

Université Abdelhamid  
Ibn Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

N°...../SNV/2017

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**Melles. BENBOUZID Hayet et FARES khadhra**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN BIOLOGIE**

**Spécialité: Microbiologie fondamental et appliquée**

THÈME

**Analyse physico-chimique  
et bactériologique de l'eau de source  
dans la localité de  
« Abdelmelek Ramdane »**

Soutenue publiquement le **07 / 06 / 2017**

DEVANT LE JURY

Président	M. BENAKRICHE. B.M.	Université Mostaganem
Encadreur	M.BEKADA A.	Université Mostaganem
Examineur	AIT SAADA DJ.	Université Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire d'A. D. E. de Mostaganem*



# Remerciement

*Au terme de ce travail, On tient à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.*

*J'ai l'honneur et le plaisir de présenter ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Notre encadreur **Mr BENAKRICH**, pour sa précieuse aide, ces orientations et le temps qu'il m'a accordé pour mon encadrement.*

*Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail et de juger nos efforts.*

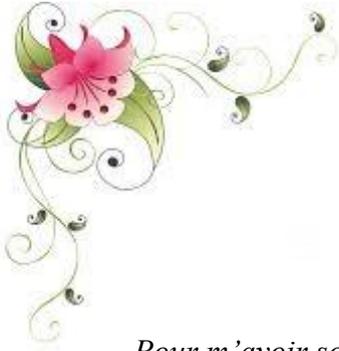
Bien sûr, nous remercions Mr **SEBAIBI A. B.**, *Amina* et **MANSOURI T.**, Pour leurs conseils si précieux

*Nous adressons nos sincères remerciements à Mr **BOUDBIZA M.** de nous avoir accueilli dans son laboratoire et pour la confiance et l'aide qu'il nous a accordé, ainsi que toute l'équipe du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux*

***Nora, Nesrine, Hamiche** pour l'accueil cordial et pour l'attention avec laquelle ils nous ont soutenus dans notre travail. Nous n'aurions pas pu réaliser les expérimentations sans leurs aides.*

*Sans oublier tous les employés de la bibliothèque de l'ITA pour leur aide et leur compréhension.*

*Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire*



# Dédicace

*A mon très cher père*

*Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour son amour, Et ses encouragements. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma Profonde affection et tendresse. Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde Santé, bonheur et te protège de tout mal.*

*A ma très chère mère*

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protège et te donner la santé, le bonheur et longue vie.*

*A mes Deux grands pères et mes grandes mères :*

*Un grand respect a vous, vous avez été toujours la pour moi avec vos mots vos encouragements et vos conseils si précieux Qu'Allah vous protège et vous garde pour nous*

*A ma sœur Zineb à mon frère Sadek que j'aime tant*

*Pour leurs petits mots et leur soutien*

*A Nacera une personne qui a une place spécial dans mon cœur, Qui été a mes coté tous au long de cette année qui a partagé avec moi.*

*A mes cousines Ikram et Goucem pour leur présence et soutien*

*En particulier à mon binome khadhra qui a toujours viellé a se que j'ai toujours le sourire au visage.*

*A mes Amies proche : Asma, Hamida, Manel, Houria*

*qui ont été des personne inoubliable*

*Pour finir je dédier mon trvaille a mes deux étoiles Amel et Salema*





# Dédicace

*A mon très cher **Père Lakhdar***

*Que Dieu te protège et t'accorde santé et longue vie*

*Je t'aime tellement ...*

*A ma très chère **mère***

*Que Dieu te protège et t'accorde santé et longue vie tu m'a toujours soutenue*

*A mes très chères sœur **Rabah et Mohamed** je vous souhaite tous le bonheur du monde*

*A mes très Sœur **Hakima , Wissem, Rachida, Nacira***

*A mon binôme et mon amie intime **Hayet** pour tous les souvenirs pendant les années d'études ensemble surtout les deux dernières années tu a une place dans mon cœur,*

*Tes plus qu'une sœur*

*A mes très chères amies : **Cherifa, Amel, Asma, Nacir, Sarah, Ahlem, Nadjat, Racha***



## Résumé

L'eau de la source « Abdelmelek Ramdane » représente une ressource importante pour l'alimentation en eau potable pour les habitants de la commune Abdelmelek Ramdane (Wilaya de Mostaganem). A cet effet, le présent travail consiste à effectuer une étude pour déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source et de la comparer avec l'eau de robinet en se basant sur les normes algériennes de potabilité des eaux de consommation et la réglementation en vigueur, ceci pour assurer la santé et le bien être du consommateur. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que cette eau est douce par rapport aux autres ions considérés : ceci est lié aux terrains traversés. Cependant, les résultats obtenus obéissent aux normes de potabilité de l'eau à l'exception des nitrates. Concernant l'analyse bactériologique, les résultats ont révélé la présence d'indicateurs de contamination fécale tels que les Coliformes totaux. On conclue que cette eau est de qualité suspecte du point de vue qu'elle est riche en nitrate. Elle est impropre à la consommation humaine

**Mots clés :** eau de source, eau de robinet, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques, normes de potabilité.

---

## Abstract

The water from the spring « Abdelmelek Ramdane » is an important resource for drinking water for the town. Abdelmelek Ramdane, Mostaganem To this end, the present work is to perform a study of the physico-chemical point of view and bacteriological water source and to compare it with tap water based on Algerian standards of potability of drinking water and there gulations, This is to ensure the health and wellbeing of the consumer. The results of physico-chemical analyzes showed that the water is frech, this is related to the land through. However, the results obtained obey standards potability except Nitrates. On the bacteriological analysis results revealed the presence e of indicators of contamination such as total coliforms,.We conclude that water quality is suspect from the point of view it is rich in nitrate. It is unfilt for human consumption.

**Keywords :** spring water, tap water, physico-chemical analysis, bacteriological analysis, standardsof portability.

---

## ملخص

يمثل منبع " عبد المالك رمضان " مصدرا هاما للتزويد بالمياه الصالحة للشرب لسكان دائرة عبد المالك رمضان بمستغانم. لذا فإن هذا البحث يضم دراسة فزيولوجية و بيكتولوجية بالاعتماد على المعايير الوطنية الضابطة بها لاستهلاك المياه و الحفاظ على صحة المستهلك.و الناتج الفزيولوجية لهذا الماء تبين أنها غنية. مع أنها صالحة للشرب باستثناء كمية النترات المرتفعة، أما التحاليل البيكتولوجية بينت أنها تحتوي على مؤشرات التلوث. مما يقودنا للاستنتاج أن ماء هذا المنبع غير صالح للشرب

الكلمات المفتاحية: ماء منبع، مياه الحنفية، تحاليل فيزيوكيميائية، تحاليل بيكتولوجية

## Table des Matières

<b>Introduction générale</b>	1
<b>Chapitre I – Généralités et qualité de l'eau</b>	3
1. Introduction	3
2. Composition d'une eau naturelle	3
3. Propriétés Physico-chimiques	4
3. 1. Propriétés Physiques	4
3. 1. 1. Masse volumique	4
3. 1. 2. Propriétés oxydo-réductrices	4
3. 1. 3. Conductivité électrique de l'eau	5
3. 1. 4. Propriétés Optiques	5
3. 2. Propriétés Chimiques	5
4. Cycle de l'eau	6
4. 1. L'évaporation	6
4. 2. La condensation	6
4. 3. Les précipitations	6
4. 4. L'infiltration	6
5. L'eau alimentaire	7
5. 1. Les eaux de surface	7
5. 2. Les eaux souterraines	7
5. 3. L'eau de sources	7
5. 4. L'eau de puits	7
6. Analyse de l'eau potable	8
6. 1. Paramètres physiques	8
6. 1. 1. Température	8
6. 1. 2. Potentiel d'hydrogène (pH)	8
6. 1. 3. Turbidité	8
6. 1. 4. Conductivité électriques	9
6. 1. 5. Dureté	9
6. 1. 6. Radioactivité	9
6. 2. Paramètres organoleptiques	10
6. 2. 1. Couleur	10
6. 2. 2. Odeur	10
6. 2. 3. Goût et saveur	10
6. 3. Paramètres microbiologiques	11
6. 3. 1. Germes totaux	12
6. 3. 2. Coliformes totaux	12
6. 3. 3. Coliformes fécaux	13
6. 3. 4. Escherichia coli	14
6. 3. 5. Streptocoques fécaux	14
6. 3. 6. Spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrice	14

7. Contamination de l'eau	15
7. 1. Effets des produits chimiques dans l'eau de boisson sur la santé	15
7. 2. Effets de la contamination microbienne sur la santé.	18
<b>Chapitre II – Etude du milieu de la région de Mostaganem</b>	19
1. Plan géographique	19
2. Géologie et morphologie	20
3. Plan démographique	21
4. Plan des ressources hydriques	21
4. 1. Les ressources conventionnelles	22
4. 2. Les ressources non conventionnelles	22
4. 3. La répartition de la ressource par type de consommation	23
4. 4. Infrastructures hydrauliques	23
4. 5. La capacité de stockage	24
4. 6. Besoins et satisfaction	24
5. Conclusion	26
<b>Chapitre III – Matériel et méthodes</b>	27
1. Objectif	27
2. Description de zone d'échantillonnage	27
3. Echantillonnage	27
4. Mode d'échantillonnage	28
4. 1. L'échantillonnage du robinet	28
4. 2. L'échantillonnage de l'eau de source	28
5. Méthodes d'analyses physico-chimiques	29
5. 1. Test chlore résiduelle $\text{Cl}_2\text{-R}$	29
5. 2. Méthode potentiométrique	29
5. 2. 1. pH (le Potentiel en Hydrogène)	29
5. 2. 2. Température	30
5. 2. 3. Conductivité électrique	30
5. 3. Méthode néphélométriques	30
5. 4. Turbidité	30
5. 5. Méthode volumétrique ou titrage	31
5. 5. 1. Dureté totale TH (Titre Hydrométrique)	31
5. 5. 2. Titre calcique ( $\text{Tca}^{+2}$ )	31
5. 5. 3. Détermination de titre alcalimétrique (TA, TAC)	32
5. 5. 4. Dosage des Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )	32
6. Méthode colorimétrique	33
6. 1. Dosage d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )	33
6. 2. Dosage des Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )	34
6. 3. Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	34
6. 4. Dosage du sulfate ( $\text{SO}_4^-$ )	35
6. 5. Dosage de fer (Fe)	36

6. 6. Dosage d'Orthophosphore	36
7. Méthodes d'analyses bactériologiques	37
7. 1. Méthode du dénombrement par filtration sur membranes	37
7. 2. Dénombrement des germes totaux	38
7. 3. Dénombrement des coliformes totaux	38
7. 4. Dénombrement des coliformes fécaux ( <i>Escherichia Coli</i> )	38
7. 5. Dénombrement des streptocoques fécaux	39
7. 6. Dénombrement des spores d'anaérobies de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs	39
<b>Chapitre IV – Résultats et discussion</b>	<b>40</b>
1. Analyse des paramètres physico-chimiques	40
2. Analyse bactériologique	50
3. Interprétation des résultats	51
<b>Conclusion Générale</b>	<b>52</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>53</b>

## Liste des tableaux

- Tableau 01** : Principales constantes physiques de l'eau pure (**Boeglin., 2001**).
- Tableau 02** : Les normes de potabilité d'une eau de consommation telles que précisées par le journal officiel de la république Algérienne N°51 du 20 août 2000. (**JOFA., 2011**).
- Tableau 03** : Récapitulatif d'une présence potentielle dans l'eau des principaux produits chimiques, ainsi que leurs effets sur la santé et leur source d'origine (**CAWST., 2013 ; Rodier., 2009**).
- Tableau 04** : Maladies associées à une eau contaminée par des agents pathogènes (**CAWST, 2013**).
- Tableau 05** : Répartition de la population de la région de Mostaganem par dispersion de l'espace de programmation [(**ONS., 2008**) / **Plan Nord-Ouest (ANAAT., 2011)**].
- Tableau 06** : Évolution des taux d'accroissement de l'espace de programmation Nord-Ouest (**ONS., 2008**).
- Tableau 07** : Evolution de la densité de population de la wilaya de Mostaganem (**ONS., 2008**).
- Tableau 08** : Potentialités totales reconnues (**ANAAT., 2011**).
- Tableau 09** : Les modes de mobilisation (**ANAAT., 2011**).
- Tableau 10** : La répartition de la ressource par types de consommation en Hm<sup>3</sup>.
- Tableau 11** : Satisfaction des besoins en eau (**ANAAT., 2011**).
- Tableau 12** : Prélèvements des échantillons pendant le mois de Mars et Avril.
- Tableau 13** : Les résultats des analyses bactériologique de l'eau de source et de l'eau de robinet.

## Liste des figures

- Figure 01 :** Cycle biogéochimique de l'eau (USGS., 2017).
- Figure 02 :** Les Groupe d'indicateurs bactériens (CAWST., 2013).
- Figure 03 :** La répartition de la ressource par types de consommation.
- Figure 04 :** Répartition du taux de satisfaction en eau par commune (ANAAT., 2011).
- Figure 05 :** Localisation géographique du site de l'échantillonnage de l'eau de source dans la localité de Abdelmelek Ramdane (Mostaganem) (Source : Google earth, 2017)
- Figure 06 :** Rampe de filtration. (Source : présent travail)
- Figure 07 :** pH de l'eau de source et l'eau de robinet [6.5 – 8.5].
- Figure 08 :** Température de l'eau de source et de l'eau de robinet > 25°C.
- Figure 09 :** Conductivité de l'eau de source et l'eau de robinet < 2800µS/cm.
- Figure 10 :** Turbidité de l'eau de source et l'eau de robinet < 5 NTU.
- Figure 11 :** Dureté de l'eau (TH) de l'eau de source et l'eau de robinet < 500 °F.
- Figure 12 :** Concentration de calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) de l'eau de source et l'eau de Robinet <200mg/l.
- Figure 13 :** Concentration de magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet <150mg/l.
- Figure 14 :** La concentration de sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet [Maximum 500 mg/l].
- Figure 15 :** Concentration de bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) dans l'eau de source et l'eau de robinet.
- Figure 16 :** Concentration de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dans l'eau de source et l'eau de robinet <500 m/l.
- Figure 17 :** Concentration de sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet <400 mg/l.
- Figure 18 :** Concentration d'Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dans l'eau de source et l'eau de robinet <0,5mg/l.
- Figure 19 :** Concentration d'Ortho phosphates ( $\text{PO}_4^{-4}$ ) dans l'eau de source et l'eau de robinet <0.5mg/l
- Figure 20 :** Concentration du Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet <50mg/l.
- Figure 21 :** Concentration Fer (Fe) dans l'eau de source et l'eau de robinet <0.5mg/l.

## Liste des abréviations

**ADE:** Algériennes des eaux

**EDTA :** Sel dissodique d'acide éthylène diamine tetracétique

**N.E.T :** Noir d'Eriochrom T

**NTU :** Nephlo Turbidité Unité

**OMS :** Organisation Mondiale de la Santé

**TTC :** Chlorure de Triphényl le 2, 3, 5 Tétrazolium.

**UFC :** Unité Formant Colonie.

**TGEA :** glucose tryptonée à l'extrait d'agar ;

**μS:** micro siemens

**° C :** Degré Celsius

---

# **INTRODUCTION**

---

# Introduction Générale

Les ressources hydriques représentent un sérieux problème pour le développement des pays ; notamment ceux de la rive sud de la méditerranée, où de nombreux aspects de la vie quotidienne et de l'économie tels que l'agriculture y sont très sensibles.

Cependant, depuis les années 1970 cette région souffre d'une diminution drastique en ces ressources (**Maheras et Kolyva-Machera, 1990 ; Whecher et Martin-Vide, 1992 ; Meddi et Meddi, 2009 ; Ghenim et Megnounif, 2013**). Cette diminution s'exprime majoritairement par l'accroissement démographique et les changements globaux, notamment climatiques (**GIEC., 2013 ; GIEC., 2014**).

Mais la ressource en eau, à la fois une et multiple, n'a en fait, de signification concrète qu'en tant qu'elle offre avec l'idée de limitation, de surexploitation et de pénurie que cette notion comporte. C'est pourquoi elle doit aussi se référer à un système de ressources qui sera défini par une infrastructure physique et des caractères économiques en tant que potentiel d'offres (**Ennabli, 1999**).

Or, On assiste aujourd'hui à une intensification des activités industrielles et agricole ; ainsi qu'à une augmentation rapide de la population et la croissance du niveau de vie, ces activités ont introduits dans les hydro-systèmes (nappes souterraines, cours d'eau, etc.) des substances polluantes qui ont des répercussions néfastes sur l'environnement et par suite sur la santé humaine.

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population (**Roux, 1987**). Cependant, les eaux souterraines représentent une importante source d'eau destinée à la consommation humaine et autre (**Margat, 1992**). C'est pour cela qu'il est devenu très utile de procéder à des contrôles et analyses physico-chimiques et microbiologiques de l'eau périodiquement.

Ainsi, ce travail vient pour mettre en exergue, d'abord la détermination des différents paramètres physico-chimique et la qualité bactériologique de l'eau de source (étude du cas de la source « Abdelmalek Ramdane », Nord-Est de la région de Mostaganem) ; Puis une comparaison de ces résultats par rapport à ceux issus de l'eau de robinet conçue au consommateur.

Le cadre de notre travail va s'articuler autour des parties suivantes :

- \* D'abord une introduction, ensuite un premier chapitre dédié à la synthèse de connaissances actuelles de l'eau et ses propriétés ;
- \* Un second chapitre destiné à la description du réseau hydrographique de la région de Mostaganem et de ses potentialités hydriques.
- \* En ce qui concerne le volet expérimental, on procède à une partie dédiée aux matériels et méthodes effectuées dans ce cadre.
- \* En dernier lieu, une interprétation détaillée des résultats obtenus avec une comparaison pour exprimer la différence entre l'eau de source et l'eau de robinet. Ainsi, notre travail s'achève par une conclusion générale.

---

# **Généralité et qualité de l'eau**

---

## 1. Introduction

L'eau est le plus grand constituant du corps humain et donc indispensable à la vie. Un homme peut survivre plus d'un mois sans manger mais ne peut survivre plus de 3 jours sans boire d'eau ; 2/3 de l'eau qui le compose se répartit au sein des cellules donc ce dernier maintien l'activité cellulaire.

L'eau douce est un élément plutôt rare à la surface terrestre puisqu'elle ne représente que 3 % du volume totale de l'hydrosphère, les plus importantes réserves d'eau douce se trouvent gelées et inaccessibles (environ 80 %) et sont techniquement inexploitable. L'eau douce exploitable représente seulement 20% des réserves et 0.6 % du volume total de l'hydrosphère (Rejsek, 2002).

Élément majeur du monde minéral et biologique, l'eau est aussi le vecteur privilégié de la vie et de l'activité humaine, A l'heure actuelle, l'utilisation globale de l'eau, en additionnant les usages domestiques, industriels et agricoles, représente le chiffre impressionnant de 250 m<sup>3</sup> par an et par personne.

Néanmoins, d'après L'ONU, environ 5 millions de personnes dans le monde meurent encore de maladies infectieuses ou parasitaires dues à l'eau chaque année, au lieu d'être source de vie l'eau peut devenir vecteur de transmission de maladies mortelles.

## 2. Composition d'une eau naturelle

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon leurs nature chimique (organique ou minérale) ou selon leurs états physique (matières dissoutes, colloïdales ou en suspension) (Rejsek, 2002).

- Matière minérale : Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions comme  $HCO^3$ ,  $Cl$ ,  $SO4^{-2}$ , et cations comme  $Ca^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ . qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact. L'eau contient également des gaz dissous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimique comme par exemple la corrosion.
- Matière organique : Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des microorganismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples.

- Matière dissoutes : Ce sont des matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. Du fait de leur état dissous, ces molécules sont difficiles à éliminer de l'eau traitée par les procédés physiques classiques.
- Matière colloïdales : L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension. Les matières colloïdales sont constituées d'éléments de petite taille chargés négativement, difficile à éliminer.
- Matière en suspension : Ce sont des particules solides dont la taille est supérieure à 10µm, dispersées dans l'eau sans être chimiquement liées avec elle. De ce fait, leur élimination est assez simple.

### **3. Propriétés physico-chimiques**

La structure de l'eau dépend de son état physique, l'état gazeux (vapeur) correspond particulièrement à la formule H<sub>2</sub>O tandis que l'état solide (Glace) ou liquide sont à l'état condensé plus compliquée.

#### **3. 1. Propriétés Physiques**

##### **3. 1. 1. Masse volumique**

La masse volumique varie avec la température et la pression, la masse volumique de la glace est plus faible que celle de l'eau. En effet, la densité maximale de l'eau est obtenue pour une température de 3,984 C° (**Musy et Higy, 2004**). Ainsi, l'eau est considérée comme un fluide incompressible. Mais, en fait, c'est un fluide légèrement élastique : son volume décroît d'environ 0,048 % chaque fois que la pression augmente d'une atmosphère (**Degremont, 2005**).

##### **3. 1. 2. Propriétés oxydo-réductrices**

L'eau constitue un système oxydo-réducteur particulièrement important à considérer puisque son domaine de stabilité sera limité par ses réactions d'oxydation et de réduction (**Nordmann et Legry, 2000**). Le pôle positif représente un déficit en électron, c'est un agent oxydant. Le pôle négatif est caractérisé par un excès d'électron c'est un agent réducteur qui pourra céder des électrons (**Durend, 2001**).

### 3. 1. 3. Conductivité électrique de l'eau

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 micro siemens par mètre à 20 °C (correspondant à une résistivité de 23,8 mégohms-centimètres). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température (**Degremont, 2005**).

### 3. 1. 4. Propriétés Optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse, cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaines formes de pollution (**Degremont, 2005**).

## 3. 2. Propriétés Chimiques

L'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne, cette dernière est due à des forces inter atomique et intermoléculaire. L'eau est, par ses propriétés électriques et sa constitution moléculaire, particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides (**Degremont, 1989**) (Tableau 1.).

**Tableau 1. Principales constantes physiques de l'eau pure (Boeglin, 2001)**

<b>Eau liquide</b>	
Température d'ébullitions sous 760 mm Hg (101 325,02 Pa)	100%
Capacité thermique massique à 15°C	4,186 8 j .g <sup>-1</sup>
Enthalpie de vaporisation à 100°C	2252,5 j. g <sup>-1</sup>
Conductivité thermique à 20°C	5,98 mW. cm <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup>
Résistivité à 20°C	23,8 MΩ .cm
Permittivité relative ε à 20°C	80
Indice de réfraction pour la raie D à 10°C	1,333
Masse volumique à 4°C	1g .cm <sup>-3</sup> (par définition)
<b>Eau solide</b>	
Température de fusion	0°C (par définition)
Capacité thermique massique	2,093 4 j. g <sup>-1</sup>
Enthalpie de fusion sous 760 mm Hg (101 325 ,02Pa)	333,27 j. g <sup>-1</sup>
Tension de vapeur à 0°C	877,128 Pa
Permittivité relative ε	3,26
Indice de réfraction pour la raie D	1,309 07
Densité (par rapport à l'eau à 4°C)	0,916 49 ± 0,0007
<b>Eau vapeur</b>	
Conductivité thermique à 100°C	0,231mW .cm
Densité par rapport à l'air	0,62337
Indice de réfraction pour la raie D à 100°C	1,00259

## 4. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est le résultat des échanges entre les différents réservoirs d'eau des océans, des fleuves, des lacs, des glaces, de l'atmosphère, des nappes, des végétaux, etc. Ce cycle éternel comprend de multiples phénomènes (Figure 1.) (USGS, 2017).

### 4. 1. L'évaporation

L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide se transforme en gaz ou vapeur, la chaleur fournie par le soleil, est nécessaire pour ce processus.

L'évaporation des océans est la façon première pour l'eau d'entrer dans l'atmosphère.

### 4. 2. La condensation

La condensation est un processus de transformation de la vapeur en eau liquide. Elle est importante puisqu'elle participe à la formation des nuages.

### 4. 3. Les précipitations

La précipitation est la libération de l'eau des nuages sous forme de pluie, neige ou grêle. C'est le principal chemin qu'utilise l'eau de l'atmosphère pour retourner à la Terre.

### 4. 4. L'infiltration

L'eau sous forme de pluie ou de neige s'infiltré dans le sous-sol et les roches, une partie des eaux d'infiltration est reprise par la végétation qu'elle alimente avant d'être rejetée dans l'atmosphère. L'autre partie s'accumule dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour peuvent former des sources émergentes à la surface du sol.

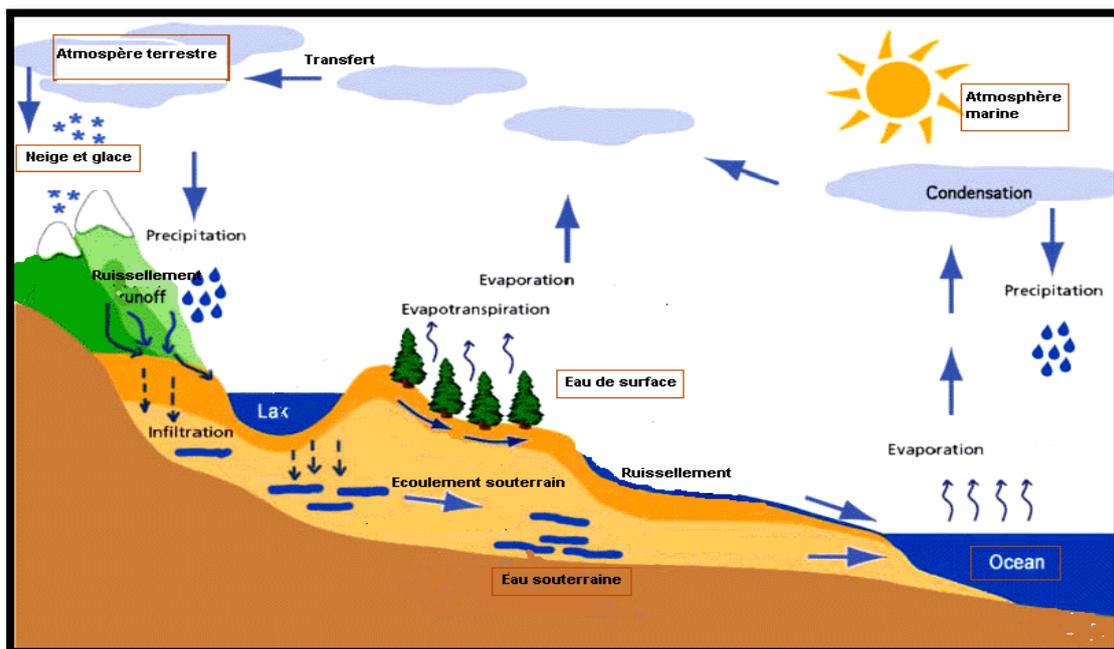


Figure 1. Cycle biogéochimique de l'eau (USGS, 2017).

## **5. L'eau alimentaire**

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé (**Dégbey et al., 2010**), cette dernière a plusieurs origines, superficielle ou souterraine.

### **5. 1. Les eaux de surface**

Les eaux de surface sont constituées par les fleuves, les lacs, les rivières, barrages, réservoirs de stockage (citerne de récolte d'eau de pluie), elles sont fréquemment contaminées elles se caractérisent par une forte charge en impuretés et par une pollution biologique surtout chimique cette pollution est surtout dû aux rejets d'eaux usées dans la nature qui détient des polluants toxiques. Elles doivent être épurées avant tous usages domestiques (**Bouziane, 2000**).

### **5. 2. Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont plutôt contenues dans les pores des sédiments ou dans les fissures des massifs rocheux. Les plus propres à la consommation sont celles situées à quelques dizaines de mètres de la surface terrestre. En effet, plus on s'enfonce dans le sol, plus l'eau devient riche en divers sels minéraux et en métaux, ce qui peut rendre l'eau impropre à la consommation. Ces eaux atteindront éventuellement la nappe phréatique (**Desmeule, 2008**).

### **5. 3. L'eau de sources**

Une eau bactériologiquement saine ayant pour origine une nappe ou un gisement souterrain et provenant d'une source exploitée par une ou plusieurs émergences naturelles ou forées (**Delarras et Trebaol, 2008**). On distingue trois types de sources notamment, les sources de diversément qui naissent sur les pentes ou les grandes hauteurs, les sources d'émergence (artésienne) qui sont alimentées par une couche inférieure de la nappe et les sources d'affleurement pour lesquelles l'approvisionnement se fait sur un fond imperméable dans la vallée (**Bouziyani, 2000**).

### **5. 4. L'eau de puits**

Une eau de puits a comme origine un procédé de captation des eaux d'une nappe phréatique de moyenne profondeur ; un puits peut être creusé de différentes manières, on distingue plusieurs types de puits : les puits ordinaires les puits foncés, les puits forés et les puits artésiens (**Bouziyani, 2000**).

Cette dernière est dite « alternative », considérée comme non potable, non contrôlée présente un risque majeur à court terme : le risque microbiologique. Il expose le consommateur à des diarrhées, des gastro-entérites ou des intoxications qui peuvent être graves. Le risque chimique à long terme existe aussi par la présence de pesticides, de métaux lourds, d'hydrocarbures et de tout autre élément par accumulation dans l'organisme (ARS, 2013).

## **6. Analyse de l'eau potable**

Une analyse d'eau potable est divisée en différents groupes de paramètres. Chaque groupe est composé d'indicateurs visant à garantir le maintien de la qualité générale de l'eau potable.

### **6. 1. Paramètres physiques**

#### **6. 1. 1. Température**

Une température élevée accélère la plupart des réactions physico-chimiques, favoriser le développement de micro-organismes, accentuer le goût, la saveur, provoquer des odeurs désagréables, comme peut aussi être un facteur important dans la corrosion de la canalisation. Une eau potable devant être rafraichissante, la température maximale admissible est de 15°C. (ADE, 2012)

#### **6. 1. 2. Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement. C'est un facteur déterminant de l'agressivité de l'eau vis-à-vis de la canalisation et de l'action du chlore lors de la désinfection. Le décret n° 2.914/2011 du Ministère de la Santé recommande que le pH de l'Eau soit maintenu dans la gamme de 6,0 à 9,5 dans le système de distribution. (FNS, 2013).

#### **6. 1. 3. Turbidité**

La turbidité de l'eau est causée par des matières en suspension (MES) composées d'argile, de limon, de particules organiques, de plancton et de divers autres organismes microscopique, elle est utilisée pour les eaux souterraines, les eaux usées, les eaux de surface et l'eau potable (CEAEQ, 2016). La présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale constitue une faible quantité de la turbidité (Rejsek, 2002).

#### **6. 1. 4. Conductivité électriques**

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit peu (CEAEQ, 2015).

#### **6. 1. 5. Dureté**

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspondons à la somme des concentrations des cations alcalino-terreux (sels de calcium et de magnésium). Il s'agit d'un dosage complexo-métrique dont la solution dosante est un sel di-sodique d'acide éthylène diamine tétra-acétique : l'EDTA (di-hydrogéo-éthylène-diamine téta-acétate de sodium).

On distingue respectivement :

- La dureté magnésienne (titre magnésien TMg) correspondant à la teneur en ions  $Mg^{+2}$
- La dureté calcique ou titre calcique TCa correspondant à la concentration en ions  $Ca^{+2}$
- La dureté permanente issue de l'association des ions calcium et magnésium avec les anions  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$  ou  $NO_3^-$ .
- La dureté temporaire provenant de la combinaison des  $Ca^{+2}$  et  $Mg^{+2}$  avec les ions  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{-2}$  et  $OH^-$  (Claude et Gilles, 2013).

#### **6. 1. 6. Radioactivité**

L'eau de source et les eaux minérales se chargent en radioactivité naturelle au cours de la traversée des roches encaissantes par dissolution des radionucléides. Les radioéléments gazeux contribuent à la radioactivité naturelle des eaux : le thoron ( $^{220}Rn$ ), le radon ( $^{222}Rn$ ) et l'actinon ( $^{219}Rn$ ). Les autres radioéléments, le potassium 40, le rubidium 87, le samarium 147, le lutécium 176 et le rhénium 187, y contribuent à un moindre degré. Dans l'eau, l'activité bêta est essentiellement due au  $^{40}K$ . Les eaux de surface sont moins radioactives que les eaux minérales gazeuses (Rannou, 1999). Si l'eau représente une faible partie de l'exposition à la radioactivité naturelle, elle constitue cependant la première inquiétude pour le consommateur en cas de rejets radioactifs artificiels (Rodier, 2009). La prévention d'une contamination interne chronique par des radionucléides présents dans l'eau potable nécessite la mise en place d'une surveillance de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation (Cazoulat *et al.*, 2007).

## 6. 2. Paramètres organoleptiques

### 6. 2. 1. Couleur

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. La couleur est esthétiquement indésirable. Il est important de la mesurer, étant donné qu'une couleur élevée est esthétiquement indésirable. Le décret MS N° 2914/2011 établit pour la couleur apparente une valeur maximale permise de 15 (FNS, 2013) (Tableau 2).

### 6. 2. 2. Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler. (Rodier, 2009) (Tableau 2).

### 6. 2. 3. Goût et saveur

Le goût est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche tandis que la saveur est l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier, 2009) (Tableau 2).

Tableau 2. Les normes de potabilité d'une eau de consommation (JO N° 51, 2011)

Unité	Concentration	Caractéristiques
<b>Caractéristiques organoleptiques.</b>		
Mg/l de platine	Au maximum 25	Couleur
	Au maximum 4	Odeur (seuil de perception à 25°C)
	Au maximum 4	Saveur (seuil de perception à 25°C)
Unité Jackson	Au maximum 2	Turbidité
<b>Caractéristiques physico-chimiques.</b>		
Unité PH	6.5 à 8.5	pH
Us/cm	Au maximum 2.800	Conductivité (à 20°C)
Mg/l de CaCO <sub>3</sub>	100 à 500	Dureté
Mg/l	200 à 500	Chlorures
Mg/l	200 à 400	Sulfates
Mg/l	75 à 200	Calcium
Mg/l	150	Magnésium
Mg/l	200	Sodium
Mg/l	20	Potassium
Mg/l	0.2	Aluminium
Mg/l en oxygène	Au maximum 3	Oxydabilité aux permanganates de potassium
Mg/l	1.5 à 2	Résidus secs après dessiccation à 180°C

Caractéristiques concernant les substances indésirables.		
Mg/l	Au maximum 50	Nitrates
Mg/l	Au maximum 0.1	Nitrites
Mg/l	Au maximum 0.5	Ammonium
Mg/l	Au maximum 1	Azote
Mg/l	0.2 à 2	Fluor
	Peut-être décelable organoleptique	Hydrogène sulfuré
Mg/l	Au maximum 0.3	Fer
Mg/l	Au maximum 0.5	Manganèse
Mg/l	Au maximum 1.5	Cuivre
Mg/l	Au maximum 5	Zinc
Mg/l	Au maximum 0.05	Argent
Caractéristiques concernant les substances toxiques		
Mg/l	Au maximum 0.05	Arsenic
Mg/l	Au maximum 0.01	Cadmium
Mg/l	Au maximum 0.05	Cyanure
Mg/l	Au maximum 0.05	Chrome
Mg/l	Au maximum 0.01	Mercure
Mg/l	Au maximum 0.05	Plomb
Mg/l	Au maximum 0.01	Sélénium

### 6. 3. Paramètres microbiologiques

Les microorganismes se retrouvent partout dans l'environnement parmi eux, il y en a des bénéfiques et d'autres qui peuvent être utilisés comme indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable parmi ceux-ci il est recommandé de faire l'analyse de (05) groupes principaux (Figure 2.).

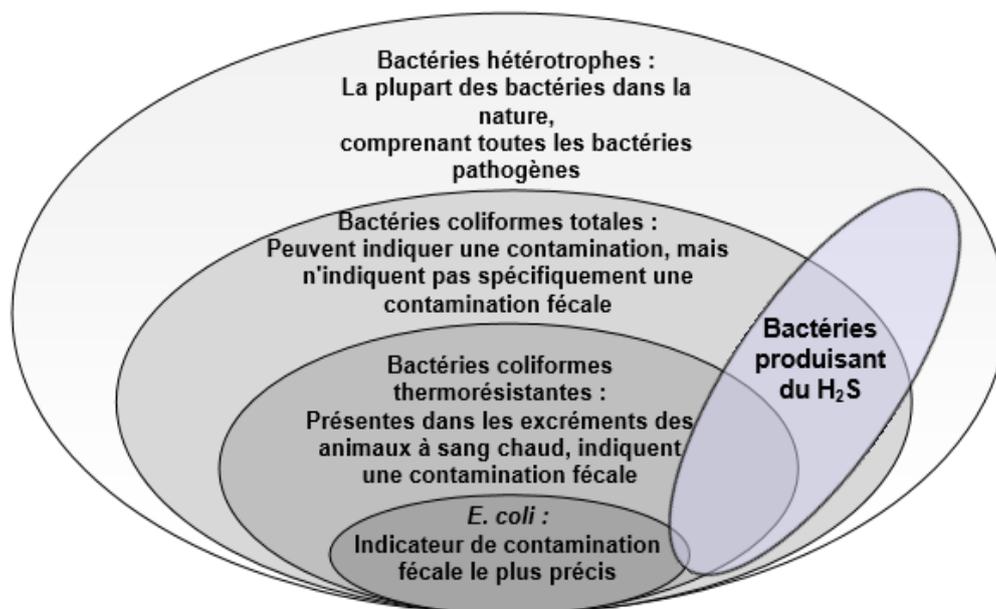


Figure 2. Les Groupe d'indicateurs bactériens (CAWST, 2013)

### 6. 3. 1. Germes totaux

Microorganismes revivifiables : toute bactérie aérobie, levure ou moisissure, capable de former de colonies dans le milieu spécifié et dans les conditions d'essai décrites dans la norme. Le dénombrement des germes revivifiables, nommés également mésophiles aérobies en fonction de leurs conditions de développement, est utilisé comme indicateur de pollution, soit dans les milieux naturels de très bonne qualité microbiologique pour contrôler une possible contamination bactérienne. Ce sont essentiellement des eaux souterraines de nappes profondes qui seront ainsi contrôlées, soit dans les réseaux : une augmentation de la concentration bactérienne après la station de traitement peut être le signe d'une multiplication bactérienne dans le réseau ou d'une intrusion de bactéries à l'intérieur de celui-ci.

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

\* Les microorganismes se développant à 20°C qui sont des saprophytes présentes naturellement dans l'eau

\* Les microorganismes se développant à 37°C, température d'un corps humain, qui proviennent de l'Homme ou d'animaux à sang chaud.

Même s'il ne s'agit pas forcément de germes pathogènes, ils peuvent montrer une contamination de l'eau analysée par des produits animaux, en particulier les matières fécales (**Rejesk, 2002**).

### 6. 3. 2. Coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries présent naturellement sur les végétaux, dans les sols ainsi que dans les intestins des humains et des animaux à sang chaud. Puisqu'ils sont très répandus dans l'environnement, ils font partie des nombreux outils (Santé Canada, 2012). Les coliformes totaux ont servi d'indicateur pour l'eau de boisson depuis le début des années 1900 et sont fréquemment utilisés pour analyser les effluents d'eaux usées. Cependant, de nouvelles études ont montré que les coliformes totaux ne sont pas utiles en tant qu'indicateur de contamination fécale de l'eau de boisson, et qu'ils ne permettent pas de tirer de conclusions en termes sanitaires ou de santé publique (**OMS, 2011**).

A l'origine, les coliformes totaux comprenaient quatre groupes de bactéries : *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter*. Ces quatre groupes se trouvent dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris des humains. Cependant, des découvertes scientifiques récentes ont montré que les coliformes totaux comprennent en réalité un groupe de bactéries bien plus vaste que les quatre groupes originaux.

En fait, il y a à ce jour 19 groupes reconnus de bactéries appartenant aux coliformes totaux, dont dix seulement ont été associés aux excréments (**BCCDC Environmental Health Laboratory Services, 2006**).

Plusieurs groupes de bactéries dans l'environnement appartenant aux coliformes totaux sont associés au sol, à la végétation, ou aux sédiments aquatiques. Par conséquent, tous les coliformes totaux ne sont pas des bactéries provenant d'excréments. Une étude récente a également prouvé que certains groupes de coliformes totaux que l'on trouve dans les excréments animaux sont aussi capables de se reproduire dans l'eau naturelle. Cela rend difficile de déterminer si l'eau a été contaminée par des excréments ou pas.

D'une manière générale, les coliformes totaux ne doivent pas être utilisés comme indicateur de contamination fécale de l'eau de boisson. Les coliformes totaux ne répondent pas aux deux critères de base d'un bon organisme indicateur n'être associé qu'aux excréments des animaux, et de ne pas se multiplier dans les eaux naturelles.

### **6. 3. 3. Coliformes fécaux**

Les coliformes thermorésistants (CTR) sont un sous-groupe des coliformes totaux. Coliformes de bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capable de se multiplier en présence de sels biliaires et capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37° C.

Ils sont présents dans les animaux à sang chaud. Parmi les coliformes des excréments humains, 96,4% sont des coliformes thermorésistants. Les coliformes thermorésistants se distinguent des coliformes totaux par leur capacité à se reproduire à des températures plus élevées (42-44,5°C). Ils sont associés à la pollution fécale plus étroitement que les coliformes totaux (**BCCDC, 2006**).

Historiquement, les coliformes fécaux ont beaucoup servi d'indicateur bactérien de contamination fécale. Même si *E. coli* a remplacé les coliformes thermorésistants comme indicateur plus spécifique de contamination fécale, la présence de coliformes thermorésistants dans un échantillon d'eau représente également un danger immédiat pour la santé publique.

#### 6. 3. 4. *Escherichia coli*

*E. coli* est le principal indicateur utilisé dans l'analyse de la qualité de l'eau, depuis plus de 50 ans. Il s'agit d'une bactérie coliforme thermorésistante que l'on trouve essentiellement dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris humains. Une eau hautement polluée par des matières fécales peut avoir des niveaux d'*E. coli* de dizaines de millions de bactéries par litre. La plupart des *E. coli* sont inoffensives ; cependant il existe certaines souches (comme O157:H7) qui sont pathogènes et connues pour provoquer de sévères diarrhées et autres symptômes.

*E. coli* a des propriétés biochimiques similaires aux autres coliformes et s'en distingue par la présence des enzymes bêta-glucuronidase et galactosidase (bêta-gal). De nombreuses méthodes d'analyse de l'eau font appel à la présence de cette enzyme bêta-gluc pour détecter *E. coli* dans des échantillons d'eau. Plus de 95% des *E. coli* testées à ce jour possèdent cette enzyme. Elle est l'un des meilleurs indicateurs de contamination fécale de l'eau de boisson.

Cependant, certaines preuves indiquent que *E. coli* est capable de proliférer dans des sols tropicaux riches en éléments nutritifs, bien qu'il soit généralement reconnu que ce phénomène est limité : dans la plupart des cas, les bactéries indigènes évincent *E. coli* (OMS, 2012). Quoi qu'il en soit, la présence de *E. coli* dans un échantillon d'eau de boisson représente une préoccupation immédiate pour la santé publique.

#### 6. 3. 5. Streptocoques fécaux :

Streptocoque fécaux ou entérocoques intestinaux ou streptocoques du groupe « D » de la classification de Lancefield (1928). Ce sont des bactéries qui se présentent sous forme de Cocci à Gram positive, sphérique ou ovoïdes non sporulées formant des chainettes, catalase négatif possédant un antigène du groupe D. cultivé en anaérobiose à 44°C, et à pH 9,6 est capable de dégradé l'esculine en présence de 40% de bile. Ils sont capables de se développer en 24 à 48 heures à 37°C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus hydrolysent l'esculine en 2 heures à 44°C après repiquage d'une colonie sur une gélose biliée à l'esculine et à l'azoture. Ce sont des pathogènes opportunistes causant des septicémies, infections urinaires.

#### 6. 3. 6. Spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrice

Microorganismes anaérobies dont les spores sont la forme de résistance, les plus fréquentes et faciles à mettre en évidence sont les clostridies. Présent dans les matières fécales mais en plus petite quantité que *Escherichia coli* et autres coliformes dans l'environnement

(sol, rivières). Ces bactéries provoquent un goût et odeur désagréables (production de sulfure d'hydrogène), la Corrosion des tuyaux en métal et béton, tuberculisation des canalisations, Les spores ont une Similitude de comportement avec les parasites (résistance à la chloration), indicateur de la présence de microorganismes pathogènes (**Doc. CHU Grenoble Alpes, 2016**)

Du fait de leur similitude de comportement avec les parasites, les spores constituent un bon indicateur pour ces micro-organismes. En outre, ces formes résistent aux conditions défavorables de l'environnement, comme la chaleur les radiations ultraviolettes, les désinfectants chimiques et les dessiccations (**Rejsek, 2002**), Ceci explique que pour ce paramètre particulier, ce ne sont pas des bactéries elles-mêmes mais leurs spores qui sont recherchées.

## **7. Contamination de l'eau**

L'eau « pure » n'existe pas en réalité dans la nature, car toutes les eaux contiennent naturellement des produits chimiques lessivés depuis l'environnement. Dans la plupart des cas, les niveaux de produits chimiques naturels sont bénéfiques ou ont des conséquences minimales. Il existe aussi des produits chimiques synthétiques qui peuvent contaminer l'eau et nuire à sa capacité à être utilisée. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) sépare les sources de produits chimiques en les cinq groupes suivantes : naturellement présent, activités agricoles Sources industrielles et peuplements humains, traitement de l'eau et pesticides utilisés dans l'eau pour la santé publique.

### **7.1 Effets des produits chimiques dans l'eau de boisson sur la santé**

L'effet du produit chimique sur la santé humaine dépend beaucoup du type de contaminant, de sa concentration dans l'eau de boisson, de la durée et de la fréquence d'exposition. L'âge de la personne, sa condition physique et son immunité peuvent également avoir une influence majeure sur son effet sur la santé. Le tableau suivant affiche une liste de différents produits chimiques, leurs effets sur la santé et les sources potentielles de contamination (**CAWST, 2013**) (Tableau 3).

**Tableau 3. Récapitulatif d'une présence potentielle dans l'eau des principaux produits chimiques, ainsi que leurs effets sur la santé et leur source d'origine (CAWST, 2013 ; Rodier, 2009)**

Produit chimique	Effets potentiels sur la santé. (Eau de consommation)	Source
Aluminium (Al)	Peu d'indices que l'aluminium absorbé (par les aliments ou l'eau) soit extrêmement toxique. Aucune directive sanitaire n'est proposée.	Présence naturelle ; métal le plus abondant. Les sels d'aluminium sont couramment utilisés dans le traitement de l'eau en tant que coagulants pour réduire les niveaux de matière organique, de couleur, de turbidité et de microorganismes.
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	L'ammoniac dans l'eau de boisson ne présente pas de risque immédiat pour la santé. Aucune directive sanitaire n'est proposée. Cependant, l'ammoniac peut affecter l'efficacité de la désinfection, conduire à la formation de nitrites dans les systèmes de distribution, entraîner l'incapacité des filtres à éliminer le manganèse, et provoquer des problèmes de goût et d'odeur.	Égouts, processus industriels et activités agricoles. L'ammoniac dans l'eau est indicateur d'une possible pollution par des bactéries, des eaux usées, et des déchets animaux.
Arsenic (As)	Maladie de peau (ex : mélanose et kératose). Peut entraîner un cancer des poumons, de la vessie, des reins, de la peau, du foie, de la prostate. Connue aussi pour provoquer des maladies vasculaires, des effets neurologiques et des anomalies de développement chez le nourrisson.	Présence naturelle. Il est également utilisé commercialement et industriellement dans la fabrication de transistors, de lasers et de semi-conducteurs. Dans certaines régions, la concentration d'arsenic est relativement élevée dans les eaux souterraines.
Mercure (Hg)	Provoque des dommages neurologiques et rénaux.	Utilisé dans l'industrie minière, la production de chlore, des appareils électriques et les amalgames dentaires. L'alimentation est la principale source d'exposition
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	Aucune directive sanitaire n'est proposée. Cependant, plus de 250 mg/L de chlorure dans l'eau peuvent donner un goût fort.	Le chlorure dans l'eau de boisson provient de sources naturelles, des égouts, des effluents industriels et des ruissellements urbains contenant du sel de dégivrage. La principale source d'exposition humaine est l'ajout de sel à la nourriture.
Chlore (Cl)	Des effets sont peu probables aux niveaux de chlore normalement rencontrés dans l'environnement. Des doses élevées irritent la peau, les yeux et le système respiratoire.	Produit en grandes quantités et largement utilisé dans l'industrie et à domicile comme désinfectant et javellisant.

Chrome (Cr)	Aucun effet significatif sur la santé n'a été attribué au chrome en raison du manque de recherche. Une exposition permanente au chrome-6 pourrait entraîner des réactions épidermiques et être cancérigène si ingéré.	Les formes les plus courantes dans les eaux naturelles sont le chrome trivalent (chrome-3) et le chrome hexavalent (chrome-6). Le chrome-3 est essentiel dans l'alimentation humaine et se rencontre dans de nombreux types d'aliments. Le chrome-6 est naturellement présent dans l'environnement, et peut aussi être produit par des processus industriels.
Cuivre (Cu)	Le cuivre est à la fois un nutriment essentiel et un contaminant de l'eau de boisson. Il peut affecter l'appareil gastro-intestinal, et l'impact peut être plus important sur les populations sensibles, tels que les porteurs du gène de la maladie de Wilson et autres désordres métaboliques.	Utilisé pour fabriquer des tuyaux, valves et raccords. Le sulfate de cuivre pentahydraté est parfois ajouté à l'eau de surface pour réguler les algues. La principale source dans l'eau de boisson est la corrosion de la tuyauterie en cuivre. La nourriture et l'eau sont les principales sources d'exposition au cuivre dans les pays développés.
Fluorure (F)	De faibles concentrations (0,5 – 1,0 mg/L) apportent une protection contre les caries dentaires, notamment chez les enfants. De plus hauts niveaux peuvent tacher les dents et provoquer une fluorose dentaire. Des niveaux beaucoup plus élevés peuvent endommager le squelette.	Présence naturelle et est largement utilisé dans l'industrie ; utilisé pour fabriquer des engrais au phosphate. Dans la plupart des cas, l'alimentation est la principale source d'absorption. Dans certaines régions l'eau souterraine contient des concentrations relativement élevées de fluorure.
Fer (Fe)	Élément essentiel à la nutrition humaine. Aucune directive sanitaire n'est proposée.	Présence naturelle ; un des métaux les plus abondants. Également rencontré dans l'eau de boisson en raison de la corrosion de tuyaux en acier et en fonte.
Nitrates et nitrites (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) et (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Le principal problème de santé est la méthémoglobinémie ou syndrome du bébé bleu, qui se produit chez les nourrissons habituellement nourris au biberon. Les symptômes comprennent le souffle court et la peau qui vire au bleu en raison du manque d'oxygène.	Présence naturelle car il fait partie du cycle de l'azote. Le nitrate est utilisé dans les engrais et le nitrite de sodium sert de conservateur alimentaire. La concentration du nitrate dans les eaux souterraines et de surface provient des ruissellements agricoles, des fuites de fosses septiques, et des égouts. Le nitrite provient de l'activité microbienne et peut n'apparaître qu'à intervalles
Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Élément essentiel à la nutrition humaine. Aucune directive sanitaire n'est proposée.	Naturellement présent ; utilisé dans les engrais pour l'agriculture et dans le dentifrice et les détergents (ex : savon). Le déversement de grandes quantités de phosphate dans l'environnement peut avoir de graves conséquences écologiques. Par exemple, des niveaux élevés peuvent provoquer des proliférations d'algues dans les eaux de surface.

## 7. 2. Effets de la contamination microbienne sur la santé.

Les effets sur la santé de l'exposition à des bactéries, virus et protozoaires pathogènes dans l'eau potable varient. Une maladie d'origine hydrique se manifeste le plus souvent par des troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements et diarrhée), habituellement de courte durée. Cependant, chez les personnes sensibles, telles que les bébés, les personnes âgées et les personnes présentant un déficit immunitaire, les effets peuvent être plus graves, chroniques (ex. lésions rénales) ou même mortels.

D'autres agents pathogènes peuvent infecter les poumons, la peau, les yeux, le système nerveux central ou le foie. (**Santé Canada, 2006**), elles peuvent être classées en catégories en fonction de l'origine de l'agent pathogène et du chemin emprunté pour le contact avec le consommateur (Tableau 4.).

**Tableau 4. Maladies associées à une eau contaminée par des agents pathogènes (CAWST, 2013)**

Maladies potentielles	Source	Comment nous tombons malade	Comment cesser d'être malade
Diarrhée, choléra, typhoïde, shigellose, hépatites A et E, dysenterie amibienne, cryptosporidiose, giardiase, ver de Guinée.	Véhiculées par l'eau	En buvant de l'eau contenant des agents pathogènes Traiter	Traiter l'eau pour la rendre salubre.
Trachome, gale	Rinçage par l'eau	Quand les agents pathogènes entrent en contact avec la peau ou les yeux	Traiter l'eau pour la rendre salubre.
Schistosomiase	D'origine aquatique	Les agents pathogènes passent par la peau	Ne pas se baigner dans l'eau dont la contamination est connue. Améliorer la qualité de l'eau en éliminant ou en tuant les agents pathogènes.
Malaria, dengue, fièvre jaune, filariose, onchocercose, maladie du sommeil	Le vecteur est un insecte aquatique	Les agents pathogènes sont transmis par des insectes qui se reproduisent ou vivent dans l'eau, comme les moustiques	Empêcher les insectes de se reproduire dans l'eau. Utiliser des pesticides pour contrôler les insectes. Empêcher les insectes de piquer en utilisant des moustiquaires et en portant des vêtements longs.

---

# **Description de la région de Mostaganem**

---

## **1. Plan géographique**

Le territoire de la Wilaya de Mostaganem couvre une superficie totale de 2 269 km<sup>2</sup>, il est situé sur le littoral de l'Ouest algérien. Il borde la côte sur une longueur de 124,4 kilomètres. Il est limité, au Nord-est, par la Wilaya de Chlef, au Sud et au Sud-est par la Wilaya de Relizane, au Sud-ouest par celle de Mascara et à l'Ouest par la Wilaya d'Oran. La Wilaya de Mostaganem est composée de 10 Daïra : Mostaganem, Hassi Mamèche, Ain Tatlès, Bouguirat, Sidi Ali, Achaacha, Ain Nouissy, Mesra, Sidi Lakhadar, Kheir Eddine ; regroupant, au total, 32 communes (ANAAT, 2011).

Les limites de la Wilaya de Mostaganem sont inscrites entièrement dans le littoral oranais, dont elle comprend les principales caractéristiques. En effet elle chevauche sur plusieurs unités physiques plus ou moins homogènes (ANAAT, 2011) :

- Une zone montagneuse située à l'Est, qui correspond aux monts du Dahra.
- Une zone de plateau, celui de Mostaganem.
- Deux unités de plaines, la première à l'Est, au contact du Dahra de part et d'autre de la vallée du Chélif ; la seconde, à l'Ouest, au pied du plateau à cheval sur les marais de la Macta. Cette situation de la Wilaya, au contact de la Méditerranée et caractérisée par une diversité des milieux, lui confère des possibilités naturelles appréciables à valoriser.

Pour une simplification nécessaire, certaines limites communales relatives aux grandes unités naturelles sont nettes et naturelles, d'autres plus nuancées, puisque les limites communales chevauchent souvent plusieurs unités (ANAAT, 2011) :

- Le plateau de Mostaganem qui regroupe 11 communes,
- La zone montagneuse des monts du Dahra, (8 communes),
- Les plaines de l'Ouest (7 communes).
- Les plaines de l'Est et la vallée du Chélif (6 communes).

Par ailleurs, parmi les orientations générales de la wilaya pour objectif de 2030 décline certains points sur l'espace de la wilaya à l'exception de la zone montagneuse qui relève d'une autre problématique, celle des zones spécifiques. Il insiste tout particulièrement sur la maîtrise de l'urbanisation de l'aire urbaine de Mostaganem, la préservation des ressources hydriques et la zone littorale, ainsi que les terres agricoles menacées par des facteurs naturels et anthropiques.

## 2. Géologie et morphologie

La grande diversité des zones morphologiques est le résultat d'une évolution très récente : au Sud l'érosion domine, prenant parfois des aspects grandioses. Au centre, dans les plaines de l'Habra et de la Mina, ce sont les phénomènes d'accumulation qui jouent l'existence de sédiments salifères, l'absence de drainage et l'insuffisance des pluies sont à l'origine des sols salés qui occupent les zones les plus basses ou l'absence de l'érosion actuelle des oueds (**Boulaine, 1955**).

Au NW, dans la région de Bouguirate et de Sirat les eaux douces du plateau de Mostaganem ont constitué jadis dans la zone basse des marécages dont les sols ont été remaniés par l'érosion éolienne. Le plateau de Mostaganem est constitué par des rides anticlinales SW-NE, pliocènes et post-pliocènes recouvertes, soit par la lumachelle calabrienne, soit par des dunes. Pendant le Quaternaire les fleuves ont contourné cette région par l'W (Hillil-Mina) et par le N (Chélif), et la prédominance de l'infiltration sur le ruissellement dans des terrains très perméables a été la cause de la formation de nombreux bassins fermés. Par ailleurs, les phénomènes de surcreusement n'ont pas eu lieu en l'absence de formations salifères. Enfin, les matériaux très sableux ont été remis en mouvement par le vent à différentes époques. A PE de la feuille, la plaine de la Mina s'est constituée dans un compartiment subsident du bassin néogène ; au N, dans l'anticlinal de Bel-Hacel, affleure toute la série pliocène : marnes plaisanciennes, grès astiens, limons et cailloutis villafranchiens (la lumachelle calabrienne constitue la crête de l'AOSboube). Dans la plaine des phénomènes d'alluvionnement ont eu lieu, par contre l'Oued Mina la traverse et collecte les eaux de ruissellement qu'il amène au Chélif (**Boulaine, 1955**).

## 3. Plan démographique

Si la région semble se caractériser aujourd'hui par un peuplement déséquilibré au profit des villes, résultat d'une conjoncture socio-économique défavorable dans les zones rurales, à l'origine d'un dépeuplement et parfois d'un exode massif de populations, la wilaya de Mostaganem, par son dynamisme agricole, a su maintenir dans la répartition spatiale de sa population de fortes densités dans la zone éparsée et les centres agglomérés (**ANAAT, 2011**) (Tableau 5).

**Tableau 5. Répartition de la population de la région de Mostaganem par dispersion de l'espace de programmation [(ONS, 2008) / Plan Nord-Ouest (ANAAT, 2011)]**

Wilaya	Population RGPH 2008 et sa part en (%)						
	Total	Agg. Chef lieux	%	Agg. Secondaire	%	Zone éparsée	%
Mostaganem	744 986	335 061	8,7	113 737	12,5	296 188	37,5

En effet la zone éparsée de la wilaya de Mostaganem concentre en 2008 près de 40 % de sa population et 37,5 % de la population éparsée de la région de l'Oranie (ANAAT, 2010).

En outre, Dans un contexte régionale, les wilayas de Mostaganem et d'Oran ont constitué l'aire de croissance la plus forte en opposition aux d'autres wilayas marquées par une évolution très contrastée selon les périodes (Tableau 6) (ANAAT, 2010).

**Tableau 6. Évolution des taux d'accroissement de l'espace de programmation Nord-Ouest (ONS, 2008)**

Wilaya	1966-1977 (%)	1977-1987 (%)	1987-1998 (%)	1998-2008 (%)
<b>Mostaganem</b>	<b>2,6</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>1,63</b>
Relizane	2,1	3,9	1,4	1,23
Oran	3,9	3,0	1,9	1,61
Mascara	2,4	3,3	1,6	1,35
Sidi Bel Abbés	2,2	3,3	1,5	1,16
Ain Temouchent	2,2	2,2	1,5	0,99
Tlemcen	2,3	2,9	1,5	0,85
Espace programme	2,8	3,2	1,8	1,31

Ainsi, Au plan des densités, l'évolution rapide de la population dans la wilaya s'est effectuée sur un espace relativement réduit (Tableau 7).

**Tableau 7. Evolution de la densité de population de la wilaya de Mostaganem (ONS, 2008)**

Wilaya	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Densité moyenne habts / km <sup>2</sup>				
		1966	1977	1987	1998	2008
Mostaganem	2269	120	159	223	278	328

#### 4. Plan des ressources hydriques

Parmi les outils nécessaires pour la compréhension du plan d'aménagement du territoire, on rencontre le schéma directeur de l'eau, dont ses objectifs s'articulent autour de trois axes forts d'intervention (ANAAT, 2011) : la répartition de la ressource entre régions conformément aux options nationales d'occupation et de développement du territoire, l'économie et l'utilisation rationnelle de l'eau, le développement et l'utilisation des ressources non conventionnelles produites à partir du recyclage des eaux usées et du dessalement de l'eau de mer (ANAAT, 2011).

La wilaya de Mostaganem correspond à la partie aval de trois Régions hydrographiques du Nord du pays que sont l'Oranie-Chott Chergui, le Cheliff-Zahrez et l'Algérois-Soumam. Les deux Bassins Hydrographiques régionaux qui marquent le plus le territoire de la wilaya sont, dans sa partie Ouest le Côtier Oranais Oriental et dans sa partie Est la portion aval du Cheliff.

#### 4. 1. Les ressources conventionnelles

En matière de ressources superficielles, l'évaluation antérieure des volumes régularisables est de 187 hm<sup>3</sup>/an ayant été revue à la baisse, les ressources mobilisables à partir des apports de la wilaya avoisineraient 166,383 hm<sup>3</sup>/an selon les données 2010. Les ressources souterraines locales reconnues sont évaluées à 52,1 hm<sup>3</sup>/an.

La wilaya de Mostaganem a l'avantage de disposer de nappes profondes et d'aquifères importants renfermant un potentiel reconnu 52,1 Hm<sup>3</sup>/an. Les ressources mobilisées globalement se rapprochant de 25,52 hm<sup>3</sup>/an. Ce volume va connaître une hausse une fois les 12 forages rentrent en exploitation (Tableau 8).

**Tableau 8. Potentialités totales reconnues (ANAAT, 2011)**

	Plateau de Mostaganem	Plaine de Bordjias	Synclinal de Bouguirat	Vallée du Chelif
Superficie (km <sup>2</sup> )	700	250	240	16.5
Epaisseur moyenne	70	150	80	15
Apport annuel (Hm <sup>3</sup> /an)	26	10	9,5	6,6

113 forages sont exploités actuellement totalisant un débit journalier de 60 393,6 m<sup>3</sup>, il est à noter que 12 forages sont en attente d'exploitation pour un débit total de 8 035,2 m<sup>3</sup>/j, la situation doit certainement s'améliorer une fois ils rentrent en exploitation (Tableau 9).

**Tableau 9. Les modes de mobilisation (ANAAT, 2011)**

Types de ressources	Forages (m <sup>3</sup> /J)	Puits (m <sup>3</sup> /J)	les sources (m <sup>3</sup> /J)	Total (m <sup>3</sup> /J)	Forages en attente d'exploitation (m <sup>3</sup> /J)
wilaya	60 393,6	5 780	3 760	69 933,6	8 035,2

La répartition de cette ressource ne fait pas ressortir de disparités importantes entre les territoires et ne constitue pas de ce fait qu'un facteur secondaire dans la structuration de la wilaya, et l'on peut dire même que là où l'eau est abondante les densités de population sont faibles.

Les communes de Sidi Belatar, Tazgait, Nekmaria, ne disposent de ressources connues aujourd'hui, à noter que ces communes sont localisées dans la zone de Dahra.

#### 4. 2. Les ressources non conventionnelles

Le recours à l'utilisation des différents procédés de valorisation des eaux non conventionnelles (deminéralisation des eaux saumâtres, dessalement de l'eau de mer, épuration des eaux usées) est une solution supplémentaire pour atténuer les déficits en eau et mieux couvrir les besoins futurs.

Jusqu'à ce jour, les ressources non conventionnelles représentent un potentiel évalué à 81 hm<sup>3</sup>/an portent sur (ONS, 2013) :

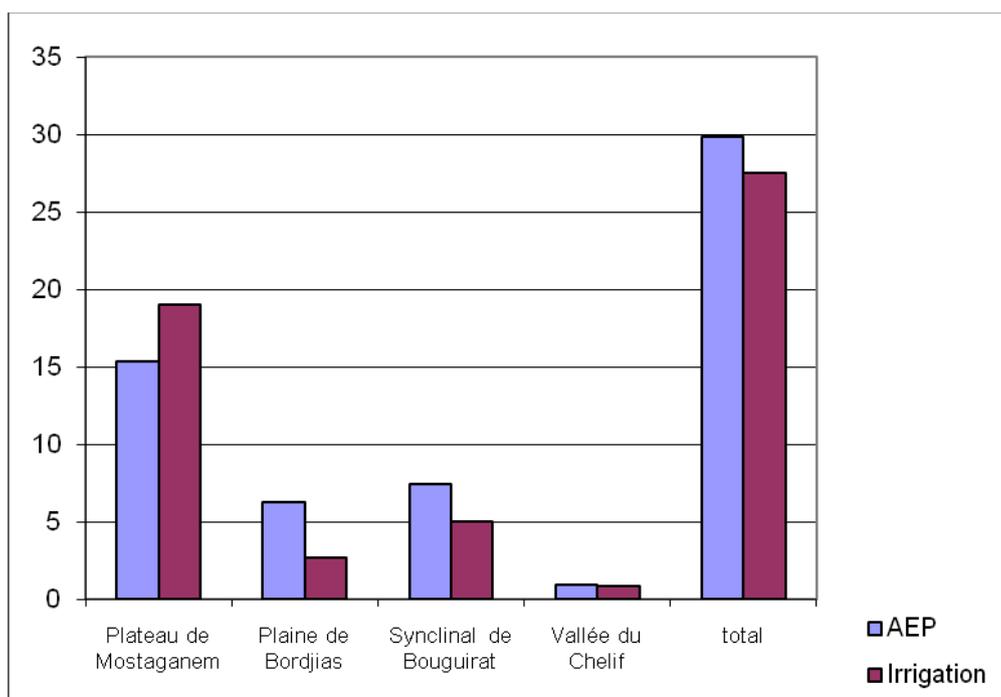
- 1- Dessalement de l'eau de mer Chelif : 200 000 m<sup>3</sup>/j, soit 73 hm<sup>3</sup>/an
- 2- Eaux usées épurées : 8 hm<sup>3</sup>/an.

#### 4. 3. La répartition de la ressource par types de consommation

La consommation de l'eau à travers sa répartition montre qu'au niveau de la vallée de Chélif et du plateau que cette ressource est destinée à l'irrigation (Tableau 10 ; Figure 3) (ANAAT, 2011).

**Tableau 10. La répartition de la ressource par types de consommation en Hm<sup>3</sup> (ANAAT, 2011).**

	Apports annuels	Alimentation en Eau Potable	Irrigation	Total (Hm <sup>3</sup> )
Plateau de Mostaganem	26	15,3	19	34,3
Plaine de Bordjias	10	6,24	2,7	8,94
Synclinal de Bouguirat	9,5	7,4	5	12,4
Vallée du Chelif	6,6	0,9	0,8	1,7
Total	52,1	29,84	27,5	57,3



**Figure 3. La répartition de la ressource par types de consommation**

#### 4. 4. Infrastructures hydrauliques

La quasi-totalité des communes disposent d'un réseau avec des taux de raccordement appréciable pour l'AEP et l'assainissement, sachant que la population de la zone éparsée est considérable dans certains territoires (DRE, 2016).

#### 4. 5. La capacité de stockage

La capacité de stockage de l'eau potable et industrielle La capacité de stockage de la wilaya a évolué d'un volume de 98 180 m<sup>3</sup> enregistré depuis 2005 jusqu'en 2008 à 137 995 m<sup>3</sup> en 2009. Cette capacité a plus que doublé en 2010 pour atteindre 282 808 m<sup>3</sup>.

#### 4. 6. Besoins et satisfaction

Hormis les communes de Mostaganem et de Mazagran qui ont des taux très satisfaisants, les autres communes de la wilaya affichent des déficits très nuancés (Figure 4 ; Tableau 11).

**Tableau 11. Satisfaction des besoins en eau (ANAAT, 2011)**

Commune	Volume Produit (m <sup>3</sup> /J)	Besoins exprimés (m <sup>3</sup> /J)	Taux de satisfaction (%)	Déficit enregistré (m <sup>3</sup> /J)	Capacité De Stockage (m <sup>3</sup> )
Mostaganem	45230	23403	193	00	164800
Sayada	1653	4172.4	40	2519.4	3000
Mazagran	3553	2727.6	130	00	550
Hassi Mameche	1579	3962.9	40	2383.9	3990
Ain Nouissy	1 477	2 045.6	72	568.6	4 050
Ain Tadles	2 446	5 747.6	43	3301.6	2 858
Oued El Ikheir	657	2 687.0	24	2030	1 480
Sour	1 203	3 750.5	32	2547.5	2 180
Kheir Eddine	1 251	4 051.1	31	2800.1	3 710
Ain Boudinar	295	0 957.9	31	662.9	805
Bouguirat	2 489	4 822.2	52	2333.2	9 915
Sirat	1 053	3 231.0	33	2178	3 700
Ain Sidi Cherif	283	1 404.6	20	1121.6	850
Touahria	769	1 217.6	63	448.6	1 150
Mesra	1 919	3 604.4	53	1685.4	3 550
Mansourah	221	2 808.9	08	2587.9	1 100
Souafli	259	2 579.6	10	2320.6	1 300
Saf Saf	500	2 180.6	23	1680.6	1 975
Haciane	700	2 477.1	28	1777.1	1 200
Fornaka	518	1 450.8	36	932.8	5 250
Stidia	1 670	1 948.4	86	278.4	2 330
Sidi Lakhdar	1 983	5 625.9	35	3642.9	6 850
Khadra	1 051	2 192.0	48	1141	1 750
Sidi Belater	1 023	1 217.6	84	194.6	700
O/Maalah	923	1 623.6	57	700.6	1 550
Tazgait	249	1 591.2	16	1342.2	640
Nekmaria	387	1 623.6	24	1236.6	5 500
O/Boughalem	257	2 045.3	13	1788.3	5 250
Sidi Ali	3 246	5 796.5	56	2550.5	18 950
Hadjadj	135	2 874.0	05	2739	3 425
B.A.Ramdane	805	2 273.1	35	1468.1	1 850
Achaacha	775	5 585.4	14	4840.4	11 650
<b>Total wilaya</b>	<b>80 559</b>	<b>113 679</b>	<b>71</b>	<b>55 772.4</b>	<b>282 808</b>

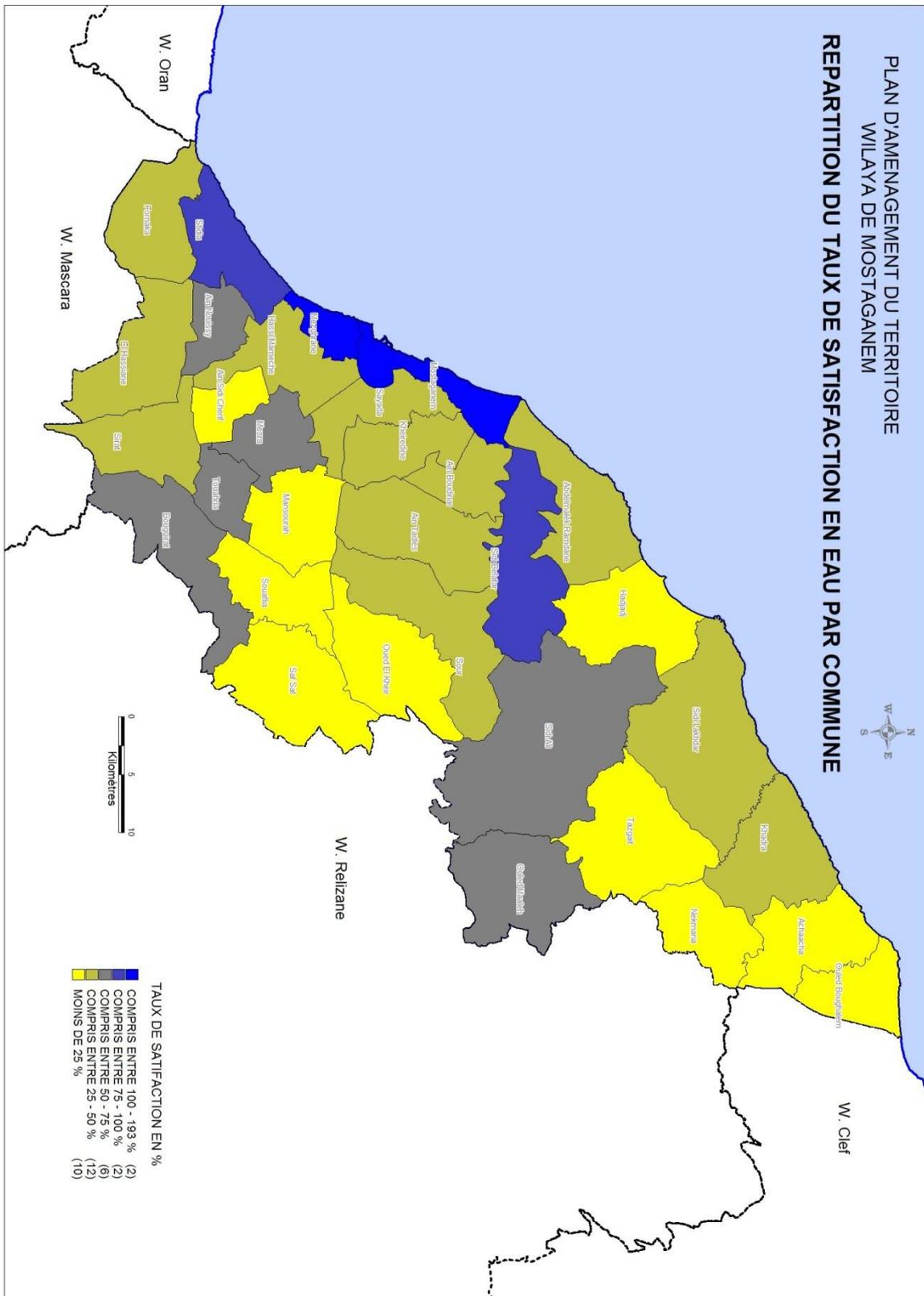


Figure 4. Répartition du taux de satisfaction en eau par commune (ANAAT, 2011)

## **5. Conclusion**

Par ailleurs, la confrontation de cette ressource par rapport aux besoins en eau des différents usagers met en évidence un niveau de déficit surmontable. Des facteurs de différentes natures sont à l'origine de ce déficit par rapport à une ressource en eau pourtant disponible et déterminante dans le développement et l'aménagement de la wilaya à savoir :

- Une sécheresse prolongée induisant une baisse dans le remplissage des barrages et un rabattement des nappes ;
- Une non maîtrise de la croissance de la demande en eau accentuée par des effets de littoralisation du fait de l'urbanisation et du tourisme.
- Une saturation des bassins versants, pourvoyeurs d'eau puisque la totalité des sites des barrages-réservoirs sont déjà en exploitation ou en cours de réalisation ;
- Des dotations faibles pour les milieux urbains (70 à 80 l/j/hab.) et ruraux avec des fréquences de distribution, assujetties à un programme de restriction qui est devenu une pratique courante à longueur d'année ;
- Des pertes d'eau dans les réseaux dépassant souvent le taux de 50 % pour certaines agglomérations restent à maîtriser.
- Absence de suivi d'évolution de la qualité de l'eau des différentes ressources d'une manière régulière et organisée notamment au niveau des zones sujettes à la pollution souterraine.
- Les agriculteurs disposant de forages et de puits, encouragés par des soutiens financiers ont vu un dédoublement des superficies irriguées, mais à quel prix, et selon quel mode d'irrigation ?
- En absence d'une gestion de l'eau d'irrigation formelle et organisée, les eaux usées brutes constituent actuellement une des ressources d'irrigation disponible, accentuant les risques d'épidémie et de maladies chroniques.

Face à cette situation, des mesures de grandes envergures s'imposent en urgence afin d'engager une dynamique de développement durable basée sur l'économie de l'eau et son exploitation judicieuse au profit de l'ensemble de la région (ANAAT, 2011). Ainsi, les procédés d'analyses microbiologiques et physico-chimiques s'avèrent indispensables afin de bien gérer ces ressources sur les deux paramètres du temps et de l'espace.

---

# **Matériel et Méthodes**

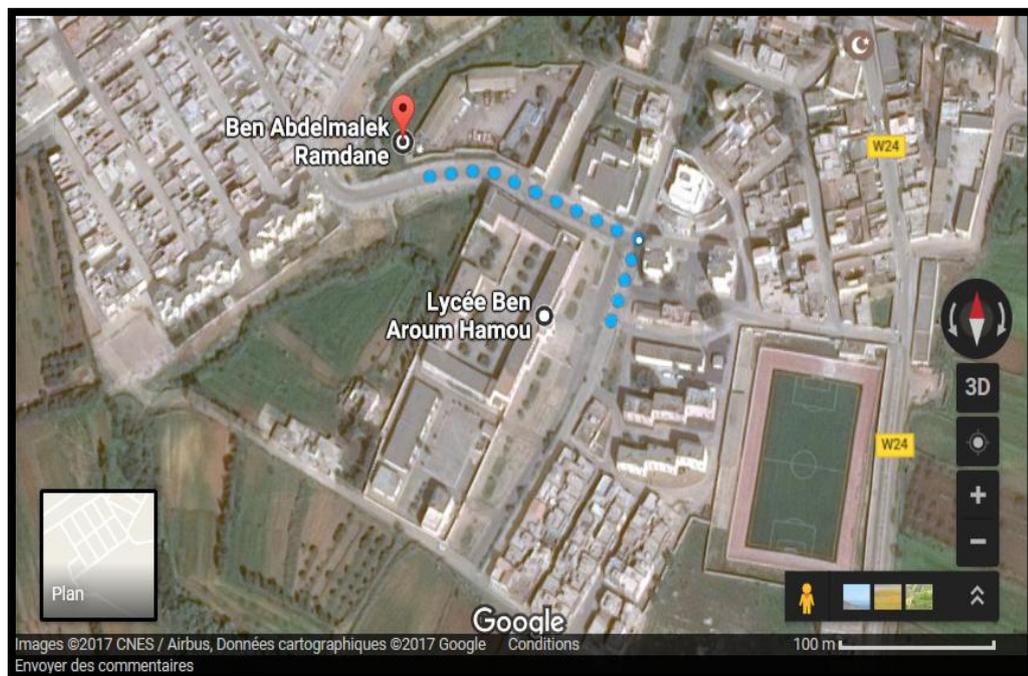
---

## 1. Objectif

Le travail effectué au laboratoire des analyses affilié à l'Algérienne Des Eaux de la wilaya de Mostaganem, consiste d'une part à déterminer les différents paramètres physico-chimiques et la qualité bactériologique de l'eau de source « Abdelmalek Ramdane » tout-on-se-basant sur la comparaison avec l'eau de robinet (eau de consommation ordinaire).

## 2. Description de zone d'échantillonnage

La source étudiée est située au alentours de la région « Abdelmelek Ramdane » près du lycée « Aroum Hamou » et des terres péri-urbaines à caractère agricole au lieu dénomé au nom du martyr Doudi Abdekader (1933-1958) .



**Figure 08 :** Localisation géographique du site de l'échantillonnage de l'eau de source dans la localité de Abdelmelek Ramdane (Mostaganem) (Source : Google earth, 2017)

## 3. Echantillonnage

L'étude s'est portée sur 06 échantillons dont 03 prélèvements d'eau de robinet et 03 prélèvements d'eau de source prélevés durant les deux mois **Mars** et **Avril**.

Le tableau (12) résume le lieu de l'échantillonnage, date et heure de prélèvement, date et l'heur de l'analyse.

**Tableau 12** : Prélèvements des échantillons pendant le mois de Mars et Avril

	<b>Eau de source</b>	<b>Eau de robinet</b>
Lieu d'échantillonnage	Commune Ben Abdelmalek Ramdane	Commune de Mostagenem, Pépinière
Date et heure du prélèvement	19 Mars à 9 h 00	19 Mars à 8 h 30
	26 Mars à 9 h 00	26 Mars à 8 h 30
	02 Avril à 9 h 00	02 Avril à 8 h 30
	09 Avril à 9 h 00	09 Avril à 8 h 30
Date et heure des analyses physico-chimique	Meme jour à 13 h 00	Meme jour à 13 h 00

#### 4. Mode d'échantillonnage

Le prélèvement de l'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui s'en suit ; l'échantillon doit être homogène et représentatif et ne doit pas modifier les caractéristiques de l'eau. Nous devons donc prélever l'eau avec toutes précautions d'asepsie ; pour cela plusieurs conditions s'imposent :

Le mode de prélèvement varie selon le lieu, nos échantillons ont été recueillis dans des flacons stériles, les flacons contenant les échantillons doivent être clairement et soigneusement identifiés par des étiquettes qui doivent comporter un certain nombre d'information à savoir ; origine de l'eau, adresse exacte du lieu du prélèvement (pour l'eau de réseau), date et heure du prélèvement, température de l'eau, chlore résiduel et autre remarques.

- Généralement, la durée du transport de l'échantillon depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire doit être réduite au maximum à 8 heures.
- L'échantillon doit être conservé dans des glacières entre 4 à 6 °C.

##### 4. 1. L'échantillonnage du robinet

L'eau de robinet (filtrée, traitée, de réseau) , il faut se laver les mains et les rincer à l'alcool puis, ouvrir le robinet et laisser couler l'eau 2 à 3 minute avant l'échantillonnage . Nous avons procédé à l'analyse du chlore résiduel dans des conditions aseptique (**Rodier et al., 2009**).

##### 4. 2. L'échantillonnage de l'eau de source

C'est un échantillonnage direct, on fait tremper doucement le flacon à l'intérieur de l'eau, à environ de 30cm de surface, en évitant le prélèvement en surface ou au fond pour ne pas risquer de ramasser de l'écume ou des sédiments. (**Rodier et al., 2009**).

## 5. Methodes d'analyses physico-chimiques

Avant d'effectuer notre analyse, il faut tout d'abord analyser le chlore résiduel pour voir le degré de désinfection.

### 5. 1. Test chlore résiduelle (Cl-R) :

La méthode la plus rapide et la plus facile pour tester la présence de chlore résiduel est le test DPD (diethyl paraphenylene diamine) en utilisant un comparateur colorimétrique. Une pastille de DPD est ajoutée à un échantillon d'eau dans une Cuve de 10 ml, Après être bien homogénéisé on mesure l'intensité de la couleur de notre échantillon visuellement, on compare la couleur obtenue à celle d'une échelle de couleur dans un comparateur en mg/l. (OMS., 2013 ; WEDC., 2013).

### 5. 2. Méthode potentiométrique :

L'appareil de mesure, le pH-mètre, mesure la différence de potentiel excitant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans l'eau à analyser.

D'après les lois de Nernst, cette différence est une fonction linéaire du pH, liée à l'activité des ions  $H^+$  du milieu par la relation suivante (Rejsek., 2002).

$$\text{Différence de potentiel} = k + RT/F \cdot \text{Log}(H^+)$$

- R : Constante des gaz, en joules. Degré<sup>-1</sup>.
- T : Température absolue en K.
- F : Le symbole du Faraday.
- $H^+$  : L'activité des ions  $H^+$ .
- K est une constante dépendant de la nature du verre de l'électrode et du dispositif de mesure.

=> Les électrodes de mesure sont donc au nombre de deux.

#### 5. 2. 1. pH (le Potentiel en Hydrogène)

La détermination électrométrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référent (calomel - KCl saturé)

Pour mesurer le pH on plongeant l'électrode dans l'échantillon puis on laisse le pH-mètre se stabilise pendant quelque secondes, et en fin, on détermine la valeur pH.

### 5. 2. 2. Température

Il est important de connaître la température des eaux. Car elle permet de corriger les autres paramètres d'analyse. La température doit être mesurée in situ. Pour avoir une idée globale sur l'environnement. Ceci consiste à plonger la sonde du thermomètre dans l'échantillon, on attend que la valeur se stabilise, et on la note la valeur mesurée qui est donnée en °C.

### 5. 2. 3. Conductivité électrique

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité. Taper légèrement la sonde sur le fond du bécher et l'agiter afin de vérifier que des bulles d'air ne se sont pas formées à l'intérieur. Il suffit d'environ quelques minutes pour que le capteur atteigne l'équilibre thermique avec la solution au cas où la température de la sonde serait totalement différente de celle de la solution. Les résultats sont exprimés directement en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Rejsk., 2002) .

## 5. 3. Méthode néphélographique :

Un intense faisceau lumineux est dirigé de bas en haut à travers le fond d'une cuve en verre contenant l'échantillon d'eau. La lumière dispersée par les particules de l'échantillon est détectée par un photomultiplicateur placé à 90 mm de la direction du faisceau incident. La quantité de lumière qui atteint le photomultiplicateur est proportionnelle à la turbidité. Cette intensité lumineuse est transformée en une intensité électrique transmise à un amplificateur, puis à un galvanomètre qui la mesure, un pare-lumière est utilisé pour couvrir la cuve pendant la mesure, à la fois pour protéger de la lumière extérieure et pour piéger la lumière transmise à travers l'échantillon (Rejsk., 2002)

### 5. 3. 1 Turbidité

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un néphélomètre. Cet appareil mesure la lumière diffusée et la lumière transmise qui permet de détecter les matières non dissoutes.

Le mode opératoire consiste à remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec l'échantillon à analyser bien homogène et effectuer rapidement la mesure ; il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

La turbidité se mesure en unités néphélographiques de turbidité (NTU).

#### 5. 4. Méthode volumétrie ou titrage

C'est la méthode d'analyse la plus courante. Elle se repose sur l'ajoute au moyen d'une burette d'une solution de concentration donnée (normalisée) à un échantillon, jusqu'à l'apparition du « point de virage ». Ce dernier est indiqué par un changement de couleur ou détecté à l'aide d'un appareil potentiométrique comme le pH-mètre (**Rodier., 2009**).

\* **Principe** : Titrage par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène diamine tétra étique EDTA 0,02N «  $C_{10}H_{12}N_2O_8Mg$  » a un pH de 10 ,l'indicateur utilisé est le noir ériochrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium lors du titrage avec l' EDTA la solution vire au bleu. (**ISO 6058 :1984**).

\* **Mode opératoire** : On prend 100 ml d'eau à analyser dans une fiole de 250 ml. À l'aide d'une pipette on ajoute 8 ml de la solution tampon et 3 gouttes de l'indicateur NET, la solution devient rouge vineuse, on titre ensuite avec la solution d'EDTA goutte à goutte jusqu'à l'apparition de la couleur bleue.

La dureté totale de l'eau exprimée en ° Français (°F)

Pour déterminer la concentration en magnésium ( $Mg^{2+}$ ) qui exprimé en mg/l est donnée par la relation suivante :

$$[Mg^{2+}] = TH - Tca^{2+} \times 24,3$$

24,3 g/mol : c'est la masse molaire atomique de magnésium.

##### 5. 4. 2. Titre calcique ( $Tca^{+2}$ )

\* **Principe** : Titrage des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA a un pH compris entre 12 et 13 l'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium,lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet.

\* **Mode opératoire** : On prend 100ml de l'eau à analyser dans un bicher de 250ml on ajoute 4ml solution Hydroxyde de sodium NaOH à (2N), puis on ajoute 0.2 g de poudre de l'indicateur rouge Muréxide. Puis on titre avec une solution EDTA (0.02N) goutte à goutte jusqu'au de virage de l'indicateur du rose au violet (**ISO 6058 : 1984**).

Les résultats sont exprimée en mg/l, est donnée par l'expression suivante :

40.08 g/mol : c'est la masse molaire atomique de calcium.

$$[Ca^{2+}] = Tca^{+2} \times 40,08$$

### 5. 4. 3. Détermination de titre alcalimétrique (TA, TAC)

\* **Principe** : Le titre alcalimétrique TA et le titre alcalimétrique complète TAC permettent de connaître la concentration en carbonates, bicarbonates et hydroxyde (base forte).

L'alcalinité est mesurée par la neutraliser d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'acide forte, acide sulfurique ( $H_2SO_4$  à 0.02N). En présence d'indicateur coloré :

- La phénophtaléine pour le TA virant du rose à l'incolore si le pH est supérieur à 8.30 : le dosage s'effectue par une solution d'un acide  $H_2SO_4$ , on va donc mesurer les ions d'hydroxyde et de carbonates. Mais lorsque le  $pH < 8.30$  le TA est nul.

- Le méthyle orange pour le TAC virant du jaune ou jaune orangé à un pH de 4.3 dès qu'il apparait un excès d'acide forte dans le milieu, et en mesurer ensuite les ions d'hydroxyde, de carbonate et de bicarbonate. (NT T90-036)

\* **Mode Opérateur** : On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlen meyer, puis on ajoute quelques gouttes de phénophtaléine, si la solution se colore en rose on titre avec une solution d' $H_2SO_4$ (0.02N) en agitant constamment ceci jusqu'à décoloration complète. Si la solution reste incolore, alors le pH de la solution est inférieur à 8.3 et donc le TA est nul. Pour déterminer le TAC, On utilise l'échantillon traité précédemment de TA ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration. On ajoute 2 gouttes de méthyle-orange et on traite avec la solution de ( $H_2SO_4$ ) jusqu'à le virage du jaune au jaune orangé ( $pH = 4.3$ ).

\* **Expression des résultats** : Quand le pH est supérieur de 8,30 on exprime les valeurs de TA et TAC comme suit :

En effet, 1°F correspond à 10 mg/l de carbonate de calcium  $CaCO_3$  pour le TAC.

### 5. 4. 4. Dosage des Chlorures ( $Cl^-$ )

\* **Principe** : le dosage des chlorures dissous dans l'eau est effectué par méthode titrimétrique la « méthode de Mohr », la réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun - rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage le pH est maintenu entre 5 et 9, 5 afin de permettre la précipitation.

\* **Mode opératoire** : On prend 100ml de l'eau à analyser dans un bicher de 250 ml, puis on ajoute 3 gouttes de solution de chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ). Et on titre avec la solution d' $AgNO_3$  à 0.1N Jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique.

- La teneur en chlorures exprimée en mg/l par la relation suivante :

$$[Cl^-] = V_{AgNO_3} \times 7,1$$

Où :  $V_{AgNO_3}$  : c'est le volume de solution d' $AgNO_3$  versé en ml.

## 6. Méthode colorimétrique :

Le dosage colorimétrique repose sur la quantification de produits colorés, issus d'une réaction chimique. Elle n'est possible que lorsque l'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration de l'élément à doser. Les dosages colorimétriques s'appuient sur la loi de Lambert-Beer, exprimée par la relation suivante : (**Rodier.,1978**).

$$A_\lambda = -\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon_\lambda \cdot \ell \cdot C.$$

- $I / I_0$  est la **transmittance** de la solution (sans unité).
- $A$  est l'**absorbance** ou **densité optique** à une longueur d'onde  $\lambda$  (sans unité).
- $e$  est l'**absorptivité molaire** (aussi appelé **coefficient d'extinction molaire**), exprimée en  $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ . Elle dépend de la longueur d'onde, la nature chimique de l'entité et la température.
- $l$  est la longueur du trajet optique dans la solution traversée, elle correspond à l'épaisseur de la cuve utilisée (en cm).
- $C$  est la concentration molaire de la solution (en  $mol \cdot L^{-1}$ ) et correspond à la valeur à déterminer.

### 6. 1. Dosage d'ammonium ( $NH_4^+$ )

\* **Principe** : La mesure spectrométrique du composé bleu formé par la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

Les ions hypochlorite sont générés par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichoroisocyanurate de sodium. (**ISO 7150-1**)

**\* Réactifs utilisés**

*\*Reactis (I)* -Salicylate de sodium  $C_7H_5O_3Na$ .

- Citrate tri sodique déshydraté  $C_6H_5O_7Na_3$  .
- Nitroprussiate de sodium ( $Fe(Cn)_5 NO$ )  $Na_2 \cdot 2H_2O$ .
- Eau distillée.

*\*Réactif (II)* - Hydroxyde de sodium **NaOH**.

- Dichlorosocyanurate de sodium.
- Eau distillée .

**\* Mode opératoire :** On introduit 40 ml E.D dans une fiole de 100 ml plus 4 ml de Réactif (I) et 4 ml Réactif (II) plus 2ml E.D pour le Témoin.

Et pour l'échantillon à analyser on prend 40ml d'eau à analyser + 4ml Réactif (I) plus 4ml Réactif (II) et 2ml E.D, on les fait garddddde c er les fioles dans un bain marie à 25°C pendant une heure puis on fait la mesurer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 655 nm.

**NB :** Les Réactif (I) et Réactif (II) se prépare chaque 15 jour.

**6. 3. Dosage des nitrates ( $NO_3^-$ )**

**\* Principe :** En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (**Rodier.,1978**).

**- Réactifs utilisés**

- Solution de salicylate de sodium à.....0.5% (renouveler toutes les 24 heures).
- Acide sulfurique  $H_2SO_4$  concentré.

*\*Réactif (I) :*

- Hydroxyde de sodium 30%

*\*Réactif (II)*

- Salicylate de sodium ... 0,5%
- Eau distillée

**NB :** a préparé chaque 24 h.

*\*Réactif (III) :*

- Acide sulfurique

*\*Réactif (IV)*

- Hydroxyde de sodium **NaOH** Tartrate double de sodium et de potassium
- Eau distillée

\* **Mode opératoire** : On introduit 10ml E.D dans un bécher de 50 ml + 3 gouttes de Réactif (I) et 3 gouttes de Réactif (II) plus 2ml E.D pour le Témoin, et pour l'échantillon à analyser on fait la même chose on prend 10ml d'eau à analyser + 3 gouttes de Réactif (I) et 3 gouttes de Réactif (II) plus 2ml E.D, puis on va faire un séchage dans l'étuve, on laisse refroidir le résidu et on ajoute 2 ml de Réactif (III) on laisse reposer 10 minute, puis 15 ml de l'eau distillé et 15 ml de Réactif (VI).

La longueur d'onde utilisée lors de l'analyse au spectromètre est de 451 nm.

Les résultats son affiché en mg / litre de nitrate.

#### 6. 4. Dosage du sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

\* **Principe** : Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum, les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate en milieu chlorhydrique de baryum suivant la réaction :



Le précipite ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution stabilisante, les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre (**Rodier., 1996**).

#### - Réactifs utilisé :

\**Réactif (I)* (solution stabilisante) :

- Acide chlorhydrique
- Ethanol
- Chlorure de sodium
- Glycérol
- Eau distillée

\**Réactif (II)* (Solution de chlorure de baryum) :

- Chlorure de baryum
- Acide chlorhydrique
- Eau distillée

\* **Mode opératoire** : Pour le témoin on introduit 100 ml d'E.D plus 5ml de la solution stabilisante et 2ml de chlorure de baryum et pour l'échantillon, on prend 20ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml E.D, on ajoute 5ml de la solution stabilisante et 2ml de chlorure de baryum. On Agite énergiquement pendant 1minute.

La longueur d'onde utilisé lors de l'analyse au spectromètre est de 420 nm, les résultats son affiché en mg / litre de sulfate.

**NB :** mg /l  $\text{SO}_4^{2-}$  = la valeur lue sur le spectrophotomètre x la dilution.

### 6. 5. Dosage de fer (Fe)

\* **Principe :** Après oxydation en milieu acide le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrophotométrie en utilisant la coloration rouge donné par les sels ferreux avec la Phénanthroline 1,10. **(ISO 6332)**

**- Réactifs utilisé :**

*\*Réactif (I)*

- Chlorhydrate d'hydroxy lamine  **$\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$**
- Eau distillée

**NB:** cette solution reste stable au moins une semaine.

*\*Réactif (II)*

- Acetate d'ammonium  **$\text{CH}_3\text{COONH}_4$** .
- Acide acétique cristallisable  **$\text{CH}_3\text{COOH}$** .
- Eau distillée.

*\*Ractif (III)*

- Phénanthroline 1.10
- Acide chlorhydrique **HCl**
- Eau distillée

**NB:** cette solution reste stable au moins une semaine si elle est conservée à l'obscurité.

\* **Mode opératoire :** Pour le témoin on prend 50ml E.D dans un bécher et on ajoute 1ml de Réactif (I), 2ml Réactif (II) et 2ml de Réactif (III). Et pour l'échantillon on introduit 40ml d'eau à analyser plus 1ml Réactif (I), 2ml Réactif (II) et 2ml Réactif (III) plus 5ml ED. La lecture est effectuée après avoir conservé béchers à l'obscurité pendant 15 min.

La longueur d'onde utilisé lors de l'analyse au spectromètre est de 510 nm, les résultats son affiché en mg / litre de Fer .

### 6. 6. Dosage d'Orthophosphore

\* **Principe :** En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium les othophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide exoréique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique, certaines formes

organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

**\* Réactifs utilisés**

\* Réactif (I) :

- Acide Ascorbique 100g/l

\* Réactif (II) :

- Acide sulfurique 9mol/l
- Molybdate d'ammonium 13g + 100 ml ED
- Tartrate de potassium hémihydraté 0.35g + 100 ED.

**\* Mode opératoire :** On introduit 40 ml ED dans une fiole de 100 ml plus 1ml de Réactif I plus 2 ml du Réactif II et on complète le volume jusqu'à 100ml pour le témoin.

Et pour l'échantillon à analyser 40 ml d'eau à analyser plus 1ml de Réactif I plus 2 ml du Réactif II et on complète le volume jusqu'à 100ml.

La lecture est effectuée après 20 min dans un spectrophotomètre à longueur d'ordre de 880nm.

Les résultats de orthophosphore son affiché directement dans le spectromètre en mg /litre .

## 7. Methodes d'analyses bacteriologiques

### - Méthode du dénombrement par filtration sur membranes

\* **Principe :** Cette technique consiste à filtrer sur des membranes qui retient les micro-organismes recherché, cette dernier est montées dans un appareil à filtration à quantité d'eau brute ou diluée puis à appliquée c'est membrane sur des milieux sélectifs coulés en boites pétri après incubation, les colonies développées seront dénombrée et éventuellement prélevées pour être confirmées ou étudiées.

Cette technique nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon l'étape suivante :

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bensen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau distillée ou avec l'eau a analysé si on dispose de quantité suffisante.
- Mettre en place à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile de façon aseptique une membrane d'une porosité nominale de 0.45 ou de 0.22 sa dépend du germe recherché

- Déposer ensuite aseptiquement 100 ml d'eau à analyser devant un bec bunsen
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la

Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement la membrane à l'aide d'une pince stérile, en surface ou en profondeur de la boîte pétri selon le germe qu'on veut rechercher (Rejski, 2002 ; CFMET., 2012 ).



Figure 09 : Rampe de filtration. (Source : présent travail)

### 7. 1. Dénombrement des germes totaux

\* **Technique** : A l'aide d'une pipette Pasteur, nous avons prélevé 0,1ml d'échantillon d'eau, qui est étalé à la surface du milieu **TGEA** (Tryptone Glucose Extrait Agar) , les boîtes sont incubées à 37°C pendant 24h.

La lecture consiste à faire le comptage des colonies développées après le délai d'incubation, le dénombrement est exprimé en UFC/100ml.

### 7. 2. Dénombrement des coliformes totaux

\* **Technique** : Après la filtration de 100 ml d'eau à analyser sur la membrane de 0.45µm, on dépose la membrane dans une boîte pétri qui contienne le milieu Tergitol à le quel on a ajouté deux additifs TTC et Tergitol 7 Puis on fait l'incubation à 37°C/24heures.

Le dénombrement est exprimé en UFC/100ml.

### 7. 3. Dénombrement coliforme fécaux (*Escherichia Coli* )

\* **Technique** : Le principe de dénombrement s'effectue de même manière que la recherche des *coliformes totaux* sauf la température d'incubation dans ce cas est de 44°C/24 heure.

#### **7. 4. Dénombrement des streptocoques fécaux**

\* **Technique :** La recherche *des streptocoques fécaux* sur un milieu solide **SLANETZ et BARTELEY**. Après la filtration de 100ml d'eau à analyser sur la membrane de 0.45µm puis on dispose la membrane sur le milieu précédent et on fait l'incubation à 37°C/24heures.

Le dénombrement est exprimé en UFC/100ml.

#### **7. 5. Dénombrement des spores d'anaérobies de clostridium sulfito-réducteurs**

\* **Mode opératoire :** On porte un flacon de 100 ml qui contenant de l'eau à analyser dans un bain marie à 80°C pendant 10 minute pour le but de détruire tous les formes végétatifs de A.S.R. Puis en refroidir le flacon par l'eau de robinet. Et on fait la filtration sur la membrane de 0.22µm par le procédé de filtration, on dépose premièrement la membrane dans la boîte pétri puis on coule le milieu VF à le quel on a ajouté deux additifs de sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) à 5% et alun de fer ammoniacal. Pour Approprier le milieu en anaérobiose stricte, l'incubation se fait à 37°C/24heures.

Les colonies noirs de 0.5 mm de diamètre ce qui traduire la présence des spores.

---

## **Résultats et Discussion**

---

## IV. Résultats et Discussions

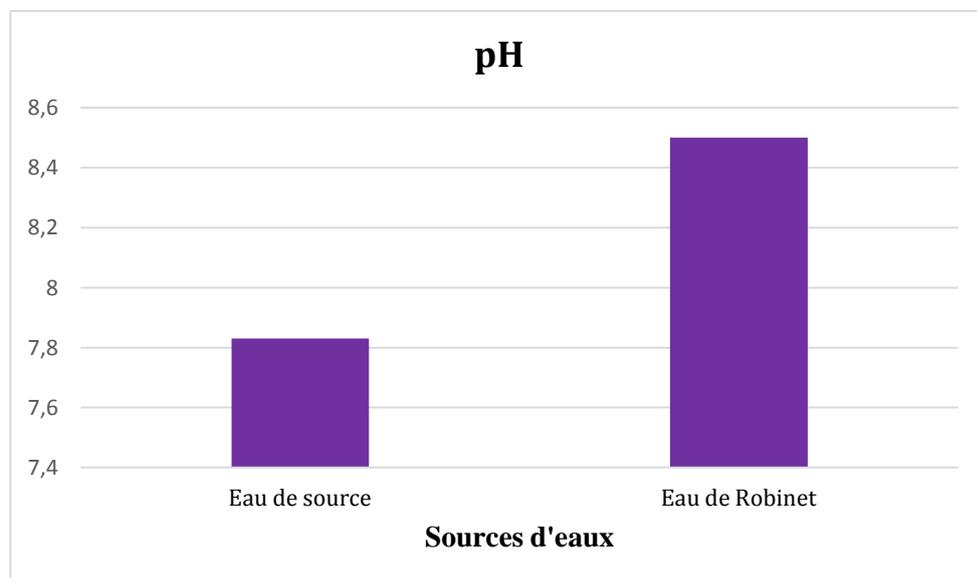
### 1. Analyse des paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques des eaux de source « *Abdelmelek Ramdane* » et du robinet de notre étude ont montrés une variation des concentrations des éléments chimiques dont certaines dépassent les normes décrites par le Journal officiel de la fédération algérienne pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Les résultats que nous avons obtenus lors des analyses effectués sont présentés sous forme d'histogrammes ci-dessous.

- **Le pH**

On constate d'après les résultats obtenus, que les pH de l'eau de source qui est de 7,88 est presque à l'équilibre, tandis que la valeur du pH de l'eau de robinet (8,55) est légèrement alcaline et ne dépasse pas la norme du JO qui se situe entre 6,5 et 8,5. Le pH d'une eau traité dépend de son procédé de traitement (du traitement correcteur). Soit il est abaissé, soit il est augmenté. Un abaissement du pH par solution acide ou injection de gaz carbonique ou une élévation du pH par injection d'un réactif : chaux vive ou carbonate de calcium (CFMLT., 2012). (Figure 10)



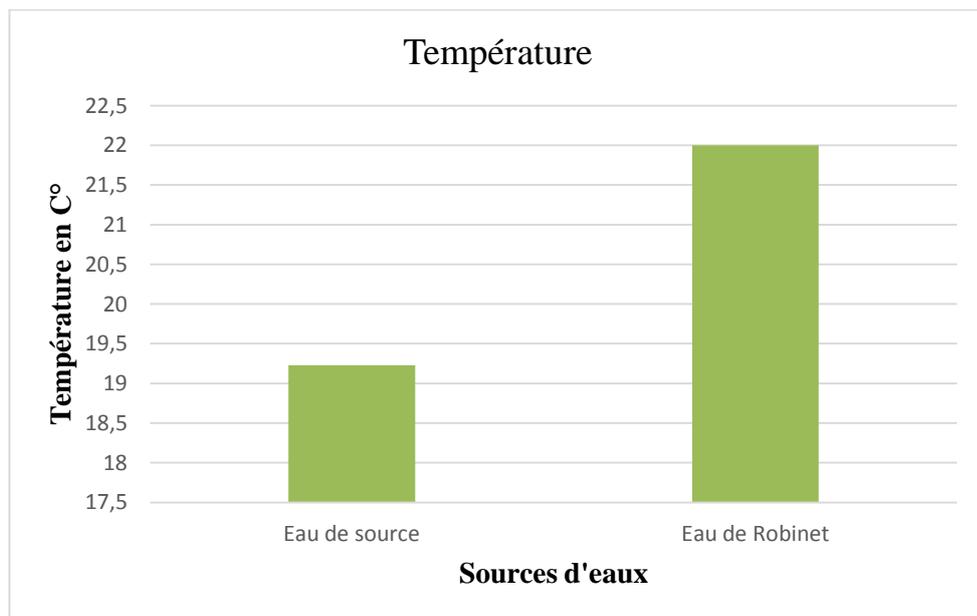
**Figure 10** : pH de l'eau de source et de l'eau de robinet [6.5 – 9].

- **Température**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les consommateurs, elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température, les valeurs élevées de température ne seraient pas néfastes pour la santé humaine, mais elle joue un

rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique des bactéries. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Nos résultats montrent que la T°C de la source est de l'ordre de 19,22°C, tandis que la température de l'eau de robinet est légèrement plus élevée, environ 22°C. Ils sont conformes aux normes algériennes qui fixent la température à des valeurs inférieures à 25° C. (Figure 11)

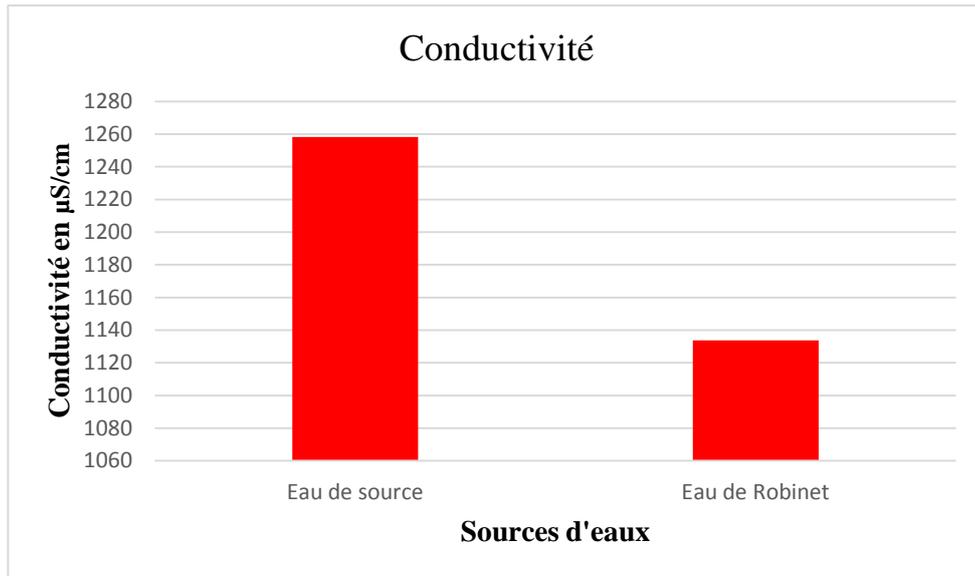


**Figure 11:** Température de l'eau de source et de l'eau de robinet > 25°C.

- **Conductivité**

La conductivité des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment (**Frank et kemmer., 1992**).

Les valeurs obtenues de l'eau de source 1258.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est légèrement supérieure à l'eau robinet 1133.66  $\mu\text{S}/\text{cm}$  la source possède une bonne minéralisation qui est due à la nature géologique du terrain. Ces derniers restent conformes à la norme algérienne indiquant une valeur limitée de 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (Figure 12)

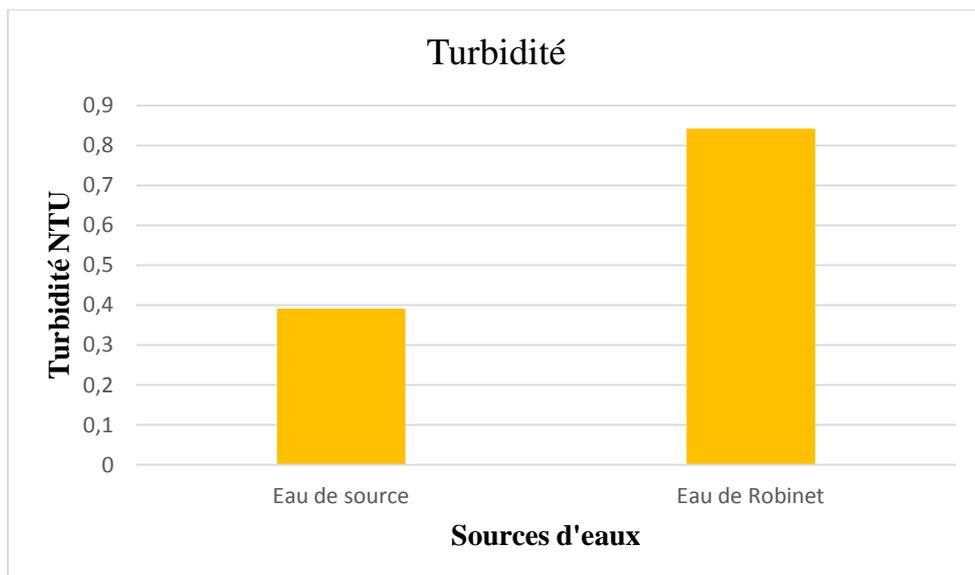


**Figure 12 :** Conductivité de l'eau de source et l'eau de robinet  $< 2800\mu\text{S/cm}$ .

- **Turbidité**

La turbidité traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris, organiques, argiles, organismes microscopiques...).

Nos résultats montrent que la turbidité de l'eau de source est 0.391 NTU, c'est une eau claire ceci est dû à l'infiltration de l'eau dans le sol. Tandis que la turbidité de l'eau de robinet est légèrement supérieur (0,842 NTU) mais les deux types d'eau sont conforme à la norme algérienne qui recommande comme valeur limite 5 NTU au maximum. (Figure 13).

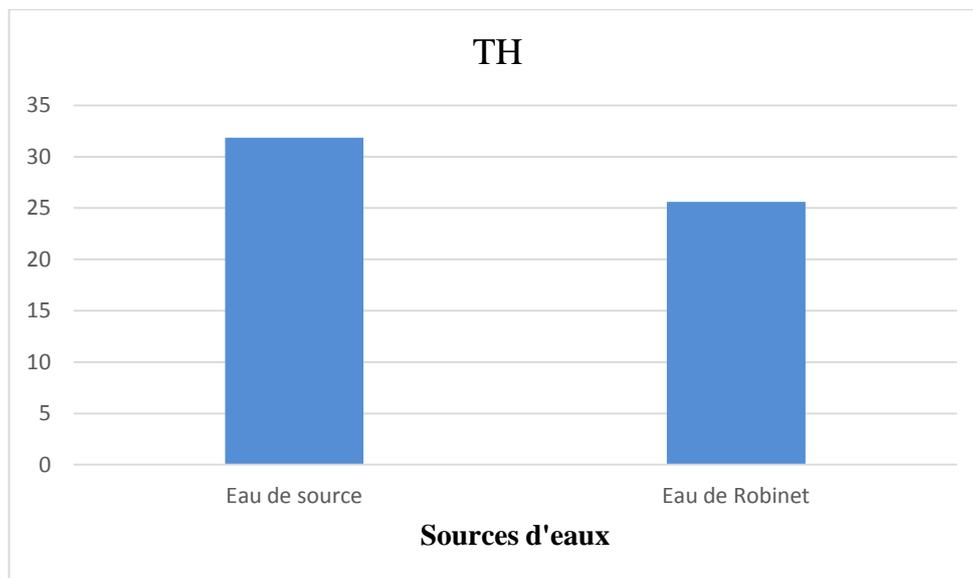


**Figure 13:** Turbidité de l'eau de source et l'eau de robinet  $< 5$  NTU.

- **Dureté de l'eau TH**

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (**Rodier., 2009**), un degré de dureté trop élevé favorise la prolifération des algues (Eutrophisation) alors qu'un degré trop faible empêche la croissance des plantes aquatiques.

Nos résultats montrent que la dureté de l'eau de source est de l'ordre de 31, 86°F et l'eau de robinet est de l'ordre de 25,6 °F, ces derniers sont ni Corrosif ni entartrant, elles sont considérée comme une eau douce. (Figure 14).

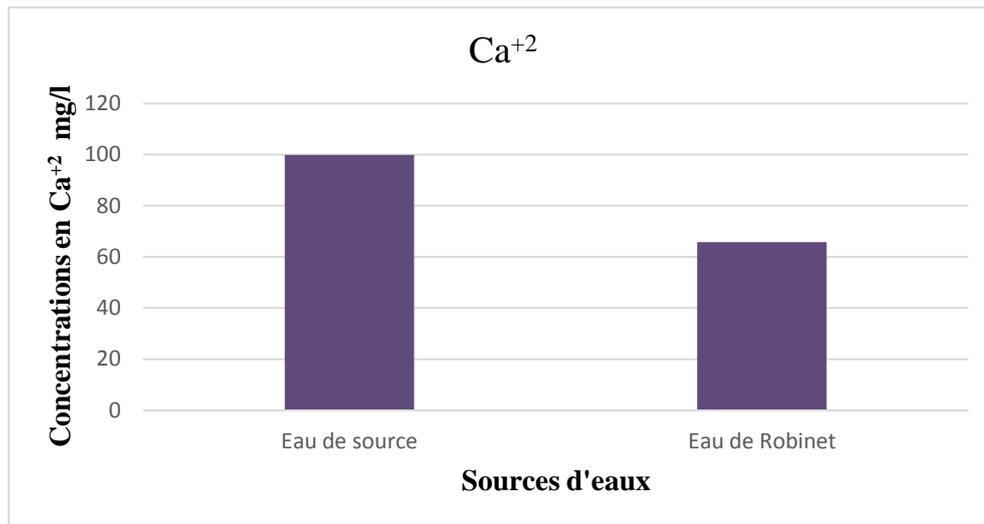


**Figure 14:** Dureté de l'eau (TH) de l'eau de source et l'eau de robinet < 500 °F.

- **Calcium (Ca<sup>2+</sup>)**

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme des carbonates, composant majeurs de la dureté de l'eau et qui est généralement l'élément dominant des eaux potables.

Nos résultats montrent que la teneur de calcium dans l'eau de source est de 99.92mg/l tandis que dans l'eau de robinet elle est inférieure à cette dernière elle est environ 65,72 mg/l, cette teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, de chlorures etc. (**Rodier., 1996**). Les échantillons analysés restent inférieure à la concentration maximale admissible décrétée par les normes Algériennes 200 mg/l. (Figure 15)

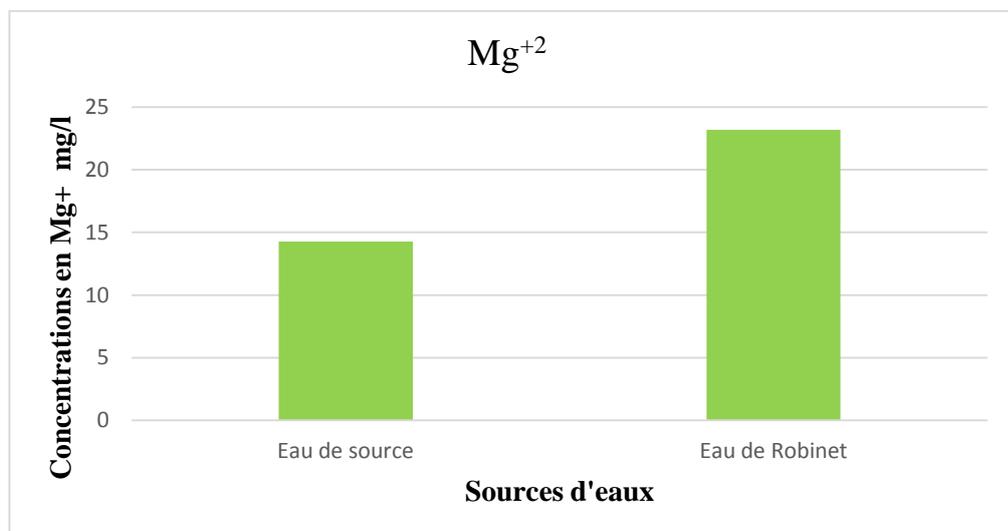


**Figure 15 :** Concentration de calcium (Ca<sup>2+</sup>) de l'eau de source et l'eau de Robinet <200 mg/l.

- **Magnésium**

Le magnésium est l'un des éléments le plus répandu dans la nature, il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau (Rodier., 1996). Nos résultats montrent que la teneur de magnésium [Mg<sup>2+</sup>] est de 14.26 mg/l dans l'eau de source et une teneur plus élevée dans l'eau de robinet (23,18 mg/l), elles sont toutes comprises dans l'intervalle des normes algériennes qui fixent le taux de [Mg<sup>2+</sup>] à des valeurs inférieures à 150 mg/l. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Debieche., 2002). (Figure 16).

+

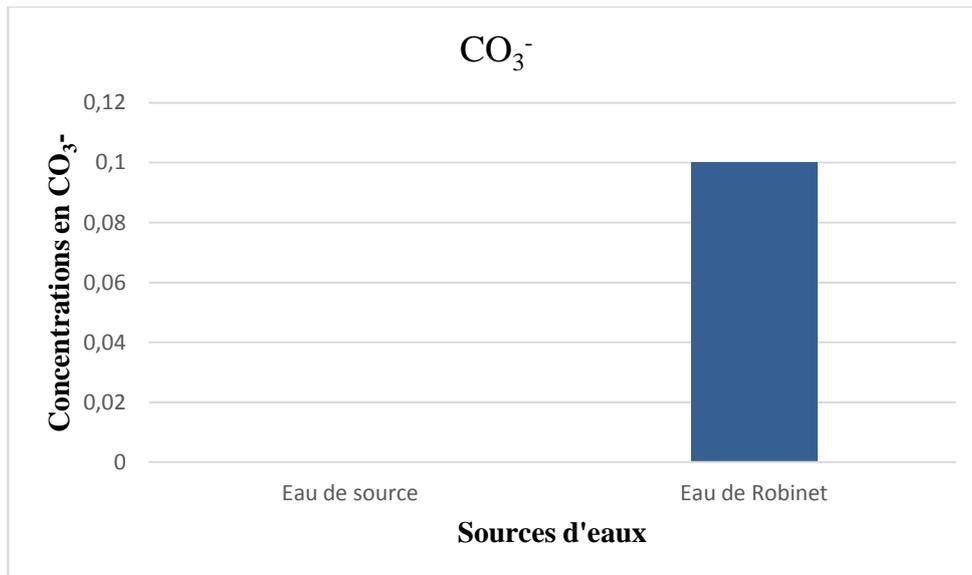


**Figure 16 :** Concentration de magnésium (Mg<sup>2+</sup>) de l'eau de source et l'eau de robinet <150mg/l

- **Carbonate ( $\text{CO}_3^-$ )**

Nos résultats montrent que la concentration de carbonate [ $\text{CO}_3^-$ ] est nulle dans l'eau de source parce que le pH de cette dernière est inférieure à 8,30.

Par contre, la [ $\text{CO}_3^-$ ] dans l'eau de robinet et celle du robinet est respectivement de l'ordre 0,1 F° parce que son pH est de 8,50 et donc supérieurs à 8,30. (Figure 17).



**Figure 17 :** Concentration de carbonate ( $\text{CO}_3^-$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet.

- **Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Les concentrations en bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en  $\text{CO}_2$  dissous et la nature lithologique du sol.

Lors des analyses effectuées la teneur de Bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  trouvé dans l'eau de source est de 325,3 mg/l tandis que la teneur de l'eau de robinet est de 115,7 mg/l.

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quelque soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. (Figure 18).

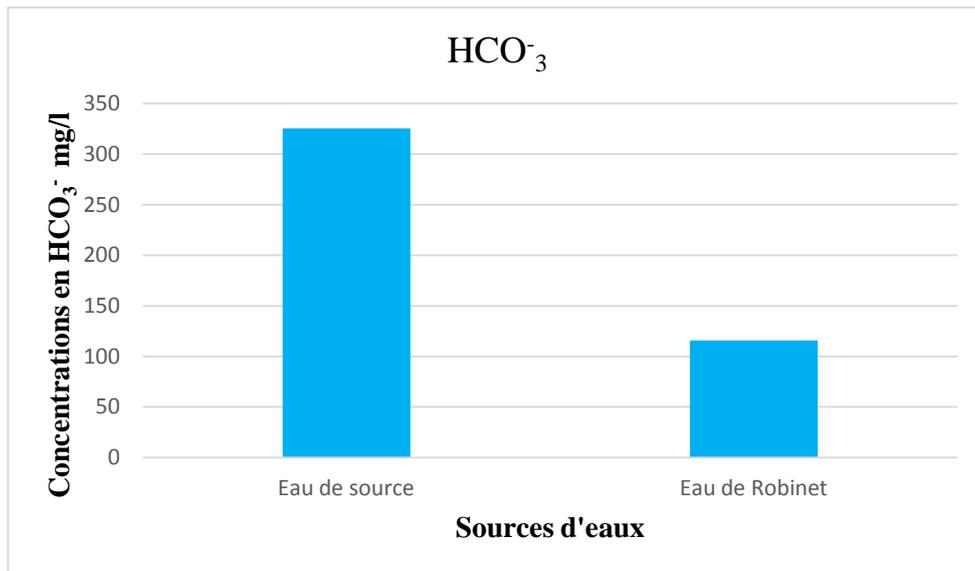


Figure 18 : Concentration de bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) dans l'eau de source et l'eau de robinet.

- **Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )**

La présence de chlorures dans les eaux est due le plus souvent à la nature des terrains traversés. On les retrouve dans presque toutes les eaux naturelles (Degbey., 2011). Leur teneur augmente généralement avec le degré de minéralisation de l'eau.

Il n'y a pas une grande différence entre les différentes valeurs obtenues, l'eau de source contient 206,1 mg/l et l'eau de robinet 205,88 mg/l, Elles sont toutes comprises dans l'intervalle des normes algériennes qui fixent le taux de chlorure à des valeurs inférieures à 500mg/l. Ce qui est sans conséquences pour la santé des consommateurs. (Figure 19).

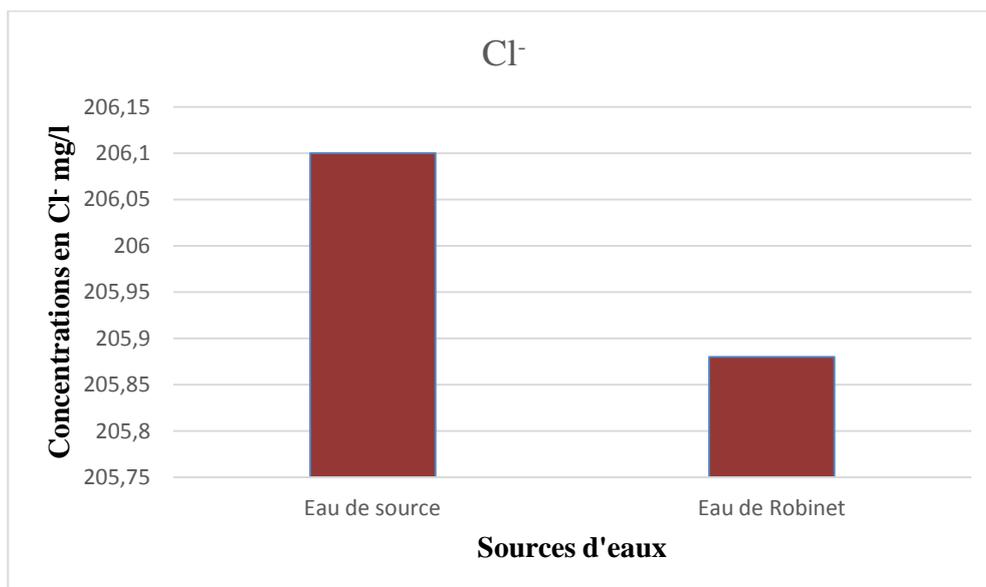


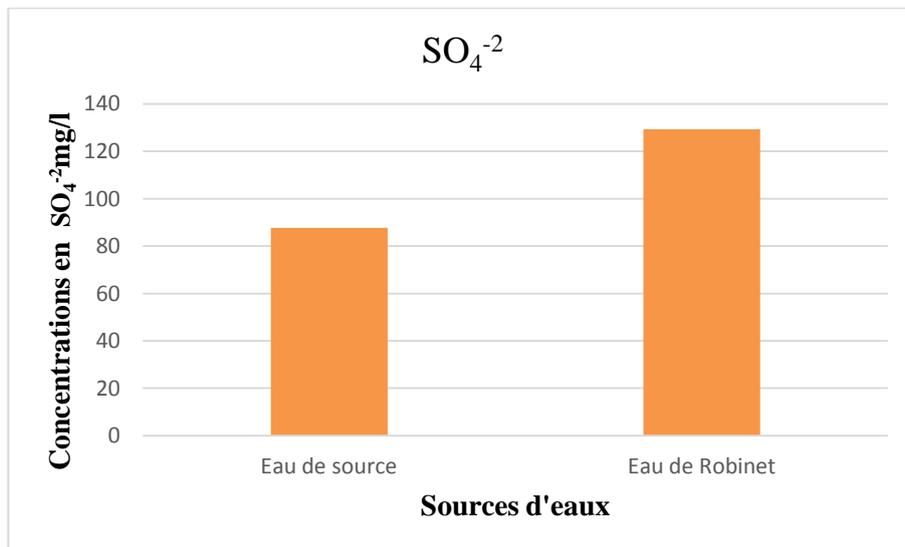
Figure 19: Concentration de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dans l'eau de source et l'eau de robinet <500 m/l.

- **Sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ )**

Certains sols et certaines pierres contiennent des minéraux de sulfate, Comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau. Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse) (Lenntech., 2017).

De fortes concentrations en sulfates dans l'eau de boisson entraînent des nuisances d'ordre organoleptiques et sanitaires. En effet, ils provoquent des troubles gastro-intestinaux et peuvent donner un goût désagréable (Rodier., 2005).

Nos résultats montrent que la concentration de sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) dans l'eau de source est de 87,71 mg/l tandis que la valeur de l'eau de robinet est supérieure environ 129,33 mg/l mais ces valeurs restent très faibles à la concentration maximale admissible décrétée par les normes Algériennes 400 mg/L (Figure 20).

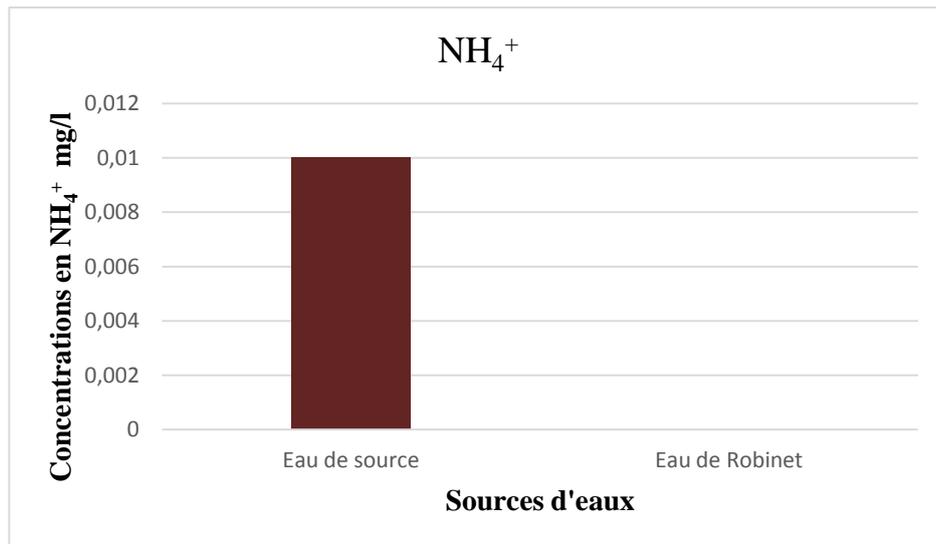


**Figure 20 :** Concentration de sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet <400 mg/l.

- **Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )**

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Ce dernier se transforme assez rapidement en nitrite et nitrate par oxydation, la présence de l'azote ammoniacal implique généralement une contamination récente par les matières organiques en décomposition.

Nos résultats montrent que la concentration d'Ammonium  $\text{NH}_4^+$  dans l'eau de source est de 0.01 mg/l tandis que le taux d'ammonium dans l'eau de robinet est nul, les valeurs obtenues sont dans les normes ils ne dépassent pas la concentration maximale admissible décrétée par les normes Algériennes 0.5 mg/l. (Figure 21).

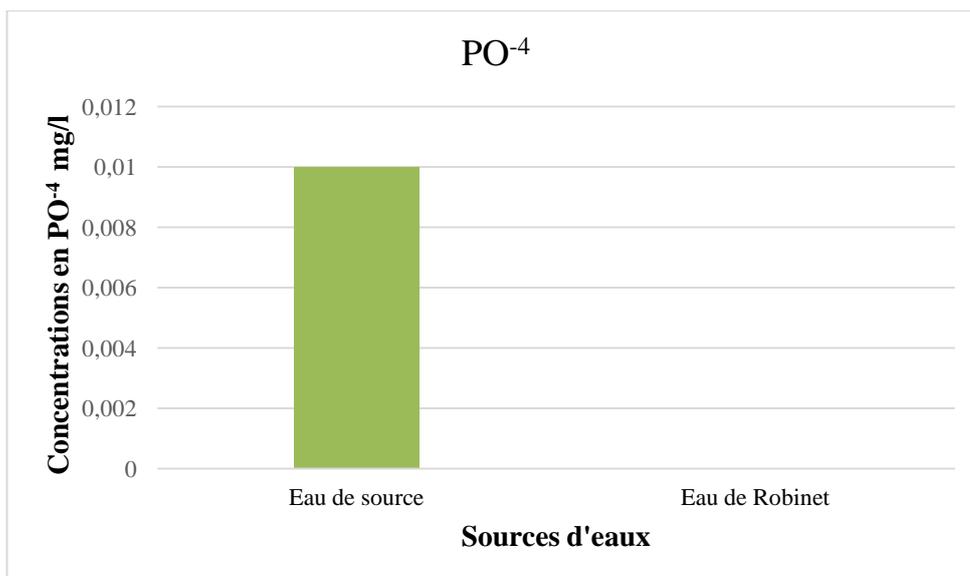


**Figure 21 :** Concentration d'Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dans l'eau de source et l'eau de robinet <0,5mg/l.

- **Ortho phosphate (PO<sup>4-</sup>)**

L'origine des phosphates dans les eaux est le plus souvent liée aux rejets urbains et à la dissolution des engrais chimiques (OMS, 2000) et l'érosion des sols agricoles enrichis en phosphore.

Nos résultats montrent que la concentration d'ortho phosphate dans l'eau de source est de 0.01 mg/l tandis que dans l'eau de robinet on a rencontré une absence totale mais la valeur de la source reste très faible à la concentration maximale admissible décrétée par les normes Algériennes qui est < 0.5 mg/l. (Figure 22).

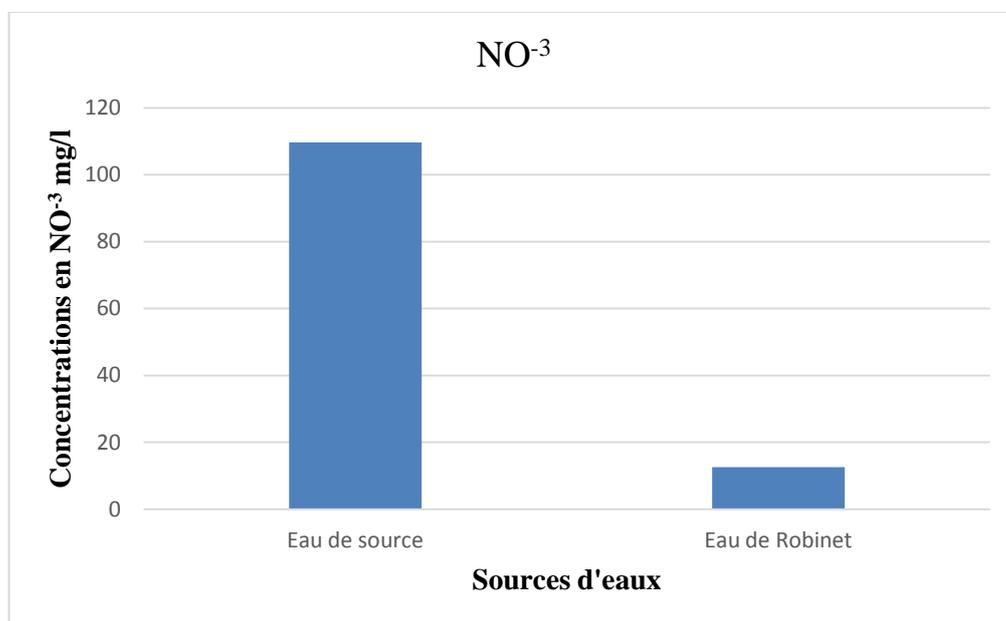


**Figure 22:** Concentration d'Ortho phosphates (PO<sup>4-</sup>) dans l'eau de source et l'eau de robinet <0.5mg/l

- **Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les ions nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble, La transformation de se dernier en nitrites présenter un risque pour la santé, par la modification des propriétés de l'hémoglobine du sang en empêchant un transport correct de l'oxygène par les globules rouges.

Lors des analyse effectuée on constate que le taux de Nitrate pour l'eau de robinet est de 12.54 mg/l, il reste inférieur à la norme prescrite par le journal officiel qui est de 50 mg/l, par contre le taux de nitrate dans l'eau de source est de 109,7 mg/l elle est supérieure à la norme prescrite par le journal officiel. Une teneur aussi élevée présence dans les eaux souterraines est liée la nature du sol, de la fertilisation, à l'utilisation intensive des engrais chimiques et à la lixiviation des eaux usées ou d'autres déchets organiques vers les eaux souterraines (OMS., 2004). (Figure 23)



**Figure 23:** Concentration du Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) de l'eau de source et l'eau de robinet <50mg/l.

- **Fer (Fe)**

Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau, sa présence dans l'eau certes ne présente aucun inconvénient du point de vu physiologique mais, des teneurs très importantes sont considérées comme indésirables (Rodier., 1996)

Nos résultats montrent que l'eau de source contient 0.26 mg/l de Fer, une valeur proche de la norme du JO qui est 0,5 mg /l, tandis que la présence de Fer dans l'eau de robinet est de quelque trace 0.18 mg/l.

Le fer se trouve naturellement dans la couche aquifère mais les concentrations, dans les eaux souterraines, peuvent augmenter du fait de l'activité des hommes (forage,). (Lenntech., 2017) (Figure 24).

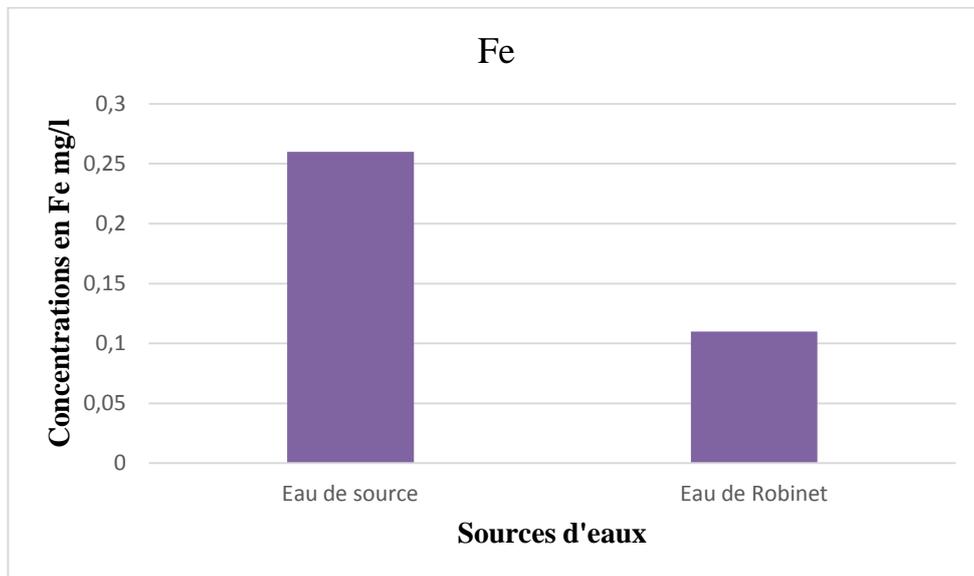


Figure 24 : Concentration Fer (Fe) dans l'eau de source et l'eau de robinet <0.5mg/l.

## 2. Analyse bactériologique

Les résultats de notre travail sur la partie bactériologie sont regroupés sous forme des tableaux ci-dessous.

Tableau 13 : Les résultats des analyses bactériologique de l'eau de source et de l'eau de robinet

Les échantillons	Normes JO	<i>Eau de Robinet</i>			<i>Eau de sources</i>		
		19-03-17	02-04-17	16-04-17	19-03-17	02-04-17	16-04-17
Les paramètres	//						
Chlore résiduel Pour l'eau de robinet mg/l	0.5	0.1	Absence	0.5	//	//	//
Germes totaux UFC/1ml	10	00	00	00	01	IDN	162
Coliformes fécaux c/100ml	00	00	00	00	00	00	00
<i>E. coli</i> c/100ml	00	00	00	00	00	00	00
Streptocoques fécaux c/100ml	00	00	00	00	00	00	00
Clostridium-sulfito réducteurs c/100ml	00	00	00	00	00	00	00

## Discussions des résultats :

Pour une eau de bonne qualité bactériologique est consisté au l'absence totale des germes pathogènes, ce qui conforme à la norme national et international (**Rodier., 2005**).

L'eau du robinet possède une bonne qualité bactériologique, grâce à l'efficacité de traitement de désinfection par le chlore, On a constaté une absence totale des germes recherché, quand le chlore est ajouté à l'eau, il détruit la membrane de beaucoup de micro-organismes et les tue , ce dernier désinfecte l'eau et la rend potable d'un point de vue microbiologique mais n'a aucun effet sur les contaminants chimiques (**OMS et WEDC., 2013**).

Par contre l'analyse bactériologique de l'eau de source montre une présence importante de Germe totaux de 162 *UFC/1ml* à indénombrable et les coliformes totaux de 2 a 4 *UFC /100ml* en concertation faible et une absence total des streptocoques fécaux, des clostridium sulfito réducteur et *d'E. Coli.*, malgré l'absence de trois germe les plus dangereux mais la présence de coliforme totaux est un indice de contamination fécal récente, les germes totaux sont en quantité importante, leurs dénombrement a pour objectif d'apprécié quantitativement la charge microbienne existante dans l'eau (**Jean-noël., 2008**), par ailleurs se sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique et donc la présence de germe pathogène plus dangereux.

L'eau de source est impropre à la consommation en raison de la présence des coliformes totaux est donc elle nécessite un traitement efficace de désinfection afin d'amélioré sa qualité bactériologique est la rendre conforme a la consommation.

---

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

---

## Conclusion Générale

L'eau constitue un élément essentiel pour l'être humain, et sa consommation journalière, ce qui implique une haute surveillance et contrôle de cette ressource. Ainsi, le présent travail avait pour objectif d'effectuer des analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux destinées à la consommation humaine de l'eau de source et l'eau de robinet au niveau de la Wilaya de Mostaganem.

Du point de vue microbiologique, tous les échantillons de l'eau de robinet analysés ont présenté des aspects microbiologiques conformes aux normes des services de contrôles algériens, tandis que les échantillons de l'eau de source ont montré la présence de coliformes totaux, faisant signe d'une contamination fécale.

En outre, du point de vue physico-chimique, une différence notable dans les teneurs mesurées de chaque paramètre étudié pH, Température, Conductivité, turbidité, Th ; Cl<sup>-</sup> ; Ca<sup>2+</sup> ; Mg<sup>2+</sup> ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ; Fe ; NH<sup>4+</sup> ; PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Dans la majorité des cas l'eau de source et du robinet sont considérés comme une eau à l'équilibre et répondent aux normes de potabilité. Néanmoins, dans certains cas, elles dépassent les normes, tel que Nitrate hors norme dans l'eau de source dû à la proximité de la source des parcelles agricoles péri-urbaines.

A la lumière de ces résultats, les ressources en eau exploitées de la nappe alluviale de la région d'Abdelmelek Ramdane à travers la source concernée par notre étude se montrent menacées par la pollution engendrée par le développement agricole. Tandis que l'eau de robinet est une eau qui a subi un traitement efficace qui lui a permis de répondre à toutes les exigences d'une eau conforme à la consommation.

---

# **BIBLIOGRAPHIE**

---

## Références Bibliographiques

**A.N.A.A.T. (Agence Nationale pour l'Aménagement et l'Attractivité des Territoires), (2010)** - Schéma Régional d'Aménagement du Territoire : Région Nord-Ouest, Algérie, 118p.

**A.N.A.A.T. (Agence Nationale pour l'Aménagement et l'Attractivité des Territoires), (2011)** - Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Mostaganem. Phase I. *ANAAT en collaboration avec la direction de la programmation et du suivi budgétaire de la wilaya de Mostaganem*, Algérie, 102 P.

**BCCDC (Environmental Health Laboratory Services), (2006)** - Safe Drinking Water: Public Health Laboratory Surveillance Update. Colombie-Britannique, Canada.

**Boeglin, J-C (2001)** - Propriétés des eaux naturelles. Dossier N° G1110. Environnement Technologies de l'eau. Technique de l'ingénieur.

**Boulaine, J., (1955)** – Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200 000è. Feuille de Mostaganem, N° 21, Alger, 18 p.

**Bouzaini, M., (2000)** - L'eau de la pénurie aux maladies. Ed., Ibn khaldoun, pp (11), Alger.

**CAWST (Technologies d'Eau et Assainissement), (2013)** - Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau de Boisson.

**Cazoulat, A., Lecompte, Y., Bohand, S., Gerasimo P., (2007)** - Validation du facteur d correction de l'auto-absorption des particules alpha dans une eau : application à la surveillance de sites spécifiques de la défense. *Radioprotection*, 42, (1), 11-27.

**Centre d'Expertise En Analyse Environnementale Du Québec (2015)** - Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.1, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 9 p

**Centre d'Expertise En Analyse Environnementale Du Québec. (2016)** - Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique. MA. 103 – Tur. 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, 11 p.

**Centre National de formation aux Métiers de l'Eau (2012)** - Contrôle des paramètres physiques et bactériologiques d'une eau de consommation.

**CHU Grenoble Alpes (2016) SAMU 38** - Toxicologie Clinique. Document de travail.

**Debieche T. H., (2002)** - Evolution de la qualité des eaux (Salinité, azote et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle (application à la basse de la plaine Sybouse-Nord-Est Algérien). Thèses de Doctorat / Université de Franche-Comté France ,235p

- Degbey C., (2011).** Facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson et la santé des populations dans la commune d'Abomey-calavi au Bénin. Thèse de doctorat en Sciences de la santé publique. Ecole de santé publique. Université Libre de Bruxelles (ULB)
- Degremont, G., (2005)** - Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10eme éd. : Tec et doc : 3-38.
- Delarras .C, Trébaol.B, Durand. J, (2007).** Surveillance sanitaire et microbiologiques des eaux. édition. TEC et DOC, pp (103-333-403-357), France.
- Desmeule M . (2008)** Comité consultatif en environnement.
- Dumont Henri J. (2005).** Biodiversity: a resource with a monetary value. *Hydrobiologia* . 542:11–14 .
- Durend R . (2001).** L'eau et la vie .Opéra .Nantes .p 76 -86.
- Ennabli, M., (1999)** – Problème de gestion de la ressource en eau en zones arides. *Les conférences de l'Institut National de Recherche Scientifique et Technique*, Tunisie, 10 P.
- Fondation Nationale de la Santé (2013),** Manuel pratique d'analyse de l'eau 4ème édition Brasilia. P57, 67 Bréssil
- Frank J. et Kemmer N, (1992).**Manuel de l'eau. Édition : Lavoisier. P 3 .102.105
- G.I.E.C. (Groupe Intergouvernemental pour l'Étude du Climat), (2013)** - Changements climatiques en 2013, les éléments scientifiques. *Résumé à l'intention des décideurs, résumé technique et foire aux questions*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 204 P.
- G.I.E.C. (Groupe Intergouvernemental pour l'Étude du Climat), (2014)** - Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. *Résumé à l'intention des décideurs*. Organisation météorologique mondiale, Genève, 34 p.
- Ghenim, A. N., Megnounif, A., (2013)** - Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien. *Sécheresse*, 24 : pp. 107-14. doi : 10.1684/sec.2013.0380.
- Gilles, A., Cardot, C., (2013)** - Analyse des eaux : Réglementations, analyses volumétriques et spectro-photométriques, statistiques Cours et exercices corrigés Ellipses Paris, 296 P.
- Jean-Noël, S., (2008)** - Bon état des eaux, Toulouse, pp. 20-23.
- Maheras, P., Kolyva-Machera, F., (1990)** - Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over the Balkans in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, N°10, pp. 495-504.
- Margat, J., (1979)** - Aridité et ressources en eau. *Catologue méthodique des rapports réalisés par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 79 SGN 225 HYD, France, 32 P.

**Meddi, M., Hubert, P., (2003)** - Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. Hydrology of the Mediterranean and semi arid Regions. *IAHS Publications*, 278 P.

**Nordmann, F. et Pinard, L-G. (2000)** - Chimie de l'eau et corrosion des REP. Dossier N° BN3750 . corrosion vieillissement. Matériaux. technique de l'ingénieur.

**O.N.S. (Office National des Statistiques), (2008)** - Exploitation exhaustive des résultats du RGPH 2008. Algérie.

**O.N.S. (Office National des Statistiques), (2013)** – Statistiques sur l'environnement. Collections Statistiques N° 177/2013, Série C : Statistiques Régionales et Cartographie, Algérie, 110 P.

**OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (2011).** Directives pour la qualité de l'eau de boisson, quatrième édition. OMS, Genève, Suisse.

**OMS (Organisation mondiale de la Santé), (2012).** Évaluation rapide de la qualité de l'eau de boisson : Manuel de mise en œuvre. OMS, Genève, Suisse.

**OMS et WEDC. (2013),** Fiches techniques eau, hygiène, et assainissement en situation d'urgence, Mesurer les niveaux de chlore dans les systèmes d'approvisionnement en eau. Editeur : Bob Reed.

**OMS, (2004).** Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres - mise à jour de novembre 2004. Genève.

**Rannou, A., (1999)** - Connaissance actuelle des sources d'irradiation naturelle. *Radioprotection*, 34 : 505.

**Rejsek, F., (2002)** .Analyse des eaux. Aspects réglementaires et technique. Édition. Scérén,pp (45-54),France.

**Rodier, J., (1987)** - Analyse de l'eau. 6<sup>ème</sup> édition Dunod, pp (10), Paris.

**Rodier, J., (1996)** - L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8<sup>ème</sup>, édition, Paris, pp. 799-780.

**Rodier, J., Legube, B, Merlet, N., et coll. (2009)** - Analyse de l'eau, série l'environnement et sécurité. Paris, France, Dunod 8<sup>ème</sup>, pp.127, 754, 755, 759,

**Rodier, J., Legube, B., et Coll. (2005)** - Analyse de l'eau, série l'environnement et sécurité. Ed. Dunod 8<sup>ème</sup>, Paris, pp 755-759.

**Santé Canada (2012).** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique — Les coliformes totaux. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (Numéro de catalogue H144-8/2013F-PDF).

**Société DEGREMONT. (1989)** - Mémento technique de l'eau. 2 volumes. 1ère édition Technique et Documentation Lavoisier. Paris, France : 18

**Wheeler, D. et Martin-Vide, J., (1992)** - Rainfall characteristics of mainland Europe's most southerly stations. *International Journal of Climatology*, N°12, pp. 69-76.

**Site Web:**

**Broussaud, J., (2008)** - Modéliser le cycle global de l'eau. Institut français de l'eau. URL:<http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/cycleau/modeliser>.

**Lenntech (2017)** - Le fer dans les eaux souterraines :  
URL : <http://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/fer.htm#ixzz4iIGIRLPr>

**Agence de l'Eau Artois-Picardie, Le U.S. Geological Survey.** Qu'est-ce que le cycle de l'eau? URL: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclefrench.html>