3,5-Triphényl-Tétrazolium),  
*gélose Bile Esculine Azoture (B.E.A)*.

### c) Appareillage

- Rampe de filtration en acier inoxydable stérilisée à la flamme avant chaque analyse.
- Pompe sous vide.
- Pinces à creuset et brucelles.
- Bec Bunsen.
- Membranes filtrantes stériles de porosité nominale 0,45  $\mu\text{m}$ .
- Incubateur  $44 \pm 0,5$  °C.
- Bain marie maintenue à 100 °C.
- Boîtes de Pétri de diamètre 55 mm.
- Pipettes stériles à usage unique.
- Alcool.
- Compteur de colonies.

### II.6.3. Détermination d'*Escherichia coli* et bactéries coliformes

#### a) Principe

Filtration d'une prise d'essai de l'échantillon sur une membrane filtrante, qui retient les organismes, et placement de la membrane filtrante dans une boîte de gélose chromogène coliforme.

Incubation de la membrane filtrante à  $(36 \pm 2)$  °C pendant  $(21 \pm 3)$  h.

Comptage des colonies positives pour la  $\beta$ -D-galactosidase (couleur à rouge) en tant que bactéries coliformes présomptives qui ne sont pas des *E. coli*. Pour éviter les résultats faux-positifs, provoqués par les bactéries positives à l'oxydase, par exemple *Aeromonas*, les colonies présomptives doivent être confirmées par une réaction à l'oxydase.

Comptage des colonies positives pour la  $\beta$ -D-galactosidase et la  $\beta$ -D-glucuronidase (Couleur bleu à violet) en tant qu'*E. Coli*.

Les bactéries coliformes totales sont la somme des colonies négatives à l'oxydase de couleur rose à rouge de toutes les colonies de couleur bleu foncé à violet.

#### b) Réactifs

*Gélose chromogène (CCA)*, disque d'oxydase ou réactif à l'oxydase.

### c) Appareillage

- Rampe de filtration en acier inoxydable stérilisée à la flamme avant chaque analyse.
- Membranes de filtration stériles de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosité.
- Etuve à  $(36 \pm 2)$  °C.
- Boîtes de Pétri Ø 55mm.
- Bec Bunsen.
- Trompe à vide.
- Pipettes stériles à usage unique (pipette pasteur).
- Pincés désinfectés.

### II.6.4. Détermination des spores

#### a) Principe

- Réétention des *spores de bactéries* sur le filtre de porosité 0,22  $\mu\text{m}$ , après destruction des formes végétales par chauffage de l'échantillon à  $75 \pm 5$  °C pendant 15 min.
- Incubation de la membrane sur *milieu gélose Viande-Foie* additionné d'une ampoule de sulfite de sodium et une ampoule d'alun de fer pendant  $20 \pm 4$ h et  $44 \pm 37$  °C.
- Dénombrement des colonies noires. Cette coloration est dû à la réduction des sulfites en sulfures par action des bactéries, ces sulfures réagissent avec le fer et donnent la couleur noire.

#### b) Réactifs

*Gélose base Viande-Foie* (ou par défaut *Gélose Tryptose-Sulfite*), additif Alun de fer, additif Sulfite de sodium.

#### c) Appareillage

- Boîtes de Pétri, diamètre 55 mm stériles, à usage unique.
- Membranes de filtration stériles de 0,22  $\mu\text{m}$  de porosité.
- Rampe de filtration en acier inoxydable stérilisée à la flamme avant chaque analyse.
- Pincés.
- Etuve à  $37 \pm 1$  °C.
- Bain d'eau thermostaté (bain marie).
- Bec Bunsen.
- Trompe à vide.

# *CHAPITRE III*

## *Résultats et discussion*

### III.1. Caractérisation de l'échantillon avant le traitement

#### III.1.1. Analyse physico-chimique

Les eaux à traiter sont prélevées de l'ouvrage d'arrivée d'eau brute de la station le 18-05-2021. Les résultats avant traitement obtenus sont illustrés dans le tableau 10.

**Tableau 8 :** Résultats des analyses avant traitement.

Paramètre	Unité	Avant Traitement	Norme 11-125
Température	C°	23,6	25
pH	-	8,33	≥ 6,5 et ≤ 9
Conductivité à 20 °C	µS/cm	1017	2800
Turbidité	NTU	37,8	5
MES	mg /L	33,2	25
DCO	mg /L O <sub>2</sub>	<30	30
DBO <sub>5</sub>	mg /L O <sub>2</sub>	1,6	7
Nitrates	mg /L	0,089	50
Nitrites	mg /L	0,07	0,2
Phosphates	mg /L	0,09	-
Sulfates	mg /L	256,5	400
Fer	mg /L	0,107	0,3
Manganèse	mg /L	0,07	1
Oxygène dissous	% O <sub>2</sub>	7,94	30

Les paramètres à discuter avant le traitement sont :

- ✚ **Température** : la valeur de la température est légèrement inférieure à la valeur limite déterminée par la norme **11-125**.

## Chapitre III : Résultats et discussion

- ✚ **Paramètres organoleptiques** : on remarque que l'odeur de l'eau est peu perceptible et sa couleur n'est pas vraiment trouble, ceci est dû à la quantité des matières en suspension présentes dans l'eau.
- ✚ **pH** : le pH de notre échantillon est légèrement basique, il est compris dans l'intervalle des valeurs autorisées selon la norme Algérienne.
- ✚ **MES** : la teneur des matières en suspension est supérieure à la valeur limite.
- ✚ **DCO et DBO<sub>5</sub>** : les teneurs de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> sont inférieures aux valeurs limites indiquées dans le tableau à cause de la quantité de la matière organique biodégradable.
- ✚ **Nitrates, nitrites, phosphates** : ces indicateurs de pollution sont en très faible concentration dans notre échantillon.
- ✚ **Sulfates** : la quantité de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> est inférieure à la valeur permise.
- ✚ **Fer, manganèse** : sont en faible quantité.
- ✚ **Oxygène dissous** : sa teneur est très faible par rapport à la valeur limite.

### III.1.2. Détection des métaux lourds toxiques

**Tableau 9** : Concentration des métaux lourds présents dans l'échantillon non traité.

Métal lourd	Unité	Eau brute	Norme 11-125
Bore	mg/l	0,15	1
Argent	µg/l	< 2	100
Arsenic	µg/l	< 2	10
Baryum	mg/l	0,05	0,7
Cadmium	µg/l	< 2	3
Chrome	µg/l	< 2	2
Cuivre	mg/l	< 0,002	2
Mercure	µg/l	< 2	6
Plomb	µg/l	< 2	10
Sélénium	µg/l	< 10	10
Zinc	mg/l	< 0,002	5

## Chapitre III : Résultats et discussion

Nous constatons d'après les résultats obtenus que tous les métaux lourds sont en faible concentration dans notre échantillon.

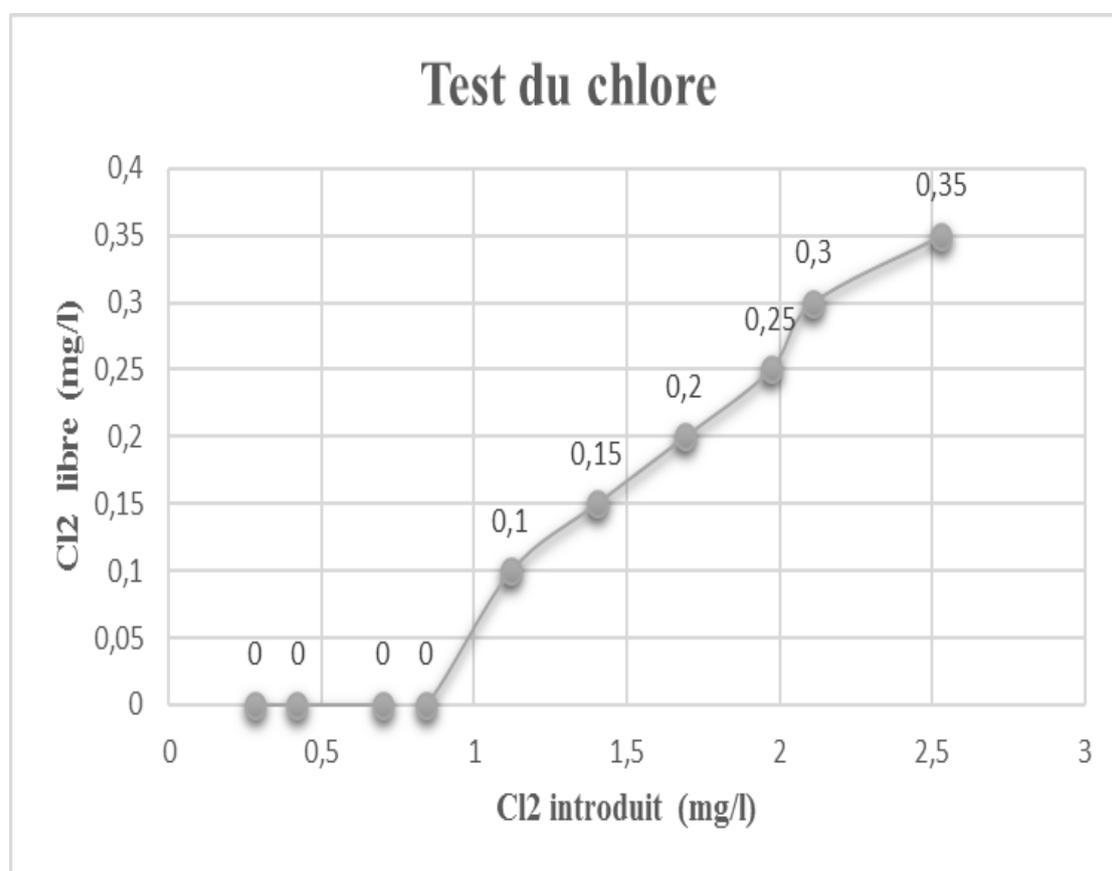
Il est à noter que ces résultats sont fournis par le laboratoire centrale de Kouba.

### III.1.3. La demande en chlore

Après avoir préparé les solutions citées déjà (annexe n°6) dans les 10 flacons et les laisser à l'abri de la lumière pendant 2 heures, nous avons effectué les mesures du chlore libre par DPD1, nous avons trouvé les résultats illustrés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 10** : Résultats obtenus après le test du chlore.

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cl <sub>2</sub> introduit (mg/l)	0,28	0,42	0,70	0,84	1,12	1,40	1,69	1,97	2,11	2,53
Cl <sub>2</sub> libre (mg/l)	0	0	0	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35



**Figure 19** : Test du chlore

## Chapitre III : Résultats et discussion

La demande en chlore après deux heures, pour obtenir un résiduel de chlore libre de 0,3 mg/l est : **2,11 ppm**.

La valeur de 0,3 mg/l est convenue et spécifiée par l'exploitant de l'usine d'eau potable de Boudouaou.

### III.1.4. Analyse bactériologique

**Tableau 11** : Teneurs des bactéries dans l'eau brute.

Paramètre	Unité	Avant Traitement	Valeur limite
Algues	Algue/ ml	1500	0 n/100ml
Spores	UFC/100 ml	30	0 n/20ml
Coliformes	UFC/100 ml	> 200	0 n/100ml
E. Coli	UFC/100 ml	84	0 n/100ml
Streptocoques	UFC/100 ml	132	0 n/100ml

On remarque que notre échantillon est riche en bactéries.

## III.2. Caractérisation de l'échantillon après le traitement

### III.2.1. Essai de Jar test

C'est un procédé qui sert à déterminer la quantité de coagulant et de floculant qu'il faut injecter à l'eau brute pour avoir une meilleure clarification.

#### III.2.1.1. Coagulation

Afin de réaliser le procédé de coagulation dans les conditions optimales, nous avons effectué 12 essais dans lesquels nous varions les doses appliquées du sulfate d'aluminium d'une manière croissante pour déterminer la dose optimale présumée.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 14 :

## Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 12 : Résultats de Jar test (coagulation par SA).

Dose de coagulant (ppm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbidité (NTU)	30	10,4	8,08	6,38	4,94	3,98	3,04	2,79	2,54	<b>2,35</b>	2,89	3,17

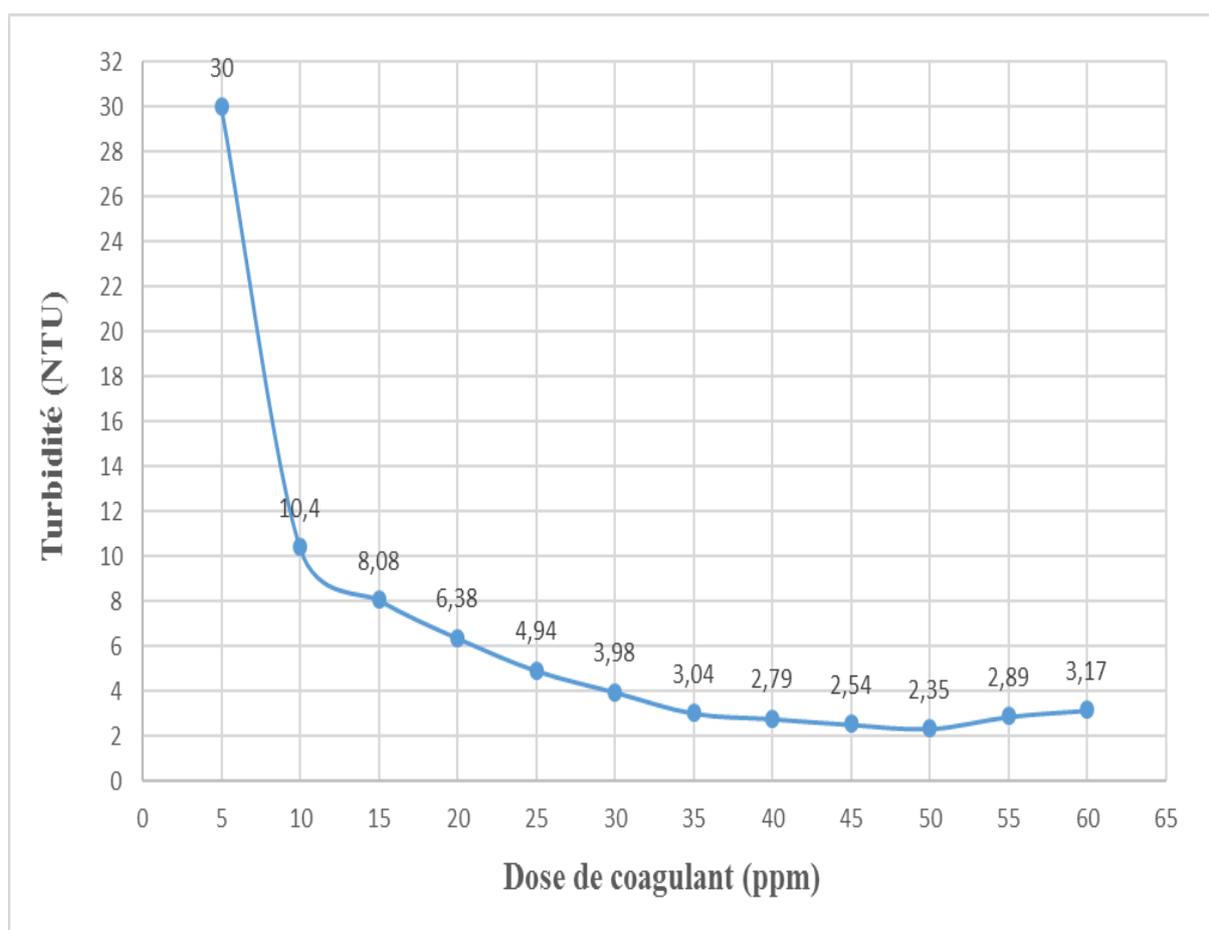


Figure 20 : Turbidité en fonction des doses de coagulant SA

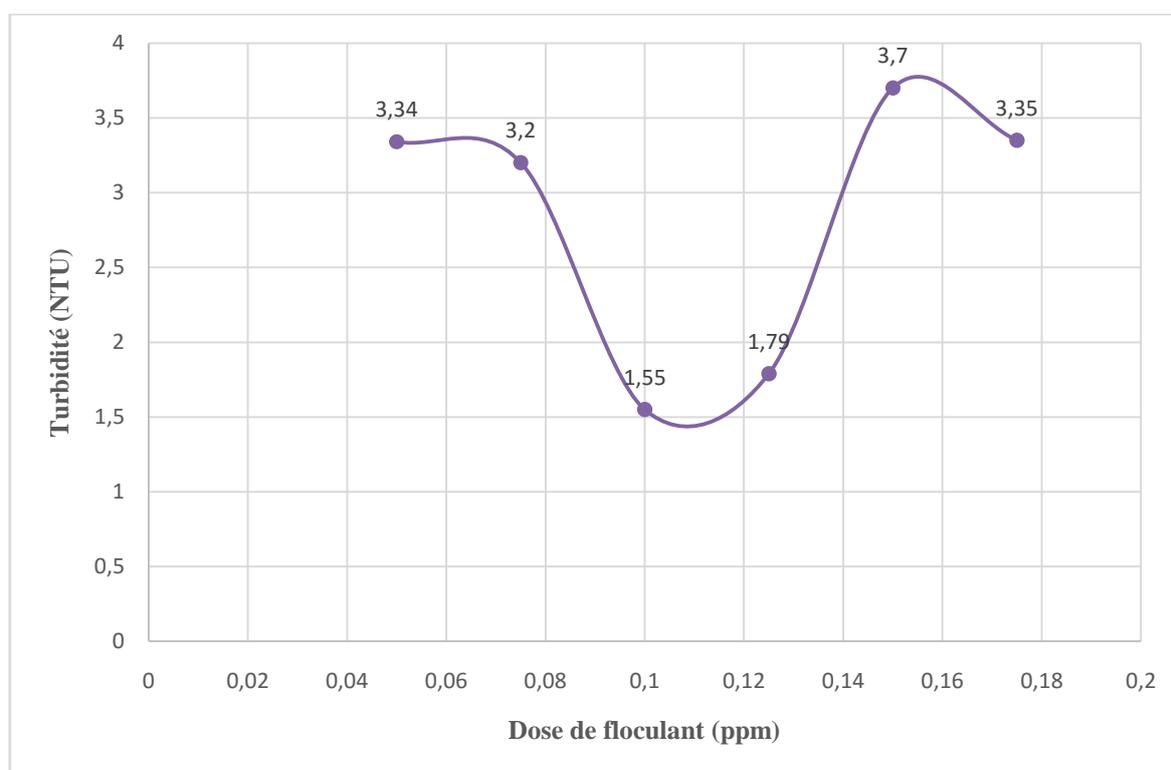
D'après les résultats du tableau 14 et du graphe, le point du break point est situé au niveau du bécher n° 10 avec une turbidité de **2,35 NTU** correspond à une dose de **50 ppm**, c'est la dose optimale de coagulant.

### III.2.1.2. Flocculation

Après avoir déterminé la dose optimale de coagulant SA, nous avons réalisé un autre Jar test en fixant cette fois la dose du coagulant à 50 ppm et on varie la dose de flocculant polyélectrolyte.

**Tableau 13** : Résultats de Jar test (flocculation par PE).

Dose de flocculant (ppm)	0,05	0,075	<b>0,1</b>	0,125	0,15	0,175
Turbidité (NTU)	3,34	3,2	<b>1,55</b>	1,79	3,7	3,35



**Figure 21** : Turbidité en fonction des doses de flocculant PE

La courbe de la turbidité figure 26 nous indique que la valeur optimale de flocculant PE est de **0,1 ppm**, avec une meilleure turbidité de **1,55 NTU**.

L'eau brute du barrage El Hamiz présente généralement de faibles turbidités, cela est dû au presque d'absence dans l'eau de particules en suspension tels que les limons, les argiles, les matières organiques ou minérales et les microorganismes.

## Chapitre III : Résultats et discussion

### III.2.2. Analyse physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'échantillon traité sont générés par les différents traitements de clarification (coagulation-floculation, décantation, filtration et désinfection) et sont rassemblés dans le tableau 16 :

**Tableau 14** : Paramètres physico-chimiques de l'échantillon traité.

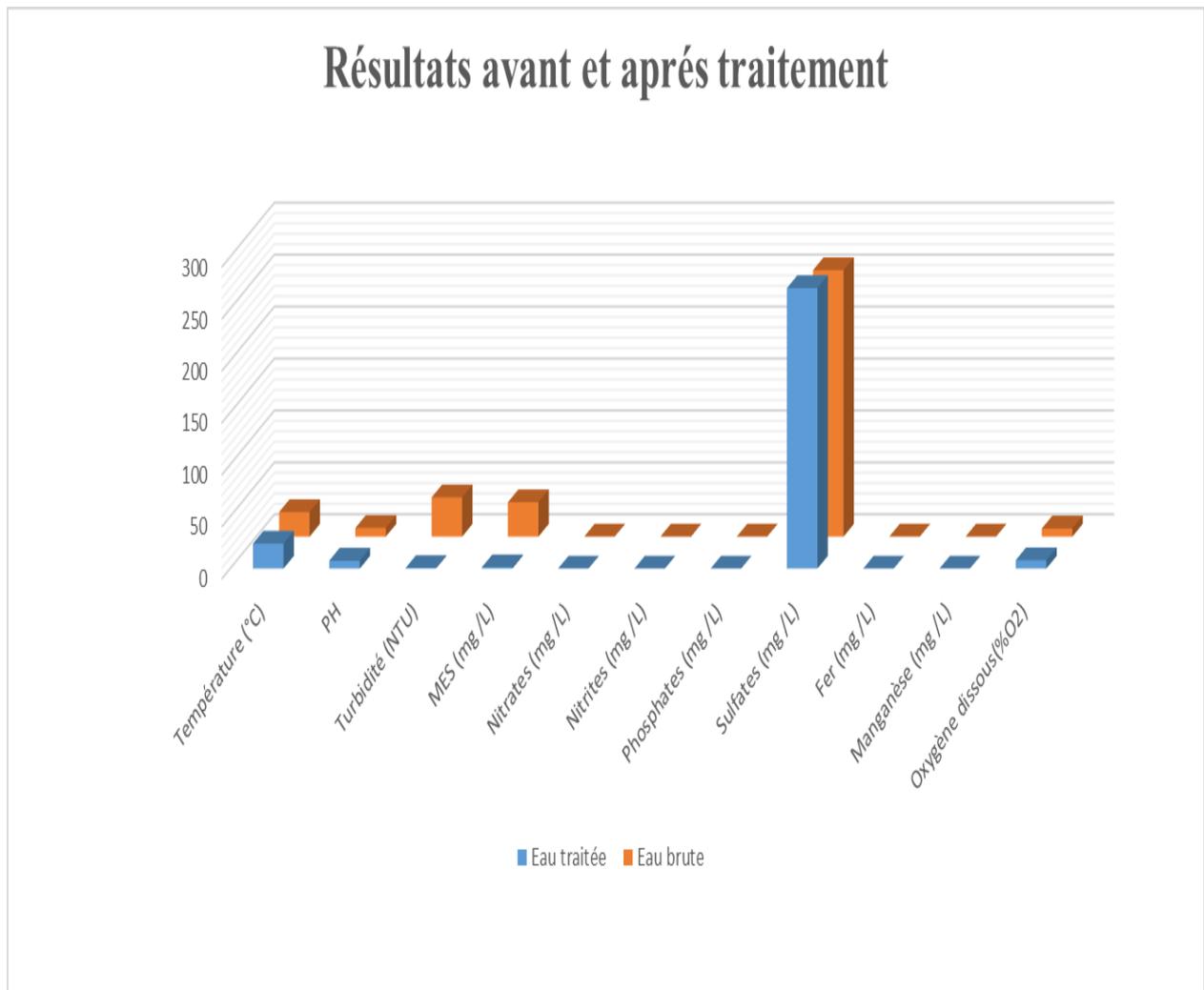
Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Taux d'abattement (%)
Température	C°	23,6	24	-
pH	-	8,33	7,65	-
Conductivité à 20 °C	µS/cm	1017	1025	-
Turbidité	NTU	37,8	0,5	98,68
MES	mg /L	33,2	1,2	96,39
Nitrates	mg /L	0,089	0,09	-
Nitrites	mg /L	0,07	0,002	97,14
Phosphates	mg /L	0,09	0,023	74,44
Sulfates	mg /L	256,5	270	-
Fer	mg /L	0,107	0,008	92,52
Manganèse	mg /L	0,07	0,019	72,86
Oxygène dissous	%O <sub>2</sub>	7,94	8,14	-

D'après les résultats du tableau 16, on note qu'avec une dose optimale de 50 ppm de S.A et 0,1 ppm de P.E :

- ✓ La baisse du pH est expliquée par la perte du TAC lors de la réaction coagulation.

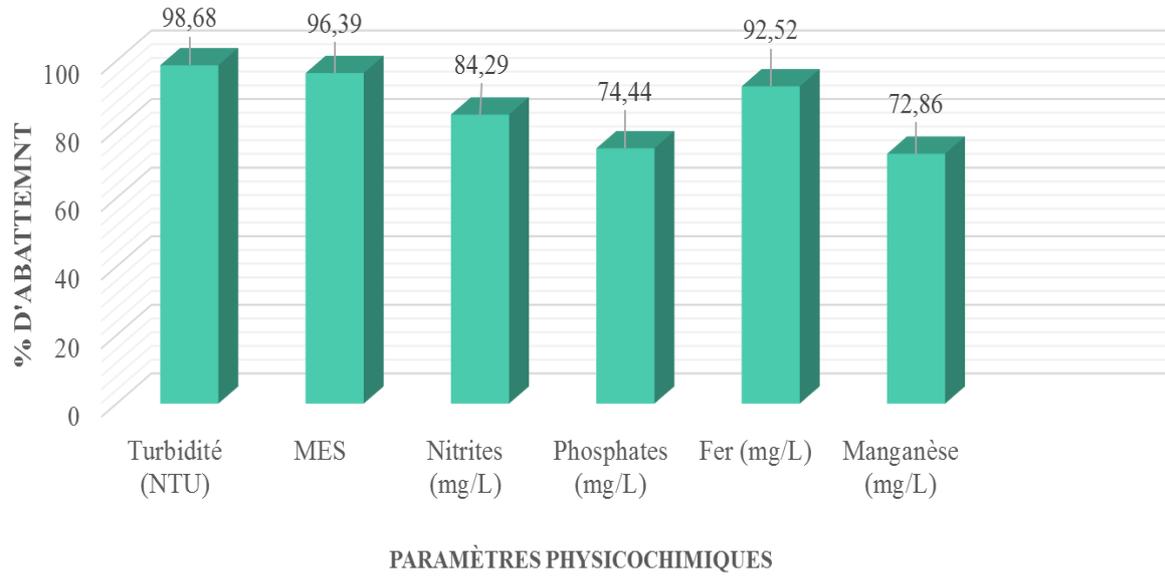
## Chapitre III : Résultats et discussion

- ✓ **MES/turbidité** : une bonne clarification de l'eau grâce au procédé de coagulation-floculation.
- ✓ **Indicateurs de pollution** : on remarque une réduction des teneurs en phosphates et en nitrites, et une augmentation des concentrations du nitrates et de sulfates (dû à l'utilisation de SA comme coagulant).
- ✓ **Fer/Manganèse** : un bon abattement du fer et manganèse.
- ✓ **Oxygène dissous** : une légère hausse de la concentration d'oxygène est due à l'agitation de l'eau du jar test.
- ✓ Ces valeurs signifient que les résultats d'analyse de l'eau produite sont conformes.



**Figure 22** : Variation des paramètres physico-chimiques avant et après traitement

### Taux d'abattement des paramètres physicochimiques



**Figure 23 :** Taux d'abattement des paramètres physico-chimiques

# *Conclusion*

### Conclusion

Au cours de notre étude, nous nous sommes focalisés sur la caractérisation et le contrôle qualité de l'eau brute et de l'eau traité du barrage El Hamiz destinées à la consommation humaine au niveau de la station SEAAL de Boudouaou, tout en suivant les étapes de la chaîne de traitement.

L'examen analytique a montré que la qualité des eaux brutes stockées sur le barrage d'El Hamiz est exempte de pollution toxique d'origine industrielle et biologique, elles sont de qualité moyenne de point de vue physicochimique et bactériologique, un traitement classique par coagulation floculation, filtration et désinfection suffira pour sa potabilisation.

La qualité de l'eau après traitement répond aux normes de potabilités, donc la wilaya d'Alger sera alimentée par une eau incolore, inodore et agréable à boire.

La mise en scène de scénario de crise nous a permis de prévoir des solutions pour faire face au problème de manque d'eau comme la programmation des heures de distribution au communes de la wilaya, en attendant la mise en place des stations de dessalement des eaux de mer prochainement. La sensibilisation de citoyen en lui expliquant que la protection de l'environnement et la lutte du gaspillage et les consommations excessives d'eau ne sont rien d'autre que sont bien être et la sauvegarde de son cadre naturel de vie reste le seul moyen pour atténuer cette crise.

*Références  
bibliographiques*

### Références bibliographiques

- [1] J. CHRISTIANE, J. NOEL, *Microbiologie alimentaire*, 5<sup>eme</sup> édition Aquitaine, 1999.
- [2] C. SIBIEUDE, T. SIBIEUSE, 64 dossiers-clé – 58 cas concrets ; 68 schémas – 397 définition. LES EDITIONS DE L'ATELIER. Les Editions Ouvrières, 12 avenue Sœur Rosalie 75013, Paris.
- [3] S. ACHOUR, *Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles*, Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Hydrauliques, Université de Tizi-Ouzou, Algérie, 2001.
- [4] Document fourni par la station des eaux et de l'assainissement d'Alger, Centre de Boudouaou-Boumerdes.
- [5] G. GERARD, *L'eau : milieu naturel et maîtrise*, Tome1, édition IRNA, 1999.
- [6] J C. ROUX, *Les secrets de la terre ; L'eau : source de vie*, Edition BRGM, 2005.
- [7] C. FRIEDLI, *Chimie générale pour ingénieur*, Edition presse polytechnique, 2002.
- [8] R. VILAGINES, *Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie*, 2ème Edition : Tec et Doc. Lavoisier, 2003.
- [9] DEGREMONT, *Mémento technique de l'eau* , Tom1, 2ème édition, 2005.
- [10] A. PIEMONT, A. COATALEM, B. HINAUT et al, *Les eaux de surface, potabilité- Degremont – Memento degremont*, SUEZ waterhandbook.
- [11] J. RODIER., *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, 8ème édition, Edition DUNOD, 2005.
- [12] M. MACE, *La pollution de la ressource en eau : d'où vient-elle et comment la réduire ?*, Le centre d'information sur l'eau.
- [13] F. TOUHARI, *Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff*, thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, 2015.
- [14] J. BECHAC, P. BOUTIN, *Traitement des eaux usées*, Paris, 1988.

## Références bibliographiques

---

- [15] R. PAUL, *Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles : Epuration, utilisation*, Société d'Éditions technique, 1998.
- [16] M. GERIN, *Environnement et santé public : fondements et pratiques*, Edition Edisem, 2003.
- [17] G. DEGREMONT, *Mémento technique de l'eau*, Tome 1, 10ème édition : Tec et doc, 2005.
- [18] S.M. ALPHA, *Qualité organoleptique de l'eau dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière*, Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Bamako Mali, 2005.
- [19] A. LOUNNAS, *Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda*, Thèse de magister, Université de Skikda, 2009.
- [20] M. BOUZIANI, *L'eau de la pénurie aux maladies*, Edition Ibn-Khaldoun, Oran, 2000.
- [21] J. RODIER, B. LEGUBE et N. MERLET, *L'analyse de l'eau*, 9eme édition, Edition Dunod, 2009.
- [22] J.P. BEAUDRY, *Traitement des eaux*, Edition Le Griffon d'argile, 1984.
- [23] A. DUPONT, *Hydrologie-captage et traitement des eaux, HYDRAULIQUE*, Tome 1, 5eme édition, Edition Eyrolles, Paris, 1981.
- [24] NALCO, *Manuel de l'eau*, Edition Tec- Doc – Lavoisier, Paris, 1983.
- [25] R. BOURRIER et B. SELMI, *Techniques de la gestion et de la distribution de l'eau : des ressources à la consommation écogérée*, Edition le Moniteur, 2011.
- [26] M. HENRY TARDAT et J.P. BEAUDRY, *Chimie des eaux*, Edition Le Griffon d'argile, 1984.
- [27] H. ROQUES, *Fondements théoriques du traitement chimique des eaux*, Vol 1, Edition Tec et doc, 1990.
- [28] M. SATIN et B. SELMI, *Guide technique de l'assainissement*, 2eme édition, Edition Moniteur, 1999.
- [29] D. GHAZALI et A.ZAID, *Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes-Maroc)*, Larhyss Journal, 2013.

## Références bibliographiques

---

- [30] J. BONNIN, *Aide-mémoire d'hydraulique urbaine*, Edition Eyrolles, 1982.
- [31] DEGREMONT, *Mémento technique de l'eau*, 1ère édition, 1952.
- [32] M. HENRY TARDAT, *Chimie des eaux*, 2eme édition, Edition Le Griffon d'argile, 1992.
- [33] J. MERCIER, *Le grand livre de l'eau*, Edition La Renaissance du livre, 2000.
- [34] B.DUSSART, *Limnologie : l'étude des eaux continentales*, Edition Gauthier-Villars, 1966.
- [35] F. KEMMER, *Manuelle de l'eau*, Edition Lavoisier technique et documentation, 1984.
- [36] F. BERNE, *Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière*, Edition Technip, Paris, 1972.
- [37] J. RODIER., *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, 8ème édition, Edition DUNOD, Paris, 1996.
- [38] J-P. DUGUET, F. BERNAZEAU, D. CLERET. A. GAID, A. LAPLANCHE, J. MOLES, A. MONTIEL, G. RIOU, P. SIMON, *Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine*, 1ère édition, ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement), 2006.
- [39] J. GRAINDORGE et E. LANDOT, *La qualité de l'eau potable, techniques et responsabilités*, Edition Techni-Cités, 2005.
- [40] C. BOUCHESEICHE, E. CREMILLE, T. PELTE et K. POJER, *Guide technique No7 pollution toxique et écotoxicologie : notions de base SDAGE*, Edition Agence de l'Eau Rhone-Méditerranée-Corse, 2002.
- [41] J.D. HEM, *Chemical factors that influence the availability of iron and manganese in aqueous systems*, *geol.soc. am. Spec.*
- [42] OMS, *Directive de la qualité pour l'eau de boisson* Genève, 2002.
- [43] M.S. METAHRI, *Qualité des eaux usée*, Cours pédagogique du 2ème année master traitement et valorisation des ressources hydrique, Département des sciences agronomiques,

## Références bibliographiques

---

facultés des sciences biologiques et agronomiques, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Algérie, 2014.

[44] D. CHAPMANE & V.KIMSTACH, *Selection of water quality variables, Water Quality Assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman, 2<sup>nd</sup> Ed E and FN Spon, London, 1996.

[45] C.M. BOURGOIS, J.F.MESCLE, *Microbiologie alimentaire : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*, Edition Lavoisier, 1996.

[46] P. SERVAIS, *Antimicrobial resistance of fecal bacteria in waters of the seine river basin (Franc)*, Science of the total environment, 2009.

[47] C. DELARRAS, *Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire*, Edition Lavoisier, Paris 2007.

[48] E. JUSTIN, *La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires*, Edition AESN (Agence de l'eau saine Normandie), Basse Normandie, 2006.

[49] C. DELARRAS, *Surveillances sanitaires et microbiologique des eaux : Réglementation, prélèvement, analyse*, 2003.

[50] R. EDBERG, M. RACZYNSKI, J.C. PROST, T. ELMUR, *Aide à la fiabilisation de l'eau potable en milieu rural. Aspect technique et financiers*, OIeau, France, 2000.

[51] OMS, *Directives de qualité pour l'eau de boisson. Recommandations*, 1ère édition, Vol 1, Genève, 1994.

[52] DEGREMONT, *Mémento technique de l'eau*, 8ème édition, Paris, 1978.

[53] F.G. BRIERE, *Distribution et collecte des eaux*, 2ème édition, Ecole polytechnique du Montréal, 2000.

[54] NOTICE DEFINITIVE DE FONCTIONNEMENT, 1998.

[55] *Analyse et traitement des eaux de Taksebt (T.O)*, mémoire de fin d'étude, diplôme d'ingénieur d'état en Agronomie.

## Références bibliographiques

---

[56] C. CLOUD, *Les traitements de l'eau pour l'ingénieur. Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus*. Ellipses Edition marketing.S.A, 2010.

# *Annexes*

**Annexe n° 1 : Grille de classification des eaux superficielles donnée par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)**

<i>Qualité</i> <i>Paramètres</i>	<i>Bonne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Polluée</i>	<i>Excessivement polluée</i>
<i>O<sub>2</sub> dissous</i> <i>(mg/l)</i>	>7	5 à 7	3 à 5	Milieu aérobie à maintenir en permanence
<i>Température</i> <i>(°C)</i>	≤ 20	20 à 22	20 à 25	25 à 30
<i>pH</i>	6,5 à 8,5	6 à 8,5	6 à 9	5,5 à 9
<i>Conductivité</i> <i>(μS/cm)</i>	≤ 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000
<i>DBO<sub>5</sub></i> (mg/l)	5	5 - 10	10 - 15	> 15
<i>DCO</i> (mg/l)	20	20 - 40	40 - 50	> 50
<i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i> (mg/l)	0 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 3	> 3
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	0 - 10	10 - 20	20 - 40	> 40
<i>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></i>	0 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 3	> 3
<i>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></i>	0 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 3	> 3
<i>MES</i>	0 - 30	30 - 75	75 - 100	> 100
<i>Fe<sup>2+</sup></i>	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	> 2
<i>Cl</i>	< 100	100 - 200	200 - 400	400 - 1000
<i>Mn<sup>2+</sup></i>	0 - 0,01	0,1 - 0,3	0,3 - 2	> 2
<i>Cr<sup>3+</sup></i>	0	0 - 0,05	0,05 - 0,5	> 0,5
<i>Cu<sup>2+</sup></i>	0 - 0,02	0,02 - 0,05	0,05 - 1	> 1
<i>Zn<sup>2+</sup></i>	0	0 - 0,5	0,5 - 1	> 1
<i>F<sup>-</sup></i>	0	0 - 0,08	0,08 - 1,5	> 1,5
<i>CN<sup>-</sup></i>	0	0	0 - 0,02	0,02 - 0,05
<i>Cd<sup>2+</sup></i>	0	0	0 - 0,01	> 0,01
<i>Pd<sup>2+</sup></i>	0	0	0 - 0,05	> 0,05

<i>Coliformes</i> <i>/100 ml</i>	≤50	50 - 500	500 à 5000
<i>E. Coli/100ml</i>	≤20	20 - 2000	2000 - 20000
<i>Streptocoques</i> <i>fécaux</i>	≤20	20 - 2000	2000 - 20000

### Annexe n°2 : Essai de jar test

Les solutions à préparer sont :

#### - Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ ou chlorure ferrique $FeCl_3$ (produits commerciaux)

La solution de coagulant est préparée le jour même de l'essai, à une concentration de 10g/l (sulfate d'aluminium ou chlorure ferrique).

#### - Flocculant « polyélectrolyte » (produit commercial)

La solution mère de flocculant est à préparer le jour même de l'essai, à une concentration de 5g/l.

#### - Solution fille de flocculant de concentration 50 mg/l

- La solution fille de flocculant est à préparer également le jour même de l'essai à une concentration de 50 mg/l.
- Dissoudre 0,5g de flocculant dans 100ml d'eau distillée, en agitant constamment.
- Prélever 1ml de cette solution à la pipette et l'injecter dans une fiole de 100ml et compléter avec de l'eau distillée.
- **Préparation et conservation des échantillons**

L'eau brute à analyser est prélevée au moment même de l'analyse.

- **Détermination de la dose optimale en coagulant**
  - Mettre le flocculateur dans un endroit protégé du soleil, de la chaleur, des courants d'air et des vibrations.
  - Agiter l'échantillon prélevé et remplir chaque bécquet du flocculateur d'un litre d'eau à tester, mettre les pales d'agitation en place.
  - Noter la température, le pH, la turbidité, la conductivité de l'eau brute.

- A l'aide d'une pipette graduée, ajouter le coagulant le plus rapidement possible et de manière reproductible dans chaque bécher.  
Les doses appliquées dans chaque bécher sont croissantes de façon à "encadrer" la dose optimale présumée.  
L'écart entre deux doses successives de coagulant doit être suffisant pour obtenir des variations significatives de la qualité de l'eau décantée.
- Démarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min. Les pales et leur vitesse de rotation doivent être identiques dans tous les béchers.
- Déclencher le chronomètre ( $t = 0$ ).
- Après 2 min ( $t = 2$  min) d'agitation rapide (dispersion du réactif, coagulation), réduire vitesse de rotation des pales à 40 tours/min (agitation lente). Dans tous les cas, la durée d'agitation (rapide puis lente) ne doit pas excéder 20 min.
- Au temps 20 min, relever les pales des agitateurs (doucement en prenant soin de ne pas casser les flocs formés) en respectant un décalage de 15 à 30s entre chaque bécher.
- Attendre 45 min de décantation. Ce temps doit être suffisant pour obtenir une bonne décantation des flocs mais pas trop long pour conserver des variations significatives de la qualité des eaux traitées (en particulier la turbidité).
- Prélever, à l'aide d'un siphon 0,5 L dans chaque bécher en veillant à ne pas siphonner la surface de l'eau.
- Homogénéiser chaque échantillon d'eau siphonnée et procéder aux analyses suivantes selon les objectifs du traitement :
  - Turbidité.
  - pH après coagulation.
  - Conductivité.
- Tracer la courbe de turbidité en fonction de la dose de coagulant.  
La courbe passe par un minimum qui correspond au taux de traitement optimal.
- **Détermination de la dose optimale en flocculant**
  - Vider les béchers, les rincer et remplir chacun avec un litre d'eau à analyser.
  - Injecter la dose optimale de coagulant obtenue dans chaque bécher.
  - Déclencher le chronomètre ( $t = 0$ ).
  - Démarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min, pendant 90 secondes. Les pales et leur vitesse de rotation doivent être identiques dans tous les béchers.
  - Arrêter l'agitation et injecter le flocculant le plus rapidement possible et de manière reproductible dans chaque bécher.

Les doses appliquées dans chaque bécher sont croissantes de façon à "encadrer" la dose optimale présumée.

L'écart entre deux doses successives de flocculant doit être suffisantes pour obtenir des variations significatives de la qualité de l'eau décantée.

- Redémarrer l'agitation à 180 tours/min pendant 30 secondes, puis réduire la vitesse à 40 tours/min (agitation lente). Dans tous les cas, la durée d'agitation (rapide puis lente) ne doit pas excéder 20 min.
- Au temps  $t = 20$  min, relever les pales des agitateurs (doucelement en prenant soin de ne pas casser les floccs formés) en respectant un décalage de 15 à 30s entre chaque bécher.
- Homogénéiser chaque échantillon d'eau siphonnée et procéder aux analyses suivantes selon les objectifs du traitement :
  - Turbidité.
  - pH après flocculation.
  - Conductivité.
- Déterminer la concentration optimale en flocculant (en mg/l) de la même manière que pour la concentration optimale en coagulant.

### **Annexe n°3 : Détermination du pH**

- **Mesurage des échantillons**

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre ou en plastique, la durée de conservation est de 24 heures.

### **Annexe n°4 : Détermination de la conductivité**

- **Préparation et conservation des échantillons**

Prélever l'échantillon dans une bouteille en verre complètement remplie et bien fermée.

La mesure de la conductivité doit être faite rapidement en particulier dans le cas où il peut y avoir un échange de gaz tels que le dioxyde de carbone ou l'ammoniac avec l'atmosphère, ou une activité biologique.

L'activité biologique peut être diminuée par conservation des échantillons à l'obscurité à 4°C ; néanmoins, les échantillons doivent être amenés à la température de

référence de 25°C avant le mesurage de la conductivité. Aucun agent de conservation satisfaisant n'est connu pour les échantillons prélevés aux fins de mesurage de la conductivité.

### **Annexe n°5 : Détermination de l'oxygène dissous**

#### ✓ **Mode opératoire**

- Remplir la fiole jusqu'à débordement en évitant toute modification de la concentration en oxygène dissous.
- Après l'élimination des éventuelles bulles d'air adhérant aux parois, fixer immédiatement l'oxygène dissous.
- Ajouter 1 ml de la solution de sulfate de manganèse (II), après 2 ml de réactif alcalin.
- Ajouter les réactifs sous la surface.
- Remettre le bouchon avec précaution en évitant l'inclusion d'air dans la fiole.
- Retourne plusieurs fois la fiole pour homogénéiser son contenu.
- Laisser le précipité qui se forme se déposer durant au moins 5 min et mélanger en retournant à nouveau la fiole pour obtenir une bonne homogénéisation.
- Vérifier que le précipité formé est suffisamment décanté pour se trouver dans le tiers inférieur de la fiole.
- Introduire lentement 1,5 ml de l'acide sulfurique concentré.
- Boucher la fiole, puis agiter pour dissoudre tout le précipité et jusqu'à ce que l'iode soit bien réparti.
- Transverser le contenu de la fiole dans une fiole conique.
- Titrer avec la solution de thiosulfate de sodium (10 mmol/l) en présence d'empois d'amidon.

### **Annexe n°6 : Détermination de la demande en chlore.**

#### ❖ **Mode opératoire**

- Préparer la solution fille de l'eau de javel : prendre 1 ml de l'eau de javel concentrée et diluer dans 100 ml de l'eau distillée.
- Rincer la burette avec de l'eau distillée puis avec la solution de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  avant de la remplir avec cette dernière.
- Dans 1 un bécher de 100 ml, mettre 10 ml d'eau distillée, 5 ml de l'acide acétique et 1 g de KI

- Commencer à titrer la solution obtenue, après ajouter 10 ml de la solution fille de l'eau de javel et observer la coloration de la solution (couleur jaune orangée). Continuer à titrer jusqu'à avoir une coloration jaune pâle.
- Ajouter une pincée d'empois d'amidon (la solution sera bleu violette) et continuer le titrage jusqu'à décoloration de la solution.
- Noter le volume versé de thiosulfate et calculer donc la concentration de l'eau de javel à introduire dans l'eau à analyser en g/l.
- ✓ Application
  - Dans chacun des flacons de 1 litre notés de 1 à 10, on introduit 1 litre d'eau à analyser.
  - On ajoute ensuite des doses croissantes de la solution fille du chlore.

N° Flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalle de temps (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Dose de Chlore à injecter (ml)	0,28	0,422	0,7	0,84	1,12	1,4	1,69	1,97	2,11	2,53

- On met les flacons à l'abri de la lumière et travailler à température ambiante.
- Après 2 heures, on mesure la demande en chlore libre par DPD1.
- Les résultats sont exploités graphiquement : on trace les concentrations en chlore résiduel libre en fonction des doses de chlore introduites.

### ❖ Chloramines :

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



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

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





Le chlore réagit également avec des composés et plus particulièrement avec certains dérivés azotés. Il y a formation de dérivés chlorazotés qui se comportent comme de véritables chloramines.

La terminologie suivante est utilisée pour les différentes formes du chlore

HOCl et OCl <sup>-</sup> et le chlore élémentaire dissous	Chlore libre
Chloramines	Chlore combiné
Chlore libre + chlore combiné	Chlore total

### Annexe n°7 : Dosage des sulfates

#### ❖ Mode opératoire

✓ Préparation des solutions étalons dans des fioles de 100 ml

Volume de solution mère de sulfate à 1g/l (ml)	Solution stabilisante (ml)	solution de chlorure de baryum (ml)	Eau distillée (ml)	Concentration finale de SO <sub>4</sub> (mg/l)
0	5	2	93	0
1	5	2	92	10
2	5	2	91	20
3	5	2	90	30
4	5	2	89	40
5	5	2	88	50
6	5	2	87	60
7	5	2	86	70

Effectuer la mesure spectrophotométrique à la longueur d'onde 420 nm.

✓ Application

La détermination de la teneur en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se fait de la manière suivante :

- Prendre 20 ml d'échantillon à analyser et ajouter 5 ml de la solution stabilisante, agiter quelques secondes (agitation mécanique **lente**).
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Compléter avec 100 ml d'eau distillée.
- Lisser pendant 1 min sous agitation mécanique **rapide**.
- Remplir rapidement la cuve avec l'échantillon à analyser, l'insérer sans perdre de temps dans l'appareil et appuyer sur Start.
- La concentration des  $\text{SO}_4^{2-}$  est affichée sur l'écran en mg/l.
  - ✓ Vérification des résultats par la solution du contrôle qualité 50 mg/l

La concentration des sulfates est exprimée en milligramme par litre.

### Annexe n°8 : Dosage des nitrites

- **Mode opératoire**
  - ✓ Préparation des solutions étalons

Pour les nitrites le domaine de travail est de 0,02 mg/l à 1 mg/l.

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par mois à l'aide de solutions étalons.

Volume de solution étalon fille de nitrites en ml	Concentration de $\text{NO}_2^-$ en mg/l	Volume de la fiole en ml
eau distillée	0,00	50
1	0,02	50
2	0,04	50
3	0,06	50
4	0,08	50
5	0,1	50
25	0,5	50
50	1	50

Prélever 40 ml de chacune des solutions obtenues, ajouter dans l'ordre 1 ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement et compléter à 50ml, le pH à ce stade doit être de 1,9.

Laisser reposer au moins 20 min, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

✓ Dosage et mesure

Prélever 40 ml de chacune des solutions obtenues, ajouter dans l'ordre 1 ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement, le pH à ce stade doit être de 1,9. Laisser reposer au moins 20 min, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

La détermination de la concentration de NO<sub>2</sub> se fait en utilisant le spectrophotomètre.

### **Annexe n°9 : Filtration sur sable**

Elle a pour but de retenir les particules en suspension dans l'eau, soit que ces particules existent dans l'eau brute, soit qu'elles aient été formées par une coagulation préalable.

La rétention des matières solides contenues dans l'eau provoque une obstruction progressive des intersites existants entre les éléments constitutifs de la matière filtrante. Ce phénomène est désigné sous le nom de « colmatage de filtre ».

### **Annexe n°10 : Analyses bactériologiques**

#### **✦ Gélose de Slanetz et Bartley**

C'est un milieu d'isolement gélosé très sélectif des entérocoques. Il contient de l'acide de sodium inhibiteur de la flore secondaire.

#### **✦ Additif T.T.C (chlorure de 2,3,5-triphényl-tétrazolium)**

C'est un colorant incolore, qui est réduit en formazan rouge. Il est utilisé avec la gélose de Slanetz et Bartley.

#### **✦ Gélose Bile Esculine Azoture (B.E.A)**

C'est un milieu confirmatif des entérocoques intestinaux. Il contient la bile et de l'esculine.