

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences de la Nature & de la vie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Filière : "Sciences Biologiques"

Spécialité: "Ecosystèmes steppiques et Sahariens"

THÈME :

**Caractérisation physico-chimique des eaux thermo-minérales de Hammam Serguine - Wilaya de Tiaret.**

Membres de jury :

Présidente : Mr. ZERARKA Abdelkader

Promoteur : Mr. BENAHMED Mohamed

Examinatrice : Mr. OUADHAH Sahraoui

Présenté par :

- Mlle. BOUGHARI Sabah

- Mlle. MAROUF Ghania

Année universitaire : 2016/2017

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mon très cher père qui est ma source d'espoir, du savoir, son courage et sa patience toujours pour moi autant d'exemple.*

*Ma très chère mère qui a sacrifié ses belles nuits rien que pour me voir réussir, et qu'a été toujours pour moi une source de tendresse et de courage.*

*Mes sœurs : Djamilia-Naima-Hanane-Aicha-Ouraïda*

*Mes frères : Saïd-Moussa-Abdelkader*

*En fin, je remercie mon amie et mon binôme Houda qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail, et toute sa famille.*

*Toutes mes amies : Fouad-Khouloud-Rima-Wahiba-Omar-Djamilia-Dallal*

*A toutes mes collègues de la promotion Master II Ecosystèmes steppiques et Sahariens, qui j'ai passé mes meilleurs moments qui resteront un bon souvenir pour toujours.*

# Dédicaces

*Au mon DIEU qui nous a éclairé le chemin du savoir, je dédie ce travail :*

***-A mes parents :***

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour*

*Le respect, la reconnaissance...*

*Aussi, c'est tout simplement que*

*Je souhaite que Dieu vous préserve une longue vie.*

***-A mes sœurs et mes frères***

*A eux tous, je souhaite un avenir plein de joie et de bonheur*

***-A Mes vraies amies : Asma, Kholoud , Karima, Tami Fouad et Mohamed.***

*-A tous les gens qui nous ont aidés pour accomplir ce travail.*

❖ *A tous ceux qui m'aiment*

❖ *A tous ceux que j'aime.*

*En fin, je remercie mon amie et mon binôme Sabah qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail, et toute sa famille*

# Remerciements

*Au terme de ce travail, Je tiens tout d'abord à remercier « ALLAH » très clément et sa sainte miséricorde qui m'a donné la force et la patience et de m'avoir aidé à réaliser et à accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et nous sincères remerciements à notre cher encadreur **Mr. BENAHMED Mohamed** pour avoir suivi attentivement la progression de notre travail, par ces précieux conseils et sa patience, à notre égare.*

*Mes remerciements vont également à tous les membres du jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'elles ont porté à ce mémoire :*

- ❖ **Mr. ZERARKA Abdelkader** maître assistant B, d'avoir accepté de présider le Jury.*
- ❖ **Mr. OUADHAH Sahraoui** maître de conférences A, d'avoir examiné ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à :*

- ❖ **M. Professeur DALLEL AËK** directeur du laboratoire d'Agro-Biotechnologie et de nutrition en zone semi aride.*
- ❖ **Mr. BENCHOÛRA Magni***
- ❖ **Mr. MOUCHARA N.***
- ❖ **Mr. AMEUR M.***

*J'exprime ma reconnaissance et ma profonde gratitude à l'égard de ceux qui de près ou de loin m'ont assistée par leurs conseils et leurs encouragements à l'élaboration de cet œuvre.*



# SOMMAIRE

## SOMMAIRE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	01
<b>Première Partie : Synthèse Bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux</b>	
I.1. Généralités sur l'eau.....	02
I.2. Structure chimique de la molécule de l'eau.....	02
I.3. Les trois états physiques de l'eau.....	02
I.3.1. L'état gazeux (vapeur).....	03
I.3.2. L'état solide (glace).....	03
I.3.3. L'état liquide.....	03
I.4. Origine de l'eau.....	04
I.5. Différents types d'eau.....	04
I.5.1. Eaux de pluie.....	04
I.5.2. Eaux de surface .....	04
I.5.2.1. Eaux de rivière (partie amont).....	04
I.5.2.2. Eaux de rivière (partie aval).....	05
I.5.2.3. Eau de lac.....	05
I.5.3. Eaux souterraines .....	05
I.5.4. Eaux de mer .....	06
I.6. Le cycle hydrologique.....	06
I.7. Répartition de l'eau sur la terre.....	07
I.8. Propriétés physico-chimiques de l'eau.....	08
I.8.1. Propriétés physiques.....	08
I.8.1.1. Masse volumique.....	08
I.8.1.2. Propriétés thermiques.....	08
I.8.1.2.1. Chaleurs massique (ou capacité thermique massique).....	08
I.8.1.2.2. Les enthalpies(ou chaleurs latentes).....	08
I.8.1.3. La viscosité.....	08
I.8.1.4. La tension superficielle.....	08
I.8.1.5. Propriétés électriques.....	09

<b>I.8.1.5.1. Constante diélectrique.....</b>	<b>09</b>
<b>I.8.1.5.2. La conductivité électrique.....</b>	<b>09</b>
<b>I.8.1.6. Propriétés optiques.....</b>	<b>09</b>
<b>I.8.2. Propriétés chimiques.....</b>	<b>09</b>
<b>I.8.2.1. L'eau solvant.....</b>	<b>09</b>
<b>I.8.2.2. Ionisation.....</b>	<b>10</b>
<b>I.8.2.3. Oxydoréduction.....</b>	<b>10</b>
<b>I.9. Importance de l'eau.....</b>	<b>10</b>
<b>I.9.1. L'eau et l'être vivant.....</b>	<b>10</b>
<b>I.9.2. L'eau et l'industrie.....</b>	<b>11</b>
<b>I.9.3. L'eau et l'agriculture.....</b>	<b>11</b>
<b>I.9.4. L'eau dans les aliments.....</b>	<b>11</b>
<b>I.10.Situation de l'eau en Algérie.....</b>	<b>12</b>
<b>I.10.1. Les ressource en eaux.....</b>	<b>12</b>
<b>I.10.2. Les barrages.....</b>	<b>13</b>
<b>II. La pollution des eaux.....</b>	<b>13</b>
<b>II.1. Eléments spécifiques de la pollution.....</b>	<b>13</b>
<b>II.2. Pollutions des eaux souterraines.....</b>	<b>13</b>
<b>II.3. Pollution des eaux de surface.....</b>	<b>14</b>
<b>II.4. Paramètres physico-chimiques de la pollution.....</b>	<b>14</b>
<b>II.4.1. Paramètres physiques.....</b>	<b>14</b>
<b>II.4.1.1. Les matières en suspension (MES).....</b>	<b>14</b>
<b>II.4.1.2. Les matières décantables et non décantables.....</b>	<b>14</b>
<b>II.4.2. Paramètres chimiques.....</b>	<b>14</b>
<b>II.4.2.1. La demande biochimique en oxygène DBO.....</b>	<b>15</b>
<b>II.4.2.2. La demande chimique en oxygène DCO.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5. Différents types de pollution des eaux.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.1. Pollution physique.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.1.1. Pollution thermique.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.1.2. Pollution radiochimique.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.2. Pollution chimique.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.2.2. Pollution agricole.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.2.3. Pollution par le pétrole.....</b>	<b>16</b>

<b>II.5.2.4. Pollution par les détergents.....</b>	<b>16</b>
<b>II.5.2.5. Pollution par les métaux lourds.....</b>	<b>17</b>
<b>II.5.3. Pollution organique.....</b>	<b>17</b>
<b>II.5.4. Pollution biologique.....</b>	<b>17</b>
<b>II.6. Les effets de la pollution.....</b>	<b>19</b>
<b>II.7. Conséquences de la pollution des eaux.....</b>	<b>19</b>
<b>II.7.1. Conséquences sanitaires.....</b>	<b>19</b>
<b>II.7.2. Conséquences écologiques.....</b>	<b>19</b>
<b>II.7.3. Conséquences esthétiques.....</b>	<b>19</b>
<b>II.7.3. Conséquences industrielles.....</b>	<b>20</b>
<b>II.7.4. Conséquences agricoles.....</b>	<b>20</b>

## **Chapitre II : Les eaux thermo-minérales**

<b>II.1. Généralités.....</b>	<b>21</b>
<b>II.1.1. Définition de la thermalité.....</b>	<b>21</b>
<b>II.1.2. Origine de la thermalité.....</b>	<b>21</b>
<b>II.2. Les eaux thermo-minérales.....</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1. Définition .....</b>	<b>21</b>
<b>II.2.2. Origine.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3. Classification chimique des eaux thermale.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3.1. Les eaux sulfurées.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.2. Les eaux sulfatées.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.3. Les eaux chlorurées sodiques.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.4. Les eaux faiblement minérales.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.5. Les eaux ferrugineuses.....</b>	<b>24</b>
<b>II.3.6. Les eaux «bicarbonatées» gazeuses.....</b>	<b>24</b>
<b>II.4. Problèmes posés par les sources thermo-minérales.....</b>	<b>24</b>
<b>II.5. Les principaux soins et leurs et leurs effets.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.1. Douches externes.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.2. Irrigations et douches internes.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.3. Grottes et étuves chaudes (thérapie en grotte).....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.4. Inhalations.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.4.1.Nébulisations.....</b>	<b>27</b>
<b>II.5.4.2. Aérosols.....</b>	<b>27</b>

II.5.4.3. Humages.....	27
II.5.4.4. Insufflations.....	27
II.5.6. Balnéothérapie.....	28
II.5.7. Fangothérapie.....	28
II.5.7. Bains de sable (psammatothérapie).....	28
II.5.8. Les propriétés thérapeutiques.....	29

## Deuxième Partie : Matériel & Méthodes

I. Objectif du travail.....	32
II. Situation géographique et administrative.....	32
II.1. Situation géographique.....	32
II.2. Situation administrative.....	32
II.3. Cadre géographique local.....	33
II.4. Géologie.....	34
II.5. Stratigraphie.....	35
II.6. Les reliefs.....	35
II.6.1. Grands traits du relief.....	35
II.7. Synthèse climatique.....	36
II.7.1. Diagramme pluviométrique.....	36
II.7.2. Climagramme D'emberger.....	37
II.7.3. Les paramètres climatiques.....	38
II.7.3.1. Température de l'air.....	38
II.7.3.2. Pluviométries.....	39
II.8. Ressources hydriques.....	40
II.8.1. Ressources en eau superficielle.....	40
II.8.2. Ressources en eau souterraine.....	41
II.9. Conditions socio-économiques de la région.....	41
III. Techniques d'échantillonnage.....	42
III.1. Campagnes de prélèvement.....	42
III.2. Transport et conservation au laboratoire pour les analyses.....	42
IV. Analyses physico-chimiques.....	42
IV.1. Analyses physiques.....	44
IV.1.1. Mesure de la température (T°).....	44
IV.1.2. Conductivité électrique (CE).....	44

IV.1.3. Potentiel hydrogène (pH).....	45
IV.1.4. La matière solide dissoute totale (TDS).....	45
IV.2. Les analyses chimiques.....	46
IV.2.1. Oxygène dissous (OD).....	46
IV.2.2. Détermination du calcium (Ca <sup>++</sup> ) et du magnésium (Mg <sup>++</sup> ).....	46
IV.2.3. Les chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	48
IV.2.4. Ion Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	48
IV.2.5. Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	49
IV.2.6. Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	50
IV.2.7. L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	50
IV.2.8. Les phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ).....	51
IV.2.9. Les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	51
IV.2.10. Détermination du titre alcalimétrique (TA).....	52
IV.2.11. Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC).....	52
IV.2.12. Dosage de la dureté totale (titre hydrotimétrique TH).....	53
IV.2.13. Dosage des matières organiques(MO).....	53

### Troisième Partie : Résultats & Discussion

I. Résultats des analyses physico-chimiques.....	54
I.1. Caractéristiques physiques.....	54
I.1.1. La température.....	54
I.1.2. Le potentiel hydrogène (pH).....	54
I.1.3. Conductivité électrique.....	55
I.1.4. La matière solide dissoute totale (TDS).....	56
I.2. Caractéristiques chimiques.....	57
I.2.1. Oxygène dissous (OD).....	57
I.2.2. Teneur en Calcium (Ca <sup>+2</sup> ).....	57
I.2.3. Teneurs en Magnésium (Mg <sup>++</sup> ).....	58
I.2.4. Teneur en bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	59
I.2.5. Teneur de chlorure (Cl <sup>-</sup> ).....	60
I.2.6. Teneur en sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	61
I.2.7. Teneur en nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	62
I.2.8. Teneur en nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	63
I.2.9. Teneur en azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	64

<b>I.2.10. Teneur en phosphates (<math>\text{PO}_4^{2-}</math>).....</b>	<b>65</b>
<b>I.2.11. Titre d'alcalimétrique (TA).....</b>	<b>65</b>
<b>I.2.12. Titre d'alcalimétrique Complet (TAC).....</b>	<b>65</b>
<b>I.2.13. La dureté de l'eau (TH).....</b>	<b>66</b>
<b>I.2.14. Matière organique (MO).....</b>	<b>67</b>
<b>I.3. Diagramme de Piper.....</b>	<b>67</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>69</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>70</b>
<b>Résumé</b>	

## LISTE DES FIGURES

Figure N°1: Structure de la molécule .....	02
Figure N°2: Structure de l'eau à l'état gazeux.....	03
Figure N°3: Structure tétraédrique de l'eau à l'état solide ou liquide.....	03
Figure N°4: Cycle hydrologique dans l'environnement.....	06
Figure N°5: Distribution des stocks d'eau sur la planète.....	07
Figure N°6 : Position géographique de la région de Ksar Chellala.....	33
Figure N°7: Situation géographique de la zone d'étude.....	34
Figure N°8: Diagramme Ombrothermique de Bagnoulset Gausson de la région de Ksar Chellala (2003-2015).....	36
Figure N°09 : Climagramme d'EMBERGER.....	37
Figure N°10: Répartition des températures moyennes mensuelles de Ksar Chellala(1990-2015).....	39
Figure N°11: Répartition des précipitations moyenne mensuelles de Ksar Chellala(1990-2015).....	40
Figure N°12 : La température d'eaux thermo-minérale de hammam Serguine.....	54
Figure N°13 : Le pH d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....	55
Figure N°14: La conductivité électrique des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	55
Figure N°15 : La matière solide dissoute totale des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	56
Figure N°16 : l'Oxygène dissous des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	57
Figure N°17: Teneur en calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) de l'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....	58
Figure N°18: Teneur en magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	59
Figure N°19: Teneur en bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	60
Figure N°20: Teneur en chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	61
Figure N°21: Teneur en sulfates $\text{SO}_4^{2-}$ mg/l de eaux thermo-minérale de hammam Serguine.....	62
Figure N°22: Teneur en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	62
Figure N°23: Teneur en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.....	63
Figure N°24: La transformation de l'azote organique par oxydation en nitrites et nitrates.....	64
Figure N°25: Teneur en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....	64
Figure N°26: Teneur en phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....	65
Figure N°27: Résultats des analyses TAC d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....	66

<b>Figure N°28: Histogramme es résultats des analyses TH d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....</b>	<b>67</b>
<b>Figure N°29: Résultats des analyses de la matière organique d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.....</b>	<b>67</b>
<b>Figure N°30 : Diagramme de Piper.....</b>	<b>68</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau N°1: Fonctions de l'eau dans l'aliment.....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau N°2: Principaux types de pollution des eaux, leurs natures et leurs causes</b>	<b>18</b>
<b>Tableau N°03: Caractéristiques de la station météorologique de Ksar Chellala.....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau N°04 : Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude Ksar Chellala Période 1990-2015 .....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau N°05 : pluviométrie moyennes mensuelle (mm) à la station météorologique de Ksar Chellala période (1990 à 2015).....</b>	<b>39</b>

## SOMMAIRE

### LISTE DES ABREVIATIONS

**°C** : Degrés Celsius

**°F** : Degré français

**A.D.E** : Algérienne des eaux

**CE** : Conductivité électrique

**dS/m** : Décisiemens par mètre

**Ech** : Echantillon

**EDTA** : Ethylène Diamine Tétracétique

**hm<sup>3</sup>** : Hectomètre cube par seconde

**J.O.R.A** : Journal Officiel de la République Algérienne

**JORADP** : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire

**Km** : Kilomètre

**m** : Mètre

**m/s** : Mètre par seconde

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

**még/l** : Milliéquivalent par litre

**mg/l** : Milligramme par litre

**mm** : Millimètre

**MO** : Matière organique

**mol** : Mole

**mS/cm** : Millisiemens par centimètre

**N** : Normalité

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

**O.N.M** : Office National Météorologique

**P** : Précipitation

**P1** : Prélèvement N° 01

**P2** : Prélèvement N° 02

**Ph** : Potentiel d'hydrogène

**T** : Température

**TA** : Titre Alcalimétrique

**TAC** : Titre alcalimétrique complet

**TH** : Titre Hydrotimétrique

**THCa** : Dureté Calcique

**V** : Volume

**µm** : Micromètre

# **Introduction Générale**

## **Introduction**

L'histoire de l'eau est en quelque sorte l'histoire de la vie elle-même, c'est un constituant essentiel de toute créature vivante sur terre et c'est l'élément le plus indispensable pour tous les êtres vivants.

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigué et l'industrie(DRH).

Une eau souterraine renferme une teneur en substance minérale dissoute d'origine naturelle géologique. Cette composition est le résultat d'un ensemble de mécanismes d'interaction entre l'eau et le réservoir (dissolution, précipitation, échange ionique). L'analyse de cette composition permet de donner une idée générale sur la minéralisation des eaux de la nappe, sur la qualité physico-chimique de ces eaux.

Une eau thermale ou thermo- minérale est une eau profonde qui à l'émergence sa température est supérieure à la température moyenne annuelle de la région. Elle possède des caractéristiques physico-chimiques constantes pour chaque source (débit, température, concentration en minéraux et en gaz) et, ceci indépendamment des modifications climatiques et environnementales (saisons, pluviométrie, sécheresse).

En plus de son utilisation comme eau de boisson, elle est aussi utilisée comme un remède contre plusieurs maladies et affections. Cette eau doit donc répondre aux caractéristiques particulières de qualité physico-chimique, microbiologique et de sécurité exigées pour tout produit à usage thérapeutique.

Pour cette raison, nous avons essayé de contribuer de notre côté, dans ce modeste travail, à étudier l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux thermo-minérale de Hammam Serguine dans la région Ksar Chellala.

Ce mémoire est divisé en trois parties, dont la première partie nous présentons une étude bibliographique sur la qualité des eaux et les eaux thermo-minérales. Dans la deuxième partie nous présentons la zone d'étude et les méthodes d'analyses. La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus suivi d'une discussion. Enfin, cette étude se terminera par une conclusion générale.

**Première Partie**  
**Synthèse Bibliographique**

# **CHAPITRE I**

## **Généralités sur l'eau**

## Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux

### I.1. Généralités sur l'eau

L'eau, en latin "aqua", est une substance liquide transparente, sans saveur ni odeur ni couleur. Elle est également appelée solvant universel, car elle peut dissoudre plusieurs corps. L'eau est un élément important dans la vie.

Sa formule peut s'écrire de façon très simple :  $H_2O$  (ce qui signifie que cette molécule résulte de l'union d'un atome d'oxygène avec deux atomes d'hydrogène). L'eau est en effet la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Elle en constitue l'hydrosphère. Son volume est estimé à  $1385.10^6 \text{ Km}^3$ , dont environ 97,4% dans les océans (couvrant 71% de la surface terrestre), 2% sous forme de glace et 0.6 seulement (de l'ordre de  $8.10^6 \text{ km}^3$ ) constituant les eaux douces continentales (y compris les nappes souterraines et l'humidité des sols) (Degrement, 1978).

### I.2. Structure chimique de la molécule de l'eau

La molécule d'eau a une structure coudée ou un atome d'oxygène possède six électrons périphériques sont liés par deux liaisons covalentes à deux atomes d'hydrogène possèdent chacun d'eux un électron périphérique. (Tadje F, Taleb M, 2015).

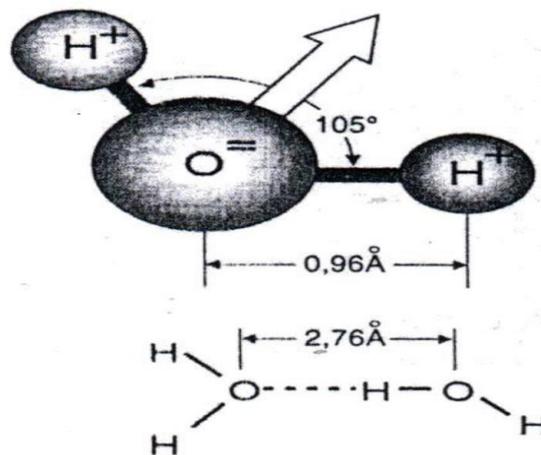


Figure N°01: Structure de la molécule d'eau.

### I.3. Les trois états physiques de l'eau

D'après MireilleD, (1996), selon les conditions de température, de pression et de milieu environnant, l'eau peut exister sous trois états : l'état solide, liquide et gazeux.

### I.3.1. L'état gazeux (vapeur)

L'état gazeux correspond exactement à la formule  $H_2O$  et en particulier au modèle angulaire. (Degrement, 1978)

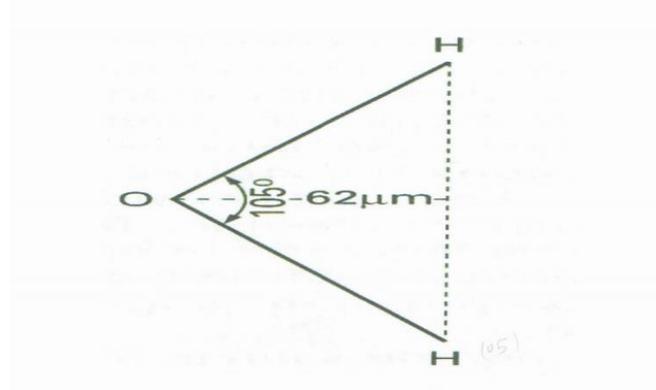


Figure N°02: Structure de l'eau à l'état gazeux.

### I.3.2. L'état solide (glace)

L'arrangement élémentaire consiste en une molécule d'eau centrale et de quatre périphériques, l'ensemble affectant la forme d'un tétraèdre (figure N°03). (Degrement, 1978).

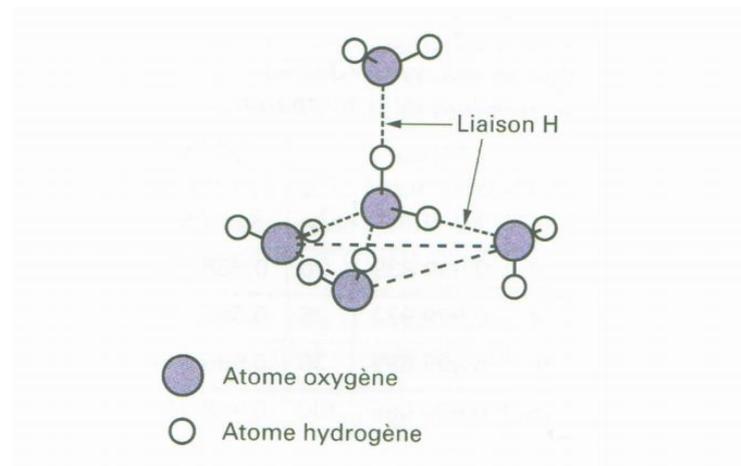


Figure N°03: Structure tétraédrique de l'eau à l'état solide ou liquide.

### I.3.3. L'état liquide

Le passage à l'état liquide à partir de la constitution cavernuse de la glace: à mesure que la température augmente, les creux se remplissent jusqu'à effondrement complet de la structure cristalline après fusion, Dans l'eau liquide le modèle structure de la base tétraédrique est encore analogue à celui de la glace ; mais les petite agrégats de molécules liées sont mélangés avec des molécules libre, qui les remplacent progressivement au fur et à mesure que la température croit, jusqu'au point d'ébullition ou toutes les molécules d'eau deviennent libres en phase vapeur comme évoqué plus haut (Degrement, 1978).

#### **I.4. Origine de l'eau**

L'eau utilisée pour les besoins humains a pour origine première l'eau de pluie. Cependant, la pluie qui tombe sur le sol se partage en diverses fractions suivant des proportions variables :

- Une partie retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur par évaporation du sol ou transpiration des végétaux.
- Une autre partie ruisselle à la surface du sol et contribue à l'alimentation des ruisseaux et des rivières.
- Le reste, la plus faible fraction, pénètre dans le sol par infiltration et contribue à l'alimentation des nappes profondes, des sources, et dans certaines conditions des rivières. (Gomilla, 1980)

#### **I.5. Différents types d'eau**

##### **I.5.1. Eaux de pluie**

Les eaux des pluies sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous. Comme les sels de magnésium et de calcium; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Gilbraltar constitue, à cet égard un cas isolé) (Raymond D, 1997).

##### **I.5.2. Eaux de surface**

On peut répartir les eaux de surface en trois catégories: eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval), et eaux de lac. La dureté de toutes les eaux de surface est modérée. (Raymond D, 1997).

###### **I.5.2.1. Eaux de rivière (partie amont)**

L'amont d'une rivière est en générale situé dans une région montagneuse. Où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous :

- Turbidité élevée.
- Contaminations bactérienne faible.
- Température froide.

- Indice de couleur faible (Raymond D, 1997).

### **I.5.2.2. Eaux de rivière (partie aval)**

L'aval d'une rivière est en générale situé dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses. Les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficile à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous.

- Contaminations bactérienne élevée.
- Contaminations organique et inorganique élevée.
- Indice de couleur pouvant être élevée (Raymond D, 1997).

### **I.5.2.3. Eau de lac**

On peut considérer un lac comme un bassin naturel de décantation dont la période de rétention est longue. La turbidité de l'eau y est donc faible et la contamination bactérienne habituellement peu importante. Les caractéristiques des eaux de lac varient très lentement au cours d l'année, à l'exception de deux courtes périodes au printemps et à l'automne. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux lac et en augmenter ainsi brusquement la turbidité. (Raymond D, 1997).

### **I.5.3. Eaux souterraines**

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol. Sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous.

- Turbidité faible.
- Contaminations bactérienne faible.
- Température constante.
- Indice de couleur faible.
- Débit constante.
- Dureté souvent élevée.
- Concentration élevée de fer et de manganèse (Raymond D, 1997).

### I.5.4. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous; c'est ce qu'on leur appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 000 à 37 000 mg /L. (Raymond D, 1009).

### I.6. Le cycle hydrologique

La notion de cycle hydrologique englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre. Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique surviennent conjointement. Leur moteur c'est le rayonnement solaire. (Si Youcef S, 2015).

Le cycle hydrologique la Figure N°04 n'a donc ni commencement, ni fin, elle passe par des principaux processus qui sont :

- ✚ L'évapotranspiration où l'eau évaporée dans l'atmosphère.
- ✚ Précipitation sous forme de gouttelettes de pluie après la formation des nuages.
- ✚ Ruissellement c'est l'écoulement d'une partie de l'eau sur la surface.
- ✚ Infiltration c'est une partie qui s'infiltré dans le sol.
- ✚ Percolation c'est l'écoulement souterrain.

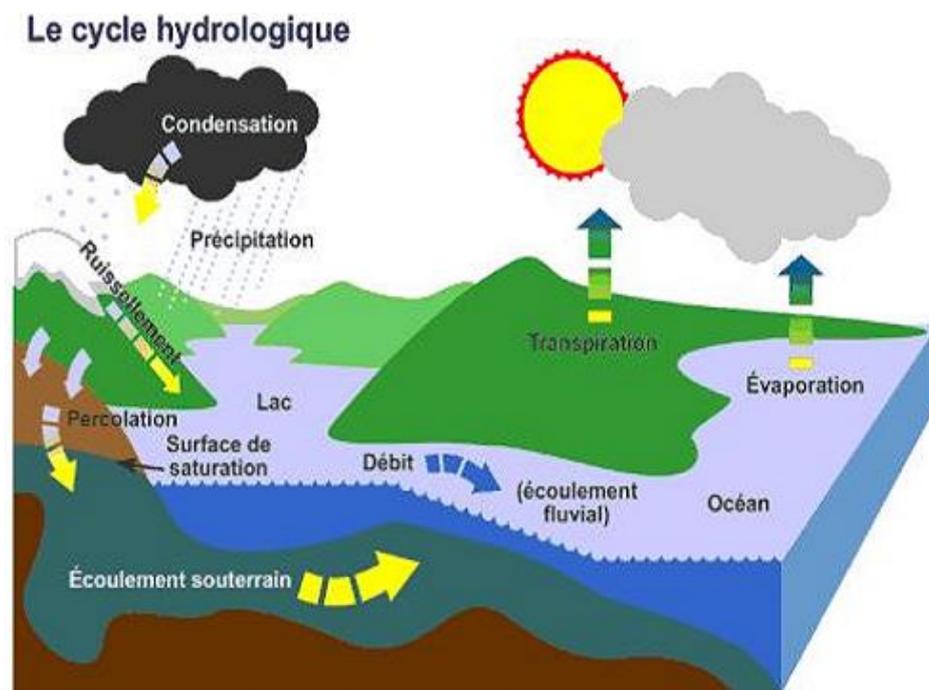


Figure N°04 : Cycle hydrologique dans l'environnement.

### I.7. Répartition de l'eau sur la terre

L'eau est très présente sur notre planète. Ainsi, vue de l'espace, la Terre apparaît bleue, les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). La disponibilité de l'eau dans le monde est inégale. La plus grande partie est sous forme d'océans (97,5 %) et seulement une petite fraction (2,5 %) forme l'eau douce. Cette partie est présentée par l'eau souterraine. (Si Youcef S, 2015).

Cette répartition Figure N°05 est le résultat de plusieurs facteurs :

- Climatiques, largement incontrôlables ;
- Hydrologiques: les précipitations l'évapotranspiration, l'alimentation des nappes.
- Les indicateurs économiques et démographiques : l'accroissement démographique, le taux d'urbanisation, le niveau de vie par habitant.
- Les indicateurs liés aux technologies et au management comprenant : l'efficacité de la gestion des bassins versants, des réservoirs de stockage et de l'évolution du cheptel.
- Les indicateurs politiques incluant : la politique des prix, des taxations et des allocations sectorielles d'eaux prioritaires.

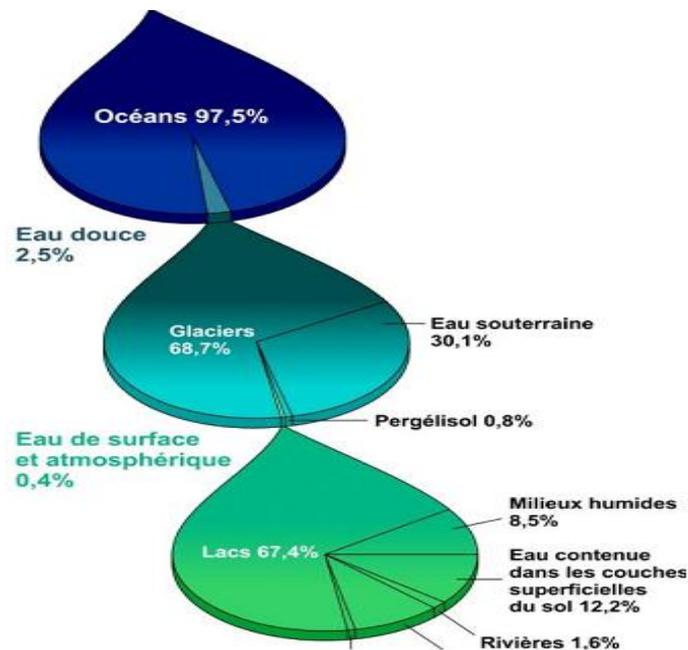


Figure N°05 : Distribution des stocks d'eau sur la planète.

## **I.8. Propriétés physico-chimiques de l'eau**

### **I.8.1. Propriétés physiques**

Les Propriétés physiques les plus intéressantes pour les traitements des eaux sont les suivant :

#### **I.8.1.1. Masse volumique**

Par tassement progressif de l'édifice moléculaire, La masse volumique varie avec la température et la pression. (Degrement, 1978).

#### **I.8.1.2. Propriétés thermiques**

##### **I.8.1.2.1. Chaleurs massique (ou capacité thermique massique)**

Très élevée pour un liquide, elle vaut  $4,18 \text{Kj. (Kg. } ^\circ\text{C)}^{-1}$  ou  $\text{KJ. (kg.k)}^{-1}$  à  $20^\circ\text{C}$ . Elle varie avec la température en présentant un minimum de  $4,178 \text{ KJ. (kg.k)}^{-1}$  à  $30^\circ\text{C}$ , pour remonter à  $4,2159 \text{ KJ. (kg.k)}^{-1}$  à  $100^\circ\text{C}$ . (Degrement, 1978).

##### **I.8.1.2.2. Les enthalpies(ou chaleurs latentes)**

L'importance de la chaleur massique et de enthalpie de vaporisation fait que les grande étendes d'eau à la surface de la terre constituent de véritable volants thermique. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur. (Degrement, 1978)

##### **I.8.1.3. La viscosité**

La viscosité de l'eau diminue lorsque la température croit. En revanche, elle augmente avec la teneur en sels dissous.

La pression agit d'une façon tout à fait particulière sur la viscosité absolue de l'eau. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures. (Degrement, 1978)

##### **I.8.1.4. La tension superficielle**

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température. L'addition de sels dissous augmente généralement la tension superficielle ( $= 74,6 \text{Mn.m}^{-1}$  pour une solution aqueuse de NaCl à  $1 \text{mol.L}^{-1}$ , à  $18^\circ\text{C}$ ). (Degrement, 1978).

### **I.8.1.5. Propriétés électriques**

#### **I.8.1.5.1. Constante diélectrique**

La constante diélectrique de l'eau, de l'ordre de 80 farads stéradian par mètre, est l'une des plus élevées que l'on connaisse; c'est pourquoi l'eau possède un pouvoir ionisant très important. (Degrement, 1978).

#### **I.8.1.5.2. La conductivité électrique**

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 microsiemens par mètre à 20°C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température. (Degrement, 1978)

### **I.8.1.6. Propriétés optiques**

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. 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 et en conséquence, l'efficacité des traitements d'épuration, de même, elle conditionne l'emploi des ultraviolets en désinfection. (Degrement, 1978).

## **I.8.2. Propriétés chimiques**

L'enthalpie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ.mol<sup>-1</sup>, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée à ses propriétés électriques, forte polarité ( $\mu = 1,84$  D) et constante diélectrique élevée ( $\epsilon = 78,5$  F.sr.m<sup>-1</sup>), la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques. (Degrement, 1978).

### **I.8.2.1. L'eau solvant**

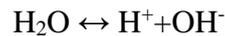
Le pouvoir solvatant de l'eau (molécule dipolaire) provoque l'altération partielle ou complète de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec ses molécules propres (hydratation), et forger de nouvelles structures dispersées. Une solvatation complète est une dissolution. (Degrement, 1978).

### I.8.2.2. Ionisation

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cations). Le corps dissous est appelé électrolyte ; il transporte la courant électrique.



L'eau elle-même est partiellement dissociée en ions suivant la réaction réversible :



Le proton  $H^+$  n'existe pas à l'état libre en solution aqueuse. Chaque ion hydrogène se combine avec une molécule d'eau pour forme l'ion hydroxonium  $H_3O^+$ , proton hydraté.



Ainsi, dans l'eau, on trouve à la fois des molécules  $H_2O$ , des ions hydroxydes  $OH^-$  et hydroxonium  $H_3O^+$ . (Degrement, 1978)

### I.8.2.3. Oxydoréduction

Les phénomènes d'oxydoréduction présentent une grande importance dans tous les domaines du traitement de l'eau, toutes les fois que sont impliqués des éléments capables de changer de nombre d'oxydation.

L'eau elle-même peut participer, suivant les conditions expérimentales, à des réactions d'oxydoréduction avec comme réactions possibles : (Degrement, 1978)



## I.9. Importance de l'eau

### I.9.1. L'eau et l'être vivant

L'eau est la molécule très abondante et la plus importante dans les cellules et les tissus, l'organisme humain est constitué de deux tiers d'eau.

L'eau représente le constituant le plus importante de tous les êtres vivants, donne à la matière sa fluidité ce qui permet et facilite les échanges et les mouvements dans la cellule, elle représente 50% du protoplasme et sert de véhicule aux sels, aux substances organiques et aux gaz solution, la proportion de l'eau dans les tissus est très variable : 22% dans les os, 69% dans le foie, 75% dans les muscles, 82% dans les reins.

L'eau n'est pas simplement le solvant pratiquement universel pour la plus part des substances cellulaire mais constitué également le substrat ou le produit de milliers de réactions biochimiques catalysées par les enzymes, parmi lesquelles la synthèse et la dégradation des protéinées, des acides nucléiques, la synthèse et l'hydrolyse de l'adénosine triphosphate (ATP).

L'eau joue un rôle très important dans la photosynthèse (appelée aussi assimilation), qui est sur la terre, la réaction chimique de transformation de l'énergie la plus importante ; c'est aussi la réaction, qui transforme le plus grande nombre de substances. (Tadje F, Taleb M, 2015)

### **I.9.2. L'eau et l'industrie**

L'eau revêt de nombreux aspects importants dans la vie des hommes, elle constitue un moyen de nettoyage. Dans l'industrie, l'eau a de multiples fonctions par exemple celle de fluide de refroidissement et de substance primaire (dans le domaine de la production) ou de solvant et milieu réactionnel (par exemple dans l'industrie chimique), l'eau est utilisée comme moyen d'alimentation et d'évacuation (par exemple des substances polluantes sont transportées jusqu'à la mer par les cours d'eau), ainsi que pour la circulation des véhicules et le transport. (Tadje F et Taleb M, 2015).

### **I.9.3. L'eau et l'agriculture**

Les besoins agricoles sont très importants pour le développement de l'élevage et de l'agriculture afin d'assurer une auto-suffisante alimentaire, pour l'irrigation, les besoins varient selon les régions selon le type de plante (il faut par exemple 360 à 760 mm d'eau au m<sup>2</sup> pour le blé). (Tadje F et Taleb M, 2015).

### **I.9.4. L'eau dans les aliments**

L'eau représente le plus abondant de nos aliments à l'état naturel, graines exceptée. Elle a par conséquent un rôle essentiel dans les caractéristiques physico-chimiques et propriétés des denrées végétales et animales dont nous nous nourrissons. (Tadje F et Taleb M, 2015).

**Tableau1 : Fonctions de l'eau dans l'aliment.**

Rôle de l'eau	Exemple
Solvant	Salage
Milieu de réaction	Réactions enzymatiques
Mobilités réactifs	Réaction de Maillard
Substrat	hydrolyse des lipides
Antioxydant	Liaison hydrogène avec les peroxydes bloquant l'oxydation des lipides, pour des activités de l'eau faible
Pro-oxydant	Gonflement des protéines et accessibilité de site oxydable Source de radicaux libre dans les aliments ionisés
Rôle structurale	Formation de liaisons hydrogène entre molécules texturants Action sur la liaison lipide /protéine sur les pates en boulangerie Action sur la conformation et les interactions entre gélifiants et protéines

## I.10. Situation de l'eau en Algérie

### I.10.1. Les ressources en eau

Les sources sont les emplacements où les eaux souterraines débouchent à l'aire libre, toute source est alimentée par une portion de la nappe aquifère qui lui a donné naissance. Les sources représentent l'émergence des eaux souterraines. Elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses.

D'après le Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire (1995), le territoire algérien couvre une superficie de près de 2.4 million de Km<sup>2</sup>, mais 90% de cette étendue correspond à un désert où les précipitations sont quasi-nulles. Dans cette partie du territoire, les ressources en eaux superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie de flanc septentrional de l'atlas; les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional). Le potentiel des ressources en eau renouvelables est localisé dans le nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la méditerranée et les bassins fermés Hauts Plateaux (Tadje F et Taleb M, 2015).

### I.10.2. Les barrages

Les barrages ont été longtemps le principal vecteur disponible en matière de domestication des eaux superficielles en Algérie.

Contrairement à certaines idées reçues, en Algérie. Les barrages ne sont pas les principaux pourvoyeurs d'eau. Ils sont largement dépassés par les forages et selon certaines études. Même par les possibilités qu'offrent les puits et les prises au fil de l'eau.

Les barrages Algériens sont de moyenne capacité, le plus grand d'entre eux à une capacité de 1 milliard de m<sup>3</sup> (Beni Haroun de Mila). (Tadje F et Taleb M, 2015).

## II. La pollution des eaux

La pollution des eaux est l'un des problèmes essentiels de notre civilisation moderne. Elle continue à préoccuper les populations et les gouvernements. Il est nécessaire de trouver une utilisation optimale des eaux et les meilleures conditions de leur protection et de délimiter les risques de pollution pour les éliminer ou diminuer leurs effets nocifs ou gênants.

### II.1. Eléments spécifiques de la pollution

D'après Castany(1982). On pourra caractériser les éléments polluants selon les possibilités de dépollution qu'ils offrent, par exemple :

- ✚ éléments insolubles séparable physiquement (décantation, filtration, flottation) ;
- ✚ éléments séparables par voie chimique (précipitation, adsorption) ;
- ✚ éléments oxydables chimiquement (mesuré par la DCO) ;
- ✚ éléments biodégradables (mesuré par la DBO) ;
- ✚ éléments toxiques (les métaux lourds).
- ✚ colorants, etc....

### II.2. Pollutions des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes d'eau propre répondant naturellement aux normes de potabilité, ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles lorsque une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originale : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également absorbés par les roches et minéraux du sous-sol.

Les eaux souterraines peuvent aussi contenir des éléments à des concentrations dépassant largement les normes de potabilité. Ceci est dû à la composition du terrain de

stockage et pour certains de ces éléments au caractère réducteur de l'eau. On peut citer Fe, NH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S (ChaussaideetMastrallet, 2005).

### II.3. Pollution des eaux de surface

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement, les eaux de surface sont toujours plus ou moins polluées par divers rejets :

✚ **D'origine urbaine** : les rejets provenant de la collecte des eaux résiduaires urbaines ERU, même après leur traitement en station d'épuration.

✚ **D'origine industrielle** : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures solvants, produit de synthèses, phénol) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniac, produits toxiques).

✚ **D'origine agricole** : engrais et produits pesticides (herbicides, insecticides, fongicides), entraînés par les eaux de pluie et de ruissellement, dans les zones d'élevage intensif, rejets riches en azote et phosphore ainsi qu'en pollution organique (ChaussaideetMastrallet, 2005).

### II.4. Paramètres physico-chimiques de la pollution

#### II.4.1. Paramètres physiques

D'après Gaid, (1984), les matières pondérables dans l'effluent se subdivisent en diverses formes que l'on peut représenter par :

##### II.4.1.1. Les matières en suspension (MES)

Il s'agit de matières qui sont ni solubilisées ni colloïdales, on peut considérer qu'elles représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de carbone et les particules de type mucilagineuse (Gaid, 1984).

##### II.4.1.2. Les matières décantables et non décantables

On distingue les fractions qui décantent en un temps donné (2 heures) suivant des conditions opératoires particulières (utilisation d'un cône inhoff ou coin).

Les matières non décantables sont celles qui restent dans le surnageant et qui vont donc être dirigées vers le procédé de traitement biologique ou chimique (Gaid, 1984).

#### II.4.2. Paramètres chimiques

Les matières organiques nécessitent de l'oxygène pour leur métabolisation par les microorganismes. Cette demande en oxygène peut être représentée biologiquement ou

chimiquement, suivant divers paramètres tels que la DBO (demande biochimique en oxygène) la DCO (demande chimique en oxygène), le carbone organique (Gaid, 1984).

#### **II.4.2.1. La demande biochimique en oxygène DBO**

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes pendant une certaine durée, elle correspond à la quantité de l'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, et avec l'intervention des bactéries, les matières organiques dans l'eau (Gaid, 1984).

#### **II.4.2.2. La demande chimique en oxygène DCO**

La demande chimique en oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent (Gaid, 1984).

### **II.5. Différents types de pollution des eaux**

Selon Ramade, (1998), on peut distinguer plusieurs catégories de pollution des eaux selon la nature et les usagers des polluants qui sont à l'origine de ces pollutions (Tableau02).

#### **II.5.1. Pollution physique**

##### **II.5.1.1. Pollution thermique**

La pollution thermique est due au rejet des eaux utilisées pour le refroidissement d'installation industrielle divers. Ce réchauffement engendre de nombreux inconvénients tels qu'appauvrissement des eaux en oxygène, action stimulante sur la vitesse de multiplication d'algues, croissance de l'activité bactérienne (Koller,2004).

##### **II.5.1.2. Pollution radiochimique**

La pollution radiochimique est susceptible de provenir de différentes opérations du cycle du combustible : extraction et traitement des minéraux, fonctionnement des réacteurs, transport et traitement des combustibles usés ainsi que du conditionnement et du traitement des déchets. Le niveau du rejet actuel est très inférieur au niveau de la radioactivité naturelle due aux rayonnements cosmique, à la radioactivité de l'écorce terrestre. En fait, les risques de pollution radioactive sont liés à d'éventuels accidents (Defranceschi, 1996).

#### **II.5.2. Pollution chimique**

##### **II.5.2.2. Pollution agricole**

La pollution agricole présente la particularité d'être diffuse, les engrais et les pesticides étant répandus sur de vastes surfaces, l'agriculture moderne est aussi devenue une cause

importante de pollution des sols et des eaux, par suite de l'usage systématique des engrais chimiques et des pesticides, dont certains présentent une telle toxicité qui s'apparentent aux armes chimiques (Ramade, 1998).

### **II.5.2.3. Pollution par le pétrole**

Le phénomène de marée noire, c'est-à-dire l'arrivée massive d'une importante nappe de pétrole brute ou de produits pétroliers lourds provenant de pétroliers accidentés.

Le pétrole est composé organique biodégradable qui s'élimine facilement s'il est en faible quantité, mais en cas de la marée noire, la concentration est trop importante pour les capacités d'autoépuration du milieu et il y a pollution après déversement, la nappe d'hydrocarbure se répand très rapidement à la surface de l'eau en une nappe de quelques millimètres d'épaisseur.

Celle-ci flotte sur l'eau du fait de sa tension de surface et parce qu'elle est très légère. Cet étalement favorise l'évaporation dans l'atmosphère. Au bout de quelques jours, les composés les plus volatils (qui sont aussi les plus toxiques représentant selon la composition du pétrole entre 10 et 50% du volume du pétrole répandu s'évapore dans l'atmosphère. Le reste est dispersé et mis en émulsion dans l'eau de la masse des océans (ou dans les eaux douce) (Defranceschi, 1996).

### **II.5.2.4. Pollution par les détergents**

Les détergents sont des composés tensioactifs synthétiques ou agents de surface dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluents urbaines et industriels (HaslayetLeclerc, 1993).

Le problème de la pollution des eaux par les détergents remonte au début des années 1960 où les rivières commencèrent à se recouvrir de mousses. Les détergents biodégradables firent alors leur apparition. De nos jours le problème posé et est celui des phosphates que l'on tente d'éliminer de la composition des détergents. La majorité des agents lavant est obtenue par de l'acide sulfurique sur des oléfines.

Jusqu'à une époque récente, les oléfines utilisées était très ramifiées. Les détergents n'étaient pas détruits par des microorganismes et étaient, en conséquence responsables de la pollution de bien des plans d'eau qui se transformaient en gigantesque bains moussants.

Une autre source de pollution des détergents est celle liée à la présence de phosphate, un des agents séquestrant le plus courant est le tripolyphosphate de sodium,  $\text{Na}_3\text{P}_2\text{O}_{10}$  qui subit

facilement une hydrolyse lente et donne les phosphates. Les phosphates absorbés par les sols ne sont pas toxiques et même indispensable à la vie animale et végétale, ils entrent pour cette raison, dans la composition des engrais, mais les phosphates non toxique par eux même deviennent dangereux pour l'environnement s'ils sont en forte concentration car ils jouent le rôle d'engrais qui, en augmentant le pouvoir nutritif de l'eau, favorisent le développement d'algues bleues aérobies.

#### **II.5.2.5. Pollution par les métaux lourds**

Diverses activités humaines sont responsables de la pollution métallique : les insecticides et fongicides, automobile... Le problème essentiel lié à la pollution métallique est que les métaux ne sont pas biodégradables : ils polluent un site jusqu'à ce qu'ils soient éliminés ou transportés sur des distances parfois très grandes (Defranceschi, 1996).

#### **II.5.3. Pollution organique**

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante. Cette forme de pollution peut être considérée comme résultat de diverses activités (urbaines, industrielles artisanales). Chaque activité rejette des composés spécifiques biodégradable ou pas (Gaid, 1984).

La pollution d'origine animale par le lisier (c'est-à-dire les urines), les cadavres d'animaux résulte de la présence, dans l'eau, de composés organiques biodégradables, ce qui les rend polluants, c'est leur importante concentration dans une région donnée car les capacités d'autoépuration du milieu ne suffisent plus à les dégrader (Defranceschi, 1996).

#### **II.5.4. Pollution biologique**

Selon Gaid, (1984), la pollution microbiologique des eaux se traduit par une forte contamination, bactériologique et généralement d'une nature très variée : les coliformes fécaux, streptocoques, virus...etc.

Le rôle de ces bactéries comme témoin de pollution est connue depuis longtemps et différents rapports ont été établis entre la contamination des eaux, la présence des bactéries et des maladies déclarées chez les individus présents dans le voisinage immédiat de la zone de rejets (Hugues et Loroux, 1991).

**Tableau N°02: Principaux types de pollution des eaux, leurs natures et leurs causes (Ramade, 1998).**

	Type de pollution	Nature physicochimique	Source ou agent causal
<b>I-Physique</b>	Pollution thermique	Rejet d'eau chaude	Centrales électriques
	Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installation nucléaire
<b>II-Chimique</b>	Pollution par les Engrais	Nitrates, Phosphates	Lessives
	Pollution par éléments Toxiques	Cadmium, mercure plomb, aluminium arsenic ; etc.	Industrie, agriculture, combustion (pluies acides)
	Pollution par les Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides, etc.	Agriculture (industrie, transport)
	Pollution par les Détersifs	Agents tensioactifs	Effluents domestiques (industriels)
	Pollution par les Hydrocarbures	Pétrole brut et ses dérivés (carburants et les autres produits raffinés)	Industries pétrolières, transports chaufferies industrielles
	Pollution par les Composés organochlorés	insecticides, solvants chlorés	Industries, agriculture
	Pollution par les divers autres composés organiques de synthèse	Très nombreuses Molécules $\geq 120000$	Industries, usage dispersifs en particuliers domestiques pour certaines industries.
<b>III-Matières organiques fermentescibles</b>		Glucides, lipides, protides acides nucléiques	Effluents domestiques, agricoles, industries, agroalimentaires, industries du bois (papeteries)
<b>IV-Pollution microbiologique</b>		Bactéries, virus entériques, Champignons	Effluents urbains, élevage, abattoirs, secteur agroalimentaires en général

## II.6. Les effets de la pollution

Les conséquences immédiates ou différées d'un rejet d'eau usées sur le milieu récepteur sont nombreuses. Elles sont dues à la présence d'éléments polluants contenus dans l'eau sous forme dissoute ou particulaire.

La présence de la matière en suspension peut provoquer :

- ✚ Le trouble de l'eau
- ✚ Le dépôt de matières fermentescibles
- ✚ Le blocage de mécanisme photosynthèses
- ✚ La perturbation des conditions d'aération des eaux (Mekakia,2001).

## II.7. Conséquences de la pollution des eaux

Selon GaujousD, (1993), les conséquences d'une pollution peuvent être classées en cinq catégories principales :

### II.7.1. Conséquences sanitaires

C'est-à-dire qui ont trait à la santé d'une population humaine. Les conséquences sanitaires peuvent être liées à l'ingestion d'eau. Les conséquences sanitaires d'une pollution est variable dans le temps en fonction de l'usage de l'eau : Par exemple, la pollution d'une nappe non exploitée n'a aucune conséquence sanitaire immédiate, mais peut en avoir longtemps après si on utilise cette eau pour l'alimentation en eau potable.

### II.7.2. Conséquences écologiques

C'est-à-dire après la dégradation du milieu biologique. Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution.

Ceci n'a rien d'évident, la pollution se traduisant parfois uniquement par l'accentuation d'un phénomène naturel.

### II.7.3. Conséquences esthétiques

Cette troisième catégorie de conséquence, pour être la plus subjective, n'est pas moins importante.

Il s'agit de pollution n'ayant pas de conséquences sanitaire ou écologique importantes, mais perturbant l'image d'un milieu (Par exemple, des bouteilles plastiques rejetées dans un barrage).

**II.7.3. Conséquences industrielles**

L'industrie est un gros consommateur d'eau :Il faut par exemple 1m<sup>3</sup> pour produire 1kg d'aluminium.

La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevée, tant sur le plan chimique (Minéralisation, corrosion, entartage), que biologique. Par conséquent le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution si elle ne traite par ses rejets délicatement et selon les normes avant de les jeter dans la nature.

**II.7.4. Conséquences agricoles**

L'eau est, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (Non traitée).

La texture du sol (Complexe argilo-humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau.

De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront si elles contiennent des produits toxiques (Métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols.

# **CHAPITRE II**

## **Les eaux thermo-minérales**

## **II.1. Généralités**

### **II.1.1. Définition de la thermalité**

Différentes définitions ont été données pour une eau thermale, nous retiendrons la définition de Schoeller H, (1962) qui considère comme thermales les eaux dont la température à l'émergence est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air plus 4°C au lieu de l'émergence.

### **II.1.2. Origine de la thermalité**

On sait depuis longtemps, grâce aux exploitations minières que la température augmente avec la profondeur. Une température élevée est donc, à priori, un indice d'origine profonde. On explique la relation entre la température et la profondeur par le terme de gradient géothermique. Par définition le gradient géothermique (degré géothermique), est la profondeur de pénétration dans le sol, exprimée en mètres, nécessaire pour que la température augmente de 1°C. Variable suivant les endroits et la profondeur ; sa valeur est en moyenne de 30 à 35 m. Elle augmente dans les massifs granitiques (60 à 80 m) et diminue dans les régions volcaniques (10 à 15 m). Le gradient géothermique est fonction du flux de chaleur terrestre et de la conductibilité calorifique des roches. Dans une région considérée ; une valeur plus au moins élevée du gradient géothermique traduira l'intensité de ce flux de chaleur.

Les activités volcaniques récentes, la proximité d'un batholite ou la remontée du manteau seront aussi à l'origine d'anomalies positives, dans ce cas un gradient géothermique particulièrement élevé peut être observé. D'un autre cote, les mouvements orogéniques peuvent produire de l'énergie calorifique liée aux déformations mécaniques et surtout aux frottements qui s'effectuent le long de grands accidents.

Enfin les réactions physico-chimiques exothermiques résultant de la réduction des sulfates, de l'oxydation des sulfures de fer et de la transformation de l'anhydrite en gypse et la désintégration des minéraux radioactifs peuvent aussi engendrer une élévation considérable de la température des eaux.

## **II.2. Les eaux thermo-minérales**

### **II.2.1. Définition**

Il n'existe pas de définition simple et complète des eaux thermo minérales car le terme recouvre des notions complexes. Plusieurs caractères les différencient des eaux souterraines ordinaires : leur température, leur minéralisation et leur action thérapeutique, mais ces

caractères peuvent ne pas se présenter simultanément. D'où la définition de Le fort (1860) citée par De Launay (1899) : (On doit entendre par eaux minérales toutes celles qui, en raison, soit de leur température bien supérieure à celle de l'air ambiant, soit de la quantité ou de la nature spéciale de leurs principes salins et gazeux, sont ou peuvent être employées comme agents médicamenteux. On voit que l'accent est mis sur l'aspect médical qui est aussi le seul souligné dans la définition administrative actuelle citée dans la nomenclature des sources d'eaux minérales françaises (Annales des Mines, 1961) : u Les dénominations c eau minérale ,P, u eau minérale naturelle Y ou toute autre contenant ces mots sont ré- serves aux eaux douées de propriétés thérapeutiques, provenant d'une source dont l'exploitation a été autorisée par décision ministérielle, dans les conditions prévues par les lois et règlements en vigueur Y, ce que G. Castany (1967) énonce plus simplement : c Une eau thermo minérale est une eau naturelle douée de propriétés thérapeutiques particulières. (Orstom, 1976).

### II.2.2. Origine

- ✚ les venues d'origine profonde au moins pour un de leurs constituants
- ✚ les eaux qui renferment en quantité anormale des éléments exceptionnels
- ✚ les eaux d'origine superficielle qui ont pénétré assez profondément dans la croûte terrestre pour que leur composition se soit notablement modifiée. (Orstom, 1976).

### II.3. Classification chimique des eaux thermale

Pour caractériser et différencier les eaux minérales naturelles entre elles il est nécessaire de prendre en compte non seulement leurs profils physico-chimiques mais également leur dérive que sont par exemple les gaz.

La classification se fait alors en considérant certains paramètres originaux susceptibles d'avoir un rôle ou une action particulière (Popoff, Honegger, 1990), tels que:

- ❖ la température;
- ❖ le pH;
- ❖ les ions :C a<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HS<sup>-</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, etc. ;
- ❖ la silice soluble: H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ;
- ❖ les dépôts ou les phases solides en suspension.

Cela conduit, en fonction de la présence prédominante d'un ou de plusieurs de ces paramètres, à distinguer les catégories spécifiques suivantes (Popoff, 1992):

### II.3.1. Les eaux sulfurées

Ce sont des eaux riches en sulfures en utilisées uniquement à des fins thérapeutiques en établissement thermal.

Elles ne sont pas conditionnées.

La présence d'espèce réduite du soufre confère à eaux un potentiel redox souvent fortement négatif qui favorise les réactions d'oxydoréduction rendant ces eaux très instables.

Les eaux sulfurées sont classées en deux catégories:

- ❖ les eaux sulfurées sodiques, de type "pyrénéen"(Ohayon-Courtes, 1992).
- ❖ les eaux sulfurées calcique (Tisserand, 1998).

### II.3.2. Les eaux sulfatées

Elles contiennent majoritairement des ions sulfate  $SO_4^{2-}$  associés aux ions calcium et magnésium. Leur minéralisation résulte d'un lessivage du gypse ou de l'anhydrite que peuvent se trouver dans les formations évaporitiques avec lesquelles ont été en contact.

Selon la nature et l'abondance relative des cations associés, les eaux seront dites sulfatées calciques lorsque leur teneur en calcium est élevée par rapport à celle du sodium, Sulfatées sodiques lorsque la concentration en sodium est dominante ou sulfatées mixtes lorsque leur minéralisation résulte d'un apport simultané de sulfates, de sodium et calcium.

Généralement, sont également présents les ions magnésium et strontium, la concentration de ce dernier pouvant atteindre 10 à 15mg/l.

### II.3.3. Les eaux chlorurées sodiques

Dans ces eaux qui ne sont pas conditionnées, les ions majoritaires sont les ions chlorure et sodium.

Les eaux minérales naturelles chlorurées sodiques sont classées en deux catégories:

- ❖ les eaux sodiques "fortes" et froides
- ❖ les eaux sodiques "faibles" et chaudes

### II.3.4. Les eaux faiblement minérales

Les eaux conditionnées se situent essentiellement dans cette catégorie. Le résidu sec de ces eaux est inférieur à 500 mg/l et elles ne contiennent pas d'élément à des quantités suffisamment élevées pour pouvoir les classer dans une des familles précédentes. Elles sont le

plus souvent faiblement ou très plus faiblement minéralisées (quelque dizaines de milligrammes de résidu sec par litre).

C'est dans cette catégorie que se rangent les eaux dite "oligomérales" qui contiennent à l'état de trace (de l'ordre du microgramme par litre) des éléments comme le cuivre, l'arsenic, le sélénium, le zinc, le lithium, le bore, l'uranium, le béryllium ou encore le vanadium.

Le plus souvent, la composition physicochimique de ces eaux ne présente aucune caractéristique particulière et l'on peut donc s'interroger sur la justification même de la dénomination «oligominérale».

### **II.3.5. Les eaux ferrugineuses**

Elles contiennent du fer sous la forme soluble  $Fe^{2+}$  à des teneurs variant de 0.5 et 20 mg/l. Cet élément se rencontre principalement dans les eaux souterraines pauvres en oxygène et se trouve souvent associé, en faible quantité, à du manganèse soluble sous la forme  $Mn^{2+}$ . Ces éléments peuvent précipiter directement sous forme de carbonates. Sous l'action de l'oxygène provenant d'une aération de l'eau au cours de son transport ou pendant son stockage, le fer ferrique et précipiter sous forme d'hydroxyde ferrique qui peut catalyser l'oxydation du manganèse sous forme de dioxyde de manganèse.

Il ne s'agit pas à proprement parler d'une catégorie particulier puisque le fer soluble n'est jamais l'élément prépondérant et qu'il peut se retrouve dans des eaux d'autres catégories.

### **II.3.6. Les eaux «bicarbonatées» gazeuses**

Lorsque les eaux minérales présentent des concentrations particulièrement élevées en ions hydrogénocarbonates (plus de 600 mg/l en  $HCO_3^-$ ) et qu'elles contiennent du dioxyde de carbone libre en excès (plus de 250 mg/L), elles sont dénommées «eaux bicarbonatées gazeuses». Ces eaux peuvent du fluor, de la silice et de l'arsenic en quantités non négligeables.

## **II.4. Problèmes posés par les sources thermo-minérales**

Le problème essentiel est celui de la genèse des eaux thermo-minérales un l'envisage généralement sous plusieurs aspects : origine de la thermalité, origine de minéralisation, origine de l'eau proprement dite, relation avec les autres phénomènes géologiques tels que tectonique et volcanisme.

La résolution de tels problèmes ne peut être abordée qu'après l'étude descriptive et analytique du plus grand nombre possible de sources. Ces études ne marquent pas dans la

littérature hydrogéologique qui propose une très grande quantité de monographies concernant des sources du monde entier.

A partir de ces données un travail de synthèse doit être entrepris pour dégager les traits essentiels du phénomène hydrominéral et les expliquer.

En fait les synthèses effectuées jusqu'à présent sont souvent partielles et explications génétiques proposées ne résolvent pas tous les problèmes.

Le livre de Moret (1946) apporte peu d'éléments nouveaux de même que Plusieurs points ressortent de ces travaux généraux :

✚ Les émergences sont toujours en relation étroite avec des failles et parfois avec des phénomènes volcaniques actuels ou récents ; les éléments présents dans les eaux sont très nombreux et en proportions extrêmement variables. Il existe diverses classifications basées sur les principaux éléments en solution ; la plupart des éléments en solution proviennent des roches encaissantes soit par simple dissolution, soit par hydrolyse ;

✚ La thermalité est attribuée au gradient géothermique normal ;

✚ L'eau proprement dite a une origine soit météorique soit juvénile. Ce point est très controversé mais aucune des théories n'est appuyée par des preuves formelles.

Les deux dernières décennies ont vu n'aire un regain d'intérêt pour les sources thermo-minérales que l'on peut attribuer à un certain développement de l'exploitation des ressources en énergie géothermique et qui explique que ce sont surtout les eaux thermales qui ont été étudiées en profitant de nouvelles méthodes d'investigation.

Plusieurs résultats complémentaires sont ainsi acquis :

➤ La thermalité des eaux est due non seulement au gradient géothermique normal mais aussi à ses anomalies et à une activité magmatique au sens large ;

➤ Des expériences de laboratoire confirment que l'altération des roches peut suffire expliquer la minéralisation de certaines eaux ;

➤ L'analyse isotopique montre que l'eau proprement dite est en grande partie d'origine météorique ;

➤ Enfin des classifications génétiques des types d'eau minérales sont présentées. (Orstom, 1976)

## **II.5. Les principaux soins et leurs et leurs effets**

### **II.5.1. Douches externes**

Les douches externes qui sont encore peu diffusées mais qui représentent un certain bénéfice thérapeutique, représentent une forme de traitement qui peut être pratiqué aussi bien avec l'eau courante qu'avec l'eau thermale, en associant dans ce dernier cas, les avantages de la technique utilisée aux qualités particulières de l'eau. Le jet d'eau qui peut être étendu à toute la surface du corps ou dirigé seulement vers des zones réduites du corps (comme dans le cas des douches filiformes) a non seulement une efficacité directe sur la zone traitée mais génère une action de stimulation générale de l'organisme, qui intéresse de façon particulière l'appareil cardiovasculaire et le système nerveux. (Bekkouche M, 2009).

### **II.5.2. Irrigations et douches internes**

Les irrigations et les douches internes sont des méthodes thermales qui permettent de mettre en contact l'eau minérale et également les gaz thermaux, avec les muqueuses des cavités ouvertes du corps (muqueuses rectales, vaginales, rhino-pharyngées). L'eau thermale utilisée dans ce but est recueillie dans des récipients prévus à cet effet (appelés irrigateurs) à l'intérieur desquels elle est portée à la température et aux densités demandées pour les différentes applications, avec l'ajout éventuel de médicaments. (Bekkouche M, 2009).

### **II.5.3. Grottes et étuves chaudes (thérapie en grotte)**

Par le terme "thérapie en grotte", l'on indique les méthodes d'utilisation, dans un but thérapeutique, des vapeurs aqueuses qui se libèrent à l'intérieur des cavités géologiques naturelles ou dans les environnements artificiellement recréés par l'homme. Les cavités utilisables sont classifiées en cavités chaudes ou froides selon la température interne, et seulement les premières ont une utilisation de type thérapeutique : elles se distinguent en grottes chaudes-humides (c'est-à-dire les grottes par antonomase) et les grottes chaudes-sèches, appelées étuves. (Bekkouche M, 2009).

### **II.5.4. Inhalations**

L'on entend par inhalation, l'introduction d'eau minérale ou de ses constituants gazeux dans les voies respiratoires au moyen d'appareils spéciaux qui nébulisent l'eau en de minuscules particules. Les cures inhalatrices se distinguent en Inhalations humides et Inhalations sèches, selon si la nébulisation de l'eau thermale est faite avec de la vapeur d'eau

ou avec de l'air sous pression. Les principaux types de cures inhalatrices sont : nébulisations, inhalations, aérosols, humages et insufflations (Bekkouche M, 2009).

#### **II.5.4.1. Nébulisations**

Dans les nébulisations, l'eau thermale est traitée jusqu'à l'obtention d'un brouillard de différente densité, et émise successivement dans des pièces prévues à cet effet où elle est inhalée par plusieurs patients. Les nébulisations sont donc caractérisées par l'utilisation en commun du 'brouillard thérapeutique dans des pièces prédisposées pour cette utilisation. Comme dans d'autres pratiques inhalatrices, il est possible de prédéterminer les dimensions des particules d'eau suspendues dans l'air ainsi que le niveau d'humidité de la pièce utilisée (Bekkouche M, 2009).

#### **II.5.4.2. Aérosols**

Les inhalations de type "aérosol" sont caractérisées elles-aussi par la fragmentation des particules d'eau jusqu'à l'obtention d'un diamètre très réduit, inférieur à trois microns. La pratique de l'aérosol est identique à celles des pratiques classiques inhalatrices, et se différencie surtout par le fait que l'inhalation se fait à une température qui correspond à celle de l'eau à la sortie de la source. En dehors des méthodes utilisées pour obtenir la fragmentation des particules d'eau, l'eau thermale est utilisée dans les mêmes conditions chimiques présentes dans la source (Bekkouche M, 2009).

#### **II.5.4.3. Humages**

Les "humages" sont caractérisés par l'utilisation de gaz naturels, obtenus des eaux thermales selon des techniques particulières ou qui sont émis par celles-ci de façon spontanée. Pour cette raison les humages sont également appelés "émanations". Les eaux qui présentent le plus d'émanations gazeuses sont les eaux radioactives et plus particulièrement les eaux gazeuses. (Bekkouche M, 2009).

#### **II.5.4.4. Insufflations**

Les insufflations constituent un traitement thermal particulier, de type inhalateur, pour le soin des phases initiales de l'insuffisance tubaire de l'oreille moyenne (trompe d'Eustache / tympan / appareil de transmission), dont le cadre pathologique peut dégénérer sous forme d'otite chronique et provoquer la surdité. La pathologie traitée sous forme élective est constituée des otites moyennes avec dysfonctionnement tubaire. Les gaz thermaux sont introduits par voie nasale au moyen du compresseur spécial (manœuvre de Politzer), pour

rétablir une ventilation adaptée de l'oreille moyenne. Ces types d'insufflations sont appelés "tubo-tympaniques". (Bekkouche M, 2009).

### **II.5.6. Balnéothérapie**

Les eaux thermales possèdent des propriétés de constitution et d'action qui rendent la balnéothérapie, c'est-à-dire la pratique de l'immersion totale ou partielle du corps dans des eaux thermales, l'une des principales thérapies thermales pratiquées. Dans la balnéothérapie, les eaux thermales exercent l'action curative grâce à leur structure spéciale, à travers des stimulations déterminées qui sont plus précisément : des actions caloriques, des sollicitations mécaniques, des actions physico-chimiques et chimiques. Pour la composante calorique, il faut dire que l'eau, qui possède la plus grande chaleur spécifique, un faible coefficient de conductibilité et la possibilité d'être utilisée en masse consistante, possède une forte capacité de rétention de la chaleur. (Bekkouche M, 2009).

### **II.5.7. Fangothérapie**

La boue thermale est une pâte particulière constituée d'une composante solide argileuse, d'une composante liquide (eau thermale de différente composition) et d'une composante organique qui se forme surtout pendant le processus de maturation. Avant les années 30, l'argile était considérée une substance amorphe et colloïdale mais les méthodes modernes minéralogiques ont permis de mettre en évidence ses plus importants constituants, les minéraux argileux. (Bekkouche M, 2009).

### **II.5.7. Bains de sable (psammatothérapie)**

Les bains de sable représentent un type particulier de traitement thermal, où le moyen utilisé est le sable marin pour sa composante saline particulière. Les sels et les composants organiques présents dans le sable qui peuvent également varier de façon significative, proviennent d'un processus d'autofiltration qui dérive de l'action du mouvement des vagues. La psammatothérapie constitue souvent la phase d'un processus thérapeutique plus complexe, où elle est associée à la balnéothérapie en eau de mer et à d'autres traitements thermaux spécifiques. A côté de ces soins ils existent encore des autres traitements comme les différentes techniques de massage (massothérapie et pressothérapie) et le drainage hydraulique. (Bekkouche M, 2009).

### II.5.8. Les propriétés thérapeutiques

L'eau possède deux caractéristiques mises à profit dans les exercices de rééducation : la résistance uniforme que sa masse oppose au mouvement et la relative apesanteur d'un corps qui y est plongé. Elle possède aussi quatre autres propriétés très utiles en hydrothérapie : (Bekkouche M, 2009)

- + elle maintient sa température;
- + elle communique cette température beaucoup mieux que l'air;
- + elle transporte des minéraux ou des essences végétales en suspension;
- + elle se transforme en jets, en bulles, en courants, etc.

Les traitements ont très souvent recours à l'eau chaude et à la vapeur, car elles permettent d'augmenter la température du corps.

#### ❖ L'eau au secours de la peau

Les bains de vapeur ont également pour effet d'ouvrir les pores de la peau et d'ainsi évacuer une partie des déchets de l'organisme. Parmi ceux-ci : les produits chimiques absorbés par l'air, l'eau ou les aliments, de même que les résidus toxiques de certains processus métaboliques. Cette détoxification se traduit par un bien-être général. Elle est également utile dans le traitement de divers problèmes cutanés.

#### ❖ Rhumatologie, séquelle de traumatisme ostéo-articulaires/neurologie

Contribuer au traitement des maux de dos (douleurs lombaires). Les auteurs d'une méta-analyse publiée en 2006 se sont penchés sur cinq essais cliniques portant sur les effets de la balnéothérapie et des traitements en spa contre les douleurs lombaires. Les résultats de ces études, incluant au total 454 patients, démontrent que les deux types de thérapies induisent des diminutions de la douleur. Balnéothérapie, soit avec une eau minérale riche en soufre, soit avec une eau régulière, auprès de 60 sujets souffrant de douleurs lombaires.

#### ❖ Maladie de l'appareil urinaire, maladies métabolique

La cure thermale est aussi indiquée en cas de troubles urinaires, lithiase urinaire, prostatites, cystite récidivante et douleurs pelvipéritonéales. La cure de boisson est le traitement thermal principal qui a pour objectif l'élimination des résidus de calcul et le rééquilibrage de l'appareil urinaire. Elle prescrit un litre et demi d'eau riche en Magnésium et en Calcium, réduit significativement le risque de lithiase et la douche en position verticale inversée calme la douleur.

**❖ Voies respiratoires**

Les cures thermales sont indiquées pour soigner les affections respiratoires chroniques tel que l'asthme, la trachéite, la bronchite, la sinusite, l'otite, la rhino-pharyngite, l'angine, la laryngite ou encore la rhinite.

L'objectif principal est d'amener l'eau et/ou le gaz thermal au contact des tissus qui tapissent les voies respiratoires par les différentes techniques d'aérosolthérapie afin de nettoyer (détersion), désencombrer et réguler les voies respiratoires. Ces différents soins stimulent les défenses locales et on obtient une cicatrisation ou une diminution de la fréquence de crises.

**❖ Phlébologie**

Les douches au jet améliorent la circulation veino-lymphatique, la régule (effet phlébodynamique) et, à forte pression, provoque une décontraction musculaire et un drainage tissulaire (élimination l'œdème).

**❖ Irritation des intestins (lavage du colo et cure de boisson)**

Dans les maladies digestives, la cure thermique est indiquée en cas d'irritation du colon, de dégénérescence du tissu intestinal, colopathie. Pour endiguer ces maux, sont pratiquées l'entéroclise (lavage du colon) et la cure de boisson.

**❖ Maladies de l'appareil digestif**

La cure de boisson est le traitement thermal principal des colites, des troubles de la digestion ou encore des troubles fonctionnels hépatiques. Elle est associée aux bains ou aux douches qui ont un effet régulateur et laxatif de l'appareil digestif et à une éducation nutritionnelle adaptée.

**❖ Obésité et Diabète : éducation nutritionnelle**

Dans les maladies métaboliques, la cure thermique est indiquée pour soigner les problèmes d'obésité et de diabète grâce à un programme d'éducation nutritionnelle sur mesure.

**❖ Douche thérapeutique contre l'anxiété**

Dans les maladies psychiatriques, la cure est indiquée en cas des dépressions, de troubles du sommeil et de servage médicamenteux. Les douches thérapeutiques sont pratiquées par un psychiatre.

**❖ Maladies neurologiques**

La cure est utilisée en cas de traumatisme crânien, maladie de Parkinson, sclérose en plaques, d'hémiplégie consécutive à un accident vasculaire cérébral ou lors de séquelles d'encéphalite, de névrite ou d'encéphalite chronique.

**❖ Maladies cardio -artérielles**

Les bains et les douches, associées à du gaz thermal, augmentent le calibre des vaisseaux sanguins, améliorent et régulent la circulation sanguine (vaso-réflexe, vasodilatation). Le couloir de marche permet d'effectuer une rééducation active des membres inférieurs.

**❖ Affections bucco- linguales**

La douche des gencives nettoie les tissus de la bouche et le bain local calme la douleur.

**❖ Gynécologie**

Les bains et techniques spécifiques (irrigation, columnisation) associés à l'eau minérale permettent de lutter contre les infections et apaisent les douleurs pelviennes (douleurs post – opératoires, règles douloureuses, ...).

**❖ Troubles du développement de l'enfant**

Les différentes techniques thermales utilisées calment la douleur, stimulent et sont proposées dans le cadre d'une prise en charge globale de l'enfant(psychologique et éducation sanitaire).

# **Deuxième Partie**

## **Matériel & Méthodes**

## **I. Objectif du travail**

Dans le cadre de ce travail une attention particulière est donnée à la qualité de l'eau ce qui consiste à effectuer une série des analyses physico chimiques :

- Actualisation des analyses physico-chimiques des eaux thermo-minérale de hammam Serguine Wilaya de Tiaret.
- Comparaison entre la qualité des eaux thermo-minérale de hammam Serguine et OMS, 2000 et J.O.R.A, 2006.

## **II. Situation géographique et administrative**

### **II.1. Situation géographique**

La région de Ksar Chellala se situe à environ 250 km au sud d'Alger, dans la vallée de l'Oued Touil au cœur des hautes plaines algériennes représentant un plateau dont l'altitude se situe entre les cotes de 700 à 800 mètres. Ces coordonnées géographiques. (Terchoune M, 2015)

- Altitude : 800 m
- Latitude : 35,1° latitude Nord.
- Longitude : 2,12° Longitude Est.

### **II.2. Situation administrative :**

La commune de Ksar Chellala a une superficie de 134,29 km<sup>2</sup> avec une densité populaire de 428/Km<sup>2</sup> se situe au sud-ouest de la capitale Alger d'une distance par route de 250Km, elle est situé environ 116 km au sud-est de la wilaya de Tiaret (Sarri F., 2002).

Elle est limitée administrativement par :

- l'Est par la commune de Serguine.
- Au Nord par la commune de Djalfa.
- Au Sud Zmal et Elamir Abdelkader.
- A l'Ouest la commune de Rechaiga.

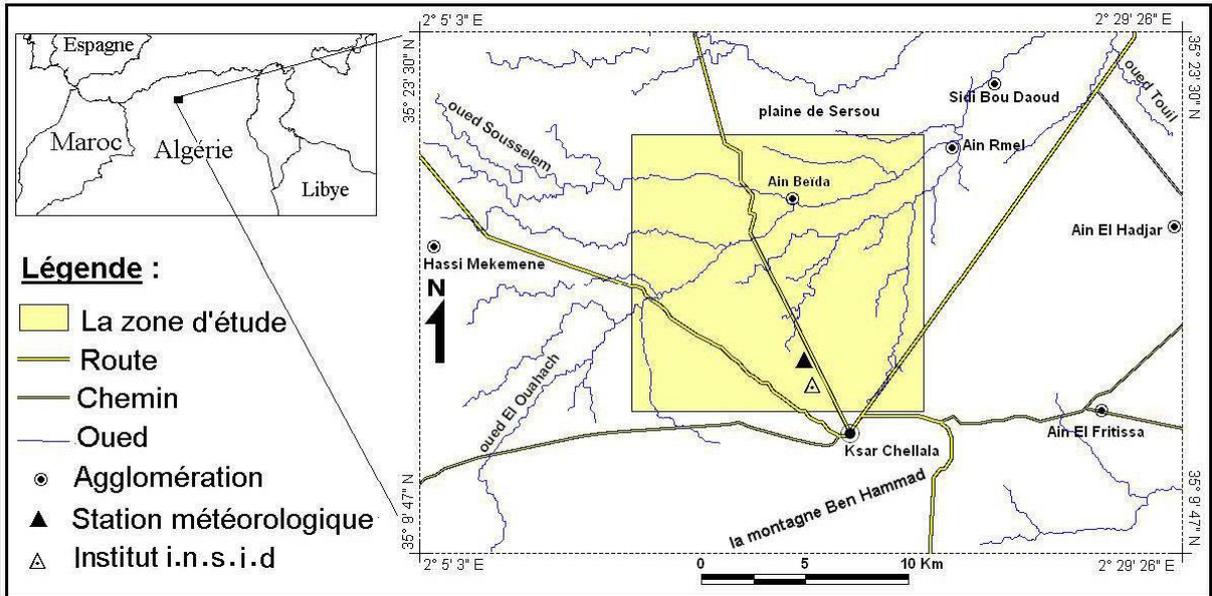


Figure N°6: Position géographique de la région de Ksar Chellala.

### II.3. Cadre géographique local

La plaine sud orientale de Ksar Chellala ou bien la plaine de Serguine est située à environ 250 Km au Sud-Ouest d'Alger. Elle se trouve à mi-chemin entre Djelfa au SE et Tiaret au NW sur une superficie de 640 Km. Elle est limitée : (INSID)

- Au Nord par Sidi Ladjal,
- Au Sud par Z'mal et Emir Abdelkader (Taguine),
- A l'Est par Guelt es Stel,
- A l'Ouest par Ksar Chellala.

Elle se trouve donc délimitée par les coordonnées Lambert suivantes :

X min = 467 Km ; X max = 499 Km.

Y min = 200 Km ; Y max = 220 Km.



**Figure N°07: Situation géographique de la zone d'étude.**

#### II.4. Géologie

La zone de Ksar Chellala se présente sous forme d'une cuvette où les altitudes vont décroissant du Sud vers le Nord d'une part, et d'autre part de la zone Nord-Nord-Ouest et Ouest vers l'oued Touil. Cette zone Nord-Nord-Ouest et Ouest, est constituée de structures dont le point culminant est à 1300m pour le Djebel Ben Hammade. Plus au Sud, le Djebel Hachemia par rapport au Djebel Ben Hammade constitue la terminaison Est de l'anticlinal du Djebel Nador. L'essentiel des formations de ces structures sont d'âge Jurassique. Dans la plaine, celle-ci est recouverte sur de vastes surfaces de formations d'âge Quaternaire (qui tapissent la vallée du Touil proprement dite), Tertiaire (Mio-Pliocène) et Crétacé. (Ayad A., 1997).

## II.5. Stratigraphie

La description lithologique des terrains affleurant ou mis en évidence par forage se présente comme suit:

### ❖ Trias

Il est constitué d'argiles bariolées, de gypses, de dolomies grises cristallines, de marnes grises, de calcaires noirs et gris foncés. La puissance de cette formation n'a pas été déterminée.

### ❖ Jurassique

Les formations appartiennent au Jurassique moyen et supérieur (Dogger et Malm).

### ❖ Dogger

Celui-ci est représenté par des calcaires gris bleu, à silex et à microfilmant, affleure de façon restreinte près de Ben Hamade.

### ❖ Callovo-oxfordien

Ces formations sont représentées par alternances d'argiles gréseuses, de marno-calcaire gris bleu dont la puissance n'excède pas les 150-200m.

### ❖ Kimméridgien inférieur

Présent à l'extrémité Nord-Est, Sud-Ouest et dans la partie centrale, cet étage est représenté par des dolomies cristallines à passées de marnes et de calcaires de la base vers le sommet. La puissance de ces formations est de l'ordre de 250-400m (Ayad A, 1997).

## II.6. Les reliefs

Les montagnes de Ksar-Chellala sont érodées et constituent le prolongement géologique nord oriental du Djebel Nador (1475 m) formées d'un ensemble de chaînes subparallèles allongées selon une direction NE-SW et constituent pour le réseau hydrographique local une ligne de partage des eaux. (Si Youcef S, 2015).

### II.6.1. Grands traits du relief : (INSID)

#### ▪ Topographie et altimétrie

L'altitude moyenne est de 840m apporte des températures froides en hiver et chaudes en été en raison d'un fort ensoleillement, ceci est le cas dans notre zone d'étude.

### ▪ Pentes

Les pentes sont généralement inférieures à 6%, nous notons qu'avec ces pentes, il n'existe pas pratiquement un risque majeur d'érosion.

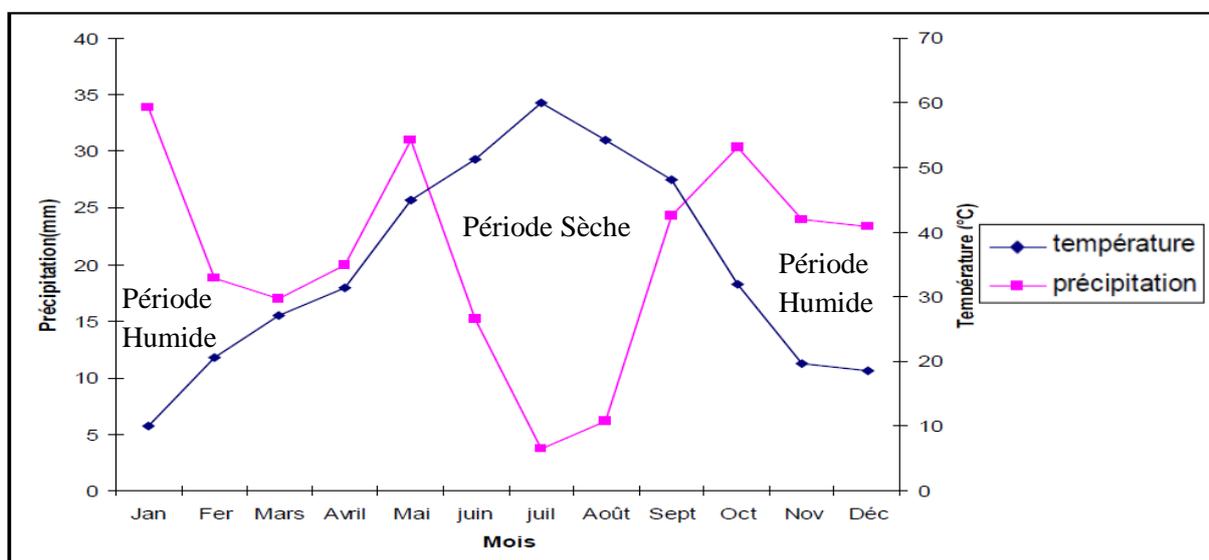
## II.7. Synthèse climatique

La combinaison des données des précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviométrique de Gaussen et le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climagramme D'Emberger) et/ou le calcul de l'indice d'aridité. (Si youcef S, 2015).

### II.7.1. Diagramme pluviométrique

On se base sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, On peut établir le diagramme pluviométrique dont le but est de déterminer les saisons sèche et celle humide de la région étudiée.

Le mois sec est lorsque le rapport précipitation (P) sur température (T) est inférieure à 2 ( $P/T < 2$ ). Sur la base de l'équation  $P = 2T$ , nous avons réalisé le diagramme ombrothermique de la région de Ksar Chellala.



**Figure N°8: Diagramme Ombrothermique de BagnoulsetGaussende la région de Ksar Chellala (2003-2015).**

Selon le diagramme ombrothermique de Gaussen la saison sèche (l'intersection entre courbe de précipitation et celle de température) commence en mois mai et se termine le mois de septembre. La saison humide s'étale de septembre à mars. (Terchoune M, 2015)

## II.7.2. Climagramme D'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen représente un rapport entre les précipitations et les températures moyennes annuelles. Il permet une classification bioclimatique des milieux (Soltner, 1984). Il est déterminé par la formule suivante :  $Q = 3.43 \times P / (M - m)$  où :

- Q : quotient pluviométrique en mm/°C,
- 3.43 : constante relative à la région : Algérie – Maroc.
- M : température maximale du mois le plus chaud en °C.
- m : température minimale du mois le plus froid en °C.
- P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

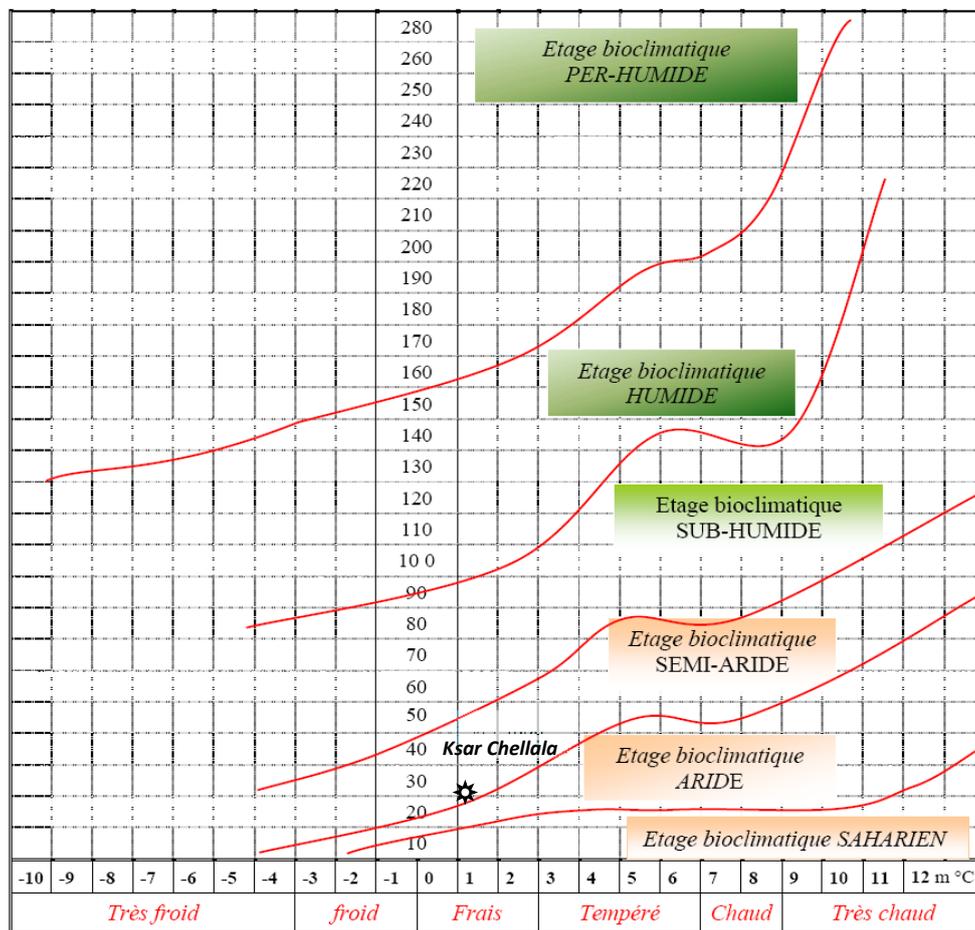


Figure N°09 : Climagramme D'emberger (Soltner, 1984).

Après avoir reporté la valeur du quotient pluviométrique d'Emberger sur le climatogramme, nous avons conclu que la zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique Semi-aride à hiver frais (figure N°09).

### II.7.3. Les paramètres climatiques

Les données climatiques de la région d'étude durant une période de 25 ans (1990-2015) sont enregistrées au niveau de station climatique d'ONM de Ksar Chellala. (Si Youcef S, 2015).

Ces paramètres ont permis de caractériser le climat de notre zone d'étude. Les principaux facteurs climatiques qui sont intégrés dans la majorité des indices climatiques sont la pluviométrie et la température.

**Tableau N°03: Caractéristiques de la station météorologique de Ksar Chellala**

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période
Ksar Chellala	20°19'	35°10'	800	1990-2015

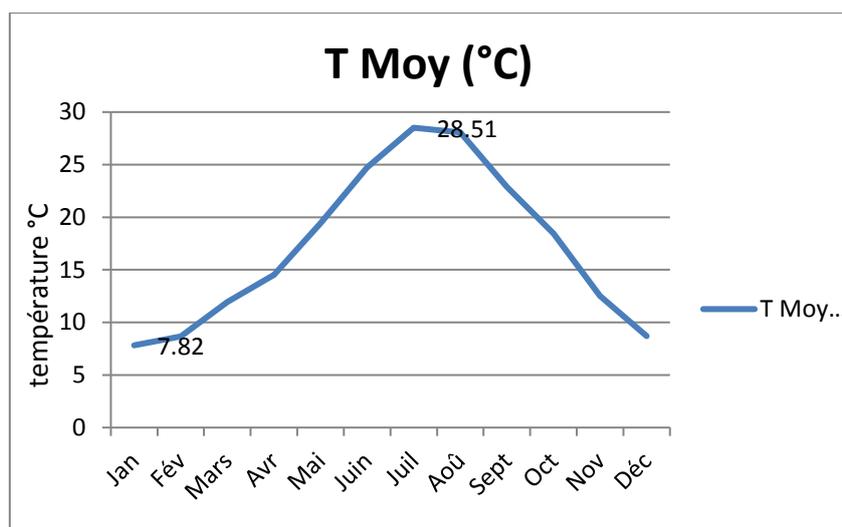
#### II.7.3.1. Température de l'air

La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration). Le tableau N°04 résume les données concernant ce paramètre, mesurées à la station de Ksar Chellala. (Si youcef S, 2015)

**Tableau N°04 : Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude Ksar Chellala Période 1990-2015.**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
T Moy (°C)	7,82	8,67	11,94	14,52	19,40	24,71	28,51	28,05	22,88	18,44	12,52	8,71	17,18

D'après la figure N°10, on observe que le mois de Janvier présente la température °C mensuelle minimale (7.82 °C), alors que le mois de Juillet présente la température mensuelle maximale (28.51°C). La moyenne annuelle pour la période (1990-2015) est de l'ordre de 17.18°C.



**Figure N°10: Répartition des températures moyennes mensuelles de Ksar Chellala(1990-2015).**

### II.7.3.2. Pluviométries

L'étude de la pluviométrie sert à l'évaluation globale des eaux tombées qui influence sur la variation du niveau d'eau de surface et souterraine.

La station de Ksar Chellala a enregistré une moyenne annuelle de pluviométrie de 267,40mm pour la période allant 1990 à 2015. (Si Youcef S, 2015)

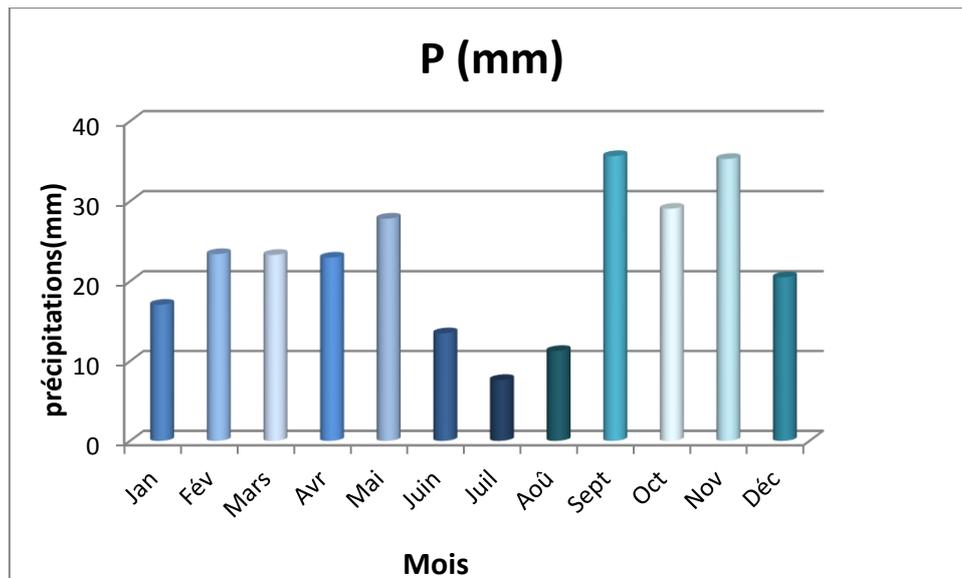
❖ Pluviométries moyennes mensuelles :

Pendant une période de 25 ans depuis 1990 jusqu'à 2015, les précipitations moyennes mensuelles de notre zone d'étude sont regroupées dans le tableau ci-dessus :

**Tableau N°05: Pluviométries moyennes mensuelles (mm) à la station météorologique de Ksar Chellala Période : 1990 à 2015.**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
P (mm)	17,06	23,40	23,30	22,96	27,83	13,48	7,63	11,27	35,64	29,07	35,28	20,50	267,40

D'après l'histogramme, la pluviométrie maximale est de l'ordre de 35,64 ; 35,28 mm pendant les mois de Septembre, Novembre; minimum est de l'ordre de 7.36 mm observée pendant le mois de juillet, la moyenne annuel est 267,40mm.



**Figure N°11: Répartition des précipitations (mm) moyenne mensuelles de Ksar Chellala(1990-2015).**

## II.8. Ressources hydriques

Elles sont importantes (nappes aquifères non exploitées pouvant donner un débit de 60 à 100l/s), mais restent à quantifier en fonction du développement.

Recensement de 165 puits et sources de types traditionnels dont les majeures parties ne sont plus fonctionnels.

L'Oued Touil est le principal cours d'eau de la région. Il est endoréique et alimenté par un important réseau hydrographique. Il rejoint Nahr Ouassel avant de se jeter dans la Sebkhia de Bouguezoul qui s'ouvre sur le Cheliff.

Les nappes proviennent soit des formations plio-quadernaires, soit des formations gréseuses du crétacé inférieur ou des formations carbonatées du jurassique supérieur. (Sarri F., 2002).

### II.8.1.Ressources en eau superficielle

D'après l'étude Australienne, les ressources en eau de la zone s'élèvent à environ 3600 litres/s.

- Les crues de l'Oued Touil qui se jettent dans la mer sont estimées à environ 17000m<sup>3</sup>/s, ce qui suppose d'importantes possibilités de recharge de la nappe et de collecte des eaux de ruissellement.

- Il existe un certain nombre de forages dans la zone dont la profondeur varie de 100 à 200 mètres,

- Le territoire de la commune de Ksar Chellala est drainé par un réseau hydrographique Représenté par Oued Touil.

D'une façon générale, les ressources en eau de la zone sont importantes, mais malheureusement mal prospectées. (Si Youcef S, 2015).

### **II.8.2.Ressources en eau souterraine**

La nappe aquifère est bien développée, c'est la nappe principale de la région limitée par les chaînes de montagnes de Chellala et Z'malt el Amir AEK. Elle est alimentée par les précipitations atmosphériques tombant en amont ainsi que dans les limites du périmètre. Une quantité importante d'eau s'écoule à travers les dépôts des graviers et de galets du faciès du lit de l'Oued Touil.

Elles sont estimées à environ 10 millions de m<sup>3</sup> dont seulement 3.5 millions exploitables pour l'irrigation en agriculture. Sept localités ont été délimitées pour l'exploitation des eaux souterraines malheureusement mal prospectées. (Si youcef S, 2015).

### **II.9. Conditions socio-économiques de la région**

Les conditions socio-économiques sont caractérisées par l'importance de l'activité agricole avec plus de 50% de population locale occupée par l'agriculture. Il existe également des occupants non agricoles.

Il s'avère que l'économie de l'agriculture de la région est basée sur l'élevage extensif ovin ayant pour effets néfastes les surexploitations des parcours et par voie de conséquence l'appauvrissement des sols et de leur capital agronomique et microbien(INSID).

### III. Techniques d'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (Rodier et al, 2005).

Le prélèvement a été fait dans des flacons en verre de 500 ml bien nettoyés pour d'éviter certaines modifications des caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon à analyser.

#### III.1. Compagnes de prélèvement

Nous avons effectué deux prélèvements (le premier « le 14/02/2017 » et le deuxième « le 12/04/2017 ») ; dans la même source.

Les prélèvements pour les analyses physico-chimiques :

Ont été faits de la manière suivante :

##### ➤ Pour les analyses sur terrain

- ✚ Présenter le bécquet sous la source ;
- ✚ Rincer le bécquet plusieurs fois avec l'échantillon;
- ✚ Remplir le bécquet mais pas complètement;

##### ➤ Pour les analyses dans laboratoire

- ✚ Présenter le flacon sous la source ;
- ✚ Rincer le flacon trois fois avec l'échantillon;
- ✚ Remplir le flacon mais pas complètement;
- ✚ Fermer soigneusement et immédiatement le flacon.

#### III.2. Transport et conservation au laboratoire pour les analyses:

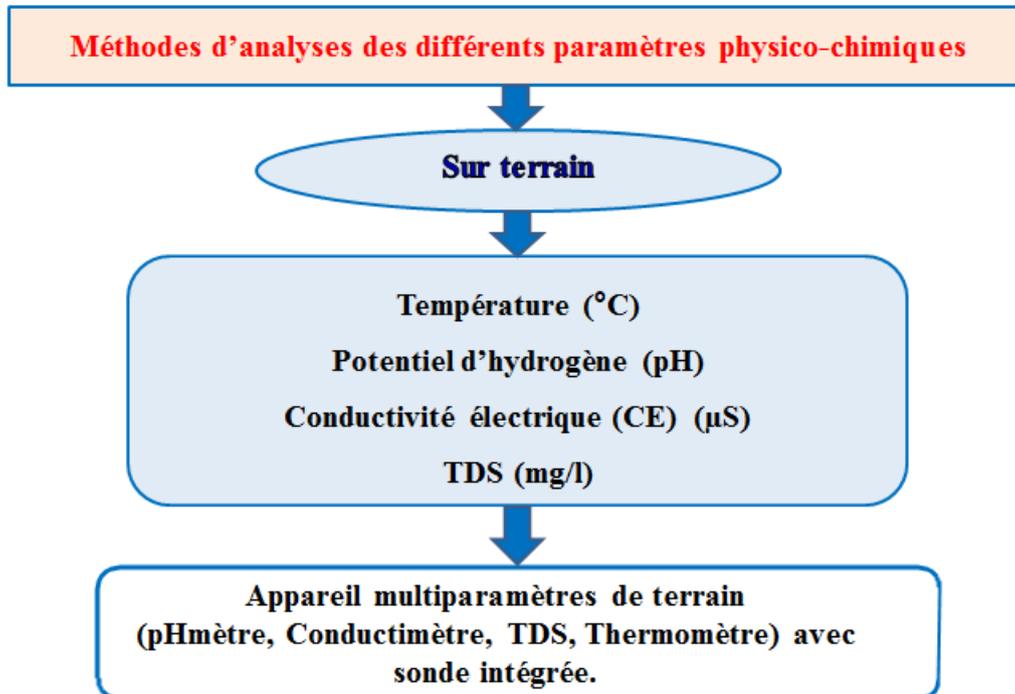
Les échantillons sont soumis dans des flacons en verre stérilisés de 500 ml pour ne pas modifier la microflore naturelle de l'eau, et doivent être transportés dans une glacière portative à une température  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Il est recommandé de placer le prélèvement au réfrigérateur dans laboratoire.

### IV. Analyses physico-chimiques

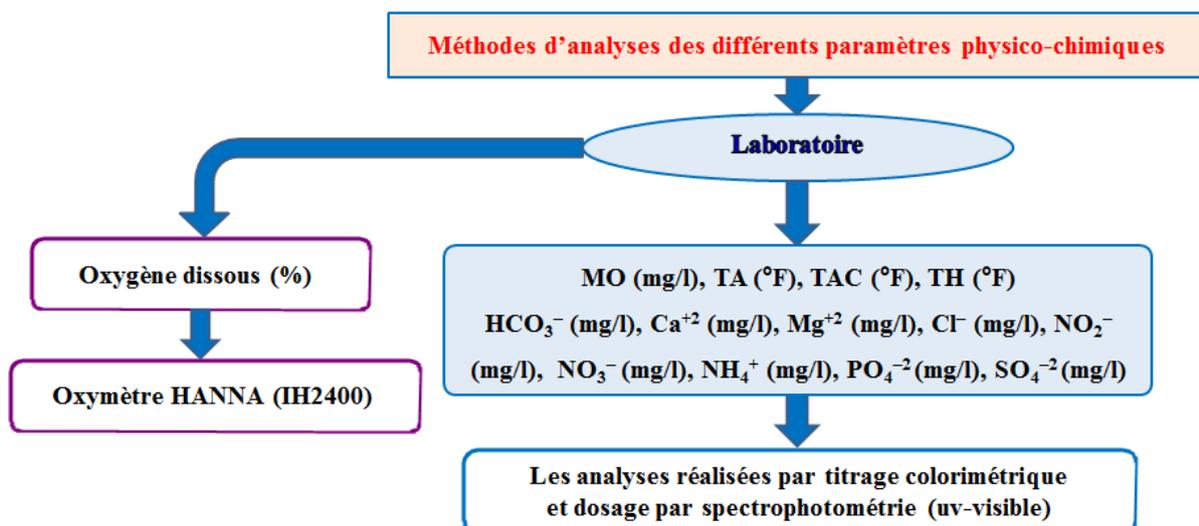
Les analyses physico-chimiques de ces eaux ont été effectuées au niveau de laboratoire de l'unité ADE (Algérienne des Eaux) et laboratoire de sciences du sol.

Afin de mener cette étude, nous avons suivi des protocoles expérimentaux prescrits dans les Figures suivant :

❖ **Méthode d'analyses des différents paramètres sur terrain**



❖ **Méthodes d'analyses des différents paramètres au niveau de laboratoire**



## IV.1. Analyses physiques

### IV.1.1. Mesure de la température (T°)

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. Elle est essentielle pour les réactions physico-chimiques et biologiques et joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz (Rodière.J et al, 2005).

Avec l'appareil multiparamètres de terrain et dans la zone de prélèvement on mesure La température sur place :

- Nettoyer l'électrode de l'appareil par d'eau distillé.
- Sèche l'électrode par papier de filtre.
- Met l'échantillon dans un bécher de 250 ml.
- Appuyer sur la touche grise dans l'appareil.
- On introduit l'électrode dans ce même bécher.
- Attendre la stabilité de l'appareil.
- On prend la valeur de température en degré (°C) affiché dans l'écran de l'appareil.
- On exit l'électrode et appuyer sur la touche gris.

### IV.1.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise en deux électrodes métallique de 1cm<sup>2</sup> de surface séparées l'une de l'autre de 1 Cm.

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m) 1S/m=10<sup>4</sup> μS/Cm-10<sup>3</sup> mS/m (Rodier et al, 2005).

#### Principe

La mesure de la conductivité électrique d'une colonne d'eau est déterminée par deux électrodes en platine. Ceci se fait à l'aide d'une conductimètre. (Rodier et al, 2005).

Avec l'appareil multiparamètres de terrain et dans la zone de prélèvement on mesure la conductivité sur place :

- Nettoyer l'électrode de l'appareil par d'eau distillé.
- Sèche l'électrode par papier filtre.
- Met l'échantillon dans un bécher de 250 ml.
- Appuyer sur la touche grise dans l'appareil.
- On introduit l'électrode dans ce même bécher.

- Attendre la stabilité de l'appareil.
- On prend la valeur de conductivité en ms /cm affiché dans l'écran de l'appareil.
- On exit l'électrode et appuyer sur la touche grise.

#### IV.1.3. Potentiel hydrogène (pH)

Il est nécessaire de contrôler le pH de l'effluent brut car une valeur inférieure à 5,5 ou supérieure à 9 peut avoir une influence sur le milieu récepteur. (Rodier et al, 2005).

Avec l'appareil multiparamètres de terrain et dans la zone de prélèvement on mesure le pH sur place:

- Nettoyer l'électrode de l'appareil par d'eau distillé.
- Sèche l'électrode par papier filtre.
- Met l'échantillon dans un bécher de 250 ml.
- Appuyer sur la touche **grise** dans l'appareil.
- On introduit l'électrode dans ce même bécher.
- Attendre la stabilité de l'appareil.
- On prend la valeur de ph affiché dans l'écran de l'appareil.
- On exit l'électrode et appuyer sur la touche gris.

#### IV.1.4. La matière solide dissoute totale (TDS)

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS. (Boubekeur H, 2014).

Avec l'appareil multiparamètres de terrain et dans la zone de prélèvement on mesure La matière solide dissoute totale sur place :

- Nettoyer l'électrode de l'appareil par d'eau distillé.
- Sèche l'électrode par papier filtre.
- Met l'échantillon dans un bécher de 250 ml.
- Appuyer sur la touche grise dans l'appareil.
- On introduit l'électrode dans ce même bécher.

- Attendre la stabilité de l'appareil.
- On prend la valeur de la matière solide dissoute en g/l affiché dans l'écran de l'appareil.
- On exit l'électrode et appuyer sur la touche gris.

## IV.2. Les analyses chimiques

### IV.2.1. Oxygène dissous (OD)

C'est un constituant vital de tous les tissus vivants, végétaux et animaux, ils ont besoin de dioxygène à l'état libre ou combiné, pour vivre.

L'oxygène est un constituant de nombreux composés organiques et minéraux. Il forme des composés appelés oxydes avec presque tous les éléments ; La qualité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction. (Belhadj M, 2006)

Avec l'appareil Oxymètre HANNA (IH2400) dans laboratoire de sciences du sol on mesure Oxygène dissous :

- Nettoyer l'électrode de l'appareil par d'eau distillé.
- Sèche l'électrode par papier filtre.
- Met l'échantillon dans un bécher de 250 ml.
- On introduit l'électrode dans ce même bécher.
- Attendre la stabilité de l'appareil.
- On prend la valeur d'oxygène dissous en % affiché dans l'écran de l'appareil puis appuyer sur la touche RANGE et prendre la valeur en ppm.

### IV.2.2. Détermination du calcium (Ca<sup>++</sup>) et du magnésium (Mg<sup>++</sup>)

Le titrage molaire des ions calcium et magnésium se fait à l'aide d'une solution de sel disodique de l'acide éthylène-diamine-tétraacétique (EDTA) à pH10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. (ADE)

#### III.2.2.1. Le calcium (Ca<sup>+2</sup>)

Le calcium est généralement l'élément dominant dans les eaux potables. Dans l'eau souterraine, la source la plus fréquente de calcium et de magnésium est l'érosion des roches, comme le calcaire et la dolomite et des minéraux comme la calcite et la magnésite.

La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante:

$$mg / lCa^{2+} = \frac{V_1 * C_{EDTA} * F * M_{Ca^{2+}}}{P.E} * 1000$$

d'où :

V1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

MCa<sup>2+</sup> : Masse molaire du calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour cedosage).

F: Facteur

$$\text{mg/lCa}^{2+} = \frac{V_1 * 0.01 * F * 40.08}{50} * 1000$$

$$\text{Ca}^{2+}(\text{mg/l}) = V1 \times F \times 8.016$$

### III.2.2.2. Le magnésium (Mg<sup>2+</sup>)

Le magnésium est aussi un élément responsable de la dureté de l'eau. La concentration admissible du magnésium dans une eau potable est de 30 à 50 mg/l pour les normes de la CEE et de 30 à 150 mg/l pour l'OMS, si l'eau contient en même temps plus de 250 mg/l de sulfates. Les sels de magnésium ont un effet laxatif sur l'organisme.

Sa présence en grande quantité dans l'eau, provoque des incrustations sur les chaudières et canalisations.

Expression des résultats

La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$\text{mg/lMg}^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * C_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Mg}^{2+}}}{P.E} * 1000$$

D'où :

V2: Volume total d'E.D.T.A

V1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

MMg<sup>2+</sup>: Masse molaire du Magnésium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

$$\text{mg/lMg}^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * 0.01 * F * 24.3}{50} * 1000$$

$$\text{Mg}^{2+}(\text{mg/l}) = (V_2 - V_1) \times F \times 4.86$$

### IV.2.3. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>)

L'origine des chlorures peut provenir de la dissolution d'un massif de sel gemme ou suite à une intrusion marine. La concentration admissible des chlorures dans une eau potable est de 5 à 200 mg/l pour les normes de la CEE et de 200 à 600 mg/l pour l'OMS. Une eau chlorurée a un goût désagréable, surtout lorsqu'il s'agit de chlorures de sodium.

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). L'OMS recommande l'intervalle de valeurs allant de 0,5 à 2 mg/l pour le chlore résiduel libre dans l'eau de consommation. Il n'y a pas de différence significative entre nos différentes valeurs obtenues. Elles sont toutes comprises dans l'intervalle de valeurs recommandé par l'OMS, ce qui est sans conséquences pour la santé des consommateurs.

Expression des résultats

$$F.G: \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl}}{PE} = \frac{V_{AgNO_3} \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000}{5}$$

F.S : mg/l Cl<sup>-</sup> = V<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> x 71 x F.

V<sub>AgNO<sub>3</sub></sub>: Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : Normalité d'AgNO<sub>3</sub>

Cl<sup>-</sup>: masse des chlorures.

F : facteur de correction du titre d'AgNO<sub>3</sub>.

PE : prise d'essai.

Pour le F :

- Prendre 5 ml de la solution mère à 71 mg/l.
- Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré.
- Doser par AgNO<sub>3</sub> à 0,01 N jusqu'au virage.(couleur brun rougeâtre).

$$F = \frac{1}{V_{AgNO_3}}$$

### IV.2.4. Ion Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

L'alcalinité d'une eau est due essentiellement aux carbonates (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) et hydrogénocarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). (Rodier et al, 2005).

Leur origine peut être les eaux de pluie qui se saturent en CO<sub>2</sub> et alimentant les nappes souterraines, ou la présence de roches sédimentaires chimiques, calcaires (CaCO<sub>3</sub>) et

dolomites  $[(CaMg)(CO_3)_2]$ . Les bicarbonates sont aussi responsables du phénomène d'entartrage.

Expression des résultats

$$F.G = \frac{V_A \times N_A \times MHCO_3^- \times 1000}{PE} = \frac{V_A \times 0,1 \times 61 \times 1000}{100}$$

F.S :  $VA1 \times 61 = \text{mg/l } HCO_3^-$

VA : Volume d'acide versé.

NA : normalité d'acide versé.

MHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: masse des bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

P.E : prise d'essai.

**Remarque :**

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; titrer jusqu'à cette valeur (volume d'HCl obtenu correspond au CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4,3 noter le volume VA2.

$$\text{mg/l } CO_3^{2-} = VA2 \times 60$$

#### IV.2.5.Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Une présence des nitrites dans l'eau d'une nappe est signe de pollution, suite à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les nitrites sont formés par dégradation de la matière azotée mais ils sont généralement transformés en nitrates dans les sources d'eau potable (Lepeltier,2005).

Les nitrites sont normalement absents des eaux de surface, mais leur présence est possible dans les eaux souterraines. La chloration les oxyde rapidement en nitrates (Santé et Bien- être social Canada, 1982). L'OMS retient la valeur de 3 mg/l comme norme de qualité pour l'eau de consommation. Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs de nitrites des différentes sources d'eaux étudiées. Toutes ces valeurs sont inférieures à la valeur norme de l'OMS. (Lagnika et al., (2014) et Mickael et al., (2010)) ont rapport respectivement des moyennes de  $0,072 \pm 0,14$  et  $5,01 \pm 1,7$ .

**Expression des résultats**

Il s'agit d'une méthode colorimétrique où l'apparition de la coloration rose indique la présence des NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, la lecture par spectrophotomètre UV-visible, Le résultat est donné directement en mg/l à la longueur d'onde 543 nm.

#### IV.2.6. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

La présence de nitrates peut résulter de l'épandage excessif d'engrais ou de la lixiviation des eaux usées ou d'autres déchets organiques vers les eaux de surface et les eaux souterraines (OMS, 2004). La valeur de 50 mg/l est indiquée par l'OMS pour l'eau de consommation.

Présents à l'état naturel et soluble dans le sol, les nitrates pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Mais ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais (Chapman et al, 1996). Ils sont l'une des causes de la dégradation de l'eau. Transformés en nitrites par l'organisme, ils peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine en "méthémoglobine" et provoquer un mauvais transfert de l'oxygène vers les cellules. Cette pathologie peut affecter les nourrissons de moins de 6 mois. Le risque est très difficile à établir. Partant d'un principe de précaution, la norme de potabilité pour l'eau a été fixée à 50 mg/l. Au-delà de 100mg/l, l'eau ne doit pas être consommée.

##### Expression des résultats

Il s'agit d'une lecture par spectrophotomètre UV-visible où résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

#### IV.2.7. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

Les teneurs en Ammonium présentes dans les eaux souterraines analysées varient très peu : entre 0mg/l et 0,438 .Ces valeurs sont très faibles par rapport à la valeur maximale admissible en Ammonium indiquée par la donc ces eaux présentent une qualité bonne voire excellente.

##### Expression des résultats

L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence des  $\text{NH}_4^+$ . la lecture est faite par spectrophotomètre UV-visible, Le résultat est donné directement en mg/l.

#### IV.2.8. Les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm.

##### Expression des résultats

Le complexe formé se colore en bleu. Le résultat est directement donné en mg/l à la longueur d'onde 880nm.

#### IV.2.9. Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

L'appareil utilisé pour déterminer le taux des sulfates contenu dans les eaux est un spectrophotomètre à flamme. Les teneurs obtenues sont exprimées en ppm (mg/l). Le dosage des sulfates se fait selon le mode opératoire suivant :

##### ➤ Etalonnage de l'appareil

- Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, on prépare un essai témoin de nombre de 7 solutions d'étalons dans les concentrations en  $\text{NaSO}_4$  (solution d'étalon), sont : 0 ; 1 ; 3 ; 5 ; 7 ; 9 et 10, et on termine jusqu'au 50 ml par de l'eau distillée.

- On agite bien les étalons, et on les laisse se reposer pendant 15 min, puis on remplit les cuves et on les dose en spectrophotométrie, à la longueur d'onde de 650 nm.

##### ➤ La mesure des échantillons

Dans des fioles jaugées de 50 ml, on introduit un volume de 25 ml de l'échantillon et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au 50 ml

- On ajoute 1 ml de l'acide chlorhydrique, et 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisant (nommée TWAAN 20).

- On agite bien et on laisse les échantillons reposer au moins 15 min, après le repos on remplit les cuves et on les dose comme pour les étalons à l'aide d'un spectrophotomètre.

#### Expression des résultats

$\text{mg/l SO}_4^{2-}$  = la valeur lue sur le spectrophotomètre UV-visible à longueur d'onde 420 nm, on tient compte du x facteur de la dilution.

#### IV.2.10. Détermination du titre alcalimétrique (TA)

##### Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide chlorhydrique (HCL), dilué en présence de la phénolphtaléine. Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  en eau (Rodier et al, 2005).

##### Réactifs

Acide chlorhydrique HCl(0.02N);

Solution de phénophtaléine (pp) ;

**Mode Opérateur**

Dans un erlenmeyer de 250ml, on prélève 10ml d'eau à analyser, on ajoute 2 gouttes de solution phénophtaléine, une couleur rose doit se développer. (Dans le cas contraire le TA est nul).

Expression des résultats en °F.

**IV.2.11. Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC)****Principe**

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence de méthyle orange. Le but est de déterminer la teneur en hydrogencarbonates dans l'eau (Rodier et al, 2005).

**Réactifs**

Acide chlorhydrique HCl 0.02N

Solution de méthyle orange;

Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer de 250ml : on prélève 10ml à analyser, on ajoute 2 gouttes méthyle orange, on titre ensuite avec l'HCl à 0.02 N jusqu'au virage du jaune au jaune orange.

Expression des résultats en F°.

**IV.2.12. Dosage de la dureté totale (titre hydrotimétrique TH)****Principe**

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse (Rodier et al, 2005).

**Réactifs**

Solution d'EDTA (Sel dissodique d'acide éthylène diamine tetracétique à 0.02N ;

Solution tampon (pH= 10) ;

Indicateur coloré Noir d'Eriochrom T (N.E.T) ;

**Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser, on chauffe au bain marie à une température d'environ 60°C puis on ajoute 0.5 ml de la solution tampon (pH= 10) et 3 gouttes d'indicateur coloré (N.E.T), ensuite on titre avec l'EDTA jusqu'au virage du rouge au bleu.

**Expression des résultats :**

Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO<sub>3</sub>. Elle est souvent exprimé en °F(CaCO<sub>3</sub>).

**IV.2.13. Dosage des matières organiques(MO)****Mode opératoire:**

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 10 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et 10ml de solution de KMnO<sub>4</sub> à 0.01N, puis chauffer le mélange pendant 10 minutes sur la plaque chauffante.
- Après refroidissement pendant 30 minutes, ajouter 10ml d'acide oxalique à 0.01 N pour décolorer la solution.
- Titrer le mélange avec une solution de KMnO<sub>4</sub> à 0.01 N, jusqu'à la coloration rose claire persiste 15 à 20 secondes.
- Le calcul de la teneur en matière organique se fait à l'aide de la formule suivante :

$$\text{MO (mg/l)} = V \times 0.01$$

Soit V : le volume de la solution de KMnO<sub>4</sub> à 0.01 N utilisé pour le titrage.

# **Troisième Partie**

## **Résultats & Discussion**

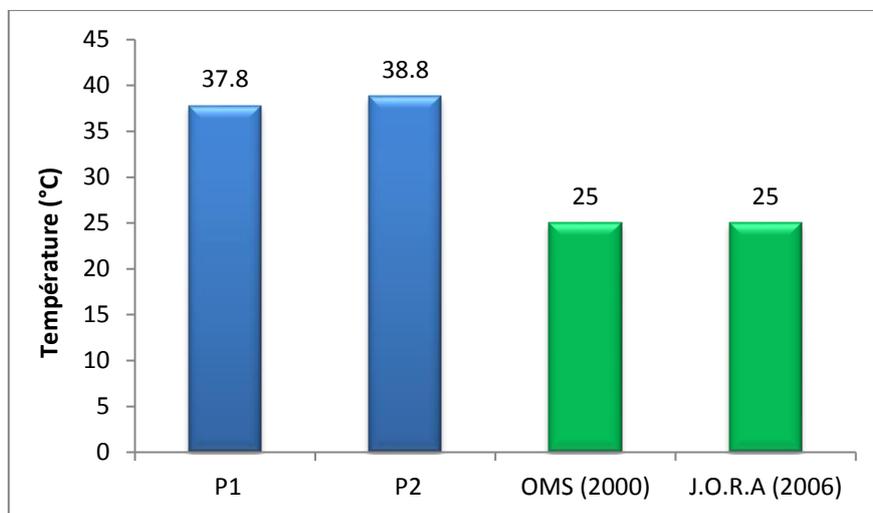
## I. Résultats des analyses physico-chimiques

### I.1. Caractéristiques physiques

#### I.1.1. La température

La température est un paramètre intéressant dans notre étude car les sources thermales sont caractérisées par une forte température, en effet elle joue un rôle important dans la solubilité des sels dissous et dans l'activité chimique et aussi il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau (Nechem D, 2009).

Les résultats de la température des échantillons d'eau de chaque prélèvement sont exprimés dans la figure suivante :



**Figure N°12 : La température d'eaux thermo-minérale de hammam Serguine.**

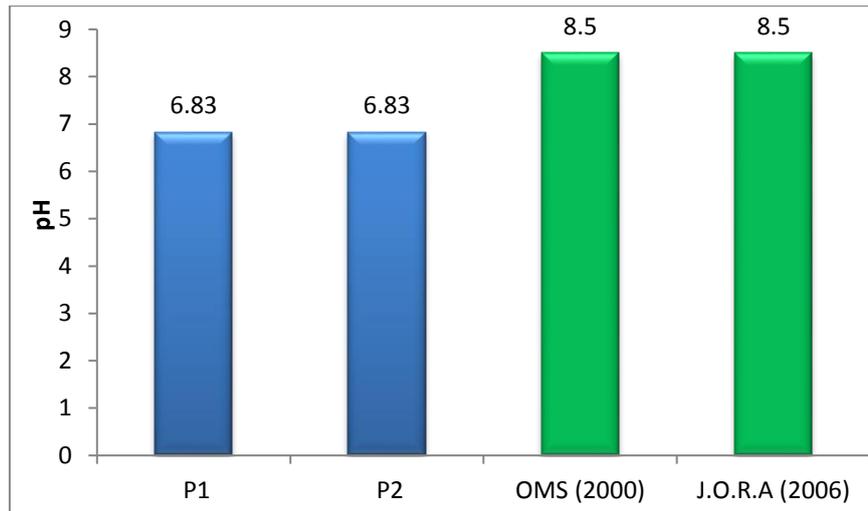
D'après la figure 12, La température de nos échantillons d'eau est comprise entre 37,8 et 38,8°C, pendant les deux périodes de prélèvement (mois de Février et avril 2017).

Les deux valeurs ne répondent pas aux normes des eaux de consommation fixées par le (J.O.R.A, 2006) et par (OMS, 2000) qui sont inférieurs à 25 °C.

Si en comparant les résultats de cette source avec les normes on distingue une grande différence, qui nous permet de dire que l'eau de hammam caractérisées par une forte température par rapport les normes des eaux naturelle.

#### I.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Les résultats du potentiel d'hydrogène des échantillons de l'eau de chaque prélèvement sont exprimés dans la figure 13.



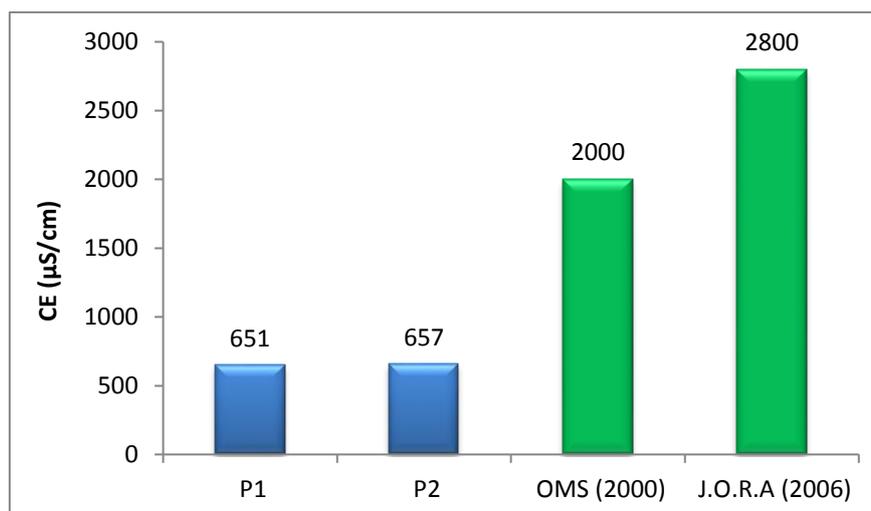
**Figure N°13 : Le pH d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre (6.5 et 8.5) (la norme internationale et aussi les normes Algériennes). Dans le cas de hammam Serguine, les valeurs du pH de l'eau étudiée égale 6,83 sont inférieures à 8,5 est conformes aux normes des eaux potables admises par l'OMS et J.O.R.A.

### I.1.3. Conductivité électrique

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau. (Si Youcef S, 2015).

Les résultats de la conductivité électrique des échantillons de l'eau de chaque prélèvement étudiés sont exprimés sur la figure 14.



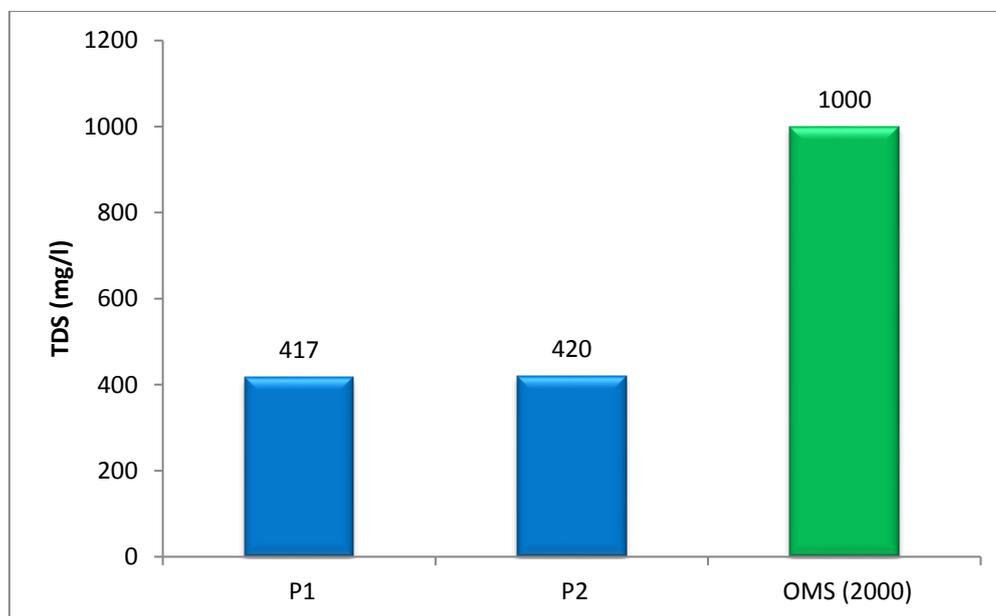
**Figure N°14: La conductivité électrique des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

Les résultats de la conductivité varient entre 651 et 657 $\mu$ S/cm. Ces valeurs sont conformes à la norme algérienne dont la limite de la conductivité électrique est inférieure à 2800 $\mu$ S/cm) et la norme des eaux potables fixée par l'OMS (2000) qui est (2000 $\mu$ S/cm).

#### I.1.4. Le taux des sels solubles (TDS)

Une manière commode de mesurer le TDS est d'examiner la conductivité de l'échantillon. La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à faire passer un courant électrique, cette dernière est affectée par la présence des matières solides dissoutes, car si le niveau du TDS monte, la conductivité augmentera également. (Nechem D, 2009).

Les résultats du taux des sels solubles de l'eau de source étudié de chaque prélèvement sont présentés dans la figure 15.



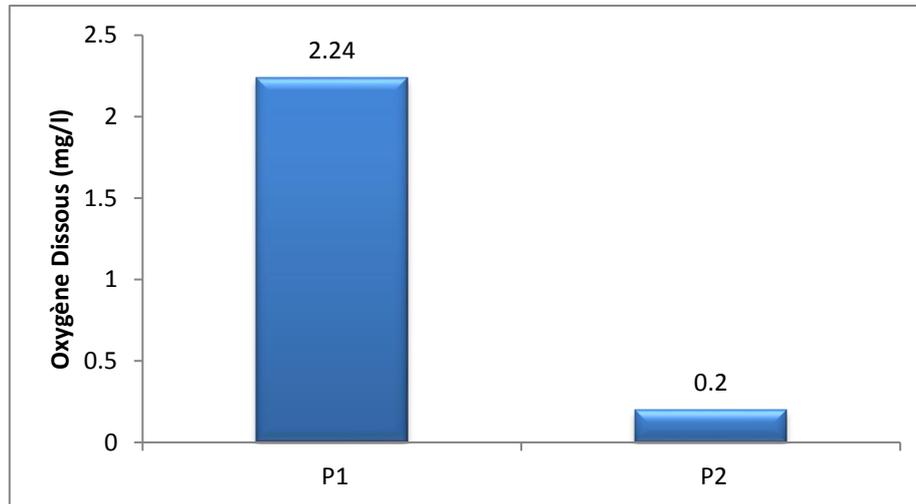
**Figure N°15 : Le taux de sels solubles (TDS) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

A la lumière des résultats exprimés, nous remarquons que la valeur de taux des solides a atteint une valeur maximale de l'ordre de 420 mg/l pour le prélèvement (P1) est supérieure à la valeur de prélèvement (P2) respectivement 417mg/l qui restent relativement inférieures aux normes de l'OMS qui recommande une valeur de 1000mg/l. ce qui signifie que la teneur en sels solubles des échantillons analysés respecte les qualités de l'eau potable souhaitée.

## I.2. Caractéristiques chimiques

### I.2.1. Oxygène dissous

C'est la concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans une eau. Paramètre important de l'écologie des milieux aquatiques. La teneur en oxygène dissous renseigne sur les activités métaboliques du milieu. Il est exprimé en mg/l.

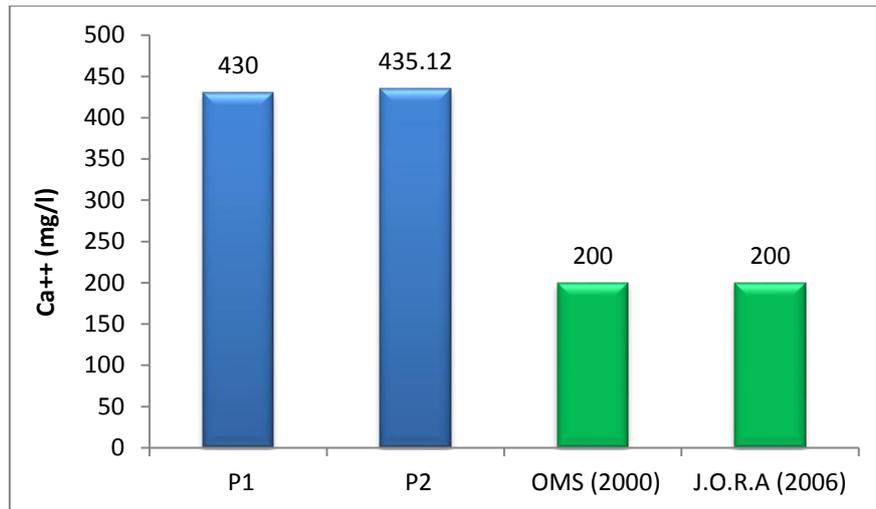


**Figure N°16 : l'Oxygène dissous des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

Solen les résultat obtenus dans les deux prélèvement, nous constatons que les teneurs en oxygène dissous varient entre 0,2 et 2,24 mg/l. la valeur maximale est observée au niveau du premier prélèvement (P1) durant le mois de février, quant à la minimale, elle est enregistrée au niveau de deuxième prélèvement (P2) durant le mois d'avril.

### I.2.2. Teneur en Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ )

Les résultats de la teneur en calcium de l'eau de source étudié de chaque prélèvement sont présentés dans la figure 17.



**Figure N°17: Teneur en calcium (Ca<sup>2+</sup>) de l'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

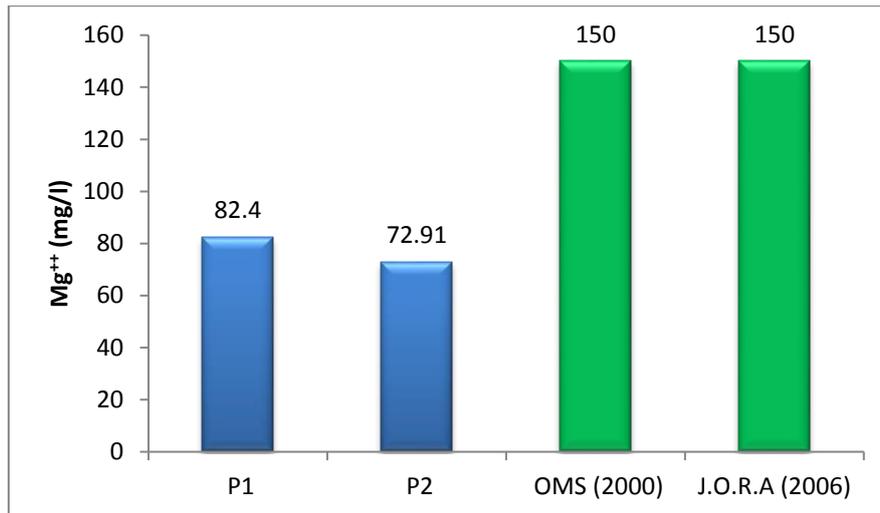
D'après la figure 17, les valeurs du calcium (Ca<sup>2+</sup>) trouvées dans les eaux de source thermo-minérales de la région de Serguine sont comprises entre 430 mg/l (P1) et 435,12 mg/l (P2) pour les deux périodes de prélèvement.

La teneur de calcium (Ca<sup>2+</sup>) dans les deux (02) prélèvements n'est pas conforme aux normes de potabilité de l'OMS qui fixe une valeur de 200 mg/l. et aussi à la norme nationale, qui prévoit des valeurs comprises entre 75 et 200 mg/l pour une bonne qualité d'eau de source potable.

Si en comparant les résultats de cette source avec les normes on distingue une grande différence, qui nous permet de dire que l'eau de hammam est plus riche en calcium par rapport les normes des eaux naturelles. En effet, Issaâdi (1992) a évoqué que le réservoir carbonaté des eaux thermales qui ont donné cet excès en calcium et lors de l'ascension de ces eaux en surface a induit la dissolution des formations évaporitiques.

### **I.2.3. Teneurs en Magnésium (Mg<sup>++</sup>)**

L'ion magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen) (Rodier J., 2005). Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau. Les résultats obtenus pour le dosage de magnésium sont présentés dans la figure 18.



**Figure N°18: Teneur en magnésium (Mg<sup>2+</sup>) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

La teneur en magnésium obtenue est de 72,91(P2) et 82,4 (P1) mg/l (Figure 18), sont conformes à la norme des eaux potables qui est de 150 mg/l pour l’OMS et J.O.R.A.

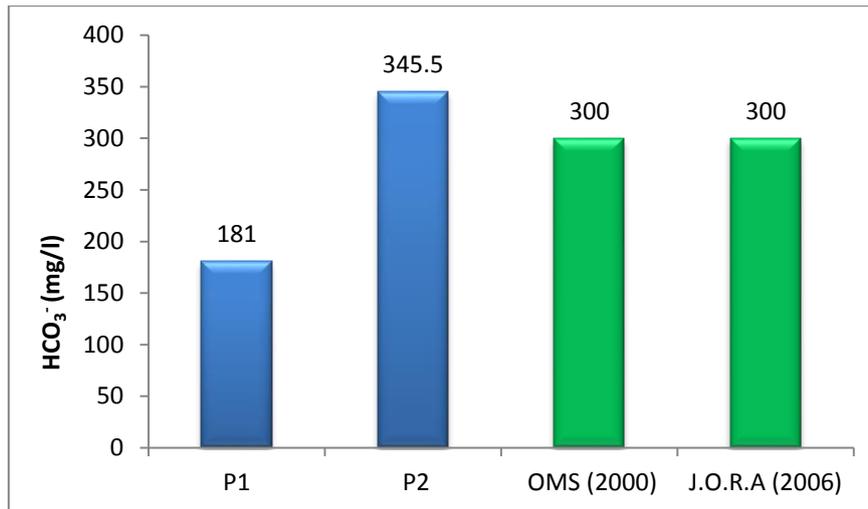
Si en comparant les résultats de cette source avec les normes on distingue une grande différence, qui nous permet de dire que l’eau de hammam est inférieure par rapport les normes des eaux naturelle.

#### **I.2.4. Teneur en bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux des sources thermo-minérales sont fonction : (Bekkouche M, 2009)

- ✚ du pH de l’eau,
- ✚ de la température,
- ✚ de la concentration en CO<sub>2</sub> dissous,
- ✚ de la nature lithologique.

Les résultats obtenus pour le dosage du bicarbonate dans la figure 19.



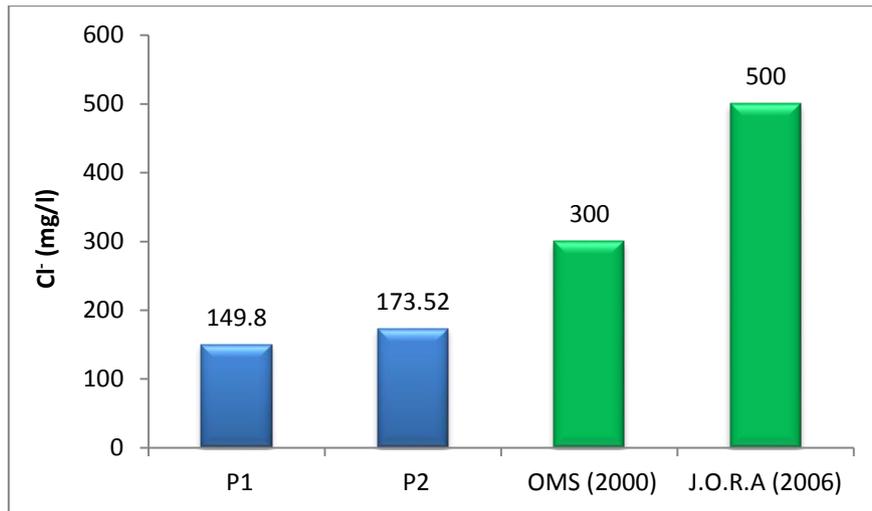
**Figure N°19: Teneur en bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

D'après les résultats obtenus (figure 19), on remarque que la teneur en ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans le premier prélèvement (mois de Février) de l'eau de hammam Serguine est environ 181 mg/l est inférieure aux normes de l'OMS et algériennes qui fixent une valeur de 300 mg/l. Tandis que la teneur enregistrée dans le deuxième prélèvement est 345,5 mg/l ne répondent pas aux normes admises.

#### **I.2.5. Teneur de chlorure (Cl<sup>-</sup>)**

Généralement, les eaux de source ne contiennent que de faibles quantités en chlorures, attribuées aux retombées d'origine climatique (pluies, évaporation intense) et aux lessivages des formations géologiques par les eaux d'infiltration. D'autre part, la présence des chlorures dans les eaux de source peut avoir une origine essentiellement agricole (engrais, pesticides) ou industrielle et urbaine ou domestique par les égouts. (Si Youcef S, 2015).

Les résultats de la teneur en chlorure de l'eau de source étudié de chaque prélèvement sont présentés dans la figure 20.



**Figure N°20: Teneur en chlorure (Cl<sup>-</sup>) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

D'après la figure 20, les teneurs en chlorures (Cl<sup>-</sup>) trouvées dans les eaux de source thermo-minérales de hammam Serguine sont comprises entre 149,8mg/l (P1) et 173,52mg/l (P2) pour les deux périodes de prélèvement.

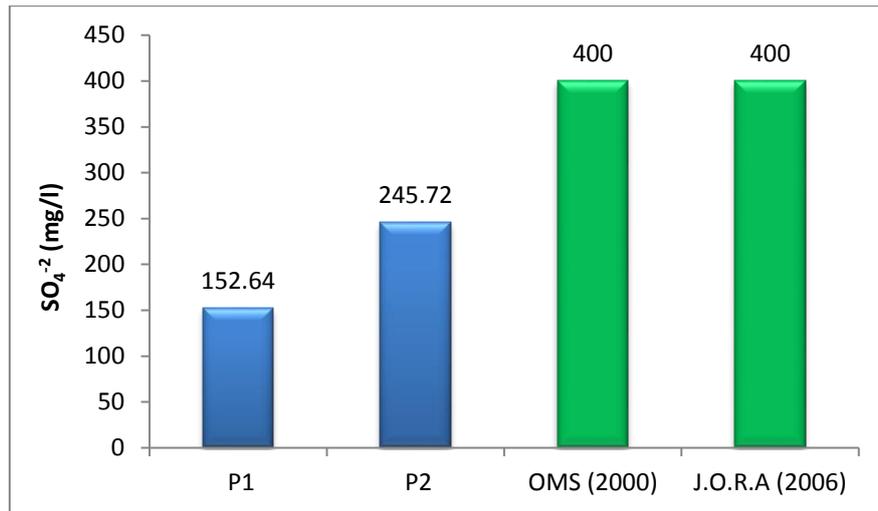
Les résultats obtenus montrent que la concentration en chlorures dans les deux prélèvements est inférieure aux normes des eaux potables décrites par l'OMS (2000), mais aussi elle est conforme aux normes algériennes (J.O.R.A, 2006) qui fixent une valeur maximale de 200 à 500 mg/l.

Si l'eau renferme une trop grande quantité de sels de chlorure, l'eau aura une saveur saumâtre.

#### **I.2.6. Teneur en sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>mg/l**

Une teneur élevée de sulfates peut entraîner un goût désagréable, une corrosion des conduites, des irritations gastro-intestinales et un effet laxatif temporaire.

Les résultats de la teneur en sulfate de l'eau de source étudié de chaque prélèvement sont présentés dans la figure 21.



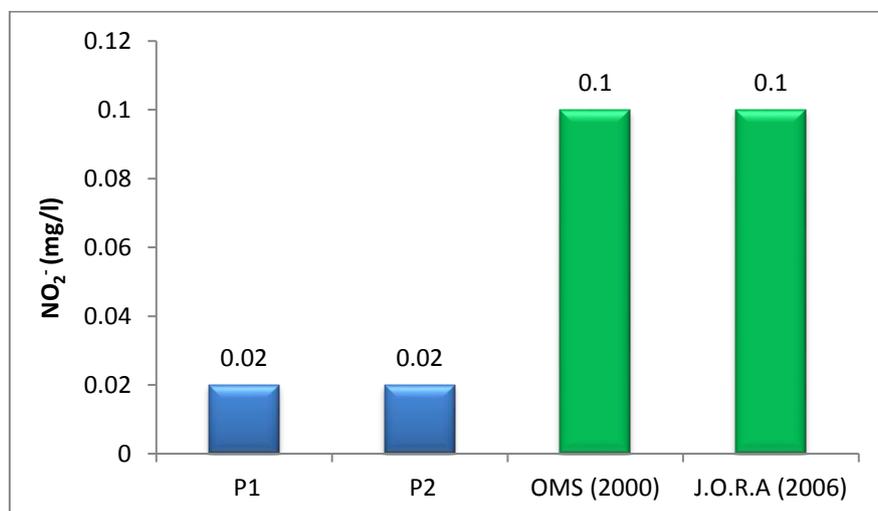
**Figure N°21: Teneur en sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>mg/l de eaux thermo-minérale de hammam Serguine.**

Les valeurs obtenues pour les deux échantillons répondent aux normes de qualité des eaux de consommation admises par l’OMS qui fixe la concentration maximale admissible en sulfate à 400mg/l(OMS,2000).De même pour la législation algérienne (J.O.R.A, 2006) qui indique des concentrations en sulfates comprises entre 200 et 400 mg/l pour la qualité des eaux de source.

### I.2.7. Teneur en nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

La présence des nitrites est un signe d'une pollution d'origine bactériologique et organique. La forme réduite des nitrites les rend plus dangereux que les nitrates (Si Youcef S, 2015).

Les résultats de nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) des échantillons d'eau de chaque prélèvement sont exprimés dans la figure 22.



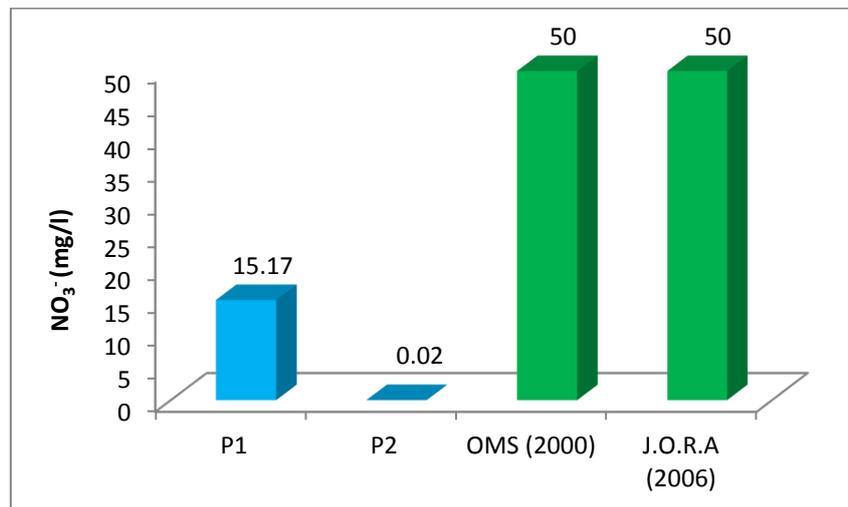
**Figure N°22: Teneur en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

L'analyse de notre échantillon montre que les valeurs de nitrite dans les deux prélèvements (0,02 mg/l) sont inférieures aux normes admise par l'OMS(2000) et aussi par la législation algérienne J.O.R.A (2006) qui est de 0,1 mg/l.

**I.2.8. Teneur en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les nitrates se diffusent dans les eaux souterraines et peuvent être une source de pollution. De nombreux facteurs sont à l'origine de ses ions dans l'eau, notamment les engrais, la décomposition des matières végétales.

Les résultats de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des échantillons d'eau de chaque prélèvement sont exprimés dans la figure 23.

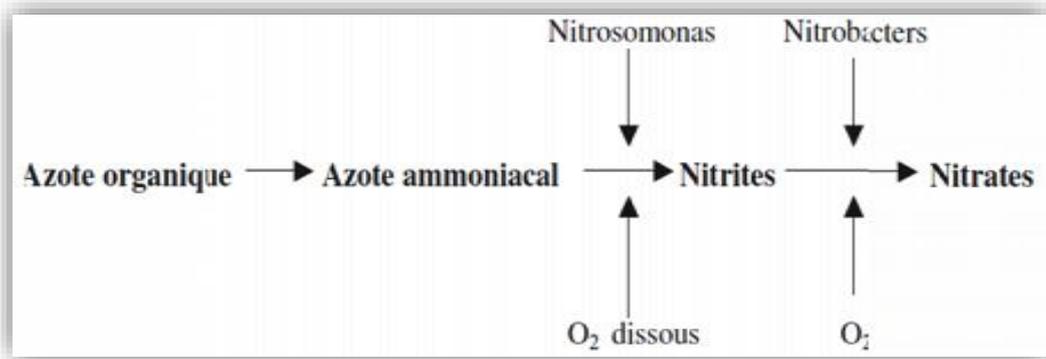
**Figure N°23: Teneur en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux thermo-minérales de hammam Serguine.**

D'après les résultats obtenus (figure 23), la teneur de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) trouvée varie de 0,02 à 15,17 mg/l durant période d'étude. On conclue que la teneur de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) dans les deux (02) échantillons est conforme aux normes admises par l'OMS (2000) et algérienne (J.O.R.A,2006) qui fixent une teneur de 50 mg/l.

Une augmentation des teneurs en nitrates peut avoir des conséquences négatives sur la santé ; en effet il va y avoir dans l'organisme la transformation des nitrates en nitrites qui sont dangereux pour la santé. (Bouziani, 2000).

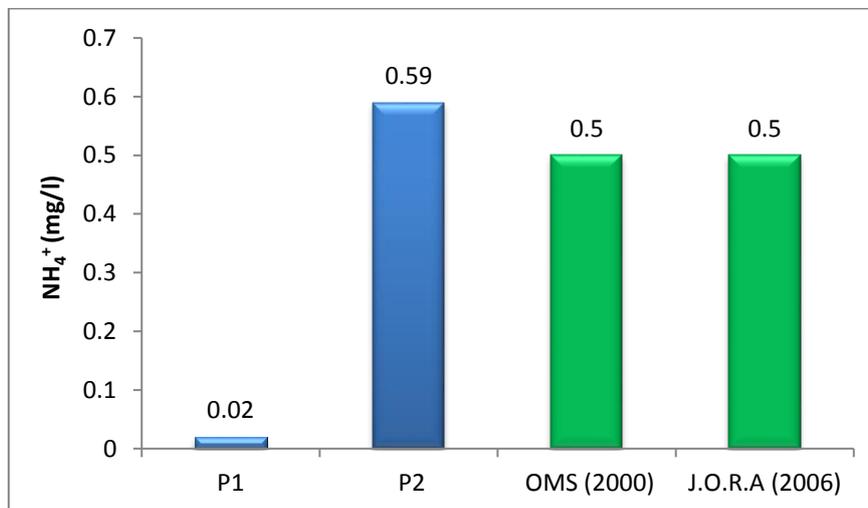
### I.2.9. Teneur en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

L'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique  $\text{NH}_4^+$ , Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique  $\text{NH}_4^+$ , l'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation (Figure 24). (Bennana M, 2013).



**Figure N°24: Transformation de l'azote organique par oxydation en nitrites et nitrates.**

Les résultats de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) de l'eau de chaque prélèvement sont exprimés dans la figure 25.



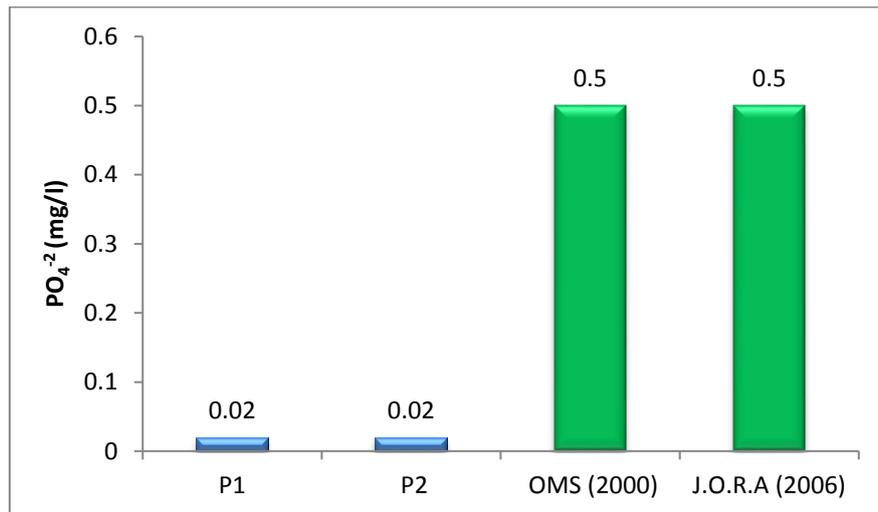
**Figure N°25: Teneur en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

D'après les résultats obtenus (figure 25), on remarque que la teneur en ions  $\text{NH}_4^+$  dans le premier prélèvement (mois de Février) de l'eau de hammam Serguine 0,02 mg/l est conforme aux normes admises par l'O.M.S et J.O.R.A. tandis que la teneur en azote

ammoniacal dans le deuxième prélèvement est 0,59 mg/l n'est pas conforme aux normes admises qui fixent une valeur de 0,5 mg/l.

#### I.2.10. Teneur en phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ )

Les phosphates rejetés dans l'environnement proviennent, des ruissellements dans les zones agricoles (engrais), industrielles et des eaux domestiques (déjections humaines et des détergents ou lessives phosphatées) (Si youcef S, 2015).



**Figure N°26: Teneur en phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

Des teneurs supérieures à 0.5 mg/L doivent constituer un indice de pollution. Ce n'est pas le cas pour nos échantillons étudiées, nous avons trouvé pour les deux prélèvements une teneur inférieure à 0.02 mg/L ; Elle est inférieure aux normes prescrites par la réglementation algérienne et par l'OMS, 2000. Ces teneurs minimales trouvées confirment encore une fois l'absence de pollution.

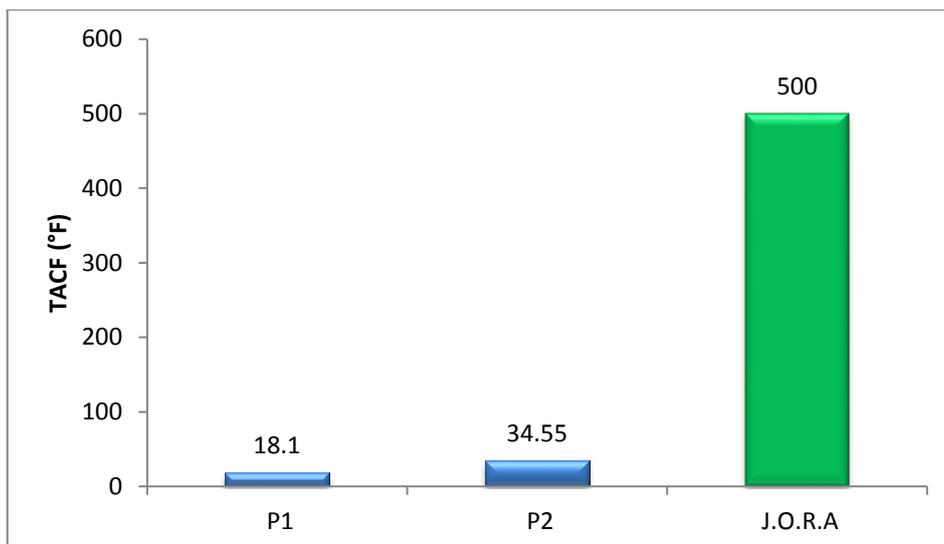
#### I.2.11. Titre d'alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique (TA) correspond à la mesure de la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux.

Les résultats obtenus révèlent que le titre alcalimétrique est nul pour chaque échantillon analysé ce qui explique l'absence du carbonate.

#### I.2.12. Titre d'alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet correspond à la teneur en hydrogénocarbonates dans l'eau. (Si Youcef S, 2015).

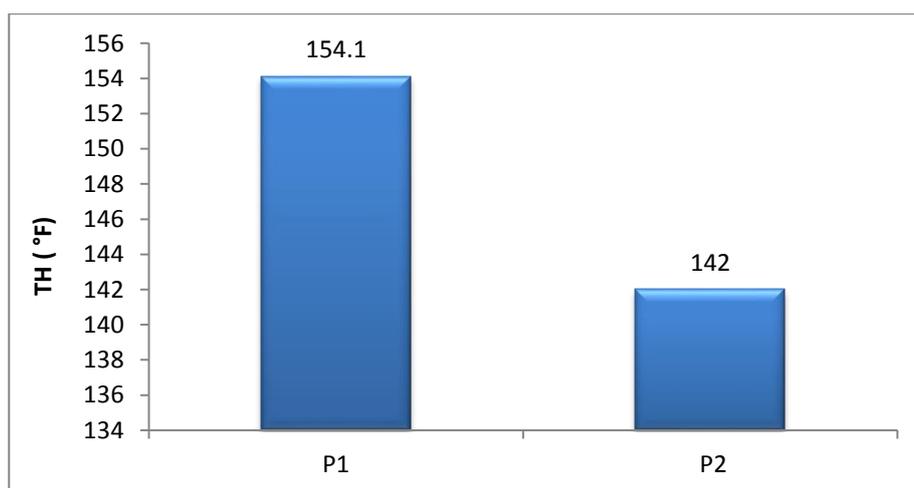


**Figure N°27: Résultats des analyses TAC d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

D'après la figure 27, on remarque quelles valeurs de TAC varient entre 18,1°F pour le premier prélèvement (période de février); et 34,55°F pour le deuxième prélèvement (période d'avril). Ces valeurs de TAC dans l'eau étudiée sont conformes aux normes algériennes (500°F).

### I.2.13. La dureté de l'eau (TH)

La dureté totale d'une eau est la concentration totale en ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ ; les eaux sont acceptables jusqu'à 500°F. Mais si elles dépassent 600°F, leur utilisation est extrêmement difficile et leur adoucissement doit être envisagé. (Si Youcef S, 2015).



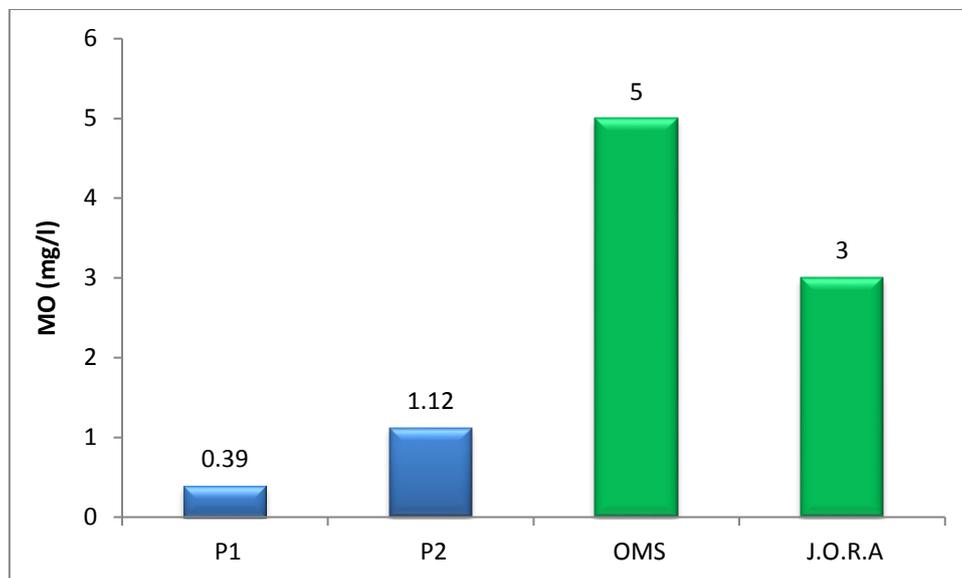
**Figure N°28: Histogramme es résultats des analyses TH d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

Les résultats obtenus montrent que la dureté totale atteint la valeur maximale au niveau du premier prélèvement (P1) avec 154,1°F, et la valeur minimale enregistrée au niveau de deuxième prélèvement (P2) avec 142°F.

#### I.2.14. Matière organique (MO)

La présence dans une eau souterraine de MO constitue un milieu nutritif favorable au développement des microorganismes, notamment pathogènes.

La matière organique est la cause du mauvais goût, une teneur élevée de MO devra toujours suspecter une contamination microbienne. La décomposition de cette MO libère des matières nuisibles qui contaminent l'eau.



**Figure N°29: Résultats des analyses de la matière organique d'eau thermo-minérale de hammam Serguine.**

D'après les résultats obtenus qui sont représentés dans la figure ci-dessus nous n'observons que les valeurs trouvées pour l'oxydabilité de MO au  $\text{KMnO}_4$  varient entre 0,39 et 1,12 mg/l. Donc les deux valeurs sont inférieures aux normes algériennes décrites de l'ordre de 3mg/l et aux normes admises par l'OMS qui fixe une valeur de 5mg/l.

#### I.3. Diagramme de Piper

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet une classification et une comparaison facile des eaux.

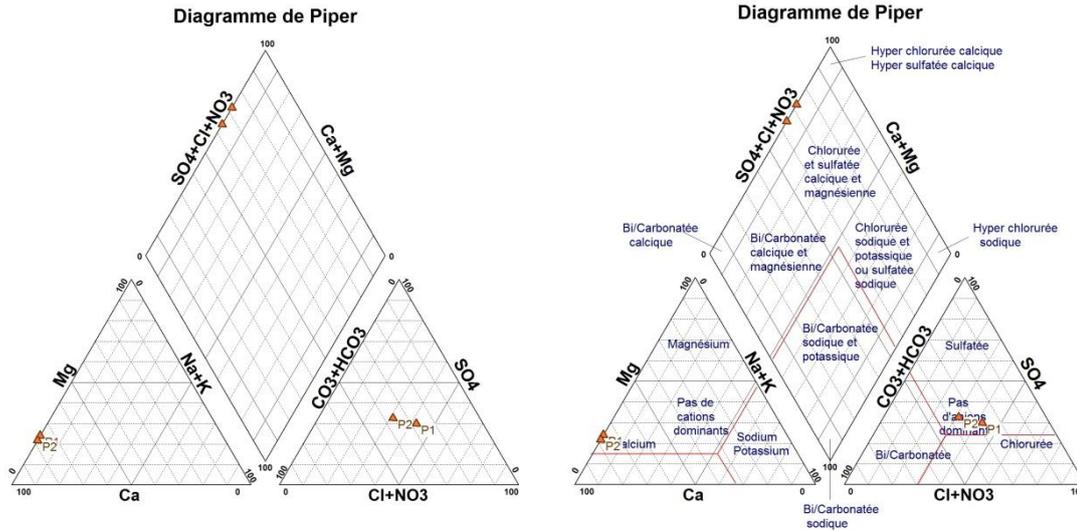


Figure N°30: Diagramme de Piper.

Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction pourcent de chaque ion par rapport à la somme des ions de même signe, ainsi dans chaque triangle, nous obtenons un point indiquant la dominance d'un cation ou d'un anion.

Les deux parallèles supportant ces deux points se recoupent en un point unique dans le losange représentatif de la nature et du faciès chimique de l'eau.

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de Piper (figure 30), nous constatons que l'eau analysée se situe dans la partie supérieure du losange de Piper avec la présence d'un seul faciès chimique qu'est le faciès Chloruré, Sulfaté, calcique et magnésienne.

# Conclusion Générale

## Conclusion générale

L'eau est un élément de préservation de la santé de l'homme mais aussi le véhicule le plus commun et le plus important de la transmission des maladies en plus de son importance sur le plan d'hygiène de la salubrité, l'eau est une ressource naturelle vitale pour le bien être de l'homme.

Notre travail porte sur les analyses physico-chimiques de l'eau du hammam Sergine et leur conformité avec le Journal Officiel de la République Algériennes et de l'OMS. Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de source thermo-minérale de Hammam Serguine montrent que plusieurs paramètres sont conformes aux normes admises par l'OMS et J.O.R.A sauf pour quelques paramètres tels que la température qui varie entre 37,8 et 38,8°C est supérieur aux normes admises qui sont 25°C, une teneur en azote ammoniacal 0,59 enregistrés dans le deuxième prélèvement, et une teneur de 345,5 mg/l pour les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) qui ne répondent pas aux normes de potabilité admises.

D'après les résultats obtenus, l'eau de cette source est polluée et elle n'est pas de bonne qualité physico-chimique comparativement aux normes nationales et internationales des eaux potables. Nous concluons que les eaux thermo-minérales de hammam Serguine ne doivent être utilisées pour la production de l'eau potable qu'après un traitement et peut être utilisées comme eau thermale de baignade, c'est un remède contre plusieurs maladies et affections. Cette eau doit donc répondre aux caractéristiques particulières de qualité physico-chimique, microbiologique et de sécurité exigées pour tout produit à usage thérapeutique.

Il est important de dire que ce travail doit se poursuivre dans le temps et l'étendre à l'ensemble de la région de Ksar Chellala pour avoir une base des données fiables des eaux de la région.

# Références Bibliographiques

## Références Bibliographiques

**ADE** : Algérie des eaux – Tiaret

**Annales de Mine, 1961.** Nomenclatures des sources d'eaux minérales françaises.

**Ayad, A, 1997.** Eude hydrologique de la plaine de Ksar Challala. Ingénieur en chef hydrologique.

**Bekkouche M, 2009** : Caractéristiques des sources thermales de la région D'azzaba. MémIng.UNV. Badji Mokhtar-Annaba.

**Belhadj M, 2006.** Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba commune de Bekkouche Lakhdar wilaya de Skikda. MémIng. UNV du colonel Labidi Mohammed Tahar dit El Hadj-Lakhdar-Batna.

**Bennana M, 2013** : Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi Ben Abdellah, MémIng. Unv Kasdi Marbah Ouargla.

**Boubekour H, 2014** : Qualité physico-chimique de l'eau des salée et traite par la station de dessalement de l'eau de mer de souk tlata. MémIng. Unv. Abou BekrBelkaid Tlemcen.

**Castany. G, 1967.**Traité pratique des eaux souterraines, Ed Dunod, Paris, France.

**Castany.T 1982** : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Édition BORDAS. P89.

**Chapman D., Kimstach V, 1996.**Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and waterin environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FNSpon, London, pp. 59-126.

**Chaussade.J et Mestrallet.G, 2005** : Mémento technique de l'eau, Tome 01, 2ème Edition, Dégrémont.

**Defrancheschi., 1996.** L'eau dans tous ses états, Édition ELLIPSES.

**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 Benin. Thèse de doctorat en Sciences de la santé publique. Ecole de santé publique. Université Librede Bruxelles (ULB).

**Degrement, 1978.** Mémento technique de l'eau, Tome 1, Édition TEC et DOC, pp3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 18

**Gaid A, 1984.** Epuration biologique des eaux usées urbaines, Tome 1. Édition office des publications universitaires, pp5, 22, 23, 24, 16, 20.

**Gaujous D, 1993.** La pollution de milieu aquatique. Edition technique et documentations. Lavoisier. Paris.

**Gomilla, 1980.** La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Edition Eyrolles, Paris.

**Haslay C et Leclerc H, 1993.** Microbiologie des eaux d'alimentation, Lavoisier Édition.

**INSID** : Institut national des Sols, de l'irrigation et du Drainage. De Ksar Chellala.

- Issaadi A, 1992.** Le thermalisme dans son cadre géostructural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de Doctorat d'état. IST. USTHB. Alger. 274 pages.
- Kollar E, 2004.** Traitement des pollutions industrielles, Ed Dunod, 424p.
- Lagnika M., Moudachirou I., Jean-Pierre C., Valentin D. et Nestor G. 2014.** Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobé (Bénin, Afrique de l'Ouest). Journal of Applied Biosciences 79 : 6887-6897. ISSN1997-5902.
- Launay (de), 1899.** Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales. Origine des eaux thermo-minérales, géologie. Propriétés physiques et chimiques. Baudry édit. Paris.
- Lepeltier S., 2005.** Un bon état écologique des eaux.
- Mekakia, 2001.** Pollution de l'eau des sous bassin versant d'Oued Mina. Mémoire de Magister.
- Mickael S., Boniface Y., Honoré S., Bankolé R. et Henri S., 2010.** Impacts des déchets de l'abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique. J.Soc. Ouest-Afr. Chim. (2010) 030, 79-91.
- Nechem D, 2009.** Qualité des eaux des sources thermale cas des sources du djebel Safia (HadjarSoud), Nord Est Algérien. MémIng. Unv Badji Mokhtar-Annaba.
- Office International de l'eau, 2006.** Eau potable; les filières de traitement.
- Ohayon Courtes C. 1992.** L'évolution des espèces réduites du soufre dans les eaux minérales. Cas des eaux sulfurées sodiques. Thèse sciences pharmaceutiques, Université de Bordeaux II, n° 1, 319 p.
- OMS, 2000.** Guide pratique pour l'eau potable et l'assainissement rural et urbain.
- OMS, 2004.** Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres -mise à jour de novembre 2004. Genève.
- popoff G. 1992.** Les bonnes pratiques de L'exploitation des eaux minérales dans un établissement thermal. Press. **Therm. Clim, 129, n° 3, p. 192e201.**
- Orstom, 1976.** Géologie et géochimie des sources thermo-minérale du cameroun l'université de Paris VI
- Popoff G., Honegger J.L. 1990.** Les eaux minérales et les matériaux en contact. Hydrogéologie, 4, p. 233°240.
- Ramade F, 1998.** Dictionnaire encyclopédie que des sciences de l'eau, Édition EDISCIENCE international.
- Raymond D 1997 :** le traitement des eaux, Édition de l'École Polytechnique de Montréal, p3, 4, 6.
- Rodier J, 2005.** L'analyse de l'eau, 8ème édition. Dundod, Paris.

**Santé et Bien-être social Canada. 1982.** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada 1978. Pièces à l'appui. Approvisionnement et Services Canada, Hull.

**Sarri F., 2002.** Etude physico chimique des eaux de la région de Serguine. MémIng. Ibn khaldoun. Tiaret.

**Schoeller H, 1962.** Les eaux souterraines hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources. Edit. Masson. Paris. 642 pages.

**Si youcef S, 2015 :** Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux de source et de robinet de la Commune de Ksar Chellala-Tiaret. MémIng. Université Ibn Khaldoun de Tiaret

**Soltner, D., 1984.** Les bases de la production végétale. Tomme II, le Climat. Collection sciences et techniques agricoles.

**Tadje F, Taleb M, 2015 :** Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux de Tousnina (Lejdar).MémIng. Université Ibn Khaldun –TIARET-

**Terchoune M, 2015 :** Développement d'indicateurs biologiques de caractérisation de qualité des sols dans un écosystème cas de la région de "Ksar Chellala". MémIng. Université Ibn Khaldun –Tiaret-

**Tisserand E. 199.** Étude des composés soufrés. Application aux eaux minérales dLEnghieneleseBains. Press. Therm. Clim, 135, 4, p. 215e256.

### Annexe 01 : Analyses physico-chimiques

**Tableau N°01 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau des trois stations étudiées.**

Station/Période Paramètre	Hammam Serguine	
	Février	Avril
T (°C)	37,8	38,8
PH	6,83	6,83
CE (µS/cm)	651	657
TDS (mg/l)	417	420
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	18,1	34 ,55
TH (°F)	154,1	142
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	181	345,5
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	430	435,12
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	82,4	72,91
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	149,8	173,52
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	152,64	245,72
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	15,17	0,02
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,02	0,02
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,02	0,59
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	0,02	0,02
MO (mg/l)	0,39	1,12
OXD	2,24	0,2

## Annexe 02 : Les Normes de l'eau potable.

Les normes représentées dans les tableaux suivant selon OMS, 2000 et J.O.R.A, 2006.

**Tableau N° 02 : Les normes des caractéristiques physiques.**

Caractéristiques	Les normes	
	OMS (2000)	J.O.R.A (2006)
T°C	< 25	< 25
pH	6.5< pH <8.5	6.5< pH <8.5
CE (µS/cm)	2000	< 2800
TDS (mg/l)	1000	-

**Tableau N° 02 : Les normes des substances chimiques.**

Substances	Les normes	
	OMS (2000)	J.O.R.A (2006)
Calcium Ca <sup>++</sup>	200 mg/l	75 à 200mg/l
Magnésium Mg <sup>++</sup>	150 mg/l	150mg/l
Chlorure Cl <sup>-</sup>	300mg/l	200 à 500mg/l
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	300mg/l	300 mg/l
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	400 mg/l	200à 400mg/l
Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0.1mg/l	0.1 mg/l
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50mg/l	50mg/l
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.5mg/l	0.5 mg/l
Matière organique (M.O)	5 mg/l	3 mg/l
TAC (°F)	-	500

Photos prises par Boughari Sabah et Marouf Ghania ( Le 14 février et le 12 avril / 2017).



Figure 04 : Site Hammam Serguine



Figure 05 : GPS Utilisé pour le positionnement





**Appareil multiparamètres de terrain**



**Oxymètre HANNA (IH2400)**



**Agitateur + plaque chauffante.**



**Etuve : Binder (Germany)**



**spectrophotométrie (uv-visible)**



**Balance.**

## **Résumé :**

L'eau thermo-minérale provient des profondeurs de la terre, ce qui explique à la fois sa thermalité naturelle et sa composition physico-chimique particulière. L'objectif de notre travail est l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux thermo-minérales de Hammam Serguine dans la région Ksar Chellala. Cette étude a envisagé d'effectuer des analyses physico-chimiques pour mettre en évidence les paramètres qui déterminent la qualité de l'eau.

Les résultats ont montré que tous les paramètres physico-chimiques ne répondent pas aux normes de l'OMS et algériennes de potabilité en vigueur. Les eaux de sources thermo-minérales de Hammam Serguine, dont les compositions varient selon les stations thermales, sont utilisées pour réaliser certains soins en raison de leurs propriétés physico-chimiques reconnues comme étant favorables à la santé. La station thermale de Serguine est considérée comme complexe touristique et il est classé parmi la meilleure station naturelle et le seul au niveau dans la wilaya de Tiaret, sa température est de 38,8°C en plus ses eaux sont utilisées pour soigner naturellement certaines maladies chroniques, maladies de peaux et de rhumatisme.

**Mots clés :** Eaux souterraines, thermo-minérale, qualité, pollution, Hammam Srguine.

## **ملخص :**

المياه المعدنية الحارة تأتي من أعماق الأرض و هذا ما يفسر حرارتها الطبيعية و تركيبها الفيزيوكيميائية الخاصة.الهدف من عملنا هذا هو تقييم الجودة الفيزيوكيميائية للمياه المعدنية الحارة الموجودة في حمام سرغين بمنطقة قصر الشلالة.هذه الدراسة مكنت بالقيام بتحليل الفيزيوكيميائية من اجل توضيح المعايير التي تحدد جودة الماء.

كشفت النتائج أن جميع المعايير الفيزيوكيميائية لا تتطابق مع شروط المنظمة العالمية للصحة و المعايير الجزائرية لمياه الشرب المتفق عليها. مياه المنابع الحارة المعدنية لحمام سرغين والتي مكوناتها تختلف حسب المحطات الحرارية، تستعمل في بعض العلاجات وذلك لخصائصها الفيزيوكيميائية المعروفة بأنها مفيدة للصحة. المحطة الحرارية سرغين تعتبر مركبا سياحيا و تصنف من بين أفضل المحطات و الوحيدة على مستوى تيارت حرارتها تصل إلى 38 درجة مئوية بالإضافة إلى أن مياهها علاجا لبعض الأمراض المزمنة، الأمراض الجلدية و الروماتيزم.

**الكلمات المفتاحية:** المياه الباطنية، حرارة معدنية، الجودة، التلوث، حمام سرغين.