

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Scientifique

Université de Tissemsilt

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master  
académique en

Filière : **Ecologie et environnement**

Spécialité : **Protection des écosystèmes**

Présenté par : **SAADI FADHILA**  
**MILIANI Zoulikha**

**Thème**

---

**Contribution à l'étude de l'indice de la qualité des  
sources artésiennes de la commune de tissemsilt**

---

Soutenu le, 26/06/2022

**Devant le Jury :**

|                     |              |          |                 |
|---------------------|--------------|----------|-----------------|
| Mr. BENZOHRA NADJIB | Président    | M.A.A    | Univ-Tissemsilt |
| Mr. ARDJANE T.E- A  | Encadrant    | M.A.A.   | Univ-Tissemsilt |
| Mr. ZAMOUR HAFID    | Co-Encadrant | Doctrant | Univ-Tissemsilt |
| Mr. FELLAH SAHNOUN  | Examineur    | M.C.B    | Univ-Tissemsilt |



## *Remerciements*



Nous remercions tout d'abord le grand DIEU qui nous a donné la foi et le courage d'accomplir notre cursus et d'achever ce modeste travail. Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur, Monsieur Dr : **ARDJANE TEDJ DINE ADDA** et ce promoteur **MR ZEMOUR HAFIDH**, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance. Qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.

Nous voudrions également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Nous tenons aussi à remercier les responsables de Laboratoire de faculté surtout **MR AFER MOHAMED** leurs aides et disponibilité de laboratoire de l'Algérienne des eaux (ADE) de Tissemsilt surtout M. **Hawari Djete** et **Madame Linda**



Nos vifs remerciements à tous les enseignants du Département des sciences de la nature et la vie Surtout **Dr ZEMOUR KAMEL**.

En fin, nous remercions toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail

## Dédicaces

Je remercie tout d'abord, Allah, le tout puissant et clément de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Je dédie ensuite A :

A celle qui attendue avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a tout donné, qui a toujours été là pour moi, a celle qui tient le paradis sous ses pieds,

A mon ange « **Ma mère** » que Dieu te donne santé et langue vie.

Au meilleur guide dans ma vie et qui n'a jamais cessé de m'encourager, A ma fierté et mon honneur : « **Mon Père** »

Je dédie également à tous ceux qui m'aiment et spécialement à mes adorables

A ma très chère sœur : **Siham** et mon très chère frères **Mouloud** et **Fouad**

Atout mes neveux et nièces : **Mohamed Rayan. Idriss Farah**

A très chère **ma grande mère** et **mon grand père**

A mes chères : mon oncle **Omar** et sa famille et ma tante **Djamila**

A mes très chères cousines : **Hayat. Salma Bisma. Faten**

A ma chérie binôme : **Fadila** et sa famille

A tous mes amis surtout **Sara sarbis** et la promo protection des écosystèmes

Et toute la famille **Miliani et derkaoui** surtout **khelifa**

*Zoulikha*

## *Dédicaces*

Je remercie tout d'abord, Allah, le tout puissant et clément de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Je dédie ;

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien, et leur prière tout au long de mes études.

A mes très chères sœurs : **Fatima** et **Imane** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A mes frères: **Mohamed** et **Youcef**

A ma nièce : **ranim**

A mon fiancé : **Djalal** pour votre soutien et vos encouragements

A mon cher oncle : **Daoud**

A mes très chères cousines : **Fatima, Bouchra, douaa, israa**

A ma chérie binôme : **zoulikha** et sa famille

A tous mes amis de la promo protection des écosystèmes

Et tout la famille **Saadi** et **hallal**

*Fadhila*

## الملخص

تشكل المياه من الينابيع في منطقة تيسمسيلت مصدراً هاماً لمياه الشرب لسكان بلدية تيسمسيلت (ولاية تيسمسيلت). وتحققاً لهذه الغاية، يتمثل العمل الحالي في إجراء دراسة نوعية وكمية من وجهة النظر الفيزيائية الكيميائية لمياه المصادر استناداً إلى التسميات الجزائرية لصلاحية مياه الشرب والأنظمة المعمول بها لضمان صحة المستهلك ورفاهه. تقارن هذه الدراسة 16 مصدرًا للمياه من نطاقات ارتفاعية مختلفة.

الهدف من هذا العمل هو دراسة نوعية المياه الجوفية المحترمة في منطقة تيسمسيلت. ولهذا الغرض، فإننا نستند إلى قياسات وتحليلات فيزيائية - كيميائية للمياه الجوفية في هذه المنطقة، تقوم بها خدمات شركة المياه الجزائرية. سمح لنا ذلك بتوصيف كيميائياً هذه المياه الجوفية لاستخدامها في إمدادات مياه الشرب والري، بأصلها.

تم إجراء هذه الدراسة من خلال استبطان نتائج التحليلات الكيميائية لعينات المياه المأخوذة (16 بئرًا خلال عام 2022)، باستخدام الرسوم البيانية الكيميائية (بايير، شولر، ستيف، ويلكوكس) باستخدام برنامج الكيمياء الجيولوجية الهيدروجينية (DIAGRAMMES) وتطبيق التحليلات الإحصائية من قبل الرئسيين.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الجودة، تيسمسيلت، العناصر الأساسية

## RESUMÉ

L'eau des Sources de la région de Tissemsilt représentent une ressource importante pour l'alimentation en eau potable pour les habitants de la commune de Tissemsilt. A cet effet, le présent travail consiste à effectuer une étude qualitative et quantitative du point de vue physicochimique de l'eau des sources en se basant sur les normes algériens de potabilité des eaux de consommation et la réglementation en vigueur, ceci pour assurer la santé et le bien-être du consommateur. Cette étude consiste à la comparaison entre 16 sources d'eau de tranches altitudinales différentes.

L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité des différent eaux souterraines de la région de Tissemsilt. A cet effet, nous avons basés sur des mesures et des analyses physico- chimiques des eaux souterraines de cette région, effectués par les services de la société de l'Algérienne des eaux (ADE). Ce qui nous a permis de caractériser le chimisme de ces eaux souterraines en vue de leur utilisation dans l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation, avec leur origine.

Cette étude a été réalisée par l'introspection des résultats des analyses chimiques des échantillons d'eau prélevés (16 forages durant l'année 2022), en utilisant les diagrammes chimiques (**piper, Schoeller, Stiff, wilcox**) à l'aide de logiciel d'Hydrogéochimie et l'application des analyses statistiques par les méthodes de l'Analyse en Composante Principale (ACP), à l'aide du logiciel statistique XLSTAT 7(2021

## **Les morts clés ; les eaux souterraines, qualité, tissemsilt , les éléments majeur**

### ***Abstract***

Water sources Tissemsilt represent an important resource pour l'alimentation drinking water for people beyond common Tissemsilt. To this end, the present work is to conduct a qualitative and quantitative study of physicochemical point of view of the sources of water based on the Algerian standards of potability of drinking water and effective regulation, this to ensure health and well-being of the consumer. This study consists in comparing four water sources in different altitudinal ranges.

The objective of this work is study of the quality of the deferential underground waters of the region of Tissemsilt. To this end, we are based on measurements to the physic-chemical analyzed of groundwater in this region, carried out by the service of the Algerian water company (ADE). This made it possible to characterize the chemistry of this groundwater for use in the supply of drinking and irrigation, with their origin.

This study carried out by introspecting the results of the chemical analyzes of the water Samples taken (16 drilling during the year of 2022) using chemical diagrammes (piper, scholler, Wilcox) using Avignon Hydrogeochemistry software (Diagrammes) and the application Of statistical analyses by the Principal Component Analyses (PCA) method, using the XLSTAT 7 2021 statistical softwar

**Groundwater, quality, tissemsilt, majour éléments**

# Table des matières

|  |      |
|--|------|
| Dédicaces.....   | i    |
| Remerciement.....  | iii  |
| Résumé.....  | iv   |
| Table des matières.....  | vii  |
| Liste des figures.....   | x    |
| Liste des tableaux .....   | xii  |
| Liste des abréviations.....                                      | xiii |
| Introduction générale .....                                      | 1    |
| Problématique.....   | 3    |
| Chapitre I. Généralités sur les eaux.....                        | 4    |
| 1. La répartition de l'eau dans le Monde.....                    | 4    |
| 2. Ressources de l'eau en Algérie.....                           | 5    |
| 3. Situation de l'eau en Tissemsilt.....                         | 6    |
| 4. Importance et rôle de l'eau.....                              | 6    |
| 5. Structure de la molécule d'eau.....                           | 6    |
| 6. Origine de l'eau.....   | 7    |
| 7. Propriétés de l'eau.....                                      | 7    |
| 8. Différentes sources d'approvisionnement en eau.....           | 8    |
| Eaux pluie .....   | 8    |
| Eaux de surface.....   | 8    |
| Eaux de mer.....   | 9    |
| Les nappes souterraines.....                                     | 9    |
| 9. Caractéristiques générales des eaux souterraines.....         | 9    |
| 10. Normes de potabilité des eaux souterraines.....              | 10   |
| 11. LES CAPTAGES D'EAU SOUTERRAINE .....                         | 10   |
| 1. Les puits .....   | 10   |
| 2. Les forages .....   | 11   |
| 3. Les sources .....   | 11   |
| Chapitre II : Les paramètres globaux de la qualité des eaux..... | 12   |
| 1. Caractères organoleptiques.....                               | 12   |

|  |    |
|--|----|
| ➤ Couleur.....   | 12 |
| ➤ Odeur et saveur.....   | 12 |
| 2. Paramètres physico-chimiques .....  | 13 |
| ➤ La température .....   | 13 |
| ➤ Le potentiel hydrogène pH .....  | 13 |
| ➤ La conductivité électrique .....   | 13 |
| ➤ La turbidité .....   | 14 |
| ➤ La salinité .....  | 14 |
| ➤ L'ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....  | 14 |
| ➤ Les nitrites (NO <sub>2</sub> ) et les nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )..... | 15 |
| ➤ Les phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) .....                                 | 15 |
| 3. Les paramètres microbiologiques.....  | 15 |
| 4. Indice de la Qualité de l'Eau .....   | 16 |
| <br>   |    |
| Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.....                                    | 19 |
| 1. Situation d'Alger.....  | 19 |
| 2. Situation de la wilaya de Tissemsilt .....  | 19 |
| 1. Situation Géographique.....   | 19 |
| 2. Situation géologique.....   | 21 |
| 3. Description de milieu physique.....   | 22 |
| 1. HYDROGRAPHIE.....   | 22 |
| 2. Relief.....   | 22 |
| 4. VEGETATION.....   | 24 |
| 5. Climat .....  | 24 |
| ➤ Précipitation.....   | 24 |
| ➤ Température .....  | 25 |
| ➤ La neige .....   | 26 |
| ➤ Les vents .....  | 26 |
| ➤ Synthèse climatique .....  | 26 |
| <br>   |    |
| Chapitre IV : Étude Hydrochimique.....   | 28 |
| 1. Objet de travail.....   | 28 |
| 2. Echantillonnage.....  | 28 |
| 3. Matériels et méthodes .....   | 29 |
| 4. Les analyses physico-chimiques .....  | 32 |

|   |    |
|---|----|
| 1. Le pH.....   | 32 |
| 2. Mesure de la conductivité électrique .....   | 34 |
| 3.TURBIDITE.....  | 36 |
| • Détermination de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ).....                            | 36 |
| • Détermination des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).....                                     | 37 |
| • Détermination des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) Méthode au salicylate de sodium.....     | 38 |
| • Détermination du calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et du magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )..... | 40 |
| • Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme .....                     | 43 |
| • Préparation des étalons .....   | 44 |
| • Détermination des chlorures ( $\text{Cl}^-$ ).....                                      | 45 |
| • Détermination des Sulfates( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....                                   | 47 |
| • Détermination de l'alcalinité( $\text{HCO}_3^-$ ).....                                  | 48 |
| • Application de l'ACP .....  | 49 |
| Étude la cercle de L'ACP .....  | 53 |
| Étude des variables .....   | 54 |
| Étude hydro chimique .....  | 54 |
| Facies hydro chimique .....   | 54 |
| Interprétation des diagrammes d'analyse d'eau .....                                       | 54 |
| Indice de la qualité des eaux (IQE).....  | 58 |
| Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE).....   | 58 |
| Conclusion générale.....  | 63 |
| Bibliographie .....   | 65 |
| Annexes .....   | 67 |

# Liste des figures

- Figure N°01: Récapitulatif de la répartition de l'eau dans le Monde (**Observatoire régional de l'environnement 2014**)
- Figure N°02 : Structure angulaire de la molécule d'eau. (**Ramade, 1998**)
- Figure N°03 : Situation générale de wilaya de Tissemsilt(**anonyme 2010**)
- Figure N°04 : Carte de situation général de wilaya de Tissemsilt
- Figure N°05 : Carte géologie de la wilaya de Tissemsilt(**DET 2019**)
- Figure N°06 : Carte réseau hydrographique de wilaya de Tissemsilt(**DET 2019**)
- Figure N°07 : Carte altimétrique de la wilaya de Tissemsilt.(**BENDER 1997**)
- Figure N°08 : évolution des moyennes des précipitations annuelles (**1976\_2006**)
- Figure N°09 : ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la Compagne 2015/2016
- Figure N°10 : source de Ghahfor daya
- Figure N°11 : source de Ouatouat
- Figure N°12 : source d'Ain karma
- Figure N°13 : source d'Ain Sefa
- Figure N°14 : Carte de localisation des sources d'eau dans la wilaya de Tissemsilt
- Figure N°15 : PH Mètre
- Figure N°16 : Conductimètre
- Figure N°17 : Multi paramètre
- Figure N°18 : Turbidimètre HACH TL2300
- Figure N°19 : dosage de nitrites
- Figure N°20 : dosage de nitrates
- Figure N°21 : dosage de nitrates
- Figure N°22 : dosage du calcium
- Figure N°23 : dosage du magnésium
- Figure N°24 : Dosage de sodium par photométrie de la flamme
- Figure N°25 : dosage du chlorure
- Figure N°26 : dosage des Sulfates
- Figure N°27 : Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres physico chimiques des sources

Figure N°28 : L'ACP des paramètres physico chimiques des sources sur les plans factoriels (F1-F2)

Figure N°29 : L'ACP des paramètres physico chimiques des variables de sources sur les plans factoriels (F1-F2).

Figure N°30 : L'interprétation du diagramme de GIBS

Figure N°31 : Interprétation par diagramme triangulaire "Piper"

Figure N°32 : Interprétation par diagramme triangulaire "Piper"

Figure N°33 : Diagramme de Wilcox

Figure N°34 : La carte de l'indice de la qualité des eaux de la commune de Tissemsilt

# Liste des tableaux

Tableau N°01 : Les poids attribués aux différents paramètres physico-chimiques

Tableau N° 02 : Classification de l'eau selon l'IQE

Tableau N° 03 : Coefficients de répartition mensuelle pour la station de Tissemsilt (2000-2012).

Tableau N°04 : répartition mensuelle de la température

Tableau N°05 : répartition mensuelle des vents (Source D.H.W.T) 2012

Tableau N° 06 : Répartition des points de prélèvement de la zone d'étude.

Tableau N° 07 : Valeurs propre de la matrice de corrélation des paramètres physico-chimique

Tableau N° 08 ; Matrice de corrélation (ACP) entre les sources.

Tableau N° 09 Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE.

Tableau N° 10 : Poids des paramètres physico-chimiques et norme algérienne de qualité des eaux (Norme Marocaine de qualité des eaux, 2011.

Tableau N° 11 : Poids des paramètres physico-chimiques et norme algérienne de qualité des eaux (Norme Marocaine de qualité des eaux, 2011.

Tableau N° 12 : Valeurs de l'indice IQE et classe de qualité des sources artésiennes de la commune de tissemsilt

# Liste des abréviations

|                    |  |
|--------------------|--|
| MES                | Matière en suspension (mg/L)                       |
| Mg/L               | Milligramme par litre                              |
| Mg                 | milligramme  |
| NTU                | Unité Néphélométrique de Turbidité                 |
| $\mu\text{S/cm}$   | Micro Siemens par centimètre                       |
| RS                 | Résidu sec (mg/L)                                  |
| PH                 | Potentiel d'hydrogène                              |
| %                  | Pourcentage  |
| $^{\circ}\text{C}$ | Degré Celsius                                      |
| ADE                | Algérienne des Eaux                                |
| CE                 | Conductivité                                       |
| L                  | Litres   |
| MO                 | Matière oxydable                                   |
| NH <sub>4</sub>    | Ammonium   |
| NO <sub>2</sub>    | Nitrates   |
| NO <sub>3</sub>    | Nitrites   |
| T                  | Température  |
| V                  | Volume   |
| Mm                 | Micro mètre  |
| F                  | Facteur de correction du titre d'AgNO <sub>3</sub> |
| $^{\circ}\text{F}$ | Degré français                                     |
| N                  | Normalité  |
| EDTA               | Acide éthylène diamine tétra-acétique              |
| IQE                | L'indice de qualité de l'eau                       |

# Introduction Générale

# *Introduction générale*

---

L'eau est l'élément essentiel sur notre planète, car elle entretient la vie sur terre. Pour l'homme, l'eau destinée à la consommation constitue un élément fondamental pour les processus industriels comme l'agroalimentaire notamment préparation des jus et autres.

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

- Les eaux souterraines (les puits, les sources) difficiles d'exploiter car elles ne sont pas accessibles. Elles ont leur origine dans les eaux superficielles qui filtrent à travers les différentes couches de la terre et passent à la nappe aquifère, ce système de filtration naturelle permet que l'eau soit purifiée.
- Les eaux superficielles (lacs, rivière, barrage), se trouvent exposées à l'environnement et pour ceci elles sont susceptibles de pollution, donc malgré l'importance de l'eau, elle peut être source de maladies dites hydriques causées par les bactéries, les virus ou les parasites, c'est pourquoi un des objectifs majeurs de traitement de l'eau est de pouvoir fournir aux consommateurs une eau saine du point de vue microbiologique.

En effet, l'eau potable en Algérie provient soit de sources souterraines, soit d'eaux de surface. La plupart des algériens consomment de l'eau potable qui leur est fournie par des réseaux publics de distribution qui doivent satisfaire à des exigences de qualité fixées par des normes nationales. L'ensemble des efforts nationaux pour l'alimentation de la population en eau potable a permis d'atteindre un taux de raccordement des foyers à l'eau potable de 93% en 2008 alors qu'il était de 78% en 1999 et de 92% en 2007 (**Rouissat, 2010**).

Afin d'être reconnue comme potable, l'eau doit être impérativement purifiée ; elle doit répondre à un grand nombre de critères et de normes. Donc, l'amélioration de la qualité de l'eau nécessite principalement un procédé de filtration afin d'être consommable.

Le contrôle de la qualité et la surveillance de la conformité des eaux de sources des régions à faible approvisionnement en eau potable, dont la presque totalité de l'eau de consommation provient des sources naturelles, est une activité fondamentale de prévention, il est même d'un

intérêt stratégique pour la protection de la santé de la population consommatrice. Pour cela, l'eau doit faire l'objet de nombreux contrôles physico chimiques et bactériologiques.

Les analyses de l'eau présentent une étape très importante du programme de surveillance et de contrôle de la qualité, parce qu'elles permettent distinguer et de mesurer les différents paramètres physico-chimiques.

Notre travail s'intéresse spécialement à l'étude de la qualité d'une eau de seize sources différentes de la région de Tissemsilt.

Cette étude est structurée en deux parties :

- ✓ Une partie bibliographie comporte deux chapitres, Le premier rappellera quelques généralités sur les eaux naturelles, le deuxième chapitre s'intéresse aux paramètres de qualité d'une eau potable.
- ✓ Quant à la partie expérimentale, elle est subdivisée en trois chapitres, le premier est consacré à la présentation de la région d'étude, le deuxième est consacré à la présentation des matériels et méthodes utilisées, et le troisième a pour objet de l'évaluation, comparaison, l'interprétation et la discussion des résultats des principaux paramètres physico-chimiques et de la qualité de l'eau.

Enfin, notre travail se termine par une conclusion et des perspectives à venir

# *P*roblématique

---

La qualité des eaux dans l'Algérie a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation Intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification Chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités. De nombreux travaux se sont Aussi rapportées sur l'étude des différents effets de l'utilisation Intensive des engrais chimiques sur l'évolution De la qualité et la pollution des eaux.

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables.

**Quelle sont les paramètres physicochimiques et les caractéristiques de l'eau  
Dans la zone Tissemsilt ?**

# Chapitre I

*Généralités sur les eaux*

# Chapitre I : Généralités sur les eaux

---

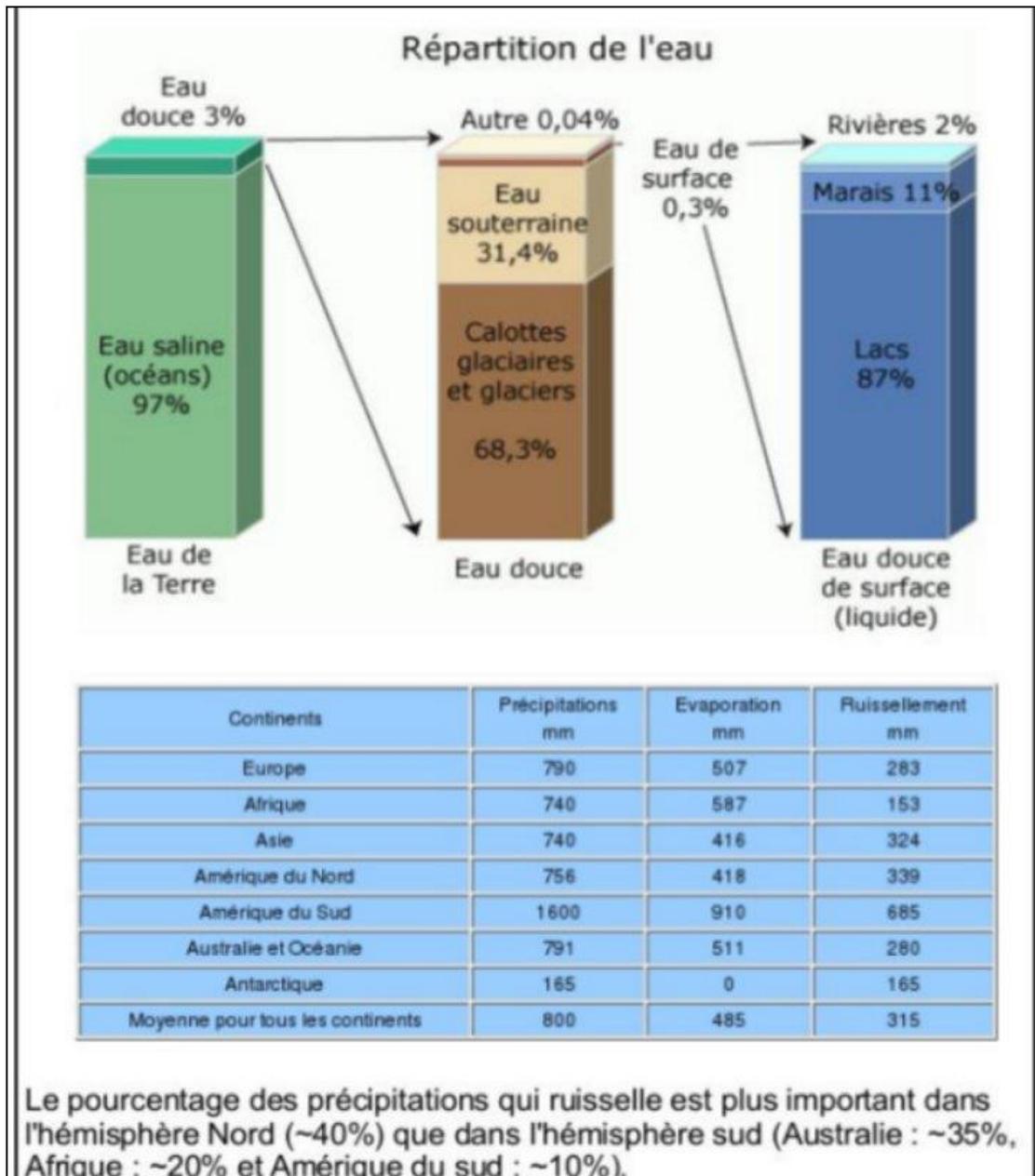
## 1. La répartition de l'eau dans le Monde

Au cours des siècles passés, les utilisations humaines de l'eau n'ont eu aucun impact sur la disponibilité en eau. Mais, avec le monde moderne, les aménagements et l'emprise de l'eau de la nature par les Hommes ont transformé le régime des eaux et troubler leurs fonctions naturelles.

L'eau recouvre 72 % de la surface du globe. Son volume total est estimé à 1400 millions de milliards de m<sup>3</sup>, ce qui représente un cube de plus de 1000 km de côté. Ce volume d'eau est stable. En 4,6 milliards d'années, il a été estimé que la quantité d'eau perdue correspond à une hauteur de 3 m sur la totalité de la surface de la Terre (**Brgm,2011**)

Si la Terre est bien la planète de l'eau, c'est avant tout la planète de l'eau salée dans les mers intérieures et les océans, mais aussi dans certaines nappes souterraines, soit 97,2 % du volume. Il ne reste donc plus que 2,8 % pour l'ensemble des eaux douces. Dans ce faible pourcentage, les glaces et les neiges permanentes représentent 2,1 % et l'eau douce disponible 0,7 %. Au final, l'homme ne peut utiliser que moins d'1 % du volume total d'eau douce présent sur Terre, soit environ 0,028 % de l'hydrosphère. Ceci englobe les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (Lacs, barrages...) et les nappes souterraines dont la faible profondeur permet l'exploitation à des coûts abordables. On évalue à 40 000 millions de km<sup>3</sup>/an, les ressources mondiales en eau continentale constituant la seule source d'eau douce renouvelable (pluie - évapotranspiration - évaporation) (**Ministère de l'écologie ,2002**).

Ce qui équivaut à 5 700 m<sup>3</sup>/hab/an. Bien entendu, la répartition géographique réelle de l'eau sur la Terre montre une réalité bien éloignée de ces moyennes, avec une surface océanique nettement plus importante au Sud qu'au Nord. Il existe en effet de grandes inégalités régionales du Nord au Sud liées aux variations de rayonnement solaire, qui ont une incidence entre les pôles et l'Equateur, et d'Est en Ouest selon les circulations. Ci-dessous, une figure récapitulative de la répartition de l'eau dans le monde entre eau douce et eau salée, et l'attribution entre les continents.



**Figure N°01 : Récapitulatif de la répartition de l'eau dans le Monde (Observatoire régional de l'environnement ,2014)**

## 2. Ressources del'eau en Algérie

La situation de l'eau en Algérie est véritablement en péril par :

- Le croisement des populations et qui est regroupé toujours dans les villes côtières.
- La désorientation et désorganisation la vie quotidienne des grandes villes.
- La régression des ressources en eau par habitant est patente. (ANE, 2004)

L'Algérie est un pays semi-aride, voire aride dont la pluviométrie moyenne annuelle Varie de 200 à 400 mm Les ressources en eau sont faibles, irrégulières et localisées dans la

Bande côtière. Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m<sup>3</sup>/an dont 12 milliards de m<sup>3</sup> dans les régions du Nord. Les ressources superficielles sont estimées à 15 milliards de m<sup>3</sup> et celles souterraines à 2 milliards de m<sup>3</sup> (Kettab, 2001). Selon Kadi (1997), la gestion de l'eau en Algérie pose un problème épineux aux Autorités. Les ressources disponibles sont en deçà des besoins. La vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux Consommateurs. La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes Internationales.

### 3. Situation de l'eau en Tissemsilt

La wilaya de Tissemsilt assure, pour vingt ans, c'est à dire jusqu'en 2030, la disponibilité de la ressource au profit des populations de ses 22 communes. (Hocine Necib, 2013)

Les réserves hydriques dont dispose la wilaya sont estimées à 38 millions de m<sup>3</sup> résultant des eaux souterraines, superficielles et retenues par les barrages. Les Capacités de stockage de ces barrages peuvent aller jusqu'à 90 millions de m<sup>3</sup>

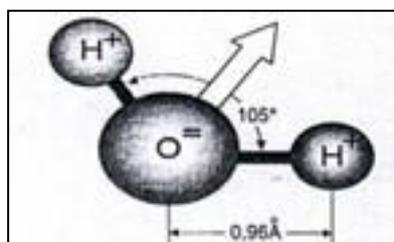
Les Principaux barrages sont le barrage de Koudiat Errosfa, le barrage Mghila, le barrage Bougarra et barrage Bou Zeguezeg. (LARBI ABID)

### 4. Importance et rôle de l'eau

L'eau a une importance considérable car d'une part, elle intervient dans la nutrition des Plantes à la fois directement en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous, d'autre part, C'est un des principaux facteurs de la pédogenèse qui conditionne la plupart des processus de Formation des sols. (Duchaufour, 1997)

### 5. Structure de la molécule d'eau

La molécule d'eau est une molécule exceptionnelle dont les propriétés particulières liées à sa nature dipolaire, ont permis la vie sur la terre. La formation de liaisons hydrogènes entre les molécules explique que, sous nos conditions de température et de pression, il existe une Phase liquide abondante sur notre planète. La molécule d'eau, de formule H<sub>2</sub>O est composée d'un atome d'oxygène et de deux Atomes d'hydrogène liés à l'atome d'oxygène par deux liaisons de covalence. Sa masse Molaire est de 18g (Schrifer Mazzouli, 2012).



**Figure N°02** : Structure angulaire de la molécule d'eau. (**Ramade, 1998**)

## 6. Origine de l'eau

Selon **Dégermant, (1989)**, les réserves disponibles d'eaux naturelles, sont constituées D'eaux souterraines, (infiltration, nappes), d'eaux de surface retenues ou écoulements (lacs, Barrage), et d'eaux de mer ...

Les eaux de surface proviennent surtout des pluies, elles sont constituées d'eaux de Ruissellement. (**Bouziati, 2000**). L'eau courante est un transporteur d'éléments dissous et de matériaux solides dont la Taille décroît de l'amont vers l'aval (**Dégermant, 1989**).

Les eaux stagnantes résultent de l'accumulation de l'eau dans une dépression naturelle Ou artificielle (marnes, lacs, étangs, et retenues) (**Dupont, 1981**) Les eaux souterraines, ou eaux profondes, sont des eaux, en circulation ou stockées, Sous la surface terrestre. Ce sont des nappes phréatiques.

Selon **Bouziati, (2000)**, les eaux de sources ne sont que l'émergence des eaux Souterraines, qui sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses. Eu Les eaux minérales sont des eaux profondes ayant des propriétés particulières, elles ont Des teneurs en minéraux et en oligo-éléments susceptibles de leur conférer les vertus Thérapeutiques et leur composition est stable dans le temps.

## 7. Propriétés de l'eau

Dans la nature, sous l'action du soleil, de la pression atmosphérique et de la température, L'eau change d'état. On peut la trouver sous trois formes :

- **État solide** : à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures Cristallines régulières.
- **État gazeux** : caractérisé par une absence de forme et de limite physique, il n'y a pas de Liaisons entre les molécules, et sont indépendantes les unes des autres.

- **État liquide** : caractérisé par une forme non définie. Les molécules peuvent se déplacer Les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces Intermoléculaires. (Marsily,1995)

## 8. Différentes sources d’approvisionnement en eau

Depuis l’Antiquité, l’Homme réalise des aménagements pour assurer l’alimentation en Eau potable et des cultures. Il ira chercher cette eau dans des différents emplacements en Utilisant plusieurs techniques.

- **Eaux pluie**

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l’alimentation humaine. Elles Sont saturées en oxygène et en azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme le sel 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 (Desjardins,1997).

- **Eaux de surface**

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines, dont l’émergence constitue une source, Soit les eaux de ruissellement (Chaussade et al, 2005). Ces eaux sont constituées par des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages Réservoirs et glaciers. Bien qu’il semble s’agir de masses d’eau bien individualisées solides ou Liquides, immobiles ou en mouvement, on ne doit pas oublier qu’elles se trouvent en contact Etroit avec le sol d’un côté et avec l’atmosphère de l’autre côté (Vilagines,2003). Les eaux de surfaces sont rarement potables sans aucun traitement. Elles sont toujours Plus ou moins polluées par divers rejets d’origine :

\*Urbaine provenant de la collecte des eaux résiduaires urbaines.

\*Industrielle parmi lesquels on trouve les polluants organiques (hydrocarbures, Solvants, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits Toxiques).

\* Agricole comme les engrais, pesticides (herbicides, insecticides, fongicides).

\* Bactériologique provenant des humaines et des animaux (Chaussade et al, 2005).

➤ **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. Elles sont caractérisées par leur concentration en Sels dissous. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 000 à 37 000 mg/L (Desjardins, 1997).

➤ **Les nappes souterraines**

Les nappes souterraines sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation Souterraine.

Une nappe peut être libre (ou phréatique si elle est suffisamment proche de la surface Pour être accessible par puits). Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux pluie. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales dans les terrains Alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La quantité de ces eaux est alors Directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière. Une nappe peut être captive si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains Imperméables. Les nappes de ce type sont les plus fréquentes et généralement profondes ;

Elles sont dites artésiennes quand ce niveau se situe au-dessous de la surface du sol (Chaussade et al, 2005).

L'eau provenant de précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la Zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les Cours d'eau) situés en aval (Myrand et al, 2003).

### **9. Caractéristiques générales des eaux souterraines**

D'après **Chaussade et al (2005)**, la nature géologique du terrain à une influence Déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. A tout instant, l'eau est en contact Avec le sol dans lequel soit elle stagne soit elle circule : Il s'établit donc un équilibre entre la Composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou Granitique sont acides et peu minéralisées, celles circulant dans des sols calcaires sont Bicarbonatées calciques.

Parmi les caractéristiques de ces eaux, il faut retenir une faible turbidité, une Température et une composition chimique constantes, absence d'oxygène. Dans le cas de Nappes en milieu fermé, principalement en circulation de type karstique, on peut cependant Relever des variations brutales dans la composition de l'eau, avec apparition de turbidité et de Pollutions diverses. Ces variations sont liées à celle du débit des nappes engendrées par les Précipitations. En outre, ces eaux sont souvent d'une grande pureté bactériologique.

### **10. Normes de potabilité des eaux souterraines**

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » et Répondant naturellement aux normes de potabilité. Lorsqu'une nappe souterraine est polluée, Il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe Sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également fixés et adsorbés sur les Roches et minéraux du sous-sol (**Chaussade et al, 2005**).

### **11. LES CAPTAGES D'EAU SOUTERRAINE**

Un captage d'eau souterraine est un dispositif de prélèvement d'eau souterraine :

- Soit à partir d'une source qui sort naturellement de terre, source naturelle ou puits Artésien.
- Soit à partir d'une nappe d'eau souterraine ou aquifère, le captage est alors un ouvrage Permettant de mobiliser l'eau gravitaire du sol.

Les ouvrages permettant de capter les eaux souterraines (points d'eau) sont généralement des Forages, des puits ou des sources.

#### **1. Les puits**

Les puits sont des ouvrages verticaux peu profonds à parois maçonnées et réalisés en gros Diamètre. Traditionnellement, ils traversent les niveaux d'altération des Formations du socle sur quelques mètres de profondeur et recourent le toit de la nappe : les Débits sont alors faibles et l'exploitation de l'eau repose sur l'effet capacitif de l'ouvrage.

Les puits sont très sensibles aux variations saisonnières : maximum de débit en hiver et Minimum en automne, climatiques : baisse marquée des niveaux des nappes en période de Sécheresse prolongée, pouvant aller jusqu'à l'assèchement temporaire de l'ouvrage et à la Pollution de l'eau, principalement par les nitrates et pesticides (sigesrm.brgm.fr).

## 2. Les forages

Le forage est une technique ou opération permettant le creusement de trous généralement L'eau du forage est purifiée par un long parcours à travers le sol, les possibilités de pollution Sont donc réduites, et surtout si l'extraction de l'eau se fait au moyen de pompe. Raison pour Laquelle l'eau de forage est en général la meilleure pour la consommation humaine. La Première et la plus importante étape pour la conception d'un bon forage est de réaliser la Coupe de forage (détermination de la localisation exacte (profondeur) des couches perméables (aquifères), et la localisation de toute couche imperméable dans le forage).

A partir de la coupe de forage, on peut déterminer précisément la profondeur et la longueur de La crépine ainsi que la profondeur et l'épaisseur du massif filtrant et du joint d'étanchéité Sanitaire (**LuzoloLutete, 2012**).

## 3. Les sources

Une source est un lieu d'apparition et d'écoulement d'eau souterraine à la surface du sol, elle Est toujours liée à l'existence d'une nappe et peut être située au mur ou au toit du réservoir Les sources présentent généralement les qualités de l'eau souterraine, tout en permettant une Exploitation aisée. Leur présence est étroitement liée à la géologie du terrain. Un plancher Rocheux imperméable, tel qu'un gisement d'argile est à la base d'une couche de sol ou roche Saturée, alors, une source tendra à apparaitre sur la pente où la couche d'argile affleure.

Les roches plutoniques sont également imperméables à l'eau pourtant elles sont souvent fragmentées et les sources apparaissent généralement là où ces ruptures viennent en surface (**LuzoloLutete, 2012**).

# Chapitre II

*Les paramètres globaux de la  
qualité des eaux*

## Chapitre II :

### *Les paramètres globaux de la qualité des eaux*

---

#### Paramètres globaux de la qualité des eaux

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre aux règlements généraux D'hygiène et à toutes les mesures propres pour préserver la santé de l'homme.

##### 1. Caractères organoleptiques

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines Odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se Modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.).

##### ➤ Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter de couleur. Cependant, la coloration de celle-ci Est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite Apparente quand les substances en suspension y ajoute :

- ❖ Des Substances humiques ou fulviques provenant de la décomposition de la matière végétale
- ❖ D'algues pouvant donner une coloration variable en fonction des pigments qu'elles Contiennent ;
- ❖ Des Substances minérales, en particulier le fer et le manganèse, dont les formes précipitées Sont colorées (**Rejsek, 2002**).

##### ➤ Odeur et saveur

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

2009). La saveur d'une eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels Interviennent la minéralisation de l'eau (sels minéraux qui donnent des goûts particuliers à L'eau), les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières Organiques végétales et des résidus agricoles, et les métabolites de certains micro-organismes Vivants dans l'eau (**Rejser 2002**).

## 2. Paramètres physico-chimiques :

### ➤ La température :

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En Effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la Dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la Détermination du pH d'une façon générale, la température des eaux superficielles est Influencée par la température de l'air et leur origine (**Leclerc, 1996**).

### ➤ Le potentiel hydrogène pH :

Le potentiel hydrogène plus connu sous le nom du pH est la valeur qui détermine si Une substance est acide, neutre ou de base, il est calculé à partir du nombre d'ions D'hydrogène présents. Le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14, un pH de 7 Signifie que la solution est neutre, un pH inférieur à 7 indique que la solution est Acide, un pH supérieur à 7 indique que la solution est basique, une solution est neutre lorsqu'il y'a autant de  $H_3^+$  Que d' $OH^-$  (**Rodier, 1996**).

### ➤ La conductivité électrique :

L'eau pure est peu conductrice du courant électrique car elle ne contient que très peu Les particules chargées électriquement (ion), susceptible de se déplacer dans un champ Electrique, l'unité de la conductivité est le micro-siemens par centimètre ( $\mu s/cm$ ). La Conductivité traduit la minéralisation globale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de La température (**Rodier, 1996**).

La conductivité est liée à la présence d'ion en solution. Elle augmente avec la Température et la concentration en sels dissous. Pour la mesure de la conductivité Plonger la sonde dans le milieu à analyser, remuer avec soin et légèrement la sonde et Attendre que la lecture se stabilise, après utilisation rincer les sondes à l'eau( **Déminéraliser Agrigon, 2000**).

➤ **La turbidité :**

La turbidité est due aux articles colloïdales en suspension dans l'eau, quand on sait que la majorité des toxiques, tant minéraux qu'organiques sont absorbés à 90% en moyenne, sur les matières en suspensions et colloïdales, on comprend l'importance de la turbidité (Roland Vilaginés, 2010).

➤ **La salinité :**

La présence des sels dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, Point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, Absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) (Merzoug, 2009).

**Le taux de sels dissous :**

La quantité des sels minéraux dissous influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau qu'est appelée la TDS (Rodier, 1996).

**La matière en suspension (MES) :**

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement elles ne sont pas ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique (HaKmi, 1994).

La mesure de la MES permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire (Rejsek, 2002).

➤ **L'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> :**

L'ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal, sa présence dans les eaux profondes résulte le plus souvent de la décomposition anaérobie de la matière organique azotée, on les trouve souvent à des teneurs variant entre 0.1 et 0.2 mg/l, il n'a pas d'effet appréciable sur la santé des consommateurs, mais sa présence

dans l'eau est un indicateur de pollution. L'ammonium doit être éliminé dans les eaux de consommation car c'est un aliment qui peut permettre à certaines bactéries de se proliférer dans les réseaux de Distribution (Tremblay, 1995 ; Mouly et Al, 2008).

➤ **Les nitrites (NO<sub>2</sub>) et les nitrates (NO<sub>3</sub>-) :**

Les nitrites et les nitrates constituent la forme la plus abondante d'azote dans l'eau, bien que naturellement présents en faible quantité dans les eaux de surface, des concentrations trop élevées de nitrites-nitrates peuvent être toxiques pour la faune aquatique et provoquer une maladie infantile (méthémoglobinémie). Ils sont généralement l'indice d'une pollution. La présence des nitrites est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates, il ne présente qu'un stade intermédiaire et est facilement oxydé en NO<sub>3</sub>- (Tremblay, 1995 ; Mouly et Al, 2008).

➤ **Les phosphates (PO<sub>4</sub>-) :**

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles, est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. (Hakmi, 2006 ; Ladjel, 2009), il en résulte une véritable dégradation qui peut devenir irréversible (Hakmi, 2006). Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues (Richard, 1996 ; Ladjel, 2009), il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les réservoirs, les canalisations de grand diamètre et les eaux des lacs où il contribue à l'eutrophisation (Ladjel, 2009).

### 3. Les paramètres microbiologiques

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie. Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies, c'est-à-dire celles qui pourraient se développer en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

- ❖ à 37 °C et pendant une durée de 24 heures, on isole les bactéries vivantes chez l'homme et chez les animaux à sang chaud. Si la population bactérienne ne dépasse pas 10 unités/ml, on peut en conclure qu'il n'y a pas de risques potentiels.
- ❖ à 20-22 °C et pendant une durée de 72 heures, on isole les bactéries du milieu naturel. Si la population bactérienne ne dépasse pas 100 unités/ml, on peut en conclure qu'il n'y a pas de risques potentiels.

- ❖ O Coliformes totaux et fécaux (Concentration maximale : 0)
- ❖ Streptocoques fécaux (Concentration maximale : 0)
- ❖ Clostridium sulfito-réducteurs (Concentration maximale : 0)
- ❖ Staphylocoques pathogènes (Concentration maximale : 0)

La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination De l'eau par des matières fécales. La présence d'autres coliformes, de clostridium ou de Staphylocoques laisse supposer une contamination de ce type. Dans les deux cas, des Mesures doivent être prises pour interdire la consommation de l'eau ou en assurer le Traitement. Les pollutions microbiologiques ne sont pas rares : d'après l'Institut Français de L'Environnement, plus de 17 millions de personnes ont consommé en 1997 une eau Ponctuellement polluée par des streptocoques fécaux ou des coliformes. Dans ce domaine, On manque encore d'études (OMS, 1985-1986)

#### 4. Indice de la Qualité de l'Eau

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une technique de classification de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationale respectives. En d'autres termes, l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (par exemple, excellent, bon, mauvais...etc.), en générant un score qui décrit l'état qualitative de l'eau en vue d'un usage domestique. Cette méthode a été initialement proposée par Horton et Brown et al. Au cours des dernières années, plusieurs études ont eu recours à ce concept pour estimer la qualité de l'eau souterraine en utilisant différentes méthodes de calculations ( **Brown et Al,1972;Chatterji et Raziuddin,2002;Aher et Al ,2016**)

. Par conséquent, l'IQE a été appliqué dans cette étude pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux souterraines. L'indice de la qualité de l'eau a été calculé selon la méthode proposée par Yidana et Yidana. Dans cette approche, Une valeur numérique appelée poids (wight), comprise entre 2 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence sur la qualité de l'eau . Un poids maximum de 5 a été attribué pour les NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 4 pour le TDS et le pH, 3 pour le TAC et un poids minimum de 2 pour TH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>].

Les poids attribués aux différents paramètres physico-chimiques sont présentés dans le tableau 1

**Tableau N°01 : Poids des paramètres physico-chimiques**

| Paramètres chimique          | Norme de l'OMS (1984) | Facture de poids (Wi) | Poids relative (wi ) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Ph                           | 6,5-8,5               | 4                     | 0.121                |
| Th                           | 300                   | 2                     | 0.06                 |
| Ca <sup>2+</sup>             | 75                    | 2                     | 0.06                 |
| Mg <sup>2+</sup>             | 30                    | 2                     | 0.06                 |
| Na <sup>+</sup>              | 200                   | 2                     | 0.06                 |
| K <sup>+</sup>               | 12                    | 2                     | 0.06                 |
| Tac                          | 200                   | 3                     | 0.09                 |
| TDS                          | 500                   | 4                     | 0.121                |
| Cl <sup>-</sup>              | 250                   | 3                     | 0.09                 |
| No <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 45                    | 5                     | 0.15                 |
| So <sub>4</sub>              | 200                   | 4                     | 0.121                |
|                              |                       | $\sum Wi=31$          | 0.994                |

Le poids relatif (Wi) est calculé par l'équation suivante :

$$Wi = wi / \sum_{ni=1} wi \quad (1)$$

Wi est le poids relatif, wi est le poids de chaque paramètre et n est le nombre des paramètres. L'échelle de notation de la qualité (qi) de chaque paramètre est calculée par division de la concentration de chaque paramètre par la norme respective de l'OMS et multiplier par 100.

$$Q_i = (C_i/S_i) \times 100 \quad (2)$$

$Q_i$  : échelle de notation de la qualité

$C_i$  : la concentration de chaque paramètre en mg/l

$S_i$  : la norme de l’OMS de chaque paramètre en mg/l.

Pour calculer l’Indice de la Qualité de l’Eau, le Sous-Indice ( $SI_i$ ) est le premier indice à déterminer. A partir de la somme des Sous Indices de chaque paramètre, on détermine l’IQE de chaque échantillon :

$$SI_i = W_i \times Q_i \quad (3)$$

$$IQE = \sum SI_i \quad (4)$$

Quatre classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l’indice de qualité de l’eau (Tab. 2).

**Tableau N°02** : Classification de l’eau selon l’IQE (**Brown et Al,1972;Chatterji et Raziuddin,2002:Aher et Al ,2016**)

| Valeur de L’IQE | Type d’eau            |
|-----------------|-----------------------|
| <50             | Excellente qualité    |
| 50-100.1        | Bonne qualité         |
| 100- 200.1      | Mauvaise qualité      |
| 200-300.1       | Très mauvaise qualité |
| >300            | Eau non potable       |

# Chapitre III

*Présentation de la zone d'étude*

## Chapitre III :

### *Présentation de la zone d'étude*

---

#### 1. Situation d'Alger

Les limites naturelles de l'Algérie sont la Mer Méditerranée au nord (1200km de côte), le Maroc à l'ouest, la Tunisie et la Libye à l'est, la Mauritanie et le Sahara Occidental au sud-ouest et finalement le Mali et le Niger au sud. Le méridien d'origine (Greenwich) passe à proximité de Mostaganem. Par sa superficie (2 381 741km<sup>2</sup>) Le pays comprend quatre grands domaines du nord au sud :

- L'Atlas tellien (ou le Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja Au centre, le Chelif à l'ouest et le Seybouse à l'est ;
- les Hauts Plateaux ;
- l'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs orientés NESO s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie ;
- le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses(regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement, la limite méridionale du Sahara algérien. (H. Askri, 2013).

#### 2. Situation de la wilaya de Tissemsilt

##### 2.1 Situation Géographique

Située en plein centre du quart nord-ouest de l'Algérie et des Hauts Plateaux dans Leur partie occidentale, la wilaya de Tissemsilt occupe une zone charnière naturelle Entre la plaine du Sersou et l'oued Chleff et est délimitée par des barrières naturelles Constituées par les monts de l'Ouarsenis au nord et djebel Nador au sud.

La nature géomorphologique de la wilaya de Tissemsilt offre trois ensembles Distincts : un relief montagneux (les monts de l'Ouarsenis), la région des hauts plateaux et

la zone steppique. Les montagnes occupent une proportion de près de 65 % de la Superficie globale, 25 % pour les hauts plaines et 10% pour les steppes. La wilaya abrite Le Parc National de Theniet El Had, connu par sa forêt de cèdres, le domaine forestier Couvre 20 % du territoire de la wilaya(EDT,2019)

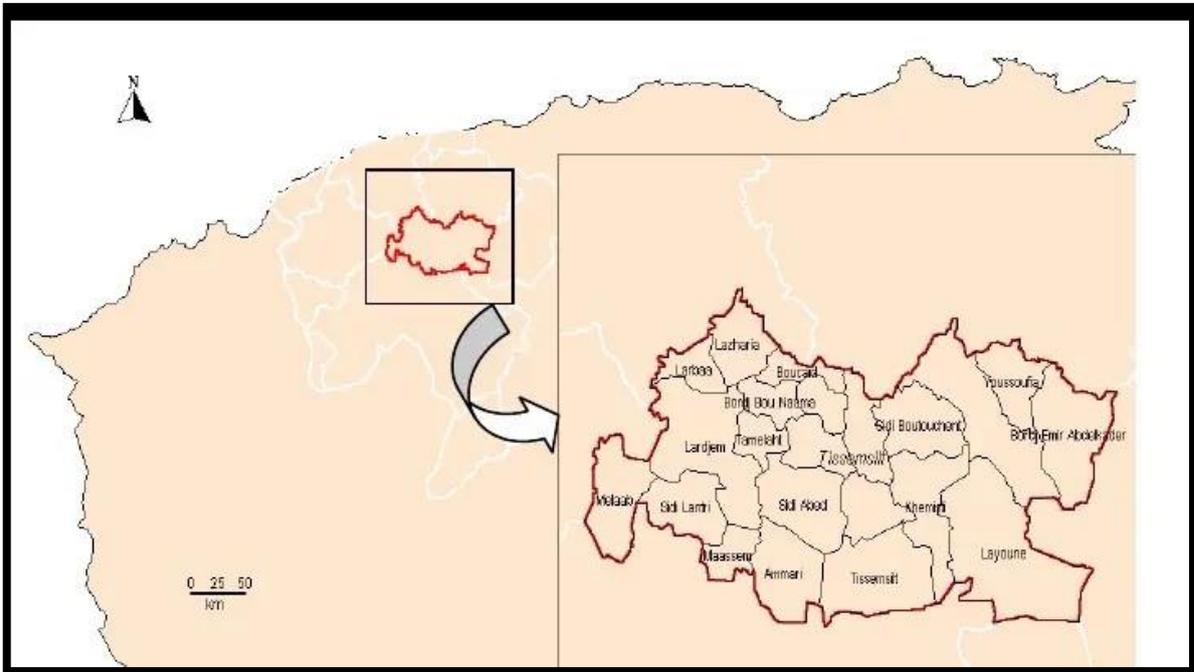


Figure N°03 : Situation générale de wilaya de Tissemsilt (anonyme 2010)

Elle se situe au centre du pays à 220 Km d'Alger et à 300 Km d'Oran. Sur Une superficie de 3 151.37 Km2 qui abrite une population de près de 327 206 habitants, Tissemsilt est cernée par les wilayas de Chleff et Ain Defla au nord, Médéa à l'est, Rélizane à l'ouest et Tiaret et Djelfa au sud (EDT,2019)

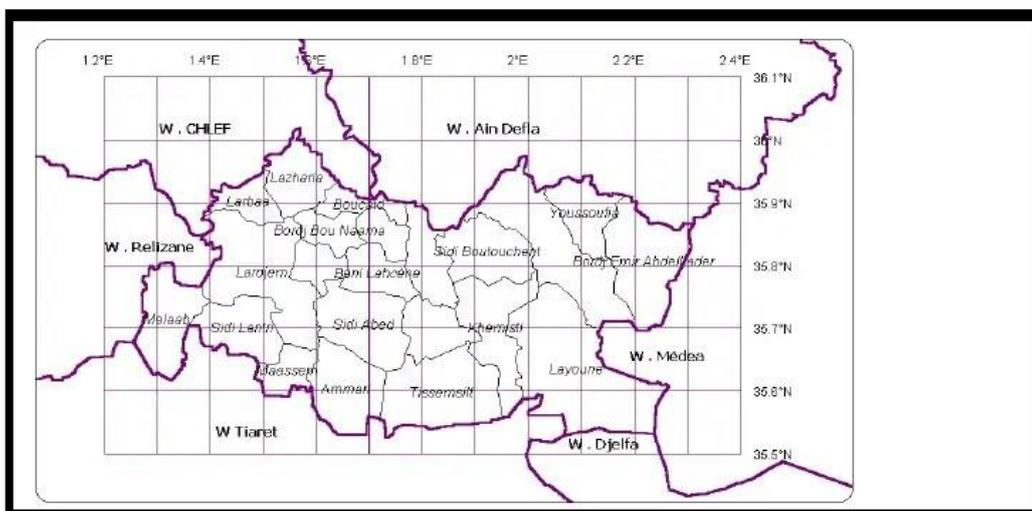


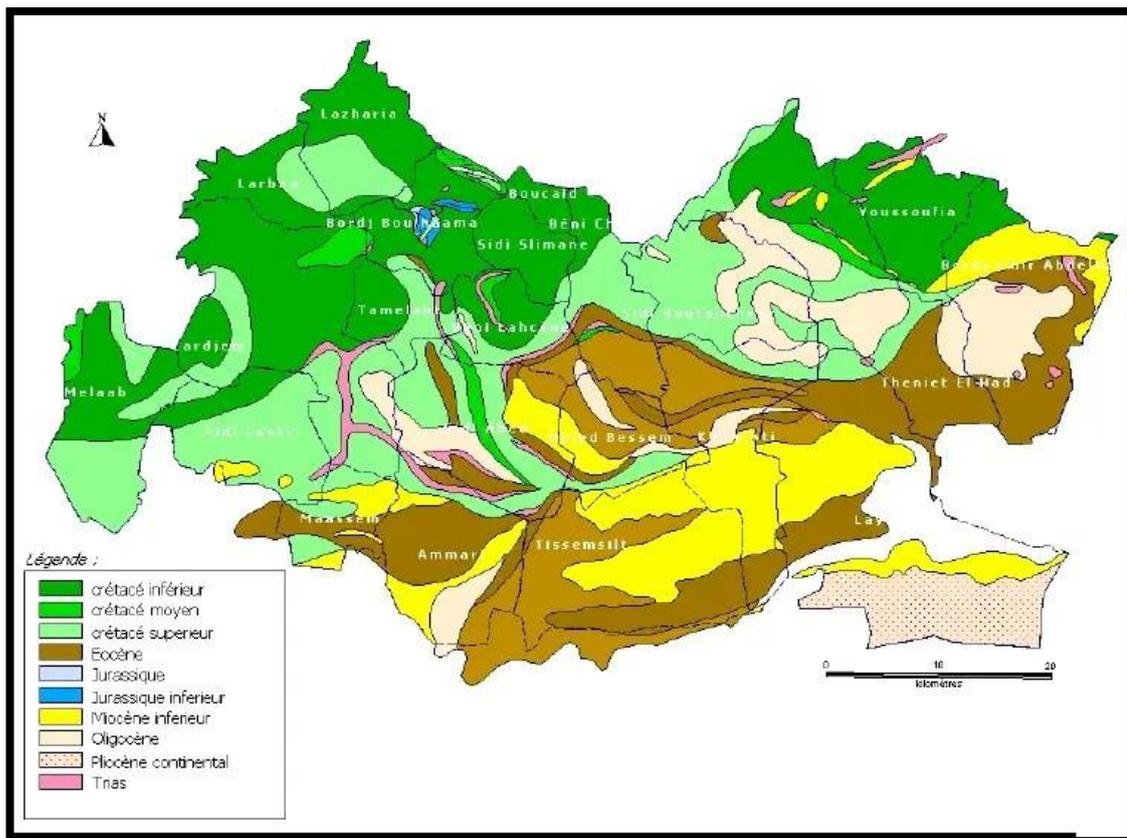
Figure N°04 : Carte de situation générale de wilaya de Tissemsilt

**2.2 Situation géologique**

Géologie de la région de Tissemsilt s'inscrit dans le cadre de l'évolution de la chaîne tellienne et en particulier celle du massif de l'Ouarsenis. Cet ensemble à structure complexe est formé de 3 sous-ensembles :

- Au Nord, la zone interne du socle du djebel Doui constitué de formations de l'ère paléozoïque
- Au centre, la zone externe comprenant des unités diversifiées et fortement charriées dont l'âge de sédimentation va du Trias jusqu'à l'Oligocène.
- Au sud, la bordure sud tellienne représentée par un faciès de remplissage de zones dépressionnaires et subsidences. Il s'agit de formations du Miocène inférieur, du Pliocène et du Quaternaire.

Les niveaux géologiques massifs se rencontrent pratiquement dans tous les terrains de la région ( **Dgair, 1997**)

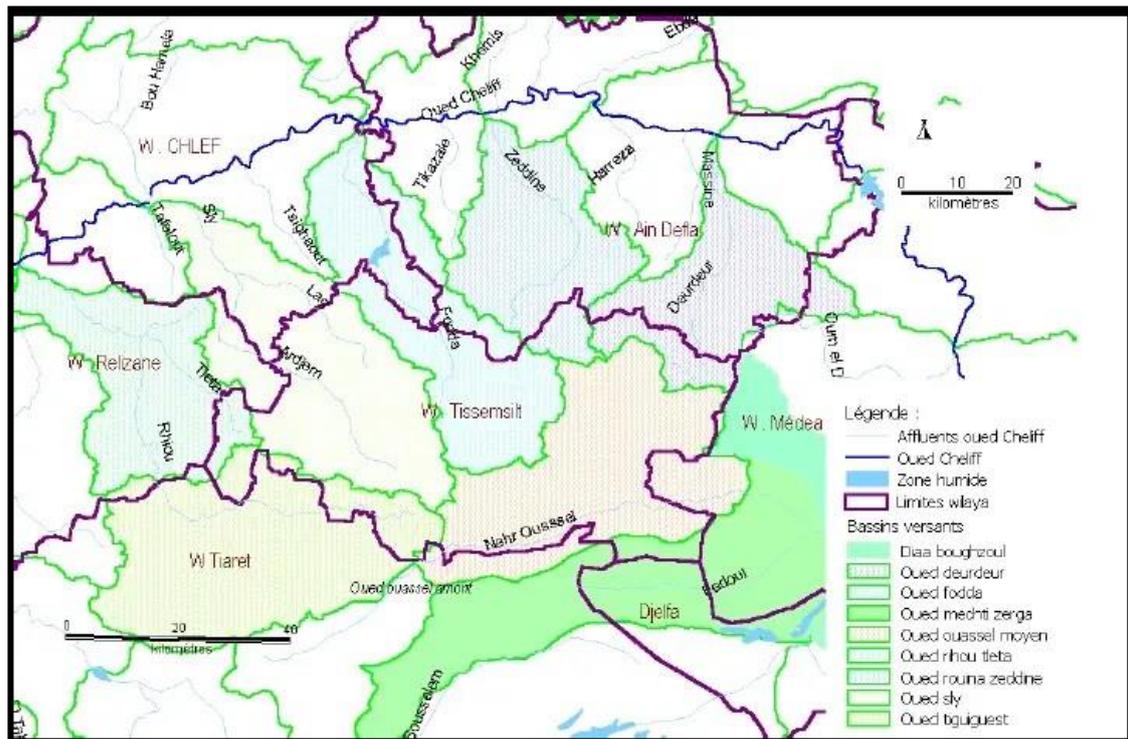


**Figure N°05 : Carte géologique de la wilaya de Tissemsilt (DET 2019)**

### 3. Description de milieu physique

#### 3.1 HYDROGRAPHIE

Conséquence d'un relief montagneux et très accidenté, un réseau hydrographique chevelu couvre la wilaya de Tissemsilt. On y dénombre 9 bassins versants principaux avec cette particularité qu'aucun d'eux n'est inclus intégralement sur son territoire et chacun s'étend à une des wilayas environnantes. Les 9 bassins versants sont drainés par les principaux affluents de l'oued Cheliff. Cinq bassins prennent leur cours à partir de la wilaya de Tissemsilt et les trois autres débouchent des wilayas sud limitrophes. Dans les neuf bassins versants, les principaux oueds et leurs affluents totalisent une longueur de 2252 Km dont 871 Km traversent la wilaya de Tissemsilt. Donc, une faible part des eaux de ruissellement profite à la wilaya de Tissemsilt. ( **Dgaih ,1997**)



**Figure N°06 : Carte réseau hydrographique de wilaya de Tissemsilt (DET 2019)**

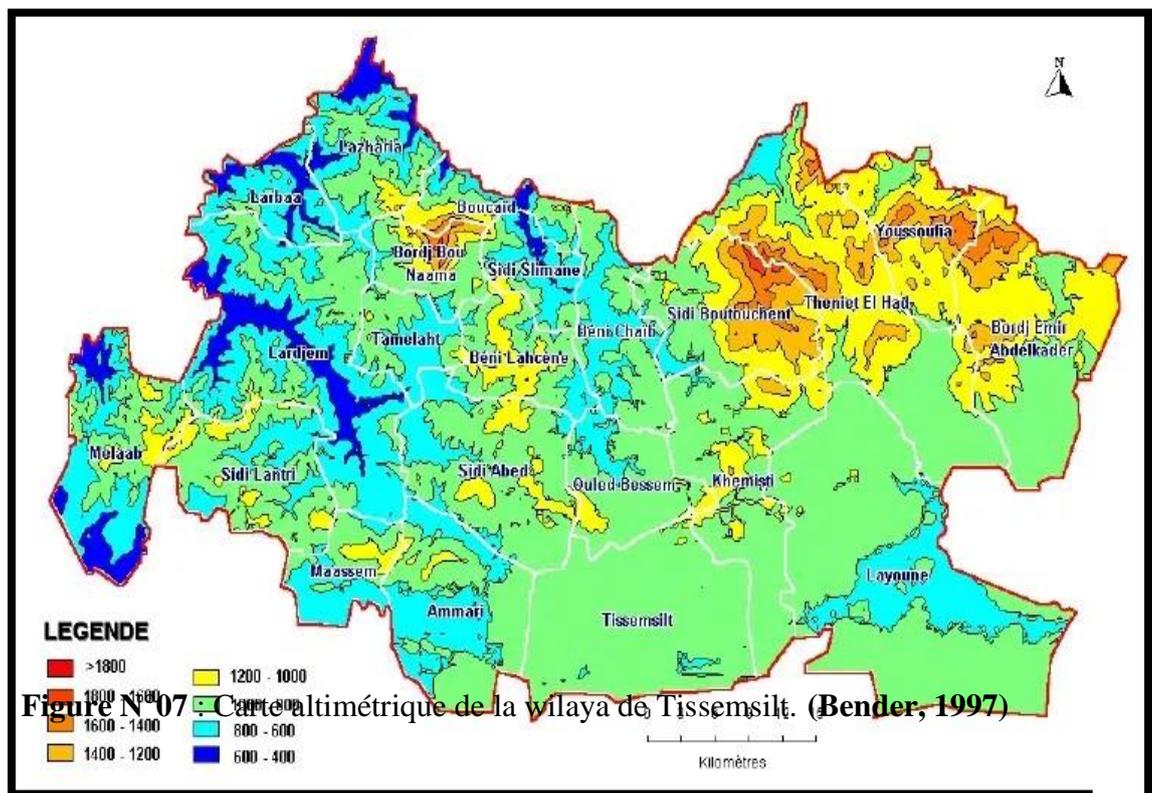
#### 3.2 Relief

Nous rencontrons deux types opposés de régions :

- **Au Nord** : Le massif de l'Ouarsenis qui couvre plus de la moitié de la wilaya et lui Ses caractères majeurs.

Cet énorme pâtre montagneux qui est un maillon important de la chaîne de l'atlas tellien, s'impose par ses dimensions : 150 kilomètres d'ouest en est, entre la Mina et l'oued Deurdeur et une soixantaine du nord au sud, entre la vallée du Cheliff et le plateau du Sersou, avec un rétrécissement dans la partie orientale et que prolongent les monts de Matmata à l'est d'oued Deurdeur vers les monts du Titteri. Architecture simple, on aperçoit dans la région médiane, une arête jalonnée d'émergences plus ou moins dentelées comme le Djebel Ghilas (1621 m), le Djebel El Meddad (1787 m) et surtout le Kef Sidi Amar dont l'imposante pyramide (1985) domine de 800 mètres les reliefs environnants. Les pentes sont abruptes.

- **Au Sud** : Les reliefs descendent avec des formes monotones des croupes et de plateau haché par les vallées profondes des oueds. A l'est, c'est la région des dépressions qui fait
- Partie plateau du Sersou oriental et qui s'avance vers les hautes plaines de l'oued Ouassel qui annoncent les steppes. Au centre et à l'ouest, une zone de piémonts assez large (Environ 25 à 35 kilomètres) va à l'encontre du plateau du Sersou. (**Bender, 1998**)



#### 4. VEGETATION

L'altitude plus que le sol impose son empreinte en ce domaine. Le manteau forestier demeure sans doute l'élément le plus remarquable du massif de l'Ouarsenis.

Nous rencontrons le chêne-vert sur les terres assez argileuses et le pin d'Alep sur les roches calcaires. Dans les parties basses, où la forêt a été à peu près détruite, c'est le maquis avec lentisques et oliviers. Au-dessus, quand le diss n'envahit pas le terrain, c'est le pin d'Alep qui domine. A partir de 900 mètres, c'est le domaine des chênes (chênes vert – chêne liège et chêne zèen). Au-dessus de 1300 m apparaît le cèdre (djebel Meddad en particulier à Theniet el Had) (**Djamel Antour,2013**)

#### 5. Climat

Le climat, par ses différents facteurs (température, pluviométrie, vent .....), joue un rôle déterminant et intervient d'une façon décisive dans la régénération, le développement et La répartition géographique des végétaux La wilaya est caractérisée par un climat continental sec est froid en hiver et chaud en été. Il est de type semi-aride dans le Sud et le Centre et Subhumide dans le massif de l'Ouarsenis. La température moyenne hivernale est comprise entre 0°C est 6° C et celle estivale oscille entre 32° C et 40° C. Quant à la pluviosité moyenne annuelle, elle oscille entre 300 et 600mm de pluies.

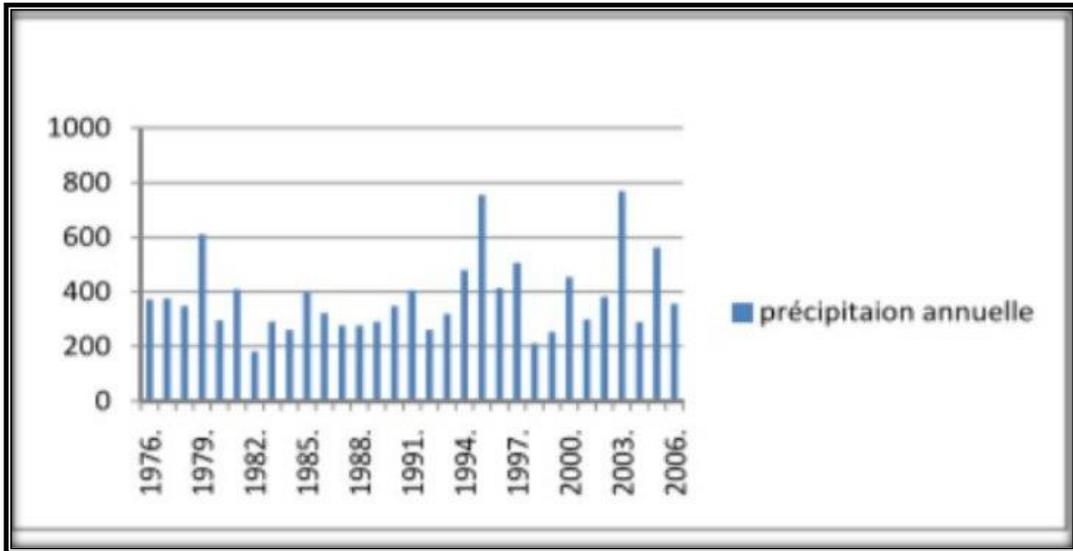
##### ➤ Précipitation

Les précipitations englobent toutes les formes d'eau qui tombent sur la surface de la terre. La station de Tissemsilt est à 885 m d'altitude, située à 01°35' de longitude Est et 35°35' de latitude Nord. Le gradient pluviométrique établi par **Seltzer(1946)** est de 40 mm/100.

| Mois  | J    | F    | M    | A    | M  | J    | J   | A   | S  | O    | N    | D    | Sommes |
|-------|------|------|------|------|----|------|-----|-----|----|------|------|------|--------|
| P(mm) | 61.9 | 52.9 | 41.6 | 34.7 | 30 | 16.6 | 5.7 | 4.8 | 24 | 35.4 | 45.9 | 57.2 | 410.7  |

**Tableau 03** : Coefficients de répartition mensuelle pour la station de Tissemsilt (2000-2012)  
(D.H. TISSEMSILT, 2012)

La zone d'étude se caractérise principalement par un climat continental à hiver froid humide et a été chaud et sec. La moyenne pluviométrique calculée sur une période de 31 ans (1976 à 2006) est égale à 379,84 mm Les valeurs de la pluviométrie pendant ces années ont Oscillé entre un minimum de 182 mm enregistré en 1982 et un maximum de 768,7 mm en 2003 (**Tir el hadj,2015**)



**Figure N°08** : évolution des moyennes des précipitations annuelles (**Tir el hadj , 2015**)

#### **Variation saisonnière des précipitations :**

La pluviométrie dans la zone d'étude est caractérisée par un déséquilibre saisonnier dont les éléments marquants sont :

- La période d'hiver ; Octobre-janvier, où les pluies représentent 45% environ du total annuel mais ce sont les mois les plus pluvieux de l'année avec un maximum enregistré au mois de janvier
- La période d'été où les pluies reçues ne dépassent guère les 10% de la pluviométrie, avec un minimum enregistré au mois de juillet.

#### ➤ **Température :**

La température est un des éléments fondamentaux dans établissement bilan hydrologique et dans la détermination du caractère Climatique d'une région et aussi un facteur nécessaire à l'apport de L'énergie pour les plantes. Les données existantes sont celles de (**P. Seltzer,1946**) et celle qui Ont été utilisé dans étude (**Bender, 1997**).

La température moyenne hivernale est comprise entre 0 C et 6 C et celle estivale oscille entre 32 C et 40 C. (EDT ,2019)

**Tableau N°04 : répartition mensuelle de la température (Tir el hadj ,2015)**

| Mois  | 01   | 02   | 03   | 04   | 05   | 06   | 07   | 08   | 09   | 10   | 11   | 12   | Moy interannuel le |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|
| T max | 12.1 | 12.8 | 15.3 | 17.7 | 21   | 27.5 | 32.2 | 31.1 | 27.7 | 21.7 | 16   | 12.8 | 20.7               |
| T min | 5.4  | 6    | 7.2  | 9.3  | 11.8 | 17.2 | 21.2 | 20.2 | 17.4 | 13   | 8.7  | 6.8  | 12                 |
| T moy | 8.3  | 9    | 10.8 | 13   | 15.9 | 22   | 26.3 | 25.1 | 21.7 | 16.7 | 11.9 | 9.2  | 15.8               |

➤ **La neige :**

Dans cette zone, des neiges tombent dans une altitude environ et aux dessus de 900m, la Couverture de la neige persiste jusqu'à 10 semaines pendant la période de Novembre-Mars, avec une Moyenne de 22.1J/an. (Tir al hadj ,2015)

➤ **Les vents :**

Les vents qui prédominent dans cette zone sont des vents de l'Ouest et du Nord-Ouest, des Vents nuisibles en doit citer les vents « SIROCO » d'origine désertique. La moyenne de jours de ces vents pour l'année dans la région est 19,9 jours, son influence Nuisible sur la végétation augmente, le début coïncide avec la période aride de Juin à Août (Tir al hadj ,2015)

**Tableau N°05 : répartition mensuelle des vents (Source D.H.T ,2012)**

| Moy mensuelle | J   | F   | M   | A | M   | J   | J   | A   | S   | O | N   | D | Moy annuelle |
|---------------|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|---|--------------|
| Vitesse m/s   | 4.8 | 5.2 | 5.1 | 5 | 5.1 | 3.9 | 3.6 | 3.6 | 6.6 | 4 | 4.1 | 4 | 4.3 m/s      |

**Synthèse climatique :**

**Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :**

Selon Ozenda (1982), c'est un diagramme qui permet d'avoir une idée sur les périodes sèches et humides d'une région donnée. Un mois est sec lorsque sa pluviométrie

totale en mm égale ou inférieure au double de sa température moyenne en °C. Selon le diagramme ombrothermique, la période sèche s'étale sur 5 mois qui va de mai jusqu'à fin de septembre et la période humide du mois d'octobre jusqu'à avril.

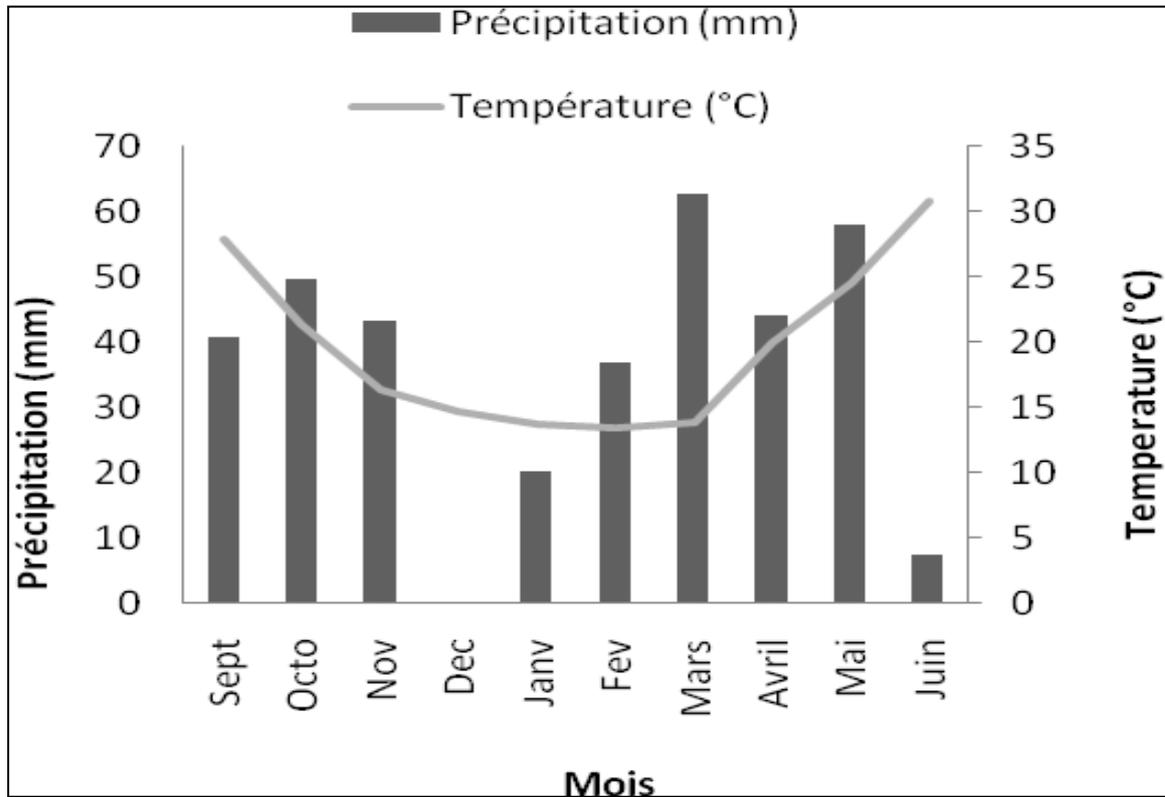


Figure N°09 : Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la Campagne 2015/2016

# Chapitre IV

## *Étude hydrochimique*

# Chapitre IV :

## Étude hydrochimique

---

### 1. Objet de travail

Le contrôle de la qualité et la surveillance de la conformité des eaux de sources des régions à faible approvisionnement en eau potable, dont la presque totalité de l'eau de consommation provient des sources naturelles, est une activité fondamentale de prévention, il est même d'un intérêt stratégique pour la protection de la santé de la population consommatrice.

Afin d'évaluer la qualité aquatique de nos sources, on utilise la méthode de : analyse physico-chimique. Cependant notre évaluation c'est déroulé du mois.

Les Différentes analyses ont été effectuées au niveau du :

- ✓ Laboratoire central de l'ADE (Algérienne Des Eaux), localisé au niveau de l'unité de Tissemsilt. Sa mission est de contrôler les eaux distribuées sur le plan physico-chimique
- ✓ Laboratoire de faculté SCIENCE et technologies Tissemsilt (Université Ahmed wansharisi Tissemsilt)

### 2. Echantillonnage

Durant notre travail 16 stations de source, forage, puits de Tissemsilt ont fait l'objet de nos analyses, Qui sont :

-  Gahfour dhaya << F0 >>
-  Fâcha << F1 >>
-  Ain loura << F2 >>
-  Ain Digou << F3 >>
-  Daghmase dhaya 2 << F4 >>
-  Bou mangouche << F5 >>
-  Watwat << F6 >>
-  Bit << F7 >>
-  Rhahla (Ain karma) << F8 >>
-  Daghmase dhaya 1 << F9 >>

-  Ain hamra <<F10>>
-  Ain Forzi <<F11>>
-  Ain kababa <<F12>>
-  Dabel Saïd <<F13>>
-  Ain karma <<F14>>
-  Ain sefa <<F15>>

### 3. Matériels et méthodes

Nous avons réalisé les analyses physiques à travers les étapes suivantes :

#### Conditions et mode 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.). Cependant pour avoir des résultats analytiques significatifs, le prélèvement doit être bien conservé jusqu'à son arrivé au labo.

#### Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques

Les échantillons prélevés de différentes sources ont été effectués directement. Les flacons teintés (1 litre) sont rincés plusieurs fois avec de l'eau à analyser puis remplis Totalement pour éviter les réactions d'oxydation. Les flacons doivent être scellés et munis d'une étiquette portant le code pour faciliter leur identification



Figure N°10 : source de ghahfor daya



**Figure N°11 : source de ouatouat**



**Figure N°12 : source d'Ain karma**



**Figure N°13 : source d'Ain sefa**

Tableau N°06 : Répartition des points de prélèvement de la zone d'étude

| N° | Les sources   | Coordonnées X (m)     | Coordonnées Y (m) | Date de Prélèvement |
|----|---------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| 01 | GAHFOR DAYA   | 1° 47 03 E            | 35° 35 21 N       | 25/02/2022          |
| 02 | FACHE         | 1° 43 58 E            | 35° 33 59 N       | 25/02/2022          |
| 03 | AIN LORA      | 1° 47 41 E            | 35° 35 57 N       | 25/02/2022          |
| 04 | AIN DIGOU     | 1° 44 05 E            | 35° 34 37 N       | 25/02/2022          |
| 05 | DGHMAS DAYA 1 | 1° 43 54 E            | 35° 35 27 N       | 25/02/2022          |
| 06 | BOUMANGOUCHE  | 1°54 25 E             | 35° 34 58 N       | 25/02/2022          |
| 07 | WATWATE       | 1° 47 15 E            | 35° 34 42 N       | 25/02/2022          |
| 08 | BIT           | 1° 47 44 E            | 35° 35 59 N       | 25/02/2022          |
| 09 | RHAHLA        | 1° 50 52 E            | 35°36 27 N        | 25/02/2022          |
| 10 | DGHMAS DAYA 2 | 1° 43 48 E            | 35° 35 30 N       | 25/02/2022          |
| 11 | AIN ALHAMRA   | 1°50 0 E              | 35° 36 28 N       | 25/02/2022          |
| 12 | AIN RORZI     | 1° 46 21 E            | 35° 35 39 N       | 25/02/2022          |
| 13 | AIN KBABA     | 1° 46 51 E            | 35° 35 52N        | 25/02/2022          |
| 14 | DABEL SAID    | 1° 48 58 E            | 35° 33 55N        | 25/02/2022          |
| 15 | AIN ALKARMA   | 1° 51 33 <sup>E</sup> | 35°37 07 N        | 25/02/2022          |
| 16 | AIN SEFA      | 1° 52 47 E            | 35° 37 47 N       | 25/02/2022          |

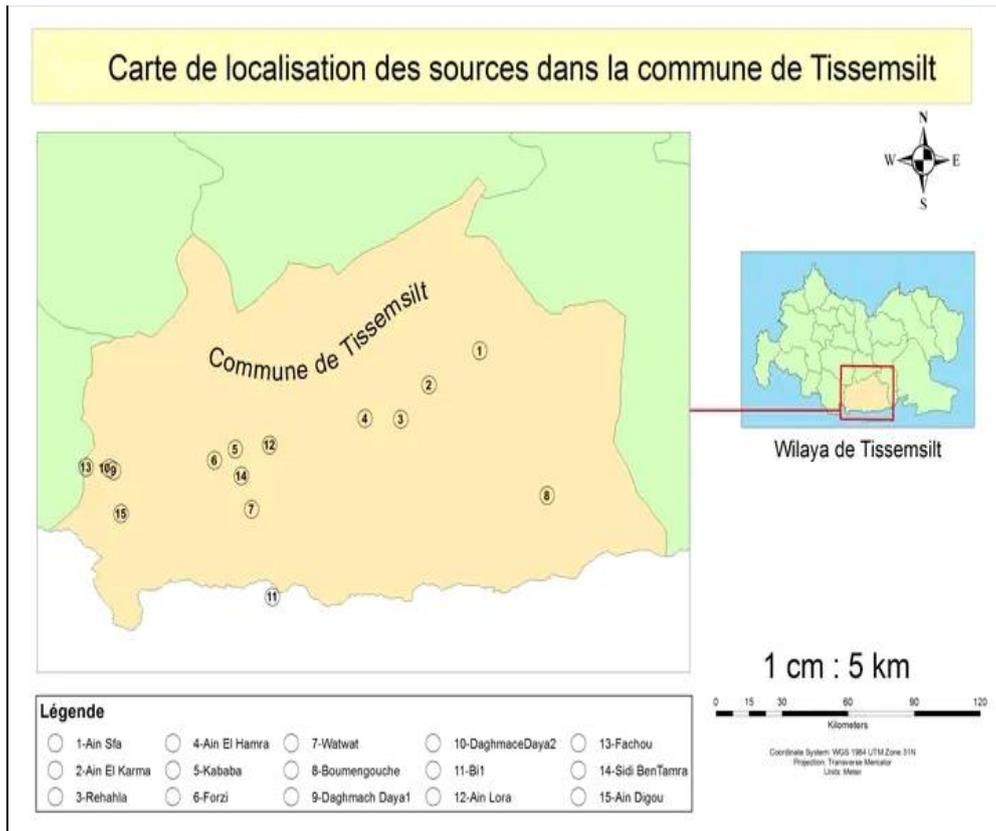


Figure 14 : Carte de localisation des sources d'eau dans la commune de Tissemsilt

#### 4. Les analyses physico-chimiques

##### 1). Le pH

##### ❖ Principe :

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence ( Calomel – KCl saturé) . Plongeant dans une même solution , est une fonction linéaire du PH de celle – ci . Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$  .

- Appareil : PH mètre
- Électrode : de PH Réf 60209000
- Réactifs : Tampon pH = 7
- Tampon PH = 4

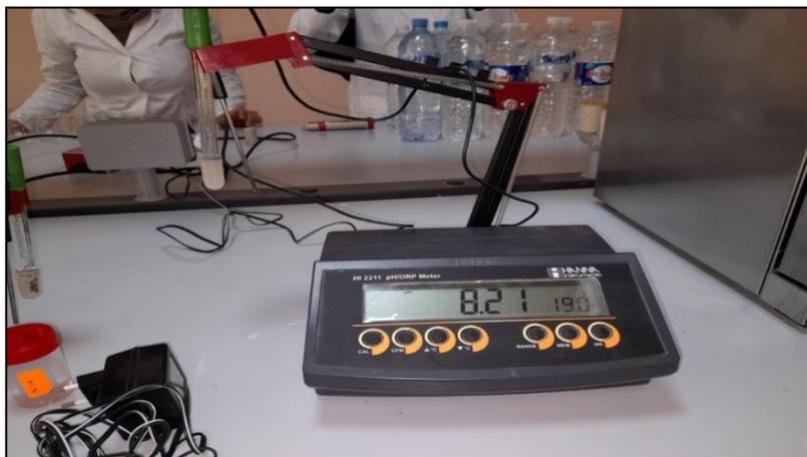


Figure N°15 : PH Mètre

- **Mode opératoire :**

**Etalonnage de l'appareil :**

- Allumer le PH Mètre ;
- Brancher l'électrode de PH .
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée .
- Vérifier l'électrode ( niveau de la solution KCl ) .
- Prendre dans un petit becher .la solution tampon PH = 7
- Tremper l'électrode de Ph Mètre dans la solution PH= .7
- Laisser stabiliser un moment .
- Affiner avec le bouton de droite à PH =7 .
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée .
- Réétalonner de la meme manière avec la solution PH= 4 .
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée

**Dosage de l'échantillon :**

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment.
- Puis noter le PH.

## 2). Mesure de la conductivité électrique

- **Définition :**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de  $1\text{cm}$ . Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de conductivité est le Siemens par mètre ( $\text{S}/\text{m}$ ).

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro-Siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). La relation entre résistivité et la conductivité est la suivante :

$$\text{Résistivité } (\Omega \text{ cm}) = \frac{1000000}{\text{Conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})}$$



**Figure N°16 : Conductimètre**

- **Principe :**

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platines (Pt) (ou couverte de noir de platine) maintenues parallèles

Si  $R$  est la résistance de la colonne d'eau en Ohms.

$S$  sa section en  $\text{cm}^2$  et  $l$  sa longueur en  $\text{cm}$ .

La résistivité électrique en Ohms .cm est :  $P = R \frac{l}{S}$

La conductivité électrique en  $\text{S}/\text{cm}$  est :

$$V = \frac{1}{P} = \frac{1}{R} \frac{S}{l}$$

$\frac{1}{S}$  Est appelé constante de l'élément de mesure.

- **Matériel :**

Conductimètre .

Thermomètre .

- **Mode opératoire :**

D'une façon générale , opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée avant usage , avec de l'eau distillée .

Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité , d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner , faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platines soient complètement immergées .

Agiter le liquide (barreau magnétique ) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant . Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes . Introduire alors le thermomètre aussi près que possible de la cellule . La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure .

- **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en  $\mu\text{s} / \text{cm}^{-1}$

### Mesure de la température

La température est un facteur très important qui influence les réactions physico-chimiques et biologiques (**Rodier, 1996**).

Sa variation joue un rôle non négligeable dans différentes réactions chimiques tel que la solubilité des sels et des gaz dissous dans l'eau. Il est important de la mesurer sur le terrain (**Rola** la température a été déterminée sur place à l'aide d'un thermomètre ou multimètre et le résultat est donné directement en °C.



**Figure N°17 : Multi paramètre**

### 3). TURBIDITE

- **Définition :**

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

- **Principe :**

Pour tout échantillon d'eau , la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes , absorbant mais diffusant mal , qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée .



**Figure N°18 : Turbidimètre HACH TL2300**

- **Appareillage :**

Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre

- **Étalonnage de l'appareil :**

A l'aide des solutions d'étalonnage de formazine de 400 à 4000 NTU .

- **Mode opératoire :**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure , il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure .

- **Expression des résultats :** La mesure est obtenue directement en NTU

- **Détermination de l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

- **Principe :**

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium .

• **Réactifs :**

**Réactif 1 :**

- Acide dichloroisocyanurique ..... 2 g .
- Hydroxyde de sodium ( NaOH ) ..... 32 g .
- H<sub>2</sub>O distillée ..... q.s.p 1000 ml .

**Réactif 2 ( coloré ) :**

- Trictrate de sodium ..... 130 g
- Salicylate de sodium ..... 130 g
- Nitroprussiate de sodium ..... 0.97 g
- H<sub>2</sub>O distillée ..... q.s.p 1000 ml .

• **Mode opératoire :**

- A prendre 40 ml d'eau à analyser .
- Ajouter 4 ml du réactif 1 .
- Ajouter 4 ml du réactif 2 et ajuster à 50 ml avec H<sub>2</sub>O distillée et attendre 1 heure .
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

**4). Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l .

La longueur d'onde est 655 nm .

**Détermination des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

**Réactif mixte :**

- Sulfanilamide .....40g .
- Acide phosphorique .....100 ml .
- N-1- Naphtyl éthylène diamine .....2 g .
- H<sub>2</sub>O distillée .....q.s.p 1000 ml .



Figure N° 19 : dosage de nitrites

**Mode opératoire :**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser .
- Ajouter 1 ml du réactif mixte .
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2^-$  .
- La longueur d'onde 543

**Détermination des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) Méthode au salicylate de sodium**

• **Principe :**

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



Figure N°20 : dosage de nitrates



Figure N° 21 : dosage de nitrates

- **Réactifs:**

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % ( renouveler toutes les 24 h )
- Solution d'hydroxyde de sodium 30 %
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium .

- Hydroxyde de sodium NaOH ..... 400 g
- Tartrate de sodium et de potassium ..... 60g
- Eau distillée ..... qsp 1000 ml

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservé dans un flacon de polyéthylène .

Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg /l

- \* Nitrate de potassium anhydre ..... 0.722
- Eau distillée ..... 1000 ml
- Chloroforme ..... 1 ml

Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg

❖ **Matériels**

- Capsule de 60 ml
- Pipette de 2 ml
- Pipette de 10ml
- Pipette de 15 ml
- Pipette de 1 ml

❖ **Appareillage :**

Etuve .

Spectrophotometre .

• **Mode opératoire**

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser

Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %

Ajouter 1ml de salicylate de Na

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 -88 °C

( ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps ) laisser refroidir

Reprendre le résidu avec 2ml .H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> repos 10 mn

Ajouter 15 ml d'eau distillée

Ajouter 15 ml de tartrate double puis passer au spectro au 420 nm . Le résultat est donné en mg/l

• **Expression des résultats**

Le résultats est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 420 nm

**Détermination du calcium ( Ca<sup>2+</sup> ) et du magnésium ( Mg<sup>2+</sup> )**

• **Principe :**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d' E.D.T.A à PH compris entre 12 – 13

Ce dosage se fait en présence de MUREXIDE . L'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions de calcium libres , puis avec les ions calcium combiné avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet .

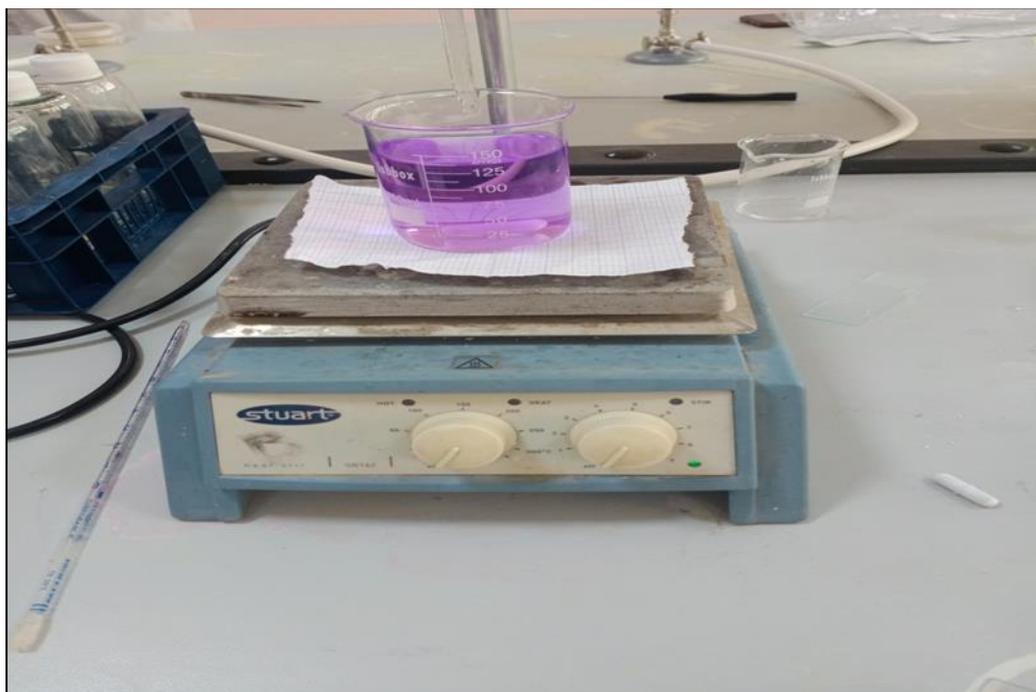


Figure N°22 : dosage du calcium

- **Réactifs :**

Solution d' E.D.T.A N /50 (  $C_{10} H_{14} N_2 Na_2 O_8 2H_2O$  ) :

- EDTA ..... 3,722 g
- $H_2O$  distillée ..... q.s.p 1000 ml

\* Solution d' hydroxyde de sodium ( NaOH) 2 N :

- NaOH ( pastilles ) .....80 g .
- $H_2O$  distillée .....q.s.p 1000 ml.

\* Solution d' hydroxyde d'ammonium (  $NH_4OH$  ) Ph =10,1:

- Chlorure d'ammonium .....70 g .
- $H_2O$  distillée .....q.s.p 1000 ml.

\* Indicateur colorés : Murexide .

\*  $NH_3$ .....570 ml.

\* Noir eriochrome .

\* Solution mère de  $Ca^{2+}$  à 100 mg/l .

- **Mode opératoire :**

(  $V_1$  )  $Ca^{2+}$  :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser

- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N
- Ajouter du Murexide
- Et titrer avec l'EDTA jusqu'au virage ( violet )

( V<sub>2</sub> ) Ca<sup>2+</sup>Mg<sup>2+</sup> :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 2 ml de NH<sub>4</sub>OH ( 10,1 )
- Ajouter noir eriochrome
- Et titrer jusqu'au virage ( bleu )

• Expression des résultats :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ mg/l} = \frac{V_1 * N_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Ca}^{2+}} * 40 * 1000}{\text{PE}}$$

$$\text{Ca}^{2+} \text{ mg/l} = \frac{V_1 * 0,01 * F * 40\text{g} * 1000}{V_1 * F * 8}$$

\* V<sub>2</sub>: Ca<sup>2+</sup>Mg<sup>2+</sup>

$$\text{Mg}^{2+} \text{ mg/l} = \frac{(V_2 - V_1) * F * M_{\text{Mg}^{2+}} * 1000 * N_{\text{EDTA}}}{\text{PE}}$$

$$= \frac{(V_2 - V_1) * F * 24\text{g} * 1000 * 0,01}{50 * 2}$$

$$\text{Mg}^{2+} \text{ mg/l} = (V_2 - V_1) * F * 12$$

- Prendre 50 ml de la solution mère à 100 mg/l Ca<sup>2+</sup>
- Ajouter 2 ml de NaOH , puis l'indicateur coloré (MUREXIDE )
- Titrer par l'EDTA jusqu'au virage (violet )

$$F = \frac{VT}{VP} = \frac{5}{VP}$$



**Figure N°23** : dosage du magnésium

### **Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme**

#### **1. Partie théorique :**

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux .

Les éléments à analyser ( sodium, potassium lithium, calcium ...etc ) sont généralement sous forme de sels . L'analyse se fait en partant de leurs solutions .

#### **2. Partie pratique :**

##### **Mode opératoire :**

Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert
- Allumer la pompe
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz propane
- Allumer la flamme
- Pipter de l'eau distillée remplie dans une cuvette
- Appuyer sur la touche KONTROL ( < 20 )
- Appuyer sur la touche NULL – Zéro , attendre 5 à 10 minutes
- Appuyer une 2ème fois sur la meme touche NULL –Zéro pour qu'elle s'allume

- Retirer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution ETALON de  $\text{Na}^+$  ou de  $\ll\text{K}^+\gg$  à 10 mg/l
- Appuyer sur la touche STANDARD
- Attendre qu'elle s'allume
- Appuyer une 2ème fois sur la même touche et attendre qu'elle s'allume
- Ensuite, appuyer sur la touche ANALYSE (il faut que la lecture doit donner 10)
- A la fin passer aux échantillons inconnus et appuyer seulement sur la touche ANALYSE (3 essais pour chaque échantillon)

A la fin du dosage et par mise de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe

#### Préparation des étalons :

- Solution fille de sodium ( $\text{Na}^+$ ) à 10 mg/l de la solution mère de NaCl à 1000 mg/l dans 100 ml d'eau distillée  
( 2,5 mg de NaCl 1000 cc d' $\text{H}_2\text{O}$  distillée : solution mère de  $\text{Na}^+$  à 1g/l ).
- Solution fille de potassium ( $\text{K}^+$ ) à 10 mg/l : 1 ml de la solution mère de KCl à 1 g/l dans 100 ml d'eau distillée  
( 1,91 g de KCl 1000cc d'eau distillée : solution mère de  $\text{K}^+$  à 1g/l

#### Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg / l .

#### Remarque :

Avant de doser le sodium ( $\text{Na}^+$ ) il faut toujours vérifier les valeurs de la conductivité car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est à dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du  $\text{Na}^+$  est grande et vice versa. Alors pour le cas de  $\text{K}^+$  on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande.



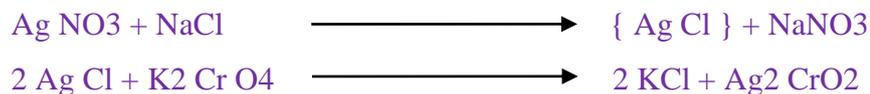
Figure N°24 : Dosage de sodium par photométrie de la flamme

### Détermination des chlorures ( Cl<sup>-</sup> )

#### ▪ Principe :

On fait agir en milieu neutre , PH =6,7 ou 7, une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium .

La réaction se fait en présence de chromate de potassium



#### ▪ Réactifs :

- \* Solution de nitrate d'argent à 0,01 N
- \* Solution de chlorures à 71 mg/l
- \* Indicateur coloré K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> à 10 %

#### ▪ Mode opératoire :

- \* Prendre 5 ml d'eau à analyser .
- \* Ajouter 2 gouttes de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> ( coloration jaunatre ) .
- \* Titrer avec AgNO<sub>3</sub> à 0,01 N jusqu'à coloration brunatre .

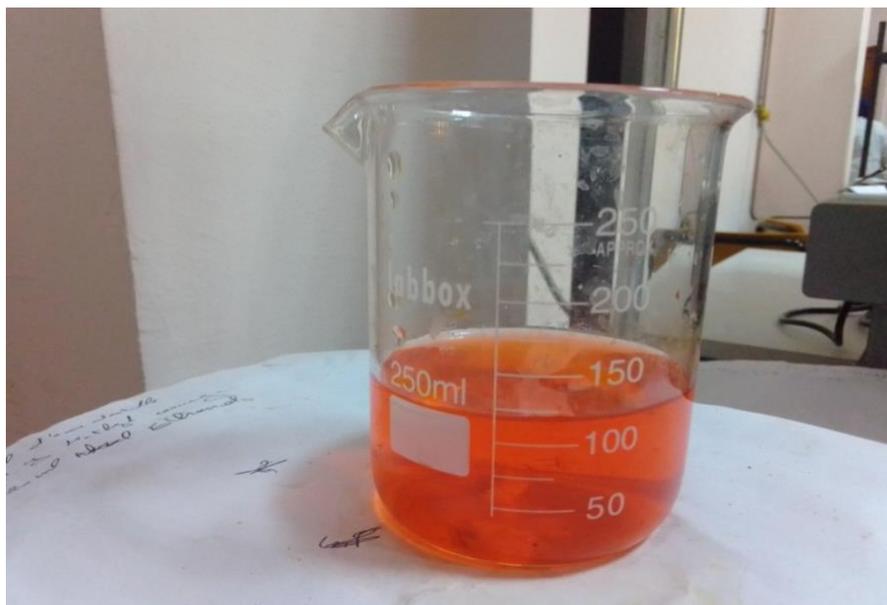


Figure N°25 : dosage du chlorure

▪ **Expression des résultats :**

$$F.G = \frac{V_{AgNO_3} * N_{AgNO_3} * M_{Cl^-} * 1000}{P} = \frac{V_{AgNO_3} * 0.01 * 35.5 * F * 1000}{5}$$

$$F.S : mg/l \quad Cl^- = V_{AgNO_3} * 71 * F$$

$V_{AgNO_3}$  : Volume d' $AgNO_3$  est nécessaire pour le dosage de l'échantillon

$N_{AgNO_3}$  : Normalité d' $AgNO_3$

$M_{Cl^-}$  : Masse des chlorures

$F$  : Facteur de correction du titre d' $AgNO_3$

$PE$  : 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  $AgNO_3$  à 0,01 N jusqu'au virage .( rouge brique )

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

**Détermination des Sulfates(  $\text{SO}_4^{2-}$ )****Principe:**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum .

**APPAREIL:**

Spectrophotomètre DR/2000 de marque " HACH "



**Figure N°26 : dosage des Sulfates**

**Réactifs :**

Solution mère de sulfates à 1g/l à partir de  $\text{NO}_2\text{SO}_4$

Peser 4.43g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ..... 1000 ml d'eau distillée .

**Solution stabilisante :**

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Acide chlorhydrique (c) ..... | 60 ml  |
| Elhanol .....                 | 200 ml |
| Chlorure de sodium .....      | 150 g  |
| Glycérol .....                |        |
| Eau distillée .....           | 600 ml |

**Solution de chlorure de baryum:**

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Chlorure de baryum .....  | 150 g   |
| Acide chlorhydrique ..... | 5 ml    |
| Eau distillée .....       | 1000 ml |

**Gamme d'étalonnage :**

- Prendre 8 béchers de 250 ml .
- Laver très bien avec du savon et une lavette.
- Rincer abondamment avec l'eau du robinet .
- Rincer avec une solution acide chlorhydrique
- Rincer avec l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée

**Remarque:**

- Les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés de 0.45  $\mu\text{m}$ .
- Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  doivent être dilués avant détermination

- **Mode opératoire :**

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante .
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum .
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Passer au spectrophotomètre  $\lambda = 420 \text{ nm}$ .

- **Normes :**

Normes PNA = 400 mg/l.

CMA = 400 mg/l.

- **Expression des résultats :**

$\text{Mg/l SO}_4^{2-}$  = la valeur lue sur le spectrophotomètre x la dilution

**Détermination de l'alcalinité ( $\text{HCO}_3^-$ )**

- **Principe:**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée diluée nécessaire pour neutraliser ,aux niveaux de pH =8.3 et 4.3 le volume d'eau à analyser. La

première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

### Réactifs:

- Solution d'acide Chlorhydrique à 1N:
- Solution d'HCl à 1N
- Solution d'HCl à 1N ..... 100 ml.
- H<sub>2</sub>O distillée ..... q.s.p1000 ml.

**Electrode :** Electrode de Ph ref .60209000

- **Mode opératoire :**
  - Prendre 100 ml d'eau à analyser
  - Noter son pH puis titrer avec Hcl à 0.1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4.4
- **Expression des résultats :**

$$F.G = \frac{V_A * N_A * MHCO_3 *}{P} = \frac{V_A * 0.1 * 61 *}{10}$$

F.S:  $VA_1 \times 61 = \text{mg/l } HCO_3^-$

$V_A$  : volume d'acide versé .

$N_A$  : normalité d'acide versé .

$MHCO_3^-$  : masse des bicarbonates ( $HCO_3^6$ )

P.E : prise d'essai .

### Remarque :

Si la pH de l'échantillon est supérieur à 8.3 ; titrer jusqu'à cette valeur (volume d'HCl obtenu correspond au  $CO_3^{2-}$ ) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4.4  $VA^2 \text{ mg/l } CO_3^{2-} = VA_2 * 6$

### Application de l'ACP :

La méthode **ACP** a été appliquée à **16** sources et **12** variables (paramètres Physico chimiques) qui sont : **PH, CE  $\mu\text{S/Cm}$ , TDS, TRB, Ca (mg/L), Mg (mg/L), Na (mg/L), HCO<sub>3</sub> (mg/L), Cl (mg/L), SO<sub>4</sub> (mg/L), NO<sub>3</sub> (mg/L), K (mg/L).**

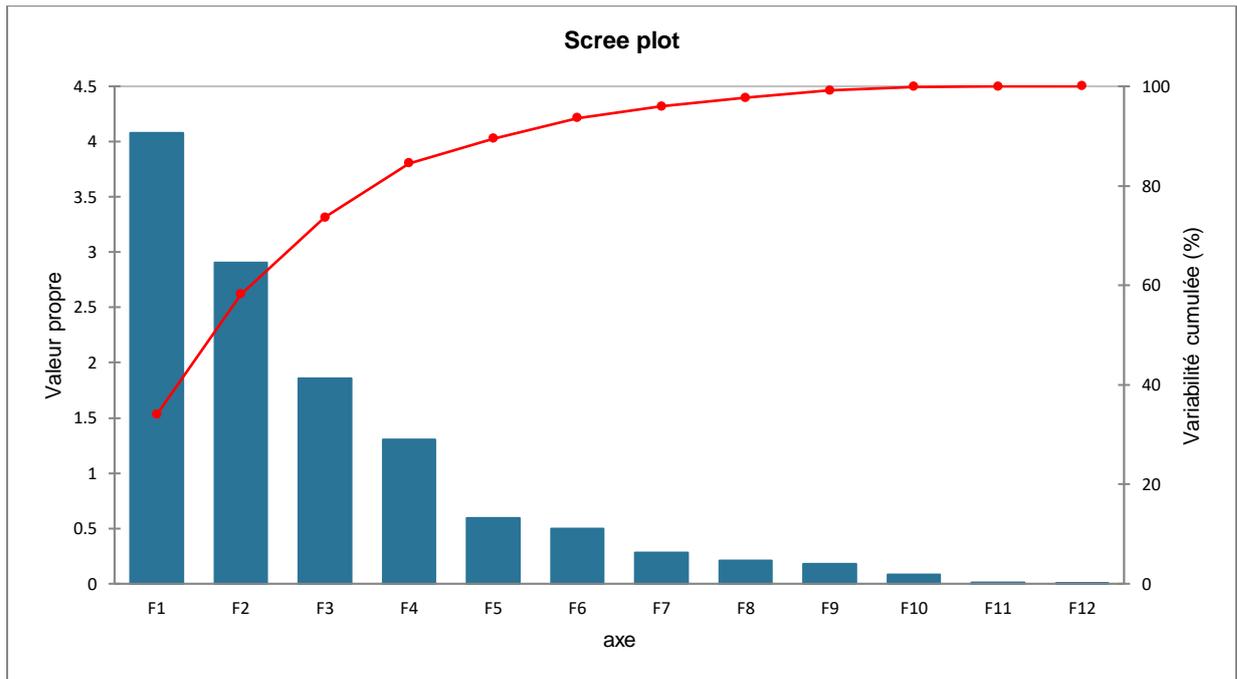
**Interprétation de résultats de l'ACP :****Les valeurs propres :**

L'analyse de la courbe des valeurs propres (.....), montre que les deux premiers facteurs représentent le maximum d'informations dont la valeur factorielle pour analyser des individus s'exprime par 98% et pour les variables s'exprime **58%** de la variance totale, avec **33,97%** pour le premier facteur (**F1**), **24,20%** pour le second (**F2**).

**Tableau07** : Valeurs propre de la matrice de corrélation des paramètres physico-chimique**Variance totale expliquée**

| Composante | Valeurs propres initiales |                  |           | Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus |                  |           | Somme des carrés des facteurs retenus pour la rotation |                  |           |
|------------|---------------------------|------------------|-----------|---|------------------|-----------|--|------------------|-----------|
|            | Total                     | % de la variance | % cumulés | Total   | % de la variance | % cumulés | Total  | % de la variance | % cumulés |
| 1          | 4,106                     | 31,584           | 31,584    | 4,106   | 31,584           | 31,584    | 3,384  | 26,033           | 26,033    |
| 2          | 3,107                     | 23,903           | 55,487    | 3,107   | 23,903           | 55,487    | 3,046  | 23,427           | 49,461    |
| 3          | 2,062                     | 15,863           | 71,350    | 2,062   | 15,863           | 71,350    | 2,328  | 17,905           | 67,366    |
| 4          | 1,359                     | 10,451           | 81,801    | 1,359   | 10,451           | 81,801    | 1,877  | 14,436           | 81,801    |
| 5          | ,629                      | 4,837            | 86,639    |   |                  |           |  |                  |           |
| 6          | ,539                      | 4,149            | 90,788    |   |                  |           |  |                  |           |
| 7          | ,422                      | 3,248            | 94,036    |   |                  |           |  |                  |           |
| 8          | ,331                      | 2,546            | 96,582    |   |                  |           |  |                  |           |
| 9          | ,228                      | 1,752            | 98,334    |   |                  |           |  |                  |           |
| 10         | ,123                      | ,945             | 99,278    |   |                  |           |  |                  |           |
| 11         | ,083                      | ,639             | 99,917    |   |                  |           |  |                  |           |
| 12         | ,008                      | ,065             | 99,982    |   |                  |           |  |                  |           |
| 13         | ,002                      | ,018             | 100,000   |   |                  |           |  |                  |           |

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.



**Figure N°27 :** Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres physico chimiques des sources

### Étude des individus :

#### La matrice de corrélation :

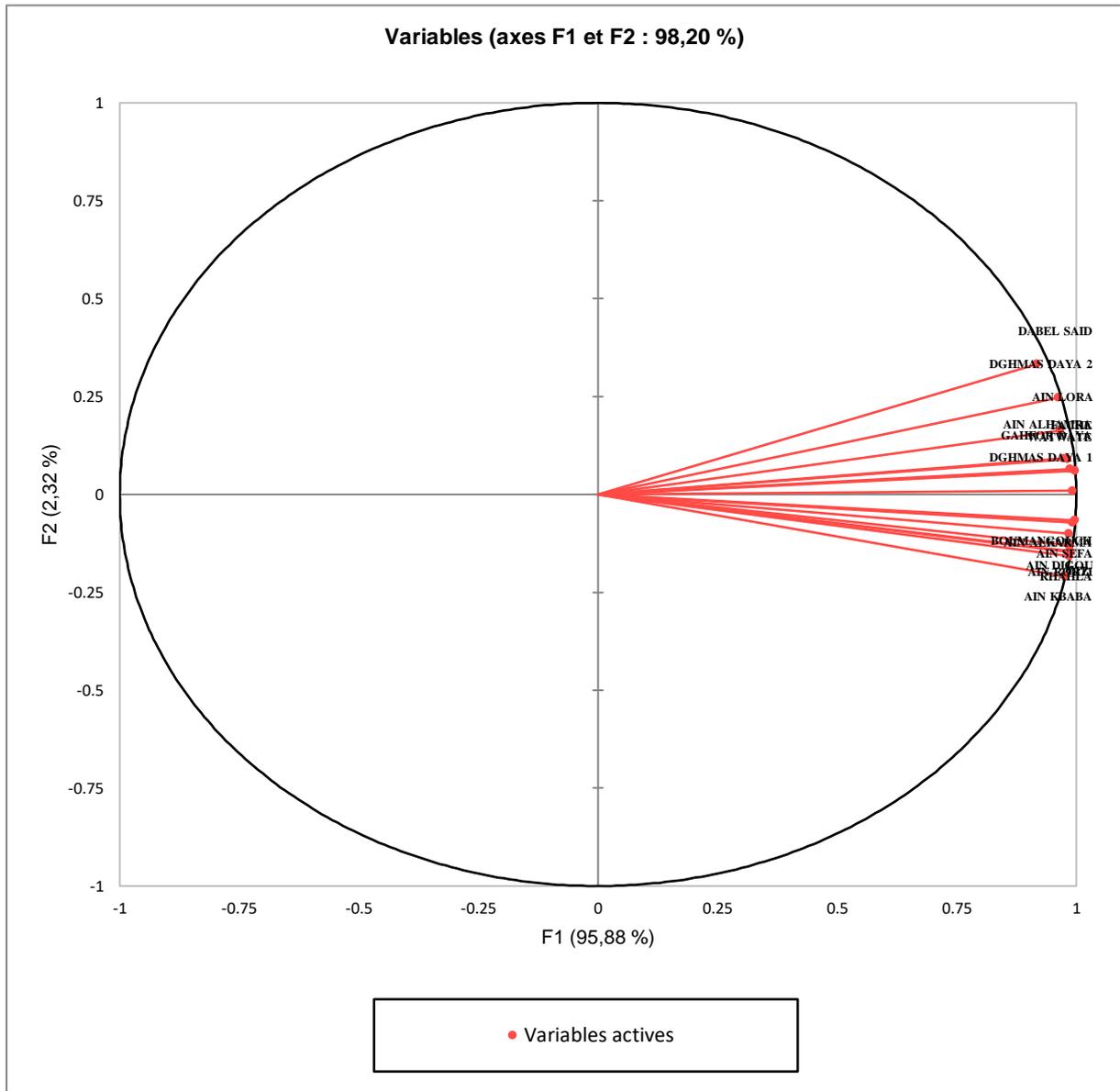
L'analyse de la matrice de corrélation (**Tableau N°27**), montre :

- Une corrélation positive et parfaite entre :
  - ✓ Dhaya et Ghafour ( $r^2 = 0.998$ )
  - ✓ Ain Forzi a et Bit ( $r^2 = 0.998$ )
- Une bonne corrélation positive entre :
  - ✓ Ain hamra et Ain forzi.
  - ✓ Daya 2 et Ain forzi

|             | GAHFORDAYA | FACHE | AINLORA | AINDIGOU | DGHMASDAYA1 | BOUMANGOUC | WATWATE | BIT   | RHAHLA | DGHMASDAYA2 | AINALHAMRA | AINRORZI | AINKBABA | DABELSAID | AINALKARMA | AINSEFA |
|-------------|------------|-------|---------|----------|-------------|------------|---------|-------|--------|-------------|------------|----------|----------|-----------|------------|---------|
| GAHFORDAYA  | 1,000      | ,998  | ,966    | ,962     | ,997        | ,974       | ,983    | ,952  | ,968   | ,969        | ,946       | ,957     | ,951     | ,904      | ,964       | ,951    |
| FACHE       | ,998       | 1,000 | ,967    | ,957     | ,995        | ,966       | ,981    | ,944  | ,961   | ,972        | ,942       | ,949     | ,942     | ,906      | ,955       | ,941    |
| AINLORA     | ,966       | ,967  | 1,000   | ,925     | ,963        | ,950       | ,969    | ,930  | ,929   | ,967        | ,957       | ,933     | ,912     | ,915      | ,939       | ,912    |
| AINDIGOU    | ,962       | ,957  | ,925    | 1,000    | ,975        | ,987       | ,970    | ,988  | ,986   | ,913        | ,958       | ,988     | ,983     | ,855      | ,980       | ,981    |
| DGHMASDAYA1 | ,997       | ,995  | ,963    | ,975     | 1,000       | ,983       | ,986    | ,968  | ,982   | ,961        | ,950       | ,972     | ,968     | ,893      | ,974       | ,963    |
| BOUMANGOUC  | ,974       | ,966  | ,950    | ,987     | ,983        | 1,000      | ,990    | ,995  | ,991   | ,942        | ,966       | ,995     | ,987     | ,896      | ,994       | ,990    |
| WATWATE     | ,983       | ,981  | ,969    | ,970     | ,986        | ,990       | 1,000   | ,976  | ,972   | ,979        | ,971       | ,975     | ,960     | ,933      | ,982       | ,974    |
| BIT         | ,952       | ,944  | ,930    | ,988     | ,968        | ,995       | ,976    | 1,000 | ,992   | ,913        | ,954       | ,999     | ,993     | ,865      | ,992       | ,989    |
| RHAHLA      | ,968       | ,961  | ,929    | ,986     | ,982        | ,991       | ,972    | ,992  | 1,000  | ,912        | ,931       | ,995     | ,998     | ,846      | ,987       | ,980    |
| DGHMASDAYA2 | ,969       | ,972  | ,967    | ,913     | ,961        | ,942       | ,979    | ,913  | ,912   | 1,000       | ,953       | ,913     | ,888     | ,951      | ,930       | ,918    |
| AINALHAMRA  | ,946       | ,942  | ,957    | ,958     | ,950        | ,966       | ,971    | ,954  | ,931   | ,953        | 1,000      | ,952     | ,921     | ,926      | ,958       | ,957    |
| AINRORZI    | ,957       | ,949  | ,933    | ,988     | ,972        | ,995       | ,975    | ,999  | ,995   | ,913        | ,952       | 1,000    | ,995     | ,862      | ,993       | ,988    |
| AINKBABA    | ,951       | ,942  | ,912    | ,983     | ,968        | ,987       | ,960    | ,993  | ,998   | ,888        | ,921       | ,995     | 1,000    | ,826      | ,985       | ,979    |
| DABELSAID   | ,904       | ,906  | ,915    | ,855     | ,893        | ,896       | ,933    | ,865  | ,846   | ,951        | ,926       | ,862     | ,826     | 1,000     | ,907       | ,897    |
| AINALKARMA  | ,964       | ,955  | ,939    | ,980     | ,974        | ,994       | ,982    | ,992  | ,987   | ,930        | ,958       | ,993     | ,985     | ,907      | 1,000      | ,995    |
| AINSEFA     | ,951       | ,941  | ,912    | ,981     | ,963        | ,990       | ,974    | ,989  | ,980   | ,918        | ,957       | ,988     | ,979     | ,897      | ,995       | 1,000   |

Tableau N°08 : Matrice de corrélation (ACP) entre les sources

## Étude la cercle de L'ACP :



**Figure N°28 :** L'ACP des paramètres physico chimiques des sources sur les plans factoriels (F1-F2).

On assurait sur cette étude à choisir deux axes le plus dominant qui donne une meilleure représentation **98,20 %**. En effet Le cercle des corrélations est la projection du nuage des variables sur le plan des composantes principales. Les variables bien représentées sont celles qui sont proches du cercle, celles qui sont proches de l'origine sont mal représentées. Alors on a que les sources sont tous corrélées sur l'axe 1 et 2.

Étude des variables :

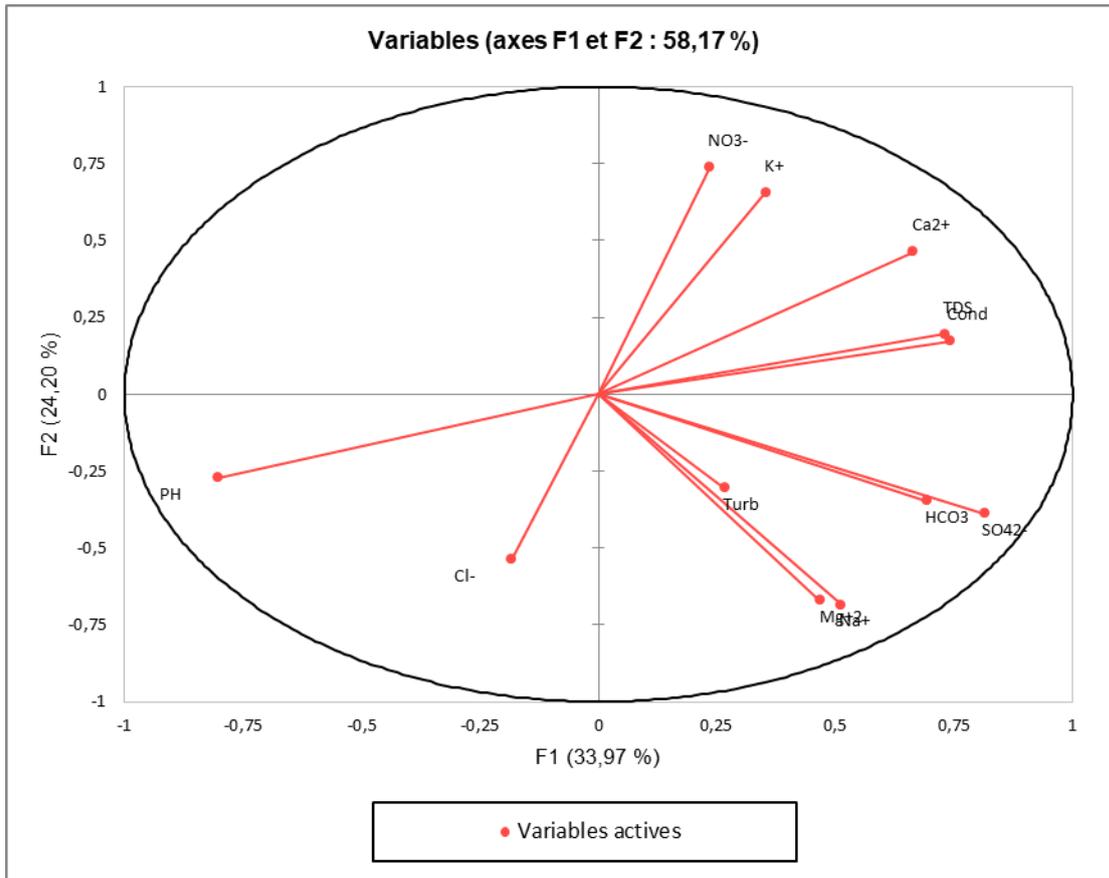


Figure N° 29 : L’ACP des paramètres physico chimiques des variables de sources sur les plans factoriels (F1-F2).

En assurant sur cette étude à choisir deux axes le plus dominant qui donne une meilleure représentation **58%**. En effet Le cercle des corrélations est la projection du nuage des variables sur le plan des composantes principales. Les variables bien représentées sont celles qui sont proches du cercle, celles qui sont proches de l’origine sont mal représentées. Alors on a :

- L’axe 1 (**33,97%**) : est bien représenté par les variables suivantes : **NO<sub>3</sub>, K, CA<sup>+2</sup>**
- L’axe 2 (**24,20%**) : est bien représenté par les variables suivantes : **HCO<sub>3</sub> .SO<sub>4</sub> MG<sup>+2</sup>**
- Les Variable **Ph** et **CL<sup>-2</sup>** sont mal représentées sur les deux axes.

Étude hydro chimique :

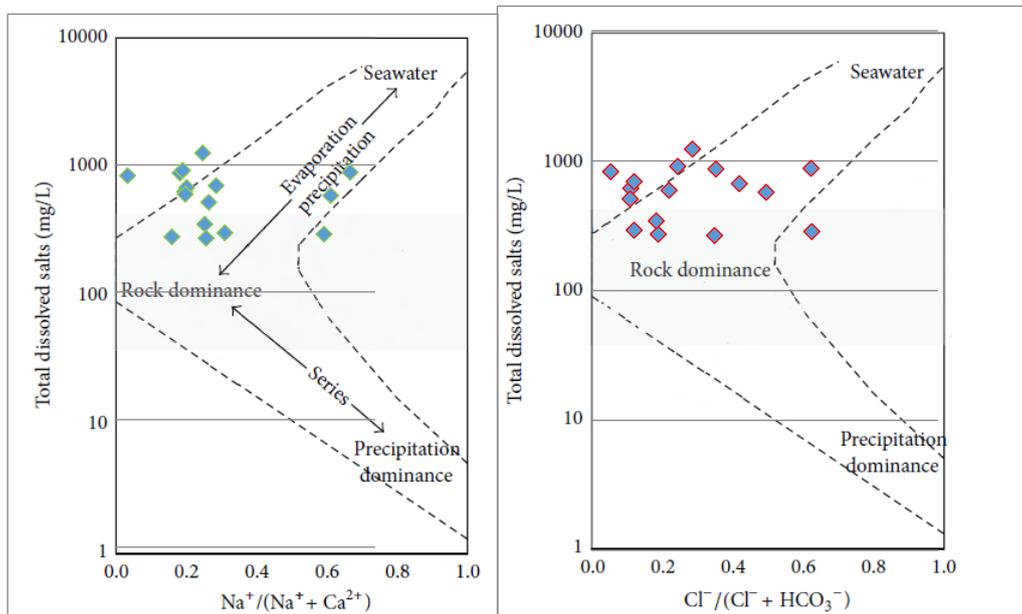
Facies hydro chimique :

Interprétation des diagrammes d’analyse d’eau :

Durant leur parcours les eaux subissent des modifications de faciès, pour les différencier ces eaux peuvent être classées en fonction de leur composition ionique sur les diagrammes semi-logarithmiques et triangulaires

### Interprétation des diagrammes de Gibbs :

Le Diagramme de Gibbs traduisant l'origine de la minéralisation des différents échantillons d'eaux de notre zone d'étude



**Figure N° 30** : L'interprétation du diagramme de GIBS

L'interprétation du diagramme de Gibbs (1970) montre qu'un seul domaine auquel appartiennent les différentes sources d'eau analysées (Figure N°30). Le domaine est celui des eaux des sources qui montrent une minéralisation influencée par les processus d'interaction eau – roche (I.E.R).

À partir de ce résultat, on peut déduire que toutes les eaux situées au niveau de la commune de Tissemsilt subissent une influence d'altération et la dissolution des substances géologiques dans leurs compositions physico-chimiques.

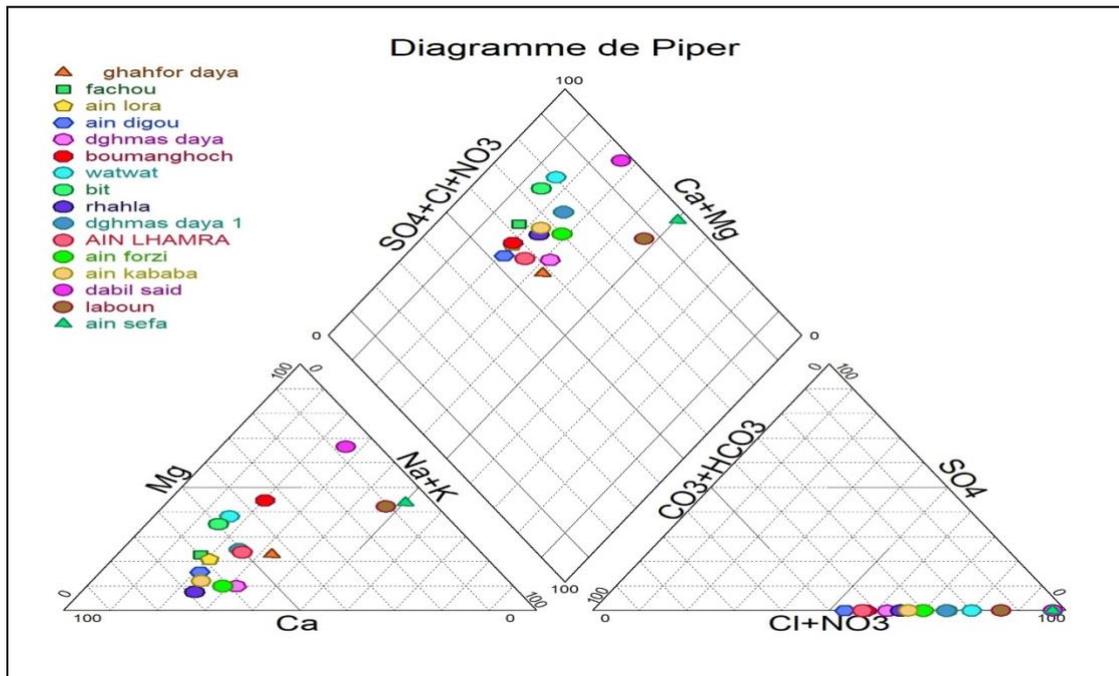


Figure N° 31 : Interprétation par diagramme triangulaire “Piper”

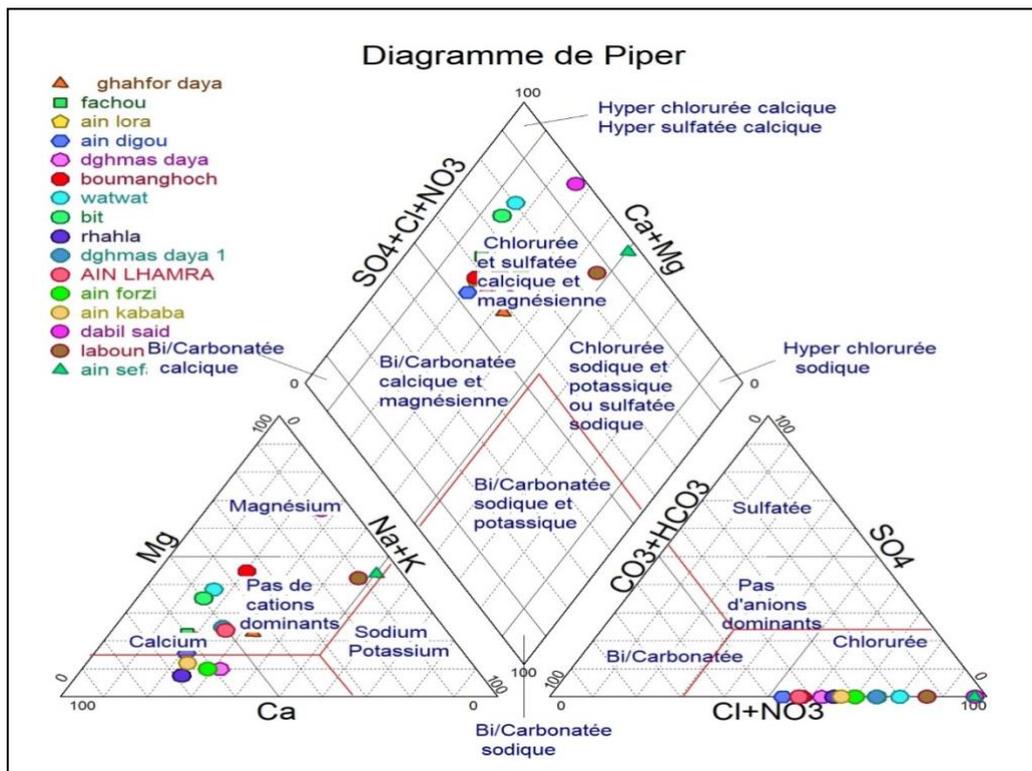


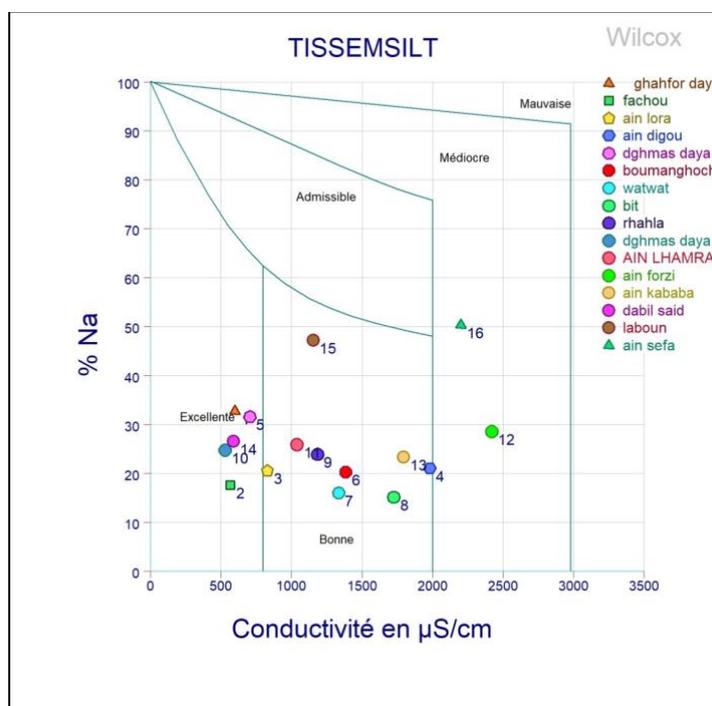
Figure N° 32 : Interprétation par diagramme triangulaire “Piper”

Après l’interprétation du diagramme de Piper on a ressorti un (01) facies par les sources reportées dans notre région d’étude qui présente un Facies de type Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne

L’interprétation du diagramme présente que les eaux sont eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ; L’origine des éléments majeurs provoqué par la dissolution au

contact de l'encaissant ou des formations géologiques de notre région d'étude qui est aussi confirmé par l'interprétation du diagramme de Gibbs (Figure 31) qui explique de l'origine des éléments proviennent d'interaction et la dissolution des roches

Les éléments chlorurée et sulfatée proviennent du lessivage ou la dissolution de là de formations d'anciens dépôts évaporitiques contenant du gypse ou sel gemme. Ils sont présents dans les eaux très profondes du socle. Le calcium associé à l'ion sulfate est fourni par la dissolution du gypse. Il est aussi prédominant dans les eaux circulant en milieu calcaire. Les eaux de la région d'étude tirent leur teneur en magnésium du lessivage des formations sédimentaires à partir de la mise en solution de la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium) ou celle d'évaporites comme le gypse



**Figure 33 :** Diagramme de Wilcox

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Wilcox, qui fait intervenir la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$  (Figure 33) : il fait ressortir que la qualité des eaux artésiennes de la commune de Tissemsilt appartiennent aux classes "excellente", "bonne", et "médiocre" de la classification de WILCOX.

Après l'interprétation on constate que la majorité des eaux appartiennent aux classes excellente et bonne, sont celles assez faiblement minéralisées que l'on rencontre dans notre région d'étude. La qualité des eaux se dégrade pour les sources de Ain Forzi et Ain Sefa.

**Indice de la qualité des eaux (IQE)****Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE)**

Onze paramètres importants (CE.PH.TDS. Ca...etc.) Ont été sélectionnés pour calculer l'Indice de qualité d'eau **IQE**. Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationales ou nationales algériennes dans le cadre de cette étude.

L'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes Simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.).

Dans cette étude :

L'indice IQE est appliqué pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des sources artésiennes situé au niveau de la commune de Tisemsilt. Cet indice est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (**Brown et al., 1970 ; Brown et al., 1972 ; Chatterji et Raziuddin, 2002 ; Yidana et Yidana, 2010**). Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif ( $W_i$ ), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée (Tab 09) selon la formule suivante :

$$W_i = k / S_i \dots\dots\dots (1)$$

Où :

**k** : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$k = 1 / \sum_{i=1}^n (1/S_i) \dots\dots\dots (2)$$

**n** : nombre de paramètres

**S<sub>i</sub>** : valeur maximale de la norme standard marocaine des eaux

(Norme Algérienne de qualité des eaux, 2011) de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité ( $Q_i$ ) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = (C_i / S_i) \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

**Q<sub>i</sub>** : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

**C<sub>i</sub>** : la concentration de chaque paramètre en mg/l

Enfin, l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots (4)$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tab 09).

**Tableau 09 : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et al., 1972 ; Chatterji et Raziuddin, 2002 ; Aher et al., 2016).**

| Classe de IQE | Type d'eau            | Usage possible                                |
|---------------|-----------------------|---|
| 0 – 25        | Excellent qualité     | Eau potable, irrigation et industrie          |
| >25 – 50      | Bonne qualité         | Eau potable, Irrigation et industrie          |
| >50 – 75      | Mauvaise qualité      | Irrigation et industrie                       |
| >75 – 100     | Très mauvaise qualité | Irrigation                                    |
| > 100         | Eau non potable       | Traitement approprié requis avant Utilisation |

Les résultats obtenus dans cette étude sont analysés, interprétés, afin de donner une idée générale sur la qualité globale des eaux étudiées et leur évolution spatiale et saisonnière.

**Tableau 09 : Résultats du calcul de l'indice (IQE) et évaluation de la qualité des sources artésiennes de la commune de Tissemsilt.**

Le poids relatif (**Wi**) de chaque paramètre physico-chimique et la Constante de proportionnalité **k**) sont calculés en premier lieu en utilisant les Valeurs maximales de la norme standard Algérienne des eaux (Norme Algérienne de qualité des eaux, 2011) des paramètres physicochimiques étudiés.

**Tableau N° 10 :** Poids des paramètres physico-chimiques et norme algérienne de qualité des eaux (Norme Marocaine de qualité des eaux, 2011. et norme de OMS

| Paramètres                    | Normes Algérienne | Si (valeur maximale standard, Algérie) | 1/Si         | Wi         | Norme de l'OMS (1984) |
|-------------------------------|-------------------|--|--------------|------------|-----------------------|
| <b>pH</b>                     | 9                 | 9                                      | 0,11111111   | 0,11111111 | <b>6,5-8,5</b>        |
| <b>T (°C)</b>                 | 25                | 25                                     | 0,04         | 0,12410736 | <b>300</b>            |
| <b>TDS (ppm)</b>              | 500               | 500                                    | 0,002        | 0,00620537 | <b>75</b>             |
| <b>Cond (µs/cm)</b>           | 2800              | 2800                                   | 0,00035714   | 0,0011081  | <b>30</b>             |
| <b>Ca++ (mg/l)</b>            | 200               | 200                                    | 0,005        | 0,01551342 | <b>200</b>            |
| <b>Mg++ (mg/l)</b>            | 50                | 50                                     | 0,02         | 0,06205368 | <b>12</b>             |
| <b>Na+ (mg/l)</b>             | 200               | 200                                    | 0,005        | 0,01551342 | <b>200</b>            |
| <b>HCO<sub>3</sub> (mg/l)</b> | 32                | 32                                     | 0,031        | 0,09695888 | <b>500</b>            |
| <b>SO<sub>4</sub>- (mg/l)</b> | 400               | 400                                    | 0,0025       | 0,00775671 | <b>250</b>            |
| <b>Cl- (mg/l)</b>             | 500               | 500                                    | 0,002        | 0,00620537 | <b>45</b>             |
| <b>K+ (mg/l)</b>              | 12                | 12                                     | 0,08333333   | 0,25855701 | <b>200</b>            |
|                               |                   | <b>k=1/<br/>∑(1/Si)</b>                | <b>3,102</b> |            |                       |

Après le calcul de l'indice global de qualité IQE en utilisant les résultats, D'analyses physico-chimiques et les valeurs standards de la norme Algérienne (Norme Algérienne de qualité des eaux 2011), la classe de qualité des eaux est déterminée pour les 16 échantillons relatifs aux 17 stations d'échantillonnage (Tableau 10). Ainsi, trois classes de qualité (Excellente, Bonne qualité et non potable) sont identifiées dans le tableau.

**Tableau N° 10 :** Valeurs de l'indice IQE et classe de qualité des sources artésiennes de la commune de Tissemsilt.

| Sources              | IQE    | Classe de qualité | Sources              | IQE     | Classe de qualité |
|----------------------|--------|-------------------|----------------------|---------|-------------------|
| <b>GAHFOR DAYA</b>   | 17.006 | Excellent         | <b>RHAHLA</b>        | 36.803  | Bonne qualité     |
| <b>FACHE</b>         | 16.141 | Excellent         | <b>DGHMAS DAYA 2</b> | 20.941  | Excellent         |
| <b>AIN LORA</b>      | 46.408 | Bonne qualité     | <b>AIN ALHAMRA</b>   | 31.858  | Bonne qualité     |
| <b>AIN DIGOU</b>     | 27.832 | Bonne qualité     | <b>AIN RORZI</b>     | 166,244 | Eau non potable   |
| <b>DGHMAS DAYA 1</b> | 21.364 | Excellent         | <b>AIN KBABA</b>     | 25.408  | Bonne qualité     |
| <b>BOUMANGOUCHE</b>  | 42.801 | Bonne qualité     | <b>DABEL SAID</b>    | 16.551  | Excellent         |
| <b>WATWATE</b>       | 15.853 | Excellent         | <b>AIN ALKARMA</b>   | 47.816  | Bonne qualité     |
| <b>BIT</b>           | 38.356 | Bonne qualité     | <b>AIN SEFA</b>      | 168,849 | Eau non potable   |

L'indice de qualité de l'eau **IQE** montre qu'au passage entre les différentes sources de la région de Tissemsilt (**GAHFOR DAYA, FACHE, DGHMAS DAYA 1, WATWATE, DABEL SAID, DGHMAS DAYA 2** sont d'Excellente qualité (**IQE 0 – 25**) destiné à l'Eau potable ou irrigation et industrie.

Cependant, les sources **AIN LORA, AIN DIGOU, BOUMANGOUCHE, BIT, AIN ALKARMA, AIN KBABA, AIN ALHAMRA, RHAHLA** représentant des eaux avec une bonne qualités (**IQE >50 – 75**) pour utilisation d'Irrigation et industrie,

Et enfin les sources **AIN SEFA et AIN RORZI présente une qualité** non potable (**IQE > 100**) pour utilisation et Traitement approprié requis avant Utilisation (Tableau N° 10 et Figure N° 34).

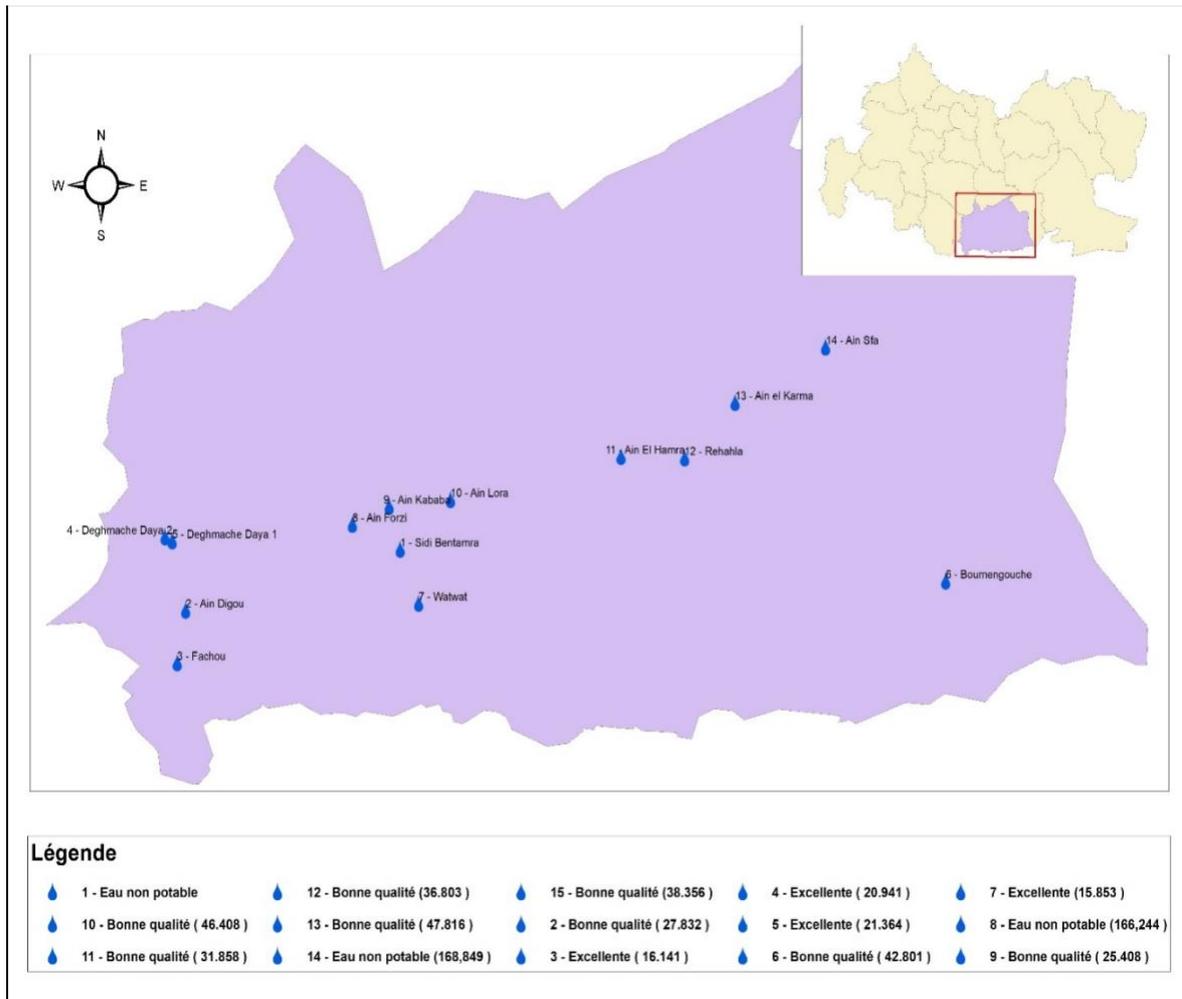


Figure N° 34 : La carte de l'indice de la qualité de la commune de Tissemsilt

# Conclusion Générale

## Conclusion générale

---

Afin d'évaluer la qualité des eaux souterraines, nous allons étudier l'hydrochimie et l'indice de la qualité des sources artésiennes de la commune de Tissemsilt, pour approfondir la connaissance des différents paramètres hydrochimique concernant les eaux souterraines et leur qualité en vue de leur utilisation en alimentation potable et l'irrigation, et les principales sources de pollution.

Les résultats de la synthèse Hydro chimique ont permis de faire ressortir les principaux faciès.

Selon le diagramme de Gibbs montre un seul domaine auquel appartiennent les différentes sources d'eau analysées montrent une minéralisation influencée par les processus d'interaction eau – roche (I.E.R).

- Selon le diagramme de piper : Un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne
- Selon le diagramme *WILCOX* de qui fait intervenir la conductivité électrique et le % Na+, il fait ressortir que la qualité des eaux artésiennes de la commune de Tissemsilt appartient aux classes « excellente », "bonne", " et " médiocre "
- L'étude statistique, par analyse en composante principale ACP fait apparaître un bon regroupement des échantillons selon l'étude de corrélation des variables.
- Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE) en utilisant les résultats, D'analyses physico-chimiques, la classe de qualité des eaux est déterminée pour les 16 échantillons trois classes de qualité (Excellente, Bonne qualité et non potable ou médiocre

À l'issue de ce travail, on peut déduire que les eaux de ces sources sont des eaux a des paramètres différents de l'une à l'autre sur le plan physico-chimique et peuvent alors être utilisées à la consommation humaine comme à l'irrigation qui suggère un contrôle de l'évolution de leur salinité.

Enfin, Si nous aurons de la chance d'avoir des données très récentes de la qualité ainsi que les cartes piézométriques de la région. Il est souhaitable de poursuivre ce travail en faisant

une extension spatiale de la zone d'étude, afin de mieux comprendre la variabilité spatiale de la salinité des eaux de la nappe souterraine de Tissemsilt.

# Bibliographies

# Bibliographies

- **Anonyme 2010 Source** / dreal franche comté / Copie du hauts Doubs novembre 2010 la biodiversité page 50 Works, 117, (pp. 339–343).
- **BENDER, 1998** Étude de Schéma directeur d'hydro-agricole wilaya de Tissemsilt.
- **BNEDER, 2009**. Plan national de développement forestier (PNDF). Rapport de Synthèse nationale, Alger. 85p
- **BOUZAINI-M., 2000**, L'eau de la pénurie maladie. Ed. IBN-KHALDOUN, Oran : 59-64, d'étude et de réalisation des ouvrages U.R.T.O. PADV de Hassi ben abdallah Phase1 : Rapport d'orientation. P 1 4.
- **Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., Tozer, R.G., 1970**. A water quality index – do we dare ? Water Sew. Works 117, 339 – 343.
- **Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & O'connor, M.F. (1972)**. A water quality index-crashing the psychological barrier. In Indicators of environmental quality (pp. 173-182). Springer, Boston, MA.
- **Chatterji, C., Raziuddin, M. (2002)**. Determination of water quality index of a degraded river in Asanol Industrial area, Raniganj, Burdwan, West Bengal. Nature, Environment and Pollution Technology, 1 (2) (pp. 181-189).
- **DEGREMENT, 1984, TOME 1**, Mémento technique de l'eau, 9ème édition. Lavoisier, Paris.
- **DET 2019** (Direction environnement wilaya de Tissemsilt)
- **DHT 2012** (Direction hydraulique wilaya de Tissemsilt)
- **DGAIH 1997**. Plan nationale de l'eau évaluation de ressource en eaux
- **Duchaufour Ph, 1997** – Abrégé de Pédologie. Sol, végétation, environnement. Masson, Paris
- **GUIRAUD-J ET GALZY-P, 1980**, Analyse microbiologique dans l'industrie alimentaire, Les éditions de l'usine nouvelle. Paris. P 64-89.
- **HAMED-M, GUETTACHE-A, BOUAMER-L, 2012**, Etude des propriétés Physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar, Mémoire D'Ingénieur d'état en biologie. Université de Bechar. P 7- 9.
- **HASLAY-C et LECLERC-H, 1993**. Microbiologie des eaux d'alimentations. P 400

- **H. ASKRI, 2013** (Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement)
- **Hocine necib** à Tissemsilt « les besoins hydriques de la wilaya couverts pour 20 ans»
- **Horton, R.K, 1965.** An index number system for rating water quality.J.WaterPollut. Control Fed. 37 (3), 300 – 306.
- **Kadi 1997** la gestion de l'eau et Doc limoges. France
- **Kateb 2001** ressources en eau en Algérie : stratégie enjeu et vision édition service B.V
- **LARBI.ABID** ; année inconnue (La couverture sanitaire de la wilaya de Tissemsilt)
- **LOUIS SCHRIVER-M, 2012.** La gestion durable de l'eau : ressource, qualité, organisation. P 18
- **OMS 1985\_1986** Directives de qualité pour l'eau de boisson Genève.
- **RODIER-J, BAZIN-C., BROUTIN-J, CHAMBON P, CHAPSAUP-H, RODI-L, 1996.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris. P 30- 31-204-205-380-500-1086-1335.
- **Saeedi, M., Abessi, O., Sharifi, F., Maraji, H., 2009.** Development of groundwater quality index. Environ. Monit. Assess. 163 (1-4), 327 – 335.
- **SELTZER (1946)** le climat de l'Algérie trav inst météorol phys Globe Algérie
- **TIR EL Hadj 2015** (Mémoire de magistar Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt

# ***LES ANNEXES***

## Annexe 01

### 1. Matériels pour les analyses physico-chimiques :

#### 1.1. Matériels pour échantillonnage :

- ✓ Bouteille en verre 500ml.
- ✓ Bouteille 1 litre 500 ml

#### 1.2. Appareillage :

- ✓ fiole 100ml -50ml.
- ✓ Bécher.
- ✓ Pipette graduée.
- ✓ Burette
- ✓ Flacons en verre.
- ✓ Spatule



Spectrophotomètre



Les Capsules



pH mètre et conductimètre



Agitateur magnétique



Ain Digo



Ain Lora



Rehahla



Kebaba



DGHMAS DAYA 1



DGHMAS DAYA 2

### 1.3. Les réactifs :

**Tableau 01** : Réactifs mixtes de détermination de nitrites (NO<sub>2</sub>).

| Les produits                    | Quantité |
|---------------------------------|----------|
| <b>Sulfanilamide</b>            | 10g      |
| <b>Acrique</b>                  | 25 ml    |
| <b>Phetyèthyène diamine</b>     | 0.5 g    |
| <b>Ho<sub>2</sub> distillée</b> | 25 ml    |

**Tableau 02** : Réactifs de détermination de nitrates.

| Les produits                              | Quantité   |
|---|------------|
| Solution de salicylate de sodium          | 0.5%       |
| Solution NAOH                             | 30%        |
| H 2SO4 concentré                          |            |
| Tartrate double de sodium et de potassium | 10 mg      |
| Tartrate de sodium et de potassium        | 15g        |
| Eau distillée                             | 250 ml     |
| Laisser refroidir avant de compléter      | 1000 ml    |
| Solution mère d'azote d'origine nitrique  | 1000 mg /L |
| Nitrate de potassium anhydre              | 0.180 g    |
| Eau distillée                             |            |
| Chloforme                                 | 1ml        |

**Détermination du calcium et de magnésium :**

**Réactifs**

**Tableau 03** : Solution d'EDTA

| Produit                         | Quantité     |
|---------------------------------|--------------|
| EDTA                            | 093g         |
| HO2 distillée                   | 250 ml       |
| Solution d'hydroxyde d'ammonium | (NH4OH=10.1) |
| Chlorure d'ammonium (NH 4Cl2)   | 17.5g        |
| HO2 distillée                   | 250 ml       |

**Tableau 04 : Réactifs de détermination de sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)**

| Produit   | Quantité  |
|---|---|
| <b>Solution mère de sulfate</b>                       | 1g /l <sup>a</sup> partie sur Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| <b>Sulfate de sodium Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | 1,10g   |
| <b>HO<sub>2</sub> distillée</b>                       | 250 ml  |
| <b>Solution stabilisante</b>                          |   |
| <b>Acide chlorhydrique concentré</b>                  | 60ml  |
| <b>Éthanol</b>  | 200 ml  |
| <b>Chlorure de sodium</b>                             | 37.5 ml   |
| <b>Glycérol</b>                                       | 6.25 ml   |
| <b>Eau distillée</b>                                  | 250 ml  |
| <b>Chlorure de baryum</b>                             | 37.5g   |
| <b>Acide chlorhydrique e</b>                          | 1.25 ml   |
| <b>Eau distillée</b>                                  | 250 ml  |

**Tableau 05 : réactifs de chlorure**

| Produit  | Quantité   |
|--|--|
| <b>Solution de nitrate d'argent</b>                    | 0.001N   |
| <b>1,6987d'AgNO<sub>3</sub></b>                        | 100 ml eau distillée                               |
| <b>Indicateur coloré</b>                               | K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> à10% |
| <b>10g de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b> | 100 ml eau distillée                               |
| <b>Solution de chlorure</b>                            | 71mg /L  |
| <b>0,107g de NH<sub>4</sub>Cl</b>                      | 1000 ml eau distillée                              |

| Les<br>parameters<br>Les sources | Ph   | T °c | CE<br>μS/cm | Ca <sup>2+</sup><br>mg/L | Mg <sup>2+</sup><br>mg/L | Na+<br>mg/L | So <sup>-24</sup><br>mg/L | HCO <sup>-3</sup><br>mg/L | Cl -<br>mg/L | No <sup>3</sup><br>mg/L | K<br>mg/L | TDS  |
|----------------------------------|------|------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----------|------|
| Gahfour                          | 8.71 | 16.7 | 600         | 64,12                    | 19.84                    | 47          | 43.5                      | 93,3                      | 21,3         | 93.3                    | 11.9      | 292  |
| Fache                            | 8.42 | 16.7 | 563         | 76,15                    | 17.36                    | 21,5        | 42.3<br>8                 | 86,95                     | 35,5         | 86.95                   | 7.2       | 273  |
| Ain lora                         | 7.7  | 16.1 | 830         | 169,94                   | 36.7                     | 63          | 214.<br>62                | 139,6                     | 28,4         | 139.6                   | 9.2       | 617  |
| Ain Degou                        | 7.52 | 16.5 | 1980        | 248,5                    | 36.7                     | 13,2        | 266.<br>46                | 230,5                     | 21,3         | 230.5                   | 137.<br>3 | 827  |
| Daghmase                         | 8.5  | 16.9 | 704         | 85,77                    | 8.93                     | 45,5        | 45.5<br>4                 | 91,55                     | 35,5         | 91.55                   | 12.9      | 343  |
| Boumango<br>uche                 | 7.85 | 16.6 | 1384        | 134,89                   | 104.66                   | 86          | 186.<br>99                | 63,22                     | 14,2         | 63.22                   | 6.9       | 689  |
| Watwat                           | 7.90 | 16.6 | 1333        | 178,75                   | 90.27                    | 68,5        | 217.<br>37                | 16,03                     | 28,4         | 16.03                   | 5         | 663  |
| Bit                              | 7.56 | 16.8 | 1726        | 153,91                   | 65.97                    | 52          | 218.<br>5                 | 18,2                      | 21,3         | 18.2                    | 3.4       | 866  |
| Rhahla                           | 7.8  | 16.7 | 1186        | 72,14                    | 4.96                     | 26,9        | 19.9<br>9                 | 55,84                     | 28,4         | 55.84                   | 3.5       | 589  |
| Daghmase<br>Daya 2               | 8.19 | 16.9 | 530         | 112,22                   | 33.23                    | 61          | 116.<br>92                | 12,42                     | 14,2         | 12.42                   | 3.1       | 267  |
| Ain hamra                        | 7.88 | 16.4 | 1038        | 232,46                   | 65.97                    | 132         | 389.<br>54                | 141,42                    | 28,4         | 141.42                  | 7.9       | 508  |
| Ain Forzi                        | 7.83 | 17   | 2420        | 192,38                   | 18.85                    | 98,5        | 267.<br>5                 | 63,82                     | 49,7         | 63.82                   | 7.4       | 1232 |
| Ain kababa                       | 7.90 | 17.1 | 1793        | 76,15                    | 8.43                     | 27,1        | 29.8<br>6                 | 48,55                     | 28,8         | 48.55                   | 7.1       | 901  |
| Dabel                            | 8.6  | 16.8 | 589         | 18,2                     | 104.66                   | 75          | 265.<br>63                | 4,93                      | 99,4         | 4.93                    | 6.9       | 286  |
| Ain<br>alkarma                   | 8.08 | 16.8 | 1157        | 15                       | 36.21                    | 73          | 187.<br>57                | 20,53                     | 63,9         | 20.53                   | 6.1       | 572  |
| Ain sefa                         | 7.63 | 16.6 | 2200        | 19,8                     | 87.30                    | 186,<br>3   | 363.<br>8                 | 1,79                      | 35,5         | 1.79                    | 6.4       | 876  |