

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -  
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة أكلي محمد أوحاج  
- البويرة -  
معهد التكنولوجيا

## Department de Genie de L'eau

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

De Licence professionnelle en :

**Hydraulique**

**Thème :**

**Évaluation de la qualité des eaux souterraines de sous bassin  
El Sahel par la méthode de l'indice IQE.**

**Réalisé par :**

ABD EL RAHIM BEN FARDJALLAH

**Encadré par :**

Mme REZIG Amina.

Année universitaire : 2019/2020

# Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma promotrice de mémoire Mme REZIG Amina, je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé, et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants, intervenants et toutes les personnes qui par les paroles, leur écrit et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents **YAMINA** et **KOUIDER**, qui a toujours été là pour moi, je remercie ma sœur **KAOUTHER**, et mon frère **SEDIK** pour leurs encouragements.

A tous les enseignants de l'institut de technologie pour leurs contributions à ma formation licence professionnelle en Hydraulique

Durant trois ans d'étude qui ont été enrichissants.

Enfin, je remercie mes amis Ismail, Amine, Youcef, Zakaria, Raouf, la liste est longue...

Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

# *Dédicace*

**A ma très chère mère**

**Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me Guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.**

**A mon très cher père Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.**

**Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.**

**Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.**

## ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة نوعية المياه الجوفية في منطقة البويرة. لهذا نعتد على القياسات والتحليلات الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في هذه المنطقة، التي نفذتها خدمات شركة المياه الجزائرية والتي سمحت لنا بتقييم خصائص المياه الجوفية من خلال الإحالة لمعايير الشرب (منظمة الصحة العالمية).

أجريت هذه الدراسة بتفسير نتائج عينات المياه المأخوذة (37 بئراً) خلال عام 2016، باستخدام المؤشر العددي IQE لتقييم جودة المياه الإجمالية من بيانات تحليل معينة، يسهل فهمها من قبل المديرين وصانعي القرار، باستخدام الرسوم البيانية الكيميائية (بايبر، شويلر) مع برنامج الكيمياء الجيوكيميائية من أفينيون (DIAGRAMS) من أجل تحديد فئة الماء (ممتاز، جيد، سيء، سيء للغاية، غير صالح للشرب).

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية، الجودة، التحليلات الفيزيائية والكيميائية، بويرة، معايير مياه الشرب، لمؤشر العددي IQE.

## Abstract :

The objective of this work is to study the quality of groundwater in the region of Bouira. For this, we have relied on the measurements and physico-chemical analyzes of groundwater in the Sahel basin, carried out by the services of the Algerian Water Company (AWC), which allowed us to assess the characteristics of groundwater in referring to drinking water standards (WHO).

This study was carried out by interpreting the results of the water samples taken (37 boreholes) during the year 2016, by the use of the IQE numerical index, to assess the overall water quality from a certain analysis data, it is easily understood by managers and decisionmakers, using chemical diagrams (Piper, Schoeller) with the software of Hydrogeochemistry of Avignon (DIAGRAMS). in order to identify the class of 1 water (excellent, good, bad, very bad, not drinkable).

**Keyword :** groundwater, quality, physico-chemical analyzes, Bouira, drinking water standards, the IQE index.

## Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité eaux souterraines dans la région de Bouira. Pour cela, nous avons appuyons sur les mesures et analyses physico-chimique des eaux souterraines du bassin Sahel ,été réalisées par les services de la Société Algérienne des Eaux (ADE).ce qui nous permis d'évaluer les caractéristiques des eaux souterraines en se référant aux normes de potabilité (OMS).

Cette étude a été menée en interprétant les résultats des échantillons d'eau prélevés (37

Forage) pendant l'année 2016, par l'utilisation de l'indice numérique IQE, pour évaluer la qualité globale de l'eau à partir d'un certain données d'analyses, il est facilement compris par les gestionnaires et décideurs, à l'aide de diagrammes chimiques (Piper, Schoeller) avec le logiciel d'Hydrogéochimie d'Avignon (DIAGRAMMES).afin d'identifier la classe de l'eau (excellant, bonne, mauvaise, très mauvaise, non potable).

**Mot clé :** eaux souterraines, la qualité, les analyses physico-chimiques, Bouira, les normes de potabilité, l'indice IQE.

# Sommaire

-Table des matières.

-Liste des tableaux.

-Liste des figures.

-liste des abréviations.

## Table des matières

Introduction générale..... 1

### **Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil**

I.1. Introduction..... 2

I.2. Historique de l'organisme ..... 2

    I.2.1 Définition ..... 2

    I.3. Présentation de l'entreprise ..... 2

I.4. Les principales missions de l'ADE ..... 3

I.5. Effectifs de l'unité..... 3

I.6. Ouvrages et installations hydrauliques ..... 4

    I.6.1. Infrastructures ..... 4

I.7. Présentation du laboratoire..... 5

    I.7.1. Les différentes structures de laboratoire ..... 5

I.8. Conclusion ..... 7

### **Chapitre II : Caractéristique et potabilité de l'eau**

II.1. Introduction..... 8

II.2. Le cycle d'eau..... 8

II.3. Etat de la situation de l'eau..... 9

II.4. Les eaux souterraines..... 9

II.5. les aquifères .....	10
II.6. Une nappe d'eau souterraine.....	10
II.7. Les différents types de nappes .....	11
II.7.1 La Nappe profonde .....	11
II.7.2. Une nappe libre .....	11
II.7.3. Une nappe captive.....	11
II.7.4 Nappe phréatique .....	12
II.7.5 Nappes alluvionnaire .....	12
II.7.6. Nappe karstique .....	12
II.8. Les paramètres organoleptiques.....	13
II.9. Qualité physico-chimique .....	13
II.9.1. Les paramètres physiques .....	13
II.9.2. Les paramètres chimiques.....	15
II.9.3. Les paramètres biologiques .....	16
II.10. Elément minéraux .....	17
II.10.1 Les cations .....	17
II.10.2. Les anions .....	18
II.11. Paramètres de pollution .....	18
II.12. La pollution des eaux souterraines.....	19
II.13. Transfert des polluants dans les eaux souterraines .....	22
II.14. Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines .....	23
II.15. Normes Physico-chimiques de L'eau Potable .....	23
II.16. Critères de choix pour l'implantation des eaux souterraines.....	23
II.16.1. Le puits .....	23
II.16.2. Types de puits .....	24
II.17. Conclusion .....	25

### **Chapitre III : Présentation de la zone d'étude**

III.1. Introduction .....	26
III.2.Situation géographique.....	26
III.3. Le relief .....	28
III.4. Hydrologie de la région d'étude.....	29
III.5. Le contexte climatologique .....	30
III.5.1 Pluviométrie de bassin Sahel.....	30
III.5.2 La Température .....	31
III.5.3. Humidité.....	31
III.5.4. Le vent.....	31
III.6. Le contexte géologique.....	32
III.6.1 Description des terrains sédimentaires .....	32
III.7. contexte hydrogéologie .....	33
III.8. Conclusion.....	33

## **Chapitre IV : Matériel et méthodes**

IV.1. Introduction .....	35
IV.2. Méthodologie .....	35
IV.3. L'échantillonnage.....	35
IV.4. Conservation des échantillons.....	36
IV.5.1. Définition d'ArcGIS 10.3.....	37
IV.6. Calcul de l'indice de la qualité de l'eau .....	38
IV.6.1. Représentation de Logiciel de calcul de l'indice IQE .....	41
IV.6.1.1.Définition de l'Excel.....	41
IV.7. Détermination des principaux faciès chimiques.....	41
IV.7.1. Représentation graphique des faciès chimiques.....	42
IV.7.2. Logiciel Diagrammes .....	42
IV.7.2.1. Diagramme de PIPER .....	42
IV.7.2.2. Diagramme de Schoeller Berkloff.....	44

IV.8. Conclusion.....	44
-----------------------	----

## **Chapitre V : Résultats et discussion**

V.1. Introduction .....	45
V.2. Présentation les résultats des paramètres physico-chimiques .....	45
V.2.1. Présentation de calcul le qi et Sli de chaque élément physico-chimique .....	45
V.2.2. Interprétation sur les résultats des tableaux :.....	67
V.3. Présentation de la qualité des eaux du bassin Sahel par l'indice IQE .....	68
V.3.1. Interprétation selon l'indice IQE .....	69
V.4. Hydrochimie .....	69
V.4.1. Présentation du diagramme de Piper .....	69
V.4.2. Interprétation du digramme de piper .....	71
V.4.3. Présentation du diagramme de Schoeller- Berkaloff.....	71
V.4.4. Interprétation de diagramme de Schöller-Berkaloff.....	73
V.5. Conclusion.....	73
Conclusion générale .....	74

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1:</b> Les ouvrages hydrauliques dans la wilaya de BOUIRA. ....	4
Tableau II.2 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau. ....	21
<b>Tableau III.3:</b> Découpage administratif de Bouira .....	26
<b>Tableau III.4:</b> les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Bouira durant l'année 2017. [53] .....	31
<b>Tableau III.5 :</b> Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007) .....	31
<b>Tableau III.6:</b> Moyennes mensuelles du taux d'humidité ( <b>Période 1997-2007</b> ) .....	31
<b>Tableau III.7 :</b> La vitesse du vent (max et moy) mensuelles et annuelles en m/s (1997-2007).[54] .....	32
<b>Tableau IV.8:</b> La localisation des points de forage du bassin sahel. ....	36
<b>Tableau IV.9 :</b> Poids des paramètres physico-chimiques. ....	39
<b>Tableau IV.10:</b> Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE. ....	40
<b>Tableau V.11:</b> Les résultats de Ca <sup>2+</sup> .....	45
<b>Tableau V.12:</b> Les résultats de Mg <sup>2+</sup> .....	47
<b>Tableau V.13:</b> Les résultats de Na <sup>+</sup> .....	48
<b>Tableau V.14:</b> Les résultats de K <sup>+</sup> .....	50
<b>Tableau V.15 :</b> Les résultats de cl <sup>-</sup> .....	51
<b>Tableau V.16 :</b> Les résultats de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	52
<b>Tableau V.17:</b> Les résultats de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	54
<b>Tableau V.18:</b> Les résultats de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	56
<b>Tableau V.19:</b> Les résultats de TH .....	58
<b>Tableau V.20:</b> Les résultats de PH .....	60
<b>Tableau V.21 :</b> Les résultats de TDS .....	62
<b>Tableau V.22:</b> Les résultats de TAC .....	64
<b>Tableau V.23:</b> Les résultats de l'indice IQE de 37 forages .....	66
<b>Tableau V.24:</b> Classification des eaux souterraines du bassin sahel basée sur L'IQE .....	68

# Liste des figures

Figure II. 1 : <i>Le cycle de l'eau</i> . .....	8
Figure II.2: les trois états physiques de l'eau. ....	9
Figure II.3: Nappe captive et nappes libre. ....	11
Figure II.4 : les différents types des nappes. ....	12
Figure II.5 : Différentes sources de pollution pouvant affecter les eaux souterraines. ....	20
Figure II.6: schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique.....	22
Figure III.1 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira. ....	28
Figure III.2 : le réseau hydrographique du bassin El sahel. ....	30
Figure IV.1 : Interface de commande sur logiciel ArcGIS. ....	38
Figure IV.2 : Représentation sur l'interface du logiciel Excel. ....	41
Figure IV.3 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.....	42
Figure IV.4 : Diagramme de piper. ....	43
Figure IV.5 : Diagramme de Schoeler Berkaloff. ....	44
Figure V. 1 : Représentations graphique de diagramme de piper de 37 forages du bassin Sahel .....	70
Figure V.2 : Représentation graphique des eaux de forage du bassin sahel sur le diagramme de Schöller-Berkaloff.....	71
FigureV.3 : Représentation graphique des eaux de forage du bassin sahel sur le diagramme de Schöller-Berkaloff.....	72

# Liste des abréviations

**ADE** : algérienne des eaux.

**PH** : potentiel hydrogène.

**TDS** : taux des sels.

**TH** : titre hydrométrique (la durezza).

**TAC** : le titre alcalimétrique complet.

**TA** : le titre alcalimétrique.

**MOD** : les matières organiques dissoutes.

**ANRH** : agence nationale de ressource hydraulique.

**IQE** : indice de qualité de l'eau.

**OMS** : l'organisation mondiale de la santé.

**ANIRF** : Agence nationale d'intermédiation et de régulation foncière.

**ONM** : L'Ordre National du Mérite.

**DRE** : direction des ressources en eau.

### Introduction générale

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, la vie sur terre n'aurait jamais existée donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures. Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides.

De plus, la qualité de cette ressource a été affectée et devient actuellement une préoccupation majeure pour les gestionnaires de l'eau et de la population locale. Cette détérioration de la qualité s'est traduite par des taux élevés de quelques éléments physico-chimiques qui dépassent parfois les standards internationaux (normes OMS) relatifs à l'eau potable. Cette dégradation de la qualité est le résultat de plusieurs facteurs et notamment ceux liés à l'intensification des activités agricoles et l'utilisation des fertilisants, la prolifération des rejets d'eau usées non épurées et des décharges sauvages.

Ce travail de mémoire de fin d'étude que j'ai effectué permet d'évaluer la qualité des eaux souterraines du bassin Sahel en utilisant un indice numérique IQE, qui peut classer les eaux souterraines en cinq classes (excellente, bonne, mauvaise, très mauvaise, non potable). Ce dernier est calculé à partir des résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques effectués par des prélèvements (37 forages) pendant l'année 2016, Ces paramètres ont été mesurés au niveau du laboratoire central de l'ADE de Bouira.

Le présent travail est structuré en cinq chapitres :

- En premier lieu, je présenterai l'entreprise d'accueil l'ADE unité de Bouira d'après les Tavaux que j'ai pu récupérer chez des étudiants ou les informations du personnel de ladite société.
- En second lieu, je retracerai l'étude bibliographie qui comprend les : caractéristiques et la potabilité de l'eau.
- Le chapitre trois s'articulera sur la : présentation de la zone d'étude du bassin Sahel.
- Le quatrième chapitre concernera : matériels et méthodes.
- Le cinquième chapitre se basera sur les résultats et discussion.

Chapitre I :

Présentation de l'organisation  
de l'entreprise

---

## Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil

### I.1. Introduction

Durant notre cursus universitaire de licence professionnelle en hydraulique, département de génie de l'eau, il est prévu que nous clôturons notre projet de 6 semestre que finalise le cursus, mais vu la situation sanitaire due au COVID 19, qui a bloqué les stages, nous avons dû faire un travail personnel approfondissant et complétant les enseignements reçus ; et ce dans le but de mieux cerner les connaissances et développer la gestion des données et différentes analyses afin de compléter la connaissance théorique ce qui permettra de visualiser l'entreprise dans toute son ampleur : sa structure, ses activités diverses, le rythme de travail...etc.

Et dans le but de faire des connaissances ou développer la gestion des données et différentes analyses, et ainsi compléter les informations théoriques et faire des recherches pour découvrir l'entreprise sa structure, ses activités, le rythme de travail...etc.

Dans le 1er chapitre, je me pencherai sur l'organisation de l'entreprise ADE de Bouira.

### I.2. Historique de l'organisme

#### I.2.1 Définition

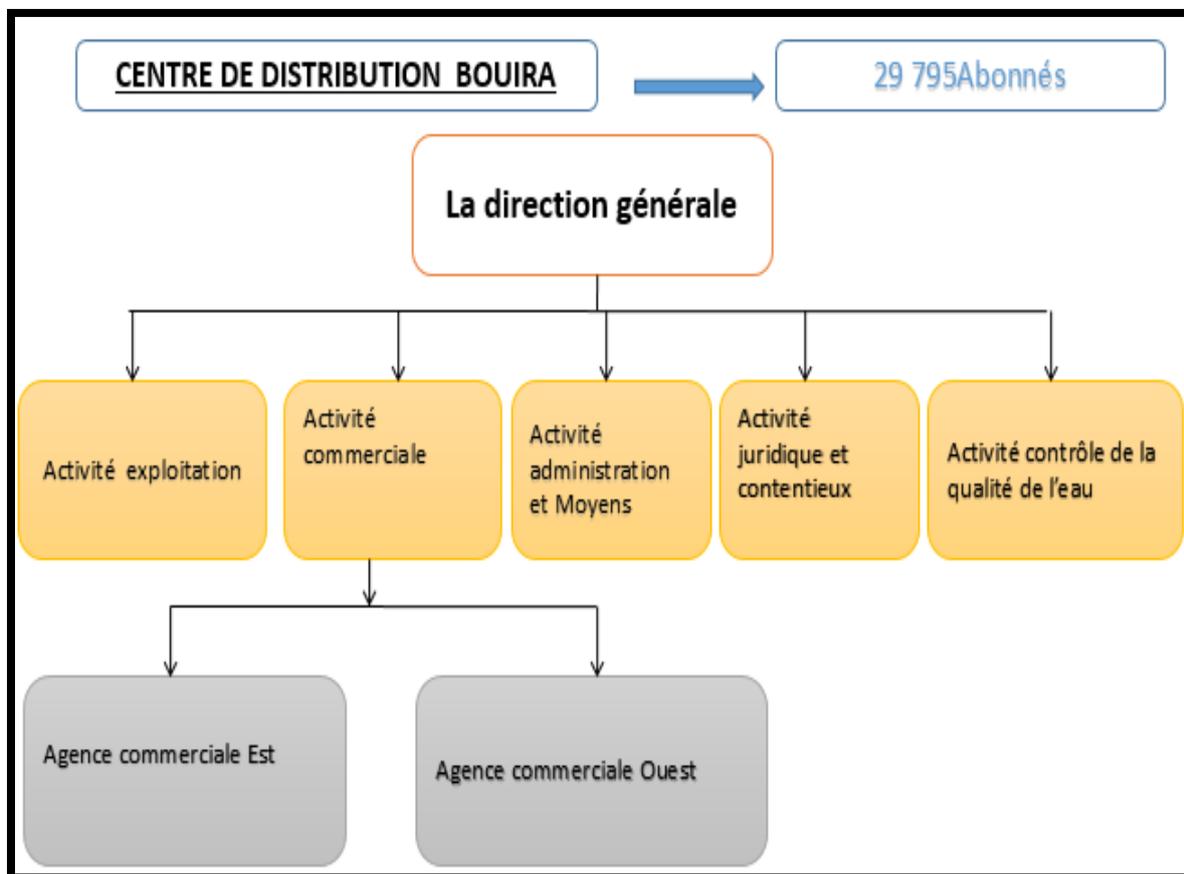
ADE ou Algérienne Des Eaux est une entreprise publique chargée de plusieurs missions. La plus importante est la distribution d'eau potable aux citoyens résidant en Algérie. C'est un établissement public national à caractère industriel et commercial, qui a été créé le 01/01/2003, conformément au décret exécutif n°01/101 du 21/04/2001, L'établissement est placé sous la tutelle du ministère chargé des ressources en eau, son siège social est basé à Alger., elle compte 15 zones régionales et 44 unités, chaque zone gère deux à quatre unités.

### I.3. Présentation de l'entreprise

L'unité de Bouira dépend de la zone de Tizi Ouzou, elle est structurée de six centres : Bouira, Lakhdaria, Sour el ghozlane, Ain Bassam, M'chadallah, Borj khris. Elle gère un ensemble de 30 communes sur 45 qui compte la wilaya.

Le siège social de l'entreprise est situé Rue Amrouche Mouloud, et la direction des travaux hydrauliques se situe dans la zone de Draa EL Borj.

L'ADE unité de BOUIRA se penche beaucoup plus sur les forages vu que les nappes d'eaux souterraines sont nombreuses dans la wilaya, permettant ainsi la couverture des besoins de la population.



*Figure I.1. ; Organigramme de l'organisation l'ADE. [68]*

#### I.4. Les principales missions de l'ADE

- Assurer la disponibilité de l'eau aux citoyens.
- Exploitation (gestion et maintenance) des systèmes et installations permettant la production, le transfert, le stockage et la distribution de l'eau potable et industrielle.
- La normalisation et la surveillance de la qualité d'eau distribuée.
- La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre pour son propre compte.
- L'initiation de toute action visant l'économie d'eau (lutte contre le gaspillage).

#### I.5. Effectifs de l'unité

L'unité de Bouira emploie 343 agents répartis comme suit :

- 02 Cadres supérieurs.

- 71 Cadres.
- 168 Agents de maîtrise.
- 84 Agents d'exécution.

### I.6. Ouvrages et installations hydrauliques

L'ADE unité de BOUIRA possède plusieurs ouvrages et installations hydrauliques qui représentent les principales ressources couvrant les besoins de la population de la wilaya.

L'AEP des 44 communes gérées par l'ADE est assurée par :

Les eaux de surface des barrages gèrent un volume total de 126 988 m<sup>3</sup>/j (87 %)

- Tilsdit : 53 339 m<sup>3</sup>/j
- Koudiet Acerdoune : 73 649 m<sup>3</sup>/j

Les eaux souterraines quant à elles, génèrent un volume de 18 851 m<sup>3</sup>/j (13%)

- Soit un volume global de : 145 839 m<sup>3</sup>/j

#### I.6.1. Infrastructures

*Tableau I.1: Les ouvrages hydrauliques dans la wilaya de BOUIRA. [68]*

Désignation	Unité	Nombre d'ouvrages
Forages	U	91
Sources	U	15
Puits	U	42
Stations de pompage	U	87
Stations de traitement	U	1
Station de désertisation	U	/
Stations de déminéralisation	U	/
Stations de dessalement (Monobloc)	U	/

Réservoirs de distribution	U	387
Conduites d'adduction linéaire	Km	785
conduites de distribution linéaire	Km	1 347
Linéaire total	Km	2 132

## I.7. Présentation du laboratoire

L'organisme de l'ADE unité de Bouira est équipé d'un laboratoire d'analyse qui contrôle la qualité de l'eau distribuée aux abonnées de la wilaya, et qui emploie 17 travailleurs (homme et femme) à missions différentes : analyser les eaux de forages et les eaux stockées dans le réservoir et surtout l'eau des robinets. Le laboratoire est situé dans la zone de DRAA-EL BORDJ, il est affilié à la direction des travaux hydrauliques du grand château d'eau.

La collecte des échantillons se fait tous les matins par l'ensemble des centres relevant de l'ADE de Bouira. La périodicité de cette collecte varie d'une à deux fois par semaine, pour le contrôle de la désinfection au niveau des stations de pompage et des réservoirs. Une fois les échantillons prélevés : ils sont acheminés vers laboratoire pour l'analyse physico-chimique et bactériologique, les tests de chlore sont effectués sur site.

En général, le rôle du laboratoire est de contrôler et de suivre l'efficacité du traitement.

### I.7.1. Les différentes structures de laboratoire

Le laboratoire comprend cinq (5) salles :

- ✓ Salle des analyses physico-chimique.
- ✓ Salle des analyses bactériologiques.
- ✓ Salle de lavage et stérilisation.
- ✓ Salle de stockage (réactifs, milieux de culture...).
- ✓ Salle de préparation et pesées de réactifs. [68]



*Figure.1.2 : Salle d'analyse physico-chimique.[69]*



*Figure I.3 : salle d'analyse bactériologique. [70]*

Et quatre bureaux :

- ❖ Bureau du chef de laboratoire.
- ❖ Bureau du chef de service physico-chimique.
- ❖ Bureau du chef de service bactériologique.
- ❖ Bureau du chef de service qualité. [68]

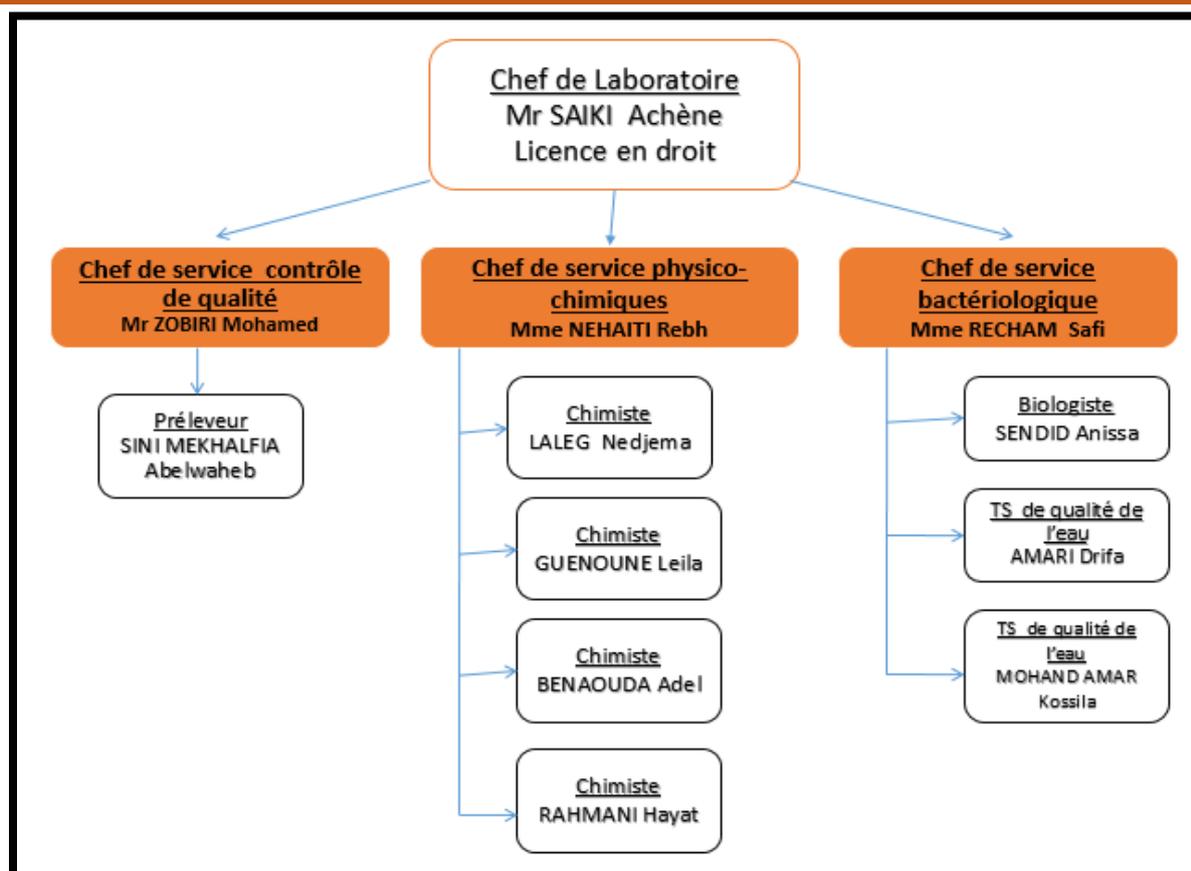


Figure I.3 : Organigramme de laboratoire central. [68]

## I.8. Conclusion

Tout mon travail, hélas, aurait été plus consistant si le stage prévu n'avait pas été éludé à cause du COVID 19. mais j'ai approfondi mon sujet personnellement avec des recherches sur le terrain, en glanant le maximum de données confortées par des documentations diverses et une recherche puisée dans les mémoires d'étudiants sur le même thème.

Dans ce premier chapitre nous avons présenté l'entreprise d'accueil ADE unité de Bouira, son organigramme, ses principales missions et la structure des ouvrages, puis le rôle du laboratoire central

**Chapitre II :**  
**Caractéristique et potabilité**  
**de l'eau.**

## Chapitre II : Caractéristique et potabilité de l'eau

### II.1. Introduction

La moitié des eaux souterraines que nous consommons ne nécessitent aucune analyse, mais elles présentent tout de même naturellement des éléments polluants en fonction du type de roches que traversent les eaux profondes, ou par les activités humaines (rejets terrestres, mauvais traitements d'assainissement, intensification des activités agricoles.....etc.). [1]

Afin de consommer les eaux souterraines sans mettre en danger la santé humaine, des analyses qualitatives doivent être effectuées en prenant compte les paramètres suivants :

- Les paramètres organoleptiques : la couleur, l'odeur, le goût ...etc.
- Les paramètres physico-chimiques : l'aspect chimique, la conductivité, la température....etc.
- Les paramètres biologiques : la matière organique dissoute et la matière organique particulaire.

Dans l'approche de ce chapitre, nous fournirons des définitions de ces caractéristiques.

### II.2. Le cycle d'eau

Le cycle de l'eau traduit les échanges d'eau liquide, solide ou gazeuse entre les différents compartiments du système climatique : atmosphère, océans, lacs, fleuves, glaciers, etc.

Ces échanges sont réalisés via des flux verticaux (les précipitations, l'évaporation, la transpiration des végétaux, l'infiltration dans les sols) et horizontaux. [2]

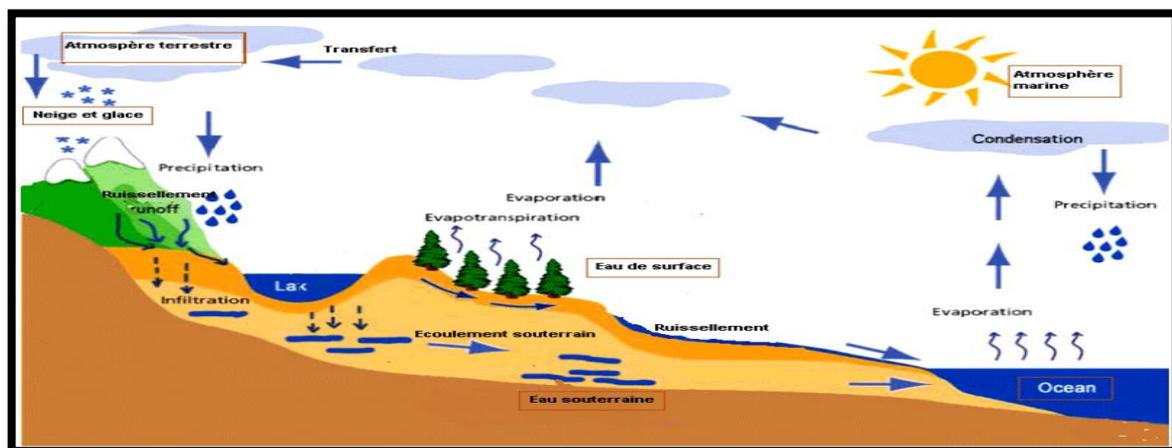


Figure II. 1 : Le cycle de l'eau.[3]

### II.3. Etat de la situation de l'eau

Classiquement, on schématise les états et les situations de l'eau dans le cycle de la façon suivante :

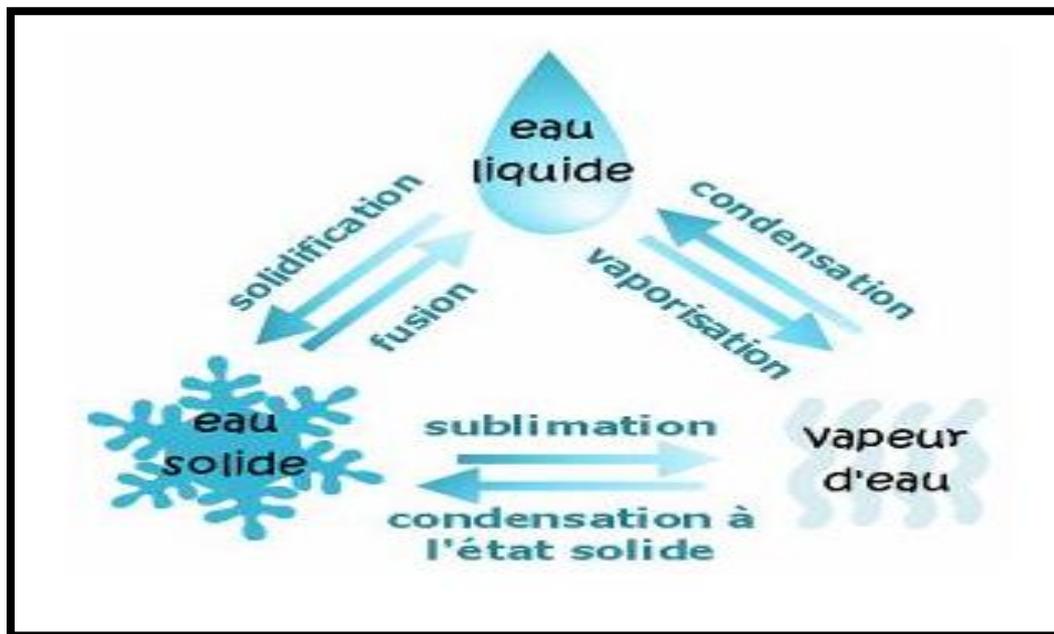


Figure II.2: les trois états physiques de l'eau. [70]

### II.4. Les eaux souterraines

On entend par « Eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers.

Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain.

Les eaux souterraines sont habituellement de bonne qualité. La composition des eaux souterraines dépend de la composition des sols qui les contiennent. On peut cependant noter d'une façon générale, l'absence d'oxygène, une faible turbidité, et une forte minéralisation.

De plus, les eaux souterraines sont de composition relativement constante, la présence de fer et de manganèse et l'agressivité de l'eau due à la haute teneur en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont les principales sources de problèmes avec ces eaux. [5]

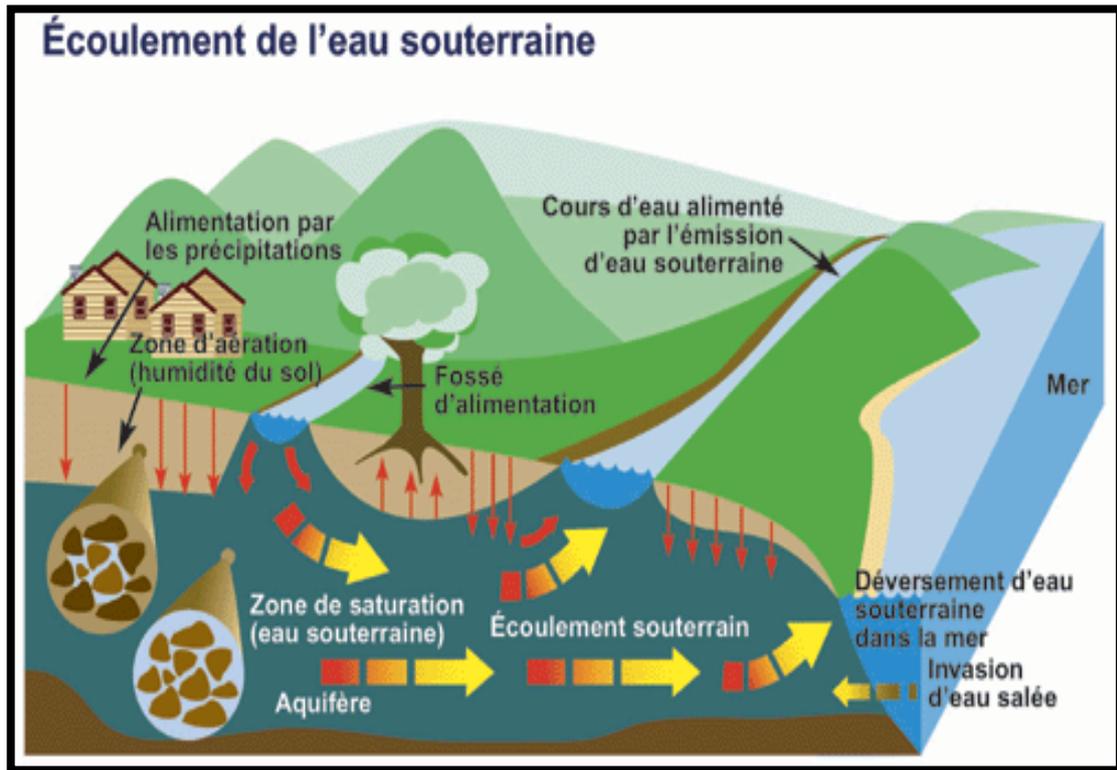


Figure II.3 : l'écoulement des eaux souterraines.[6]

## II.5. les aquifères

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches ou de sols reposant sur une couche imperméable, appelée substratum ou mur, comportant une zone saturée suffisamment perméable pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine. Nous considérons comme « significatifs » des débits d'eau offrant des possibilités de mise en service des activités humaines (captage pour l'alimentation) ou d'interactions avec les travaux. Un aquifère peut comporter une zone non saturée dans le cas d'une nappe libre, zone à travers laquelle l'infiltration des eaux de pluie contribue à la recharge de la nappe. [7]

## II.6. Une nappe d'eau souterraine

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs, ni des cours d'eau souterrains : il s'agit d'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches, saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées, Dans la **zone non saturée**, partie supérieure des terrains dans lesquels les interstices contiennent aussi de l'air, l'eau n'est présente que sous forme d'humidité. Dans la **zone saturée**, l'eau occupe la totalité des vides disponibles (fissures, pores des sédiments ou des roches), Une nappe est donc l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère.

Elle est limitée vers le bas par un niveau imperméable, appelé **substratum**. Vers le haut, la surface entre la zone non saturée et la zone saturée caractérise la surface de la nappe, aussi appelée le **toit de la nappe**. [8]

## II.7. Les différents types de nappes

La porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. [9]

### II.7.1 La Nappe profonde

Elle se repose sur une couche imperméable plus profonde, elle peut être :

-alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient.

### II.7.2. Une nappe libre

Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression à cause d'un toit moins perméable que la formation qui la contient. [71]

### II.7.3. Une nappe captive

Nappe d'eau souterraine qui circule entre deux couches de terrains imperméables. Elle est recouverte, totalement ou partiellement, par une couche de terrain imperméable. Ces nappes sont sous pression. [10]

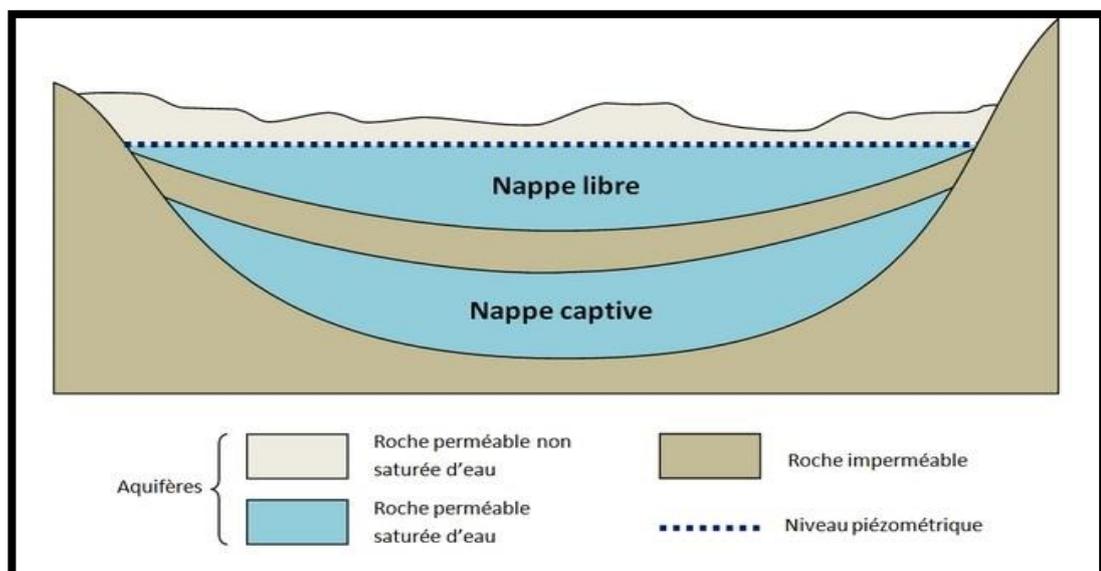


Figure II.3: Nappe captive et nappes libre. [11]

### II.7.4 Nappe phréatique

Couramment exploitée en milieu rural par les puits. Malheureusement, l'infiltration est importante et la nappe est souvent contaminée. [12]

### II.7.5 Nappes alluvionnaire

Ce sont des eaux qui circulent dans les alluvions des grands Oueds qui peuvent alimenter en eau les nappes phréatiques situées au niveau des berges des Oueds. Mais il y a possibilité de contamination par les infiltrations superficielles. [13]

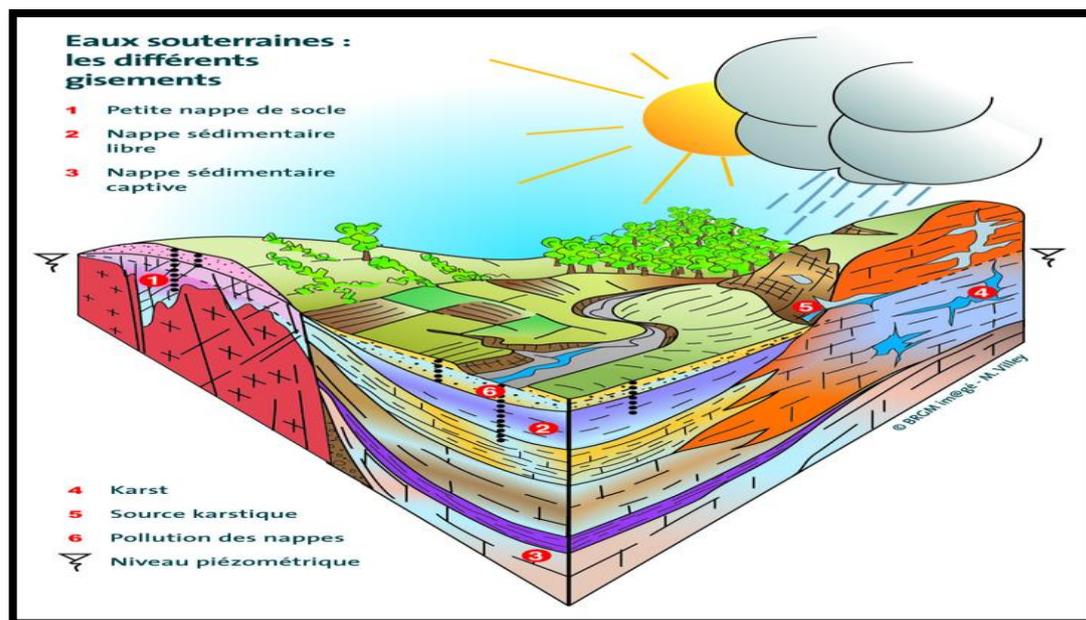


Figure II.4 : les différents types des nappes. [14]

### II.7.6. Nappe karstique

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits, les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. [15]

**II.8. Les paramètres organoleptiques****II.8.1. La couleur**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. [16]

**II.8.2. Odeur**

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel, cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs. Le test de l'olfaction est plus sensible et plus précis que celui de la dégustation. Mais il ne permet pas d'apprécier des variations de moins de 30% des teneurs des substances ayant une odeur. Il présente sur le test de saveur l'avantage de pouvoir être pratiqué sur l'eau brute et d'être moins fatigant pour les opérations. [16]

**II.8.3. Le Goût**

Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche [17], Il n'existe aucune méthode qui permette de mesurer le goût, la tolérance varie d'ailleurs, d'un consommateur à l'autre.

**II.9. Qualité physico-chimique**

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture.

**II.9.1. Les paramètres physiques****II.9.1.1. La température :**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages .Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du Ph possèdent généralement un thermomètre intégré.

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du PH pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent. [18]

Elle est aussi un facteur important dans la production biologique, Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. [19]

### II.9.1.2. La turbidité

La turbidité joue un rôle important dans la filtration des eaux souterraines et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes. L'appréciation du niveau quantitatif élevé de ces matières mesure le degré de turbidité. Il est également indiqué que les matières en suspension de dimensions inférieures à ces tailles sont celles qui jouent un rôle important dans le transfert des métaux. [13]

### II.9.1.3. La conductivité

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. [20] Et elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau.

Une conductivité élevée dépend de la quantité importante des sels dissous. [13] donnait ainsi, une idée de la minéralisation de l'eau. De ce fait, cet état est un bon marqueur de l'origine d'une eau. [19]

L'indication sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité selon. [21] elle est l'inverse de la résistivité électrique ( $\rho$ ) et elle se calcule selon la formule suivante :

$$\gamma = (1/\rho) = (1/R). (L/S).$$

$\gamma$  : Conductivité (en  $\Omega^{-1}.m^{-1}$  ou S.  $m^{-1}$ ).

P : Résistivité (en  $\Omega. m$ ) R : résistance (en  $\Omega$ )

S : surface.

### II.9.1.4. La Teneur en Sel Dissous TDS

Elle est la somme de tous les éléments contenus dans l'eau. Elle serait globalement équivalente à la somme des concentrations du calcium, du magnésium, du sodium, du potassium, du fer, du zinc, du cuivre, de l'aluminium. Du manganèse pour les cations, additionnés à la somme des carbonates, des hydrogénocarbonates, des silicates, des sulfates, des chlorures, des nitrates, des phosphates et des fluorures pour les anions. La minéralisation totale ou TDS est donc exprimée en **mg /l**. [13]

### II.9.1.5. La Salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) elle correspond à la somme des Cations et des anions présents exprimée au travers de la conductivité électrique de cette eau. (Salinité) Cette salinité est exprimée en unité de %.

## II.9.2. Les paramètres chimiques

### I.9.2.1. PH

Le pH appelé encore potentiel Hydrogène mesure la concentration des ions  $H_3O^+$  dans une solution aqueuse. Le pH permet ainsi de connaître l'acidité de l'eau .Il a été rapporté que le pH.[22]

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau .Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples, les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles.[23]

### II.9.2.2. Le Titre Hydrométrique TH (Dureté) :

Une eau est dite dure quand elle contient une forte proportion d'ions calcium et magnésium ; cela se traduit par une eau qui mousse difficilement en présence de savon, d'autre façon c'est la teneur de l'eau en sels qui détermine sa dureté ou sa douceur. La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  (ions alcalino-terreux). Un degré hydrotimétrique correspond à un degré français ( $1^\circ\text{F}$ ). [24]

On distingue :

- **TH total** : Totalité des sels de calcium et magnésium, c'est cette valeur qui est utilisée lorsque l'on parle couramment du TH ou de la dureté de l'eau.
- **TH calcique** : Totalité des sels de calcium.
- **TH magnésien** : Totalité des sels de magnésium.
- **TH permanent** : Ou dureté non carbonatée correspond au sulfate et au chlorure de calcium stable, il est égal à la différence entre le TH et le TAC. [24]

### II.9.2.3. Le Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet (TA et TAC)

Les valeurs de TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ), carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) contenu dans l'eau. Le TA permet de déterminer, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate pour un  $\text{pH} = 4.4$ . [24]

### II.9.2.4 Matières en suspension (MES)

Les MES sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques. Les MES comprennent les matières décantées et les colloïdes mais pas les matières dissoutes. Elles comportent souvent dans les cours d'eau des particules de nature argilo-humique provenant de l'érosion des sols, ainsi que d'autres constituants, en particulier d'origine organique. Les MES sont la cause essentielle de la turbidité de l'eau. [25]

### II.9.3. Les paramètres biologiques

La matière organique est le paramètre biologique qui caractérise la potabilité des eaux. Elle est subdivisée en deux types : matières organiques dissoutes et matières organiques particulaires.

### II.9.3.1. Les matières organiques dissoutes

La plupart du carbone organique dans l'eau est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire et d'origines diverses. La concentration des matières organiques dissoutes est particulières et dépend du type d'eau et de sa profondeur : l'eau de mer surfacique est plus concentrée que l'eau de profondeur. On peut trouver dix milliers de molécules différentes dans l'eau comme les produits de dégradation de déchets végétaux, produits de synthèse organique soluble, et matières azotées. Le carbone organique dissous est un facteur important dans le cycle du carbone et la chaîne alimentaire. Il influence la pénétration de la lumière, l'échange de gaz à la surface. [26]

### II.9.3.2. Les matières organiques particulières

C'est la matière en suspension et en émulsion. Dans l'eau surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique. Ces matières peuvent être classifiées selon leur taille. En effet, les plus petites particules (moins de 1  $\mu\text{m}$  jusqu'à quelques dizaines de  $\mu\text{m}$ ) se composent de bactéries et d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de  $\mu\text{m}$  comporte des grands débris et des agglomérats fécaux, produits de l'agrégation biologique (sable, boues, pétrole, huiles,...). L'eau contient également les gaz dessous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimique (corrosion). [26]

## II.10. Élément minéraux

### II.10.1 Les cations

#### II.10.1.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est libéré généralement par l'altération des roches, il provient des aluminosilicates, des silicates, des carbonates (calcite et calcite magnésienne) et les sulfates. L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/l de calcium. Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations. [27]

#### II.10.1.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel. Il est aussi indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones. [28]

### II.10.1.3. Potassium ( $K^+$ )

Le potassium règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules. Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature. [47]

### II.10.2. Les anions

#### II.10.2.1. Les chlorures ( $Cl^-$ )

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux dans le système de distribution, cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable. [28]

#### II.10.2.1. Les sulfates ( $SO_4^{2-}$ )

Les origines naturelles des sulfates sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires vaporeuses, notamment le gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), mais également de la pyrite ( $FeS_2$ ) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). [29] A fortes concentrations, ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable. Les normes Algériennes préconisent pour les sulfates une concentration maximale acceptable de 200 mg/l ( $SO_4^{2-}$ ) et une concentration maximale admissible de 400 mg/l ( $SO_4^{2-}$ ). [30]

## II.11. Paramètres de pollution

### II.11.1. Les Nitrites $NO_2^-$

La présence des nitrites est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. [31] Chez les mammifères.

La consommation d'eau chargée de nitrites perturbe la fixation de l'oxygène par l'hémoglobine du sang. (D'où la « maladie bleue du nourrisson »). Il ne doit donc pas avoir de nitrites dans l'eau et très peu de nitrates, car ils peuvent une fois bus se transformer en nitrites. Dans l'estomac, les nitrites, peuvent se transformer nitrosamines réputées cancérigènes. [32]

### II.11.2. L'Ammonium $NH_4^+$

L'ammonium est souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue un des maillons du

cycle de l'azote. L'ammoniac est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de Ph, il se transforme soit en composé non combiné, soit sous forme ionisée. Les eaux souterraines sont pauvres en azote ammoniacal. Mais des eaux issues de sols

Riches en substances humiques (mélange de la matière organique) ou riches en fer peuvent présenter des teneurs de l'ordre de 1 à 3 mg/l. La présence d'azote ammoniacal en quantités relativement importantes peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle. [32]

### II.11.3. Le Phosphate $PO_4^{3-}$

Le phosphore existe sous forme minérale ou organique. Les formes chimiques sous lesquelles se rencontre le phosphore dépendent de l'acidité du milieu. Dans les eaux naturelles, de pH compris entre 5 et 8, seules les formes  $H_2PO_4$  et  $HPO_4^{2-}$  existent en quantités.

Appréciables dans les eaux de surface. La teneur naturelle en phosphate ou ortho phosphate est de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/l. La présence de phosphate dans les eaux souterraines est généralement un indice de pollution. [16]

## II.12. La pollution des eaux souterraines

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol, subit donc les dégradations de ces deux milieux. [33]

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines. [34]

- Les pollutions peuvent être classées sur différents critères :

- Selon l'origine de pollution.
- Selon la nature de pollution.
- Selon la répartition spatiale.
- Selon la répartition temporelle.

### II.12.1. Selon l'origine de pollution

Généralement ce type de pollution d'origine humaine due à l'activité de l'homme peut causer l'émission de substances susceptible de contaminer les sols et s'infiltrer jusqu'aux eaux souterraines. Le risque de contamination est non seulement fonction des activités humaines et

de leur intensité, mais aussi de la vulnérabilité des eaux souterraines. Puisque les eaux souterraines constituent un vecteur de propagation des contaminants au sein de sols. Leur mouvement dans les formations géologiques pourra :

- ✓ Menacer des ouvrages de captage existants situés sur son parcours d'écoulement.
- ✓ Comportement de potentiel d'exploitation d'une formation aquifère.
- ✓ Constituer un rejet diffus de contaminants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité de l'eau.

### II.12.1.1. Pollution domestique

Dans le cas d'un assainissement (collectif ou individuel) défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergent, solvant, antibiotique, micro-organismes...). Le cas se manifeste avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épuration urbaines surchargées. Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (Centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviations riches en polluants. [35]

### II.12.1.2. Pollution industrielle

Les activités industrielles restent principalement des métaux, des hydrocarbures, des acides, et augmentent la température de l'eau. En moyenne, de **2004 à 2009**, le SOES (Service de l'Observation et de Statistique du Ministère en charge du Développement Durable) en France, a montré que les secteurs de métallurgie et la chimie sont des responsables des rejets de pollution dans les eaux les plus importants. [36]

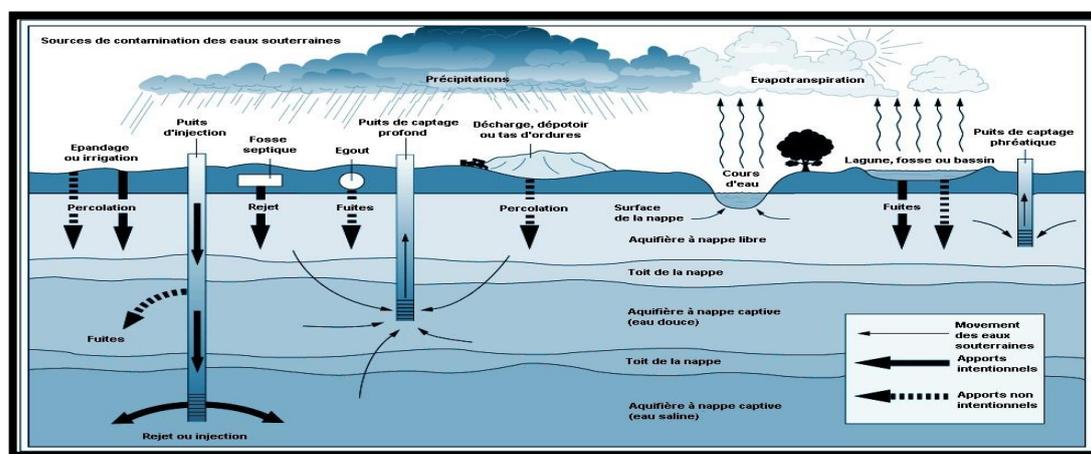


Figure II.5 : Différentes sources de pollution pouvant affecter les eaux souterraines. [37]

**II.12.1.3. Pollution agricole**

Le régime et la qualité des eaux sont fortement influencés par les pratiques actuelles des cultures et l'élevage. [35]

L'utilisation des engrains chimique azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires (pesticides) destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxique lorsqu'ils sont utilisé en excès vont contaminer en période de pluie les surface et les eaux souterraines par infiltration.[38]

**II.12.2.Selon la nature de pollution**

Généralement ce type de pollution est d'origine naturelle. La contamination de source naturelle est ponctuelle puisqu'elle est liée au contexte géologique.

En fonction du contexte minéralogique, nous pouvons retrouver des problèmes de fluor, de fer, de manganèse, de carbonates de calcium, de sulfate, de salinités, d'arsenic, de baryum, de plomb, de cuivre, de zinc, de sélénium, d'uranium et d'autres métaux présents naturellement dans les eaux souterraines.

**II.12.2.1. Microbiologique**

De nombreux micro-organisme, virus, bactéries et protozoaires, et des algues sont présenter dans l'eau .Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisation ou d'égouts ou à l'infiltration des eaux superficielles. Chimique, les micropolluants métalliques, les détergents, les pesticides, les hydrocarbures, les solvants chlorés. (Voir le tableau suivant).

*Tableau II.2 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau. [39]*

Types de pollution	Nature	Origine
Physique	Rejet d'eau chaude	Centrale thermique nucléaires
	MES	Rejet bains, érosion de sol
	(matières en suspension)	
	Matière organique	Effluents domestique agricoles agroalimentaire
	Métaux (Cd, Pb, Al, As)	Industrie, agricultures

		Déchets
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture lessives
	Pesticide (insecticides herbicides, fongicides)	Industries, agriculture
chimique	Organochlorés (PCB, solvants)	Industrie
	Composées organique de Synthèse	Industrie
	Détergents	
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière,
		Transports
Biologique	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains, agricoles

**II.13. Transfert des polluants dans les eaux souterraines**

Il s'agit d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma générale de contamination des eaux souterraines est le même, le point de départ est la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la zone non saturée, puis le cheminement subhorizontal avec étalement progressif du panache de pollution, comme indiqué dans la figure sous dessous :

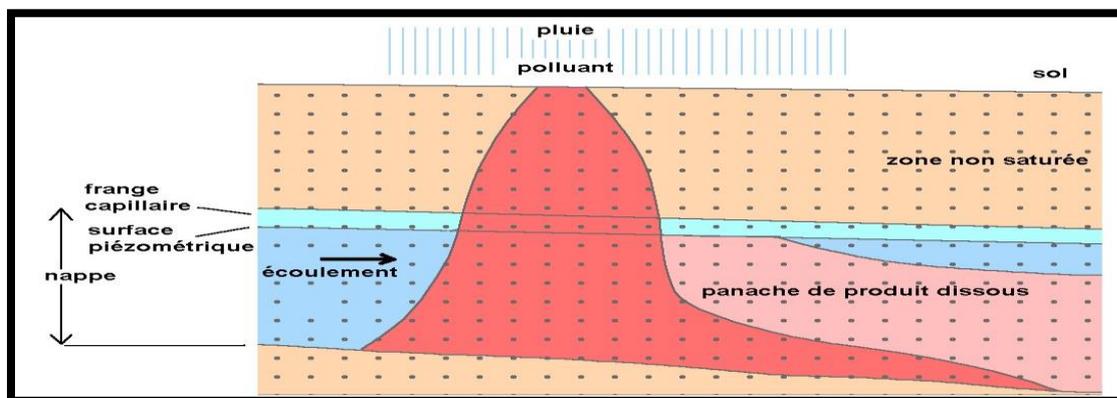


Figure II.6: schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique. [40]

---

**II.14. Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines**

Les polluants sont rarement rejetés directement dans les nappes souterraines. Leur présence est due à leur transfert depuis la surface, au cours duquel différents processus physiques, chimiques et biologiques vont jouer un rôle dans l'atténuation, le délai de transfert, la distance de propagation et la rétention plus ou moins réversible du produit.

Dans les différents compartiments d'un système aquifère (sol, zone non saturée et eau souterraine), les processus sont de nature et d'ampleur variable.

Les principaux processus qui contrôlent le transfert d'éléments sont la convection (entraînement de l'élément à la même vitesse que l'eau), la dispersion (étalement du panache de pollution sous l'effet de l'hétérogénéité du milieu), les échanges avec la phase solide (adsorption sur la matière organique ou la matrice rocheuse, précipitation/dissolution) et la dégradation (chimique ou biologique).

Les propriétés intrinsèques des polluants (solubilité, adsorption, dégradation), les propriétés intrinsèques des milieux traversés, (perméabilité, teneur en matière organique, degré d'oxydation), les interactions entre les polluants et le milieu ainsi que le contexte climatique sont autant de facteurs qui contrôlent ces différents processus de migration des polluants. [41]

**II.15. Normes Physico-chimiques de L'eau Potable**

Les normes visent à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé. Dans les recommandations, on propose également des objectifs esthétiques. Une eau de mauvaise qualité esthétique fait naître un doute sur sa salubrité dans l'esprit du consommateur. Une mauvaise qualité esthétique découle souvent d'une contamination chimique ou bactériologique.[41] Les différents paramètres physicochimiques et recommandations de ces derniers sont représentés dans (annexe01).

**II.16. Critères de choix pour l'implantation des eaux souterraines****II.16.1. Le puits**

On peut tenter de définir un puits de captage d'eau comme étant un ouvrage réalisé au-dessous de la surface du sol dans le but de permettre l'exhaure des eaux qui peuvent s'y trouver incluses ou y circuler. Généralement le puits à une profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m) et un diamètre supérieur à 1,20 m. Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics,

par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites), sont à peu près tombés en désuétude. [42]

### II.16.2. Types de puits

A partir de différente manière de creusement, on distingue plusieurs types de puits :

#### II.16.2.1 Puits ordinaires

Les puits ordinaires sont des puits fréquemment réalisés dans des zones rurales (puits individuels ou semi collectifs). Ils sont généralement creusés à la main et où la nappe phréatique se trouve à moins de 20 mètre du niveau de sol. Leur profondeur généralement de 1 à 15 mètre, avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ. [43]

#### II.16.2.2. Puits de surface

C'est un ouvrage de captage dont le diamètre intérieur est généralement supérieur à 60cm et qui a une profondeur plus de 9 m à partir de la surface du sol. Comme il est alimenté à partir de la nappe phréatique (ou aquifère libre), ce puits est plus vulnérable à la contamination puisqu'il exploite la portion supérieure de la nappe phréatique. [44]

#### II.16.3.3. Puits foncés ou puits tubulaire

Un puits tubulaire est un ouvrage de captage généralement de petit diamètre (152 mm), de grande profondeur et aménagé avec une foreuse par une firme de puisatier. [43]

#### II.16.3.4. Puits artésien

Le puits artésien est obtenu en perforant une couche de sol ou de roc imperméable pour accéder à une nappe d'eau sous pression nommée la nappe artésienne. Cette nappe est généralement située à plus de 100 pieds de profondeur. Le puits artésien est habituellement fiable et stable toute l'année et est l'option de choix parce qu'il est moins vulnérable à la contamination bactérienne que le puits de surface. [45]

#### II.16.3.5. Puits d'infiltration

Les puits d'infiltration sont des structures qui permettent l'évacuation du ruissellement de surface par des canalisations souterraines. Cependant, contrairement aux avaloirs et aux puisards, les puits d'infiltration ne renferment pas d'entrée d'eau directe à la surface du sol : ils accroissent plutôt la capacité d'infiltration du sol grâce à l'installation de matériel poreux et dans la plupart des cas, d'un drain en serpentif entre la surface du sol et les canalisations souterraines.

Les puits d'infiltration sont essentiellement utilisés pour les eaux de toiture. Ils peuvent garantir une protection de la qualité des eaux souterraines en cas de pollution. [46]

### II.17. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu les différents concepts et caractéristiques de la qualité des eaux souterraines, les types d'aquifères et de réservoirs d'eau souterraine, ainsi que les normes d'eau potable et la méthode d'évaluation de la qualité et l'origine de la pollution des eaux souterraines, et enfin les critères de sélection d'un site de forage.

**Chapitre III :**  
**Présentation de la zone  
d'étude.**

## Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

### III.1. Introduction

Dans le cadre de la surveillance qualitative des eaux souterraines, selon des données relevées sur des document d'étude faites par des étudiants en 2016, sont effectuée plusieurs prélèvements et analysés de paramètres physico-chimique qui permettent de calculer l'indice numérique IQE pour classer la qualité de l'eau prélevée dans chaque forage.

Le présent chapitre a pour objectif de donner une idée générale sur notre région d'étude, du bassin Sahel de la wilaya de Bouira, et le relief de son territoire un aperçu sur l'hydrologie et l'hydrogéologie, en se basant toujours sur les travaux effectués par les groupes qui se sont penchés sur ce point avant nous et que nous remercions pour l'aide précieuse vu que ces données ont remplacés le stage.

### III.2.Situation géographique

-La wilaya de Bouira est délimitée :

- ✓ Au nord par la wilaya de Tizi-Ouzou.
- ✓ À l'est par la wilaya de Bordj Bou Arreridj.
- ✓ Au sud par la wilaya de M'Sila.
- ✓ À l'ouest par les wilayas de Médéa et de Blida. [48]

-Issue du découpage administratif institué par ordonnance n° 74/69 du 02 juillet 1974, relative à la refonte de l'organisation territoriale des Wilayas.

Nombre de Daïras : 12. Nombre de communes : 45. [57]

**Tableau III.3:** *Découpage administratif de Bouira.* [49]

Daïra	Communes	Daïra	Communes
Bouira	Bouira, Ain turk, Ait laaziz	Bir ghalou	Birghbalou, Raouraoua,Khebouzia
Haizer	Haizer, Taghzout	Ain bessem	Ain bessem,Ain laloui,Ain elhadjar

Bechloul	Bechloul, El-esnam, El adjiba, Ahl el ksar, Ouled rached	Souk el khemis	Souk el khemis, El mokrani
M'chedallah	M'chedallah, Saharidj, Chorfa ,Ahnif, Aghbalou, Ath-mansour	El hachimia	El-hachimia, Oued el berdi
Kadiria	Kadiria, Aomar, djebahia	Sour el ghozlane	Sour el ghozlane, Maamora, Ridane, El hakimia, Hechmia, Dirah
Lakhdaria	Lakhdaria, Boukram, Guerrouma, Maala, Bouderbala	Bordjokhriss	Bordj okhriss, Mesdour, Ttaguedite, Hadjra zerga

Le sous bassin de Sahel fait partie la wilaya de Bouira, cette dernière se situe dans la région Centre Nord du pays. Elle s'étend sur une superficie de **4456,26 km<sup>2</sup>** représentant 0,19% du territoire national. Le chef-lieu de wilaya est situé à près de 120 km de la capitale Alger. [48]

La grande chaîne du Djurdjura d'une part et les monts de Dirah d'autre part, encadrent la Wilaya qui s'ouvre de l'Ouest vers l'Est sur la vallée de la Soummam.

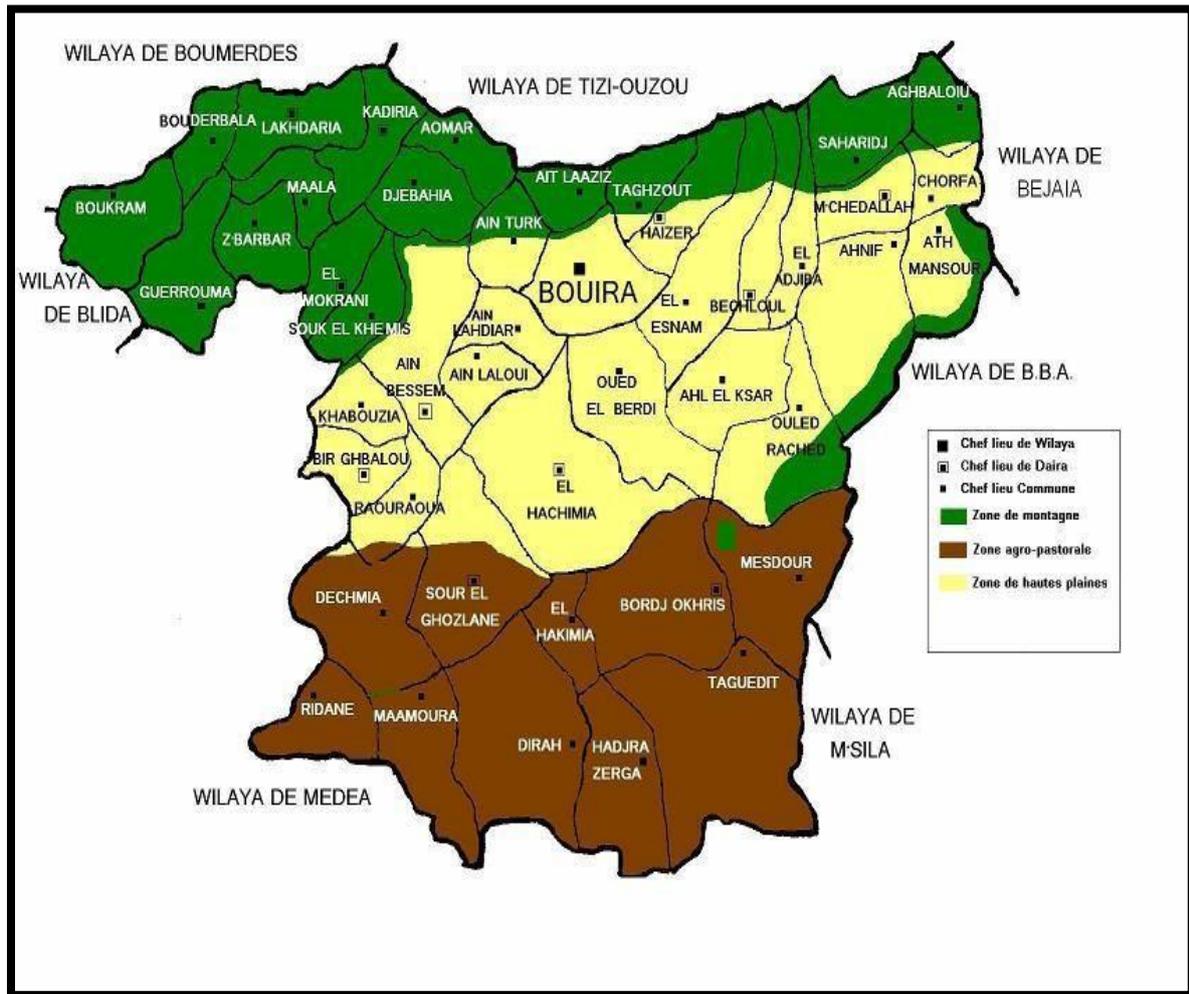


Figure 7Figure III.1 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira. [49]

### III.3. Le relief

Le relief de bassin Sahel comporte cinq 05 grands ensembles physiques :

- a. La dépression centrale représentée par la plaine des Aribes, ain laloui, le plateau d'El Asnam et les vallées d'Oued Ed Dous et Oued Sahel, le plateau de taghzout El Madjen, Le Plateau d'El Hachimia, Ath Mansour.
- b. La terminaison orientale de l'Atlas blidéen : Constitué d'un ensemble de collines de formations à dominance marneuse très sensible à l'érosion, on y trouve :
  - Un important potentiel hydro-agricole.
  - D'importantes agglomérations : Lakhdaria, Kadiria et Aomar.
  - De grands axes de communications (RN5, voie ferrée et projet Autoroutier Est Ouest).
- c. Le barrage de Koudiet Acerdoune.

- d. Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya) : Il se rapporte surtout aux parties centrales et occidentales du massif du Djurdjura.
- e. La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud : Cette région essentiellement forestière est interrompue à l'Ouest par la dépression de Sour-El Ghozlane. Ces reliefs sont prolongés vers le Sud par trois importants massifs et composés par :
- Le massif de Djebel Dirah, culminant à 1810 m.
  - Le Djebel Ketef à 1434 m.
  - Le Djebel Ben Abdellah à 1314 m.
  - Le Djebel Taguedite.
  - Le Djebel Afroun qui culmine à 1547 m.
- f. La dépression sud bibanique : Elle se rapporte à la terminaison septentrionale de la plaine du Hodna et aux basses collines s'étendant entre Maâmora et l'extrémité Sud– Est de Bouira. Cet espace est constitué principalement de terres de parcours.
- [50]

#### III.4. Hydrologie de la région d'étude

La région de Bouira renferme d'importantes réserves en eau. Elle est traversée par 4 bassins versants importants du nord centre de l'Algérie et dont l'apport moyen annuel est de l'ordre de 561 millions de m<sup>3</sup> reparti comme suit :

- ✓ Le bassin versant des Isser : 135 millions m<sup>2</sup>\an
- ✓ Le bassin versant du Sahel Soummam : 380 millions m<sup>2</sup>\an
- ✓ Le bassin versant des Hamiz : 11 millions m<sup>2</sup>\an
- ✓ Le bassin versant du Hodna : 35 millions m<sup>2</sup> \an

Les ressources hydriques prouvées s'élèvent à 235,4 millions m<sup>3</sup> soit 35,5 millions m<sup>3</sup> en eaux souterraines et 199,9 millions m<sup>3</sup> en eaux superficielles.

Les eaux superficielles, sont mobilisées par les ouvrages suivants :

- Barrage Telisdit Bechloul (167 millions de m<sup>3</sup>).
- Barrage Oued Lakhel (30 millions m<sup>3</sup>).
- Barrage Kodiat aserdoune (640 millions de m<sup>3</sup>). [50]

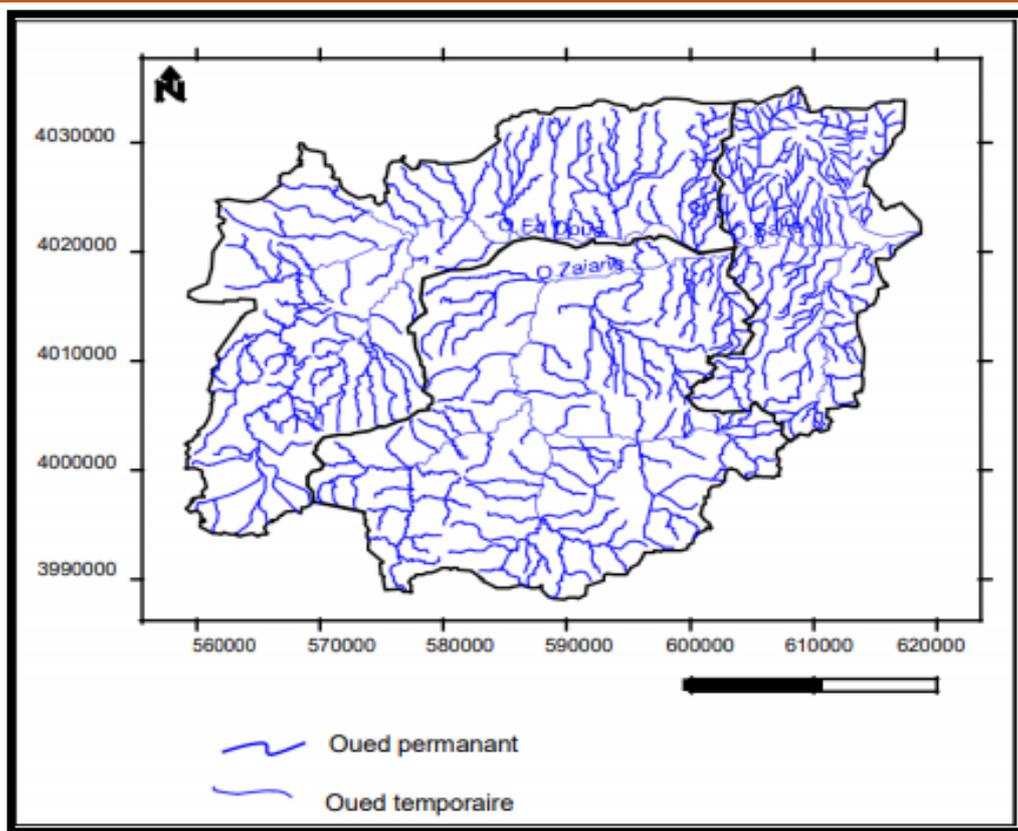


Figure 8Figure III.2 : le réseau hydrographique du bassin El sahel. [56]

### III.5. Le contexte climatologique

Plus que d'autres facteurs, le climat est le facteur le plus déterminé des ressources en eau. L'étude de la caractéristique climatologique joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles.

Pour cela l'étude climatologique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydrologique de surface d'une région donnée. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évapotranspiration et l'ensoleillement et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat de la région d'étude. Ainsi, l'étude des possibilités de la maîtrise des ressources en eau dans les bassins est extrêmement liée à ces phénomènes qui régissent les écoulements. Pour cela, il est très utile de faire l'approche hydro climatique. [51]

#### III.5.1 Pluviométrie de bassin Sahel

La pluviométrie de notre région d'étude est varié d'une année à une l'autre avec des rythmes méditerranéens caractérisés par une double irrégularité, annuelle et interannuelle. [52]

**Tableau III.4:** les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Bouira durant l'année 2017. [53]

Mois	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	AOU	Sep	Oct	Nov	Dec
Pmoy(mm)	94	36,5	25,6	07,4	41,0	5,8	17,5	21,2	26,5	87,0	54,6	439,9

### III.5.2 La Température

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de **10 ans (1997-2007)**, par la station de Bouira.

Les températures ambiantes ont été mesurées à l'aide de thermomètre à minima et à maxima. Le tableau suivant résume les moyennes mensuelles et annuelles correspondant à la période d'observation.

**Tableau III.5 :** Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007). [54]

paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année
T° min	17,1	13,8	8,3	5,2	3,7	4,0	6,4	8,7	12,8	17,3	20,1	20,3	11,6
T° max	30,0	25,4	17,5	13,6	13,0	14,4	18,2	20,7	25,9	32,5	35,6	35,2	23,6
T° moy	23,5	19,6	12,9	9,4	8,4	9,2	12,3	14,7	19,4	24,9	27,9	27,8	17,5

### III.5.3. Humidité

Notre région connaît des taux d'humidité relativement élevés, surtout pour la période octobre-avril où ils atteignent 70% à 80%, ces taux varient de 40% à 63% entre mai -septembre. Cette humidité explique l'existence de deux saisons.

**Tableau III.6:** Moyennes mensuelles du taux d'humidité (Période 1997-2007). [54]

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	déc
Moyenne mensuelle (%)	84	83	74	71	66	53	48	54	65	70	74	85

- Une saison humide : Automne et Hiver.
- Une saison sèche : Eté.

### III.5.4. Le vent

C'est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause, notamment en agriculture.

Dans la zone d'étude, les vents soufflent dans des directions à différentes intensités en fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du **West** et **Est**. Durant les trois mois : janvier, février, mars, la valeur maximale reste inférieure à **28 m/s**. Pendant le reste de l'année, elle dépasse **28m/s** en moyenne pour atteindre son maximum en mois d'avril 38 m/s.

Ces vents agissent sur la nébulosité en réduisant les écrans nuageux pour faire place aux rayons solaires qui augmentent les températures favorisant l'évaporation. Le vent du Sud ou siroco, souffle dès la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux.

**Tableau III.7** : La vitesse du vent (max et moy) mensuelles et annuelles en m/s (1997-2007).[54]

Station de Bouira	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy. Annuel
V max	25	20	26	38	28	34	30	29	34	30	29	36	30

### III.6. Le contexte géologique

La ville de Bouira comprend la partie occidentale de la chaîne de Djurjura ainsi que son prolongement vers l'ouest, la lisière (une limite entre deux milieux, dont l'un est généralement forestier) de la dépression (un creux) de dra-el-mizan au nord et, au sud la plaine de Hamza et ses alentours.

La plaine de Bouira se relève à l'ouest en pente douce vers les hauteurs de tekouka (769 m) qui font face au nord-ouest à la petite coupe qui porte la forêt babor (729 m). [55]

La plaine de hamza correspond à une large dépression (un creux) alluvionnaire (dépôt de débris, tels du sable). (Altitude 500 à 600 m), creusée au pied des contreforts (chaîne de montagne moins élevée qui borde une chaîne principale) du Djurjura, dans les collines rougeâtres, en grande partie boisées, qui occupent la rive gauche de l'oued ed dous principale banche de l'oued sahel.[55]

#### III.6.1 Description des terrains sédimentaires

- **Alluvions actuelles** : Limons sablonneux de l'oued-ed-dous résultant des crues, dépôts caillouteux de débordement de l'oued-djemaà.

- **zone marécageuses** : Quelques bas-fonds argileux conservent l'eau en hiver sur le plateau de Hamza.
- **alluvions récentes** : Dépôt limoneux des petites plaines qui bordent les vallées de l'oued-ed-dous et de l'oued-djemaa.
- **alluvions anciennes des vallées** : Terrasses caillouteuses et limoneuses dominant de 10 à 15 mètre les berges des cours d'eau, principalement dans les nombreux ravins qui découpent la plaine de hamza.
- **alluvions anciennes de la plaine du hamza** : Vaste nappe d'alluvions, Caillouteuses qui a nivelé la grande plaine, inclinée du nord-ouest vers l'est. Puissant cône de déjection qui porte le forêt de tineri au nord, etc...
- **alluvions anciennes des plateaux et cône de déjection** : Dépôt caillouteux antérieurs à la phase, résultant d'anciennes actions torrentielles, qui ont précédé le creusement des vallées et dépressions actuelles.
- **conglomérats et argiles (aquitanien)** : Terrain détritique (composés de roches sédimentaires composée d'au moins 50 % de débris) d'origine alluvionnaire , composé de conglomérats de grès grossiers d'argiles sableuses d'une coloration rouge plus ou Moins accentuée, très puissants dans la zone des hauteurs broussailleuses et boisées qui forment les premiers contreforts du Djurdjura, jusqu'à l'altitude de 800 mètres ces dépôts sont plissés avec inclinaison générale vers le nord. [55]

### III.7. contexte hydrogéologie

Les principales réserves d'eaux souterraines de la région étudiée sont contenues dans la nappe alluviale des oueds et leurs affluents. Le terrain réservoir est constitué par un remplissage alluvionnaire quaternaire (sables, graviers, limons et argiles). Cet aquifère est capté par des puits paysans destinés à l'irrigation (se concentrent généralement le long des oueds). La recharge de la nappe se fait essentiellement par l'infiltration directe des pluies mais aussi par les oueds, notamment en situation de basses eaux.

### III.8. Conclusion

Les données climatologiques permettent d'attribuer à la région étudiée un climat semi-aride, caractérisé par une saison sèche, qui s'étend du mois de mai au mois octobre. Et une saison humide, tempérée qui s'étend du mois d'octobre au mois de mai. La température moyenne est d'environ 17,5°C.

Les précipitations augmentent du Sud vers le Nord du bassin el sahel avec un régime pluvial marqué par un pic, en décembre. La lame précipitée moyenne annuelle estimée à 439.9mm.

D'après l'étude géologique, on a déduit que la zone étudiée est une dépression remplie par des sédiments alluvionnaires d'âge Miocène qui sont discordant sur un ensemble antérieur. De cette étude, il ressort que le plateau est essentiellement constitué d'alluvions anciennes et récentes reposant anormalement sur des formations Miocène continentales.

# Chapitre IV :

## Matériel et méthodes

---

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

### IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les matériaux et les méthodes analytiques utilisés pour évaluer la qualité des eaux souterraines dans le sous bassin du Sahel (SOUMAM).

Les analyses des prélèvements des forages de notre région d'étude, a été réalisée au niveau du laboratoire centrale de l'ADE de Bouira (pendant l'année 2016).

### IV.2. Méthodologie

L'étude expérimentale de la qualité des eaux souterraines de sous bassin el Sahel consiste au calcul de l'indice global de qualité IQE en utilisant les résultats d'analyses physico-chimique, pour classé la qualité de notre région d'étude en cinq types (exaltante-bonne-mauvaise-très mauvaise- non potable)

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au sein du laboratoire de l'ADE de Bouira L'étude de qualité de l'eau comporte trois étapes :

- a. Prélèvement (échantillonnage).
- b. Analyse.
- c. Interprétation.

### IV.3. L'échantillonnage

L'échantillonnage est constitué d'un ensemble d'action ou d'étapes, dont les qualités individuelles contribuent à la qualité finale de la mesure, La bonne pratique de cette étape conditionne en très grande partie la fiabilité, la comparabilité des données de mesure et donc l'interprétation que l'on pourra en faire.

Le flacon d'échantillon doit obligatoire comporter les renseignements suivant :

- ✓ Identifier du préleveur
- ✓ Date et heure du prélèvement.
- ✓ Particulier ou autorité demandant l'analyse.
- ✓ Adresse exacte de prélèvement
- ✓ Nom de point d'eau et localisation précise.
- ✓ Origine de l'eau.
- ✓ Température, conductivité turbidité, oxygène dissout et chlore libre résiduaire.

- ✓ Condition météorologique du moment de prélèvement.

#### IV.4. Conservation des échantillons

Après les prélèvements, les échantillons sont conservés et transportés au laboratoire à 4 °C, à l'obscurité dans des emballages.

L'analyse doit être réalisée au cours des huit heures qui suivent le prélèvement pour éviter l'action des facteurs influant sur les résultats, comme la température et la lumière. [58]

#### IV.5. Choix et localisation des points de prélèvement

Dans le cadre du choix des points de prélèvement, on a choisi 37 forages de localisée dans le bassin Sahel wilaya de Bouira.

*Tableau IV.8: La localisation des points de forage du bassin sahel. [59]*

Forages	Puit	x	y
F1	F21 Sidi Ziane	578552,9	4025545,2
F2	F Thamer	587689,01	4020767,6
F3	F Djaada	586089,99	4021122,4
F4	F7 Taferka	584111,75	4028428,7
F5	F12 Taferka	585161,49	4028325,6
F6	Puit Ain El Beida	562178,17	4015749,9
F7	puit Ouled Zidane	559817,03	4013801,5
F8	F51 Mchedellah	614444,92	4022937,9
F9	F Ouled Bouali	622921,74	4022837,9
F10	F1 Guemgouma	585011,16	3999147,2
F11	F3 Al Asnam	587637,96	4020417,8
F12	F3 Bechloul	612947,35	4022819,4
F13	Puit Tarfa	589578,58	3986826,9
F14	F8 Harket	580352,81	4025489,8
F15	F1 SidiZiane	578450,38	4024705,5
F16	F16 Sidi Ziane	584605,34	4026277,1
F17	F11 Ouadhia	579951,15	4024941

F18	F1 Said Abid	575646,53	4023453,9
F19	F2 Said Abid	575645,78	4023203,9
F20	F5 Haizer	589061,35	4028213,9
F21	F1 Haizer	590111,77	4028335,8
F22	F2 Haizer	590311,41	4028210,2
F23	F4 Taghzout	585964,14	4029203,2
F24	H12 taghzout	584765,05	4029526,8
F25	H17 taghzout	586963,05	4028820,2
F26	F3 Taghzout	585659,72	4027724,1
F27	F Oued El Berdi	582063,32	4012334,1
F28	F Bekouche	566430,02	4001581,1
F29	F3 Semmache	604874,48	4023004,2
F30	F1 adjiba	603841,16	4021069,3
F31	F2 Adjiba	601979,02	4021814,7
F32	F1 Chorfa	619549,25	4023172,9
F33	F4 Chorfa	619528,6	4025453,1
F34	F3 Chorfa	616979,93	4027744,5
F35	F2 Al Asnem	587539,9	4021068,1
F36	F Guelta Zarga	565238,4	4007694,8
F37	source El Mesdour	593921,5	3997415,9

### IV.5.1. Définition d'ArcGIS 10.3

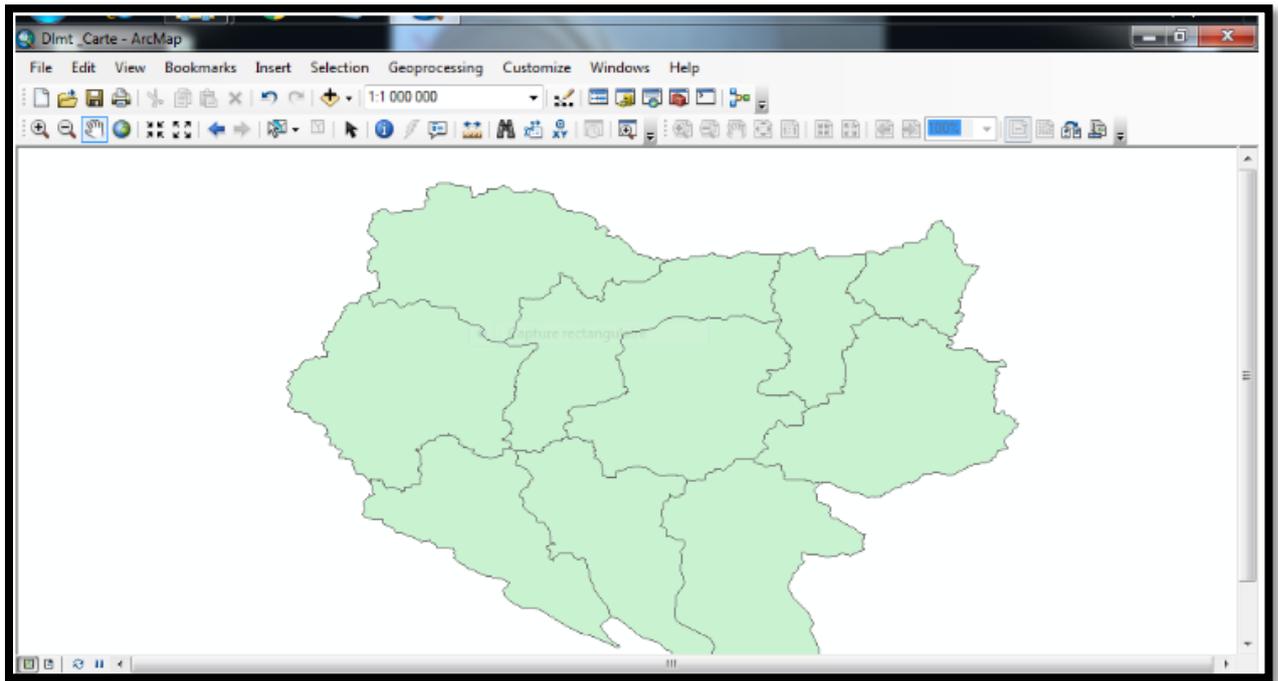
Le logiciel ArcGis est un logiciel d'information géographique qui a été développé par la société américaine ESRI.

Composé de plusieurs modules, son utilisation touche tous les domaines scientifique tel que Le bureautique, la cartographie, la topographie, le traitement professionnels et technique des images, les transformations mathématiques, les calculs d'intégrales et de surface, la résolution de tous genre d'équations, les statistiques, la géostatistique etc..... [60]

Arcgis (**version 10.3**) peut aussi :

- ✓ Résoudre des problèmes.
- ✓ Prendre de meilleures décisions.

- ✓ Planifier avec succès.
- ✓ Faire un meilleur usage des ressources
- ✓ Anticiper et gérer le changement
- ✓ Gérer et exécuter des opérations plus efficacement.
- ✓ Promouvoir la collaboration entre les équipes, les disciplines et les institutions.
- ✓ Accroître la compréhension et la connaissance.
- ✓ Communiquer plus efficacement.
- ✓ Éduquer et motiver les autres.



*Figure IV.1 : Interface de commande sur logiciel ArcGIS.*

#### IV.6. Calcul de l'indice de la qualité de l'eau

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 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 eaux de souterraines d'oued Sahel. Cet indice est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré. [62]

Cet indice est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré. [62]

-Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (**Wi**), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{k}{S_i} \quad (1)$$

*Tableau IV.9 : Poids des paramètres physico-chimiques. [61]*

Paramètres chimiques	Norme de l'OMS (1984)	Facteur de poids (wi)	Poids relative (Wi)
PH	6,5-8,5	4	0.111
TH	300	2	0.05
Ca <sup>+2</sup>	75	2	0.05
Mg <sup>+2</sup>	30	2	0.05
Na <sup>+</sup>	200	2	0.05
K <sup>+</sup>	12	2	0.05
TAC	200	3	0.083
TDS	500	4	0.111
Cl <sup>-</sup>	250	3	0.083
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45	5	0.138
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	200	4	0.111
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	500	3	0.083
		∑ Wi= 36	0.969

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

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i}\right)} \quad (2)$$

**n** : nombre de paramètres.

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

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 :

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i}\right) \times 100 \quad (3)$$

$q_i$  : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

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

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

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

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tab.IV.3).

**Tableau IV.10:** Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE. [62]

Classe d'IQE	Type d'eau	Usage possible
50<	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
50-100	Bonne qualité	Eau potable, Irrigation et industrie
100-200	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
200-300	Très mauvaise qualité	Irrigation
>300	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

IV.6.1. Représentation de Logiciel de calcul de l'indice IQE

IV.6.1.1. Définition de l'Excel

Excel est un programme informatique développé et distribué par Microsoft Corp. Il s'agit d'un logiciel qui permet de réaliser des tâches comptables et financières grâce à ses applications pour créer et travailler avec des feuilles de calcul.

La première incursion de Microsoft avec les feuilles de calcul (permettant de manipuler des données numériques en tableaux formés par l'union de lignes et colonnes) a eu lieu en 1982, avec la présentation de Multiplan. C'est trois ans plus tard que la première version d'Excel est arrivée sur le marché. [63]

Grace de logiciel Excel on peut déterminer et calculer l'indice numérique IQE de chaque prélèvement de la région d'étude.

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL
1	qPH	qCa	qMg	qNa	qK	qcl	qNO	qSO	SLI PH	SLI TH	SLI Ca	SLI Mg	SLI Na	SLI K	SLI Cl	SLI NO	SLI S
2	101,4285714	230,4	103,666667	18,8	8,33333333	110,76	86,8888889	38,3	12,2728571	11,2	13,824	6,22	1,128	0,5	9,9684	13,0333333	4,6
3	98,57142857	222,933333	220	19,5	7,5	68,36	112,444444	27,015	11,9271429	11,96	13,376	13,2	1,17	0,45	6,1524	16,8666667	3,268
4	101,4285714	201,6	132	23	7,5	76,96	117,333333	19,6	12,2728571	10,84	12,096	7,92	1,38	0,45	6,9264	17,6	2,3
5	102,8571429	110,933333	252,666667	53,6	19,1666667	119,28	4,88888889	21,05	12,4457143	10,4	6,656	15,16	3,216	1,15	10,7352	0,73333333	2,54
6	102,8571429	110,933333	252,666667	53,6	19,1666667	119,28	4,88888889	21,05	12,4457143	10,4	6,656	15,16	3,216	1,15	10,7352	0,73333333	2,54
7	101,4285714	300,8	94	26,6	5	92	246,222222	118,15	12,2728571	13,6	18,048	5,64	1,596	0,3	8,28	36,9333333	14,29
8	101,4285714	236,8	110,133333	15,75	10,8333333	55,308	246,222222	81,4	12,2728571	11,6	14,208	6,608	0,945	0,65	4,97772	36,9333333	9,84
9	101,4285714	160	225,666667	28,6	19,1666667	74,124	31,5555556	103,9	12,2728571	11,6	9,6	13,54	1,716	1,15	6,67116	4,73333333	12,5
10	107,1428571	181,333333	198	34,7	21,6666667	93,8	18,2222222	124,4	12,9642857	11,72	10,88	11,88	2,082	1,3	8,442	2,73333333	15,0
11	100,2857143	161,6	109	22,6	10,8333333	50,28	147,777778	20,7	12,1345714	8,78	9,696	6,54	1,356	0,65	4,5252	22,1666667	2,5
12	98,57142857	196,266667	112	22,2	10,8333333	59,92	43,777778	35,75	11,9271429	10,16	11,776	6,72	1,332	0,65	5,3928	6,5666667	4,32
13	98,57142857	178,133333	148,333333	0	0	23	132	29,7	11,9271429	12,64	10,688	8,9	0	0	2,07	19,8	3,5
14	102,8571429	375,466667	398,666667	60	19,1666667	69,16	19,1111111	550,95	12,4457143	24	22,528	23,92	3,6	1,15	6,2244	2,8666667	66,66
15	101,4285714	152,533333	98	21	7,5	51,96	26,2222222	34,85	12,2728571	8,16	9,152	5,88	1,26	0,45	4,6764	3,93333333	4,21
16	101,4285714	132,266667	108,333333	18,8	8,33333333	53,8	56,2222222	34,55	12,2728571	7,66	7,936	6,5	1,128	0,5	4,842	8,43333333	4,18
17	101,2857143	137,6	150,133333	22	11,6666667	58,36	13,3333333	34,35	12,2557143	8,92	8,256	9,008	1,32	0,7	5,2524	2	4,15
18	101,4285714	147,2	144,666667	25,4	8,33333333	76,52	35,5555556	25,3	12,2728571	9,04	8,832	8,68	1,524	0,5	6,8868	5,33333333	3,0
19	102,8571429	75,7333333	42	14,6	10,8333333	13,08	18,8888889	24,35	12,4457143	3,88	4,544	2,52	0,876	0,65	1,1772	2,83333333	2,94
20	104,2857143	86,4	37,3333333	11,9	10,8333333	15,64	26,8888889	30,95	12,6185714	4,16	5,184	2,24	0,714	0,65	1,4076	4,03333333	3,74
21	105,7142857	75,2	120,666667	11,9	11,6666667	24,16	18,8888889	30,55	12,7914286	5,8	4,512	7,24	0,714	0,7	2,1744	2,83333333	3,69
22	102,8571429	100,266667	200,033333	10,4	12,5	27,12	32,6666667	25,15	12,4457143	8,7	6,016	12,002	0,624	0,75	2,4408	4,9	3,04

Figure IV.2 : Représentation sur l'interface du logiciel Excel.

IV.7. Détermination des principaux faciès chimiques

Les faciès chimique (compositions chimiques distinctes) sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les

détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en (Még/L) et en tenant compte de la classification des ions. [64]

### IV.7.1. Représentation graphique des faciès chimiques

La représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable pour bien identifier les faciès chimiques, pour atteindre cet objectif on a eu recours au diagramme de PIPER et à celui de SCHOELLER-BERKALOFF. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes. [64]

### IV.7.2. Logiciel Diagrammes

On a utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon, qui permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et d'irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller-Berkaloff. [64]

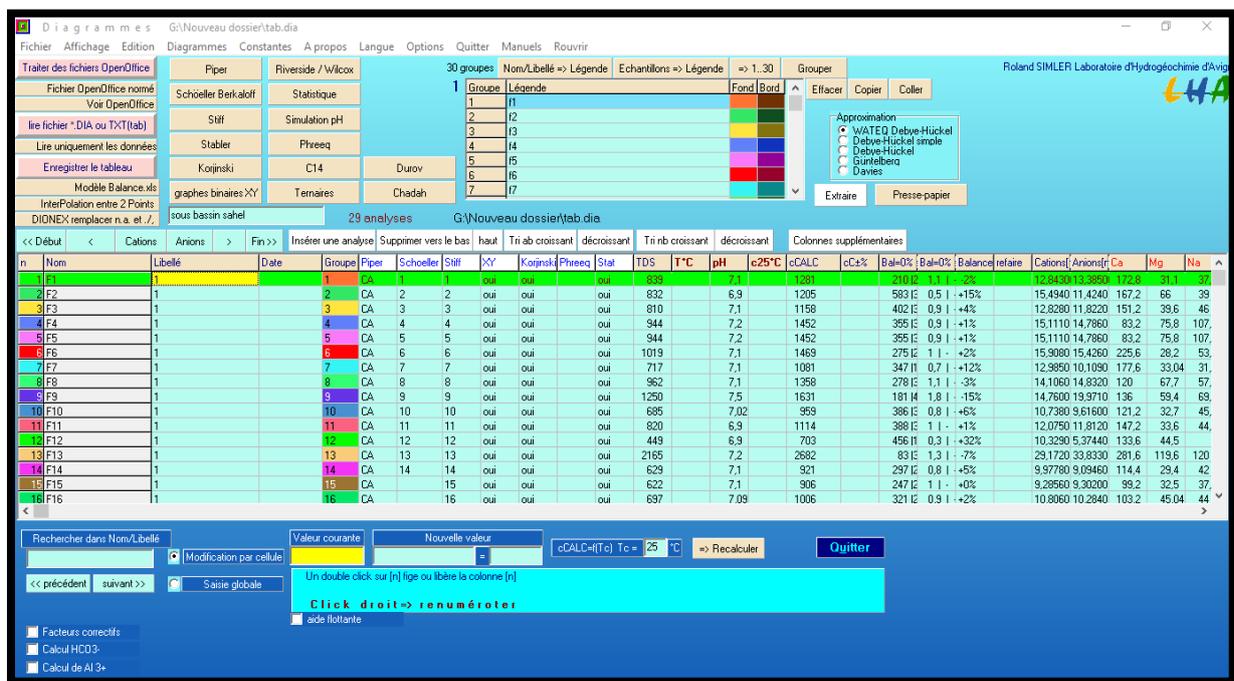


Figure IV.3 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.

#### IV.7.2.1. Diagramme de PIPER

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il permet également de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses. Le diagramme de Piper est composé de deux triangles et un

losange. Les deux triangles (un triangle portant les cations et un autre les anions) sont d'abord remplis puis le losange. Les valeurs utilisées sont exprimées en % .meq.L-1. [65]

Il permet :

- La comparaison relative des concentrations des cations et anions.
- Identification des ions dominants.
- La classification des eaux selon les faciès.
- La caractérisation des faciès géochimique des eaux l'étude de l'évolution des déférentes caractéristiques.
- ✓ Il est composé de deux triangles ternaires et un losange : un triangle pour cation qui a pour apiques ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ka^+$ ) et un triangle pour anions qui a pour apiques ( $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ).
- ✓ Le losange représente une matrice de passage des triangles des anions (sulfates + chlorurées /totale des anions) et des cations (sodium +potassium /total des cations).

Elément d'interprétation

- Le triangle des anions peut être divisé en 4 zones : zone des sulfatées – zone des chlorurées – zone des carbonatées et bicarbonatées –zone des anions dominants.
- Le triangle de cation peut être divisé en 4 zones : zone des magnésiennes – zone des sodique et potassique –zone des calcique –zone de cation dominants.

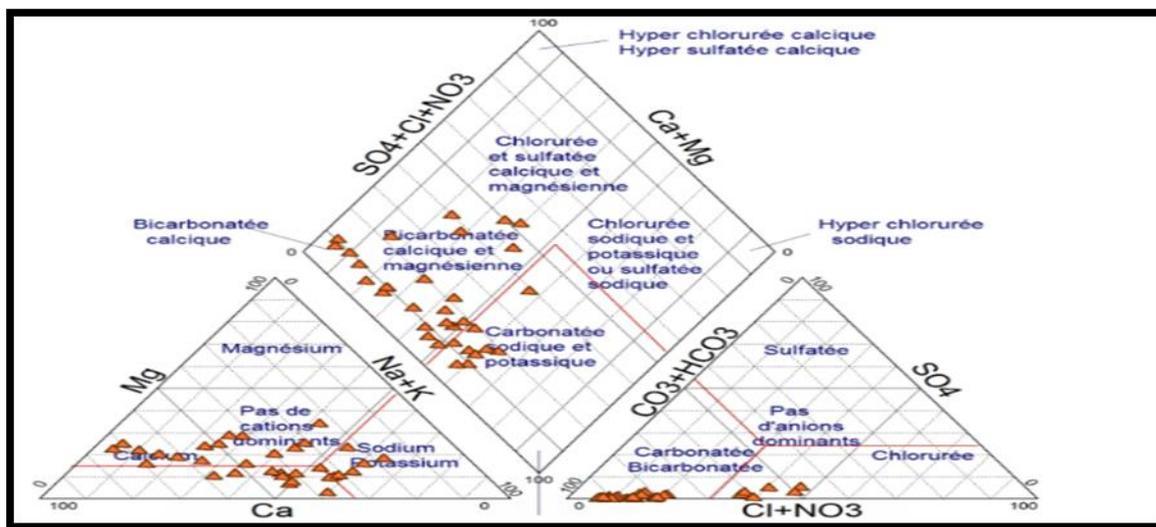


Figure IV.4 : Diagramme de piper. [66]

### IV.7.2.2. Diagramme de Schoeler Berkaloff

Le diagramme de Schoeler permet entre autres de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques. [65]

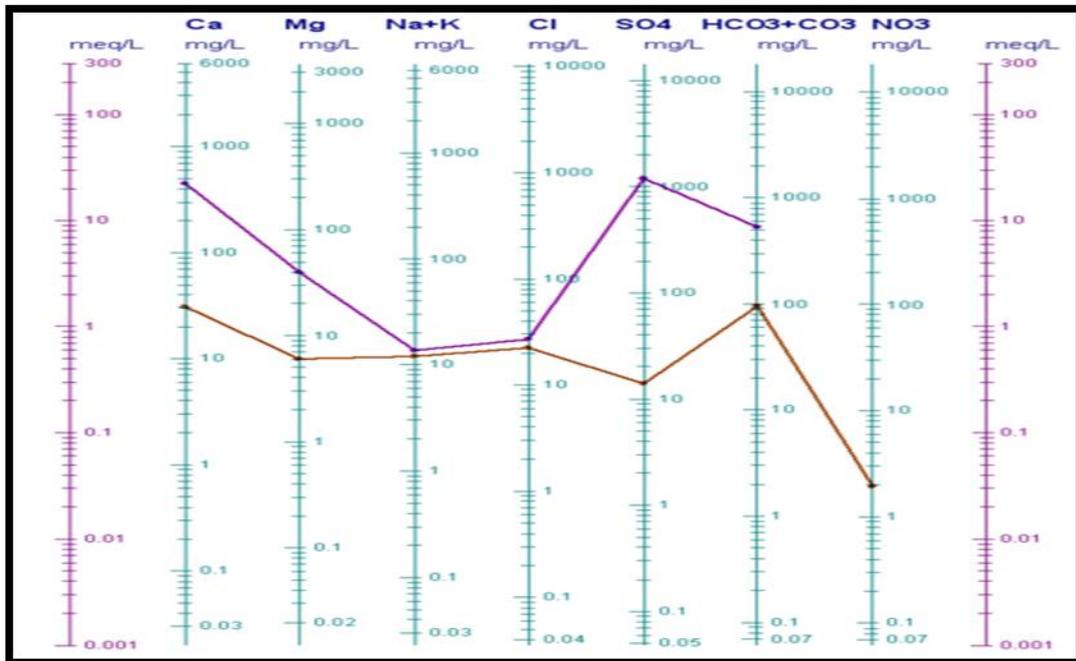


Figure IV.5 : Diagramme de Schoeler Berkaloff. [67]

## IV.8. Conclusion

L'étude qualitative des résultats des éléments physico-chimique du bassin Sahel est déterminé par la méthode IQE à partir des calculs sur logiciel Excel, et la présentation des faciès chimique est définie dans le diagramme de piper et Schoeler Berkaloff par logiciel (DIAGRAMME), et la cartographie des point de prélèvement se réalisée par logiciel ArcGIS.

# Chapitre IV :

## Résultats et discussion

## Chapitre V : Résultats et discussion

### V.1. Introduction

La qualité des eaux souterraines peut identifier par des paramètres physico-chimique ainsi que biologique.

Le but de ce chapitre est déterminé les résultats d'analyse physico-chimique des eaux souterraines du bassin Sahel, ont été effectués les analyses des échantillons au niveau de laboratoire centrale de L'ADE Bouira (pendant l'année 2016), afin de déterminer leur classe de qualité par la méthode IQE.

### V.2. Présentation des résultats des paramètres physico-chimiques

Pour déterminer l'indice numérique **IQE** de chaque forage, nous suivons ces étapes :

-Calculer le **qi** et **Sli** de chaque paramètre d'analyse, À l'aide de l'équation : **qi=Ci/Si**, et **Sli=qi×Wi**.

-Pour obtenir le **IQE** des forages (37 prélèvements), on calcule la somme de **Sli** de chaque paramètre l'aide de l'équation suivante : **IQE=∑<sub>i=1</sub><sup>n</sup> Sli**.

On a complété les valeurs de **TDS** et **TAC** à l'aide de logiciel diagramme.

#### V.2.1. Présentation de calcul le qi et Sli de chaque élément physico-chimique

##### V.2.1.1. Les éléments chimiques

*Tableau V.11: Les résultats de Ca<sup>2+</sup>*

Forages	Forages	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Norme de l'OMS (1984)	qi (Ca <sup>2+</sup> ) =Ci/Si×100	Poids relative (Wi)	Sli(Ca <sup>2+</sup> ) =qi×wi
F1	F21 Sidi Ziane	172,8	<b>75</b>	230,4	<b>0.05</b>	11,52
F2	F Thamer	167,2		222,9333333		11,14666667
F3	F Djaada	151,2		201,6		10,08
F4	F7 Taferka	83,2		110,9333333		5,546666667
F5	F12 Taferka	83,2		110,9333333		5,546666667
F6	Puit Ain El Beida	225,6		300,8		15,04

F7	puit Ouled Zidane	177,6		236,8		11,84
F8	F51 Mchedellah	120		160		8
F9	F Ouled Bouali	136		181,3333333		9,066666667
F10	F1 Guemgouma	121,2		161,6		8,08
F11	F3 Al Asnam	147,2		196,2666667		9,813333333
F12	F3 Bechloul	133,6		178,1333333		8,906666667
F13	Puit Tarfa	281,6		375,4666667		18,77333333
F14	F8 Harket	114,4		152,5333333		7,626666667
F15	F1 SidiZiane	99,2		132,2666667		6,613333333
F16	F16 Sidi Ziane	103,2		137,6		6,88
F17	F11 Ouadhia	110,4		147,2		7,36
F18	F1 Said Abid	56,8		75,73333333		3,786666667
F19	F2 Said Abid	64,8		86,4		4,32
F20	F5 Haizer	56,4		75,2		3,76
F21	F1 Haizer	75,2		100,2666667		5,013333333
F22	F2 Haizer	70,4		93,86666667		4,693333333
F23	F4 Taghzout	50,4		67,2		3,36
F24	H12 taghzout	84		112		5,6
F25	H17 taghzout	84		112		5,6
F26	F3 Taghzout	47,2		62,93333333		3,146666667
F27	F Oued El Berdi	104		138,6666667		6,933333333
F28	F Bekouche	125,6		167,4666667		8,373333333
F29	F3 Semmache	72		96		4,8
F30	F1 adjiba	63,6		84,8		4,24
F31	F2 Adjiba	102,4		136,5333333		6,826666667
F32	F1 Chorfa	120,4		160,5333333		8,026666667
F33	F4 Chorfa	77,6		103,4666667		5,173333333
F34	F3 Chorfa	88,8		118,4		5,92

F35	F2 Al Asnem	129,6		172,8		8,64
F36	F Guelta Zarga	133,6		178,1333333		8,906666667
F37	source El Mesdour	42,8		57,06666667		2,853333333

Tableau V.12: Les résultats de Mg<sup>2+</sup>

Forages	Puit	Mg <sup>2+</sup> (mg)	Norme de l'OMS -1984	qi (Mg <sup>2+</sup> )= Ci <sub>i</sub> /S <sub>i</sub> ×100	Poids relative (Wi)	Sli (Mg <sup>2+</sup> ) = qi×wi
F1	F21 Sidi Ziane	31,1	30	103,66667	0.05	5,183333
F2	F Thamer	66		220		11
F3	F Djaada	39,6		132		6,6
F4	F7 Taferka	75,8		252,66667		12,63333
F5	F12 Taferka	75,8		252,66667		12,63333
F6	Puit Ain El Beida	28,2		94		4,7
F7	puit Ouled Zidane	33,04		110,13333		5,506667
F8	F51 Mchedallah	67,7		225,66667		11,28333
F9	F Ouled Bouali	59,4		198		9,9
F10	F1 Guemgouma	32,7		109		5,45
F11	F3 Al Asnam	33,6		112		5,6
F12	F3 Bechloul	44,5		148,33333		7,416667
F13	Puit Tarfa	119,6		398,66667		19,93333
F14	F8 Harket	29,4		98		4,9
F15	F1 SidiZiane	32,5		108,33333		5,416667
F16	F16 Sidi Ziane	45,04		150,13333		7,506667
F17	F11 Ouadhia	43,4		144,66667		7,233333
F18	F1 Said Abid	12,6		42		2,1
F19	F2 Said Abid	11,2		37,333333		1,866667
F20	F5 Haizer	36,2		120,66667		6,033333
F21	F1 Haizer	60,01		200,03333		10,00167

F22	F2 Haizer	50,3		167,66667		8,383333
F23	F4 Taghzout	44,2		147,33333		7,366667
F24	H12 taghzout	75,3		251		12,55
F25	H17 taghzout	75,3		251		12,55
F26	F3 Taghzout	38,4		128		6,4
F27	F Oued El Berdi	37,4		124,66667		6,233333
F28	F Bekouche	31,4		104,66667		5,233333
F29	F3 Semmache	37,9		126,33333		6,316667
F30	F1 adjiba	39,7		132,33333		6,616667
F31	F2 Adjiba	58,3		194,33333		9,716667
F32	F1 Chorfa	39,2		130,66667		6,533333
F33	F4 Chorfa	56,7		189		9,45
F34	F3 Chorfa	32,3		107,66667		5,383333
F35	F2 Al Asnem	16,5		55		2,75
F36	F Guelta Zarga	41,3		137,66667		6,883333
F37	source El Mesdour	25,4		84,666667		4,233333

Tableau V.13: Les résultats de Na+

Forages	Puit	Na+( mg/l)	Norme de l'OMS -1984	$q_i$ (Na+) = $C_i/S_i \times 100$	Poids relativ e (Wi)	$S_{li}$ (Na+) = $q_i \times w_i$
F1	F21 Sidi Ziane	37,6	200	18,8	0.05	1,88
F2	F Thamer	39		19,5		1,95
F3	F Djaada	46		23		2,3
F4	F7 Taferka	107,2		53,6		5,36
F5	F12 Taferka	107,2		53,6		5,36
F6	Puit Ain El Beida	53,2		26,6		2,66
F7	puit Ouled Zidane	31,5		15,75		1,575
F8	F51 Mchedellah	57,2		28,6		2,86
F9	F Ouled Bouali	69,4		34,7		3,47
F10	F1 Guemgouma	45,2		22,6		2,26

F11	F3 Al Asnam	44,4		22,2		2,22
F12	F3 Bechloul	0		0		0
F13	Puit Tarfa	120		60		6
F14	F8 Harket	42		21		2,1
F15	F1 SidiZiane	37,6		18,8		1,88
F16	F16 Sidi Ziane	44		22		2,2
F17	F11 Ouadhia	50,8		25,4		2,54
F18	F1 Said Abid	29,2		14,6		1,46
F19	F2 Said Abid	23,8		11,9		1,19
F20	F5 Haizer	23,8		11,9		1,19
F21	F1 Haizer	20,8		10,4		1,04
F22	F2 Haizer	19,4		9,7		0,97
F23	F4 Taghzout	28,8		14,4		1,44
F24	H12 taghzout	56,8		28,4		2,84
F25	H17 taghzout	56,8		28,4		2,84
F26	F3 Taghzout	28,6		14,3		1,43
F27	F Oued El Berdi	37,1		18,55		1,855
F28	F Bekouche	21,8		10,9		1,09
F29	F3 Semmache	38,6		19,3		1,93
F30	F1 adjiba	56,4		28,2		2,82
F31	F2 Adjiba	56,8		28,4		2,84
F32	F1 Chorfa	55,4		27,7		2,77
F33	F4 Chorfa	32,6		16,3		1,63
F34	F3 Chorfa	26,6		13,3		1,33
F35	F2 Al Asnem	44,4		22,2		2,22
F36	F Guelta Zarga	40		20		2
F37	source El Mesdour	54		27		2,7

Tableau V.14: Les résultats de K<sup>+</sup>

Forages	Forages	K <sup>+</sup> (mg/l)	Norme de l'OMS -1984	qi (K <sup>+</sup> ) = Ci/Si ×100	Poids relative (Wi)	Sli <sub>(K<sup>+</sup>)</sub> = qi×wi
F1	F21 Sidi Ziane	1	12	8,3333333	0.05	0,416667
F2	F Thamer	0,9		7,5		0,375
F3	F Djaada	0,9		7,5		0,375
F4	F7 Taferka	2,3		19,166667		0,958333
F5	F12 Taferka	2,3		19,166667		0,958333
F6	Puit Ain El Beida	0,6		5		0,25
F7	puit Ouled Zidane	1,3		10,833333		0,541667
F8	F51 Mchedellah	2,3		19,166667		0,958333
F9	F Ouled Bouali	2,6		21,666667		1,083333
F10	F1 Guemgouma	1,3		10,833333		0,541667
F11	F3 Al Asnam	1,3		10,833333		0,541667
F12	F3 Bechloul	0		0		0
F13	Puit Tarfa	2,3		19,166667		0,958333
F14	F8 Harket	0,9		7,5		0,375
F15	F1 SidiZiane	1		8,3333333		0,416667
F16	F16 Sidi Ziane	1,4		11,666667		0,583333
F17	F11 Ouadhia	1		8,3333333		0,416667
F18	F1 Said Abid	1,3		10,833333		0,541667
F19	F2 Said Abid	1,3		10,833333		0,541667
F20	F5 Haizer	1,4		11,666667		0,583333
F21	F1 Haizer	1,5		12,5		0,625
F22	F2 Haizer	1,9		15,833333		0,791667
F23	F4 Taghzout	1,1		9,166667		0,458333
F24	H12 taghzout	1,7		14,166667		0,708333
F25	H17 taghzout	1,7		14,166667		0,708333
F26	F3 Taghzout	1,7		14,166667		0,708333
F27	F Oued El Berdi	1,2		10		0,5

F28	F Bekouche	0,8		6,6666667		0,333333
F29	F3 Semmache	2,9		24,166667		1,208333
F30	F1 adjiba	4		33,333333		1,666667
F31	F2 Adjiba	2,5		20,833333		1,041667
F32	F1 Chorfa	2,1		17,5		0,875
F33	F4 Chorfa	1,8		15		0,75
F34	F3 Chorfa	2,1		17,5		0,875
F35	F2 Al Asnem	1,3		10,833333		0,541667
F36	F Guelta Zarga	0,7		5,8333333		0,291667
F37	source El Mesdour	3,3		27,5		1,375

Tableau V.15 : Les résultats de cl-

Forages	Forages	cl <sup>-</sup> (mg/l)	Norme de l'OMS -1984	qi (cl <sup>-</sup> )= $C_i/S_i \times 100$	Poids relative (Wi)	Sli <sub>(cl<sup>-</sup>)</sub> = qi×wi
F1	F21 Sidi Ziane	276,9	<b>250</b>	110,76	<b>0.083</b>	9,19308
F2	F Thamer	170,9		68,36		5,67388
F3	F Djaada	192,4		76,96		6,38768
F4	F7 Taferka	298,2		119,28		9,90024
F5	F12 Taferka	298,2		119,28		9,90024
F6	Puit Ain El Beida	230		92		7,636
F7	puit Ouled Zidane	138,27		55,308		4,590564
F8	F51 Mchedellah	185,31		74,124		6,152292
F9	F Ouled Bouali	234,5		93,8		7,7854
F10	F1 Guemgouma	125,7		50,28		4,17324
F11	F3 Al Asnam	149,8		59,92		4,97336
F12	F3 Bechloul	57,5		23		1,909
F13	Puit Tarfa	172,9		69,16		5,74028
F14	F8 Harket	129,9		51,96		4,31268
F15	F1 SidiZiane	134,5		53,8		4,4654

F16	F16 Sidi Ziane	145,9	58,36	4,84388
F17	F11 Ouadhia	191,3	76,52	6,35116
F18	F1 Said Abid	32,7	13,08	1,08564
F19	F2 Said Abid	39,1	15,64	1,29812
F20	F5 Haizer	60,4	24,16	2,00528
F21	F1 Haizer	67,8	27,12	2,25096
F22	F2 Haizer	54,3	21,72	1,80276
F23	F4 Taghzout	41,2	16,48	1,36784
F24	H12 taghzout	195,8	78,32	6,50056
F25	H17 taghzout	195,8	78,32	6,50056
F26	F3 Taghzout	76,7	30,68	2,54644
F27	F Oued El Berdi	130,3	52,12	4,32596
F28	F Bekouche	48,3	19,32	1,60356
F29	F3 Semmache	96,9	38,76	3,21708
F30	F1 adjiba	102,6	41,04	3,40632
F31	F2 Adjiba	157,4	62,96	5,22568
F32	F1 Chorfa	123,9	49,56	4,11348
F33	F4 Chorfa	83,6	33,44	2,77552
F34	F3 Chorfa	82,3	32,92	2,73236
F35	F2 Al Asnem	127,1	50,84	4,21972
F36	F Guelta Zarga	101,9	40,76	3,38308
F37	source El Mesdour	66,7	26,68	2,21444

Tableau V.16 : Les résultats de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Forages	Forages	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Norme de l'OMS -1984	qi (HCO <sub>3</sub> ) = C <sub>i</sub> /S <sub>i</sub> × 100	Poids relative (W <sub>i</sub> )	S <sub>li</sub> (HCO <sub>3</sub> -) = qi × w <sub>i</sub>
F1	F21 Sidi Ziane	242,8	<b>500</b>	48,56	<b>0.083</b>	4,03048
F2	F Thamer	334,3		66,86		5,54938

F3	F Djaada	340,4		68,08		5,65064
F4	F7 Taferka	335,5		67,1		5,5693
F5	F12 Taferka	335,5		67,1		5,5693
F6	Puit Ain El Beida	245,2		49,04		4,07032
F7	puit Ouled Zidane	172,02		34,404		2,855532
F8	F51 Mchedellah	322,1		64,42		5,34686
F9	F Ouled Bouali	498,9		99,78		8,28174
F10	F1 Guemgouma	317,8		63,56		5,27548
F11	F3 Al Asnam	372,1		74,42		6,17686
F12	F3 Bechloul	153,5		30,7		2,5481
F13	Puit Tarfa	366,9		73,38		6,09054
F14	F8 Harket	242,8		48,56		4,03048
F15	F1 SidiZiane	248,3		49,66		4,12178
F16	F16 Sidi Ziane	289,1		57,82		4,79906
F17	F11 Ouadhia	261,1		52,22		4,33426
F18	F1 Said Abid	140,3		28,06		2,32898
F19	F2 Said Abid	115,9		23,18		1,92394
F20	F5 Haizer	261,1		52,22		4,33426
F21	F1 Haizer	346,5		69,3		5,7519
F22	F2 Haizer	319,6		63,92		5,30536
F23	F4 Taghzout	264,7		52,94		4,39402

F24	H12 taghzout	314,8		62,96		5,22568
F25	H17 taghzout	314,8		62,96		5,22568
F26	F3 Taghzout	272,06		54,412		4,516196
F27	F Oued El Berdi	223,3		44,66		3,70678
F28	F Bekouche	279,4		55,88		4,63804
F29	F3 Semmache	255,6		51,12		4,24296
F30	F1 adjiba	248,9		49,78		4,13174
F31	F2 Adjiba	301,3		60,26		5,00158
F32	F1 Chorfa	275,7		55,14		4,57662
F33	F4 Chorfa	261,7		52,34		4,34422
F34	F3 Chorfa	262,3		52,46		4,35418
F35	F2 Al Asnem	292,8		58,56		4,86048
F36	F Guelta Zarga	268,4		53,68		4,45544
F37	source El Mesdour	198,9		39,78		3,30174

Tableau V.17: Les résultats de NO3-

Forages	Puit	NO3- (mg/l)	Norme de l'OMS -1984	$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$	Poids relative (Wi)	$S_{li(NO3-)} = q_i \times w_i$
F1	F21 Sidi Ziane	39,1	45	86,888889	0.13	11,99067

F2	F Thamer	50,6		112,44444		15,51733
F3	F Djaada	52,8		117,33333		16,192
F4	F7 Taferka	2,2		4,8888889		0,674667
F5	F12 Taferka	2,2		4,8888889		0,674667
F6	Puit Ain El Beida	110,8		246,22222		33,97867
F7	puit Ouled Zidane	110,8		246,22222		33,97867
F8	F51 Mchedallah	14,2		31,555556		4,354667
F9	F Ouled Bouali	8,2		18,222222		2,514667
F10	F1 Guemgouma	66,5		147,77778		20,39333
F11	F3 Al Asnam	19,7		43,777778		6,041333
F12	F3 Bechloul	59,4		132		18,216
F13	Puit Tarfa	8,6		19,111111		2,637333
F14	F8 Harket	11,8		26,222222		3,618667
F15	F1 SidiZiane	25,3		56,222222		7,758667
F16	F16 Sidi Ziane	6		13,333333		1,84
F17	F11 Ouadhia	16		35,555556		4,906667
F18	F1 Said Abid	8,5		18,888889		2,606667
F19	F2 Said Abid	12,1		26,888889		3,710667
F20	F5 Haizer	8,5		18,888889		2,606667
F21	F1 Haizer	14,7		32,666667		4,508
F22	F2 Haizer	10,01		22,244444		3,069733
F23	F4 Taghzout	5,9		13,111111		1,809333
F24	H12 taghzout	15,6		34,666667		4,784

F25	H17 taghzout	15,6		34,666667		4,784
F26	F3 Taghzout	10,8		24		3,312
F27	F Oued El Berdi	35,3		78,444444		10,82533
F28	F Bekouche	12,8		28,444444		3,925333
F29	F3 Semmache	3,5		7,777778		1,073333
F30	F1 adjiba	0,73		1,622222		0,223867
F31	F2 Adjiba	5,9		13,111111		1,809333
F32	F1 Chorfa	2,8		6,222222		0,858667
F33	F4 Chorfa	7,9		17,555556		2,422667
F34	F3 Chorfa	8,9		19,777778		2,729333
F35	F2 Al Asnem	91,03		202,28889		27,91587
F36	F Guelta Zarga	18,9		42		5,796
F37	source El Mesdour	1,2		2,666667		0,368

Tableau V.18: Les résultats de SO4-

Forages	Puit	SO4- (mg/l)	Norme de l'OMS -1984	$q_i = C_i/S_i \times 100$	Poids relative (Wi)	$S_{li(SO4-)} = q_i \times w_i$
F1	F21 Sidi Ziane	76,6	200	38,3	0.111	4,2513
F2	F Thamer	54,03		27,015		2,998665
F3	F Djaada	39,2		19,6		2,1756
F4	F7 Taferka	42,1		21,05		2,33655
F5	F12 Taferka	42,1		21,05		2,33655
F6	Puit Ain El Beida	236,3		118,15		13,11465

F7	puit Ouled Zidane	162,8		81,4		9,0354
F8	F51 Mchedellah	207,8		103,9		11,5329
F9	F Ouled Bouali	248,8		124,4		13,8084
F10	F1 Guemgouma	41,4		20,7		2,2977
F11	F3 Al Asnam	71,5		35,75		3,96825
F12	F3 Bechloul	59,4		29,7		3,2967
F13	Puit Tarfa	1101,9		550,95		61,15545
F14	F8 Harket	69,7		34,85		3,86835
F15	F1 SidiZiane	69,1		34,55		3,83505
F16	F16 Sidi Ziane	68,7		34,35		3,81285
F17	F11 Ouadhia	50,6		25,3		2,8083
F18	F1 Said Abid	48,7		24,35		2,70285
F19	F2 Said Abid	61,9		30,95		3,43545
F20	F5 Haizer	61,1		30,55		3,39105
F21	F1 Haizer	50,3		25,15		2,79165
F22	F2 Haizer	43,1		21,55		2,39205
F23	F4 Taghzout	38,2		19,1		2,1201
F24	H12 taghzout	42,9		21,45		2,38095
F25	H17 taghzout	42,9		21,45		2,38095
F26	F3 Taghzout	18,1		9,05		1,00455
F27	F Oued El Berdi	110,7		55,35		6,14385
F28	F Bekouche	153,6		76,8		8,5248

F29	F3 Semmache	119,2		59,6		6,6156
F30	F1 adjiba	103,7		51,85		5,75535
F31	F2 Adjiba	153,8		76,9		8,5359
F32	F1 Chorfa	77,8		38,9		4,3179
F33	F4 Chorfa	110		55		6,105
F34	F3 Chorfa	81,3		40,65		4,51215
F35	F2 Al Asnem	39,1		19,55		2,17005
F36	F Guelta Zarga	184,8		92,4		10,2564
F37	source El Mesdour	113,8		56,9		6,3159

V.2.1.2. Les éléments physiques

Tableau V.19: Les résultats de TH

Forages	Puit	TH (mg/l)	Norme de l’OMS -1984	qi =Ci <sub>i</sub> /S <sub>i</sub> ×100	Poids relative (Wi)	Sli <sub>(TH)</sub> = qi×wi
F1	F21 Sidi Ziane	560	300	186,66667	0.05	9,333333
F2	F Thamer	598		199,33333		9,966667
F3	F Djaada	542		180,66667		9,033333
F4	F7 Taferka	520		173,33333		8,666667
F5	F12 Taferka	520		173,33333		8,666667
F6	Puit Ain El Beida	680		226,66667		11,333333
F7	puit Ouled Zidane	580		193,33333		9,666667
F8	F51 Mchedellah	580		193,33333		9,666667

F9	F Ouled Bouali	586		195,33333		9,766667
F10	F1 Guemgouma	439		146,33333		7,316667
F11	F3 Al Asnam	508		169,33333		8,466667
F12	F3 Bechloul	632		210,66667		10,533333
F13	Puit Tarfa	1200		400		20
F14	F8 Harket	408		136		6,8
F15	F1 SidiZiane	383		127,66667		6,383333
F16	F16 Sidi Ziane	446		148,66667		7,433333
F17	F11 Ouadhia	452		150,66667		7,533333
F18	F1 Said Abid	194		64,666667		3,233333
F19	F2 Said Abid	208		69,333333		3,466667
F20	F5 Haizer	290		96,666667		4,833333
F21	F1 Haizer	435		145		7,25
F22	F2 Haizer	383		127,66667		6,383333
F23	F4 Taghzout	308		102,66667		5,133333
F24	H12 taghzout	400		133,33333		6,666667
F25	H17 taghzout	400		133,33333		6,666667
F26	F3 Taghzout	276		92		4,6
F27	F Oued El Berdi	462		154		7,7
F28	F Bekouche	454		151,33333		7,566667
F29	F3 Semmache	337		112,33333		5,616667
F30	F1 adjiba	323		107,66667		5,383333
F31	F2 Adjiba	496		165,33333		8,266667

F32	F1 Chorfa	443		147,66667		7,383333
F33	F4 Chorfa	367		122,33333		6,116667
F34	F3 Chorfa	356		118,66667		5,933333
F35	F2 Al Asnem	392		130,66667		6,533333
F36	F Guelta Zarga	504		168		8,4
F37	source El Mesdour	212		70,666667		3,533333

Tableau V.20: Les résultats de PH

Forages	Puit	PH	Norme de l'OMS -1984	$q_i$ $=C_i/S_i \times 100$	Poids relative ( $W_i$ )	$S_{li(PH)}$ $= q_i \times w_i$
F1	F21 Sidi Ziane	7,1	<b>7</b>	101,42857	<b>0,111</b>	11,25857
F2	F Thamer	6,9		98,571429		10,94143
F3	F Djaada	7,1		101,42857		11,25857
F4	F7 Taferka	7,2		102,85714		11,41714
F5	F12 Taferka	7,2		102,85714		11,41714
F6	Puit Ain El Beida	7,1		101,42857		11,25857
F7	puit Ouled Zidane	7,1		101,42857		11,25857
F8	F51 Mchedellah	7,1		101,42857		11,25857
F9	F Ouled Bouali	7,5		107,14286		11,89286
F10	F1 Guemgouma	7,02		100,28571		11,13171
F11	F3 Al Asnam	6,9		98,571429		10,94143

F12	F3 Bechloul	6,9		98,571429		10,94143
F13	Puit Tarfa	7,2		102,85714		11,41714
F14	F8 Harket	7,1		101,42857		11,25857
F15	F1 SidiZiane	7,1		101,42857		11,25857
F16	F16 Sidi Ziane	7,09		101,28571		11,24271
F17	F11 Ouadhia	7,1		101,42857		11,25857
F18	F1 Said Abid	7,2		102,85714		11,41714
F19	F2 Said Abid	7,3		104,28571		11,57571
F20	F5 Haizer	7,4		105,71429		11,73429
F21	F1 Haizer	7,2		102,85714		11,41714
F22	F2 Haizer	7,3		104,28571		11,57571
F23	F4 Taghzout	7,4		105,71429		11,73429
F24	H12 taghzout	7,3		104,28571		11,57571
F25	H17 taghzout	7,3		104,28571		11,57571
F26	F3 Taghzout	7,3		104,28571		11,57571
F27	F Oued El Berdi	7,3		104,28571		11,57571
F28	F Bekouche	7,7		110		12,21
F29	F3 Semmache	7,9		112,85714		12,52714
F30	F1 adjiba	7,7		110		12,21
F31	F2 Adjiba	7,1		101,42857		11,25857
F32	F1 Chorfa	7,3		104,28571		11,57571
F33	F4 Chorfa	7,2		102,85714		11,41714
F34	F3 Chorfa	7,2		102,85714		11,41714
F35	F2 Al Asnem	7,1		101,42857		11,25857
F36	F Guelta Zarga	7,7		110		12,21

F37	source El Mesdour	7,8		111,42857		12,36857
-----	-------------------	-----	--	-----------	--	----------

Tableau V.21 : Les résultats de TDS

Forages	Puit	TDS	Norme de l'OMS -1984	$q_i = C_i/S_i \times 100$	Poids relative (Wi)	$Sli_{(TDS)} = q_i \times w_i$
F1	F21 Sidi Ziane	839	500	167,8	0,111	18,6258
F2	F Thamer	832		166,4		18,4704
F3	F Djaada	810		162		17,982
F4	F7 Taferka	944		188,8		20,9568
F5	F12 Taferka	944		188,8		20,9568
F6	Puit Ain El Beida	1019		203,8		22,6218
F7	puit Ouled Zidane	717		143,4		15,9174
F8	F51 Mchedellah	962		192,4		21,3564
F9	F Ouled Bouali	1250		250		27,75
F10	F1 Guemgouma	685		137		15,207
F11	F3 Al Asnam	820		164		18,204
F12	F3 Bechloul	449		89,8		9,9678
F13	Puit Tarfa	2165		433		48,063
F14	F8 Harket	629		125,8		13,9638
F15	F1 SidiZiane	622		124,4		13,8084
F16	F16 Sidi Ziane	697		139,4		15,4734

F17	F11 Ouadhia	709		141,8		15,7398
F18	F1 Said Abid	322		64,4		7,1484
F19	F2 Said Abid	318		63,6		7,0596
F20	F5 Haizer	500		100		11,1
F21	F1 Haizer	622		124,4		13,8084
F22	F2 Haizer	559		111,8		12,4098
F23	F4 Taghzout	469		93,8		10,4118
F24	H12 taghzout	771		154,2		17,1162
F25	H17 taghzout	771		154,2		17,1162
F26	F3 Taghzout	483		96,6		10,7226
F27	F Oued El Berdi	644		128,8		14,2968
F28	F Bekouche	661		132,2		14,6742
F29	F3 Semmache	623		124,6		13,8306
F30	F1 adjiba	620		124		13,764
F31	F2 Adjiba	838		167,6		18,6036
F32	F1 Chorfa	697		139,4		15,4734
F33	F4 Chorfa	632		126,4		14,0304
F34	F3 Chorfa	585		117		12,987
F35	F2 Al Asnem	742		148,4		16,4724
F36	F Guelta Zarga	790		158		17,538
F37	source El Mesdour	506		101,2		11,2332

Tableau V.22: Les résultats de TAC

Forages	Puit	TAC	Norme de l'OMS -1984	$q_i = C_i/S_i \times 100$	Poids relative ( $W_i$ )	$S_{li(TAC)} = q_i \times w_i$
F1	F21 Sidi Ziane	56	200	28	0,083	4,648
F2	F Thamer	69		34,5		5,727
F3	F Djaada	54		27		4,482
F4	F7 Taferka	52		26		4,316
F5	F12 Taferka	52		26		4,316
F6	Puit Ain El Beida	68		34		5,644
F7	puit Ouled Zidane	58		29		4,814
F8	F51 Mchedellah	58		29		4,814
F9	F Ouled Bouali	58		29		4,814
F10	F1 Guemgouma	44		22		3,652
F11	F3 Al Asnam	51		25,5		4,233
F12	F3 Bechloul	52		26		4,316
F13	Puit Tarfa	119		59,5		9,877
F14	F8 Harket	41		20,5		3,403
F15	F1 SidiZiane	38		19		3,154
F16	F16 Sidi Ziane	44		22		3,652
F17	F11 Ouadhia	45		22,5		3,735
F18	F1 Said Abid	19		9,5		1,577

F19	F2 Said Abid	21		10,5		1,743
F20	F5 Haizer	29		14,5		2,407
F21	F1 Haizer	43		21,5		3,569
F22	F2 Haizer	38		19		3,154
F23	F4 Taghzout	31		15,5		2,573
F24	H12 taghzout	52		26		4,316
F25	H17 taghzout	52		26		4,316
F26	F3 Taghzout	28		14		2,324
F27	F Oued El Berdi	41		20,5		3,403
F28	F Bekouche	44		22		3,652
F29	F3 Semmache	34		17		2,822
F30	F1 adjiba	32		16		2,656
F31	F2 Adjiba	50		25		4,15
F32	F1 Chorfa	46		23		3,818
F33	F4 Chorfa	43		21,5		3,569
F34	F3 Chorfa	35		17,5		2,905
F35	F2 Al Asnem	39		19,5		3,237
F36	F Guelta Zarga	50		25		4,15
F37	source El Mesdour	21		10,5		1,743

Tableau V.23: Les résultats de l'indice IQE de 37 forages.

Forages	Forages	(IQE) $IQE = \sum_{i=1}^n Sli.$
F1	F21 Sidi Ziane	106,80469
F2	F Thamer	113,570425
F3	F Djaada	104,728857
F4	F7 Taferka	98,6280976
F5	F12 Taferka	98,6280976
F6	Puit Ain El Beida	152,28614
F7	puit Ouled Zidane	129,60571
F8	F51 Mchedellah	111,34565
F9	F Ouled Bouali	121,634019
F10	F1 Guemgouma	95,6901381
F11	F3 Al Asnam	91,1493595
F12	F3 Bechloul	95,4646429
F13	Puit Tarfa	245,147731
F14	F8 Harket	75,2282405
F15	F1 SidiZiane	77,8751405
F16	F16 Sidi Ziane	79,6357214
F17	F11 Ouadhia	84,3530905
F18	F1 Said Abid	44,3999976
F19	F2 Said Abid	47,5530548
F20	F5 Haizer	59,6667119
F21	F1 Haizer	76,6090643
F22	F2 Haizer	68,2993881
F23	F4 Taghzout	57,9031952
F24	H12 taghzout	88,7950214
F25	H17 taghzout	88,7950214
F26	F3 Taghzout	57,2274214
F27	F Oued El Berdi	89,1961881
F28	F Bekouche	82,1264667

F29	F3 Semmache	71,556981
F30	F1 adjiba	69,6047833
F31	F2 Adjiba	94,3864238
F32	F1 Chorfa	79,5606048
F33	F4 Chorfa	76,0790476
F34	F3 Chorfa	68,677831
F35	F2 Al Asnem	100,59874
F36	F Guelta Zarga	96,4848
F37	source El Mesdour	56,6131571

### V.2.2. Interprétation sur les résultats des tableaux :

D'après les résultats des tableau (V.1,V.2,V.3,V.4,V.5,V.6 ,V.7,V.8 ,V.9,V.10 ,V.11,V.12) on trouve que :

- **La dureté de l'eau (TH)** : nous avons remarquées que la dureté est supérieur à la normes (500mg/l) pour les forages F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8,F9,F11,F12,F13,F36.
- **Les nitrates** : nous avons remarqué que les forages suivant présentent un taux de nitrate élevé ce qui résume la pollution de ses sources par les nitrates qui peut être interprétée par l'infiltration des eaux de ruissèlement, pollution domestique et l'utilisation des engrais (agriculture) pour les forages F2 ,F3,F6,F10,F12,F35.

-Le forage F6 puit Ain Beida présente un taux de calcium hors norme.

-Le forage F9 présente une alcalinité élevée ce qui peut rendre les conduits entartres avec des dépôts blanchâtres ce qui influence sur le PH.

-Le forage F13 présente un taux élevé de sulfates donne un gout amer, un gout médical à l'eau si il dépasse la concentration de 250 mg/. Cela rend désagréable la consommation de l'eau. De l'eau, des importantes concentrations en sulfates peuvent être corrosive pour les tuyauteries en particulier les tuyauteries en cuivre.

-le reste des forages présente une bonne qualité physico-chimique pour l'ensemble des paramètres analysés.

### V.3. Présentation de la qualité des eaux du bassin Sahel par l'indice IQE

Tableau V.24: Classification des eaux souterraines du bassin sahel basée sur L'IQE

Forages	Forages	IQE	Classe de la qualité
F1	F21 Sidi Ziane	106,80469	mauvaise
F2	F Thamer	113,570425	mauvaise
F3	F Djaada	104,728857	mauvaise
F4	F7 Taferka	98,6280976	bonne
F5	F12 Taferka	98,6280976	bonne
F6	Puit Ain El Beida	152,28614	mauvaise
F7	puit Ouled Zidane	129,60571	mauvaise
F8	F51 Mchedellah	111,34565	mauvaise
F9	F Ouled Bouali	121,634019	mauvaise
F10	F1 Guemgouma	95,6901381	bonne
F11	F3 Al Asnam	91,1493595	bonne
F12	F3 Bechloul	95,4646429	bonne
F13	Puit Tarfa	245,147731	tres mauvaise
F14	F8 Harket	75,2282405	bonne
F15	F1 SidiZiane	77,8751405	bonne
F16	F16 Sidi Ziane	79,6357214	bonne
F17	F11 Ouadhia	84,3530905	bonne
F18	F1 Said Abid	44,3999976	excelant
F19	F2 Said Abid	47,5530548	excelant
F20	F5 Haizer	59,6667119	bonne
F21	F1 Haizer	76,6090643	bonne

F22	F2 Haizer	68,2993881	bonne
F23	F4 Taghzout	57,9031952	bonne
F24	H12 taghzout	88,7950214	bonne
F25	H17 taghzout	88,7950214	bonne
F26	F3 Taghzout	57,2274214	bonne
F27	F Oued El Berdi	89,1961881	bonne
F28	F Bekouche	82,1264667	bonne
F29	F3 Semmache	71,556981	bonne
F30	F1 adjiba	69,6047833	bonne
F31	F2 Adjiba	94,3864238	bonne
F32	F1 Chorfa	79,5606048	bonne
F33	F4 Chorfa	76,0790476	bonne
F34	F3 Chorfa	68,677831	bonne
F35	F2 Al Asnem	100,59874	mauvaise
F36	F Guelta Zarga	96,4848	bonne
F37	source El Mesdour	56,6131571	bonne

### V.3.1. Interprétation selon l'indice IQE

D'après les deux tableau (V.13,V.14) on peut considérer que la majorité des eaux souterraines du bassin Sahel de bonne qualité selon l'indice IQE ,sauf les forages F2,F6 ,F7,F8,F9,F13,F35 de mauvaise qualité ,à cause des plusieurs facteurs de pollution, pour la lutte contre cette pollution ont ajouter des station de traitement.

## V.4. Hydrochimie

### V.4.1. Présentation du diagramme de Piper

Le diagramme de piper permet d'étudier l'évolution spatio-temporelle du chimisme d'eau de l'ensemble des prélèvements du bassin Sahel.

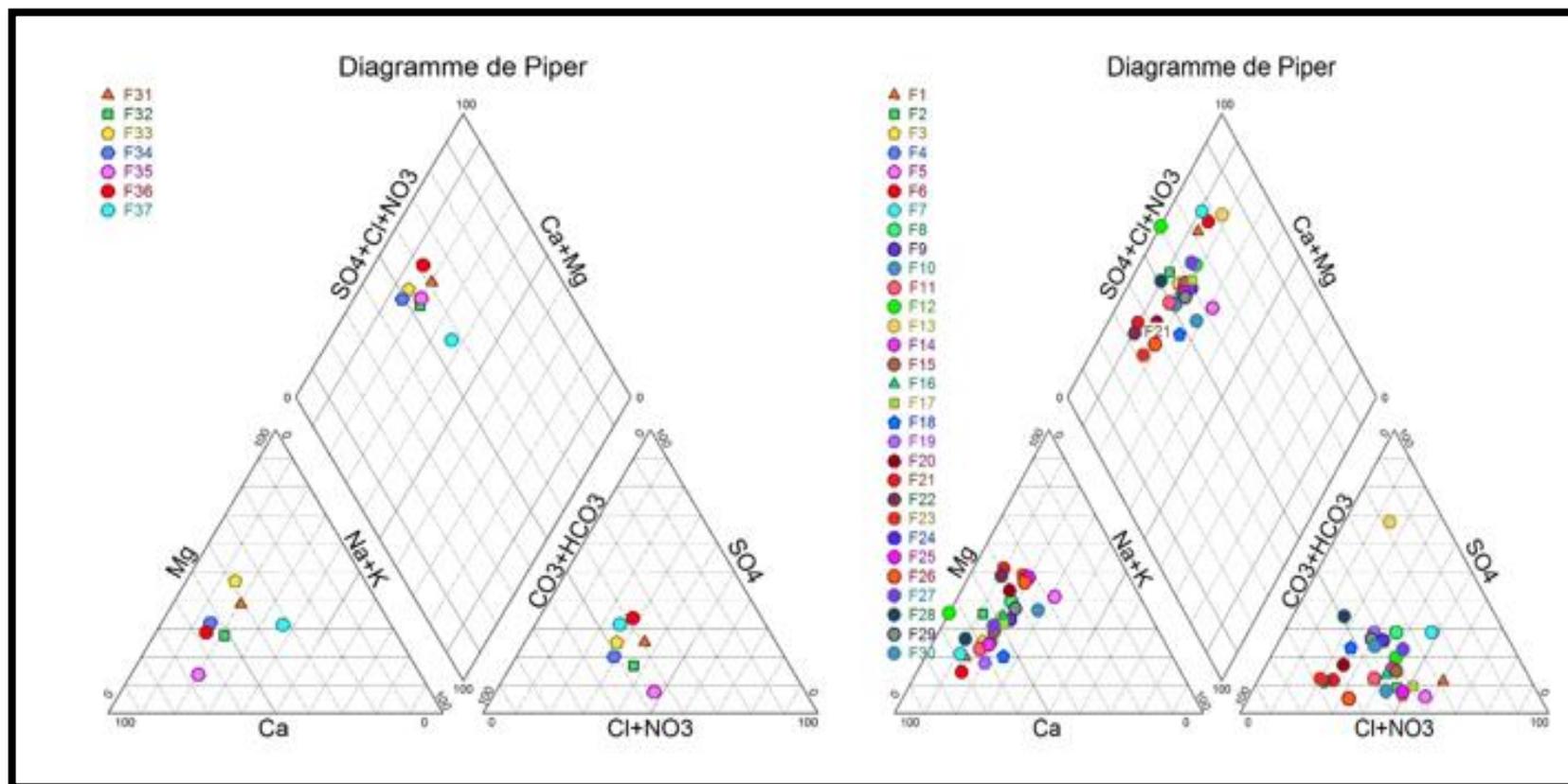


Figure V. 1: Représentations graphique de diagramme de piper de 37 forages du bassin Sahel

### V.4.2. Interprétation du digramme de piper

D'après la représentation graphique selon le digramme de Piper (figure IV.1) On déduire que :

-L'ensemble des analyses des forages (37 forages) du bassin Sahel est caractérisé par deux faciès chimique :

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes.
- Bicarbonaté calcique et magnésienne.

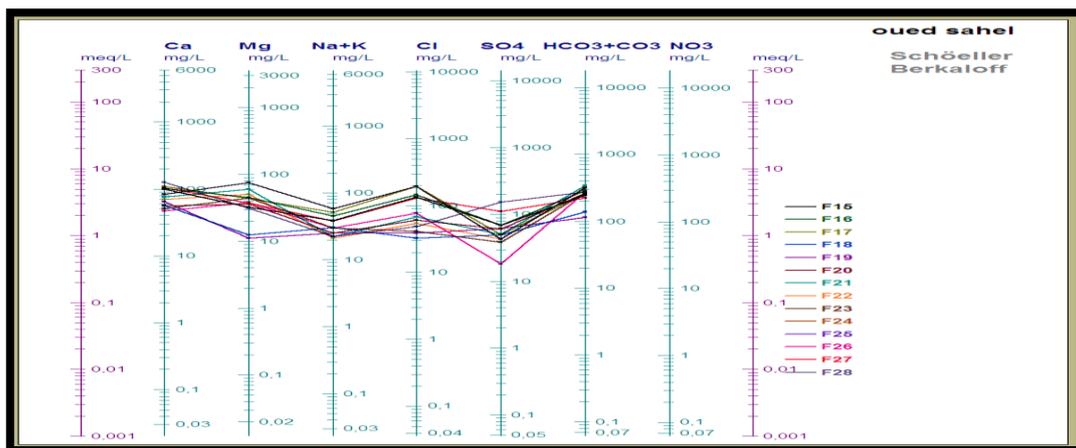
- Et on peut considérer comme des ions majeurs pour l'ensemble des échantillons analysés :

- Le calcium est le cation dominant.
- les anions dominants sont : les bicarbonates et les chlorures.

-Sauf F13 l'anion dominant est Sulfates.

### V.4.3. Présentation du diagramme de Schoeller- Berkaloff

Le diagramme de Schoeller Berkaloff (**Figure V.2.**) permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.



*Figure V.2 :Représentation graphique des eaux de forage du bassin sahel sur le diagramme de Schöller-Berkaloff*

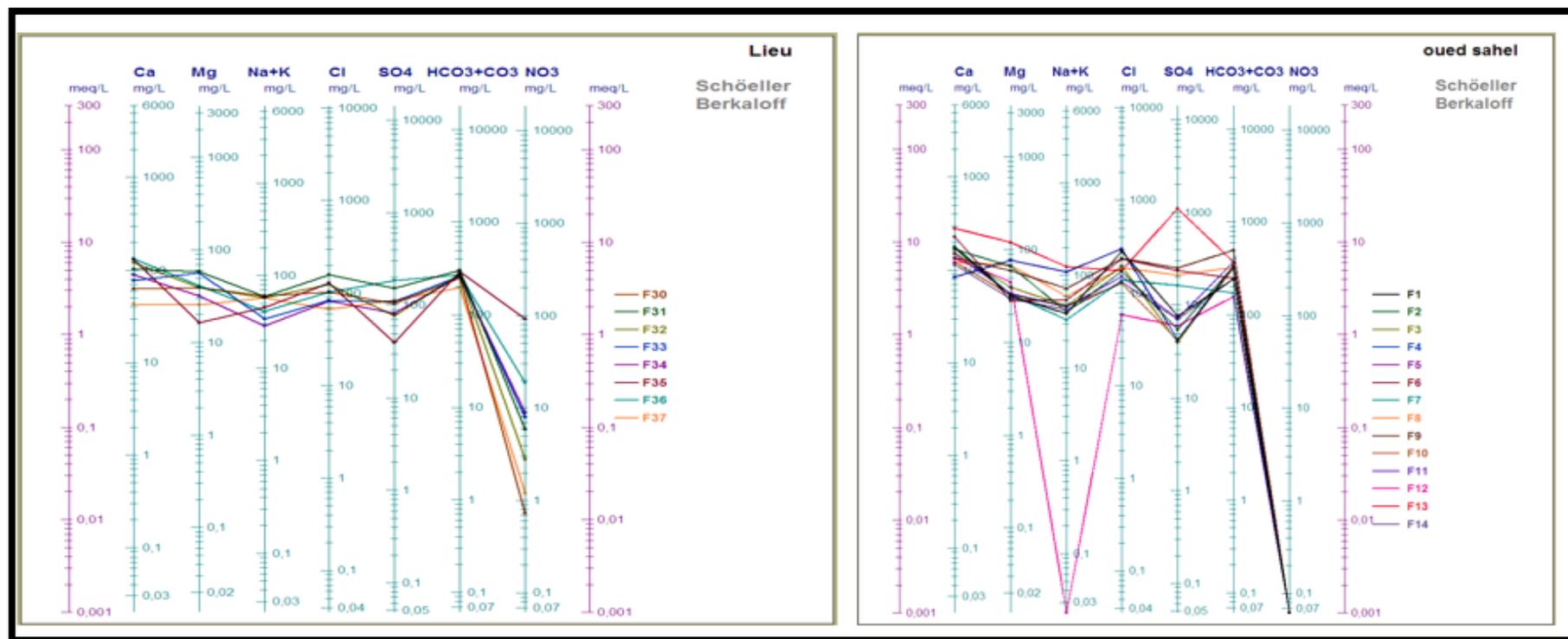


Figure V.3 : Représentation graphique des eaux de forage du bassin sahel sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

---

#### V.4.4. Interprétation de diagramme de Schöller-Berkaloff

D'après (la figure V.2 et la figure V.3) on déduit que :

Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. Lorsque on a une famille de lignes brisées parallèles entre elles : il s'agit d'un seul groupe d'eau de minéralisation variable mais les proportions sont les mêmes pour les différents éléments dissous.

- c'est-à-dire des lignes qui se croisent : il s'agit d'un changement de faciès chimique.

La représentation graphique de l'ensemble des prélèvements (37 forages), selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff montre que la majorité des eaux analysées présentent des maxima au niveau de pôles  $SO_4$  et Ca, Mg et Cl, les eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes. En deuxième ordre le faciès bicarbonaté calcique et magnésien est le plus dominant.

#### V.5. Conclusion

A partir des analyses des paramètres physico-chimiques pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines selon les normes OMS du bassin Sahel on trouve que :

-La dureté de forage F13 présente un taux élevé de sulfates et rend désagréable à la consommation.

-Et lorsque on a évalué la qualité de l'eau du bassin Sahel par l'indice numérique IQE on a déduit que :

- 21.62% des eaux de la région de mauvaise qualité.
- 5.4% excellente qualité.
- 67.75% de bonne qualité.
- 0.014% très mauvaises qualités.

Le diagramme de Piper et Berkaloff pour les faciès chimiques montre que l'ensemble des forages de la région Sahel sont bicarbonatés calciques.

### Conclusion générale

Les eaux souterraines sont très sensibles à la contamination provoquée par les activités anthropiques, et naturelle, leur traitement devient très coûteux ces dernières années. La prévention contre la contamination des eaux souterraines est essentielle pour une gestion efficace et durable. Dans ce mémoire, une étude a été faite pour évaluer la qualité des eaux souterraines du bassin Sahel par la méthode de l'indice numérique IQE.

Cette étude articulera sur les résultats des analyses physico-chimiques qui a été effectué pendant l'année 2016 de 37 forages dans notre région d'étude, ces prélèvements a été réaliser au niveau de laboratoire centrale de l'ADE de Bouira. A partir de ces résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques on a pu déterminer les valeurs de l'indice IQE par des listes des calculs sur Excel, et grâce cet indice nous avons pu évaluer la qualité de ces eaux, ainsi que le classement des forages en cinq types (Excellent-bonne-mauvaise-très mauvaise-non potable).

Cette étude est basée sur des données et des connaissances de la région telles que :

- ✓ Situation géographique : Le bassin du Sahel fait partie la wilaya de Bouira, Elle s'étend sur une superficie de **4456,26 km<sup>2</sup>**.
- ✓ La géologie : la région d'étude se caractériser par dépression remplie par des sédiments alluvionnaires d'âge Miocène qui sont discordant sur un ensemble antérieur.
- ✓ Le climat : le bassin Sahel se caractériser par un climat semi-aride, avec une saison sèche, qui s'étend du mois de mai au mois octobre. Et une saison humide, tempérée qui s'étend du mois d'octobre au mois de mai. La température moyenne est d'environ 17,5°C.
- ✓ L'hydrogéologie : Les principales réserves d'eaux souterraines de la région étudiée sont contenues dans la nappe alluviale des oueds et leurs affluents. Le terrain réservoir est constitué par un remplissage alluvionnaire quaternaire (sables, graviers, limons et argiles).

Dans cette étude la présentation des facies chimique est définie dans le diagramme de piper et Schoeler Berkalloff par logiciel (DIAGRAMME), le bassin Sahel est à deux facies chimique Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes, et Bicarbonaté calcique et magnésienne.

## Conclusion Générale

---

Au terme de cet indice on ne déduit que la majorité des forages présente des eaux d'une bonne qualité sauf le puit F13 de très mauvaise qualité

Cette étude elle me permet de déterminer la qualité des eaux souterraines du bassin sahel à partir des analyses physico-chimique, elle me donne aussi une idée générale sur la méthode de l'indice IQE avec la maîtrise de nouveau logicielle comme DIAGRAMME et AcGhiss.

## **Références bibliographie**

1. Fatta, D., Papadopoulou, A., et Loizidou, M. (1999). A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area. *Environmental Geochemistry and Health*, 21(2), 175-190.
2. <https://www.reseau-canope.fr/docsciences/Animation-le-cycle-de-l-eau-247.html>
3. <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/cycleau/modeliser>
4. <https://www.assistancescolaire.com/eleve/5e/physique-chimie/reviser-une-notion/les-changements-d-etats-de-l-eau-5pea10>
5. Myrand, S. P., Sekiguchi, K., Man, M. Z., Lin, X., Tzeng, R. Y., Teng, C. H., ... & Eddy, S. M. (2008). Pharmacokinetics/genotype associations for major cytochrome P450 enzymes in native and first-and third-generation Japanese populations : comparison with Korean, Chinese, and Caucasian populations. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 84(3), 347-361
6. [https://fr.images.search.yahoo.com/search/images;\\_ylt=AwrJQ5rt6aJfGS0AS0wk24lQ;\\_ylu=Y29sbwNpcjIEcG9zAzEEdnRpZANCOTI3N18xBHNIYwNwaXZz?p=1%E2%80%99%C3%A9coulement+des+eaux+souterraines.&fr2=piv-web&fr=mcafee](https://fr.images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=AwrJQ5rt6aJfGS0AS0wk24lQ;_ylu=Y29sbwNpcjIEcG9zAzEEdnRpZANCOTI3N18xBHNIYwNwaXZz?p=1%E2%80%99%C3%A9coulement+des+eaux+souterraines.&fr2=piv-web&fr=mcafee)
7. Montagner, A., Polizzi, A., Fouché, E., Ducheix, S., Lippi, Y., Lasserre, F., ... et Iroz, A. (2016). Le PPAR $\alpha$  du foie est crucial pour l'homéostasie des acides gras du corps entier et protège contre la NAFLD. *Gut*, 65 (7), 1202-1214.
8. Leau, W., Léger, F., Landry, P., Nonnenmacher, G., Jung, P., Peter, C., ... & Dapvriil, L. (2006). Situation Actuelle De L'aire De Répartition Du Castor d'Europe Sur Les Bassins Versants Seine Normandie, Rhin Meuse Et Haut Bassin De La Saône.
9. Oms, O., Parés, JM, Martínez-Navarro, B., Agustí, J., Toro, I., Martínez-Fernández, G., et Turq, A. (2000). Première occupation humaine de l'Europe occidentale : dates paléomagnétiques pour deux sites paléolithiques en Espagne. *Actes de l'Académie nationale des sciences*, 97 (19), 10666-10670.
10. [https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/nappe\\_captive.php4](https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/nappe_captive.php4)
11. [https://www.geocaching.com/geocache/GC6HD0C\\_gn16-les-aquiferes-amandinois](https://www.geocaching.com/geocache/GC6HD0C_gn16-les-aquiferes-amandinois)
12. J. Claude., & Ducrot, O. (1983). *L'argumentation dans la langue*. Editions Mardaga.
13. Rodier, J., Bazin, J. P., & Chambon, P. (1996). *L'analyse de l'eau*. Dunod.

14. <http://sigespoc.brgm.fr/spip.php?article43>
15. Mourey, V., & Vernoux, J. (2000). Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile-de-France. In *Annales des mines* (pp. 32-40).
16. Céolin, R. et Rodier, N. (1976). Structure cristalline de l'oxysulfure de cérium et de bismuth CeBiOS<sub>2</sub>. *Acta Crystallographica Section B : Cristallographie structurale et chimie cristalline*, 32 (5), 1476-1479.
17. Rodier, J., et Legube, B. (2009). *L'analyse de l'eau*. Dunod.
18. Rodier, J., Legube, BERBARD et Merlet, N. (1984). *L'analyse de l'eau*. 7ème édition. Paris, France.
19. HCEFLCD : Haut-Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification. Etude sur la pisciculture au barrage Almassira ; CR dar CHAFAAI ; Cercle d'ELBROUGE ; Province de Settat ; 201p, 2006.
20. Pescod, MB et Arar, A. (éditeurs). (2013). *Traitement et utilisation des effluents d'égouts pour l'irrigation: Actes du Séminaire régional de la FAO sur le traitement et l'utilisation des effluents d'eaux usées pour l'irrigation, tenu à Nicosie, Chypre, du 7 au 9 octobre 1985* . Elsevier
21. Djihad, H. A. D. E. F., et Malika, H. A. S. N. I. (2017). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-Miliana W. Ain Defla.
22. Kuhn, RC et Oshima, KH (2002). Ultrafiltration à fibres creuses d'oocystes de *Cryptosporidium parvum* à partir d'une grande variété d'échantillons d'eau de surface de 10 L. *Revue canadienne de microbiologie* , 48 (6), 542-549.
23. Gibson-Brown, JJ, Agulnik, SI, Chapman, DL, Alexiou, M., Garvey, N., Lee, SM et Papaioannou, VE (1996). Preuve du rôle des gènes T- dans l'évolution de la morphogénèse des membres et la spécification de l'identité des membres antérieurs / postérieurs. *Mécanismes de développement*, 56 (1-2), 93-101.
24. Bernstein, P., Bougherira, Y., Hamet, J. F., Thimont, Y., & Méchin, L. (2008). Josephson modulation of the critical current in YBa<sub>2</sub> Cu<sub>3</sub> O<sub>7-δ</sub> films. *Physical Review B*, 78(5), 054517.

25. Elaissi, A., Salah, KH, Mabrouk, S., Larbi, KM, Chemli, R. et Harzallah-Skhiri, F. (2011). Activité antibactérienne et composition chimique de 20 huiles essentielles d'espèces d'Eucalyptus. *Chimie alimentaire*, 129 (4), 1427-1434.
26. Nagahashi, M., Ramachandran, S., Kim, EY, Allegood, JC, Rashid, OM, Yamada, A., ... et Takabe, K. (2012). La sphingosine-1-phosphate produite par la sphingosine kinase 1 favorise la progression du cancer du sein en stimulant l'angiogenèse et la lymphangiogenèse. *Recherche sur le cancer*, 72 (3), 726-735.
27. Hammoudi, S., Benaouda, A., Harous, S., & Aliouat, Z. (2016, octobre). Équilibrage de charge dans le cloud à l'aide de la spécialisation. En 2016 IEEE 7e Conférence annuelle sur l'informatique omniprésente, l'électronique et la communication mobile (UEMCON) (p. 1-7). IEEE.
28. Kachenoura, A., Touati, S., Issad, MS, Bennoui, Z., et Hachmaoui, I. (2013). 291 : Cardiopathie congénitale détectée à l'âge adulte. *Archives des suppléments de maladies cardiovasculaires*, 5 (1), 97-98.
29. Ghazali, D., Aïd, A. (2013) : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès, Maroc). *Larhyss Journal*, ISSN 1112- 3680, n° 12, pp. 25-36.
30. Hamed, O. A., Foad, Y., Hamed, E. M., & Al-Hajj, N. (2012). Cellulose powder from olive industry solid waste. *BioResources*, 7(3), 4190-4201.
31. De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. *Fiche*, 2, 158-162.
32. Commission de protection des eaux, d. p.-s. (2017, octobre.). Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux . Récupéré sur [cpepesc.org](http://www.cpepesc.org): <http://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html>
33. Bouziani M., (2000). *L'eau de la pénurie aux maladies*, Edition ibn khaldoun, 247p
  
34. Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005). *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats*. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
35. Faurie C, Medori P, Ferra C., (2003). *Ecologie : Approche scientifique et pratique*, 5ème Edition, Lavoisier doc et tec, Paris, 312p.
36. Benmaïd A., (2013). *La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages*, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de

l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, 40p.

37. TALEB, M., & BADAoui, S. (2019). Etude qualitative des eaux souterraines de la région de Bouira (Doctoral dissertation, université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira).
38. Djabri, L., et Djeddi, M. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la sybouse origines géologiques industrielles agricoles et urbaines.[ressource textuelle, sauf manuscrits].
39. Hénaut, L. (2011). Capacités d'observation et dynamique des groupes professionnels. *Revue française de sociologie*, 52 (1), 71-101.
40. Frioua Salim, 2014. Localisation et caractérisation des zones de source de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de SIG .mémoire de master : Science de l'eau et de l'environnement
41. Amalric L., Baran N., Jeannot R., Marti JC., Mouvet C., 2003. Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux. BRGM/RP-51590-FR, 116 p
42. Tabué Youmbi, J., Ntamack, D., Feumba, R., Ngnikam, E., Wéthé, J., & Tanawa, É. (2009). Vulnérabilité des eaux souterraines et périmètres de protection dans le bassin versant de la Mingoa (Yaoundé, Cameroun). *Revue de l'Université de Moncton*, 40(2), 71-96.
43. Bouziani, M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies.
44. Jonnaert, P., Barrette, J., et Masciotra, D., et Yaya, M. (2006). La compétence comme organisateur des programmes de formation revisitée, ou la nécessité de passer de ce concept à celui de " l'agir compétent". Bureau international d'éducation de l'UNESCO
45. Trommschlager, J. M., Thénard, V., Faurié, F., & Dupont, D. (2003). Effets de différentes sources de complémentation azotée sur les performances de vaches laitières Holstein et Montbéliardes et les aptitudes à la coagulation des laits. *Renc. Rech. Ruminants*, 10, 382.
46. Rodriguez-Palacios, A., Staempfli, HR, Duffield, T., et Weese, JS (2007). Clostridium difficile dans la viande hachée au détail, Canada. *Maladies infectieuses émergentes*, 13 (3), 485.
47. Sari, D. I. (2014). Evaluasi pembelajaran. Jakarta.
48. ANDI, A.N(2015).Invest in Alegria, Wilaya de Bouira
49. ANIRF, 2013.Agence National d'Intermédiation et de régulation Foncière.

50. Agence Nationale de Développement de l'Investissement (ANDI), (2013) : Wilaya de Bouira. [www.andi.dz/PDF/monographies/Bouira.pdf](http://www.andi.dz/PDF/monographies/Bouira.pdf)
51. BOUDIBI, S. Modélisation de l'impact de la Qualité des Eaux d'irrigation sur la Salinisation des Sols dans une Région Aride, Cas de Biskra (Doctoral dissertation, Université de Biskra-Mohamed Khider).
52. Mutin, G. (1977). La Mitidja: décolonisation et espace géographique. Éditions du CNRS.
53. Station météorologique Bouira, 2019.
54. L'Office National de la Météorologie (ONM), wilaya de Bouira.
55. Joleaud, L. (1912). Etude géologique de la chaîne numidique et des Monts de Constantine. Montane Sicardi et Valentin.
56. La direction des ressources en eaux (DRE) de la wilaya de Bouira.
57. L'Algérienne des eaux (ADE) de la wilaya de Bouira.
58. Kessi, S., et Terkmani, F. (2008). Etude comparative des différents types de régulateurs PI, IP et PIP appliqués à la commande de vitesse de la machine synchrone à aimants permanents (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
59. les données des prélèvements analysées au niveau de laboratoire de L'ADE de bouira dans l'année 2016.
60. Nedjmeddine, N. E. G. U. E. Z., et Zakarya, D. O. U. A. D. I. (2019). EVALUATION GEOSTATISTIQUE DE LA STABILITE D'UN REMBLAI (Application au cas du remblai de l'extension de l'aérodrome d'Ain Arnat-wilaya de Sétif) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
61. Dhanasekarapandian, M., Chandran, S., Devi, DS et Kumar, V. (2016). Variation spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines et de leur aptitude à l'irrigation et à la consommation à l'aide du SIG et de l'IQE dans une périphérie urbaine. *Journal of African Earth Sciences*, 124, 270-288.
62. Talhaoui, A., El Hmaid, A., et Manssouri, I. (2020). Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) Pour L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'Oued Moulouya (NE, Maroc). *Journal scientifique européen ESJ*, 16 (2).
63. <http://lesdefinitions.fr/Excel>
64. HARMOUNE, L. (2019). Département de Génie de l'Eau Rapport de soutenance. université AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA. HARMOUNE, L.

(2019). Département de Génie de l'Eau Rapport de soutenance. université AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA.

65. [http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Hydrochimie/fr-fr/#Diagramme\\_de\\_Schoeller\\_ou\\_Berkaloff](http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Hydrochimie/fr-fr/#Diagramme_de_Schoeller_ou_Berkaloff)
66. [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net).
67. [fr.images.search.yahoo.com](http://fr.images.search.yahoo.com)
68. <https://www.google.com/search?q=Salle+d%27analyse+physico-chimique.&sxsrf=ALeKk0208Ei3w8t7xbzbdzJXH2dQ2gJ6Rg:1604484806535&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiVjMPX0->
69. [https://www.google.com/search?q=+salle+d%27analyse+bact%C3%A9riologique.&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmqLbZ0-jsAhUGpBoKHQ8kB2AQ2-cCegQIABAA&oq=+salle+d%27analyse+bact%C3%A9riologique.&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ6gIQJ1CU\\_yNYgpwkYMyqJGgBcAB4AIABgASIAyAEkgEDNS0xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWewAQrAAQE&sclient=img&ei=yn6iX-abH4bIao\\_InIAG#imgrc=E-oYx30iWpYtmM](https://www.google.com/search?q=+salle+d%27analyse+bact%C3%A9riologique.&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmqLbZ0-jsAhUGpBoKHQ8kB2AQ2-cCegQIABAA&oq=+salle+d%27analyse+bact%C3%A9riologique.&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ6gIQJ1CU_yNYgpwkYMyqJGgBcAB4AIABgASIAyAEkgEDNS0xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWewAQrAAQE&sclient=img&ei=yn6iX-abH4bIao_InIAG#imgrc=E-oYx30iWpYtmM)
70. <http://laviesurmars.e-monsite.com/contenu/partie-une/1-eau-liquide.html>
71. Chang, S. J., Van Witteloostuijn, A., et Eden, L. (2010). From the editors: Common method variance in international business research.

## Annexe 1

Tableau A.1. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques

Pour l'eau potable (OMS, 2003).

<b>Substances</b>	<b>Unités</b>	<b>Normes OMS</b>	<b>Normes algériennes</b>
<b>Turbidité</b>	NTU	<2,5	<5
<b>Température</b>	C°	<25	<25
<b>TA</b>	mg/l	<15	<5
<b>TAC</b>	mg/l	<15	/
<b>Calcium</b>	mg/l	<270	<200
<b>Magnésium</b>	mg/l	<50	<150
<b>Chlorure</b>	mg/l	<250	<500
<b>Concentration en ions hydrogène</b>	pH	$\geq 6,5$ et $\leq 9,5$	$\geq 6,5$ et $\leq 9$
<b>Dureté</b>	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	<500	<500
<b>Conductivité à 20°C</b>	μS/cm	<2100	<2800

## Annexe 1

---

<b>Ammonium</b>	mg/l	<0,5	<0,5
<b>Potassium</b>	mg/l	<20	<12
<b>Aluminium</b>	mg/l	<0,2	<0,2
<b>Cadmium</b>	µg/l	<3	<3
<b>Cuivre</b>	mg/l	<2	<2
<b>Oxygène dissous</b>	O2	<6,5	Pas de valeur guide
<b>Fluorure</b>	mg/l	< 1,5 mg/l (jusqu'a10)	<1,5
<b>Fer</b>	mg/l	<0,3	<0,3
Manganèse	mg/l	<0,4	<0,05
Nitrate	mg/l	<50	<50
Nitrite	mg/l	<0,1	<0,1
Oxydabilité (O2 en	mg/l O2	<5	<5

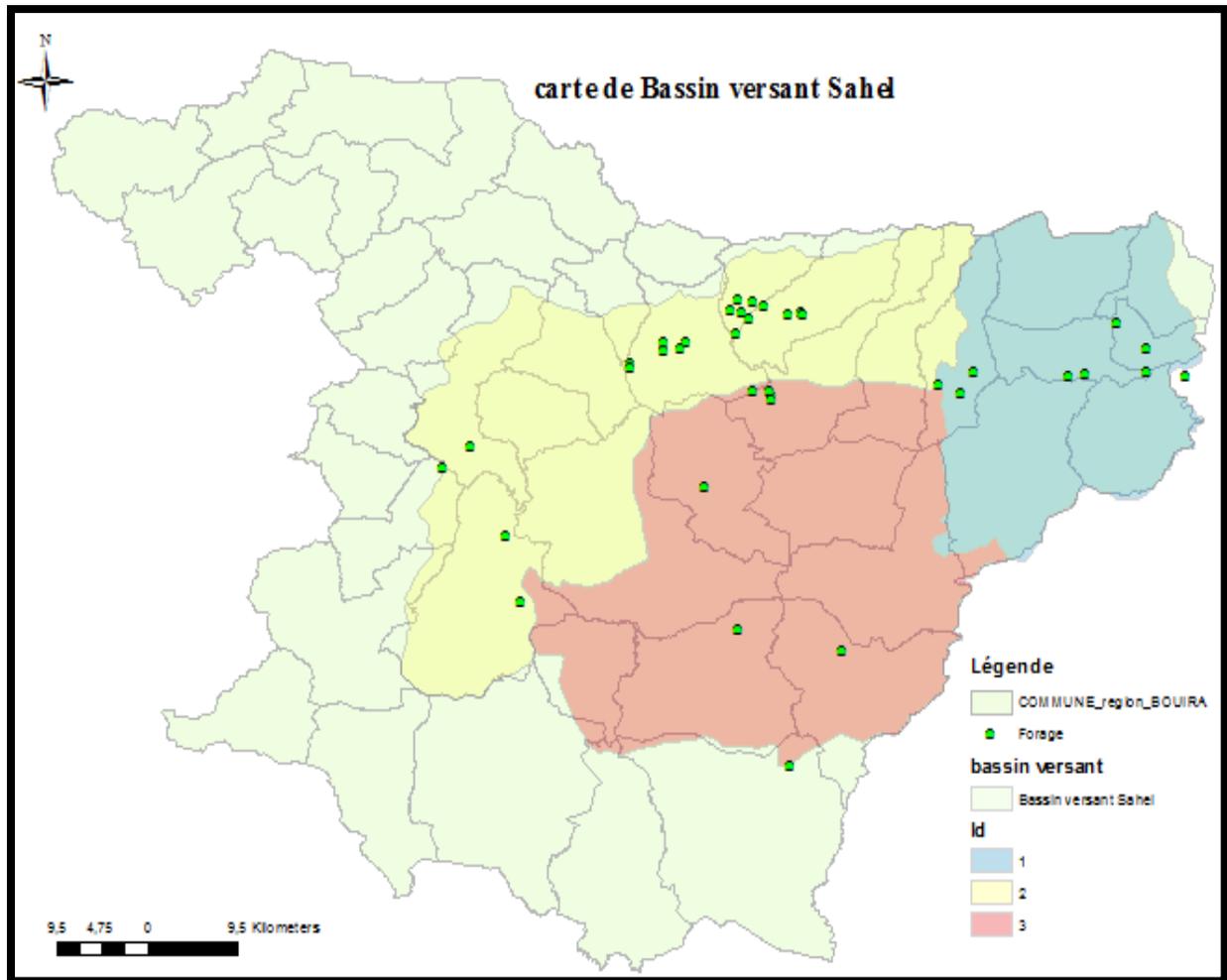
## Annexe 1

Tableau A-1: Caractère chimiques des eaux de forages de la wilaya de Bouira en (mg/l)

N°	Forges	Année	Paramètre chimique							
			Cation(+)				Anion(-)			
			Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
F1	F21 Sidi Ziane	2016	172,8	31,1	37,6	1	242,8	276,9	76,6	39,1
F2	F Thamer	2016	167,2	66	39	0,9	334,3	170,9	54,03	50,6
F3	F Djaada	2016	151,2	39,6	46	0,9	340,4	192,4	39,2	52,8
F4	F7 Taferka	2016	83,2	75,8	107,2	2,3	335,5	298,2	42,1	2,2
F5	F12 Taferka	2016	83,2	75,8	107,2	2,3	335,5	298,2	42,1	2,2
F6	Puit Ain El Beida	2016	225,6	28,2	53,2	0,6	245,2	230	236,3	110,8
F7	puit Ouled Zidane	2016	177,6	33,04	31,5	1,3	172,02	138,27	162,8	110,8
F8	F51 Mchedellah	2016	120	67,7	57,2	2,3	322,1	185,31	207,8	14,2
F9	F Ouled Bouali	2016	136	59,4	69,4	2,6	498,9	234,5	248,8	8,2
F10	F1 Guemgouma	2016	121,2	32,7	45,2	1,3	317,8	125,7	41,4	66,5
F11	F3 Al Asnam	2016	147,2	33,6	44,4	1,3	372,1	149,8	71,5	19,7
F12	F3 Bechloul	2016	133,6	44,5			153,5	57,5	59,4	59,4
F13	Puit Tarfa	2016	281,6	119,6	120	2,3	366,9	172,9	1101,9	8,6
F14	F8 Harket	2016	114,4	29,4	42	0,9	242,8	129,9	69,7	11,8
F15	F1 SidiZiane	2016	99,2	32,5	37,6	1	248,3	134,5	69,1	25,3
F16	F16 Sidi Ziane	2016	103,2	45,04	44	1,4	289,1	145,9	68,7	6
F17	F11 Ouadhia	2016	110,4	43,4	50,8	1	261,1	191,3	50,6	16
F18	F1 Said Abid	2016	56,8	12,6	29,2	1,3	140,3	32,7	48,7	8,5

## Annexe 1

F19	F2 Said Abid	2016	64,8	11,2	23,8	1,3	115,9	39,1	61,9	12,1
F20	F5 Haizer	2016	56,4	36,2	23,8	1,4	261,1	60,4	61,1	8,5
F21	F1 Haizer	2016	75,2	60,01	20,8	1,5	346,5	67,8	50,3	14,7
F22	F2 Haizer	2016	70,4	50,3	19,4	1,9	319,6	54,3	43,1	10,01
F23	F4 Taghzout	2016	50,4	44,2	28,8	1,1	264,7	41,2	38,2	5,9
F24	H12 taghzout	2016	84	75,3	56,8	1,7	314,8	195,8	42,9	15,6
F25	H17 taghzout	2016	84	75,3	56,8	1,7	314,8	195,8	42,9	15,6
F26	F3 Taghzout	2016	47,2	38,4	28,6	1,7	272,06	76,7	18,1	10,8
F27	F Oued El Berdi	2016	104	37,4	37,1	1,2	223,3	130,3	110,7	35,3
F28	F Bekouche	2016	125,6	31,4	21,8	0,8	279,4	48,3	153,6	12,8
F29	F3 Semmache	2016	72	37,9	38,6	2,9	255,6	96,9	119,2	3,5
F30	F1 adjiba	2016	63,6	39,7	56,4	4	248,9	102,6	103,7	0,73
F31	F2 Adjiba	2016	102,4	58,3	56,8	2,5	301,3	157,4	153,8	5,9
F32	F1 Chorfa	2016	120,4	39,2	55,4	2,1	275,7	123,9	77,8	2,8
F33	F4 Chorfa	2016	77,6	56,7	32,6	1,8	261,7	83,6	110	7,9
F34	F3 Chorfa	2016	88,8	32,3	26,6	2,1	262,3	82,3	81,3	8,9
F35	F2 Al Asnem	2016	129,6	16,5	44,4	1,3	292,8	127,1	39,1	91,03
F36	F Guelta Zarga	2016	133,6	41,3	40	0,7	268,4	101,9	184,8	18,9
F37	source El Mesdour	2016	42,8	25,4	54	3,3	198,9	66,7	113,8	1,2



Carte 01 :La localisation des point des forages du bassin Sahel.