

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJE-BOUIRA**



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :  
**Affroun Sofiane**  
**Gheliaoui Abd-Elmadjid**

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

Filière : **HYDRAULIQUE**  
Option : **RESSOURCES HYDRAULIQUES**

**Thème :**  
**Cartographie de la qualité des eaux souterraines de la région de Bouira**

**Devant le jury composé de :**

|               |            |     |       |              |
|---------------|------------|-----|-------|--------------|
| Mr : Merdja   | Madani     | MCA | UAMOB | Président    |
| Mr : Metaiche | Mahdi      | MCA | UAMOB | Encadreur    |
| Mr : Yahiaoui | Abdelhalim | MCA | UAMOB | Examinateur  |
| Mme : Rezig   | Amina      | MAA | UAMOB | Examinatrice |

**Année Universitaire 2018/2019**



## Remerciement

Nous remercions avant tout, ALLAH le tous puissant  
qui nous a donné le courage d'accomplir notre cursus et d'achever  
ce modeste travail.

Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur,

Monsieur Dr : Metaiche Mahdi,

Pour sa confiance, sa patience, et surtout pour ses remarques et ses  
conseils,

sa disponibilité et sa bienveillance.

Qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.

Nous voudrions également remercier les membres du jury  
pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nos vifs remerciements à tous nos enseignants, en signe d'un grand  
respect et d'un profond amour pour sont suivi  
durant nos cycle d'étude.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous sont apportés un  
soutien

pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude,  
particulièrement nos familles et nos amis.

Sans oublier les responsables de laboratoire de l'Algérienne des eaux  
(ADE) de Bouira pour leurs aides et disponibilité.

Merci à vous tous



## **DEDICACES**

Je dédie Ce Travail...

**À MES CHERS PARENTS**

Je ne peux exprimer mon respect, mon amour  
et ma considération pour les sacrifice que vous avez consenti pour  
mon instruction et mon bien être.

**A MON CHER FRERE AMINE.**

**A MES SŒURS**

**A MON CHER NEVEU KOSSAY ABD-ELLAH**

**A TOUTE MA FAMILLE SANS EXCEPTION.**

**LA FAMILLE AFFROUN , LA FAMILLE HADIBI**

**À TOUTES LES PERSONNES QUI ONT  
PARTICIPÉ A L'ÉLABORATION DE CE TRAVAIL.**

**À MES AMIS QUI M'ONT ACCOMPAGNE TOUS AU LONG DE  
MON PARCOURS**

**À TOUS CEUX QUE J'AI OUBLIE DE CITER**



**SOFIANE**



## DEDICACES

Je dédie ce travail :

A ma mère

A mon père

Pour tous les sacrifices et le soutien moral et matériel dont ils ont fait  
preuve pour que je réussisse.

A ma petite famille qui j'aime beaucoup

Ma femme, mes enfants ( Sondos, Anas et Tasnime)

A mes frères et sœurs.

A tous mes amis et spécialement mes amis et frères en ALLAH ;

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, je leurs dédie ce modeste  
travail.



MAJID



## ملخص

المهدف من هذه الدراسة هو معرفة كيفية توزع العناصر الفيزيائية والكيميائية (العناصر الأساسية) المكونة للمياه الجوفية لمنطقة البويرة، وكذا مقارنتها مع المعايير المحلية والعالمية للصحة وتحديد أصل هذه العناصر، ومن أجل ضمان ذلك تم الاعتماد على طريقة لرسم خرائط نوعية المياه وذلك باستخدام نظام المعلوماتية الجغرافية (برنامج QGIS 2.18) وذلك استنادا على التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية التي قامت بها مصالح شركة الجزائرية للمياه لعينات مأخوذة في الفترة من (2014-2018).

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية، العناصر الأساسية، الجودة، البويرة،

## Résumer :

L'objectif de cette étude est de savoir la distribution des paramètres physico-chimiques (les éléments majeurs) constituant les eaux souterraines de la région de Bouira, et de comparer ces paramètres par rapport aux normes de santé locale et mondiale et d'identifier l'origine des éléments, et afin d'assurer cet objectif on basait sur une méthode de cartographie de la qualité de l'eau en utilisant le système d'information géographique (Programme QGIS 2,18) et Ceci est basé sur les analyses chimiques des eaux souterraines effectuées par les services de l'Algérienne Des Eaux pour les échantillons prélevés (2014-2018).

**Mots-clés:** eaux souterraines, éléments majeurs, qualité, Bouira

## Abstract :

The objective of this study is to know the distribution of the physicochemical parameters (the major elements) constituting the groundwaters of the Bouira, and to compare these parameters with local and global health standards and to identify the origin of the elements, and in order to achieve this objective, based on a method of mapping water quality using the geographic information system (QGIS 2.18 Program) and This is based on the chemical analyzes of groundwater carried out by the Algerian Water Services for samples taken (2014-2018).

**Keywords:** groundwater, major elements, quality, Bouira

## SOMMAIRE

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Introduction générale : ..... | 1 |
|-------------------------------|---|

### CHAPITRE I : Recherche bibliographique

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.1. Introduction : .....                                                         | 2  |
| I.2. Les sources d'eau naturelle : .....                                          | 2  |
| I.2.1. Les eaux souterraines : .....                                              | 2  |
| I.2.1.1. Les types de nappes : .....                                              | 2  |
| I.2.2. les eaux de surface : .....                                                | 3  |
| I.2.3. Eaux de mer et eaux saumâtres : .....                                      | 3  |
| I.3. le cycle hydrologique : .....                                                | 3  |
| I.4. Qualité des eaux souterraines : .....                                        | 4  |
| I.4.1. Principaux paramètres de potabilité des eaux souterraines : .....          | 4  |
| I.4.1.1. Les paramètre physique : .....                                           | 5  |
| I.4.1.2. Les paramètres chimiques : .....                                         | 6  |
| I.5. Exigences de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine : ..... | 8  |
| I.6. Différents critères des pollutions des eaux souterraines.....                | 9  |
| I.6.1. Selon l'origine de pollution : .....                                       | 9  |
| I.6.1.1. Pollution domestique.....                                                | 9  |
| I.6.1.2. Pollution industrielle : .....                                           | 10 |
| I.6.1.3. Pollution agricole : .....                                               | 10 |
| I.6.1.4. Pollution urbaine et routière : .....                                    | 10 |
| I.6.2. Selon la nature de pollution : .....                                       | 11 |
| I.7. Protection des ressources en eau souterraine.....                            | 11 |
| I.7.1. Notion de protection des captages des eaux souterraines .....              | 11 |
| I.7.2. protection des zones : .....                                               | 12 |
| I.7.3. Objectif des périmètres de protection : .....                              | 12 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.7.3.1. Les niveaux de périmètre de protection : .....                        | 12 |
| I.8. Transfert des polluants dans les eaux souterraines .....                  | 13 |
| I.8.1. Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines :..... | 14 |
| I.9. Conclusion .....                                                          | 14 |

## **CHAPITRE II : l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région d'étude**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Introduction : .....                                            | 15 |
| II.2. Présentation de la wilaya de Bouira : .....                     | 15 |
| II.2.1. Localisation géographique de la wilaya de Bouira :.....       | 15 |
| II.2.2. Présentation administratif de la wilaya de Bouira :.....      | 16 |
| II.3. La géographies : .....                                          | 16 |
| II.3.1. Le relief : .....                                             | 17 |
| II.3.2. Le réseau Hydrographie : .....                                | 17 |
| II.4. Le climat : .....                                               | 18 |
| II.4.1. Les précipitations : .....                                    | 18 |
| II.4.1.1. Evaluation de la lame d'eau précipitée :.....               | 20 |
| II.4.2. La Température : .....                                        | 21 |
| II.4.3. Le vent : .....                                               | 22 |
| II.4.4. Humidité relative : .....                                     | 23 |
| II.4.5. Insolation : .....                                            | 24 |
| II.5. Evaporation : .....                                             | 24 |
| II.5.1. Relation évaporation-température : .....                      | 25 |
| II.5.2. Etude de l'évapotranspiration :.....                          | 26 |
| II.5.2.1. Evaluation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) :..... | 26 |
| II.5.2.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :.....          | 28 |
| II.6. Estimation de la lame ruisselée (R) : .....                     | 29 |
| II.7. Calcul de l'infiltration efficace : .....                       | 30 |
| II.7.1. Régime climatique et identification du climat :.....          | 30 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| II.7.2. Indice d'aridité de la FAO : .....                      | 30 |
| II.7.3. Indice annuel d'aridité de E. De Martonne : .....       | 31 |
| II.7.4. Diagramme pluviométrique (Ombrothermique) : .....       | 32 |
| II.8. Contexte socio-économique : .....                         | 33 |
| II.8.1. Population : .....                                      | 33 |
| II.8.2. Activités agricole : .....                              | 33 |
| II.8.3. Activités industrielles : .....                         | 33 |
| II.8.4. Les activistes touristiques : .....                     | 34 |
| II.9. présentation hydrogéologique de la région d'étude : ..... | 34 |
| II.9.1. Introduction : .....                                    | 34 |
| II.9.2. Contexte géologique : .....                             | 35 |
| II.9.2.1.Contexte géologique régional : .....                   | 35 |
| II.9.2.1.1. Domaine tellien : .....                             | 35 |
| II.9.2.1.2. Domaine interne : .....                             | 36 |
| II.9.2.1.3. Domaine des Flyschs : .....                         | 36 |
| II.9.2.1.4. Domaine externe : .....                             | 36 |
| II.9.2.1.5. Les hauts plateaux et les hautes plaines : .....    | 37 |
| II.9.2.1.6. L'Atlas Saharien : .....                            | 37 |
| II.9.2.1.7. La plateforme Saharienne : .....                    | 37 |
| II.9.3. Cadre géologiques locale : .....                        | 37 |
| II.9.3.1 Les flyschs du flanc du Sud du Djurdjura : .....       | 37 |
| II.9.3.1.1. Le Miocène : .....                                  | 38 |
| II.9.3.1.2. Le Quaternaire : .....                              | 38 |
| II.9.4. Litho-stratigraphie : .....                             | 38 |
| II.9.4.1. Le Quaternaire : .....                                | 38 |
| II.9.5. Le Miocène post-nappe : .....                           | 39 |
| II.9.6. Tectonique : .....                                      | 39 |

|                     |    |
|---------------------|----|
| II.10. Conclusion : | 40 |
|---------------------|----|

### **CHAPITRE III : Présentation des données**

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1. Introduction :                                                      | 41 |
| III.2. Le système d'informations géographiques :                           | 41 |
| A-Fonctionnalités :                                                        | 41 |
| B-Les données d'un SIG :                                                   | 41 |
| C-Le système de coordonnées :                                              | 41 |
| III.3. Quantum GIS ou QGIS :                                               | 42 |
| III.3.1. Barres des menus, barres outils et barre de statut :              | 42 |
| III.3.2. Fenêtre "couches" :                                               | 42 |
| III.3.3. Fenêtre "carte" :                                                 | 42 |
| III.3.4.Fenêtre "données attributaires" :                                  | 42 |
| III.4. Les étapes de cartographie par QGIS :                               | 42 |
| III.4.1. Le projet :                                                       | 42 |
| III.4.2. Télécharger la carte (donnée de base) à partir de OpenStreetMap : | 43 |
| III.4.3. Création des couches :                                            | 44 |
| III.4.4. Ouvrir et modifier la table d'attributs :                         | 45 |
| III.4.5. La carte :                                                        | 46 |
| III.4.6. Exporter la carte :                                               | 49 |
| III.5. Conclusion :                                                        | 50 |

### **Chapitre IV : La Cartographie**

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| IV.1. Introduction :                                  | 51 |
| IV.2. Les données de qualité de la région de Bouira : | 51 |
| IV.3. La Cartographie :                               | 54 |
| IV.3.1. Paramètres physiques                          | 54 |
| IV.3.1.1. La conductivité électrique (CE) :           | 54 |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.3.1.2. La Dureté :                                                                                                        | 57 |
| IV.3.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH) :                                                                                       | 59 |
| IV.3.1.4. La Turbidité :                                                                                                     | 59 |
| IV.3.2. Paramètres chimiques :                                                                                               | 62 |
| IV.3.2.1. Les Anions :                                                                                                       | 62 |
| IV.3.2.1.1. Les nitrates :                                                                                                   | 62 |
| IV.3.2.1.2. Le chlorure :                                                                                                    | 65 |
| IV.3.2.2. Les cations :                                                                                                      | 73 |
| IV.3.2.2. 1. Le Calcium :                                                                                                    | 73 |
| IV.3.2.2.2. Le Magnésium :                                                                                                   | 76 |
| IV.3.2.2.3. Le Sodium :                                                                                                      | 76 |
| IV.3.2.2.4. Le potassium :                                                                                                   | 80 |
| IV.3.3. Cartographie des paramètres caractéristiques :                                                                       | 81 |
| IV.3.3.1. TDS :                                                                                                              | 81 |
| IV.3.3.2. Le Rapport $\text{Cl}^-/\Sigma \text{anions}$ :                                                                    | 81 |
| IV.3.3.3. Le Rapport $\text{HCO}_3^-/\Sigma \text{anions}$ :                                                                 | 82 |
| IV.3.3. 4. Le Rapport $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$ :                              | 82 |
| IV.3.3.5. Le Rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{+2}$ :                                                                       | 87 |
| IV.3.3.6. Le Rapport $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$ :                                                    | 87 |
| IV.3.3.7. Le Rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ :                                                                     | 87 |
| IV.3.3.8. Le Rapport $\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$ :                                                  | 91 |
| IV.3.3.9. Le Rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})/\text{HCO}_3^-$ :                                                    | 91 |
| IV.3.3.10. Le Rapport $\text{Na}^+/\text{K}^+$ :                                                                             | 91 |
| IV.3.3.11. Le Rapport $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$ : | 91 |
| IV.3.3.12. Le Rapport $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ :                                                                            | 91 |
| IV.4. Conclusion :                                                                                                           | 95 |

## **Conclusion Générale**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Conclusion Générale.....       | 97  |
| Recommandations :.....         | 98  |
| Référence bibliographique..... | 99  |
| Les Annexes.....               | 102 |

## Liste des Tableaux

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1 : Les Normes physico-chimique des eaux souterraines .....                                                                            | 9  |
| Tableau II.1 : Découpage administratif de Bouira.....                                                                                            | 16 |
| Tableau II.2 :Précipitations moyennes mensuelles (1970-2009) (ANRH).....                                                                         | 19 |
| Tableau II.3 : Evaluation de lame précipitée par la méthode arithmétique .....                                                                   | 21 |
| Tableau II.4 : Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007).....                                               | 21 |
| Tableau II.5 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, ( 1997-2007).....                                         | 22 |
| Tableau II.6 : Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période 1997-2007 .....                                                          | 23 |
| Tableau II.7 : Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira .(2007 – 1997).....                                           | 24 |
| Tableau II.8 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évaporation en fonction de T°C.....                                                      | 25 |
| Tableau II.9 : Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Thornthwaite. ....                                   | 27 |
| Tableau II.10: Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Serra .....                                          | 28 |
| Tableau II.11 : Résultats récapitulatifs des valeurs d'évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle sur la région de Bouira. .... | 29 |
| Tableau II.12 : Résultats de la lame ruisselée (R). ....                                                                                         | 30 |
| Tableau II.13 : Valeurs d'infiltration efficace .....                                                                                            | 30 |
| Tableau II.14: Indice d'aridité de De Martonne .....                                                                                             | 31 |
| Tableau IV.1 : Liste des forages de la région de Bouira.....                                                                                     | 52 |
| Tableau IV-2 : Classification des eaux de boisson en fonction de la conductivité.....                                                            | 57 |
| Tableau IV-3 : Qualité de l'eau en fonction du TH.....                                                                                           | 57 |
| Tableau IV-4 : Les valeurs moyennes des paramètres physiques.....                                                                                | 96 |

## Liste de figures

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I. 1: Cycle de l'eau.....                                                                                                                                                          | 4  |
| Figure I.2 : Schéma des principales origines de pollution .....                                                                                                                           | 11 |
| Figure I. 3: Schéma des niveaux de périmètre de protection .....                                                                                                                          | 13 |
| Figure I.4:Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique .....                                                                                                 | 14 |
| Figure II.1 :Situation géographique et administrative de la wilaya de bouira .....                                                                                                        | 15 |
| Figure II.2 :Situation géographique de Bouira et des bassins versants (01, 02,03).....                                                                                                    | 16 |
| Figure II.3 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants. ....                                                                                                                 | 18 |
| Figure II-4 : Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1970-2009 .....                                                                                                   | 20 |
| Figure II.5 : Répartition mensuelle des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales (station de Bouira).....                                                                 | 22 |
| Figure II.6 : Répartition mensuelle de vent, maximal et minimal (station de Bouira) .....                                                                                                 | 23 |
| Figure II.7 : Humidité relative pour la région Bouira (1997-2007 station de bouira) .....                                                                                                 | 24 |
| Figure II.8 : Evaporation pour la région Bouira. (Période 1997-2007 station de bouira) .....                                                                                              | 25 |
| Figure II.9 : Evolution de l'évaporation en fonction de la température.....                                                                                                               | 26 |
| Figure II.10 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.....                                                                                                                    | 32 |
| Figure II.11 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya de Bouira. ....                                                                                                                      | 32 |
| Figure II.12 : Carte structurale schématique de la chaîne des maghrébides montrant la disposition de la zone externe et la zone interne dans la grande Kabylie. (Durand Delga et al)..... | 35 |
| Figure II.13: coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine tellien (Durand Delga et al, 1969 ; modifiée par Ait, 1994).....                                   | 36 |
| Figure III.1 : Paramètres du système de coordonnées pour QGIS.....                                                                                                                        | 43 |
| Figure III.2 : Télécharger une carte à partir de OpenStreetMap.....                                                                                                                       | 43 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III.3 : Lancement de téléchargement de la Carte.....                                                          | 44 |
| Figure III.4 : Création des couches.....                                                                             | 44 |
| Figure III.5 : Icône de création des couches.....                                                                    | 45 |
| Figure III.6 : Création des champs.....                                                                              | 45 |
| Figure III.7 : Insertion des données dans la table d'attributs.....                                                  | 46 |
| Figure III.8 : Ouverture des champs d'une couche.....                                                                | 46 |
| Figure III.11 : Création de la légende et l'échelle .....                                                            | 48 |
| Figure III.12 : Création de titre de la carte.....                                                                   | 48 |
| Figure III.13 : représentation d'une carte avec le titre, légende et l'échelle.....                                  | 49 |
| Figure III.14 : Carte finale exporter comme image. ....                                                              | 50 |
| Figure IV-1 : Localisation des forages de la région de Bouira .....                                                  | 54 |
| Figure IV.2 : Histogrammes de variation de la Conductivité Electrique entre les sites a étudié (2014-2018).....      | 55 |
| Figure IV-3 : Cartes de distribution de la conductivité électrique (2014-2018).....                                  | 56 |
| Figure IV-4 : Cartes de distribution de Dureté dans la région de Bouira (2014-20018) .....                           | 58 |
| Figure IV-5 : Cartes de distribution de pH des eaux souterraines de la région de Bouira (période : 2014-2018)) ..... | 58 |
| Figure IV-6 : Cartes de distribution de la turbidité dans la région de Bouira (2014-2018) .....                      | 61 |
| Figure VI-7 : Histogrammes de la variation de la teneur en Nitrates dans la région de Bouira (2014-2018).....        | 63 |
| Figure IV-8 : Cartes de distribution de la teneur en Nitrates dans la région de Bouira (2014-2018).....              | 64 |
| Figure VI-9 : Histogrammes de variation de la teneur en chlorures dans la région de Bouira (2014-2018).....          | 66 |
| Figure VI-10 : Cartes de distribution de la teneur en Chlorure dans la région de Bouira (2014-2018).....             | 67 |
| Figure VI-11 : Histogrammes de variation de la teneur en sulfate dans la région de Bouira (2014-2018).....           | 68 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure VI-12 : Cartes de distribution de la teneur en sulfate dans la région de Bouira (2014-2018).....                         | 69 |
| Figure VI-13 : Histogrammes de variation de Bicarbonate(2018-2014) .....                                                        | 71 |
| Figure IV-14 : Cartes de distribution de Bicarbonates dans la région de Bouira-2014) (2018 .....                                | 73 |
| Figure VI-15 : Histogrammes de variation de Calcium.(2018-2014) .....                                                           | 74 |
| Figure VI-16 : Cartes de distribution de Calcium dans la région de Bouira (2014-2018) .....                                     | 75 |
| Figure VI-17 : Histogrammes de variation de Magnésium (2014-2018) .....                                                         | 77 |
| Figure IV-18 : Carte de distribution de Magnésium dans la région de Bouira (2014-2018) .....                                    | 78 |
| Figure IV-19 : Histogramme de variation de sodium entre les sites a étudié année 2016.....                                      | 79 |
| Figure IV-20 : Carte de distribution de Sodium dans la région de Bouira pour l'année 2016.....                                  | 79 |
| Figure IV-21 : Histogramme de la variation de la teneur en potassium entre les sites étudiés pour l'année 2016. ....            | 80 |
| Figure IV-22 : Carte de distribution de Potassium dans la région de Bouira (2016) ..                                            | 80 |
| Figure IV-23 : Cartes de distribution du TDS dans la région de Bouira (2014-2018) ..                                            | 83 |
| Figure IV-24 : Cartes de distribution du $Cl^-/\sum anions$ dans la région de Bouira (2014-2018) .....                          | 84 |
| Figure IV-25 : Cartes de distribution du $HCO_3^-/\sum anions$ dans la région de Bouira (2014-2018).....                        | 85 |
| Figure IV-26 : Cartes de distribution de $(SO_4^{2-}+HCO_3^-)/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ dans la région de Bouira (2014-2018).....      | 86 |
| Figure IV-27 : Cartes de distribution de $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ dans la région de Bouira (2014-2018) .....                           | 88 |
| Figure IV-28 : Cartes de distribution de $Mg^{2+}/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ dans la région de Bouira pour la période (2014-2018) ..... | 89 |
| Figure IV-29 : Cartes de distribution de $Ca^{2+}/SO_4^{2-}$ dans la région de Bouira (2014-2018) .....                         | 90 |

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV-30 : Cartes de distribution de $\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$ dans la région de Bouira pour la période (2014-2018) .....                          | 92 |
| Figure IV-31 : Cartes de distribution de $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ dans la région de Bouira pour la période (2014-2018) .....                              | 93 |
| Figure IV-32 : Cartes de distribution de $\text{Na}^+/\text{K}^+$ dans la région de Bouira 2016.....                                                                              | 94 |
| Figure IV-33 : Cartes de distribution de $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$ dans la région de Bouira 2016 ..... | 94 |
| Figure IV-34 : Cartes de distribution de $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ dans la région de Bouira 2016.....                                                                             | 95 |

# Introduction générale

# Introduction générale

---

## **Introduction générale :**

L'eau c'est un signe de vie et en aucun cas la vie n'est possible sans l'existence de l'eau. En effet, et comme tout le monde est supposé le savoir, l'eau travaille en notre faveur, tout en nous rendant la vie de plus en plus facile, voire agréable. Pour autant nous devons tous veiller à ce que cette ressource, sans doute précieuse, ne soit utilisée excessivement ou bien abusivement.

La qualité des eaux souterraines dépend des divers constituants chimiques et leurs concentrations.

La détérioration de la qualité des eaux souterraines est à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Les activités agricoles, minières et industrielles de l'homme moderne génèrent des déchets chargés en éléments polluants. L'accumulation de ces éléments dans les formations superficielles (sols et sédiments) en teneurs élevées, entraîne automatiquement -grâce aux phénomènes qui accompagnent l'infiltration des eaux de pluie et superficielles- la contamination des eaux souterraines.

L'objectif de cette étude est la cartographie des différents éléments majeurs existants dans les eaux souterraines de la région de Bouira à travers l'utilisation d'un logiciel à base de système d'informations géographiques (GIS) qui est le Qgis, et ce à partir des mesures effectuées sur les forages captés.

Le principe majeur de la cartographie est la représentation d'un nombre important de données sur un support réduit. L'objectif de la carte est la représentation bref et efficace, et la simplification des différents phénomènes complexes, afin de faciliter leur compréhension.

Cette présente étude se limite à la région de Bouira. Pour la réaliser ; nous avons procédé à la collecte des données relatives à la qualité des eaux souterraines de la région (les éléments majeurs, les caractéristiques physico-chimique) afin de les analyser et les exploiter.

Notre travail est présenté en quatre chapitres :

- le premier chapitre est réservé pour la recherche bibliographique sur les différents types d'eau.

- le deuxième chapitre présente l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région d'étude (la région de Bouira).

- le troisième chapitre présente les différents moyens et matériels utilisés dans notre étude.

- le quatrième chapitre est basé sur le traitement des données et l'exploitation des différents résultats à l'aide des logiciels appropriés. Dans ce cadre nous avons procédé à l'étude des résultats d'analyse chimique des eaux relatives aux cinq années : 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 ; au niveau de 72 forages (39 forages en 2015, 43 forages en 2016, 31 forages en 2015, 26 forages en 2017, et 39 forages en 2018). L'ensemble des forages sont gérés par les services de l'Algérienne Des Eaux (laboratoires A.D.E Bouira).

- l'essentiel des enseignements et leçons tirés de l'étude, sont présentés à la fin dans la conclusion générale.

# CHAPITRE I :

## Recherche bibliographique

# Chapitre I : Recherche bibliographique

---

## CHAPITRE I : Recherche bibliographique

### **I.1. Introduction :**

L'eau est un bien naturel et économique, elle représente 71% de l'espace sur la planète, mais 3% est douce, seulement 0.7 % est accessible à la consommation humaine. En effet l'eau est une ressource élémentaire à la vie, elle est indispensable pour l'homme. On l'utilise pour des usages quotidiens, l'agriculture, la boisson, l'hygiène et l'industrie.

Malgré cette abondance de l'eau, elle est inégalement répartie et Inégalement accessible, l'accès à une eau de qualité et en quantité est un enjeu vital. Elle est disputée dans toutes les régions du monde. La gestion de cette ressource est importante pour les sociétés humaines, mais elle est différente selon les pays (leur niveau de richesse et leur besoin en eau).

La détermination des paramètres physico-chimique des eaux joue un rôle important pour son utilisation qui ce soit à l'alimentation en eau potable, irrigation, industrie ... etc.

Les normes de qualité des paramètres physico-chimiques des eaux sont souvent déterminées en fonction des utilisations (eaux potables, industrielles, d'irrigation) ; ces normes peuvent limiter les possibilités d'emploi et l'importance des ressources exploitables.

### **I.2. Les sources d'eau naturelle :**

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer.

#### **I.2.1. Les eaux souterraines :**

La plus grande partie des eaux de précipitation ruisselle à la surface des sols avant d'atteindre les lacs et les cours d'eau. Les sols sont toutefois rarement imperméables et une grande partie des eaux de pluie s'y infiltre. Une partie des eaux d'infiltration est absorbée par les couches superficielles du sol (eaux interstitielles) où elle alimentera les plantes.

Une autre partie gagne des couches plus profondes et s'arrête sur l'une imperméable au-dessus de laquelle elle s'étend pour constituer la nappe phréatique alimentant les sources. Des couches de sable et de graviers que ces eaux rencontrent sur leur chemin en retiennent les bactéries.

Les eaux souterraines, lorsqu'elles ne sont pas captives (elles constituent alors les nappes phréatiques), circulent par gravité à travers les couches géologiques et réapparaissent en surface sous la forme de sources. Elles constituent d'importantes réserves et parfois elle compense la baisse saisonnière des cours d'eau de surface. Les eaux d'infiltration traversent plusieurs couches géologiques où elles s'enrichissent des matières qu'elles dissolvent grâce aux agents chimiques qu'elles contiennent. La nappe phréatique est donc riche en éléments.

#### **I.2.1.1. Les types de nappes :**

On distingue (03) trois types de nappes :

# Chapitre I : Recherche bibliographique

---

- Les nappes libres.
- Les nappes captives.
- Les nappes semi-captives.

## **a- Les nappes libres :**

C'est une nappe qui peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, le siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable [23]. Donc elles sont alimentées directement par l'infiltration des eaux de pluie et ne subissent aucune contrainte.

## **b- Les nappes captives :**

Prisonnières entre deux couches de terrain imperméable et leur alimentation ne s'effectuent que par les affleurements du terrain perméable à l'intérieur duquel elles se trouvent incluses [23].

## **c- Les nappes semi-captives :**

Soit le toit ou le substratum(ou les deux) de l'aquifères sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable .dans certaines condition hydrodynamique favorables, il y a des différences de charges qui favorisent des échanges d'eau (ou de pression) avec l'aquifère superposé ou sous-jacent, appelé drainante. La formation est alors incorporés a un aquifère multicouche [24].

## **I.2.2. les eaux de surface :**

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents.

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau- atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau.

## **I.2.3. Eaux de mer et eaux saumâtres :**

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. Elle est donc très variable

## **I.3. le cycle hydrologique :**

Le cycle hydrologique représente le mouvement continu de l'eau dans l'atmosphère, la surface de la terre (glaciers, le manteau neigeux, les cours d'eau, les

zones humides et les océans) et les sols et roches. Le terme eau souterraine se réfère à l'eau dans les sols et les formations géologiques qui sont entièrement saturés. L'eau souterraine constitue une partie du cycle hydrologique, qui est rechargée par les précipitations.

Le cycle hydrologique est principalement régi par l'équilibre entre l'entrée (Précipitations /pluie) et la sortie (évapotranspiration, ruissellement et décharge) (Fig.1).

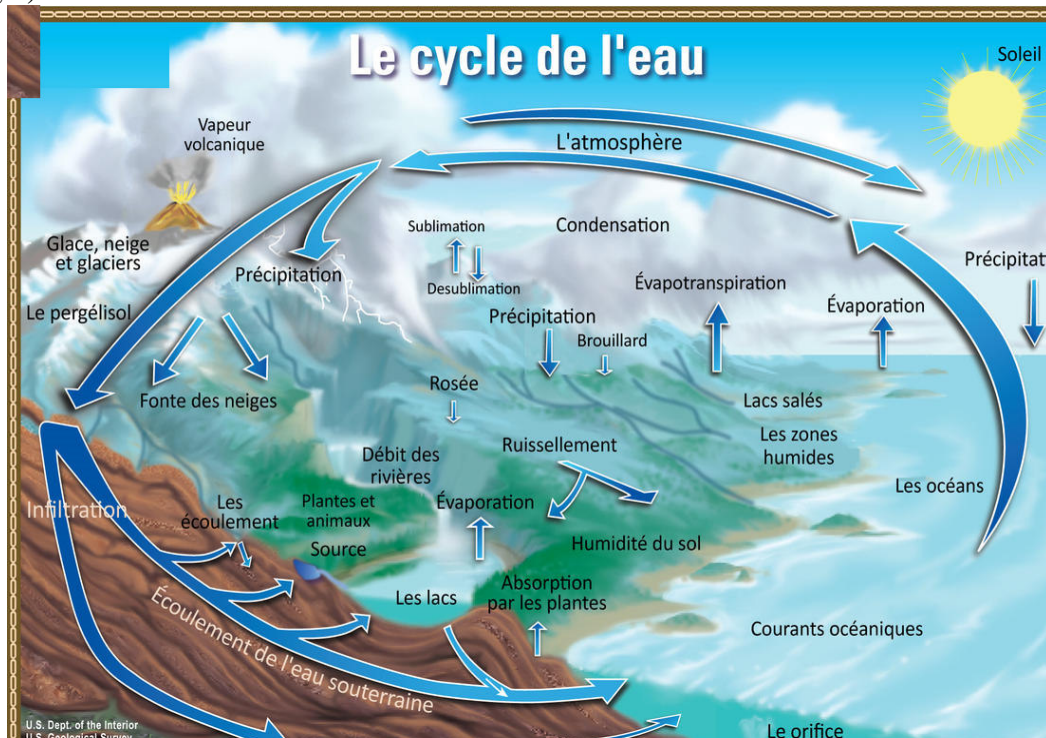


Figure I. 1: Cycle de l'eau (www.usgs.gov)

### I.4. Qualité des eaux souterraines :

Les eaux souterraines issues des nappes captives et superficielles sont des ressources en eau, alimentées directement par l'eau de pluie. Ces ressources exploitées par l'homme pour divers usages dont la composition chimique issue du milieu naturel est très variable. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité. Cette qualité peut être altérée lorsque des substances extérieures entrent en contact avec la nappe aquifère. Tel est le cas des substances indésirables voire toxiques qui rendent l'eau souterraine impropre et toxique pour divers usages notamment pour l'eau de boisson.

L'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité des eaux souterraines.

#### I.4.1. Principaux paramètres de potabilité des eaux souterraines :

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur. Les paramètres pris en compte sont :

### **I.4.1.1. Les paramètres physiques :**

#### **a. Le potentiel hydrogène pH :**

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène ( $H^+$ ). L'échelle des PH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), la valeur médiane 7 désigne une eau neutre [7].

Le PH des eaux souterraines varie en fonction du terrain traversé. Ainsi, des eaux ayant percolé à travers des terrains calcaires auront un pH élevé alors que celles ayant rencontré des terrains à forte proportions de silice auront un pH bas.

Le pH joue un rôle primordial dans les propriétés physicochimiques de l'eau (acidité, agressivité), dans les processus biologiques et dans l'efficacité de certains traitements de l'eau (adoucissement, contrôle de la corrosion, désinfection) [3].

#### **b. La température :**

La température des eaux est fonction soit du climat ou de la profondeur. C'est un paramètre qui permet de distinguer les eaux de surfaces de celles souterraines, ainsi qu'il régit la solubilité des sels et des gaz [9]. Ainsi pour la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques [5].

#### **c. La dureté :**

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) et  $H^+$ . Elle est souvent due aux ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de  $CaCO_3$  par litre ou par  $^{\circ}F$  (degré français) ; 1  $^{\circ}F$  correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau.

On distingue deux types de dureté :

- Une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg.
- Une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces : dans certains sables du Crétacé inférieur, l'eau à un titre hydrotimétrique compris entre 5 et 20  $^{\circ}F$ . Les eaux dures contenues dans des calcaires ont un titre compris entre 20 et 35  $^{\circ}F$  : Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures [2].

La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage, et sur le lavage du linge. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations, les bouilloires et chauffe-eau, ainsi que dans les filtres des robinets. D'autre part, ces dépôts carbonatés ont un effet bénéfique en protégeant les conduites de la corrosion. Ces eaux dures pourront être adoucies par le distributeur ou par l'utilisateur (échange d'ions sur résine dans l'industrie ou chez le particulier).

En revanche, une eau trop douce est agressive vis-à-vis des canalisations ; en particulier la corrosion des canalisations en plomb devient dangereuse pour la santé du consommateur. Un traitement par reminéralisations est indiqué.

#### **d. La conductivité électrique :**

La conductivité est l'inverse de la résistivité, et elle caractérise la propriété pour un liquide à laisser passer le courant électrique.

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés d'électron, donc la mesure de la conductivité reflète assez fidèlement sa

minéralisation. Elle augmente avec la teneur en sels dissous et varie en fonction de la température. La variation de la conductivité donne des informations importantes sur l'évolution de la qualité de l'eau [7].

### **e. La turbidité :**

La turbidité peut être importante dans les aquifères karstique. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de terre). Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations, Les eaux de ruissellement chargées de particules argileuses - et d'autres matières indésirables- s'engouffrent dans les bétouilles. La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain en crue ne permet pas leur décantation de plus des particules déposées précédemment sont arrachées aux cavités et augmentent la charge en suspension que l'on retrouve à l'exutoire. Tout aménagement augmentant le ruissellement superficiel et l'érosion des sols accentue la turbidité : remembrement agricole supprimant les haies et talus, pratiques agricoles laissant les sols à nu pendant l'hiver, drainages des eaux superficielles vers les gouffres et bétouilles, comblement des mares stockant les eaux de ruissellement. [2]

### **f. L'alcalinité :**

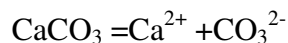
Elle est en relation avec le pH de l'eau, et liée à la présence de bases fortes (Carbonates et alcalis) et de bases faibles (bicarbonates). Nous pouvons distinguer deux types d'alcalinité qui correspondent à deux bornes de pH :

- Le titre alcalimétrique (TA) : qui représente la quantité de bases fortes.
- Le titre alcalimétrique complet (TAC), qui correspond aux bases faibles et aux bases fortes [8].

### **I.4.1.2. Les paramètres chimiques :**

#### **a. L'ion Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) :**

La présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans les eaux des nappes est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) ;

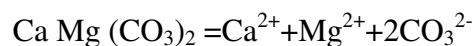


Et les formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ) ;



#### **b. L'ion Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) :**

Cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium en l'occurrence, la Dolomite selon la relation suivante :



### c. L'ion Sodium ( $\text{Na}^+$ ) :

Le sodium est un élément dit conservatif car une fois en solution, aucune réaction ne permet de l'extraire de l'eau souterraine. Les précipitations apportent une quantité de sodium minime dans l'eau souterraine, les teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage de sels, ou de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres.

### d. Potassium ( $\text{K}^+$ ) :

Le potassium ( $\text{K}^+$ ) est assez abondant sur terre, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombéné dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines [4].

### e. Le manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ) :

Le manganèse est présent dans les roches, soit dans les silicates (en substitution très fréquentes avec Fe), soit dans les oxydes. Il passe facilement en solution et précipite ensuite, pouvant se concentrer dans diverses roches sédimentaires (minéral oolitique à gangue calcaire, minéral à gangue dolomitique ou siliceuse, et nodules polymétalliques des fonds océaniques) [3].

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

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7g/l dans les conditions normales) [1].

Les nappes de l'Eocène ont des teneurs fréquentes comprises entre 25 et 100 mg/l mais qui peuvent localement dépasser 250 mg/l et même 1 g/l dans les formations à veines de gypse, valeurs qui rendent cette eau non potable [2].

Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l). Les autres nappes de la région, comme la nappe libre de la craie, ont des teneurs en sulfates inférieures à 50 mg/l.

### g. Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire, dolomite...Etc.) Par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



S :solide , L: Liquide , g : gazeux , aq : aqueuse [1].

### h. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

Les nitrates sont des sels de l'acide nitrique. Ce sont des composés azotés naturels de formule chimique  $\text{NO}_3^-$ . Ils sont très solubles dans l'eau et ne sont pas retenus par le sol et migrent aisément vers les eaux superficielles et souterraines lorsque les niveaux d'eaux excèdent les besoins de la végétation. Les nitrates sont essentiels à la croissance des végétaux, mais peuvent devenir néfastes pour la santé humaine. Ils entrent dans la composition des engrais chimiques et naturels (fumiers). Ils résultent du cycle de l'azote.

## Chapitre I : Recherche bibliographique

---

De même, les rejets de stations d'épuration ou plus simplement de latrines et fosses septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates [19].

### **i. Le fluor (F) :**

Les fluorures sont également libérés dans l'environnement par des sources anthropiques de nature industrielle [18].

La teneur en fluor dépend beaucoup du temps de contact de l'eau avec les minéraux fluorés de l'aquifère. Elle est plus élevée dans les nappes captives. A faible dose, c'est un élément indispensable pour la protection des dents contre les caries. A forte dose, il provoque le malheur de ces mêmes dents les rendant cassantes ou tachées de noir. Sa concentration maximale admissible est de 1.5mg/l [1].

### **j. Le fer (Fe) :**

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcassite (sulfure), les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion  $\text{Fe}^{2+}$  (ion ferreux) mais insoluble à l'état  $\text{Fe}^{3+}$  (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydoréduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer. Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices, leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant) [3].

### **I.5. Exigences de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine :**

L'Algérie a établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par (JORA 2011) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation.

Ces normes ont été classées en 4 catégories :

- Paramètres organiques.
- Paramètres physico-chimiques.
- Substances indésirables.
- Substances toxiques.

## Chapitre I : Recherche bibliographique

Tableau I.1 : Les Normes physico-chimique des eaux souterraines (NA, 1992 ; OMS,1994,JORA, 2011)

| Paramètre physico-chimique | Unité                                   | Norme Algérienne | OMS    |
|----------------------------|-----------------------------------------|------------------|--------|
| Température                | °C                                      | 25               | /      |
| PH                         |                                         | 6.5-9            | 7-8.5  |
| Conductivité électrique    | μS/cm                                   | 2800             | /      |
| Turbidité                  | NTU                                     | 5                | 5      |
| Oxygène dissous            | mg.L <sup>-1</sup> .O <sub>2</sub>      | 5                | 5      |
| Chlorures                  | mg.L <sup>-1</sup>                      | 500              | /      |
| Dureté totale              | Mg.L <sup>-1</sup> en CaCO <sub>3</sub> | 200              | 500    |
| Calcium                    | Mg.L <sup>-1</sup>                      | 200              | /      |
| Magnésium                  | Mg.L <sup>-1</sup>                      | 150              | /      |
| Nitrate                    | Mg.L <sup>-1</sup>                      | 50               | 50-100 |
| Nitrite                    | Mg.L <sup>-1</sup>                      | 0.1              | /      |

### I.6. Différents critères des pollutions des eaux souterraines

La nature des sols et les activités humaines sur un territoire conditionnent et modifient la qualité des eaux souterraines. La source de pollution de cette ressource peut donc être d'origine naturelle ou anthropique [20].

Les pollutions peuvent être classées suivant différents critères :

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

#### I.6.1. 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 susceptibles de contaminer les sols et de 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 des sols, leur mouvement dans les formations géologiques pourra :

- menacer des ouvrages de captage existants situés sur son parcours d'écoulement.
- compromettre le potentiel d'exploitation d'une formation aquifère
- constituer un rejet diffus de contaminants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité de l'eau.

##### I.6.1.1. 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, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...) Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec

## Chapitre I : Recherche bibliographique

---

infiltration dans le sol mal conçue ou mal dimensionnée, 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 [21].

### **I.6.1.2. Pollution industrielle :**

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds.

Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un procès) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines, alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte. Le transfert particulier est celui des exploitations minières.

### **I.6.1.3. Pollution agricole :**

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps, elle est chronique et concerne de grandes des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture. Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais. Les lisiers sont responsables de la charge en nitrates des nappes.

### **I.6.1.4. Pollution urbaine et routière :**

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (salage en hiver, hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident, etc.) En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées (raccordement incomplet ou défectueux, mauvais état des réseaux, surcharge ou mauvais fonctionnement des stations d'épuration, en particulier absence de traitement), par les fuites de cuves de carburants (essence, fioul), par les cimetières. L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux, etc.) Ces eaux pluviales polluées ne doivent en aucun cas être transférées à la nappe.

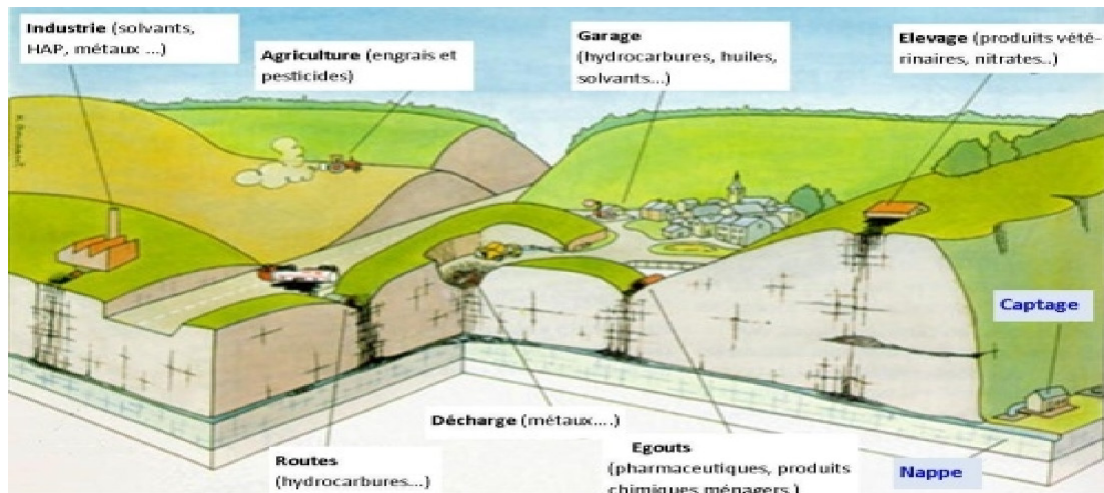


Figure I.2 : Schéma des principales origines de pollution  
(<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr>)

### 1.6.2. 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 sulfates, de salinité, d'arsenic, de baryum, de plomb, de cuivre, de zinc, de sélénium, d'uranium et d'autres métaux présents naturellement dans les eaux souterraines.

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux souterraines limitent la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles.

- Chimique
- Les micropolluants métalliques
- Les détergents (tensioactifs)
- Les pesticides
- Les hydrocarbures
- Les solvants chlorés

## I.7. Protection des ressources en eau souterraine

### I.7.1. Notion de protection des captages des eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité, avec notamment de très faibles teneurs en micro-organismes et autres substances en suspension. Il en résulte que l'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables, du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement (parfois même aucun traitement) avant leur distribution dans un réseau d'eau potable. Le maintien de

cet avantage relatif requiert cependant que des mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité de la source d'approvisionnement. Il s'agit de périmètre de protection. C'est un moyen qui permet la préservation des ouvrages de captage notamment des trois principales sources potentielles de contamination qui est:

- la composition des formations aquifères.
- les eaux de surface
- les activités anthropiques. Une bonne protection nécessite une bonne estimation de l'aire d'alimentation de ces ouvrages soit la portion du territoire sur laquelle l'eau qui s'infiltre aboutira tôt ou tard au point de captage. C'est sur cette portion du territoire que les risques de pollution doivent être minimisés, voire éliminés.

### **I.7.2. protection des zones :**

Les méthodes de délimitation de la portion de nappe qui alimente le captage tendent à répondre à la question, une particule d'eau située en un endroit quelconque de la zone saturée de l'aquifère terminerait-elle sa course dans le captage ? Il s'agit donc de calculer le champ qui indique en tout point de la nappe la probabilité qu'une particule d'eau rejoigne ce captage. Chacune des méthodes exposées des avantages et des limitations, ces dernières étant principalement liées à des hypothèses simplificatrices sur la structure et le fonctionnement de l'aquifère .D'une manière générale, la portion de la nappe qui alimente le captage dépend de critères structuraux ou hydrodynamiques. Ainsi, selon le type d'aquifère, l'un ou l'autre de ces critères peut prédominer,

### **I.7.3. Objectif des périmètres de protection :**

L'objectif des périmètres de protection réglementaires vise à assurer la protection sanitaire de l'eau destinée aux consommateurs, et plus concrètement la protection des points de captage contre les sources de pollutions ponctuelles et accidentelles pouvant survenir dans leur proche environnement. Ils n'ont pas pour objet d'assurer une protection contre les pollutions diffuses qui relèvent d'un problème plus global de protection de la ressource, pris en compte par ailleurs dans la législation générale.

Les zones de protection doivent pouvoir servir pour une protection préventive ainsi que pour un assainissement, dans le cas d'une contamination des eaux captées. Le but est de disposer d'un outil permettant de définir des secteurs sensibles où des actions d'assainissement de grande efficacité pourront être proposées. Pour éviter de nouveaux problèmes de contamination des eaux souterraines et assurer un approvisionnement en eau de qualité, il est essentiel de mieux connaître la ressource et de la protéger.

#### **I.7.3.1. Les niveaux de périmètre de protection :**

Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées .Cette protection peut être mise en place, trois niveaux pour chaque captage :

1. Le périmètre de protection immédiate.
2. Le périmètre de protection rapprochée.
- 3 .Le périmètre de protection éloignée

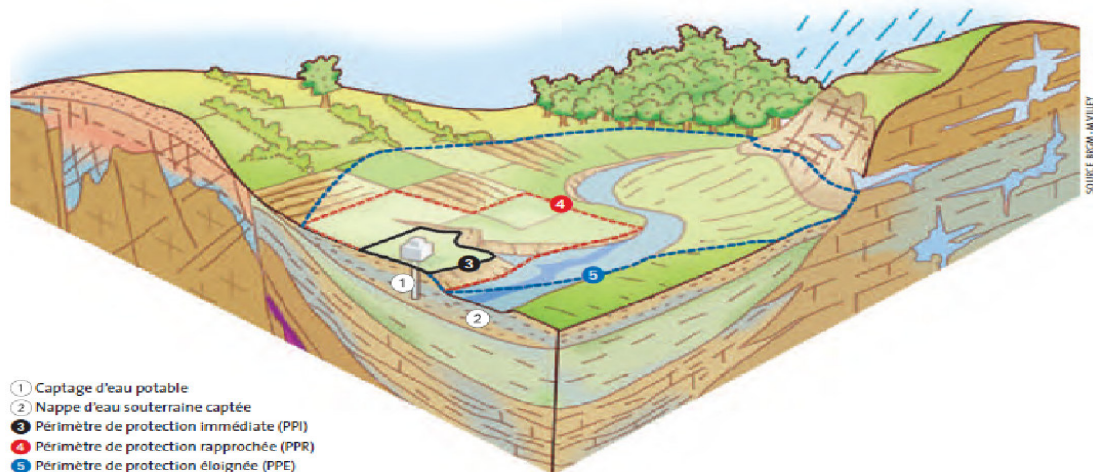


Figure I. 3: Schéma des niveaux de périmètre de protection ([www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr))

### A. Le périmètre de protection immédiate :

Premier niveau de protection, obligatoire, comprend le terrain directement adjacent au point de captage et a pour objet d'éviter les injections directes de polluants dans les eaux exhaures. Ce terrain doit être acheté par le propriétaire du captage et doit être entièrement clôturé. Aucune activité n'est tolérée à l'intérieur, à l'exception de celles qui sont liées à la maintenance des ouvrages.

### B. Le périmètre de protection rapprochée :

Zone de protection étendue autour et en amont du point de captage en fonction de la nervosité du système aquifère et des risques liés au contexte socio-économique. Sa taille et sa géométrie peuvent donc varier considérablement selon le cas de figure. Son objectif est de protéger le captage contre les pollutions entraînées par les écoulements souterrains. Les activités humaines potentiellement dangereuses et polluantes pour la ressource y sont réglementées (réglementations particulières d'un niveau plus contraignant que celui de la réglementation générale), voire interdites.

### C. Le périmètre de protection éloignée

Le niveau de protection, non obligatoire. Lorsqu'il est mis en œuvre, ce périmètre est souvent d'une relativement grande étendue autour et en amont du point de captage. Sa superficie et sa géométrie varient de manière significative d'un captage à l'autre, en fonction des conditions hydrogéologiques, du degré d'urbanisation et de l'existence d'activités polluantes potentielles. Les activités humaines peuvent faire l'objet d'un complément de réglementation selon leur nature et leur distance du point de captage.

## I.8. Transfert des polluants dans les eaux souterraines

Qu'il s'agisse d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma général 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).

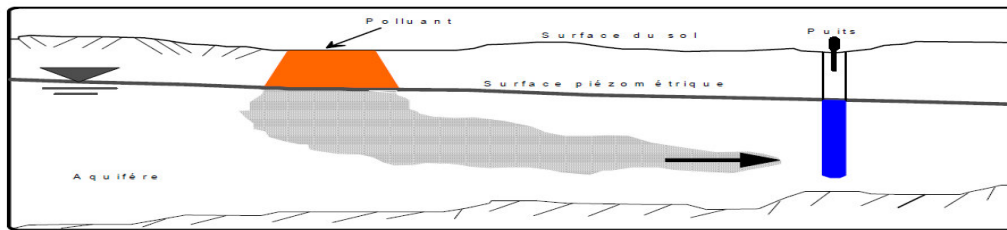


Figure I.4: Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique

Le transfert d'un polluant étant indissociable de l'écoulement du fluide qui le véhicule, le comportement d'une pollution dans un milieu géologique donné dépend des lois et des paramètres de l'écoulement de la phase liquide. Différents facteurs influent sur ce comportement des polluants sur le transfert des polluants vers les ressources en eau souterraine. En effet, différentes propriétés des milieux traversés et celles des polluants jouent un rôle primordial sur le transfert de ces substances. En prenant en compte les éventuelles interactions entre le polluant et le milieu permettent une meilleure gestion des ressources souterraines.

### I.8.1. Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines :

Une bonne connaissance des mécanismes de transfert est fondamentale pour aider les décideurs à préserver de façon durable la ressource d'eau souterraine et à effectuer les arbitrages qui s'imposent : étendue des périmètres de protection, Les modalités et temps de Transfert des polluants sont très variables selon les types de polluants, selon les sols et font appel à trois processus distincts , les caractéristiques des sols et leur humidité, les réactions Chimiques des molécules avec l'eau et le milieu, l'activité microbienne. Ainsi, une nappe peut être protégée pour un type de pollution et pas contre une autre.

Comme exemple d'illustration, une nappe des sables est bien protégée des pollutions microbiologiques grâce au pouvoir filtrant des sables, mais ceux-ci restent inefficaces faces aux pollutions chimiques solubles dans l'eau.

### I.9. Conclusion

La bonne gestion de la ressource hydrique exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques. Une baisse de qualité de l'eau souterraine peut affecter tant la santé humaine que celle des écosystèmes. À titre d'illustration, ce qui suit porte essentiellement sur la préservation de la qualité de l'eau potable Même si les eaux souterraines sont dotées d'une protection naturelle (sol et végétation...), il faut protéger les eaux souterraines contre les risques d'une contamination par les es périmètres de protection.

**CHAPITRE II :**  
**L'hydrologie et**  
**l'hydrogéologie de la**  
**région d'étude**



## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

### II.2.2. Présentation administratif de la wilaya de Bouira :

Issue du découpage administratif institué par ordonnance n° 74/69 du 02 juillet 1974, relative à la refonte de l'organisation territoriale des Wilayat.  
La wilaya de Bouira est découpée en 12 Daïras et 45 communes.

Tableau II.1 : Découpage administratif de Bouira (ANIRF 2013)

| Daïra      | Communes                                                    | daïra            | Communes                                                      |
|------------|-------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------|
| Bouira     | Bouira, Ain turk, Ait laaziz                                | Bir ghalou       | Bir-ghbalou, 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                                    |
| Mchedallah | M'chedallah, Saharidj, Chorfa, Ahnif, Aghbalou, Ath-mansour | El hachimia      | El-hachimia, Oued El Berdi                                    |
| Kadiria    | Kadiria, Aomar, djebahia                                    | Sour El Ghozlane | Sour el ghazlane, Maamora, Ridane, El hakimia, Hechmia, Dirah |
| Lakhdaria  | Lakhdaria, Boukram, Guerrouma, Maala, Bouderbala            | Bordj-okhriss    | Bordj okhriss, Mesdour, Ttaguedite, Hadjra zerga              |

### II.3. La géographies :

Elle comporte trois sous bassins versants (01), (02), (03) regroupés sous la dénomination de « Bassin versant du Sahel ». Ils appartiennent au grand bassin versant de la Soummam portant le numéro « 15 » selon la nomenclature adoptée par l'ANRH.



Figure II.2 : Situation géographique de Bouira et des bassins versants (01, 02, 03), (source ANRH de Blida)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

---

### II.3.1. Le relief :

Le relief est contrasté, il comporte cinq 05 grands ensembles physiques :

- 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.
- 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).
  - Le barrage de Koudiet Acerdoune.
- Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya) : Il se rapporte surtout aux parties centrales et occidentales du massif du Djurdjura.
- 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 Ghazlane. 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.
- 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(ANDI 2013).

### II.3.2. Le réseau Hydrographie :

La wilaya de Bouira renferme d'importantes ressources en eau. Elle est traversée par des bassins versants importants dont l'apport moyen annuel est de l'ordre de 561 millions de m<sup>3</sup> constitué par (ANDI 2013)

- Bassin versant d'Isser : 135 millions de m<sup>3</sup>/an.
- Bassin versant Sahel Soummam : 380 millions m<sup>3</sup>/an.
- Bassin versant du Hodna : 35 millions m<sup>3</sup>/an.
- Bassin versant Humus : 11 millions m<sup>3</sup>/an.

Du Nord au Sud, on distingue trois zones différentes :

- Au Nord, les zones de montagne représentent 31% des terres de la Wilaya. Elles présentent de fortes pentes et sont occupées par la pratique de l'arboriculture rustique, la céréaliculture combinée avec un élevage de type familial.
- Au centre, les plaines constituent 40% des terres et sont représentées par les plateaux de Bouira, El Asnam et El Hachimia. Ces espaces sont utilisés pour la céréaliculture, l'arboriculture fruitière et les cultures fourragères.
- Au Sud, les zones agropastorales où prédomine l'élevage bovin, s'étendent sur 29% des terres.

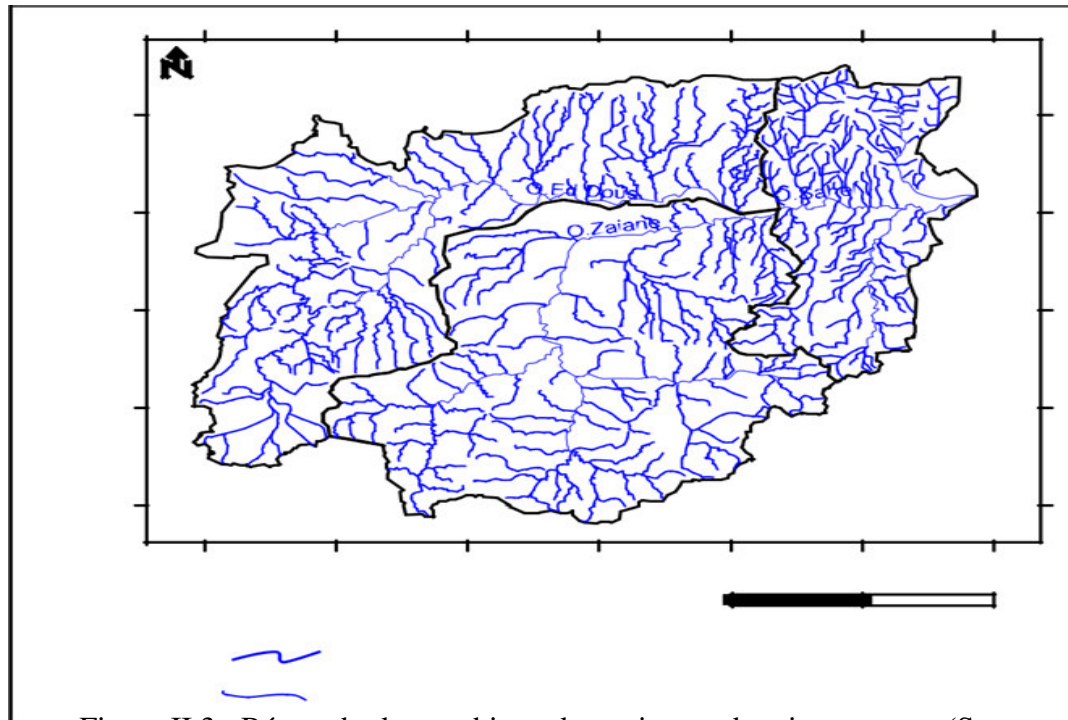


Figure II.3 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants (Source : ANRH de Blida).

### II.4. Le climat :

Le climat est chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver.

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 phénomènes et les facteurs de cycle de l'eau (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 liées à ces phénomènes qui régissent les écoulements .pour cela, il est très utile de faire l'approche hydro climatique [22].

.

#### II.4.1.Les précipitations :

L'analyse de la variabilité moyenne mensuelle des précipitations pour la période 1970-2009 montre l'existence d'une :

- saison froide et humide s'étalant de Septembre à Mai avec un maximum de précipitation en Décembre.
- saison sèche entre Juin et Aout où les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet.

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

Tableau II.2 : Précipitations moyennes mensuelles (1970-2009) (ANRH)

| Station-mois | Sep   | Oct   | Nov   | Dec    | Jan   | Fév   | Mar   | Avr   | Mai   | Jui   | Juil | Aou   | Annuel |
|--------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| SEG          | 32,94 | 36,12 | 42,46 | 68,14  | 57,21 | 41,7  | 45,17 | 47    | 37,02 | 9,2   | 6,47 | 13,63 | 437,06 |
| El hachimia  | 36,77 | 46,96 | 49,88 | 65,91  | 57,95 | 52,92 | 48,9  | 49,87 | 38,86 | 10,73 | 6,75 | 10,9  | 476,4  |
| Bouira       | 33,49 | 34,4  | 45,71 | 64,85  | 56,21 | 47,68 | 44,55 | 41,51 | 33,24 | 10,41 | 4,72 | 10,43 | 427,2  |
| Hammam ksena | 35,8  | 43,9  | 49,59 | 65,4   | 57,8  | 50,82 | 49,1  | 42,9  | 38,8  | 10,67 | 4,28 | 10,94 | 460,0  |
| Bordj Okhris | 26,77 | 40,36 | 43,82 | 60,13  | 57,94 | 51,85 | 43,61 | 42,74 | 32,25 | 9,91  | 3,41 | 9,41  | 422,2  |
| Crête rouge  | 30,44 | 25,35 | 42,58 | 45,55  | 40,47 | 30,92 | 37,12 | 30,6  | 26,4  | 7,02  | 1,92 | 6,33  | 324,7  |
| Benni Hmmad  | 24,14 | 30,22 | 49,93 | 55,74  | 52,43 | 45,85 | 35,59 | 39,15 | 24,51 | 4,38  | 3,8  | 2,76  | 368,5  |
| Khebouzia    | 27,26 | 34,19 | 55,75 | 58,94  | 58,16 | 57,58 | 50,66 | 48,62 | 32,09 | 6,77  | 1,54 | 3,95  | 435,51 |
| Lakhdaria    | 33,2  | 57,36 | 94,75 | 112,13 | 93,29 | 93,36 | 82,44 | 71,6  | 50,13 | 10,42 | 3,89 | 6,19  | 708,76 |
| Djebahia     | 31,05 | 46,2  | 70,83 | 100,73 | 80,08 | 78,63 | 76,61 | 58,33 | 44,25 | 9,45  | 5,64 | 7,91  | 609,71 |
| Souagi       | 26,35 | 32,88 | 30,73 | 39,17  | 41,56 | 37,45 | 34,14 | 37,51 | 38,15 | 10,35 | 8,18 | 7,97  | 344,44 |
| M'chedallah  | 28,26 | 27,18 | 37,16 | 41,8   | 40,1  | 27,3  | 38,12 | 25,9  | 25,13 | 7,85  | 3,7  | 8,1   | 310,6  |

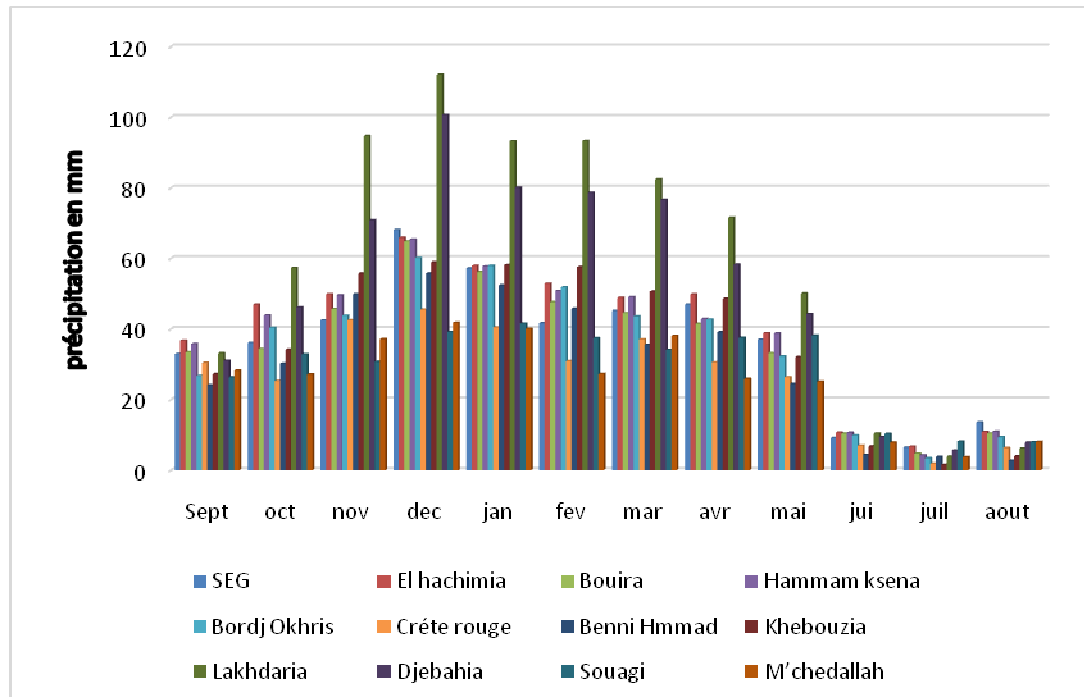


Figure II-4 : Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1970-2009

### II.4.1.1. Evaluation de la lame d'eau précipitée :

L'estimation de la lame d'eau précipitée sur les stations de la wilaya a été effectuée par la méthode arithmétique.

C'est la méthode la plus simple qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées.

Cette méthode est applicable pour les conditions suivantes :

- les stations sont bien réparties
- le relief du bassin est homogène.

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}$$

Avec :  $P_{moy}$  : précipitation moyenne sur le bassin en mm.

$P_i$  : Précipitations enregistrées dans la station  $i$  en mm.

$N$  : nombre de station.

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

Tableau II.3 : Evaluation de lame précipitée par la méthode arithmétique

| Station          | Précipitation en mm |
|------------------|---------------------|
| Sour El-Ghouzlan | 437.06              |
| El-Hachimia      | 476.4               |
| Bouira           | 427.2               |
| Hammam Ksena     | 460.0               |
| Bordj Okhris     | 422.2               |
| Crête Rouge      | 324.7               |
| Benni Hmad       | 368.5               |
| Khebouzia        | 435.51              |
| Lakhdaria        | 708.76              |
| Djebahia         | 609.71              |
| Souagi           | 344.44              |
| M'chedallah      | 310.6               |
| N=12             | $\Sigma=5325.08$    |

$$P_{\text{moy}} = 5325.08/12 = 443.76 \text{ mm}$$

La précipitation moyenne de notre région est de 443.76 mm

### II.4.2. La Température :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 10ans (1997-2007), par la station de Bouira.

Tableau II.4 : Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007).

| 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  |

(ONM Bouira)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

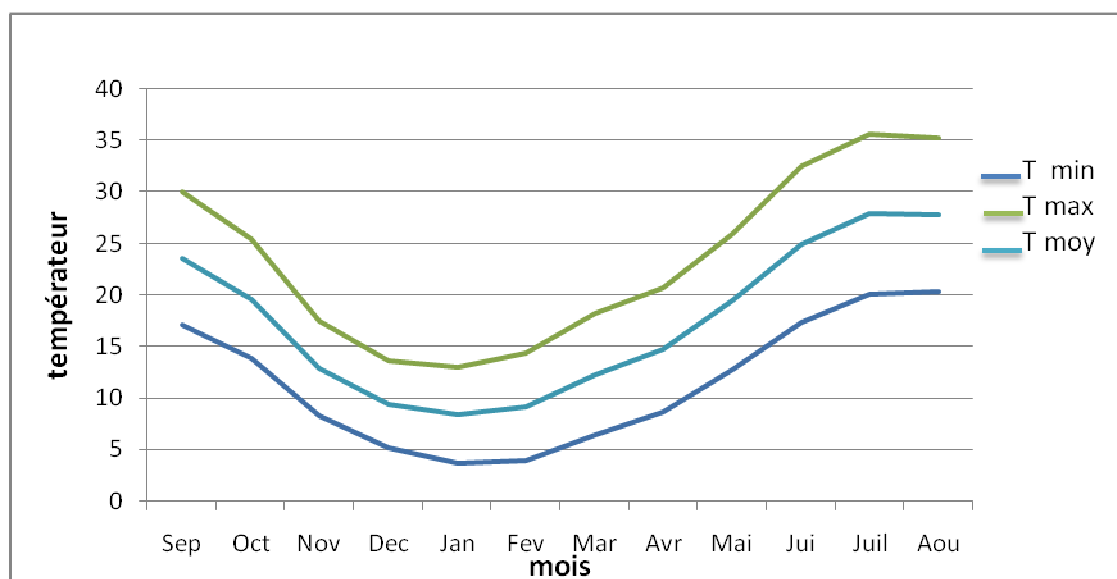


Figure II.5 : Répartition mensuelle des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales (station de Bouira)

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,5 °C.
- Les mois les plus chauds sont juillet et août avec une température de 35.6°C en raison des Sirocos provenant du Sud.
- Les mois froids sont décembre, janvier et février.

### II.4.3. 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.

Tableau II.5 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, (1997-2007)

| Station de bouira | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aou | Sep | Oct | Nov | Dec | Moy annuel |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Vmoy(m/s)         | 3.8 | 2.5 | 4.7 | 5.5 | 3.8 | 5.2 | 4.3  | 3.8 | 4.5 | 4.9 | 3.8 | 5.0 | 4.3        |
| Vmax(m/s)         | 25  | 20  | 26  | 38  | 28  | 34  | 30   | 29  | 34  | 30  | 29  | 36  | 30         |

(ONM Bouira)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

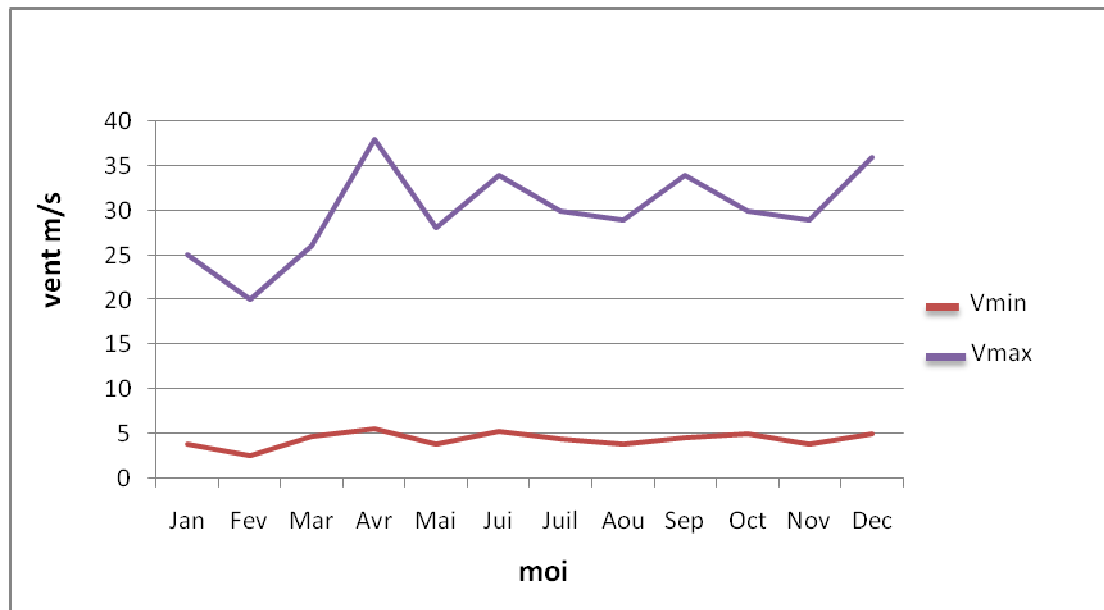


Figure II.6 : Répartition mensuelle de vent, maximal et minimal (station de Bouira)

Dans la zone d'étude, les vents soufflent à différentes intensités en fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du West et Est.

Durant la saison d'hiver (janvier, février, mars) les valeurs ne dépassent pas 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 à la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux.

### II.4.4. Humidité relative :

L'humidité relative de l'air, ou degré hygrométrique, correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changée.

C'est le quotient entre la tension de vapeur réelle et la tension de vapeur saturante. Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont portées dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période 1997-2007

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

(ONM Bouira)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

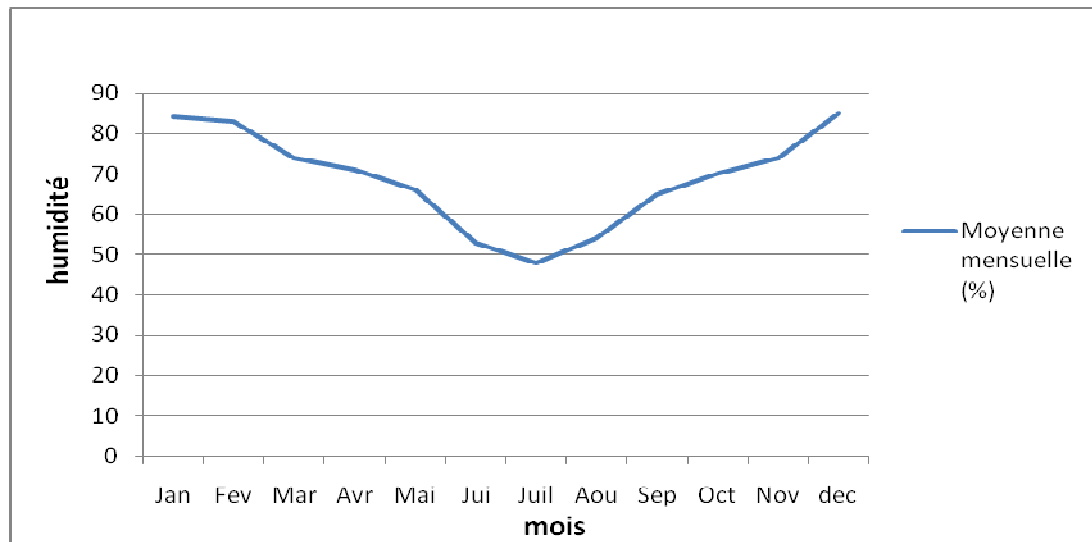


Figure II.7 : Humidité relative pour la région Bouira (1997-2007 station de Bouira)

L'humidité de la région montre un écart important entre la période hivernale (supérieure à 70% sur les 6 mois de l'année partir d'octobre, le maximum est 85%) et estivale (48% est observé en été).

### II.4.5. Insolation :

L'insolation ou radiation solaire globale signifie la quantité d'énergie solaire reçue et peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire de la durée d'exposition d'un site au Soleil, elle est mesurée à l'aide de l'héliographe CAMPBELL et exprimée en heures. En été les heures d'insolation augmentent jusqu'à atteindre 334 heures en juillet puis décroître en hiver avec une insolation minimale de 170 heures en décembre.

### II.5. Evaporation :

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'gazeux qui a pour effet d'absorber des calories (radiation solaire), la sublimation est le passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur.

Les mesures de l'évaporation ont été effectuées sous abri à l'aide de l'évaporimètre "Pichet" à la station de Bouira, le tableau suivante résume les moyennes mensuelles de l'évaporation en mm sur une période de 10 années (1997-2007).

Tableau II.7 : Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira  
(2007 – 1997)

| mois             | Sep   | Oct   | Nov  | Déc  | Jan  | Fév  | Mar   | Avr   | Mai   | Jui   | Juil  | Aou   | année |
|------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Evaporation (mm) | 193.6 | 156.3 | 79.3 | 63.4 | 65.3 | 71.1 | 115.4 | 137.5 | 179.3 | 284.4 | 336.1 | 307.3 | 1989  |

(ONM Bouira)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

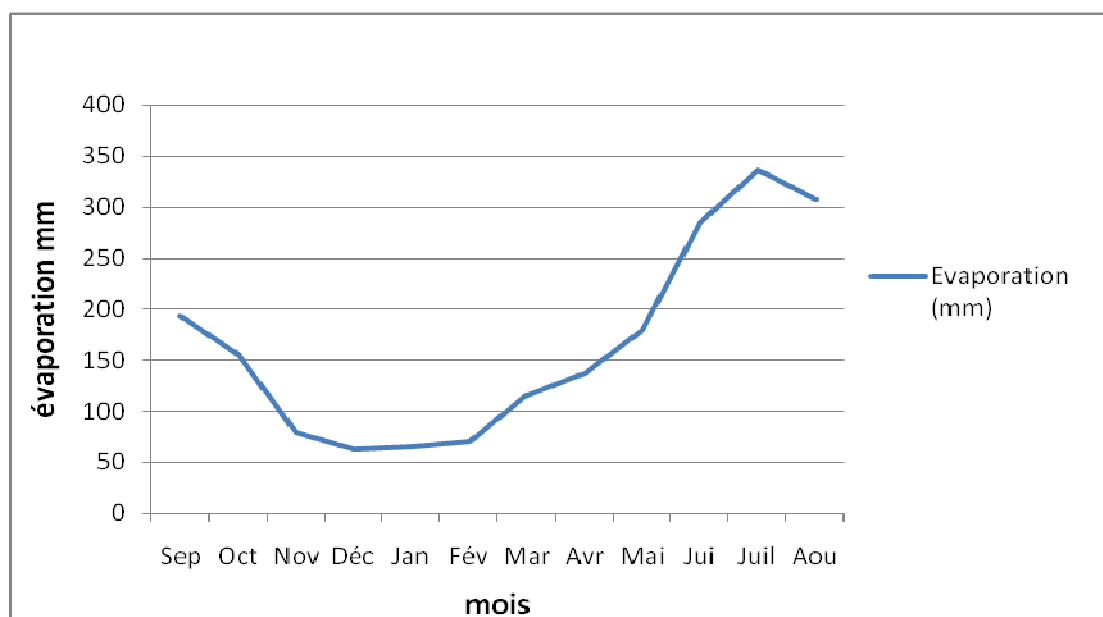


Figure II.8 : Evaporation pour la région Bouira. (Période 1997-2007 station de Bouira)

- l'évaporation est relativement faible dans la période allant de Novembre à Février
- l'évaporation est importante en période estivale.
- L'évaporation annuelle est égale à 1981.7 mm.

### II.5.1. Relation évaporation-température :

Comme bien illustré dans le tableau II.8, l'évaporation et la température sont proportionnelles entre eux comme le montre le tableau suivante.

Tableau II.8 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évaporation en fonction de T°C

| Paramètre              | Sep   | Oct   | Nov  | Déc  | Jan  | Fév  | Mar   | Avr   | Mai   | Jui   | Juil  | aou   | année |
|------------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T°Moyenne              | 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  |
| Evaporation Piche (mm) | 193.6 | 156.3 | 79.3 | 63.4 | 65.3 | 71.1 | 115.4 | 137.5 | 179.3 | 284.4 | 336.1 | 307.3 | 1989  |

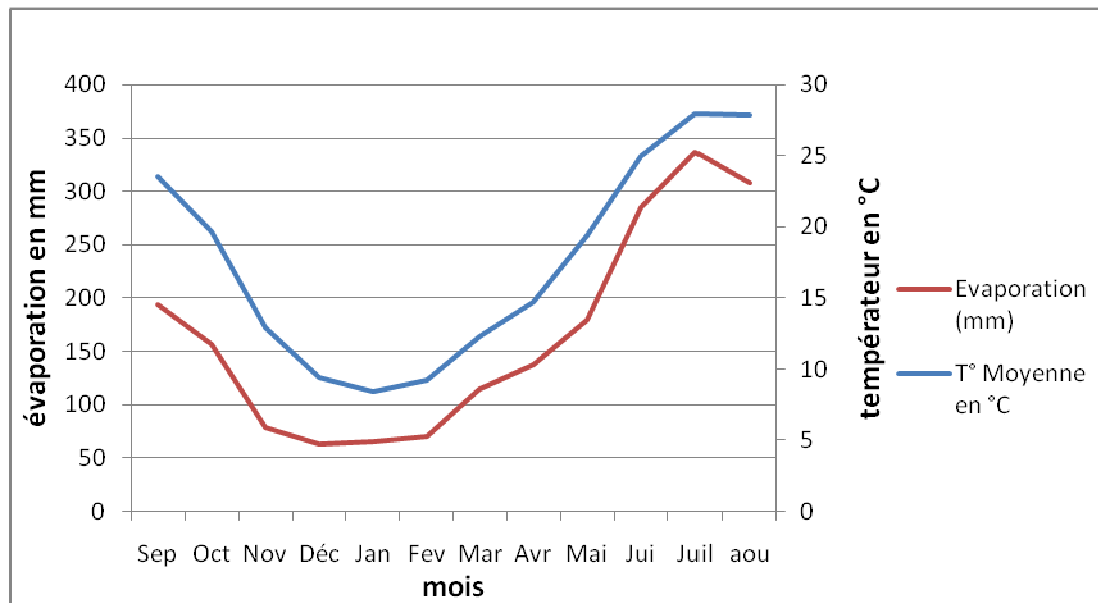


Figure II.9 : Evolution de l'évaporation en fonction de la température.

### II.5.2. Etude de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est la somme de la transpiration du couvert végétal (à travers les stomates des plantes) et de l'évaporation des sols.

On désigne comme évapotranspiration réelle (ETR) la valeur de ce flux à un instant donné ou de sa moyenne sur une période donnée, pour une station donnée.

Lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative, ce flux tend vers une limite appelée évapotranspiration potentielle (ETP). Ce dernier concept introduit par Thornwaite en 1948, essentiellement théorique, ne dépend principalement que des facteurs météorologiques (H, T, vent et rayonnement solaire global incident). L'ETP peut être évaluée à partir de données de capteurs simples associés à des formules empiriques plus ou moins complexes (Turc 1962, Penmann Monteith-FAO 1998, Blannay-Criddle 1950...)[25]

En raison de disponibilité de mesures insitu d'évapotranspiration, nous utiliserons plusieurs formules empiriques pour l'estimation de l'ETP et ETR.

#### II.5.2.1. Evaluation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) :

- **La formule de Thornthwaite :**

Elle est très employée, car elle n'exige en dehors de la latitude de la station, que la température moyenne mensuelle.

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

$$ETP_c = ETP * K$$

**ETP<sub>c</sub>** : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée en (mm).

**T** : température moyenne mensuelle en °C

**I** =  $\sum i$  et  $i = (t/5)^{1,514}$

**a** =  $(1,6.I/100) + 0,5$ .

**i**: indice thermique.

**K** : coefficient de correction en fonction de la latitude

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

Tableau II.9 : Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Thornthwaite.

| Mois  | T(C°) | i     | I=Σ i | a    | ETPcalculé | K    | ETPcorrigée |
|-------|-------|-------|-------|------|------------|------|-------------|
| Jan   | 8.4   | 2.19  | 84.94 | 1.86 | 15.67      | 0.87 | 13.63       |
| Fév   | 9.2   | 2.52  |       |      | 18.56      | 0.85 | 15.78       |
| Mar   | 12.3  | 3.91  |       |      | 31.86      | 1.03 | 32.82       |
| Avr   | 14.7  | 5.12  |       |      | 44.38      | 1.10 | 48.82       |
| Mai   | 19.4  | 7.79  |       |      | 74.35      | 1.21 | 89.97       |
| Jui   | 24.9  | 11.37 |       |      | 118.28     | 1.22 | 144.30      |
| Juil  | 27.9  | 13.50 |       |      | 146.15     | 1.24 | 181.23      |
| Aou   | 27.8  | 13.43 |       |      | 145.18     | 1.16 | 168.41      |
| Sep   | 23.5  | 10.41 |       |      | 106.21     | 1.03 | 109.40      |
| Oct   | 19.6  | 7.91  |       |      | 75.78      | 0.97 | 73.51       |
| Nov   | 12.9  | 4.19  |       |      | 34.81      | 0.86 | 29.94       |
| Déc   | 9.4   | 2.60  |       |      | 19.32      | 0.84 | 16.23       |
| Année | 17,5  | 84.94 |       |      | 830.55     | -    | 924.04      |

D'après le tableau ci-dessus, on remarque une augmentation des valeurs de température ainsi de l'ETP à partir du mois de Mai pour atteindre les plus fortes valeurs au mois de juillet et aout, Une grande diminution apparaît à partir du mois de Novembre jusqu'à Avril.

- **La formule de Serra :**

Ce dernier a repris la formule de Thornthwaite avec une approximation largement suffisante aux expressions. Avec :

**T** : température moyenne annuelle (mm) ;

**I** : indice thermique égale à la somme des indices mensuels

**k**= coefficient d'ajustement mensuelle.

**I** = Σi avec  $i = 0.09T^{3/2}$

**a** =  $(1,6.I/100) + 0,5$

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

Tableau II.10: Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Serra

| Mois  | T(C°) | i     | I=Σ i | a    | ETPcalculé | K    | ETPcorrigée |
|-------|-------|-------|-------|------|------------|------|-------------|
| Jan   | 8.4   | 2.19  | 83.79 | 1.84 | 16.07      | 0.87 | 13.98       |
| Fév   | 9.2   | 2.51  |       |      | 19.00      | 0.85 | 16.15       |
| Mar   | 12.3  | 3.88  |       |      | 32.42      | 1.03 | 33.39       |
| Avr   | 14.7  | 5.07  |       |      | 45.01      | 1.10 | 49.51       |
| Mai   | 19.4  | 7.69  |       |      | 74.99      | 1.21 | 90.74       |
| Jui   | 24.9  | 11.18 |       |      | 118.70     | 1.22 | 144.81      |
| Juil  | 27.9  | 13.26 |       |      | 146.34     | 1.24 | 181.50      |
| Aou   | 27.8  | 13.19 |       |      | 145.37     | 1.16 | 168.63      |
| Sep   | 23.5  | 10.25 |       |      | 106.71     | 1.03 | 109.91      |
| Oct   | 19.6  | 7.81  |       |      | 76.42      | 0.97 | 74.13       |
| Nov   | 12.9  | 4.17  |       |      | 35.39      | 0.86 | 30.43       |
| Déc   | 9.4   | 2.59  |       |      | 19.77      | 0.84 | 16.61       |
| Année | 17,5  | 83.79 |       |      | 836.19     | -    | 929.79      |

### II.5.2.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Représente l'eau perdue sous forme de vapeur par évaporation du sol et du couvert végétal et transpiration des plantes (Thornthwaite, 1955). Elle est principalement dépendante des apports en précipitations, du couvert végétal et de l'évaporation du sol.

#### A. Formule de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

**T** = Température moyenne annuelle (°C)

**P** = Précipitation moyenne annuelle en (mm)

**ETR** : l'évapotranspiration réelle (en mm/an)

**P** : la hauteur annuelle de pluie (en mm)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

$$L = 300 + 25(17.5) + 0.05(17.5)^3$$

$$L = 1005.47$$

$$P = 443.76 \text{ mm}$$

$$ETR = 443.76 / (1.05)$$

$$ETR = 424.11 \text{ mm/an}$$

### B. Formule de COUTAGNE :

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette formule peut être rapproché de l'évapotranspiration réelle, elle fait intervenir la température et la hauteur des pluies.

$$ETR = P - \lambda T^2$$

Avec :  $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$

**ETR** : Evapotranspiration réelle (en m/an).

**P** : Pluie annuelle (m).

**T** : Température moyenne annuelle (°C).

Cette formule est applicable pour la condition suivante :

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14 * 17.5) = 0.31 \quad \frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

$$ETR = 44.76 - 0.31 * 17.5^2 = 348.82 \text{ mm/an}$$

Tableau II.11 : Résultats récapitulatifs des valeurs d'évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle sur la région de Bouira.

| Parameters | methods      | Valeur | Moyenne arithmétique (mm) |
|------------|--------------|--------|---------------------------|
| ETP        | Thornthwaite | 924.04 | 926.91                    |
|            | Serra        | 929.79 |                           |
| ETR        | Turc         | 424.11 | 386.46                    |
|            | Coutagne     | 348.82 |                           |

### II.6. Estimation de la lame ruisselée (R) :

Le ruissellement est l'écoulement des eaux à la surface de la terre, notamment la surface des sols, contrairement à celle y pénétrant par infiltration. L'intensité des précipitations favorise le ruissellement en proportion de l'insuffisance de l'infiltration et de la capacité de rétention de la surface du sol.

Dans le cas de mauvaises qualités des données la formule ci-dessous permet d'évaluer la lame ruisselée à partir de la lame précipitée P (mm) et l'ETP

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

**R** : Lame d'eau ruisselée moyenne annuelle (mm).

**P** : Lame d'eau précipité moyenne annuelle (mm). (443.76 mm)

**ETP** : évapotranspiration potentielle (mm). (926.61 mm)

$$R = (443.76)^3 / 3(926.61)^2 = 33.90 \text{ mm}$$

$$\mathbf{R = 33.90 mm}$$

La lame d'eau ruisselée peut également être calculée par la méthode de SOGREAH établie pour les oueds de l'Algérie du nord ;

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

$$Lr = 720 \left( \frac{Pa - 250}{1000} \right)^{1.85}$$

Lr : lame ruisselée (mm)

Pa : pluie moyenne annuelle sur le bassin (mm)

$$Lr = 720[(443.76 - 250)/1000]^{1.85}$$

$$Lr = 34.57 \text{ mm.}$$

Tableau II.12 : Résultats de la lame ruisselée (R).

| Région | P moyennes (mm) | ETP moyenne (mm) | Lame ruisselée (mm) |
|--------|-----------------|------------------|---------------------|
| Bouira | 443.76          | 926.91           | 34.57               |

### II.7. Calcul de l'infiltration efficace :

C'est le processus par lequel l'eau pénètre le sol à partir de la surface, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité.

Si le taux de précipitations dépasse le taux d'infiltration (et d'évaporation-évapotranspiration, l'évapotranspiration potentielle), un phénomène de ruissellement se produit habituellement,

$$P = ETR + R + I \text{ D'où } I = P - ETR - R$$

Avec :

- I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm).
- ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).
- R : Ruissellement annuel (mm).

Tableau II.13 : Valeurs d'infiltration efficace

| Station | P (mm/an) | ETR (mm/an) | R (mm/an) | I(mm/an) |
|---------|-----------|-------------|-----------|----------|
| Bouira  | 443.76    | 386.46      | 34.57     | 22.73    |

Selon les valeurs calculés d'infiltrations (Tableau II.13) pour la région de Bouira 5% des précipitations sont infiltrées.

#### II.7.1. Régime climatique et identification du climat :

Pour classer le climat de la wilaya de Bouira, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique et on a calculé l'indice d'aridité de Martonne et FAO.

#### II.7.2. Indice d'aridité de la FAO :

Il est défini par la formule suivante :

$$I = P / ETP$$

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

Avec :

**P** : précipitation moyenne annuelle en (mm) ; (443.76 mm)

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en (mm), (926.91 mm)

Les expériences de la FAO distinguent quatre zones bioclimatiques :

- $I < 0$  : Zone désertique ;
- $0.06 < I < 0.2$  : Zone aride ou désertique atténuée ;
- $0.2 < I < 0.5$  : Zone semi-aride ;
- $I > 0.7$  : Zone subhumide.

$$I = 443.76 / 926.91 = 0.48$$

D'après l'indice d'aridité de la FAO, le bassin versant du Sahel est une zone à climat semi-aride.

### II.7.3. Indice annuel d'aridité de E. De Martonne :

Il est défini comme le rapport entre les précipitations et les températures et permet de trouver le type de climat qui règne dans la région, la formule utilisée est la suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I : l'indice d'aridité annuelle

P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

T : Températures moyennes annuelles en °C

Le climat est défini selon la valeur de I :

- $I < 5$  : Climat Hyperaride
- $5 < I < 7.5$  : Climat Désertique
- $7.5 < I < 10$  : Climat Steppique
- $10 < I < 20$  : Climat Semi-Aride
- $20 < I < 30$  : Climat Tempéré

Tableau II.14: Indice d'aridité de De Martonne

| P(mm)  | T(°C) | I     | Cadre climatique |
|--------|-------|-------|------------------|
| 443.75 | 17.5  | 16.14 | Semi-aride       |

Nous obtenons un indice d'aridité I qui est égale à **I=16.14**

D'après l'abaque de E. De Martonne, la région du Sahel est une zone à climat semi-aride à écoulement temporaire.

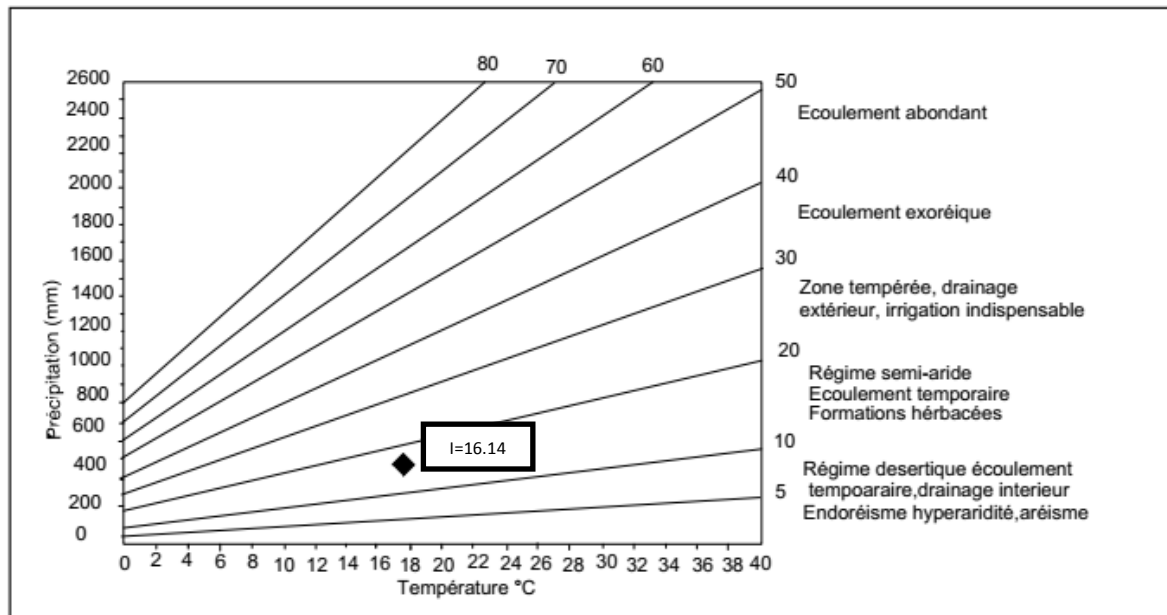


Figure II.10 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

### II.7.4. Diagramme pluviométrique (Ombrothermique) :

Le diagramme Ombrothermique désigne une représentation graphique indiquant les variations conjointes de la température moyenne et des pluies mensuelles.

Le diagramme ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné. Il comporte un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures avec une échelle de  $P = 2T$ .

L'intérêt du diagramme ombrothermique est qu'il permet d'un seul coup d'œil de caractériser un climat. En effet, il peut nous révéler si le climat sec, humide...

La période correspondante est dite déficitaire (sèche) en eau lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, et elle est dite période (humide) lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle de température.

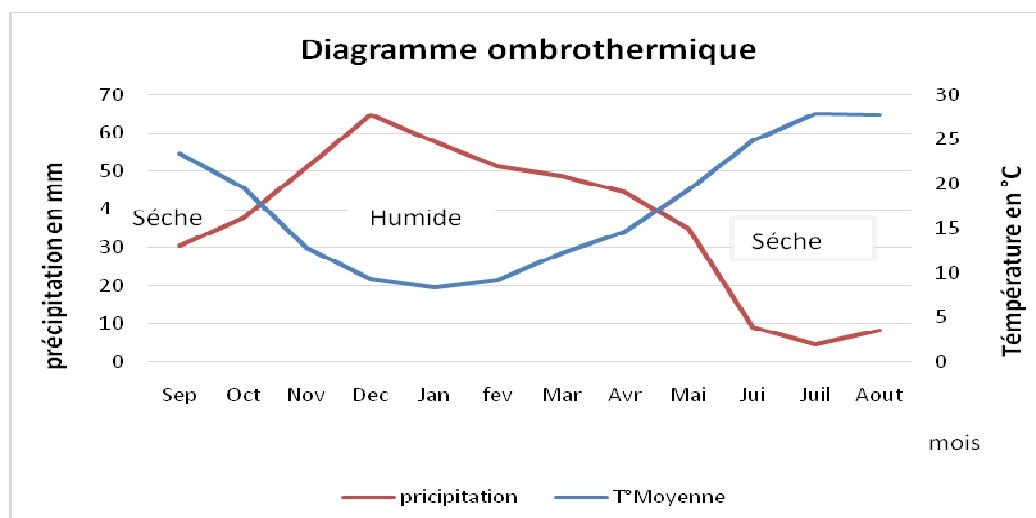


Figure II.11 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya de Bouira.

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

---

Le diagramme pluvio-thermique de notre zone d'étude, (Figure II.11), permet de ressortir deux saisons :

- saison humides (du mois de mi-octobre au mi du mois d'Avril)
- saison sèche (du mi du mois D'Avril au mi du mois de octobre) avec la L'écart entre les températures et les précipitations et d'autant plus grand durant la période sèche, par rapport à celui de la période humide.

### II.8. Contexte socio-économique :

#### II.8.1. Population :

La population totale de la wilaya est estimée 695.583 habitants soit une densité de 160 habitants au km<sup>2</sup> (ANDI 2013).

#### II.8.2. Activités agricole :

Sa vocation principalement agricole, lui ouvre de larges perspectives dans le domaine de la PMI/PME à travers notamment les activités de transformation agroalimentaire.

La wilaya dispose de deux grands périmètres agricoles : à l'Est, périmètre de M'chedallah: 1.600 ha et à l'Ouest, périmètre des Aribes (Ain Bessem): 2.200 ha.

La production agricole au niveau de la wilaya est à prédominance céréalière et oléicole(ANDI 2013).

#### II.8.3. Activités industrielles :

- Disponibilité d'une zone industrielle dans la commune d'Oued El Berdi d'une superficie total de 2 244 043 m<sup>2</sup> dont 2 108 804 m<sup>2</sup> cessible soit 93,97%.
- Il existe plusieurs ressources minières à travers la wilaya, tels que le gypse, pierre taillée et argile, exploitées entres autres par la cimenterie de Sour El Gozlane, les Briqueteries d'Aomar et plusieurs unités d'exploitations de carrières d'agréats pour les besoins du BTPH.
- L'existence d'un poste transformateur de 400KV implanté à Bir Ghablou.
- Le nombre de projets créé est de 49 dont 08 opérationnels avec des effectifs de 180.
- Le Réseau routier de la wilaya se répartit comme suit :
  - Autoroute Est-Ouest: 101
  - Routes Nationales: 355,44
  - Chemins de wilaya: 800,191
  - Chemins communaux: 1411,375

#### Réseau Ferroviaire de la wilaya :

La voie ferrée qui traverse la wilaya de Bouira au Nord sur 101 Km environ, fait partie du réseau national reliant l'Est à l'Ouest du pays. Il s'agit d'une voie unique, avec 7 gares au niveau des principaux centres urbains, vétustes, qui nécessitent d'importants aménagements au niveau des clôtures, des infrastructures d'accueil et de l'éclairage. L'étude du projet de voie ferrée reliant la gare d'El-Esnam à Sour El Ghoulane en passant par la zone industrielle de Sidi Khaled (Oued El Berdi) est en

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

---

cours. Ce projet constitue un atout certain dans le développement Nord -Sud de la wilaya de Bouira(ANDI 2013).

### **Ressources et Mobilisation des Eaux :**

- Barrage koudiet asserdoune commune de Maala capacité 640 000 000 m<sup>3</sup>.
- Barrage tilesdit commune de Bechloul capacité 167 000 000 m<sup>3</sup>.
- Barrage lakhal commune d'Ain bessem capacité 30 000 000 m<sup>3</sup>.
- Retenus collinaires : 30.

### **Réseau électrique :**

- Taux d'électrification urbain : 98 %.
- Taux de couverture en gaz de ville : 60%.

### **II.8.4. Les activistes touristiques :**

La Wilaya de Bouira a un potentiel touristique de plusieurs type dont :

- Un tourisme de loisirs et de détente (à travers le parc national du Djurdjura, les massifs forestiers, les plans d'eau et barrages).
- Un tourisme thermal (curatif et de relaxation)(source thermale Hammam K'sana
- Un tourisme historique et archéologique (vestiges préhistoriques, romains, turcs, français etc.. à découvrir.
- Un tourisme culturel et de particularités traditionnelles (à découvrir à travers les Zaouiate, les Mosquées, les fêtes et manifestations ancestrales traditionnelles dont « Aid El Hassad » et fête de l'olivier).
- Un tourisme lié aux curiosités artisanales et culinaires.

### **II.9. présentation hydrogéologique de la région d'étude :**

#### **II.9.1. Introduction :**

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Cette science étudie les interactions entre les structures géologiques du sous-sol (nature et structures des roches, des sols) et les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface.

L'hydrogéologie permet donc de connaître et de comprendre comment les structures géologiques du sol et du sous-sol affectent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, sa distribution, son écoulement et sa résurgence..

Cette science permet aussi d'assurer le contrôle et le suivi des ressources souterraines en eau, tant du point de vue quantitatif que qualitatif.

Dans cette partie de notre travail, nous nous intéresserons particulièrement au plateau d'El Asnam, qui se situe à 13 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Bouira. Il couvre une surface de l'ordre de 55km<sup>2</sup>, chevauchant deux sous bassins à savoir l'Oued Ed Dous au Nord et l'Oued Zaiane au SudEst.

Ces deux oueds sont les affluents de l'Oued Sahel, lui-même affluent de l'Oued Soummam. Ce plateau abrite une nappe d'eau importante exploitée pour les besoins en eau potable des principales agglomérations de la zone Bouira - El .Asnam.

L'aquifère d'El Asnam présente une superficie de 21.34km<sup>2</sup> et un périmètre de 36.60 km. Le plateau d'El Asnam a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique et particulièrement agricole (culture de pomme de terre,

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

céréaliculture, élevage de volailles...etc.), après l'application du PNDA en 2000. Ceci a augmenté la demande en eau et exposé, ces dernières années, la nappe souterraine en raison de la remontée appréciable du niveau statique (irrigation par le barrage de Telesdit (ANRH 2010) à différentes pollutions résultant de l'activité humaine et agricole tels que :

- Les cultures de la pomme de terre et céréalières, qui utilisent d'importantes quantités de fertilisants sous forme de fumier, à raison de 280 Kg /ha par an, ou d'engrais azotés (100 à 300 Kg/ha) (DSA 2006).
- L'irrigation incontrôlée qui entraîne la percolation de ces derniers.
- Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées domestiques dans le plateau, sans traitement préalable, et l'absence des réseaux d'assainissement dans certaines régions tel que le village socialiste.
- Les décharges ménagères sauvages.

### II.9.2. La géologie :

#### II.9.2.1. La géologie régionale :

L'Algérie présente quatre grands ensembles structuraux qui sont du Nord au Sud :

- Le domaine tellien
- Les hauts plateaux et les hautes plaines
- Atlas saharien
- La plateforme saharienne

##### II.9.2.1.1. Domaine tellien :

La région d'étude se situe dans les limites de la chaîne orogénique périméditerranéenne d'âge alpin qui est formée de trois domaines paléogéographiques, on distingue :

- Domaine interne.
- Domaine des flyschs.
- Domaine externe.

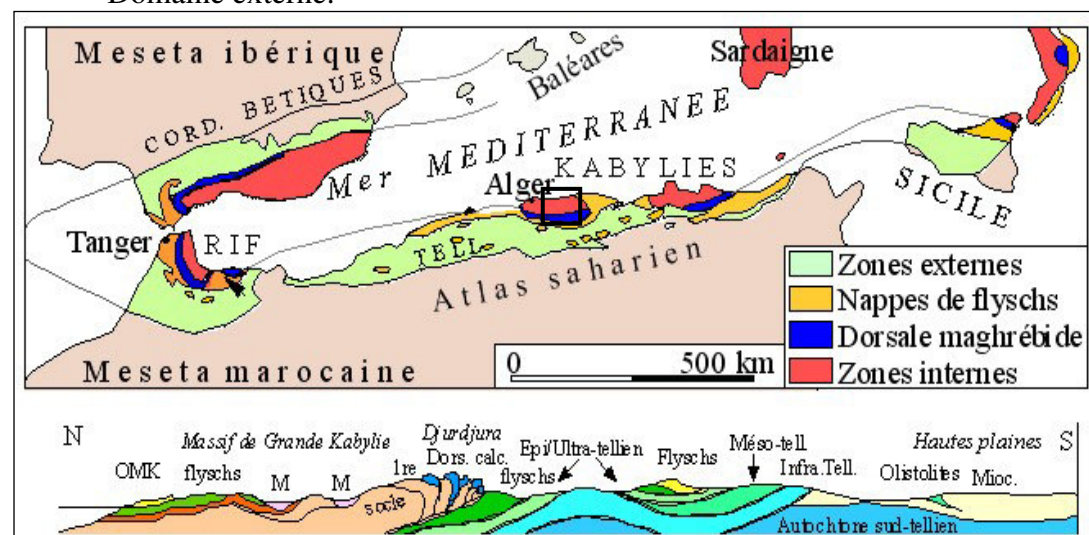


Figure II.12 : Carte structurale schématique de la chaîne des maghrébides montrant la disposition de la zone externe et la zone interne dans la grande Kabylie. (Durand Delga et al)

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

### II.9.2.1.2. Domaine interne :

Se localise en Algérie dans les massifs de Chenoua, d'Alger, de grande et petite Kabylie. Il est de structure très complexe, et il regroupe de bas en haut les ensembles suivants :

- A. le socle Kabyle
- B. la couverture paléozoïque
- C. la dorsale Kabyle

### II.9.2.1.3. Domaine des Flyschs :

Ces flyschs se situent au sud du domaine interne auquel nous y rattachons trois types de nappes :

- Nappe du flysch mauritanien.
- Nappe du flysch massylien.
- Nappe du flysch numidien.

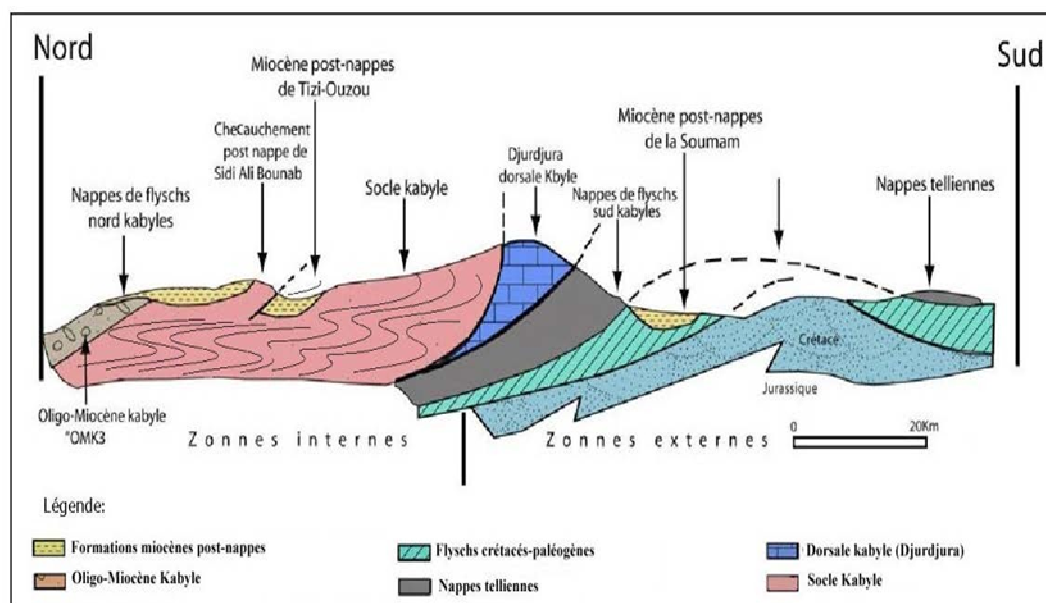


Figure II.13: coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine tellien (Durand Delga et al, 1969 ; modifiée par Ait, 1994)

### II.9.2.1.4. Domaine externe :

Il est situé au sud du domaine des flyschs, ce sont des dépôts telliens miogéosynclinaux, observés sur presque toute la région de la Soummam.

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

---

### **II.9.2.1.5. Les hauts plateaux et les hautes plaines :**

Ce sont des terrains autochtones et tabulaires formés d'un matériel sédimentaire mésozoïque transgressif sur un socle primaire qui affleure parfois à la faveur des grandes failles.

### **II.9.2.1.6. L'Atlas Saharien :**

Il est séparé du domaine tellien par un grand accident appelé communément « l'accident nord atlasique ». Du point de vue stratigraphique, l'Atlas Saharien est composé essentiellement de sédiments mésozoïques, qui ont été plissés au cours des différentes phases orogénique d'âge tertiaire, formant de grands plis d'orientation WSW-ENE. Le jurassique est présenté par une série très épaisse de sédiments calcaro-dolomitiques.

### **II.9.2.1.7. La plateforme Saharienne :**

Elle apparaît au-delà de la flexure sud atlasique, non perturbée par les déformations, la plateforme saharienne est formée de vastes bassins sédimentaires, où les couvertures d'âge paléozoïque ou mésozoïque laissent apparaître à la faveur de l'érosion le gigantesque bombement du Hoggar et le massif de l'Eglab.

### **II.9.3. Cadre géologiques locale :**

Le secteur d'étude se localise dans la partie occidentale de la dépression de la Soummam. Cette dernière forme la jonction entre le tell septentrional au Nord et le Tell méridional au Sud. Le secteur d'étude est bordé au Nord par les flyschs du flanc Sud du Djurdjura et au Sud par des affleurements du Miocène. Les séries stratigraphiques s'étendant sur la région sont :

#### **II.9.3.1 Les flyschs du flanc du Sud du Djurdjura :**

Sur le flanc méridional de la chaîne du Djurdjura, s'étendent de façon continue d'Ouest en Est des formations à faciès flyschs. Cet ensemble puissant de plus de 500m (J. Flandrin) long temps attribué au Crétacé est représenté par des schistes verdâtres, des quartzites, des bancs demi-crobrèches, des conglomérats et des lentilles de calcaires.

#### **A- Les flyschs inférieurs :**

Ils peuvent être repartis en trois types de faciès :

- Flysch tertiaire représenté par une série pélitique bleue sombre avec des degrés.
- Flysch sénonien à microbrèches. Cette série est essentiellement constituée de marne se débitant en fine pelletes.
- Flysch céno-mano-turonien. Il est formé de phthanite associés à de petits bancs de calcaires.

#### **B- Les flyschs supérieurs :**

Ces flyschs surmontent les précédents. Ils sont plus ordonnés, mais la série est renversée.

### II.9.3.1.1. Le Miocène :

Il s'agit de formations du Miocène inférieur post-nappe. Cette puissante formation

continentale se développe largement dans la vallée de la Soummam. Ce Miocène forme la majeure partie des affleurements de bordure de la plaine.

Les dépôts miocènes sont essentiellement formés d'assises conglomératiques jaunâtres à rouge brique avec des argiles sableuses ainsi que des passées argileuses et des grés. Les formations sont caractérisées par d'importantes variations de facies. Elles sont recouvertes sur le plateau de Bled el Madjen par des formations quaternaires.

### II.9.3.1.2. Le Quaternaire :

Dans le secteur d'étude le Quaternaire est représenté par divers types de dépôts :

- Les alluvions actuelles, constituées par des limons sablonneux résultant des crues. Les alluvions occupent le fond de l'oued Ed Dous.
- Les alluvions anciennes des vallées sont représentées par des dépôts caillouteux, limoneux et argilo-sableux.
- Les terrasses anciennes, ce sont des formations caillouteuses composées de conglomérats et degrés à ciment argileux. Ces formations constituent la majeure partie de la couverture de la plaine du Hamza. A ces formations s'ajoutent les dépôts de cônes de déjections et éboulis de pentes.

### II.9.4. Litho-stratigraphie :

L'histoire géologique et structurale du Tell, du Trias au Quaternaire, peut se diviser en trois grandes périodes :

a- Une période préecto-génique, débutant au Trias et s'achevant à l'Eocène moyen. Cette période est marquée par la prédominance de la sédimentation. les bassins sédimentaires sont alors sensiblement d'orientation Ouest-Est.

b- Une période tecto-génique, de l'Eocène supérieur au Miocène inférieur, pendant laquelle se produisent les dislocations. Cette période voit la mise en place des flyschs et des dépôts de faciès conglomératiques.

c- Une période orogénique, débutant par le dépôt du Miocène inférieur post-nappe, jusqu'à l'époque actuelle. Cette période correspond à la formation des reliefs et la mise en place des vallées. C'est alors qu'interviennent les puissantes phases d'érosion. L'érosion post-Miocène et anti-Quaternaire serait alors à l'origine de l'absence du dépôt de tout le Pliocène dans la zone d'étude.

### II.9.4.1. Le Quaternaire :

Comme le montre la carte géologique, le quaternaire couvre une large partie des plateaux et au bord des oueds. Il est représenté par les alluvions supérieures et inférieures des plateaux et par les alluvions récentes dans les lits des oueds. Il est composé par des couches sableuses et graveleuses et des croutes calcaires, ces alluvions sont d'épaisseur assez faible.

### **II.9.5. Le Miocène post-nappe :**

La vaste dépression Sahel-Soummam est remplie de sédiments continentaux puissants, subhorizontaux. Ils sont constitués de poudingues, de galets de sables ou d'argiles compactes.

#### **II.9.5.1. Le Crétacé :**

Le crétacé est représenté par des dépôts marins représentés par une alternance de Marnes grises, de grès gris foncé, de calcaires et localement par des schistes argileux et de gypse.

#### **II.9.5.2. Le Jurassique :**

Il est représenté au Nord, dans le Djurdjura. Il comprend à la base, des dolomies cavernueuses, principalement développées au Nord du djbel Taouila et représentant l'Infralias. Puis une puissante assise d'épaisseur inconnue de calcaire compacte, gris clair, parfois roses de texture fine, à stratification souvent indistincte, dont la partie supérieure renferme des bancs bien stratifiés à nodules de silex assez rares, avec des empreintes d'ammonites non identifiées, représentant le Lias inférieur et moyen. Enfin, un Lias supérieur représenté par des calcaires et marnes, renfermant des microfossiles et des macros fossiles.

#### **II.9.5.3. Le Trias :**

Il est constitué par des argiles bariolées, du gypse, des cargneules ou des dolomies et des roches vertes.

### **II.9.6. Tectonique :**

Représentés les ensembles structuraux de la région d'étude. Nous distinguons des formations autochtones et allochtones :

#### **II.9.6.1. Formations autochtones et parautochtones :**

##### **II.9.6.1.1. Miocène poste-nappes :**

Cet ensemble structural occupe toute la dépression de la vallée de l'Oued Soummam.

##### **II.9.6.1.2. Crétacé supérieur (Paléocène à Cénomaniens) :**

Cette unité structurale est représentée par des marnes grises et schistes à bancs de calcaires.

##### **II.9.6.1.3. Crétacé inférieur (Néocomien à Albien) :**

Situé au-dessus de l'ensemble structural précédent, se compose de marnes, d'argiles schisteuses et de grès.

#### **II.9.6.2. Formations allochtones :**

##### **II.9.6.2.1. Nappe épitellienne :**

Cette nappe chevauche vers le Sud de la région d'étude la nappe Sud tellienne, et vers l'Est de Bordj Bou-Arredj elle repose sur le substratum autochtone.

##### **II.9.6.2.2. Nappe sous numide :**

Cette nappe renferme des dépôts sénoniens à micro brèches, des lits de galets à éléments Jurassiques.

## Chapitre II : L'hydrologie et l'hydrogéologie

---

### II.9.6.2.3. Nappe Numidienne :

Cette nappe correspond essentiellement à l'oligocène de faciès « numidien ».

### II.9.6.2.3. Nappe du flysch :

Au Sud de la chaîne du Djurdjura, cette nappe forme une bande continue d'Ouest en Est.

La région d'étude s'étend sur du Miocène post-nappe, coincée entre le flysch du Nord (elle-même en contact anormal avec l'Oligocène kabyle du Djurdjura) et le Crétacé inférieur, lui-même en contact anormal avec le Crétacé supérieur. D'après M.Kieken, on distingue deux phases tectoniques :

- La première phase tectonique Eocène supérieur-Oligocène supérieur
- La deuxième phase tectonique débute à l'Oligocène-Miocène et se termine au Miocène inférieur.

## II.10. Conclusion :

La wilaya de Bouira est située au sud-est de la capitale environ 100 km. Les données climatologiques ainsi que les résultats obtenus par différentes méthodes, permettent d'attribuer à la région étudiée un climat semi-aride, avec les caractéristiques suivantes :

- la température moyenne est d'environ 17,5°C.
- La précipitation augmente du Sud vers le Nord avec un régime pluvial marqué par deux pics, le premier en décembre et le second en février- mars.
- La lame précipitée moyenne annuelle estimée par 443.75 mm.

Le Climat est caractérisé par deux saisons :

- Saison sèche, qui s'étend du mois d'avril au mois octobre.
- Saison humide, tempérée qui s'étend du mois d'octobre au mois d'avril.

L'indice d'aridité de Martonne et FAO avec le diagramme Ombrothermique permet de classer la région de Bouira en climat semi-aride.

L'étude litho-stratigraphique nous a permis d'avoir une idée sur les formations présentes au niveau du plateau d'El Asnam. De cette étude, il ressort que le plateau est essentiellement constitué d'alluvions anciennes et récentes reposant anormalement sur des formations Miocène continentales.

## CHAPITRE III :

### Présentation des données

## CHAPITRE III : Présentation des données

### III.1. Introduction :

L'évaluation de la qualité des eaux souterraines d'une région est d'une importance capitale pour planifier le bon développement des eaux souterraines. La demande accrue des eaux souterraines pour les différentes activités (agricoles, industrielles et urbaines), nécessite un suivi régulier de la qualité des eaux. Après l'identification des sources de contamination, il est essentiel de surveiller la qualité des eaux souterraines régulièrement pour gérer durablement les ressources en eau souterraine, et de trouver les bons moyens pour les protéger.

La cartographie est l'un des outils les plus efficaces pour communiquer des informations sur l'état global de la qualité de l'eau à la communauté des utilisateurs concernés et aux décideurs. Ainsi, elle devient un outil important pour l'évaluation et la gestion des eaux souterraines. Une cartographie de la qualité des eaux souterraines fondée sur des moyens technologiques, tels que l'analyse spatiale, la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ; peut servir comme un outil indispensable pour évaluer la qualité des eaux souterraines.

### III.2. Le système d'informations géographiques :

Un système d'informations géographiques (SIG) est un système d'information capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et des cartes. Le terme fait référence aux outils logiciels. Cependant, le concept englobe est lié à l'utilisation de : logiciels, données, matériels et savoir-faire.

#### A-Fonctionnalités :

Les principales fonctionnalités d'un SIG sont les suivantes :

- Affichage ou production de cartes
- Analyse des données pour créer une nouvelle information
- Acquisition des données
- Abstraction ou représentation des éléments choisis
- Archivage

#### B-Les données d'un SIG :

Les données géographiques possèdent quatre composantes :

- Les données géométriques renvoient à la forme et à la localisation des objets ou phénomènes.
- Les données descriptives (ou attributaires) renvoient à l'ensemble des attributs descriptives des objets et phénomènes.
- Les données de styles renvoient aux paramètres d'affichage des objets (type de trait, couleur,...).
- Les métadonnées associées, c'est à dire les données sur les données (date d'acquisition, nom du propriétaire, méthode d'acquisition, ...).

#### C-Le système de coordonnées :

Le système de coordonnées terrestres (système de référence géodésique et projection) permet de positionner les objets les uns par rapport aux autres.

### **III.3. Quantum GIS ou QGIS :**

Le Quantum GIS, plus couramment appelé QGIS, est un logiciel « open source », élaboré par une communauté de développeurs et destiné au traitement des données géographiques.

Pour notre Projet on a utilisé QGIS version 2.18 et les données de base peuvent être téléchargées à partir de plusieurs serveurs comme Openstreetmap, NASA, UNESCO, Googlemap..... ect (on utilise Openstreetmap).

#### **III.3.1. Barres des menus, barres outils et barre de statut :**

L'interface de QGIS affiche de manière standard :

- Des menus situés en haut de l'écran.
- Des barres d'outils repositionnables contenant des outils regroupés par familles de fonctionnalités.
- Une barre de statut située en bas de l'écran, donnant un certain nombre de paramètres relatifs à l'affichage de la carte et au projet en cours : coordonnées du curseur, système de coordonnées, échelle, etc.

#### **III.3.2. Fenêtre "couches" :**

La fenêtre "couches" liste les couches présentes dans la carte. On peut ainsi :

- Définir la visibilité ou non de chaque couche (cocher ou décocher la case située devant le nom).
- Modifier l'ordre d'empilement des couches (cliquer et déplacer le nom de la couche).
- Permettre l'accès aux propriétés de la couche (double-cliquer sur le nom de la couche).

#### **III.3.3. Fenêtre "carte" :**

Cette fenêtre sert à :

- Afficher les couches listées dans la fenêtre « couches ».
- Effectuer des zooms + / -.
- Déplacer la zone.
- Effectuer des opérations sur les objets.

#### **III.3.4.Fenêtre "données attributaires" :**

Cette fenêtre, qui est affichée par la commande « Ouvrir la table d'attributs » examinée plus loin, sert à :

- Visualiser sous forme de table les données attributaires de la couche sélectionnée dans la fenêtre « couches ».
- Sélectionner des enregistrements dans la table.
- Effectuer des opérations sur la sélection.
- Modifier les valeurs des données attributaires.

### **III.4. Les étapes de cartographie par QGIS :**

#### **III.4.1. Le projet :**

Pour commencer le travail :

- Cliquer sur projet/propriétés du projet.
- Ouvrir l'onglet général et mettre un titre au projet «cartographie de qualité des eaux souterraine».
- Cocher «Degrés» et choisir «enregistrer les chemins relatifs».
- Ouvrir l'onglet «SCR» ou système de coordonnées de référence pour choisir le système de projection dans lequel on va travailler.

## Présentation des données

-Cocher «Activer la projection à la volée» ; cela permet de superposer des couches de projection différentes.

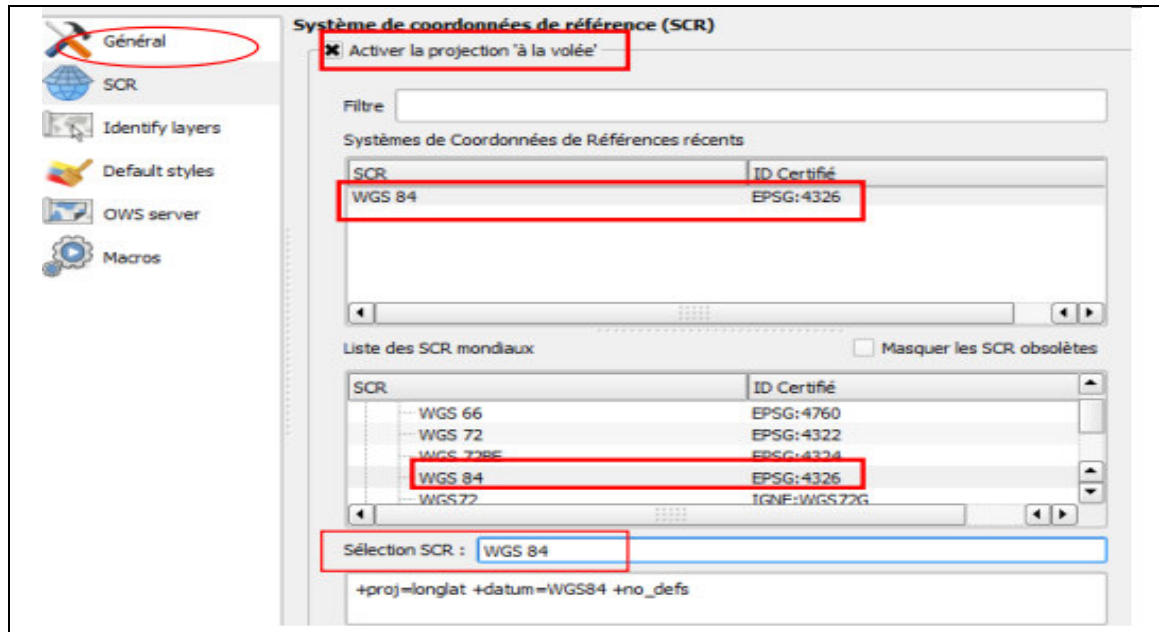


Figure III.1 : Paramètres du système de coordonnées pour QGIS.

### III.4.2. Télécharger la carte (donnée de base) à partir de OpenStreetMap :

QGIS offre la possibilité de télécharger directement les données OpenStreetMap depuis son interface.

A-Sous QGIS, dans le menu « Vecteur », sélectionnez l'option « OpenStreetMap », puis sélectionner l'option « Télécharger des Données OSM ».

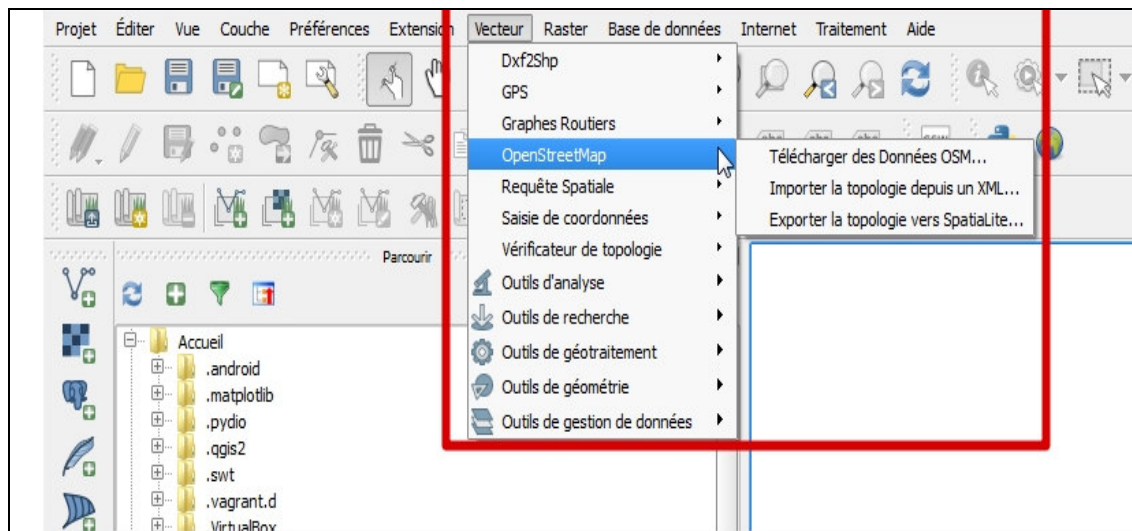


Figure III.2 : Télécharger une carte à partir de OpenStreetMap.

B-Ensuite préciser l'emprise de téléchargement :

L'emprise de téléchargement est choisie selon trois méthodes :

- Depuis le canevas de la carte : utilise l'emprise actuelle de la carte.
- Depuis la couche : par la sélection d'une couche ou l'emprise et le même pour notre projet.
- Manuel : en spécifiant manuellement les coordonnées de la zone à exporter.

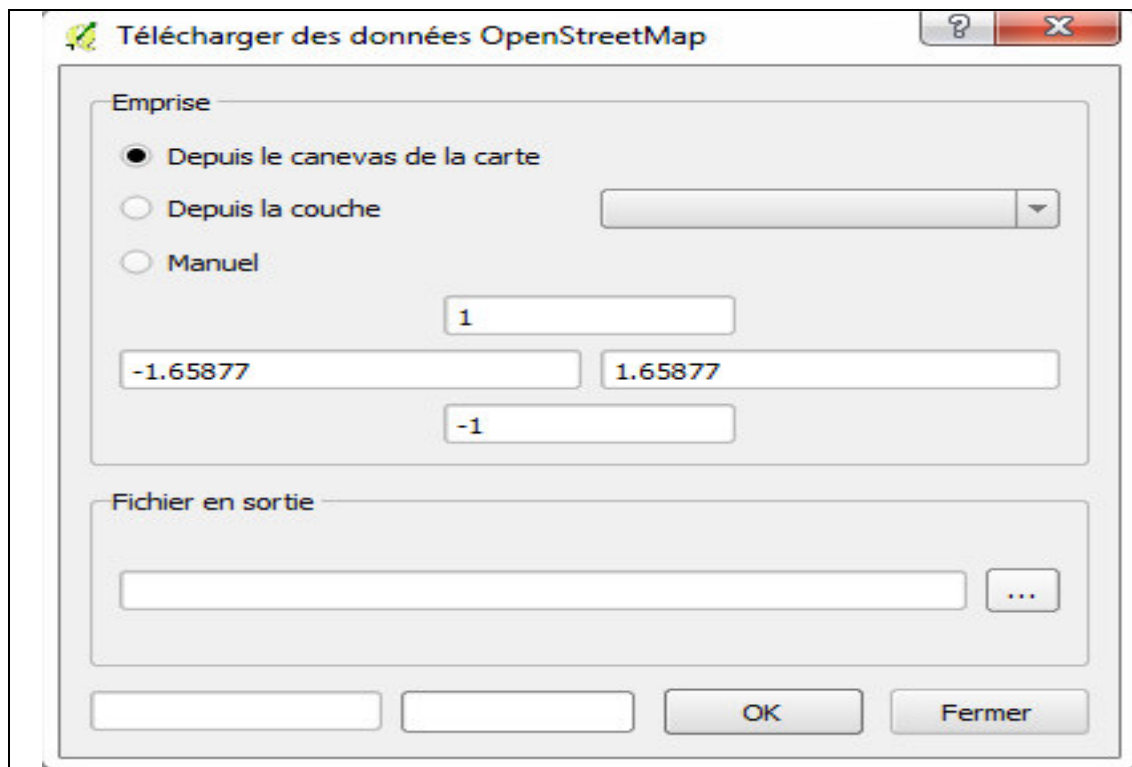


Figure III.3 : Lancement de téléchargement de la Carte.

C-Donnez dans QGIS une destination et un nom au fichier de sortie, puis cliquez sur OK pour lancer le téléchargement.

### III.4.3. Création des couches :

Pour crée une couche :

- Il faut d'abord créer la structure de la couche et créer les entités graphiques.
- Localisation des points représentant les forages (couche forage).
- Cliquer sur : couche --- créer une couche — nouvelle couche shapefile.
- Choisir le type de couche : point.

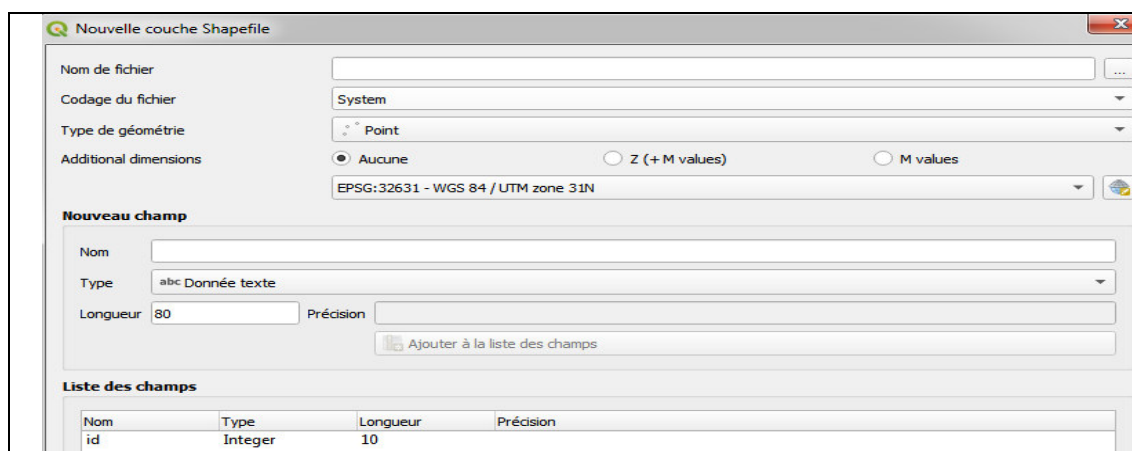


Figure III.4 : Création des couches.

-Ou bien cliquer directement sur l'icône –nouvelle couche shapefile- est choisie le type de couche à créer.

## Présentation des données



Figure III.5 : Icône de création des couches.

-Définir la structure de la nouvelle table (les champs).

Figure III.6 : Création des champs.

Les champs créés peuvent être de type : i)-nombre entier, ii)-nombre réel, iii)-texte (chaîne de caractères).

Après avoir terminé la création de tous les champs :

- Clique sur OK.
- Choisir le dossier où la couche sera enregistrée.
- Puis cliquer sur enregistrer.

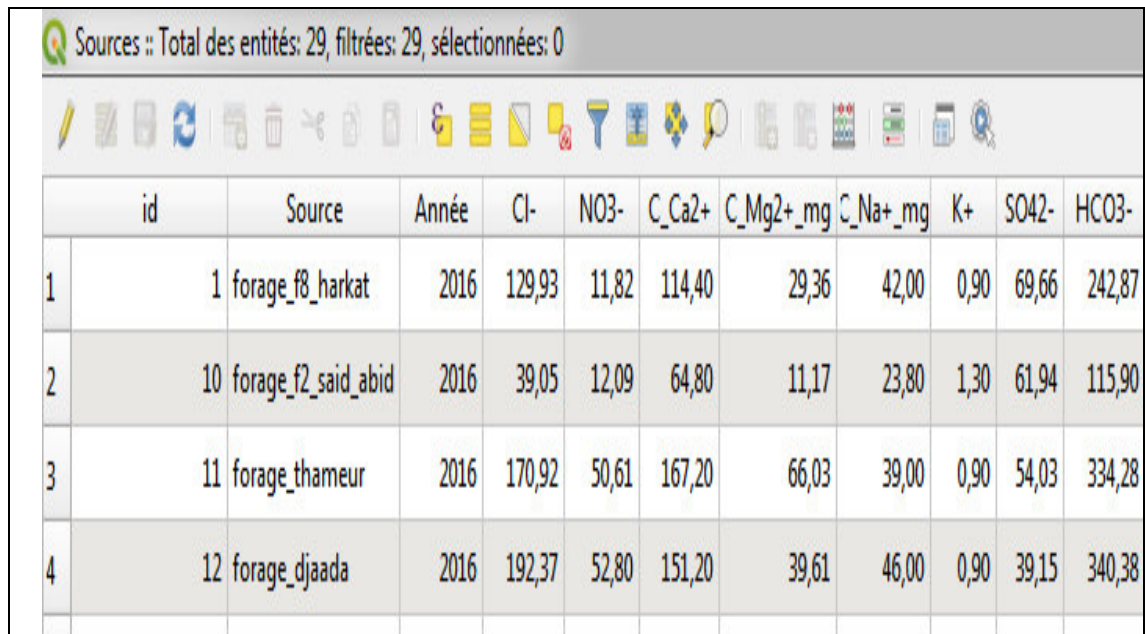
### III.4.4. Ouvrir et modifier la table d'attributs :

-Cliquer sur une couche Vecteur avec le bouton droit de la souris puis ouvrir la table d'attributs.

-Activer le mode d'édition, puis à l'aide des outils en haut de fenêtre vous pourrez sélectionner, supprimer des entités, ajouter ou supprimer des colonnes...

-La table d'attributs permet d'insérer les paramètres nécessaires dans chaque forage par utilisation de plusieurs champs selon les caractéristiques nécessaires (exemple : la concentration des éléments majeurs).

## Présentation des données



Sources :: Total des entités: 29, filtrées: 29, sélectionnées: 0

|   | id | Source              | Année | Cl-    | NO3-  | C_Ca2+ | C_Mg2+_mg | C_Na+_mg | K+   | SO42- | HCO3-  |
|---|----|---------------------|-------|--------|-------|--------|-----------|----------|------|-------|--------|
| 1 | 1  | forage_f8_harkat    | 2016  | 129,93 | 11,82 | 114,40 | 29,36     | 42,00    | 0,90 | 69,66 | 242,87 |
| 2 | 10 | forage_f2_said_abid | 2016  | 39,05  | 12,09 | 64,80  | 11,17     | 23,80    | 1,30 | 61,94 | 115,90 |
| 3 | 11 | forage_thameur      | 2016  | 170,92 | 50,61 | 167,20 | 66,03     | 39,00    | 0,90 | 54,03 | 334,28 |
| 4 | 12 | forage_djaada       | 2016  | 192,37 | 52,80 | 151,20 | 39,61     | 46,00    | 0,90 | 39,15 | 340,38 |

Figure III.7 : Insertion des données dans la table d'attributs

Pour voir tous les champs d'une couche : cliquer sur le bouton droit, et choisir : propriété.

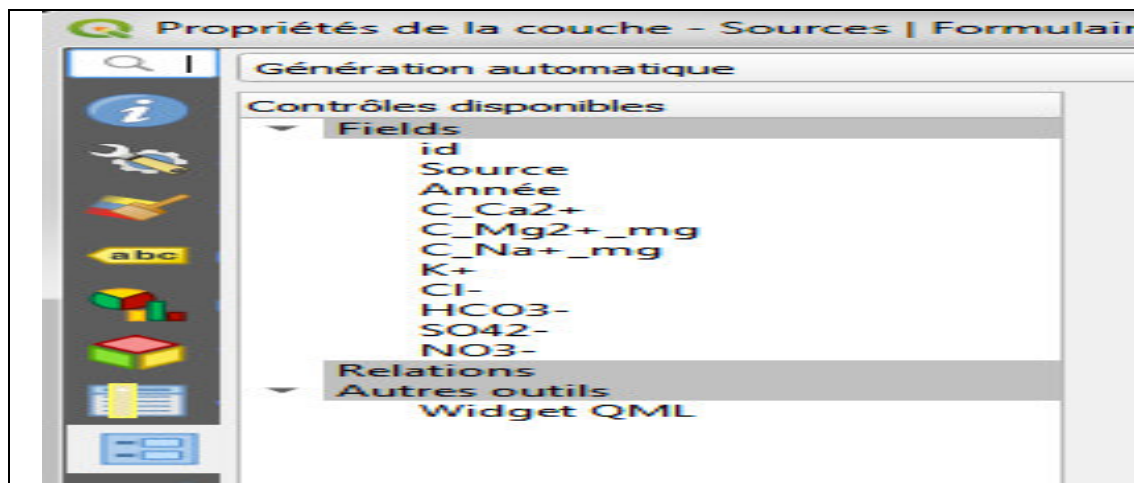


Figure III.8 : Ouverture des champs d'une couche.

### III.4.5. La carte :

A-Pour Cree la carte de chaque élément majeur :

-il faut utiliser le composeur d'impressions : qui se trouve à : Projet >> Nouveau Composeur d'impression.

## Présentation des données

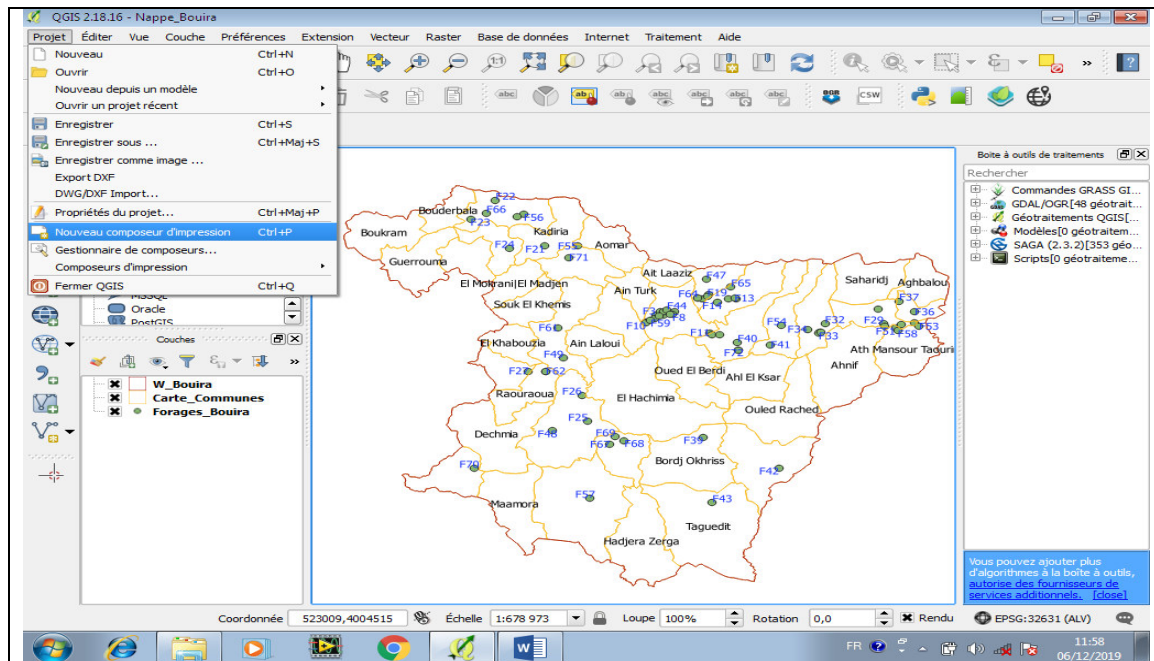


Figure III.9 : Ouverture de fenêtre de création des cartes

B-Pour choisir la position de la carte sur la feuille :

-définir, sur le rectangle blanc devant nous, où sera placée la carte ; pour cela, on choisit : Mise en page >> Ajouter une carte.

-puis dessiner le rectangle qui représentera notre carte finale en cliquant et en déplaçant la souris.

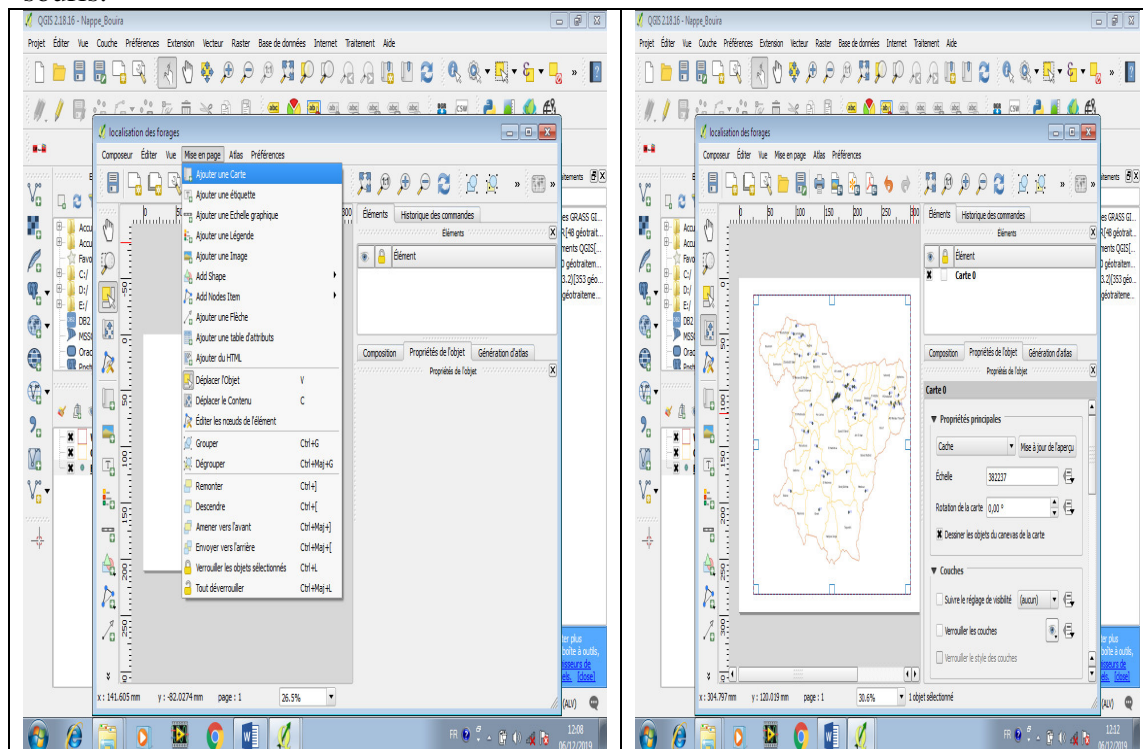


Figure III.10 : Ajouter une carte

C-Pour ajouter des éléments à la carte (exemple : une légende, une échelle graphique, une image, une forme, une flèche) :

## Présentation des données

-aller au menu : Mise en page.

-les éléments ajoutés seront tous paramétrables dans le panneau de droite, comme :

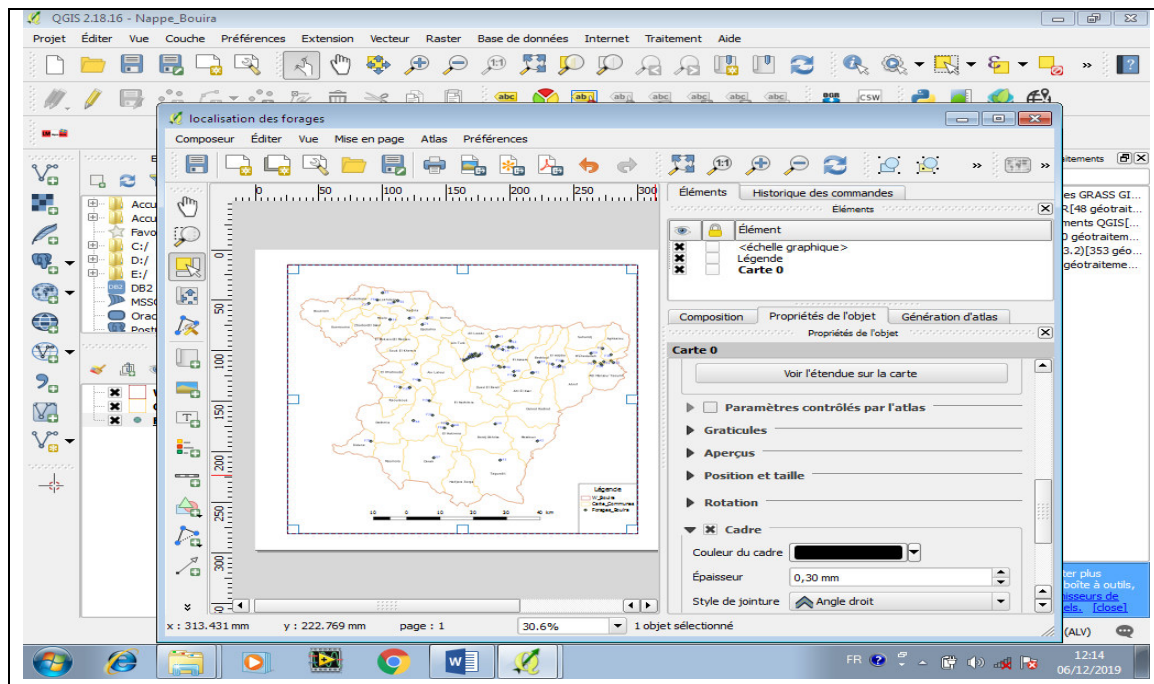


Figure III.11 : Création de la légende et l'échelle

D-Pour ajouter un titre :

-aller à : **Mise en Page >> Ajouter une étiquette**, ensuite tracer le cadre du titre, puis vers direction le panneau de droite pour taper le titre lui-même, modifier la police etc ...

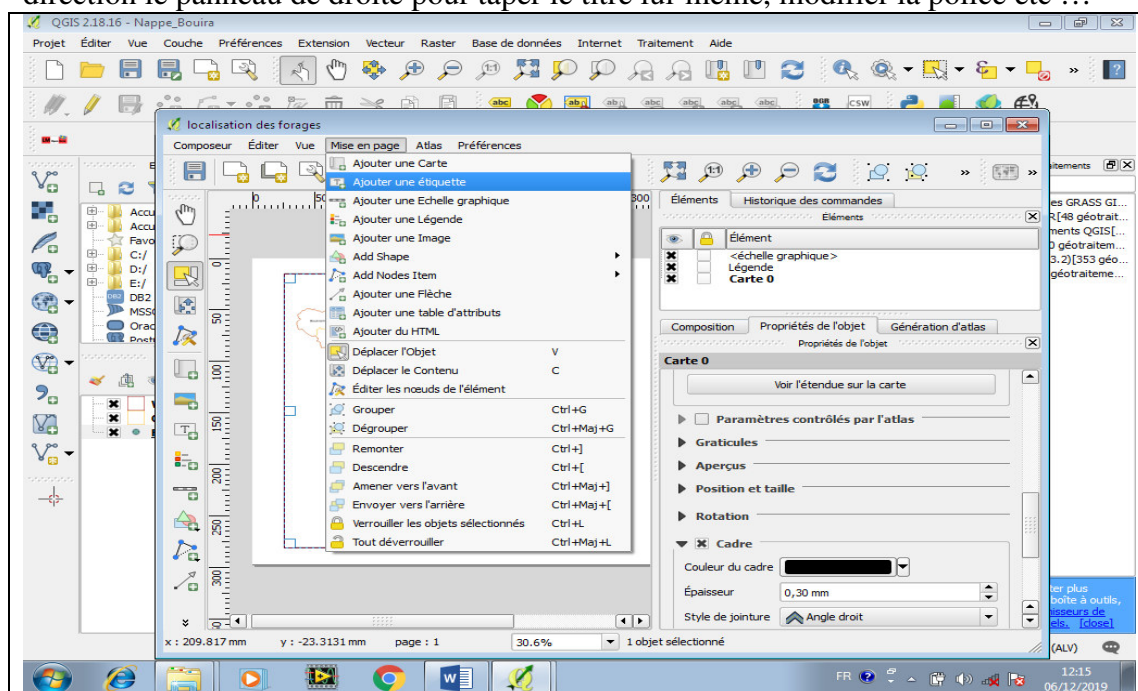


Figure III.12 : Création de titre de la carte

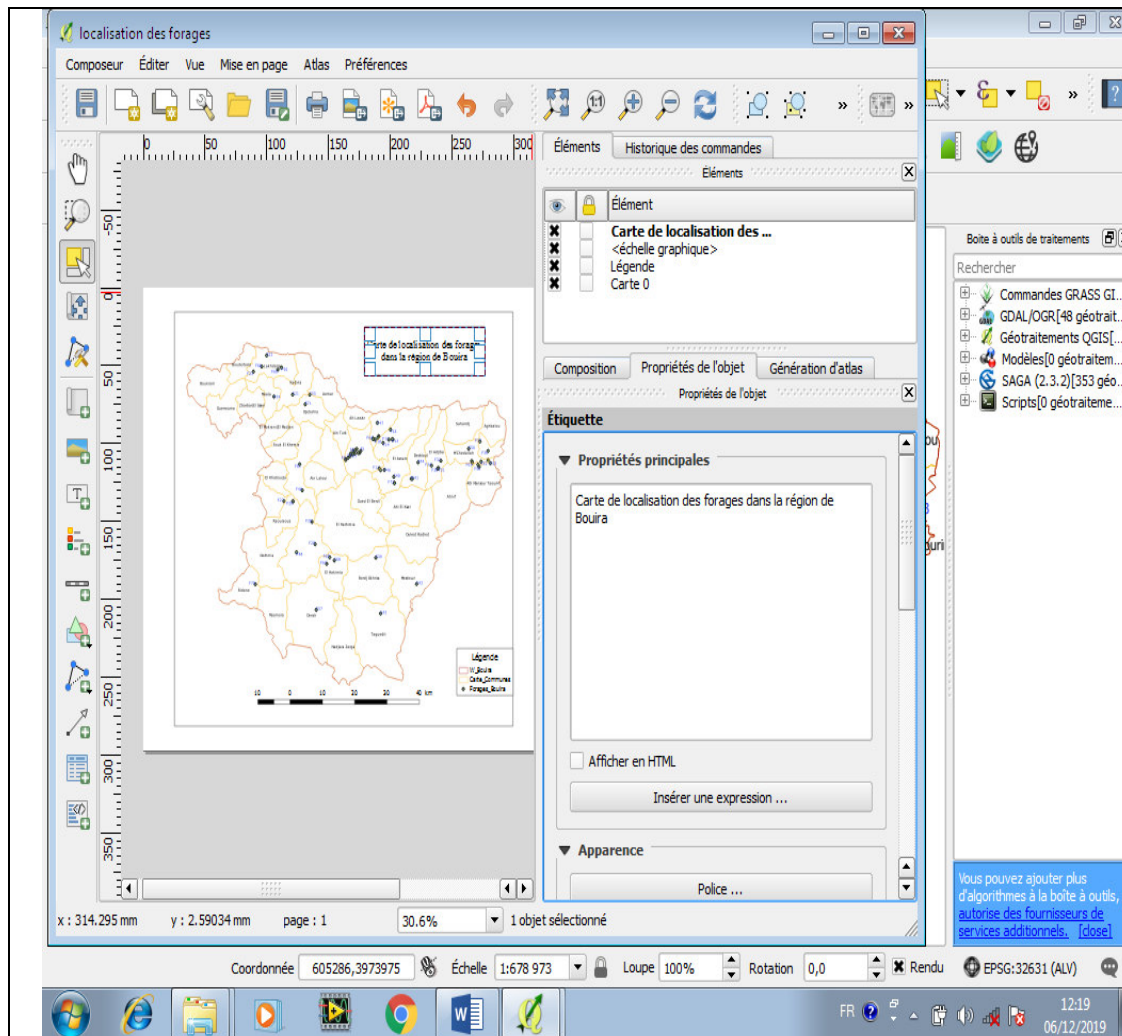


Figure III.13 : représentation d'une carte avec le titre, légende et l'échelle.

### III.4.6. Exporter la carte :

On peut exporter la carte dans le format qui nous intéresse, dans le but de la mettre dans une publication, de l'imprimer ou de l'envoyer par email (créer une image png,PDF..).

Pour cela, choisir : **Composeur >> Exporter comme image** ou PDF Choisissez-lui un nom, un endroit où l'enregistrer puis garder les options de bases proposées par QGIS pour l'export.

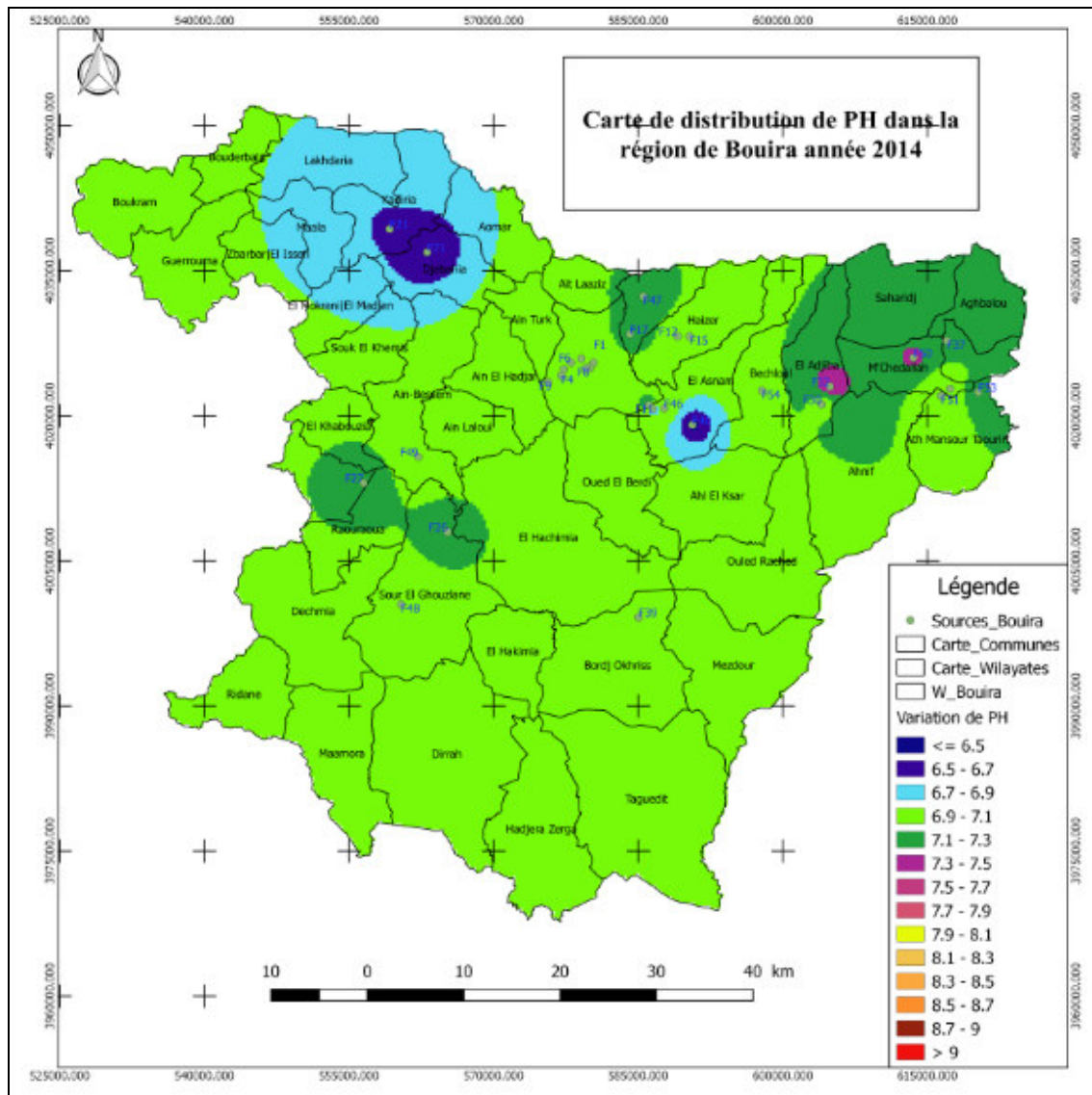


Figure III.14 : Carte finale exporter comme image.

### III.5. Conclusion :

La démocratisation de l'informatique et le développement des techniques numériques de collecte, de gestion et de dissémination des données, combinés avec l'application des nouveaux besoins en informations pour la protection de l'environnement ; ont contribué tous à l'émergence des SIG.

Le sous-système graphique permet à l'utilisateur de produire des documents graphiques tels que les cartes, rapports et graphiques.

## Chapitre IV : La Cartographie

## Chapitre IV : La Cartographie

### IV.1. Introduction :

L'eau souterraine est généralement de meilleure qualité que l'eau de surface, en raison du pouvoir épurateur du sol. Cette eau présente ainsi un grand intérêt comme source d'approvisionnement en eau potable. D'ailleurs, la qualité de l'eau souterraine est souvent évaluée en fonction de sa conformité aux normes de qualité d'eau potable donc c'est l'appréciation des concentrations des différentes substances chimiques qui la composent vis-à-vis des concentrations de référence. Ces normes et recommandations déterminent dans quelle mesure une eau est propre à la consommation humaine. Des facteurs naturels ou humains viennent néanmoins affecter sa qualité par endroits, voire compromettre son usage.

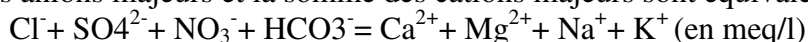
La cartographie de la qualité et de la pollution des eaux souterraines joue un rôle primordial dans la gestion des ressources naturelles. Chaque phénomène hydrologique, géologique ou autre, possède un effet sur les caractéristiques des eaux souterraines et qui varie dans le temps et dans l'espace.

### IV.2. Les données de qualité de la région de Bouira :

Les données de qualité des eaux souterraines sont obtenues à partir du laboratoire ADE Bouira, pour la période (2014-2018) où certaines données manquent (celles relatives aux concentrations des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  pour les quatre années (2014, 2015, 2017, 2018)).

Les paramètres qui sont analysés sont le pH, la conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), la dureté, la turbidité, les éléments majeurs ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , et les nitrates  $\text{NO}_3^-$ ).

Afin de valider ces analyses, la balance ionique doit être équilibrée en admettant une erreur acceptable de 10%. Une erreur sur la balance ionique peut provenir d'une erreur analytique ou d'une minéralisation particulière. La balance ionique s'appuie sur le principe que la somme des anions majeurs et la somme des cations majeurs sont équivalents :



L'erreur est donnée par la formule suivante :

$$\text{BI} = (\sum \text{anions} - \sum \text{cations}) / (\sum \text{cations} + \sum \text{anions}) * 100$$

La limite pour une analyse exploitable est fixée à un écart maximal de 10%.

- - 1% < BI < 1% : Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- - 5% < BI < 5% : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- - 10% < BI < 10% : Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- BI < -10% ou BI > 10% : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Après l'analyse des données, on rejette quelques forages où il y a dépassement de la valeur acceptable de balance ionique :

- 04 forages en 2014
- 10 forages en 2015
- 08 forages en 2016
- 01 forages en 2017
- 02 forages en 2018

## La cartographie

Tableau IV.1 : Liste des forages de la région de Bouira

| Forage                |     | Coordonnée (WGS) |             |
|-----------------------|-----|------------------|-------------|
|                       |     | x                | Y           |
| Forage f8 Harkat      | F1  | 580352.80        | 4025489.83  |
| Forage f1 Sida Ziane  | F2  | 478450.38        | 4024705.50  |
| Forage f16 Sidi Ziane | F3  | 577250.62        | 4024799.10  |
| Forage f19 Sidi Ziane | F4  | 576998.66        | 4024149.84  |
| Forage f21 Sidi Ziane | F5  | 578552.904       | 4025545.228 |
| NV forage Sidi Ziane  | F6  | 578015.43        | 4025496.516 |
| f1+f2 Sidi Ziane      | F7  | 577849.96        | 4024572.30  |
| Forage f11 Ouadhia    | F8  | 579951.145       | 4024572.30  |
| Forage f1 Said Abid   | F9  | 575646.53        | 4023453.87  |
| Forage f2 Said Abid   | F10 | 575646.53        | 4023203.87  |
| Forage Djaada         | F11 | 586089.98        | 4021122.43  |
| Forage f5 haizer      | F12 | 589061.34        | 4028335.81  |
| Forage f1 Haizar      | F13 | 590111.77        | 4028335.816 |
| Source Haizer         | F14 | 587258.31        | 4027420.97  |
| Forage f2 Haizer      | F15 | 590311.40        | 4028210.214 |
| Forage f4 Taghzout    | F16 | 585913.753       | 4029073.36  |
| f7+f12 Taferka        | F17 | 584111.74        | 4028428.714 |
| h12+h17+f3 Taghzout   | F18 | 584761.174       | 4028226.76  |
| Forage f3 Taghzout    | F19 | 585659.71        | 4027724.06  |
| Forage Oued El-Bardi  | F20 | 582063.31        | 4012334.07  |
| Forage Ouled Laalem   | F21 | 559193.92        | 4039303.364 |
| Source Guegour        | F22 | 551122.97        | 4048927.28  |
| Puits Mahouene        | F23 | 547011.16        | 4044939.78  |
| Forage Lmaala         | F24 | 553392.57        | 4038820.78  |
| Forage Bakouche       | F25 | 566182.75        | 4002481.85  |
| Puits Gueltazarga     | F26 | 554189.94        | 4004918.46  |
| Puits Ain Bidha       | F27 | 556487.70        | 4013045.55  |
| Puits Ouled Zidane    | F28 | 559302.71        | 4013037.00  |
| Forage f51 Mechdala   | F29 | 614444.91        | 4022937.87  |
| Forage f1 Semache     | F30 | 603991.47        | 4021168.90  |
| Forage f2 Semache     | F31 | 604141.63        | 4021218.46  |
| f3 Semache            | F32 | 604874.48        | 4023004.15  |
| f1 E1 Laadjiba        | F33 | 603841.16        | 4021069.34  |
| f2 E1 laajiba         | F34 | 601979.016       | 4021814.70  |
| Forage F1 Chourfa     | F35 | 619528.60        | 4025453.14  |
| f4 Chourfa            | F36 | 619528.60        | 4025453.14  |
| f3 Chourfa(f3+f1)     | F37 | 616979.926       | 4027744.496 |
| f2 Lasnam+ f1 Gue     | F38 | 586490.75        | 4020706.21  |
| f1 Gue                | F39 | 585011.156       | 3999147.24  |
| f3 Lasnam             | F40 | 590597.946       | 4019057.037 |
| f3 Bachloul           | F41 | 596009.93        | 4018580.13  |
| Source Masdour        | F42 | 597354.79        | 3992686.15  |
| Puits Tarfa           | F43 | 589831.81        | 3985408.57  |

## La cartographie

---

|                           |     |            |             |
|---------------------------|-----|------------|-------------|
| Forage F10 Sidi Ziane     | F44 | 579073.92  | 4025917.05  |
| Forage Ouled Belil        | F45 | 579551.134 | 4024942.21  |
| Forage Thameur            | F46 | 587689.01  | 4020767.62  |
| Melange F3+F1 Taferka     | F47 | 585494.07  | 4032337.19  |
| Forage Souagui            | F48 | 560376.56  | 4000499.51  |
| Source Ben Youness        | F49 | 562178.17  | 4015749.89  |
| Source Noir               | F50 | 613516.55  | 4025985.58  |
| Forage Arkoub Taourirt    | F51 | 616382.54  | 4022063.13  |
| Puit Safia Tourirt        | F52 | 617344.83  | 4022796.37  |
| Forage Ouled Bouali       | F53 | 620247.11  | 4022420.72  |
| Forage F1 Bechloul        | F54 | 597797.46  | 4022604.15  |
| Forage Boulerbah          | F55 | 564493.82  | 4039287.50  |
| Puit P2 Merdja            | F56 | 555713.94  | 4045963.64  |
| Puit Khlifat              | F57 | 566533.33  | 3986330.24  |
| Puit Thazrourt Taoururt   | F58 | 616749.00  | 4021530.84  |
| F13 Didi Ziane            | F59 | 576397.45  | 4023751.63  |
| Puits Marhanian           | F60 | 55459.79   | 4045451.68  |
| Source Kraimia            | F61 | 561355.66  | 4022147.20  |
| Puits P3 Ouled Zidane     | F62 | 559302.676 | 4013027.00  |
| Forage Raffor             | F63 | 614646.72  | 4022537.35  |
| F7 Taghzout               | F64 | 584161.75  | 4028428.56  |
| Forage F' Taferka         | F65 | 589549.50  | 4030392.17  |
| Puits Mardja              | F66 | 549589.18  | 4046182.796 |
| F Chaabet Sakran Maamoura | F67 | 569763.549 | 3997654.65  |
| Forage Belhdoom           | F68 | 572139.69  | 3998477.16  |
| Puits Rabhi               | F69 | 570677.45  | 3999253.98  |
| Forage Ridane             | F70 | 547624.29  | 3992628.19  |
| Puits P2 Aomar            | F71 | 563092.07  | 4036906.70  |
| Melange f2+f3 El-Asnam    | F72 | 590783.27  | 4017532.00  |

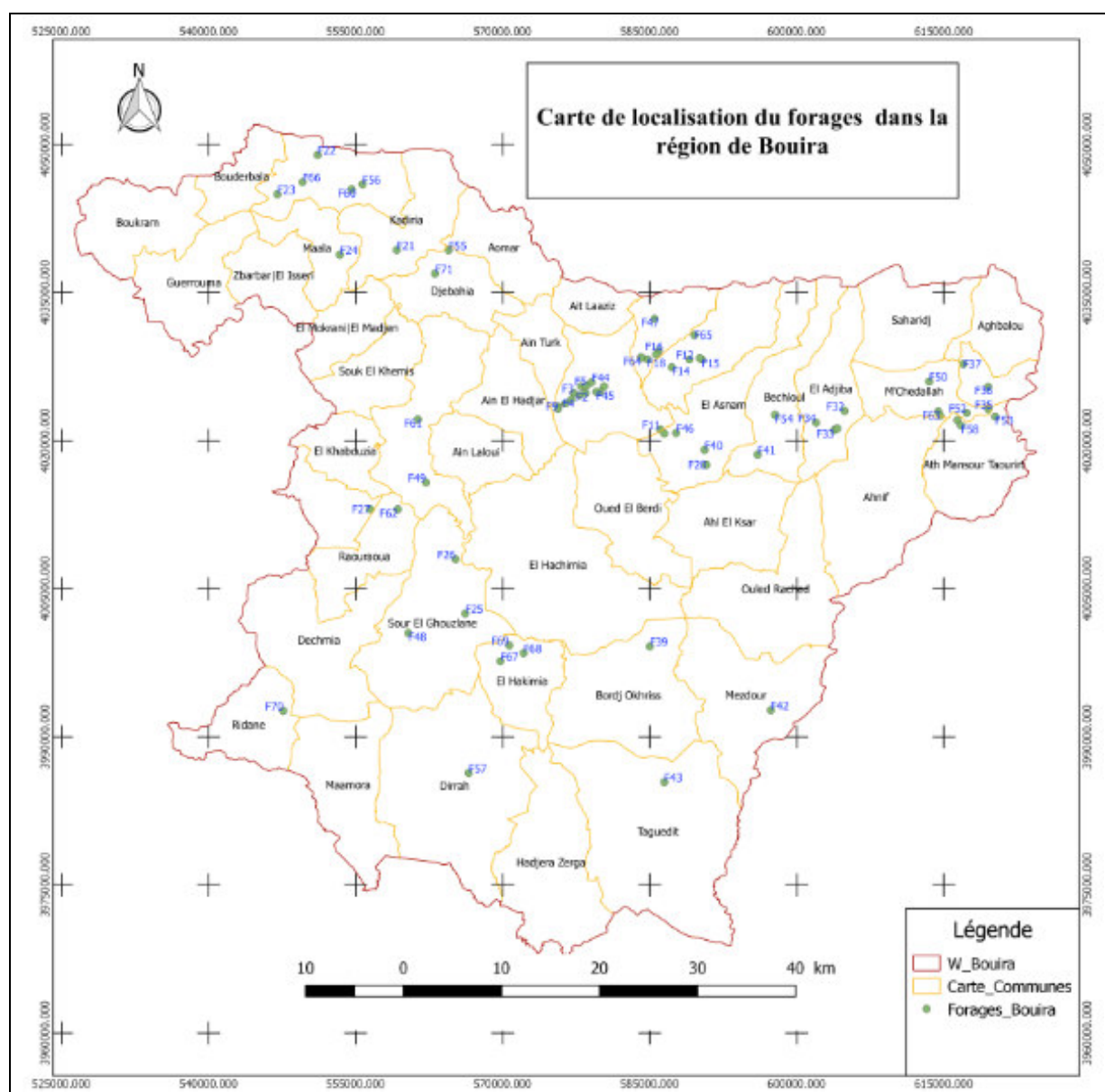


Figure IV-1 : Localisation des forages de la région de Bouira

## IV.3. La Cartographie :

### IV.3.1. Paramètres physiques

#### IV.3.1.1. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est définie comme étant son aptitude à se laisser traverser, plus ou moins vite, par un courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la teneur en sels dissous dans cette eau, et dont les valeurs représentatives sont prises à des températures voisines à 20°C et exprimées en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

D'après la réglementation algérienne, il est recommandé pour le cas de la conductivité électrique, une valeur maximale de 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans une eau destinée à la consommation humaine.

La cartographie

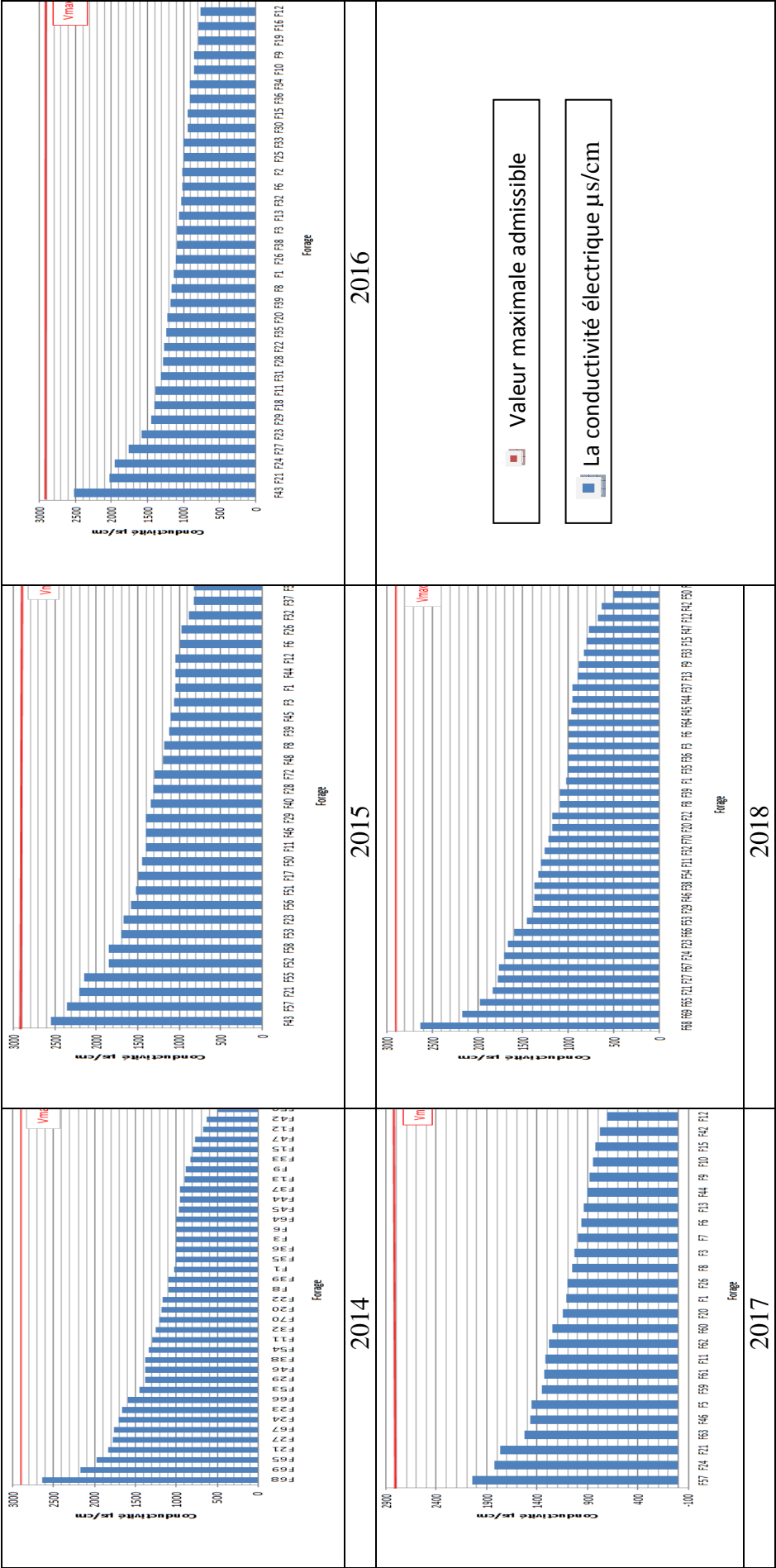
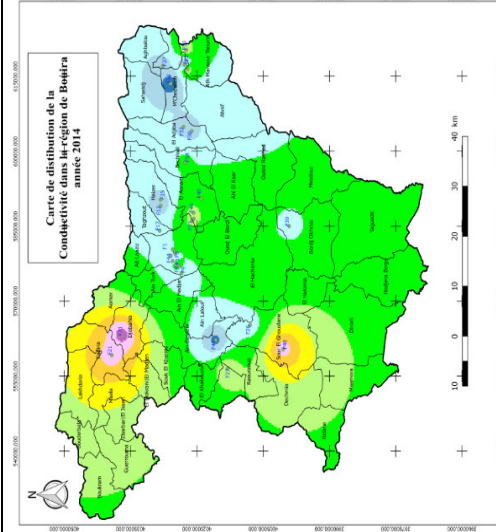
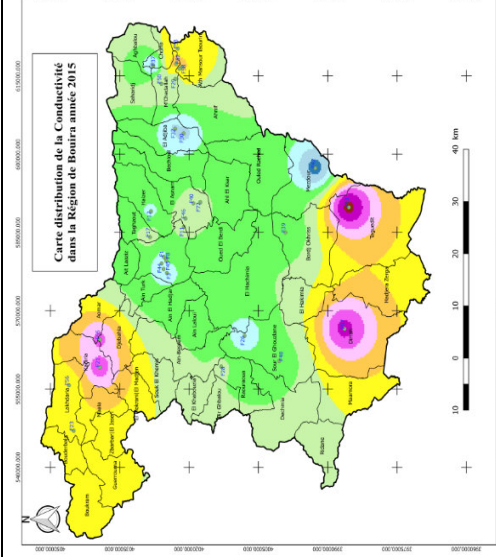


Figure IV.2 : Histogrammes de variation de la Conductivité Electrique entre les sites a étudié (2014-2018).

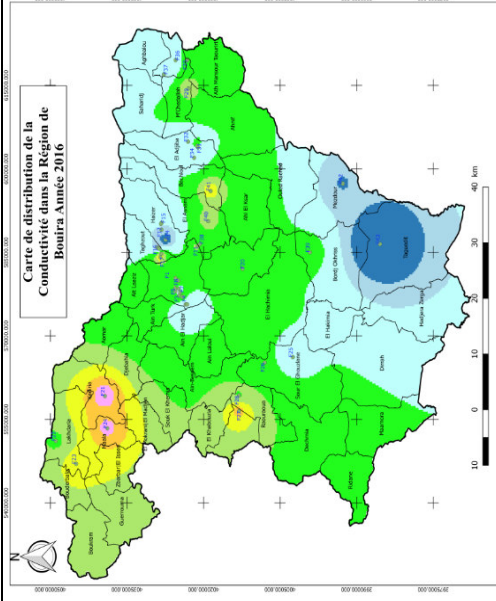
# La cartographie



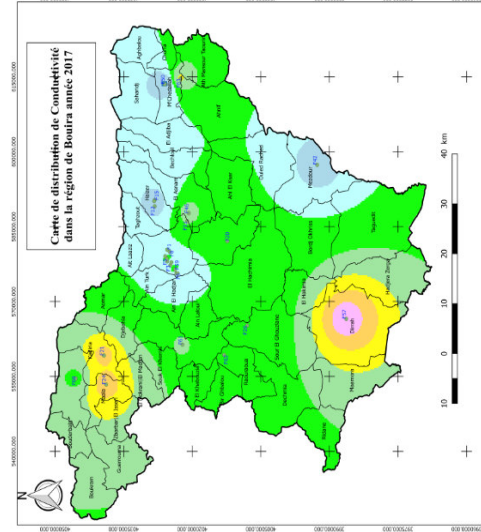
2014



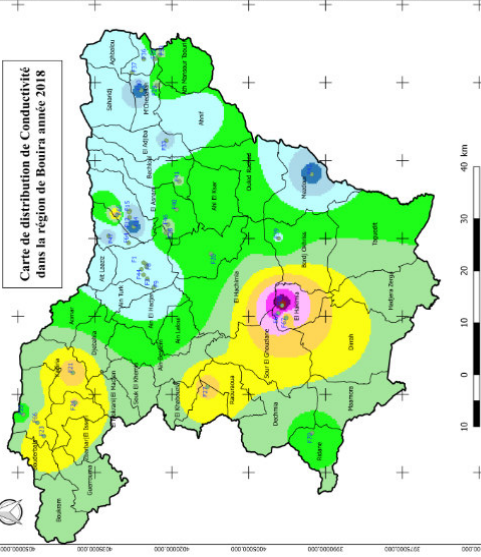
2015



2016



2017



2018

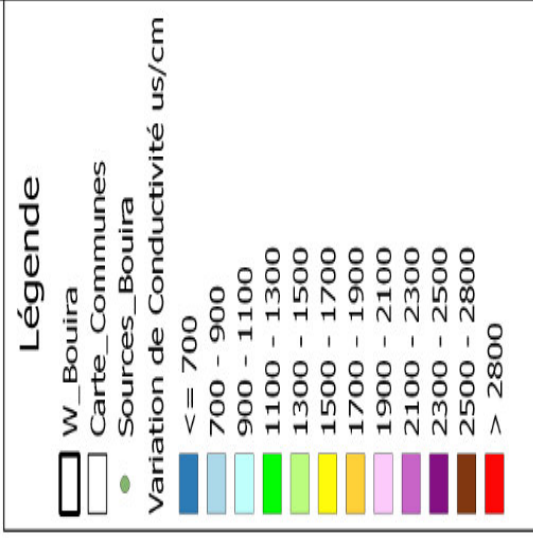


Figure IV-3 : Cartes de distribution de la conductivité électrique (2014-2018).

## La cartographie

Les cartes de distribution de la conductivité électrique dans la région de Bouira (figure IV-3) montrent que le Sud de la région et le Nord-Ouest ont des Valeurs élevées de conductivité. En comparant les cinq ans, on peut noter une augmentation de la conductivité dans la zone Sud de la région d'une année à l'autre.

Le degré de minéralisation varie entre important dans le côté Est et excessive dans le côté Ouest (Voir Tableau IV-2).

Tableau IV-2 : Classification des eaux de boisson en fonction de la conductivité

| Conductivité<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Degré de<br>Minéralisation | Qualité de<br>l'eau |
|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| $C < 100$                                   | Très faible                | Excellente          |
| $100 < C < 200$                             | Faible                     | Excellente          |
| $200 < C < 400$                             | Peu accentue               | Excellente          |
| $400 < C < 600$                             | Moyenne                    | Bonne               |
| $600 < C < 1000$                            | Important                  | Utilisable          |
| $C > 1000$                                  | Excessive                  | Utilisable          |

### IV.3.1.2. La Dureté :

Les principales sources naturelles de la dureté de l'eau sont les roches sédimentaires ainsi que l'infiltration dans le sol et le ruissellement. En général, les eaux dures proviennent des régions où la couche arable est épaisse et où les roches sont calcaires. L'eau souterraine est généralement plus dure que l'eau de surface [15].

Les industries de produits chimiques inorganiques et les industries minières représentent les deux principales sources industrielles de la dureté de l'eau.

Une eau très douce (faible teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) peut poser des problèmes de décalcification, par contre, une eau trop dure devient impropre à la consommation.

La concentration maximale admissible dictée par les normes Algériennes pour l'eau potable est de 500 mg/l.

La dureté de nos eaux varie entre :

- 204 à 80 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  en 2014
- 202 mg/l à 1152 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  en 2015
- 136 à 1200 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  en 2016
- 206 à 768 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  en 2017
- 214 à 808 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  en 2018

L'analyse de la cartographie de distribution de la dureté des eaux analysées de la région de Bouira (voir Figure IV-4) pendant les cinq ans montre qu'elle augmente de l'Est vers l'Ouest et qu'elle est très élevée dans la région Est par rapport aux autres régions.

Tableau IV-3 : Qualité de l'eau en fonction du TH

| TH (°F)          | 0-7   | 7-22             | 22-32       | 32-54 | > 54      |
|------------------|-------|------------------|-------------|-------|-----------|
| Qualité de l'eau | Douce | Modérément douce | Assez douce | Dure  | Très dure |

A partir du tableau IV-3, on peut conclure que les eaux de la région de Bouira sont des eaux dures à très dures sauf quelques zones à l'EST et au SUD-EST où sont Modérément douces à assez douces.

La cartographie

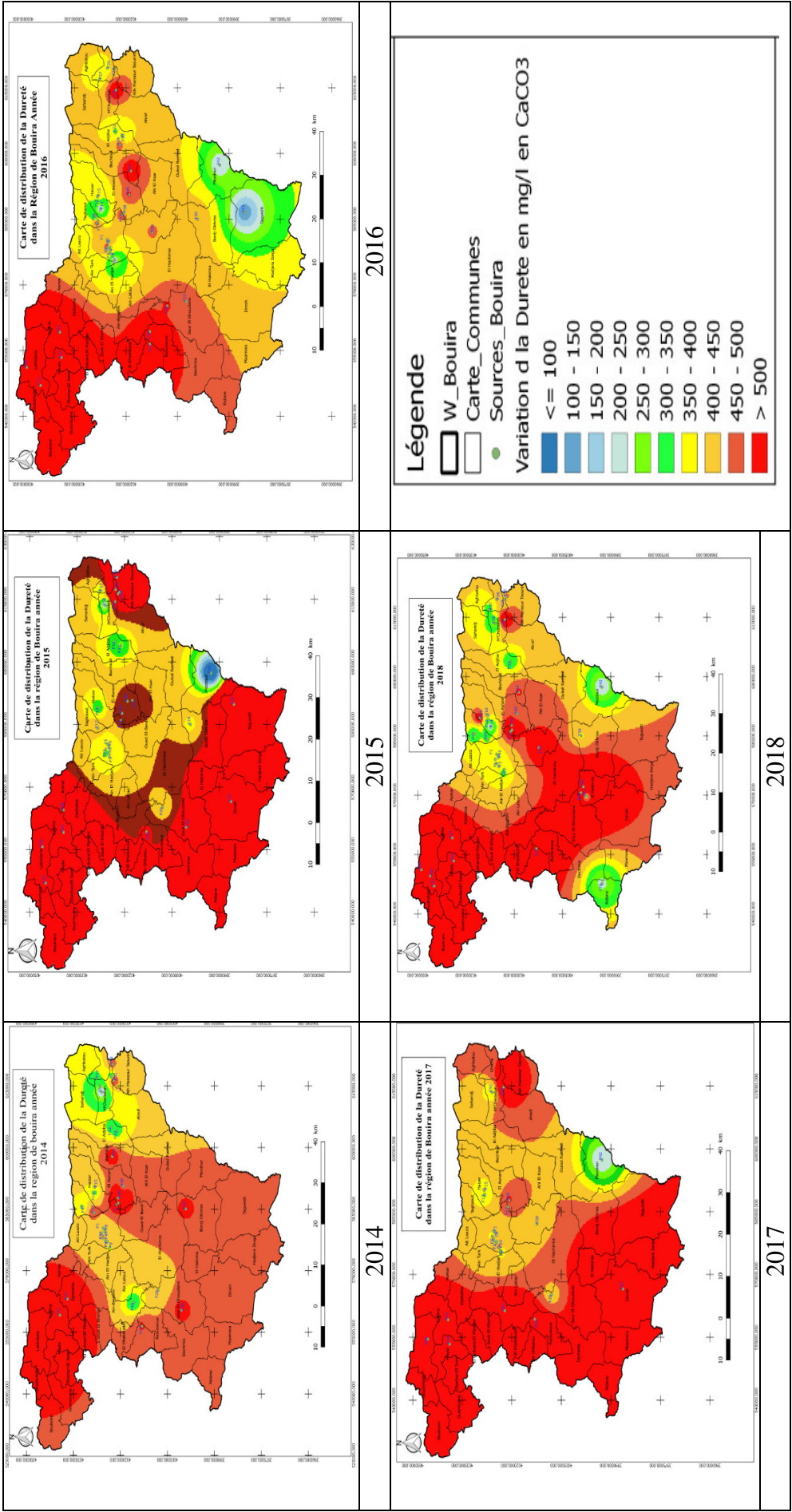


Figure IV-4 : Carte de distribution de Dureté dans la région de Bouira (2014-20018)

### IV.3.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Il caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau (ou d'une solution) et par conséquent sa concentration en ion ( $H^+$ ), et permet donc de dire si celle-ci est agressive, corrosive ou entartrent.

Rien n'indique que le pH dans l'eau potable ait des effets nocifs directs. Des pH extrêmes ont été associés à certains effets sur la santé, dont une irritation de la peau et des yeux. L'effet le plus important du pH sur la santé est indirect et lié à l'exposition aux métaux relargués par le réseau de distribution et aux sous-produits de désinfection formés par des procédés de traitement [15].

Le pH selon les normes algériennes doit être entre (6.5 à 9), bien que l'analyse de la carte de distribution de ce paramètre dans la région de Bouira( voir figure IV-5), montre que les valeurs varient à l'échelle de la région mais sans écart notables, et que les valeurs actuelles sont un peu élevé par rapport aux valeurs de 2014.

Elles varient de :

- 6.46 à 7.47 en 2014
- 6.63 à 8.4 en 2015
- 6.84 à 8.14 en 2016
- 6.86 à 8.1 en 2017
- 6.79 à 7.87 en 2018

Ces valeurs de pH sont liée à la nature de roches présentes dans la région qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée importante.

Les valeurs de PH des eaux de forages de la région de Bouira (Figure IV-5) ne dépassent pas la norme durant les cinq ans (2014-2018), et sont conformes à la norme algérienne de potabilité.

### IV.3.1.4. La Turbidité :

Les types de particules en suspension qu'on rencontre le plus souvent dans les eaux naturelles ne sont pas considérés comme présentant des risques chimiques importants. Le rôle le plus important de la turbidité en matière de santé est son utilisation comme indicateur de l'efficacité des procédés de traitement de l'eau potable, particulièrement la filtration, pour ce qui est de l'enlèvement des pathogènes microbiens pouvant être présents dans l'eau. Il n'y a pas de relation précise entre l'ampleur de la réduction de la turbidité et l'enlèvement des pathogènes. La réduction de la turbidité et l'enlèvement des particules et des pathogènes sont largement fonction de la qualité de l'eau à la source et du choix et de l'exploitation de la technique de traitement. [15]

Les particules organiques et inorganiques dans l'eau peuvent :

- Donner à l'eau une apparence trouble, ainsi qu'une odeur et un goût déplaisants ;
- Transporter des micro-organismes et nuire à la désinfection .
- Augmenter la quantité de chlore nécessaire pour désinfecter l'eau ;
- Se combiner au chlore pour former des sous-produits nocifs tels que les trihalométhanes (THM) [16].

La turbidité a aussi diverses implications en matière de qualité et de traitement de l'eau, selon la nature des particules en cause et les endroits présentant de la turbidité dans le système d'approvisionnement en eau potable. Des mesures de turbidité élevées ou des fluctuations des mesures peuvent indiquer une baisse de la qualité de l'eau de la source d'approvisionnement, un traitement inadéquat de l'eau ou des perturbations dans le réseau de distribution [15]

\_\_\_\_\_



## La cartographie

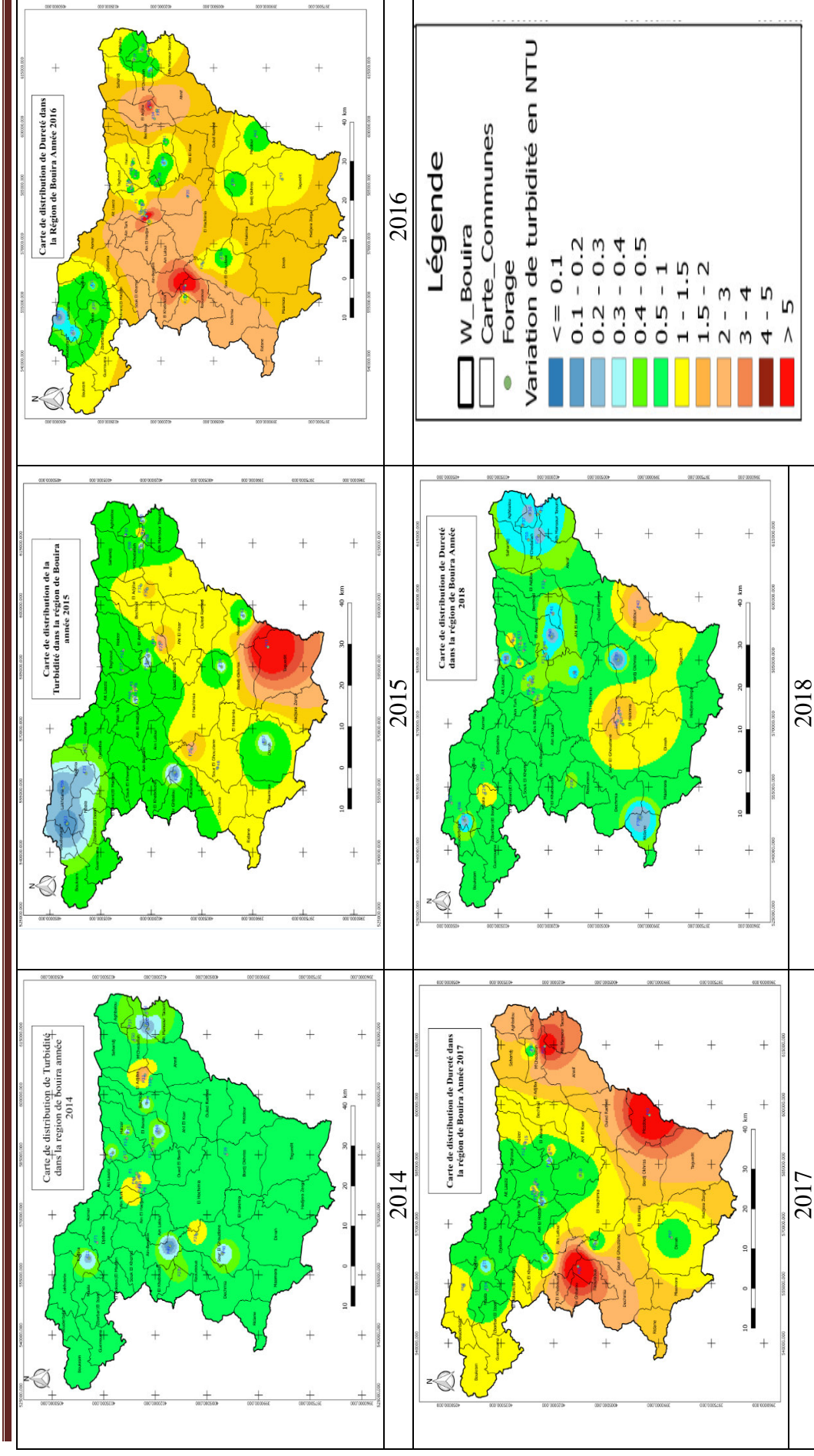


Figure IV-6 : Cartes de distribution de la turbidité dans la région de Bouira (2014-2018)

D'après la réglementation algérienne, il est recommandé une valeur la turbidité maximale de 5 NTU dans une eau destinée à la consommation humaine.

Les cartes de distribution de la turbidité dans la région de Bouira (Figure IV-6) montrent que les concentrations augmente de NORD vers le SUD et les valeur le plus élevées ont observer au SUD(2015-2016) et au l'OUEST et EST (2016-2017) par rapport a l'année 2014 ou les valeur ne dépassent pas les normes.

### **IV.3.2. Paramètres chimiques :**

#### **IV.3.2.1. Les Anions :**

##### **IV.3.2.1.1. Les nitrates :**

Généralement les eaux naturelles contiennent des nitrates, mais des concentrations relativement élevées sont un indice de pollution du milieu, le plus souvent d'origine agricole.

Si la concentration de nitrate dépasse la norme, une intoxication peut survenir chez les nouveau-nés, causée par la réduction de  $\text{NO}_3$  (nitrates) en  $\text{NO}_2$  (nitrites) par le liquide gastrique de l'enfant. Les nitrites diffusent dans la circulation générale et deviennent alors responsables de la formation de méthémoglobine, qui résulte de l'oxydation du fer ferreux de l'hémoglobine en fer ferrique.

D'après la réglementation algérienne, il est recommandé pour le cas des nitrates, une valeur maximale de 50 mg/l dans une eau destinée à la consommation humaine.

Les valeurs de la teneur en nitrates dans la région d'étude varient de (voir figure IV-7) :

- 0.88 à 84 mg/l en 2014 (dont F27, F40, F54 ont des valeurs supérieures à 50 mg/l)
- 0 à 110.75 mg/l en 2015 (dont F28, F39, F40 ont des valeurs supérieures à 50 mg/l)
- 0.09 à 110.75 mg/l en 2016 (dont F11, F27, F28, F38, F39, F41 ont des valeurs supérieures à 50 mg/l)
- 0.33 à 110.75 mg/l en 2017 (dont F46, F61, F62 ont des valeurs supérieures à 50 mg/l)
- 0.04 à 110.75 g/l en 2018 (dont F11, F27, F32, F38, F39, F54 ont des valeurs supérieures à 50 mg/l).

Les cartes de distribution de la teneur en nitrates dans la région de Bouira montrent que le centre de la région et l'ouest ; ont des concentrations élevées.

En comparant entre les cinq ans, on peut noter une augmentation des teneurs en  $\text{NO}_3^-$  dans la zone Ouest et le centre de la région d'une année à l'autre depuis 2014.

Cette augmentation s'explique par : la contamination de ces eaux est due aux activités agricoles (par l'application abondamment des engrais industriels ou du fumier) et aux rejets des eaux usées.

# La cartographie

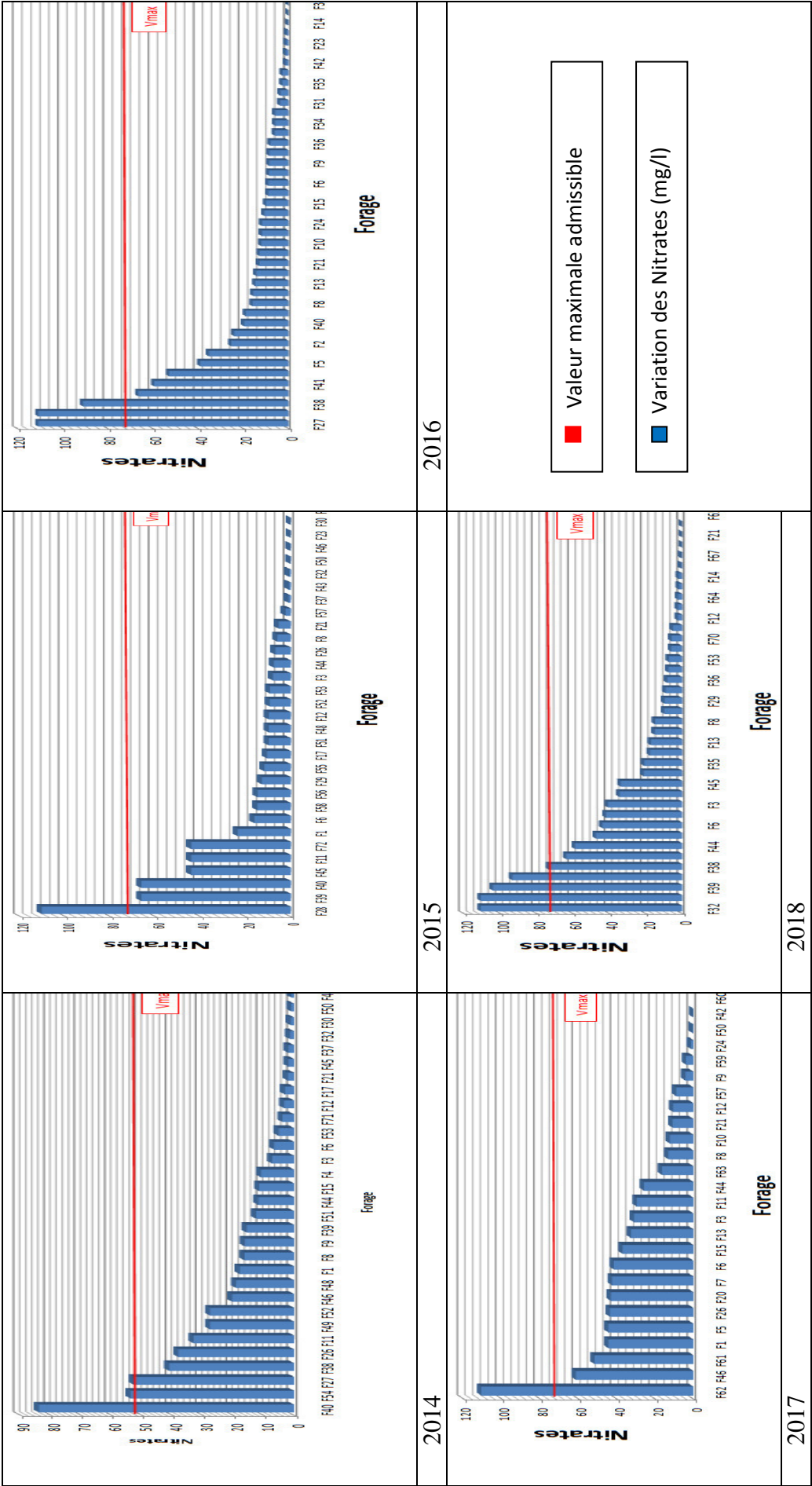


Figure VI-7 : Histogrammes de la variation de la teneur en Nitrates dans la région de Bouira (2014-2018)

# La cartographie

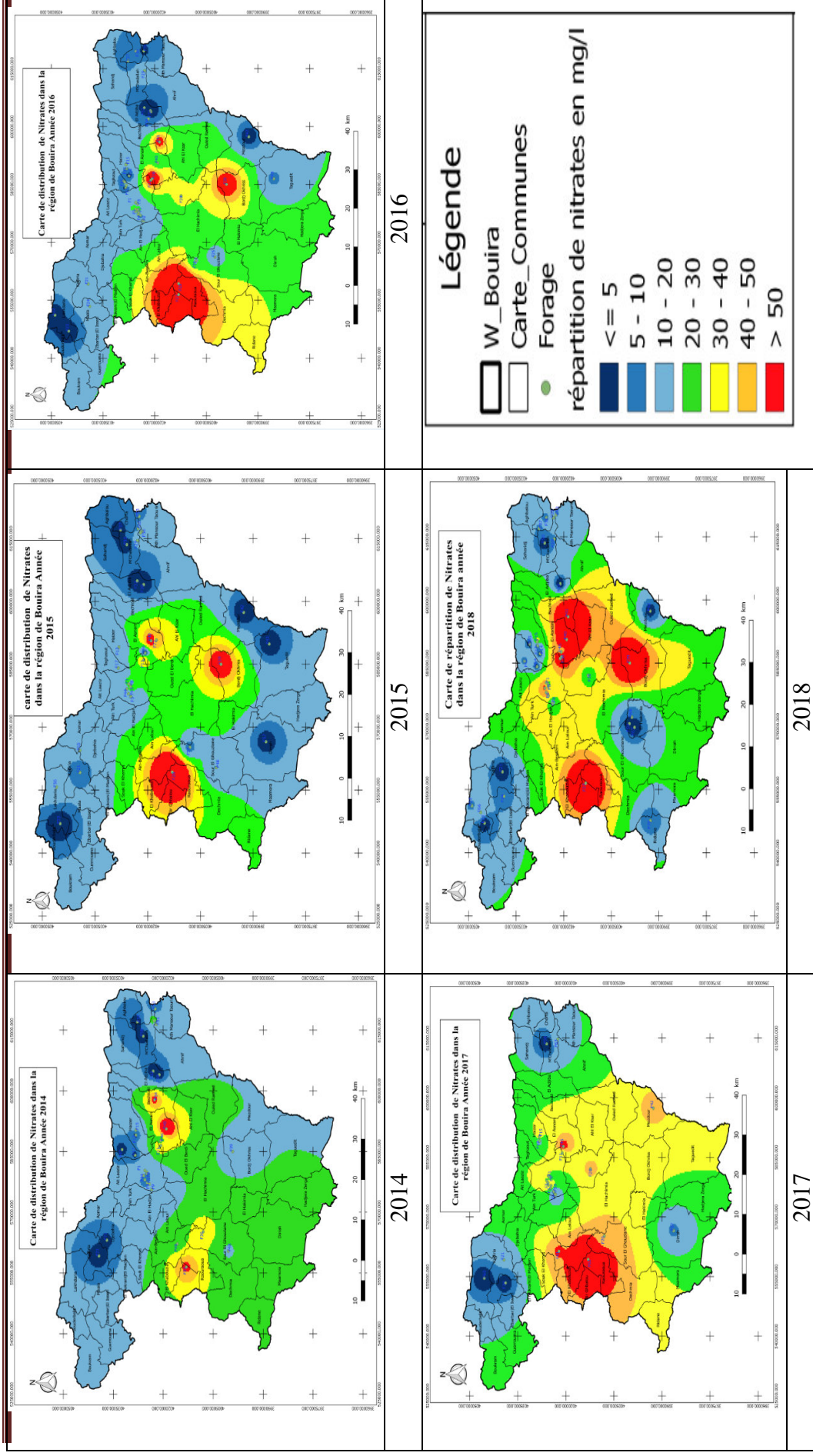


Figure IV-8 : Cartes de distribution de la teneur en Nitrates dans la région de Bouira (2014-2018)

### IV.3.2.1.2. Le chlorure :

Le chlorure est l'un des paramètres les plus importants dans l'évaluation de la qualité de l'eau, et sa concentration en chlorure indique un degré plus élevé de pollution organique [10].

Le chlorure a la même origine que le sodium, la dissolution des minéraux salifères.



La concentration maximale admise des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaines est de 500 mg/l. D'ailleurs à partir de 200 mg/l que l'on commence à ressentir le goût des gouttes de chlore (javel).

La présence de chlorures en teneurs supérieures à la norme ne soient pas nocives pour la santé des utilisateurs, le goût désagréable engendré étant l'inconvénient majeur. Notons que pour une quantité constante de chlorures, la présence de calcium et de magnésium atténue ce mauvais goût. Un autre problème possible relié à la présence des chlorures est la corrosion des canalisations et réservoirs des usagers.

Dans le domaine agricole, les teneurs en chlorures peuvent limiter certaines cultures. Une association de fortes concentrations en nitrates et en chlorures peut indiquer une contamination de l'eau par des matières fécales.

Les chlorures sont présents en grande quantité dans les eaux souterraines qui proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères.

La norme en Algérie pour l'eau potable a été fixée à 500 mg/l. D'après la carte de la distribution des chlorures dans la région de Bouira ; les teneurs ne dépassent pas les normes.

Les teneurs en chlorure varient entre (voir figure IV-9) :

- 56.4 et 232.2 mg / l en 2014.
- 7.1 et 383.4 mg/l en 2015.
- 32.66 et 298.2 mg/l en 2016.
- 24.83 et 283.29 mg/l en 2017.
- 18.46 et 384.82 mg/l en 2018.

Les fortes teneurs se localisent au Nord-Ouest et au Sud de la région (Voir figure IV-10). Cela peut être dû à des processus naturels tels que le passage de l'eau par des formations naturelles (gypse et formations argileuses intercalées dans les formations gréseuses du Crétacé inférieur), ou peut indiquer une pollution provenant de l'industrie ou de l'usage domestique.

### VI-2-2-1-3-Les sulfates :

Dans les conditions naturelles, les sulfates (formés de soufre dissous qui est la composante la plus répandue dans les eaux naturelles) ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique.

L'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine (engrais sulfatés....) [11].

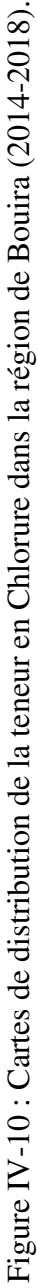
Certains sols et certaines roches contiennent des minéraux de sulfate ; et comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau. Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium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

L'OMS préconisait en 1993 une teneur maximale en sulfate de 500 mg/l, et l'UE suggère un maximum de 250 mg/l depuis 1998.

Lorsque les teneurs en sulfate sont élevées (plus de 400 mg/l), l'eau devient laxative et peut provoquer des diarrhées. À partir de ces teneurs elle aura un goût médical (tendance amère) ; et elle n'est pas recommandée durant la croissance des enfants car les sulfates peuvent interférer avec l'adsorption de calcium et l'inhiber.



Journal of Management Inquiry 26(4) 399–416 399



La cartographie

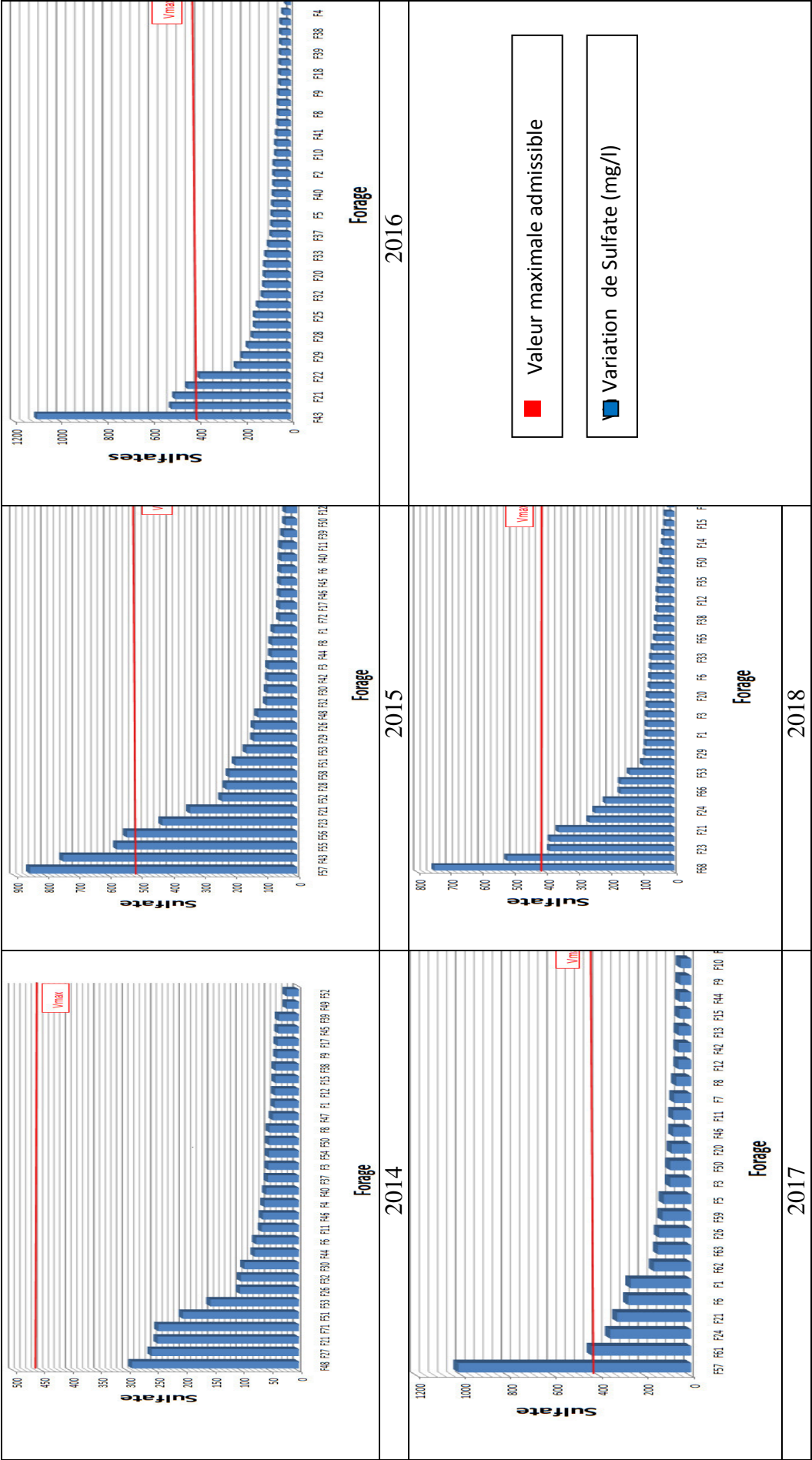


Figure VI-11 : Histogrammes de variation de la teneur en sulfate dans la région de Bouira (2014-2018).

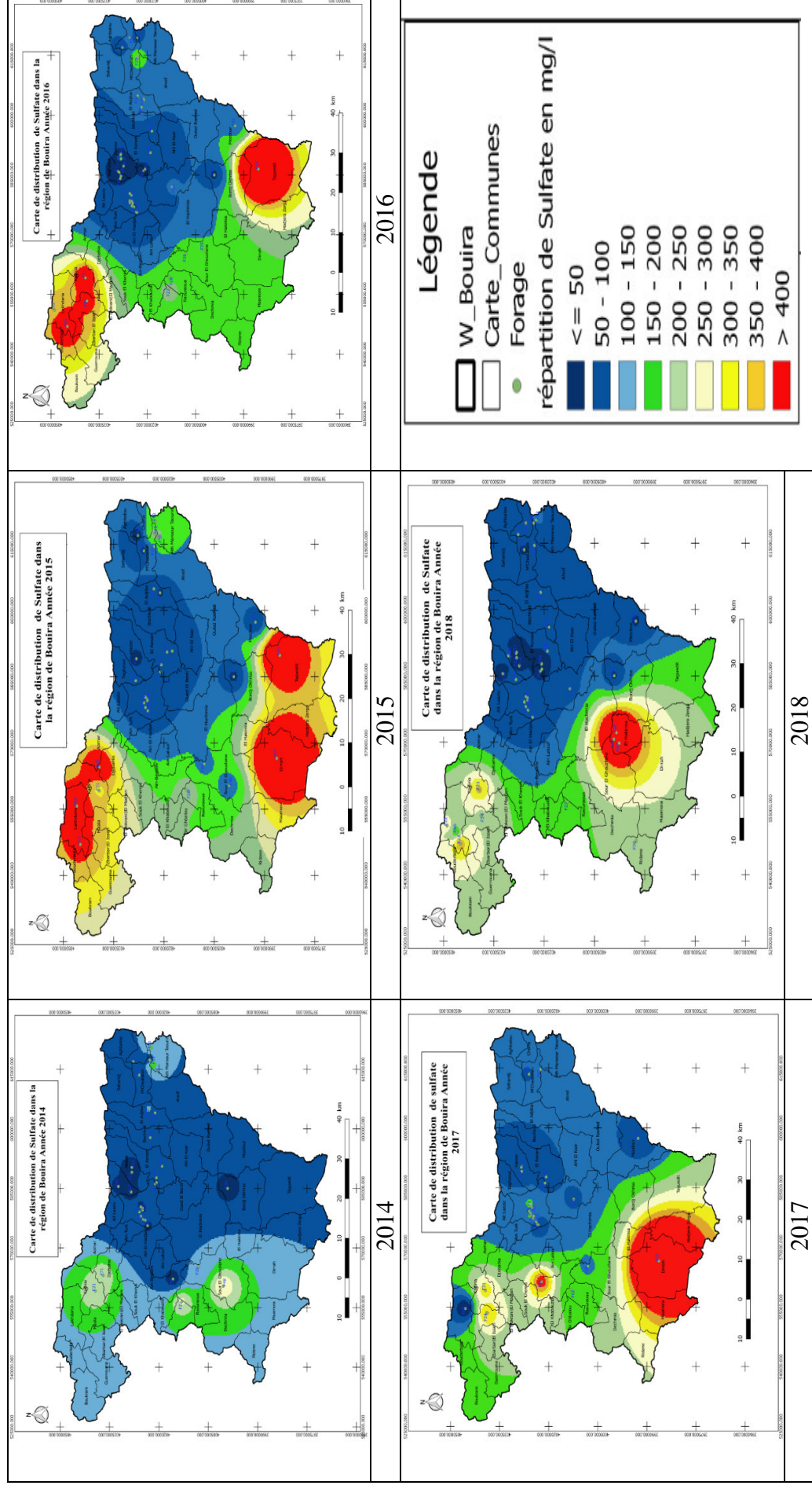


Figure VI-12 : Cartes de distribution de la teneur en sulfate dans la région de Bouira (2014-2018).

La norme pour l'eau potable en Algérie a été fixée à 400 mg/l pour le Sulfate, bien que les valeurs pour les eaux étudiées sont très variables, elles oscillaient entre (voir figure IV-11) :

- 21.5mg/L à 293 mg/L en 2014
- 10.02 mg/l à 853.2 mg/l en 2015 (dont F57, F43, F55, F56 et F23 dépassent la norme Algérienne).
- 18.12 mg/l à 1101.9 mg/l en 2016 (dont F43, F23, F21 et F24 dépassent la norme Algérienne).
- 44.89 mg/l à 1020 mg/l en 2017 (dont F57 et F61 dépassent la norme Algérienne)
- 20.6 mg/l à 749.25 mg/l en 2018 (dont F68 et F67 dépassent la norme Algérienne)

Les cartes de distribution de sulfates (2014, 2015) (voir figure IV-12) montrent que les fortes valeurs caractérisent le Sud et le Nord-Ouest de la région (2015-2016-2017). Ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers le côté Est de la région.

Les teneurs élevées semblent être liées à la nature lithologique des formations gypseuses (Miocène post-nappe dont le trias est constitué par des argiles bariolées du gypse). Au contact du gypse, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure et impropre à la consommation, les autres zones restent dans les normes recommandées.

Une autre source possible de la teneur élevée en sulfate, est l'utilisation des engrais chimiques (l'Est de la région pour l'année 2017 : car cette zone est une zone agricole).

### **VI-2-2-1-4-Les bicarbonates :**

Les bicarbonates sont d'origines diverses et n'ont pas de rôle prépondérant direct sur la santé. Ils ont par contre un rôle par les cations auxquels ils sont liés (sodium, calcium) et qui donnent un goût souvent salé.

Leur absorption entraîne une alcalinisation des urines, effet recherché pour les lithiases uriques mais qui peut être néfaste pour les lithiases infectieuses [17].

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et dans l'aquifère, ainsi que la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation.

La concentration maximale admissible dictée par les normes Algériennes pour l'eau potable est de 600 mg/l.

Les concentrations en bicarbonate dans l'eau de la région étudiée varient entre (voir figure IV-13) :

- 184.22 mg/l à 541.62 mg/l en 2014
- 181.72 mg/l à 950.38 mg/l en 2015 (dont la teneur en F43 dépasse la norme)
- 115.9mg/l à 420.9 mg/l en 2016
- 115.9mg/l à 486.78 mg/l en 2017
- 184.22 g/l à 541.62 mg/l en 2018

L'analyse de la cartographie de distribution des teneurs en bicarbonates des eaux analysées de la région de Bouira (voir figure IV-14) pendant cinq ans montre que la concentration augmente du Nord vers le Sud.

La cartographie

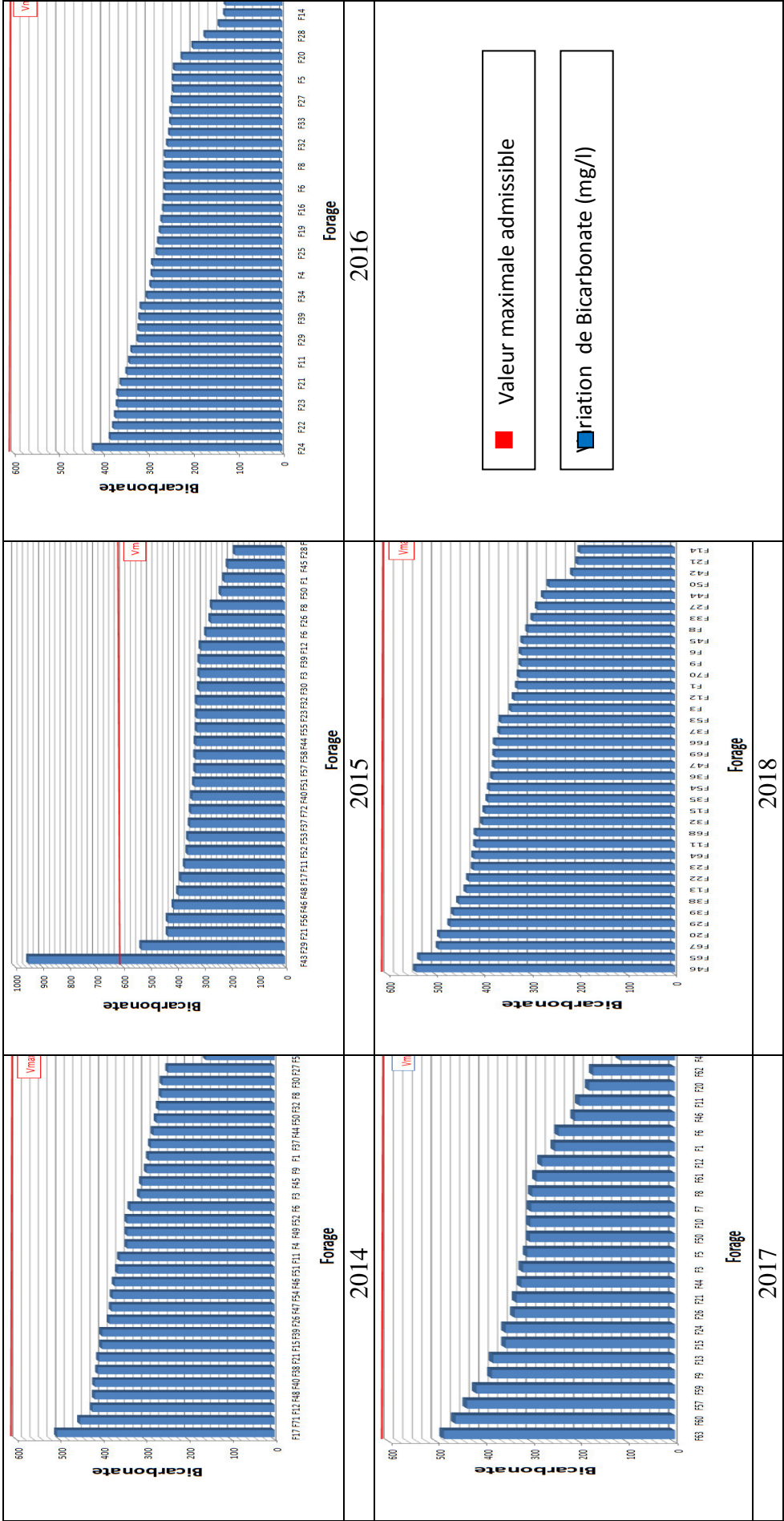


Figure VI-13 : Histogrammes de variation de Bicarbonate(2018-2014)

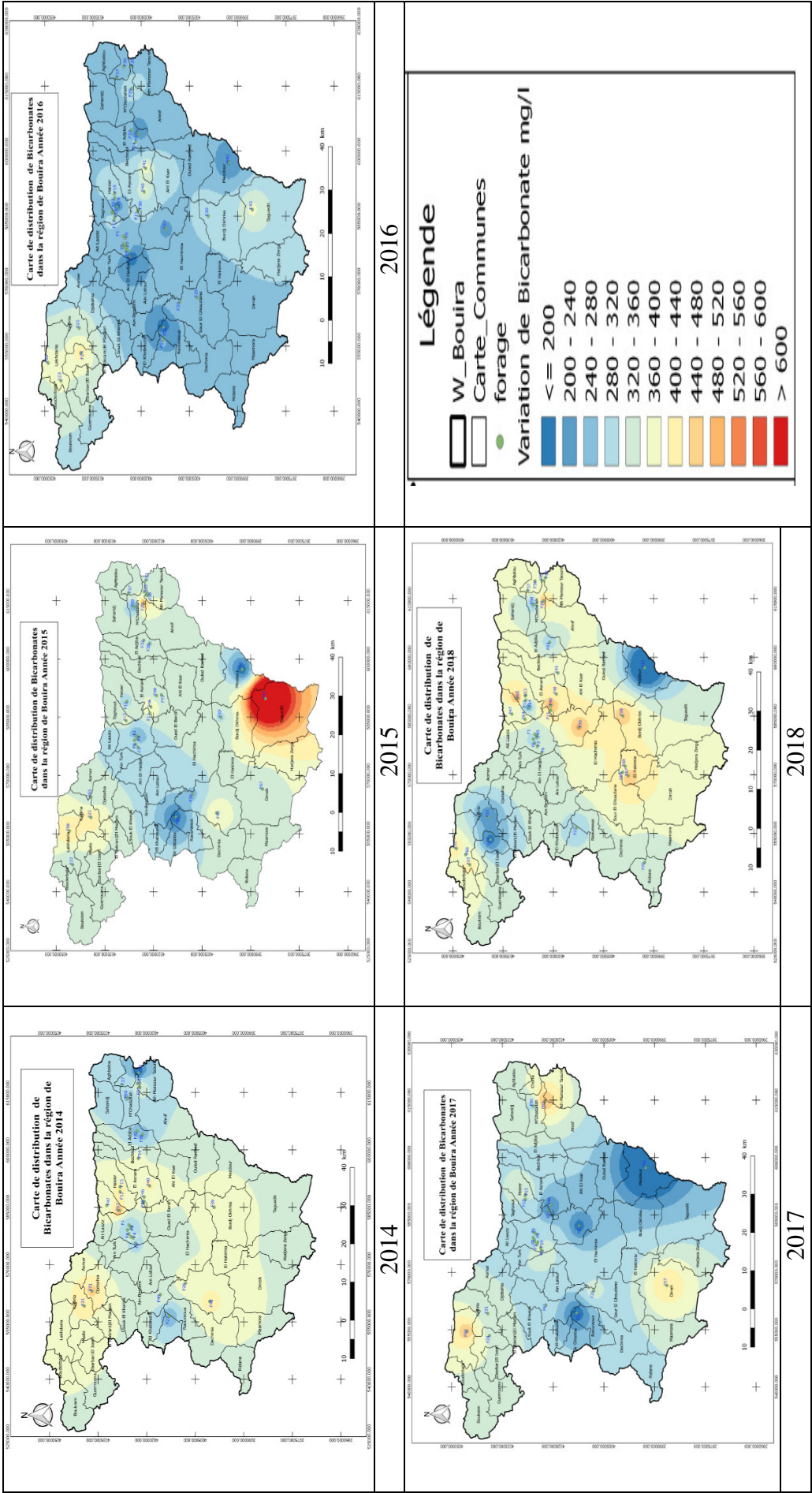
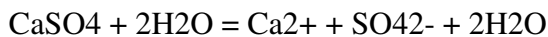
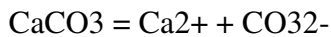


Figure IV-14 : Cartes de distribution de Bicarbonates dans la région de Bouira(2018-2014)

### IV.3.2.2. Les cations :

#### IV.3.2.2. 1. Le Calcium :

Le calcium est généralement l'élément dominant dans les eaux potables, et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) [11], donc la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par ces eaux. Les ions calcium résultent de l'attaque par l'eau chargée de dioxyde de carbone des roches calcaires ou de la simple dissolution des sulfates comme le gypse selon les équations suivantes :



Les effets indésirables qui sont surtout d'ordre organoleptique ou esthétique résultant de la présence du calcium dans l'eau potable peuvent provenir de sa contribution à la dureté [13].

Le calcium a un rôle essentiel dans la croissance osseuse, la contraction musculaire et la minéralisation des dents. Une carence en cet élément conduit à l'ostéoporose.

Si l'alimentation est riche en calcium, la biodisponibilité des autres minéraux absorbés peut être perturbée. Une alimentation riche en calcium pourrait prévenir le cancer du côlon chez les humains. Une alimentation pauvre en calcium rendait des rats particulièrement sensibles à une intoxication par le plomb.

La concentration maximale admissible dictée par les normes Algériennes pour l'eau potable est de 200 mg/l.

L'analyse de la cartographie de la distribution des teneurs en calcium des eaux analysées de la région de Bouira (2014-2018)(voir figure IV-16), montre que la concentration augmente de l'Est vers l'Ouest, et que le nord et le Sud de la région sont marqués par des concentrations dépassant la concentration maximale admissible (2015, 2016, 2017).

Les concentrations de Calcium varient entre (voir figure IV-15):

- 49.6 mg/l à 208 mg/l en 2014 (dont F21 dépasse la norme algérienne)
- 40.8 mg/l à 294.9 mg/l en 2015 (dont F43, F57, F55 et F21 dépassent la norme algérienne)
- 36.8 mg/l à 281.6 mg/l en 2016 (dont F43, F27 et F21 dépassent la norme algérienne)
- 45.6 mg/l à 396.8 g/l en 2017 (dont F57 dépasse la norme algérienne)
- 46.4 mg/l à 212.8 mg/l en 2018 (dont F27 dépasse la norme algérienne)

Les teneurs élevées en calcium pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques.

La partie nord est caractérisée par les flysch du flanc Sud du Djurdjura qui est aussi caractérisée par la présence des bancs de calcaire.

La partie sud est caractérisée par la Miocène (la crétacé, jurassique, le trias) représentée par des marnes et schistes à bancs de calcaires.

La cartographie

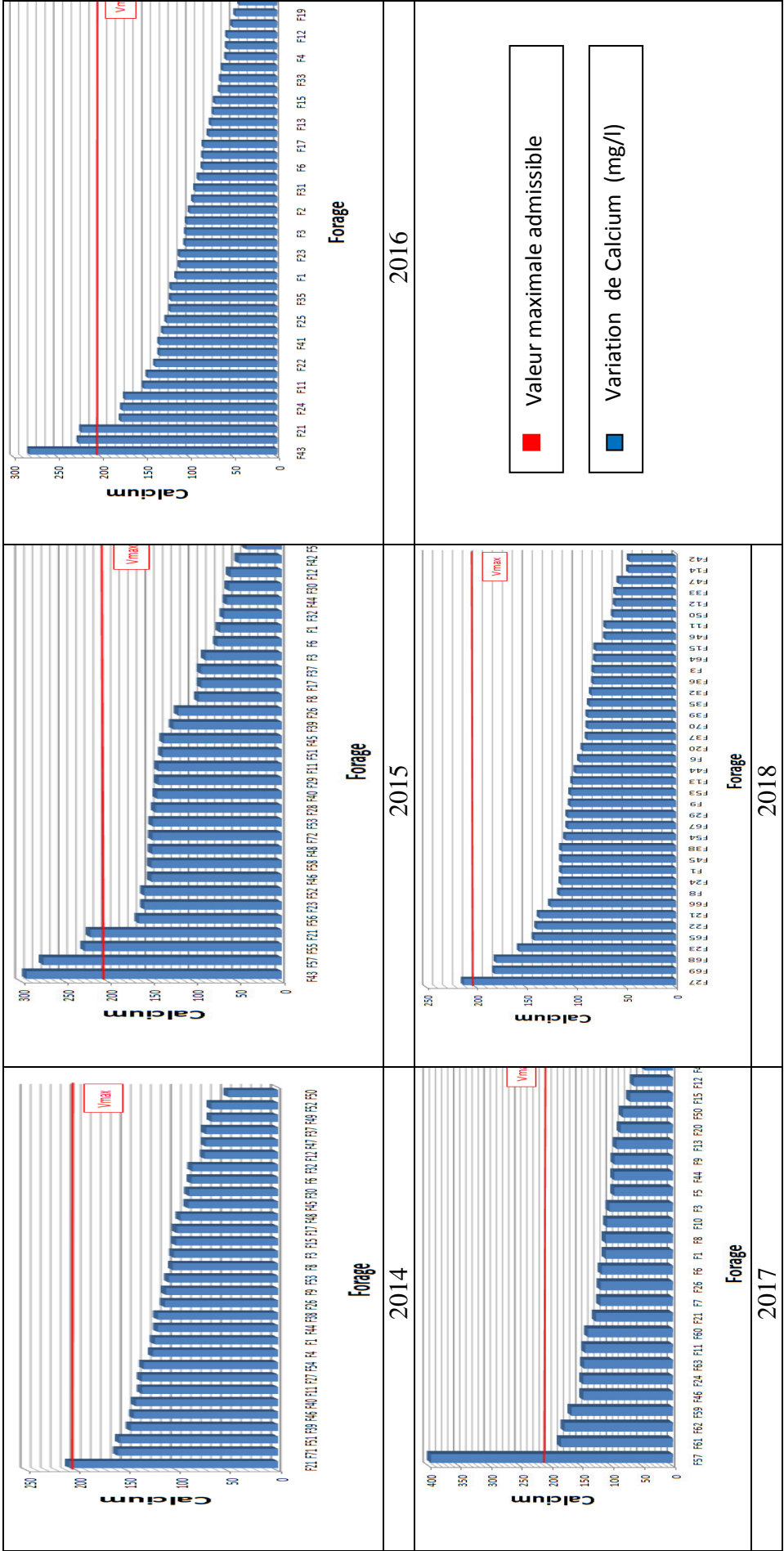


Figure VI-15 : Histogrammes de variation de Calcium.(2018-2014)

La cartographie

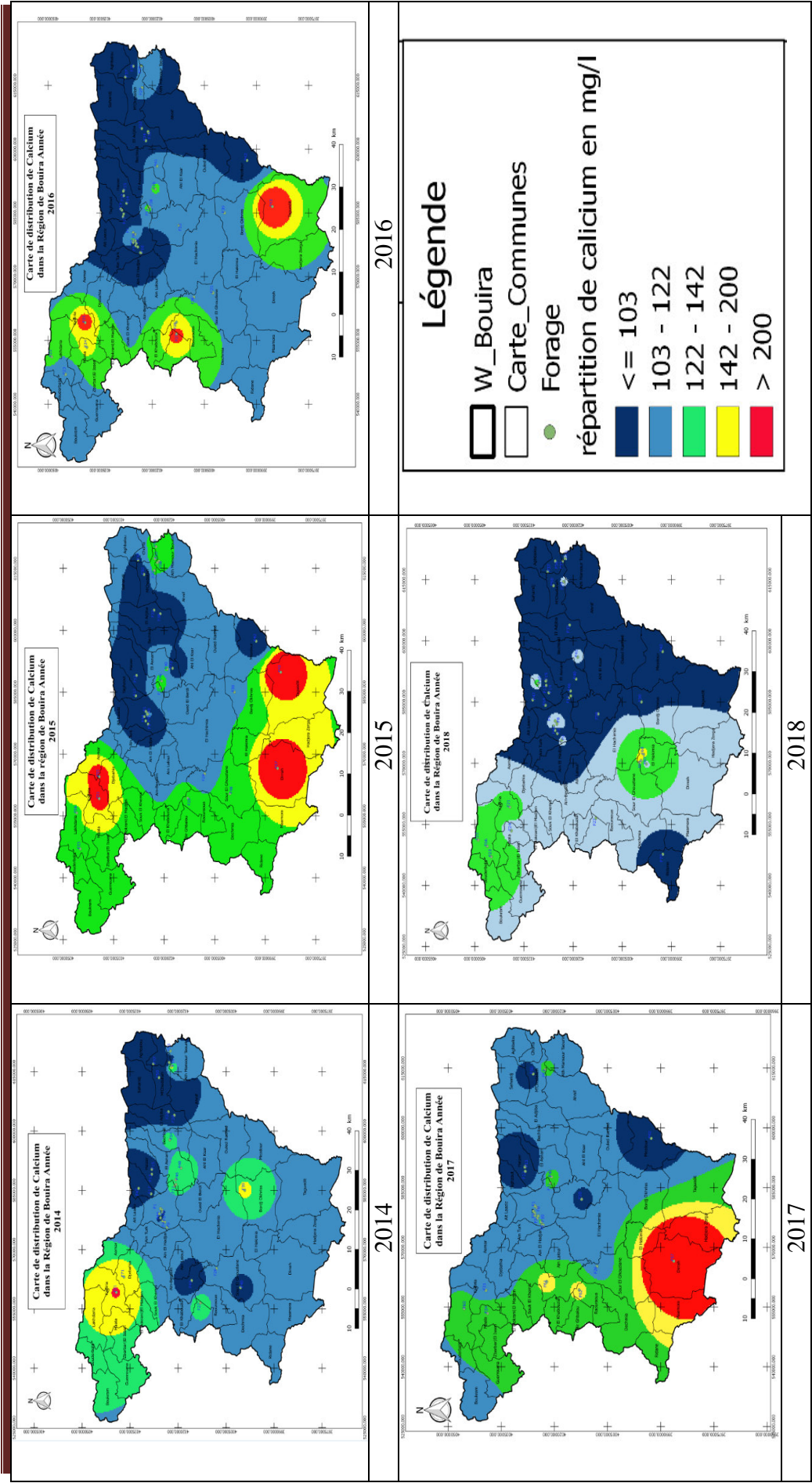


Figure VI-16 : Cartes de distribution de Calcium dans la région de Bouira (2014-2018)

### IV.3.2.2.2. Le Magnésium :

Le magnésium est l'un des sels les plus répandus dans la nature. Sa dissolution se fait à partir de roches contenant le carbonate double de calcium et de magnésium. Il provient aussi de la contamination industrielle.

Il est donc souvent présent dans les roches carbonatées (calcaires dolomitiques, dolomies), les roches évaporitiques (sels de magnésium  $[MgSO_4]$ ), et les roches magmatiques selon la réaction suivante [14] :



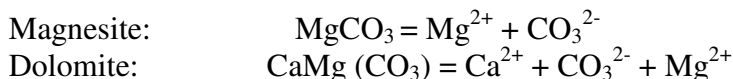
Le magnésium est bon (pour le morale) ; il permet de supporter la fatigue, le stress et l'anxiété. Les inconvénients de la présence de magnésium dans l'eau potable à des concentrations élevées sont :

- il peut modifier le rythme cardiaque.
- la paralysie des muscles du squelette, le coma et la mort.
- la réduction de la capacité pulmonaire

Les teneurs en magnésium des eaux analysées (Figure IV-17) de la région de Bouira durant la période (2014-2015) sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 150 mg/l, édictée par les normes algériennes pour l'eau potable.

D'après la carte de distribution de la teneur en Magnésium (2014-2018)(Figure IV-18) montre que la concentration est élevée dans le Nord et le Sud.

Les source du magnésium semble être liées au contact des eaux avec les roches calcaires donc elles sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite), et la dissolution du  $MgSO_4$  des terrains gypseux du Trias.



### IV.3.2.2.3. Le Sodium :

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium qui peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue des eaux salées dans les nappes aquifères, et des nombreux usages industriels [12]. En effet, le sodium accompagne généralement la pollution due aux chlorures.

Les concentrations des eaux en sodium sont pour l'ensemble des échantillons prélevés en 2016 (Figure IV-19) variées entre 18.8 à 120 mg/l, donc elles sont inférieures à la norme Algérienne fixée à 200 mg/l.

La carte de distribution de Sodium (Figure IV-20) permet de noter qu'au niveau de la zone Sud de la région, les concentrations sont plus élevées, alors qu'elles sont moins importantes dans le Nord. Nous pouvons noter que ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers le centre.

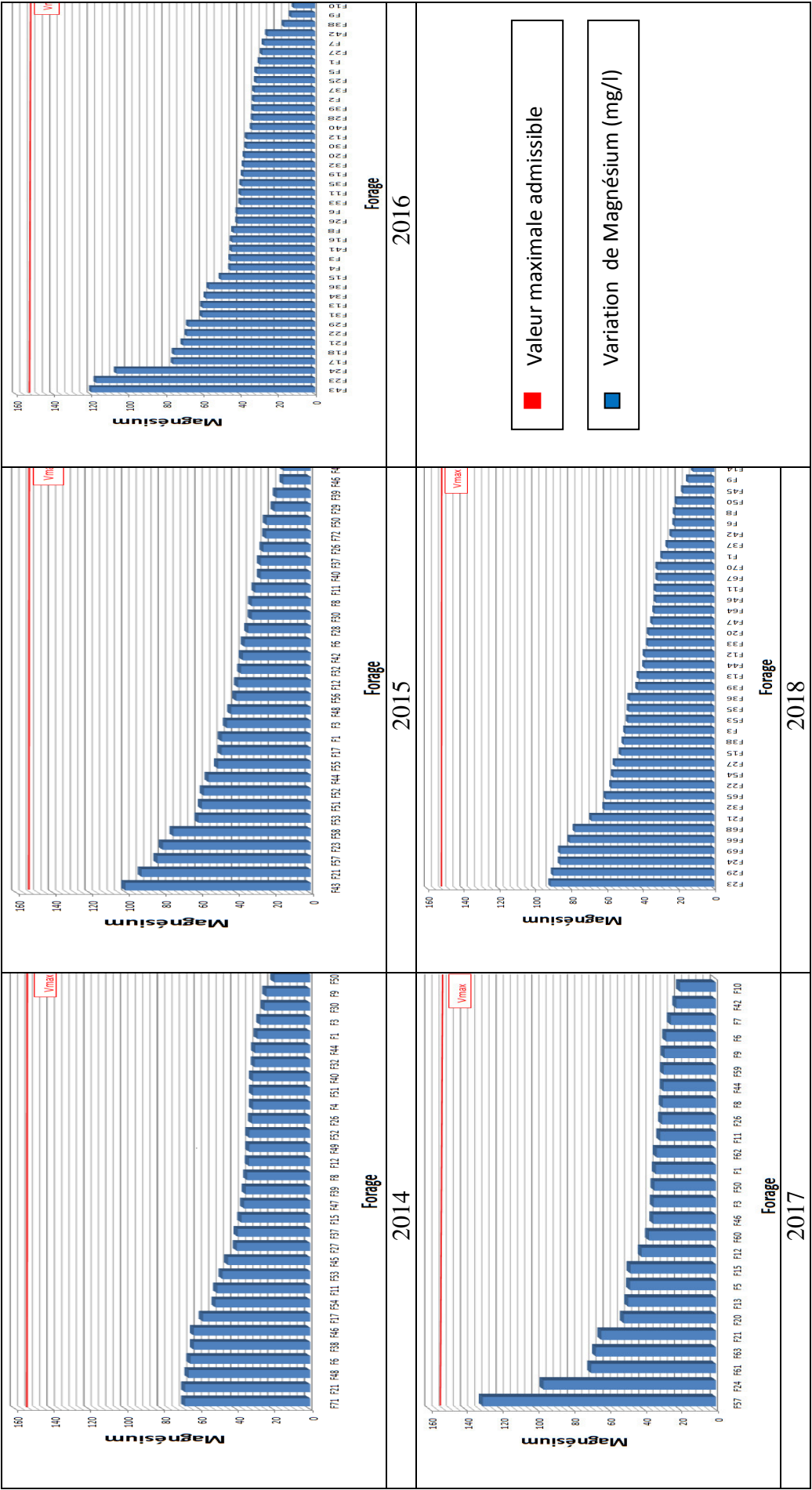


Figure VI-17 : Histogrammes de variation de Magnésium (2014-2018)



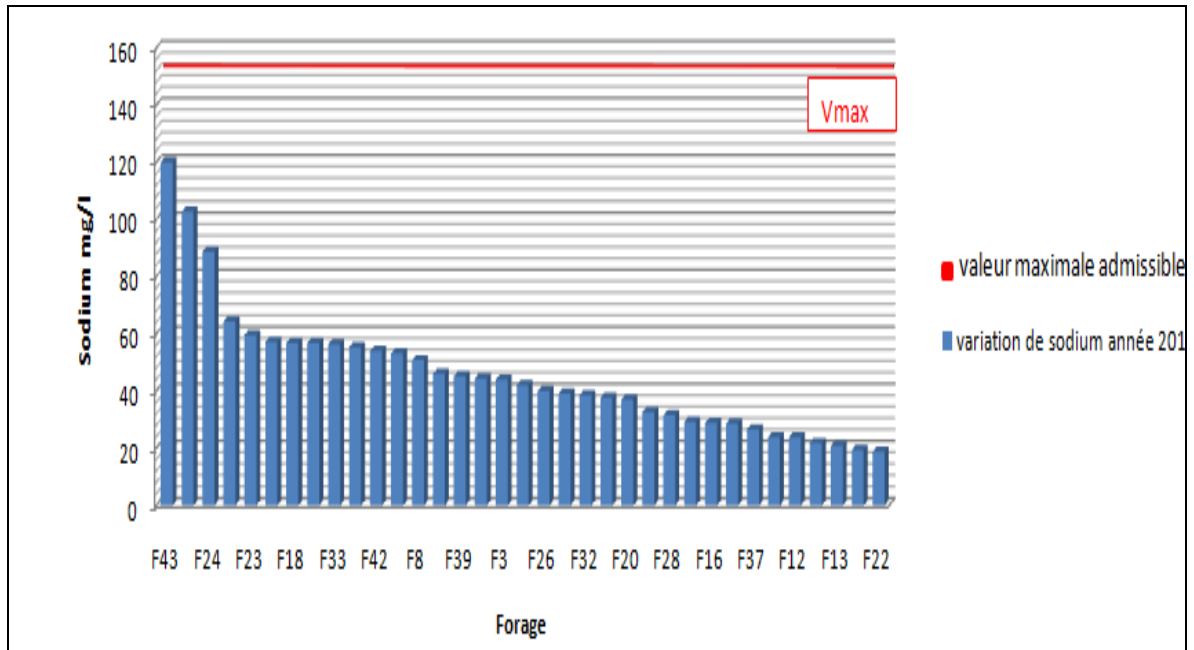


Figure IV-19 : Histogramme de variation de sodium entre les sites a étudié année 2016

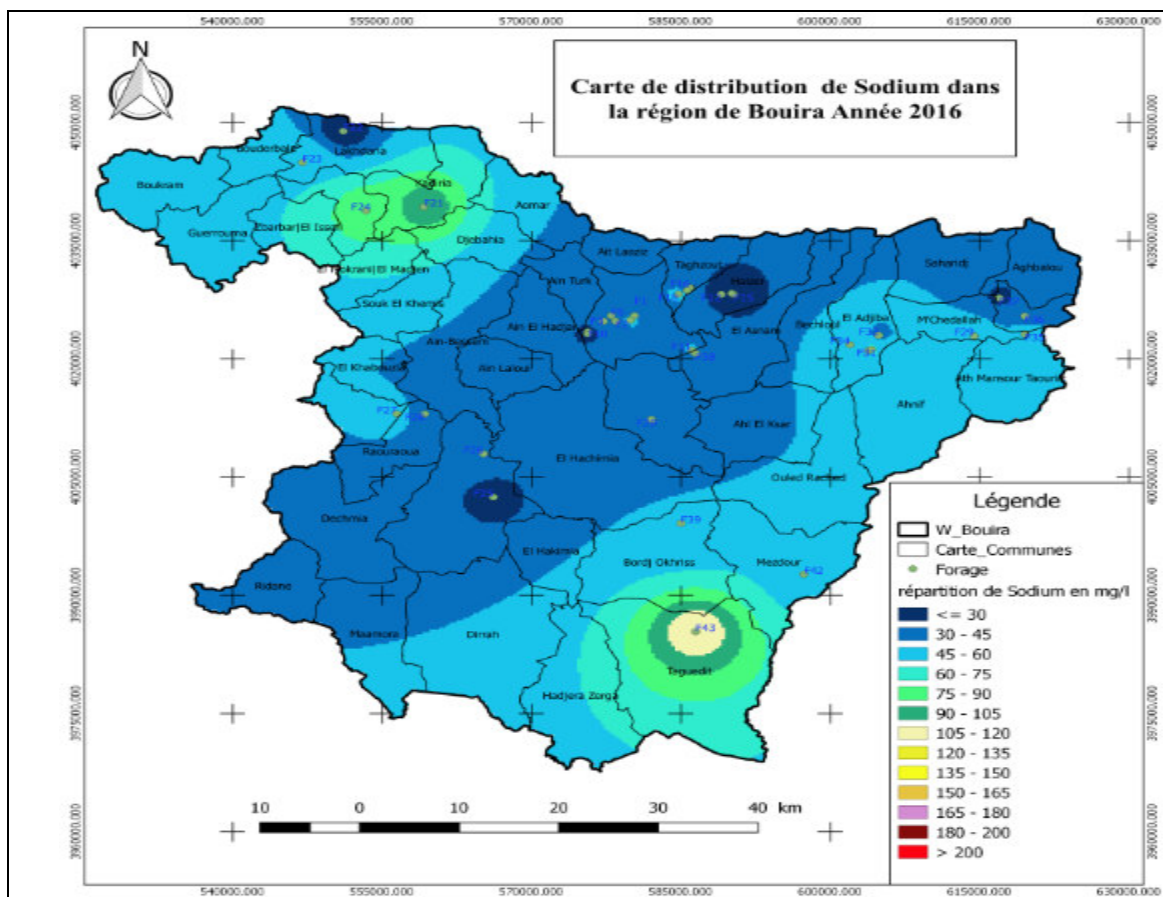


Figure IV-20 : Carte de distribution de Sodium dans la région de Bouira pour l'année 2016

## IV.3.2.2.4. Le potassium :

Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux. Il est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux. En agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium.

Le Potassium provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques [26].

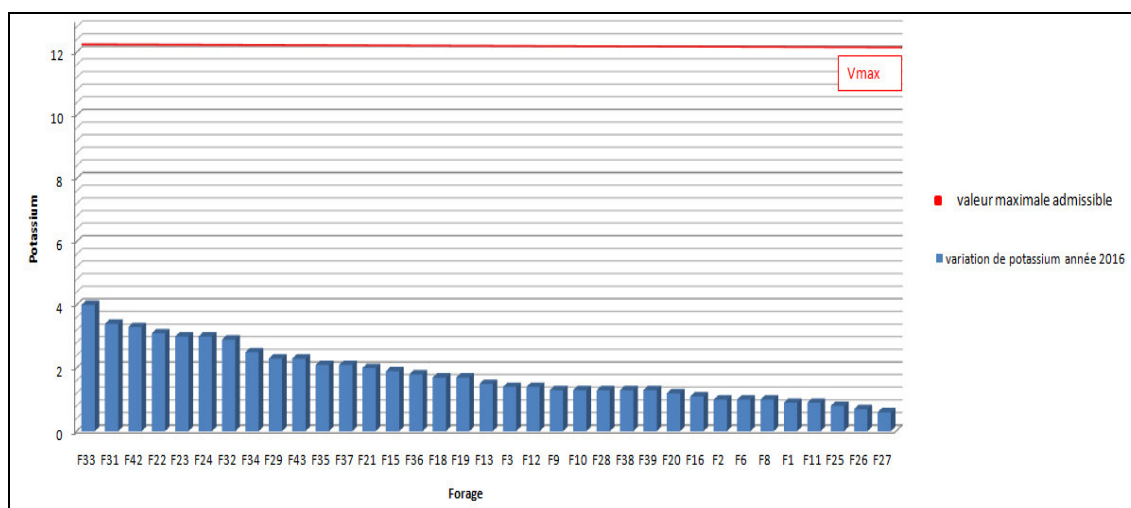


Figure IV-21 : Histogramme de la variation de la teneur en potassium entre les sites étudiés pour l'année 2016.

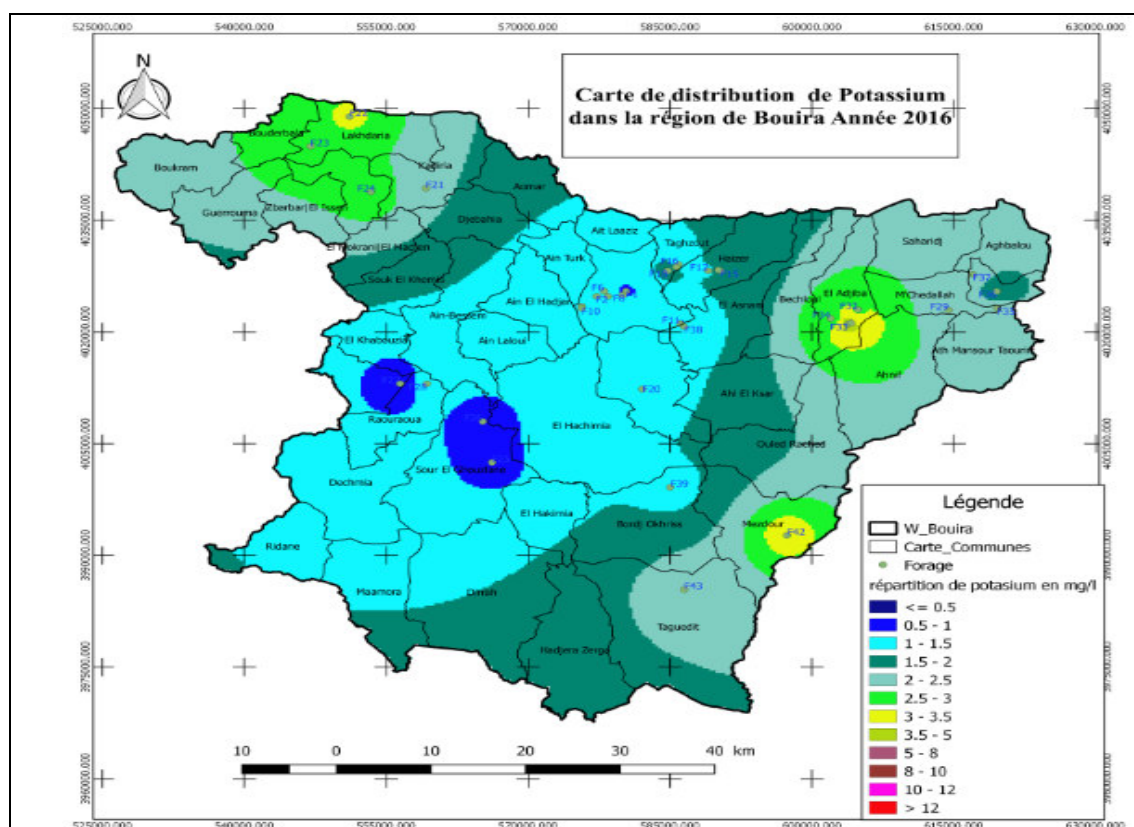


Figure IV-22 : Carte de distribution de Potassium dans la région de Bouira (2016)

Le potassium résulte aussi de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la région.

Les concentrations des eaux en potassium sont pour l'ensemble des échantillons prélevés en 2016 (Figure IV-21), inférieures à la norme Algérienne fixée à 12 mg/l.

D'après la carte de distribution de la teneur en potassium (Figure IV-22), la concentration augmente de l'ouest vers l'Est.

### IV.3.3. Cartographie des paramètres caractéristiques :

Les Rapports caractéristiques se sont des rapports entre les différents éléments chimiques qui composent les eaux. Ces paramètres permettent à aider dans l'interprétation et la détermination des origines des différents éléments chimique.

#### IV.3.3.1. TDS :

La TDS (total des solides dissous) représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Il représente les sels inorganiques et quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions.

L'analyse de la figure ci-dessous (figure IV-23) montre que la TDS des eaux est supérieure à 500 mg/l sur la majorité de territoire sauf quelques forages qui situent à l'Est et au Sud-est de la région. Les résultats obtenus sont :

- TDS>500 : dissolution des carbonates.
- TDS<500 : altération des silicatées

#### IV.3.3.2. Le Rapport $Cl^-/\sum anions$ :

Ce paramètre permet de connaître l'origine de chlorure dans les eaux souterraine par rapport aux anions et en comparaison avec la TDS.

Pour cela, on propose de faire une superposition des deux cartes (carte TDS, carte  $Cl^-/\sum anions$ ).

Les cas possibles pour ce rapport caractéristique sont :

- $Cl^-/\sum anions > 0.8$  avec TDS>500 : il s'agit de l'eau de mer, saumure, ou évaporite
- $Cl^-/\sum anions > 0.8$  avec TDS<100 : il s'agit de l'eau de pluie
- $Cl^-/\sum anions < 0.8$  : il s'agit de l'altération des roches

L'analyse de la figure IV-24 montre que le rapport  $Cl^-/\sum anions$  durant les cinq ans est inférieure à 0.8.

### IV.3.3.3. Le Rapport $\text{HCO}_3^-/\Sigma \text{anions}$ :

Les minéraux carbonatés sont omniprésents dans notre environnement. Souvent, une certaine quantité de bicarbonate est dissoute dans l'eau. L'eau de pluie elle-même est une source d'ions bicarbonates.

Le  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau peut former de l'acide carbonique ; cet acide carbonique va également se dissocier pour former du bicarbonate et des ions hydrogènes, dépendant du pouvoir tampon de l'eau souterraine. En résumé, le bicarbonate peut être généré par la réaction du  $\text{CO}_2$  avec de l'eau et d'autres sources.

Ce paramètre caractéristique donne une idée sur l'origine des bicarbonates en comparaison avec les sulfates :

- $\text{HCO}_3^-/\Sigma \text{anions} > 0,8$  : il s'agit de l'altération des silicates ou carbonatées.
- $\text{HCO}_3^-/\Sigma \text{anions} > 0,8$  avec  $\text{SO}_4 > 20 \text{ meq/l}$  : il s'agit de la dissolution du gypse.
- $\text{HCO}_3^-/\Sigma \text{anions} < 0,8$  avec peu de sulfate : il s'agit de l'eau de mer ou saumâtre.

L'analyse de la figure IV-25 montre que ce paramètre  $\text{HCO}_3^-/\Sigma \text{anions}$  est inférieur à 0.8 durant les cinq ans (2014-2018).

### IV.3.3. 4. Le Rapport $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$ :

L'étude de ce paramètre permet de déterminer les phénomènes intervenant dans l'acquisition de la charge saline.

Si le rapport est de l'ordre de 1 : cela peut signifier que les principaux phénomènes géochimiques intervenant dans l'acquisition de la charge saline sont liés à l'interaction eau-roche :

- a- dissolution et précipitation des minéraux (calcite, dolomite, anhydrite, gypse).
- b- échange de bases avec les minéraux argileux.

L'analyse de la figure IV-26 montre que ce dernier rapport est en générale de l'ordre de 1 sauf dans le centre où il est différent de 1 (inférieur à 1 ou supérieur à 1) :

- quelques forages en 2014 à l'Est et au Sud-Ouest.
- quelques forages en 2015 au Nord, Est et au Sud.
- quelques forages en 2016 au Sud.
- au sud et quelques forages au centre et Est

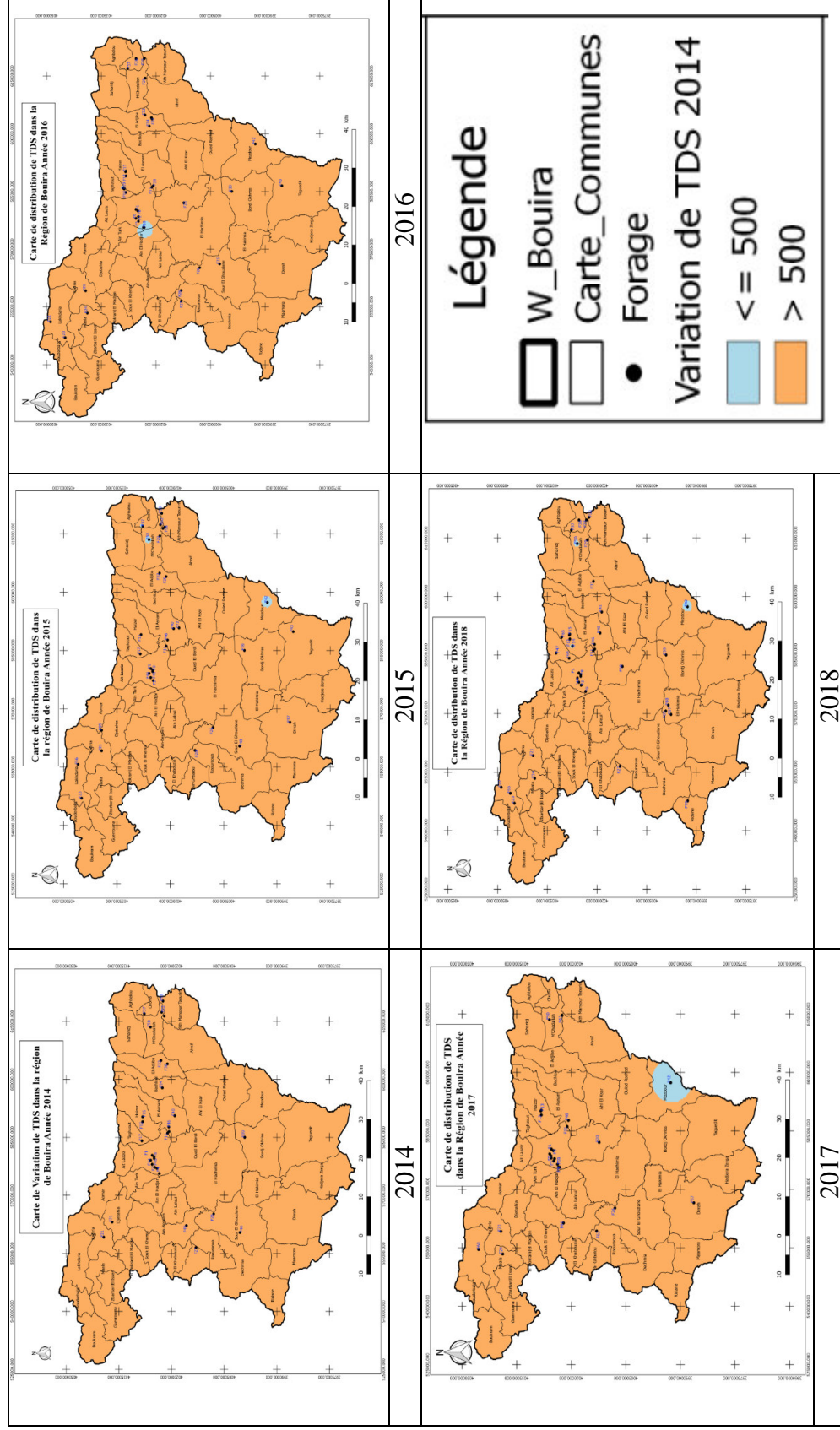


Figure IV -23 : Cartes de distribution du TDS dans la région de Bouira (2014-2018)

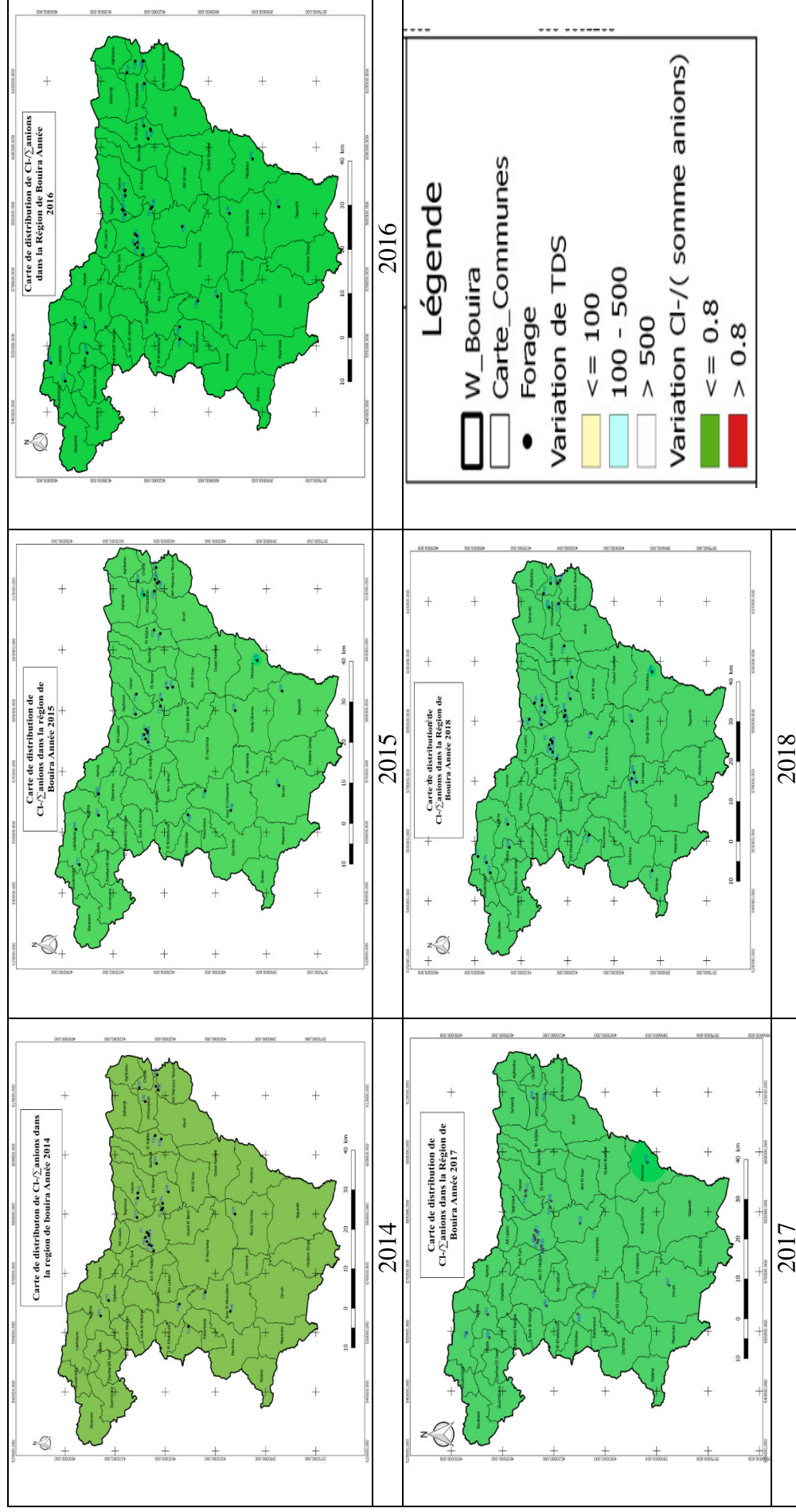


Figure IV-24 : Cartes de distribution du Cl-/Σanions dans la région de Bouira (période 2014-2018)

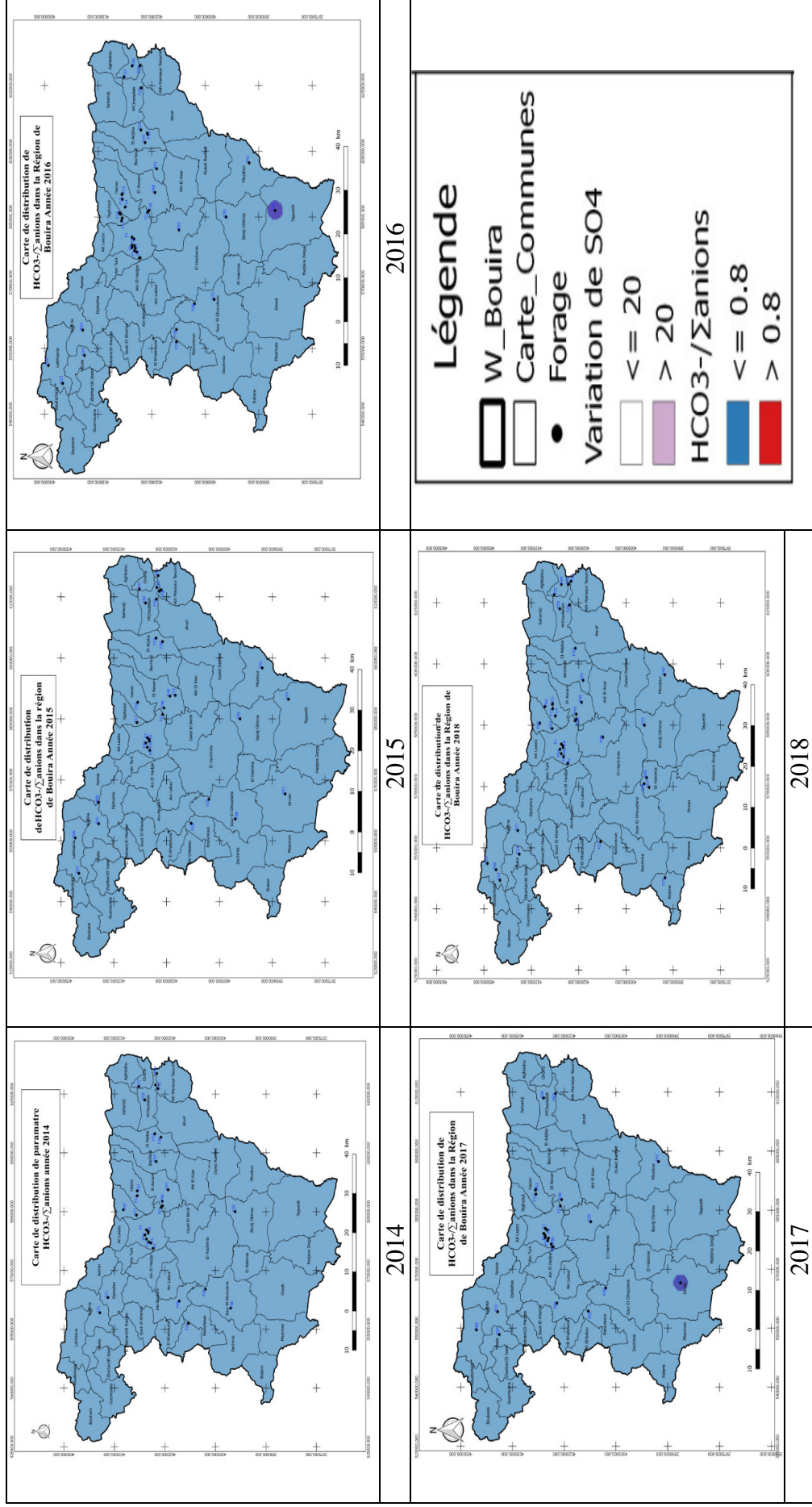


Figure IV-25: Cartes de distribution du  $\text{HCO}_3^-/\Sigma\text{anions}$  dans la région de Bouira (Période 2014-2018)

# La cartographie

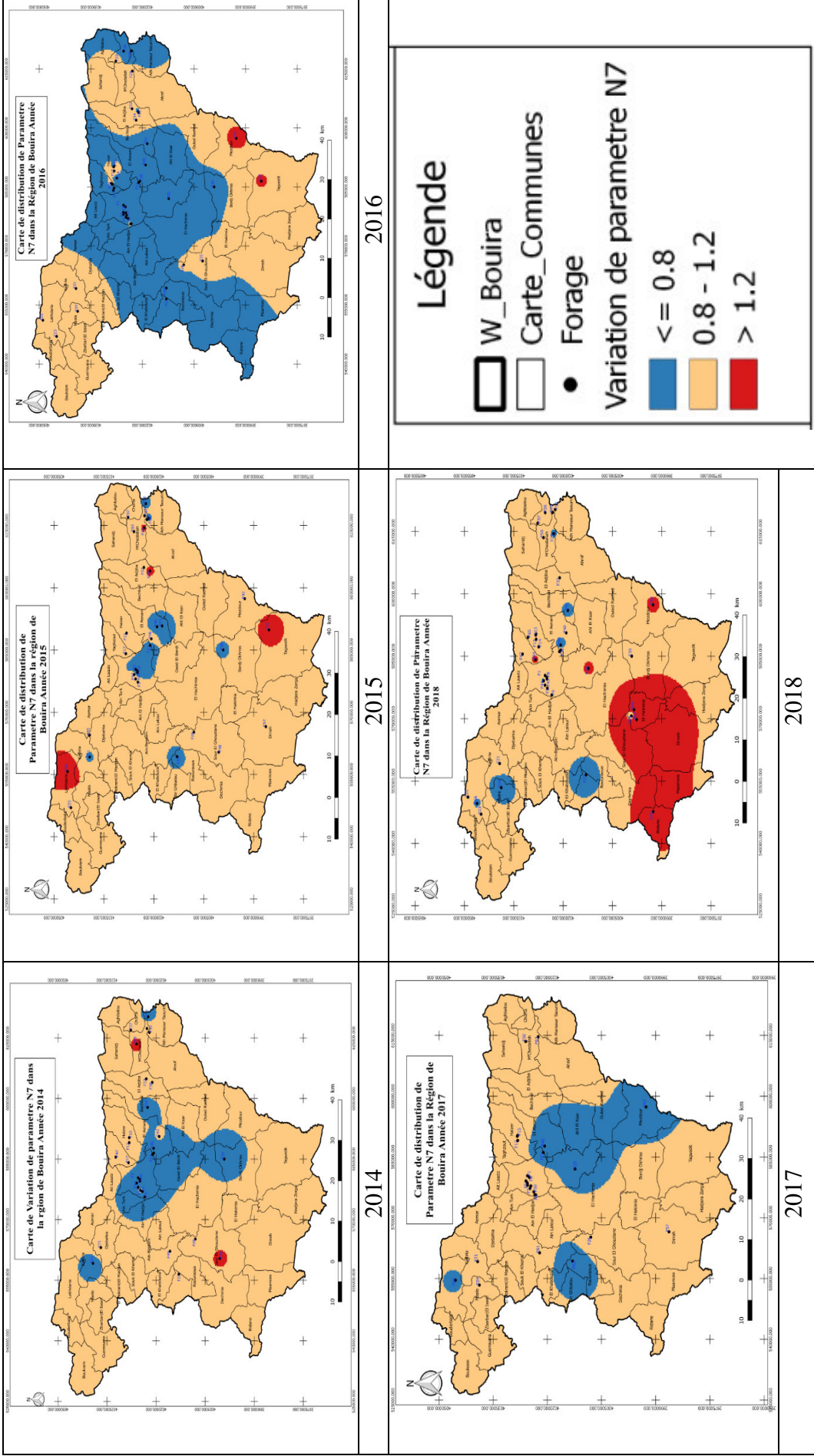


Figure IV -26 : Cartes de distribution de  $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$  dans la région de Bouira (période 2014-2018)

### IV.3.3.5. Le Rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{+2}$ :

Un rapport  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{+2} > 1$  : signifie que le calcium l'emporte sur le magnésium et que (à priori), l'origine évaporitique du magnésium est faible ; donc : le calcium provient de la dissolution de la Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et/ou du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ).

Dans notre région le rapport durant les cinq ans est supérieur à 1 (Figure IV-27), avec des teneurs faibles en [Mg] ; cela signifie que la présence de Mg a comme origine l'échange avec l'argile.

### IV.3.3.6. Le Rapport $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$ :

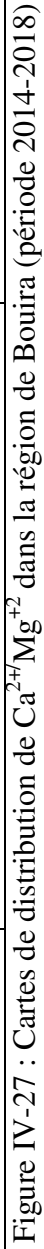
- $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) = 0.5$  avec  $(\text{HCO}_3/\text{Si}) > 10$  : il s'agit de la dissolution de dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).
- $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) < 0.5$  : il s'agit de la dissolution des carbonatées (dolomite)
- $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) > 0.5$  : il s'agit de la dissolution de dolomite, de la précipitation de la calcite, ou de l'eau de mer.
- $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) < 0.5$  avec  $(\text{HCO}_3/\text{Si}) < 5$  : il s'agit des minéraux ferromagnésiens.
- $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) > 0.5$  : il s'agit de l'altération du granite.

### IV.3.3.7. Le Rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ :

Lorsque le rapport  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$  est de l'ordre de 1, cela signifie que l'origine du calcium est la dissolution du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ).

Ce rapport est supérieur à 1 durant la période de (2014-2018) (Figure IV-29) dans la majorité des forages de la région ; ce qui signifie que l'origine de Ca est la dissolution en partie du gypse et de la calcite.

1. *Introduction*



# La cartographie

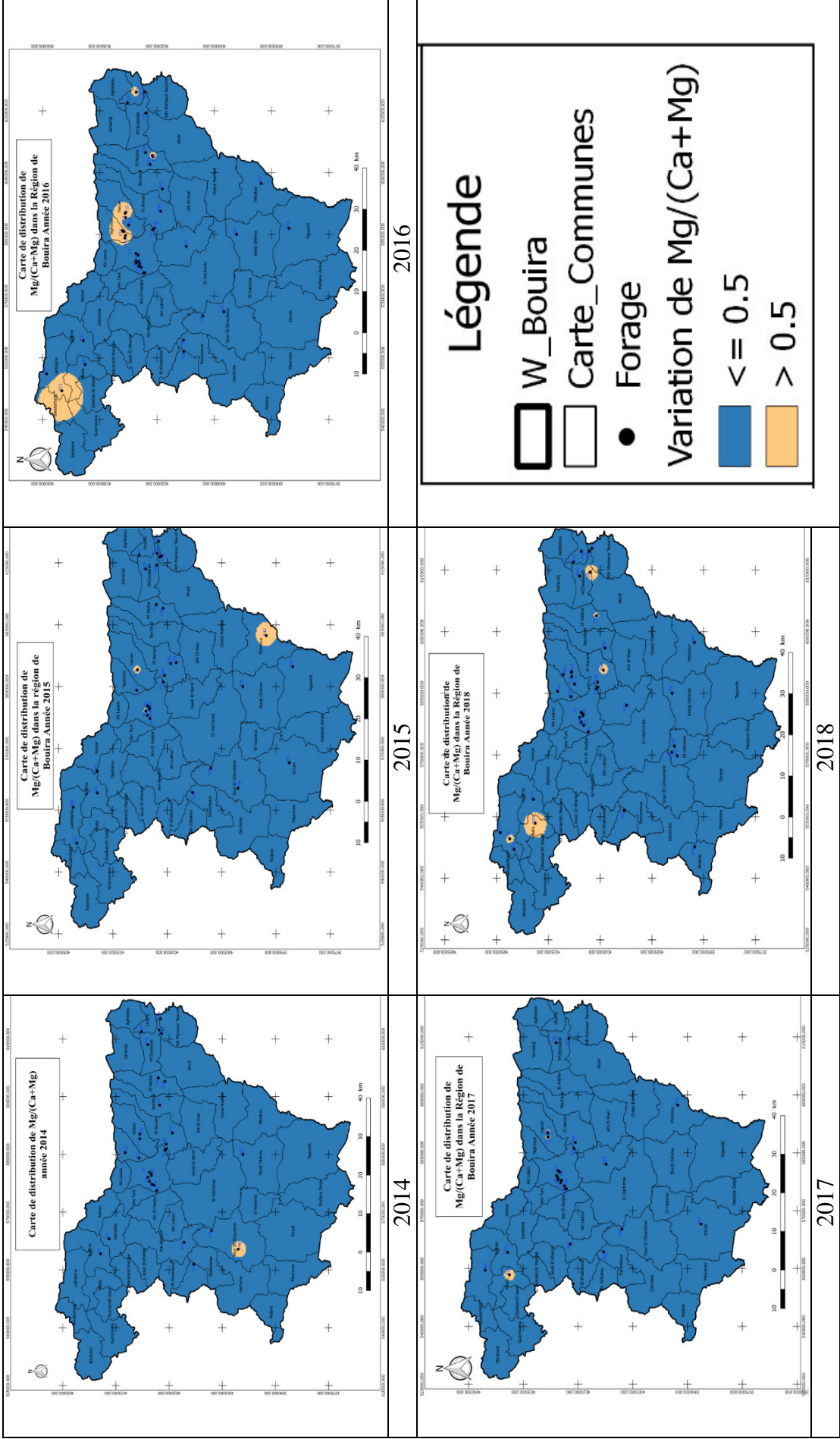


Figure IV -28 : Cartes de distribution de  $Mg^{+2}/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$  dans la région de Bouira pour la période (2014-2018)

# La cartographie

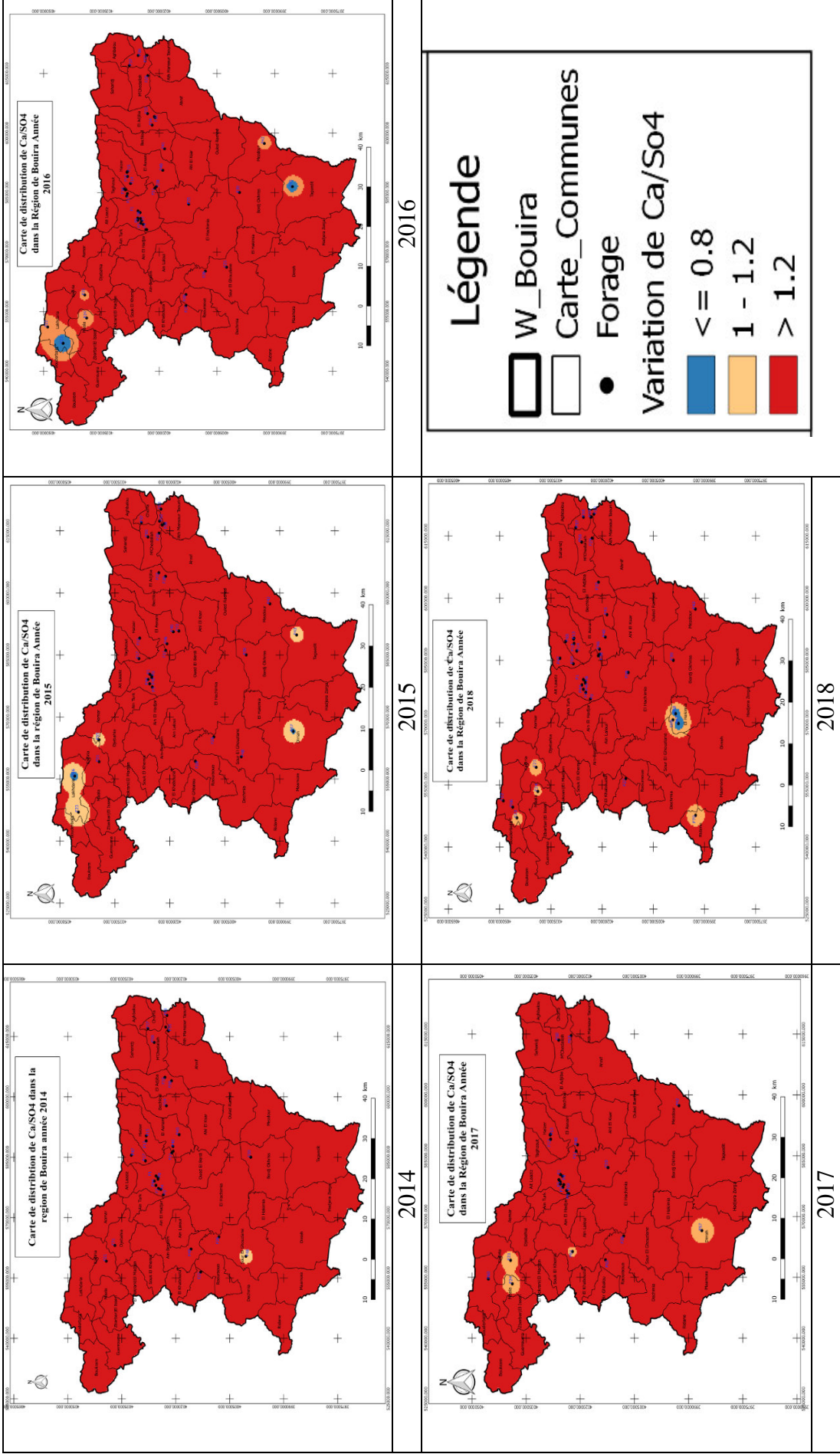


Figure IV -29: Cartes de distribution de  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$  dans la région de Bouira (Période 2014-2018)

### IV.3.3.8. Le Rapport $\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$ :

Le pH des eaux de la région varie entre 6.5 à 8, donc on peut dire que c'est un pH neutre.

Le rapport  $\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$  (Figure IV-30) dans quelques forages des parties Nord, Sud et Est ; est de l'ordre de 0.5 ; il s'agit donc de la dissolution de la dolomite et de la précipitation de la calcite. Dans les autres zones ce rapport est supérieur à 0.5 ; donc il s'agit d'une réduction de la teneur en calcium (échange d'ions ou précipitation de la calcite).

### IV.3.3.9. Le Rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})/\text{HCO}_3^-$ :

Ce rapport  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})/\text{HCO}_3^-$  est supérieur à 1 pendant la période (2014-2018) (Figure IV-31) dans toute la région d'étude ; donc il s'agit d'un excès de  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$ , cela signifie que le taux d'ions  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$  d'origine évaporitique est d'autant plus fort que le pouvoir de sa réduction par :

- Précipitation de la calcite et de la dolomite.
- Echange avec les argiles (ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{+2}$ ).

### IV.3.3.10. Le Rapport $\text{Na}^+/\text{K}^+$ :

Ce rapport informe sur le stade d'évolution des eaux souterraines, entre leur zone d'infiltration et leur zone d'émergence.

- rapport  $< 10$  : il s'agit de l'eau de pluie.
- rapport variant de 15 à 25 : il s'agit de la zone d'enrichissement des nappes
- rapport de l'ordre de 47 : il s'agit de l'eau de mer.
- rapport variant de 50 à 70 : il s'agit des zones des émergences (sortie d'eau souterraine).

À partir de la carte de la figure IV-32 ; on remarque que le nord et l'est de la région sont des zones d'enrichissement des nappes et que le sud et l'ouest sont des zones d'émergence.

### IV.3.3.11. Le Rapport $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$ :

On peut interpréter la valeur de ce rapport comme suit : (Figure IV-33)

Rapport  $< 0.2$  : donc il s'agit d'une altération moins probable du plagioclase

### IV.3.3.12. Le Rapport $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ :

Un rapport  $\text{Na}/\text{Cl}$  plus élevé suggère une contribution limitée des précipitations atmosphériques et révèle que des niveaux élevés d'ions majeurs sont probablement dérivés de l'altération des minéraux formant des roches, ou/et des sources anthropiques. La dissolution de l'halite dans l'eau libère des concentrations égales de Na et de Cl dans la solution, et le rapport molaire  $\text{Na}/\text{Cl}$  résultant sera d'environ égal à 1.

À partir de cette description on peut classer les eaux sous 03 groupes distincts :

- a- rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^- \approx 1$  : l'origine de  $\text{Na}^+$  (et  $\text{Cl}^-$ ) est la dissolution de l'halite, avec un très faible indice d'échange de bases.
- b- rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^- > 1$  : en plus de la dissolution de l'halite, l'eau est enrichie par l'échange d'ions (libération de  $\text{Na}^+$  par les argiles).
- c- rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^- < 1$  : en plus de la dissolution de l'halite, l'eau est appauvrie par l'échange d'ions (fixation de  $\text{Na}^+$  par les argiles).

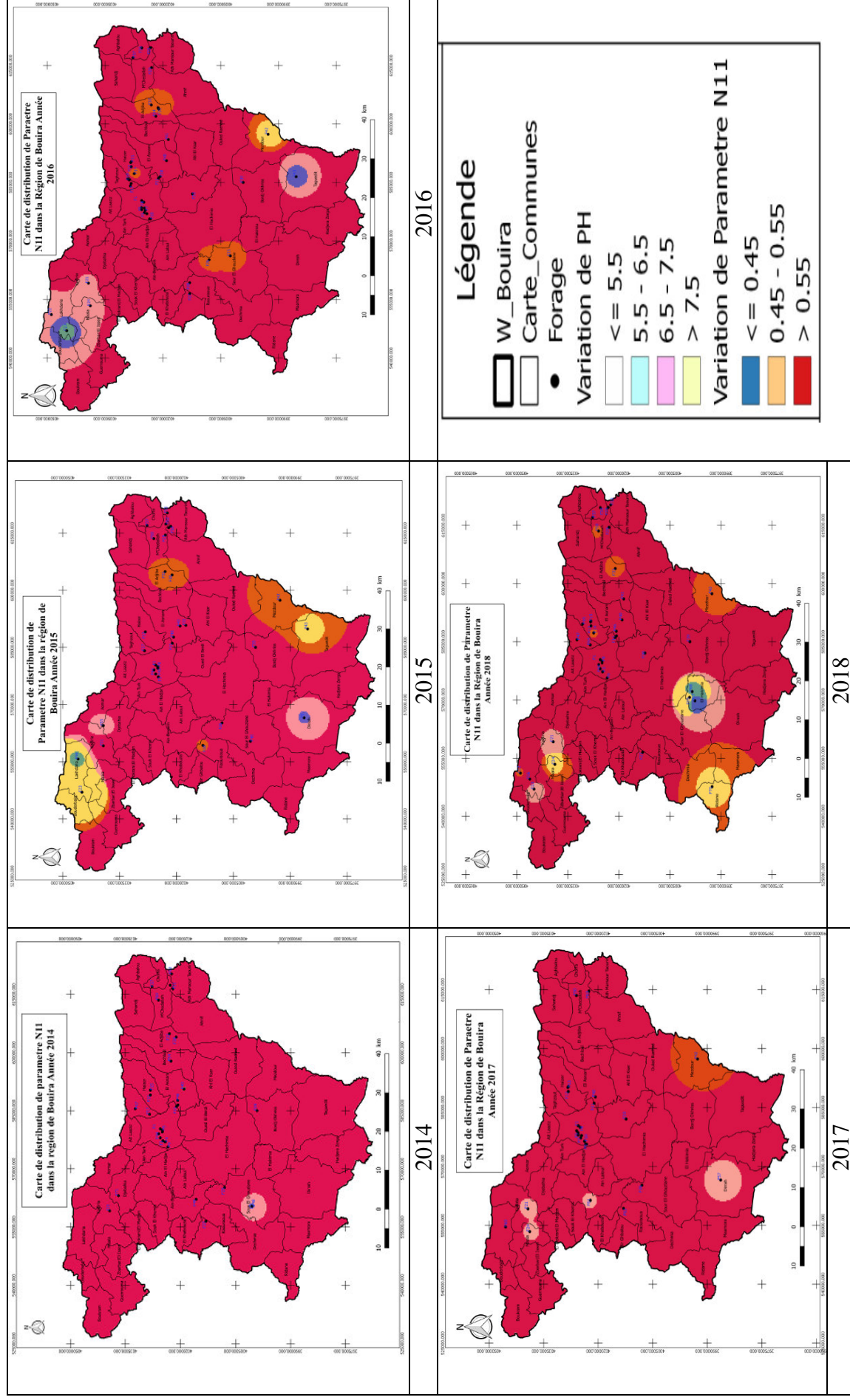


Figure IV-30 : Cartes de distribution de  $\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$  dans la région de Bouira pour la période (2014-2018)

# La cartographie

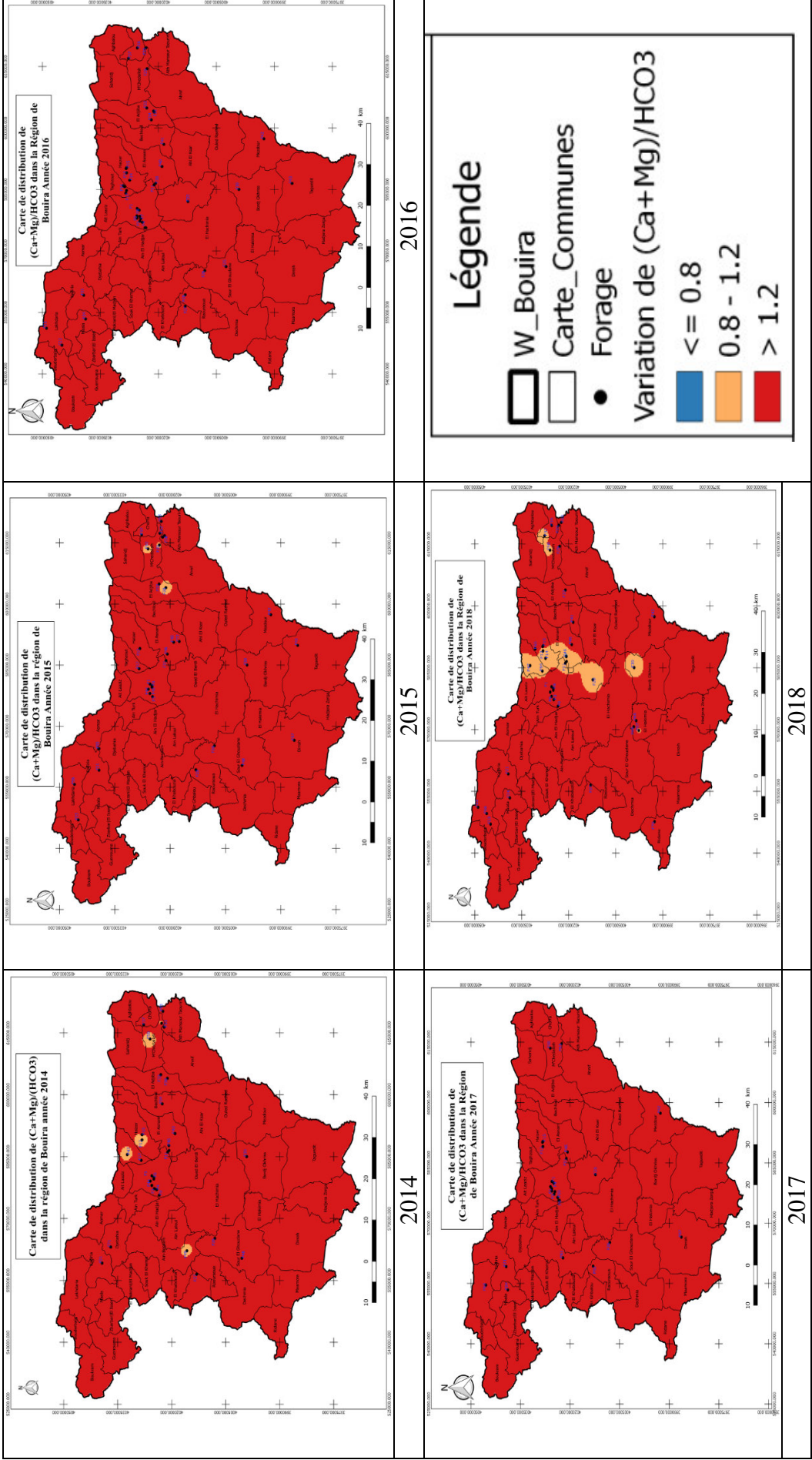
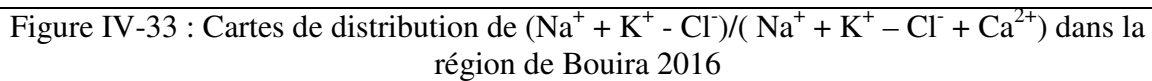
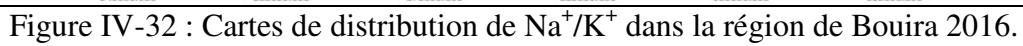


Figure IV-31 : Cartes de distribution de  $(Ca^{2+}+Mg^{+2})/HCO_3^-$  dans la région de Bouira pour la période (2014-2018)

---



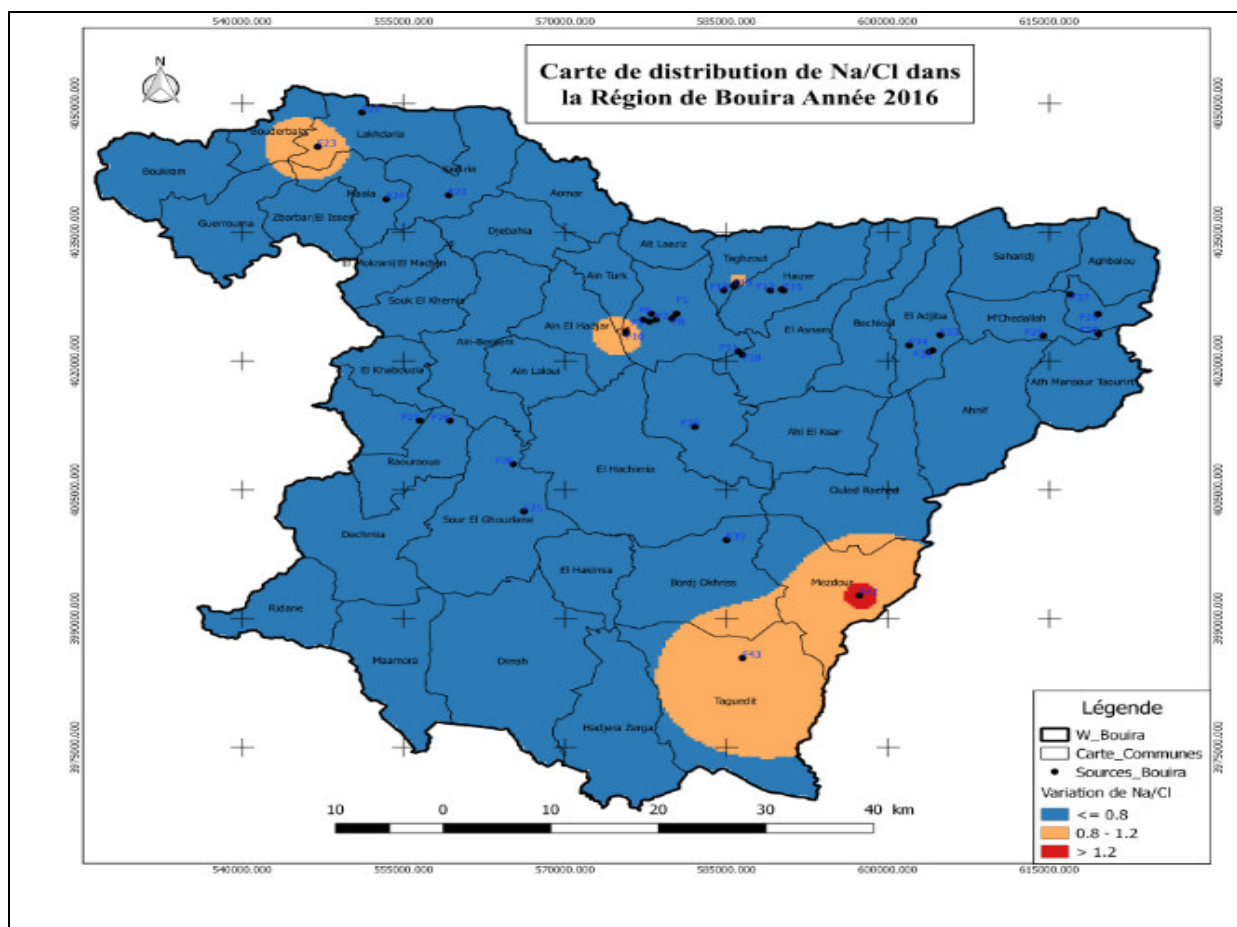


Figure IV-34 : Cartes de distribution de  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  dans la région de Bouira 2016

L'analyse de cette Carte( Figure IV-34) montre que le Rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^- < 1$  sur toute la région (fixation de  $\text{Na}^+$  par les argiles) sauf au Sud et quelque forage au Nord sont de l'ordre de 1(l'origine  $\text{Na}^+$  est de la dissolution de l'halite et l'eau est enrichie par la libération de  $\text{Na}^+$  par les argiles).

## IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'étude de la distribution des différents éléments qui caractérisent les eaux souterraines de la région de Bouira dans la période (2014-2018).

A travers les résultats obtenus (tout en considérant les valeurs moyennes annuelles des teneurs des différents paramètres), nous pouvons conclure que :

les eaux de la région de Bouira ont des caractéristiques physico-chimiques relativement variables : une température  $T_{\text{moy}}$  allant de 17.76 à 20.84 °C (qui signifie que ces eaux sont non thermales), un  $\text{pH}_{\text{moy}}$  de 7,03 à 8.9 et une conductivité électrique moyenne oscillant entre 1126.95 et 1486.93  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (qui signifie qu'elles sont des eaux conductrices à forte minéralité), et une dureté moyenne de 45.77 °F à 56.16°F signifiant qu'elles sont des eaux dure à très dure.

## La cartographie

---

Tableau IV-4 : Les valeurs moyennes des paramètres physiques

| Année | T     | pH   | Conductivité | TH    |
|-------|-------|------|--------------|-------|
| Unité | °C    |      | μS/cm        | °F    |
| 2014  | 17,76 | 7,03 | 1126,95      | 45,77 |
| 2015  | 18,00 | 7,26 | 1347,65      | 51,43 |
| 2016  | 18,45 | 7,29 | 1203,84      | 46,20 |
| 2017  | 18,34 | 7,10 | 1177,65      | 50,26 |
| 2018  | 20,84 | 8,93 | 1486,35      | 56,15 |

On note aussi :

-les fortes teneurs en nitrates dans la partie Ouest et centre de la région : ces teneurs élevées ont une tendance à s'élever d'une année à l'autre ; ce que signifie que c'est un indice de pollution.

-les fortes valeurs en sulfate et en calcium qui caractérisent le Sud et le Nord-Ouest de la région ; sont liées à la nature lithologique des formations gypseuses et calcaire.

-l'étude des rapports caractéristiques nous a permis aussi de conclure sur les origines des différents éléments :

- l'origine de  $\text{Cl}^-$  est liée à l'altération des roches.
- l'origine de  $\text{HCO}_3^-$  est les eaux saumâtres.
- l'origine de  $\text{Mg}^{2+}$  est l'échange avec les minéraux argileux.
- l'origine de  $\text{Ca}^{2+}$  est : la dissolution de gypse et de calcite.
- l'origine de  $\text{Na}^{2+}$  est : la dissolution de l'halite et la libération de Na par l'échange avec les argiles.

# Conclusion Générale

# Conclusion Générale

---

## Conclusion Générale

L'objectif principal de cette étude était de cartographier et évaluer la qualité des eaux souterraines dans la région de Bouira.

La cartographie de la distribution spatiale des différents paramètres de la qualité des eaux souterraines ainsi que leur évolution spatio-temporelle a été réalisée à l'aide d'un logiciel de type SIG (système d'information géographique).

L'analyse des données climatiques de la région de Bouira, a mis en évidence un climat de type semi-aride. La température moyenne est d'environ 17,5°C. La lame précipitée moyenne annuelle estimée par la méthode arithmétique est égale à 443,75mm. Quant à l'évapotranspiration réelle, estimée par différentes formules empiriques, elle représente 87% de la pluviométrie annuelle (386,46 mm/an) ; alors que l'infiltration est très faible et ne représente que 5% des précipitations.

La contamination diffuse des eaux souterraines par divers types de produits naturelles ou des produits utilisés dans les activités humaines représente ; un problème environnemental majeur. L'identification des zones à risque constitue un moyen efficace au service de la politique de gestion des ressources naturelles.

Les eaux de mauvaise et moyenne qualité caractérisent la zone Ouest (Ain-Bessam) et la zone Centre (Plateau el-Asnam). Le Sud et le Nord de la région étudiée, sont caractérisés par une qualité de l'eau en baisse significative au cours du temps, et due à l'évolution progressive des teneurs en nitrates (au niveau du plateau d'El-Asnam et au niveau d'Ain Bessam), et en sulfates et en calcium (au Nord et au Sud de la région d'étude).

On peut noter qu'actuellement la partie Est est caractérisée par une bonne qualité des eaux souterraines, tandis que cette qualité des eaux souterraines diminue de l'Est vers l'Ouest de la région.

L'étude des rapports caractéristiques nous a permis de déterminer l'origine des eaux et de leurs constituants chimiques (éléments majeurs).

Les activités agricole dans la région d'étude reste la cause principale de pollution des eaux souterraines, précisément dans deux zones agricoles qui sont localisés au niveau du plateau d'El Asnam et au niveau de la zone d'Ain Bessam ; où nous avons enregistré des teneurs en  $\text{NO}_3^-$  très élevées dans les eaux de forages.

Ce travail est une contribution à l'étude du problème de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la région de Bouira. Il montre la nécessité de continuer la recherche dans cette direction afin d'améliorer et normaliser des nouvelles méthodes pour la conception des cartes thématiques de base en hydrogéochimie en s'appuyant sur des techniques technologiques modernes.

# Recommendations

### **Recommandations :**

Suite à ce travail et aux résultats auxquels nous avons aboutis, il nous paru utile de signaler quelques recommandations nécessaires à la protection qualitative des eaux souterraines de la région étudiée. Ainsi, il est nécessaire de :

- Surveiller en continue la qualité des ressources en eau.
- Désinfecter d'une façon périodique les eaux des puits.
- Contrôler et normaliser l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires.
- Encadrer et assurer la formation des agriculteurs à des bonnes pratiques en matière d'épandage des engrais.
- Adopter de nouveaux systèmes d'irrigation afin d'éviter l'infiltration de grandes quantités d'eau et par la suite l'apport de plus de contaminants.
- Réduire la consommation des eaux des puits, non conformes à la norme Algérienne des eaux potables et aussi aux normes de l'OMS, afin de minimiser le risque sur la santé humaine et d'éviter l'apparition d'éventuelles maladies d'origine hydrique.
- Effectuer d'autres études pour compléter la base de données sur les inventaires, l'usage et l'impact des pesticides et des fertilisants sur la population dans une région fortement peuplée.

# **Référence bibliographique**

## Référence bibliographique

---

### Référence bibliographique

- [1] Jacques Beauchamp. Qualité et pollution des eaux souterraine. Université de Picardie Jules Verne ,anne. 2006.
- [2] ADJAL Abdelkader- HAMENI Mohamed ; Contribution à l'étude de la qualité des eaux souterraines de la région de Sour el Ghazlane, mémoire de master, l'université de Bouira ; 2017 .
- [3] Daniel Soucy. CARTOGRAPHIE DES INDICATEURS DE QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE. Mémoire de master Université du Québec INRS-Eau. 1998.
- [4] AFFAF BEYRAGUED ; CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA BASSE VALLEE DE LA SOUMMAM-BEJAIA. Mémoire de master Université de Msila. 2017.
- [5] Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L. 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. 2005
- [6] M. Kahoul et M. Touhami. Evaluation de la qualite physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba(Algerie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, pp. 129-138.
- [7] Etude de la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine basée sur l'approche méthodologique GALDIT (Cas de la nappe de BOUTELDJA, Nord EST Algérien.)
- [8] ZENGUILA ZINABA. CONTRIBUTION A L'ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA RÉGION D'AOULEF WILAYA D'ADRAR. Mémoire de Master. Université de Tlemcen. juin 2016
- [9] BRAKNI Bouthaina. Etude de la qualité des eaux souterraines de la région El MALABIOWilaya de Tébessa (S-E Algérien). Mémoire de Master. Université de Oum-El\*Bouaghi. 22 juin 2017
- [10] S. Krishnaraj, Sanjiv Kumar and K.P. Elango. Spatial Analysis of Groundwater Quality Using Geographic Information System – A Case Study . IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT) . e-ISSN: 2319-2402,p- ISSN: 2319-2399.Volume 9, Issue 2 Ver. III (Feb 2015), PP 01-06. [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)

## Référence bibliographique

---

- [11] Nordine Nouayti, Driss Khattach, Mohamed Hilali. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) . J. Mater. Environ. Sci. 6 (4) (2015) 1068-1081.
- [12] Rachid BEN AAKAME. Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc). THÈSE DE DOCTORAT. Université Mohammed V, rabat . 13 Mars 2015.
- [13] DOUIS Djihad. Étude de la Qualité des eaux souterraines (région sud ouest) du plateau de Mostaganem. Mémoire de Master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- [14] MOKRANI Messaoud .Cartographie hydro-chimique appliquée a la nappe de la Mitidja. Mémoire de Master. Ecole National Supérieurs D'hydraulique, Blida. Avril 2017.
- [15] [www.canada.ca/fr](http://www.canada.ca/fr)
- [16] <https://www.gov.mb.ca>
- [17] <https://www.urofrance.org>
- [18] Beaudoin B., Problématique éco toxicologique actualisée des fluorures dans les eaux municipales, Centre universitaire de formation en environnement, Québec, Canada, 98p. 2012
- [19] Demdoum A, Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Doctorat d'état, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine, 205p. 2010
- [20] Frioua Salim. 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. 2014.
- [21] Faurie C, Medori P, Ferra C. Ecologie : Approche scientifique et pratique, 5ème Edition, Lavoisier doc et tec, Paris, 312p. 2003
- [22] BOUTOUGA F. Ressources et essai de gestion des eaux dans LE Est de Biskra. Thèse de Magister en ingénierie des ressources en eau. Université Badji Mokhtar Annaba Algérie. 2012
- [23] Bonnin J.. Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Eyrolles.P :23-33.1982
- [24] Pierre A et Baptiste P. Hydrogéologie et Forage d'eau, X Congreso Bolivariano de Ingeniera Sanitaria Y Ambiental,Aidis. 2003.
- [25] BOUTELDJAOUI Fatah, BESSENASSE Mohamed, GUENDOZ Abdelhamid. Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa). Université de Djelfa. 2011.

## Référence bibliographique

---

[26] Dalila ZIANI. Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de Ain Djasser Est Algérien. Thèse de magister, Université Batna, 156 p. 2009.

**ANIRF.** Agence National d'Intermédiation et de régulation Foncière.

**ANDI.** Agence Nationale De Développent De L'investissement.

**ANRH.** Agence national des ressources hydraulique

# Les Annexes

## Les Annexes

### Les Annexes

Tableau1: Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (JORADP 2011)

| paramètre     | unité                           | Valeur indicative |
|---------------|---------------------------------|-------------------|
| pH            |                                 | <6.5 et <9        |
| conductivités | μS/cm à 20°C                    | 2800              |
| Dureté totale | mg/L de CaCO <sub>3</sub> ou °F | 500 / 50          |
| calcium       | mg/L                            | 200               |
| magnésium     | mg/L                            | 150               |
| sodium        | mg/L                            | 200               |
| potassium     | mg/L                            | 12                |
| Sulfates      | mg/L                            | 400               |
| Chlorures     | mg/L                            | 500               |
| Nitrates      | mg/L                            | 50                |
| Température   | °C                              | 25                |

Tableau 2: Caractéristiques générales des stations pluviométriques.

| Station          | Code   | X        | Y       | Z       | Année de fonctionnement |
|------------------|--------|----------|---------|---------|-------------------------|
| Sour el Ghozlane | 150101 | (mètres) | (mètre) | (mètre) | 1970- 2009              |
| El Hachimia      | 150103 | 590600   | 316450  | 882     | 1970-2009               |
| Bouira           | 150105 | 600651   | 325100  | 730     | 1970-2009               |
| Crête rouge      | 150115 | 616000   | 337250  | 520     | 1971-2009               |
| Bordj Okhriss    | 150202 | 628100   | 340050  | 410     | 1970-2009               |
| Hammam Ksena     | 150203 | 614700   | 309900  | 750     | 1972-2009               |
| Beni Hammad      | 150306 | 613450   | 321650  | 600     | 1971-2009               |
| Khabouzia        | 090401 | 635750   | 346700  | 546     | 1970-2009               |
| Lakhdharia       | 090502 | 579.15   | 334.35  | 720     | 1973-2009               |
| Djebahia         | 090403 | 579.3    | 370     | 50      | 1970-2009               |
| Souagui          | 090104 | 594.8    | 353.45  | 320     | 1973-2009               |
| M'chedallah      | 150301 | 548.95   | 312.4   | 810     | 1970-2009               |

## Les Annexes

Tableau 3: Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2014) en (mg/l)

| forage                  | N   | Date de<br>prelevement | Les paramètres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |
|-------------------------|-----|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
|                         |     |                        | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |
|                         |     |                        | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| Forage f8 harkat        | F1  | 2014                   | 123                      | 28,6             |                 |                | 292,5                         | 138,4           | 42,29                         | 17,9                         |
| Forage f10 sidi ziane   | F44 | 2014                   | 120                      | 29,9             |                 |                | 281,8                         | 99,4            | 77,58                         | 11,78                        |
| Forage f16 sidi ziane   | F3  | 2014                   | 104                      | 27,2             |                 |                | 313,5                         | 99,4            | 53,6                          | 7,26                         |
| Forage f19 sidi ziane   | F4  | 2014                   | 125                      | 31,1             |                 |                | 342,8                         | 97,98           | 60,7                          | 10,89                        |
| NV forage sidi ziane    | F6  | 2014                   | 86,4                     | 65,12            |                 |                | 335,5                         | 90,88           | 75,18                         | 6,55                         |
| Forage ouled bellil     | F45 | 2014                   | 89,6                     | 44,71            |                 |                | 308,6                         | 109,3           | 36,12                         | 1,86                         |
| Forage f11 ouadhia      | F8  | 2014                   | 105                      | 34,2             |                 |                | 263,2                         | 154,7           | 51,48                         | 16,34                        |
| Forage said abid        | F9  | 2014                   | 112                      | 23,81            |                 |                | 297,6                         | 70,29           | 38,13                         | 16,2                         |
| Forage thameur          | F46 | 2014                   | 144                      | 63,18            |                 |                | 372,1                         | 174,7           | 63,56                         | 20,37                        |
| Forage djaada           | F11 | 2014                   | 136                      | 50,54            |                 |                | 360                           | 177,5           | 65,16                         | 33,13                        |
| Forage f5 haizer        | F12 | 2014                   | 73,2                     | 33,29            |                 |                | 423,3                         | 86,86           | 42,04                         | 3,27                         |
| Forage f2 haizer        | F15 | 2014                   | 102                      | 37,42            |                 |                | 401,4                         | 72,42           | 41,19                         | 11,47                        |
| Forage f7 taferka       | F17 | 2014                   | 101                      | 58,32            |                 |                | 506,3                         | 174,7           | 37,44                         | 3,056                        |
| Melange F3 + F1 taferka | F47 | 2014                   | 72,2                     | 35,96            |                 |                | 379                           | 57,51           | 45,96                         | 0,88                         |
| Puit P2 aomar           | F71 | 2014                   | 160                      | 68,04            |                 |                | 452,6                         | 232,2           | 247,35                        | 3,8                          |
| Forage ouled laalem     | F21 | 2014                   | 208                      | 68,04            |                 |                | 408,7                         | 172,5           | 248                           | 2,08                         |
| Forage souagui          | F48 | 2014                   | 97,6                     | 66,1             |                 |                | 418,4                         | 97,27           | 293                           | 19,12                        |
| Forage guelta zerga     | F26 | 2014                   | 113                      | 31,59            |                 |                | 384,3                         | 66,74           | 103,55                        | 38,09                        |
| Source ain el baidha    | F27 | 2014                   | 136                      | 39,85            |                 |                | 247,6                         | 134,2           | 258,9                         | 52,76                        |
| Source ben younes       | F49 | 2014                   | 66,4                     | 33,05            |                 |                | 342,8                         | 56,09           | 21,5                          | 27,64                        |
| Source noir             | F50 | 2014                   | 49,6                     | 19,44            |                 |                | 274,5                         | 56,04           | 52,2                          | 0,93                         |
| Forage f1 semache       | F30 | 2014                   | 88,8                     | 24,79            |                 |                | 261                           | 105,1           | 95,77                         | 1,1                          |
| Forage f3 semmache      | F32 | 2014                   | 85,6                     | 30,13            |                 |                | 269,6                         | 104,4           | 101,91                        | 1,37                         |
| Forage arkoub taourirt  | F51 | 2014                   | 158                      | 31,1             |                 |                | 364,7                         | 169,7           | 203,98                        | 12,49                        |

## Les Annexes

|                     |     |      |      |       |  |  |       |       |        |       |
|---------------------|-----|------|------|-------|--|--|-------|-------|--------|-------|
| Puit safia taourirt | F52 | 2014 | 66,4 | 33,05 |  |  | 342,8 | 56,09 | 21,5   | 27,64 |
| Forage ouled bouali | F53 | 2014 | 109  | 47,63 |  |  | 159,8 | 183,9 | 155,55 | 5,09  |
| Forage f3 chorfa    | F37 | 2014 | 72   | 39,37 |  |  | 287,9 | 118,6 | 54,72  | 1,86  |
| Forage f1 gue       | F39 | 2014 | 147  | 35    |  |  | 401   | 103   | 35,15  | 15,6  |
| Forage f2 el esnam  | F38 | 2014 | 120  | 63,2  |  |  | 411   | 177   | 40,85  | 41,1  |
| Forage f3 el esnam  | F40 | 2014 | 142  | 31,1  |  |  | 418   | 158   | 57,45  | 84    |
| Forage f1 bechloul  | F54 | 2014 | 134  | 51,5  |  |  | 377   | 167   | 52,75  | 53,8  |

Tableau 4: Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2015) en (mg/l)

| forage                 | N   | Date de prelevement | Les parametres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |
|------------------------|-----|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
|                        |     |                     | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |
|                        |     |                     | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| forage f8 harkat       | F1  | 2015                | 71,06                    | 48,44            |                 |                | 224,03                        | 118,57          | 72,36                         | 23,65                        |
| forage f10 sidi ziane  | F44 | 2015                | 63,2                     | 55,68            |                 |                | 329                           | 102,24          | 80,79                         | 7,53                         |
| forage f16 sidi ziane  | F3  | 2015                | 88                       | 45,68            |                 |                | 315,98                        | 124,96          | 89,67                         | 7,93                         |
| NV forage sidi ziane   | F6  | 2015                | 74,2                     | 36               |                 |                | 291                           | 100,82          | 50,16                         | 16,26                        |
| forage ouled bellil    | F45 | 2015                | 136                      | 14,58            |                 |                | 210,4866                      | 106,5           | 51,2                          | 44,3                         |
| forage f11 ouadhia     | F8  | 2015                | 96                       | 32,07            |                 |                | 269,62                        | 176,08          | 79,47                         | 6,02                         |
| forage thameur         | F46 | 2015                | 150,4                    | 14,88            |                 |                | 411,14                        | 230             | 52,25                         | 0,17                         |
| forage djaada          | F11 | 2015                | 142                      | 30,13            |                 |                | 369,66                        | 181,1           | 48,1                          | 44,3                         |
| forage f5 hizer        | F12 | 2015                | 59,2                     | 39,66            |                 |                | 310,8                         | 38,34           | 34,05                         | 9,81                         |
| melange f7+f12 taferka | F17 | 2015                | 92,8                     | 48,6             |                 |                | 384,3                         | 249,2           | 53,61                         | 10,58                        |
| forage boulerbah       | F55 | 2015                | 227,2                    | 50,544           |                 |                | 325,74                        | 291,1           | 575,2                         | 11,78                        |
| forage ouled el alem   | F21 | 2015                | 220,8                    | 92,16            |                 |                | 433,1                         | 213,71          | 341,75                        | 5,36                         |
| puits mehouane         | F23 | 2015                | 158,4                    | 80,67            |                 |                | 325,74                        | 92,3            | 430,2                         | 0                            |

## Les Annexes

|                          |     |      |        |        |  |  |        |        |        |         |
|--------------------------|-----|------|--------|--------|--|--|--------|--------|--------|---------|
| puits p2 merdja          | F56 | 2015 | 164,8  | 40,57  |  |  | 433,1  | 156,2  | 543    | 14,79   |
| forage souagi            | F48 | 2015 | 149,52 | 43,34  |  |  | 394,06 | 81,79  | 123,66 | 9,83    |
| puits guelta zerga       | F26 | 2015 | 119,2  | 25,76  |  |  | 274,5  | 48,28  | 135,15 | 6,9     |
| puits khlifat            | F57 | 2015 | 275,2  | 83,59  |  |  | 330,62 | 165,43 | 853,2  | 2,34    |
| puits ouled zidan        | F28 | 2015 | 145,6  | 34,02  |  |  | 185    | 117,86 | 225,12 | 110,75  |
| source noir              | F50 | 2015 | 40,8   | 24     |  |  | 236,68 | 7,1    | 35,09  | 0,21    |
| forage f51 mchedallah    | F29 | 2015 | 142,4  | 19,68  |  |  | 530,7  | 202,4  | 136,85 | 12,89   |
| forage f1 semmache       | F30 | 2015 | 60,8   | 32,11  |  |  | 317,2  | 106,5  | 93,25  | 0       |
| forage f3 semache        | F32 | 2015 | 66,4   | 37,92  |  |  | 325,74 | 108,6  | 96,05  | 0,71    |
| forage arkoub taourirt   | F51 | 2015 | 137,6  | 59,29  |  |  | 335,5  | 225,7  | 195,79 | 9,8789  |
| puits safia taourirt     | F52 | 2015 | 158,4  | 58,32  |  |  | 359,9  | 289,6  | 239,12 | 9,4359  |
| puits thazrouit taourirt | F58 | 2015 | 150,4  | 74,84  |  |  | 330,6  | 282,5  | 215,28 | 14,9291 |
| forage ouled bouali      | F53 | 2015 | 148,8  | 61,24  |  |  | 357,46 | 284    | 161,22 | 9,303   |
| forage f3 chorfa         | F37 | 2015 | 92,8   | 27,216 |  |  | 351,36 | 40,02  | 10,02  | 1,0189  |
| puits tarfa              | F43 | 2015 | 294,4  | 101,08 |  |  | 950,38 | 383,4  | 747    | 0,8417  |
| forage f1 gue            | F39 | 2015 | 125    | 18,47  |  |  | 315,98 | 121,4  | 41,26  | 66,45   |
| melange f2+f3 el esnam   | F72 | 2015 | 149    | 24,3   |  |  | 347,7  | 138,5  | 53,88  | 44,3    |
| forage f3 el esnam       | F40 | 2015 | 144    | 27,22  |  |  | 342,82 | 148,4  | 49,54  | 66,45   |
| source mezdour           | F42 | 2015 | 49,6   | 36,94  |  |  | 181,78 | 51,83  | 89,91  | 0       |

Tableau 5: Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2016) en (mg/l)

| forage                | N  | Date de prelevement | Les parametres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |
|-----------------------|----|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
|                       |    |                     | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |
|                       |    |                     | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| forage f8 harkat      | F1 | 2016                | 114,4                    | 29,36            | 42              | 0,9            | 242,78                        | 129,93          | 69,66                         | 11,82                        |
| forage f1 sida ziane  | F2 | 2016                | 99,2                     | 32,525           | 37,6            | 1              | 248,27                        | 134,545         | 69,065                        | 25,295                       |
| forage f16 sidi ziane | F3 | 2016                | 103,2                    | 45,04            | 44              | 1,4            | 289,14                        | 145,905         | 68,71                         | 6,005                        |

## Les Annexes

|                       |     |      |       |         |       |     |         |         |         |         |
|-----------------------|-----|------|-------|---------|-------|-----|---------|---------|---------|---------|
| forage f19 sidi ziane | F4  | 2016 | 57,6  | 45,2    |       |     | 290,36  | 224     | 31,08   | 2,66    |
| forage f21 sidi ziane | F5  | 2016 | 172,8 | 31,1    |       |     | 242,78  | 276,9   | 76,52   | 39,0726 |
| NV forage sidi ziane  | F6  | 2016 | 84,4  | 41,25   | 39,2  | 1   | 261,69  | 166,115 | 73,955  | 8,9     |
| f1+f2 sidi ziane      | F7  | 2016 | 95,2  | 27,21   |       |     | 240,34  | 93,01   | 52,05   | 24,05   |
| forage f11 ouadhia    | F8  | 2016 | 110,4 | 43,445  | 50,8  | 1   | 261,105 | 191,345 | 50,57   | 15,99   |
| forage f1 said abid   | F9  | 2016 | 56,8  | 12,63   | 29,2  | 1,3 | 140,3   | 32,66   | 48,72   | 8,46    |
| forage f2 said abid   | F10 | 2016 | 64,8  | 11,17   | 23,8  | 1,3 | 115,9   | 39,05   | 61,94   | 12,09   |
| forage djaada         | F11 | 2016 | 151,2 | 39,61   | 46    | 0,9 | 340,38  | 192,375 | 39,15   | 52,8    |
| forage f5 haizer      | F12 | 2016 | 56,4  | 36,2    | 23,8  | 1,4 | 261,08  | 60,35   | 61,105  | 8,46    |
| forage f1 haizer      | F13 | 2016 | 75,2  | 60,015  | 20,8  | 1,5 | 346,48  | 67,75   | 50,325  | 14,71   |
| source haizer         | F14 | 2016 | 36,8  | 10,69   |       |     | 128,1   | 39,05   | 0       | 0,09    |
| forage f2 haizer      | F15 | 2016 | 70,4  | 50,3    | 19,4  | 1,9 | 319,64  | 54,315  | 43,07   | 10,01   |
| forage f4 taghzout    | F16 | 2016 | 50,4  | 44,22   | 28,8  | 1,1 | 264,74  | 41,18   | 38,22   | 5,93    |
| f7+f12 taferka        | F17 | 2016 | 83,2  | 75,81   |       |     | 335,5   | 298,2   | 42,06   |         |
| h12+h17+f3 taghzout   | F18 | 2016 | 84    | 75,33   | 56,8  | 1,7 | 314,76  | 195,83  | 42,945  | 15,64   |
| forage f3 taghzout    | F19 | 2016 | 47,2  | 38,39   | 28,6  | 1,7 | 272,06  | 76,68   | 18,12   | 10,76   |
| forage oued el-bardi  | F20 | 2016 | 104   | 37,415  | 37,1  | 1,2 | 223,26  | 130,285 | 110,73  | 35,26   |
| forage ouled laalem   | F21 | 2016 | 222,4 | 70,63   | 102,8 | 2   | 359,7   | 244,595 | 503,275 | 13,02   |
| source guegour        | F22 | 2016 | 138,4 | 68,525  | 18,8  | 3,1 | 376,37  | 51,475  | 394,16  | 1,105   |
| puits mahouene        | F23 | 2016 | 110,4 | 117,125 | 59,6  | 3   | 367,83  | 95,495  | 517,41  | 0,995   |
| forage lmaala         | F24 | 2016 | 176   | 106,26  | 88,8  | 3   | 420,9   | 211,935 | 447,45  | 11,79   |
| forage bakouche       | F25 | 2016 | 125,6 | 31,36   | 21,8  | 0,8 | 279,38  | 48,28   | 153,6   | 12,75   |
| puits guelta zarga    | F26 | 2016 | 133,6 | 41,305  | 40    | 0,7 | 268,4   | 101,875 | 184,8   | 18,935  |
| puits ain bidha       | F27 | 2016 | 225,6 | 28,18   | 53,2  | 0,6 | 245,22  | 230     | 236,25  | 110,75  |
| puits pouled zidane   | F28 | 2016 | 177,6 | 33,04   | 31,5  | 1,3 | 172,02  | 138,27  | 162,8   | 110,75  |
| forage f51 mehdala    | F29 | 2016 | 120   | 67,685  | 57,2  | 2,3 | 322,07  | 185,31  | 207,825 | 14,24   |
| forage f1 semache     | F30 | 2016 | 61,6  | 36,48   |       |     | 251,32  | 83,78   | 93      | 0       |
| forage f2 semache     | F31 | 2016 | 92,8  | 60,26   | 64,4  | 3,4 | 126,88  | 180,34  | 140,2   | 3,67    |
| f3 semache            | F32 | 2016 | 72    | 37,905  | 38,6  | 2,9 | 255,59  | 96,915  | 119,21  | 3,545   |

## Les Annexes

|                   |     |      |       |        |      |     |        |         |         |       |
|-------------------|-----|------|-------|--------|------|-----|--------|---------|---------|-------|
| f1 E1 laadjiba    | F33 | 2016 | 63,6  | 39,65  | 56,4 | 4   | 248,88 | 102,595 | 103,68  | 0,73  |
| f2 E1 laajiba     | F34 | 2016 | 102,4 | 58,32  | 56,8 | 2,5 | 301,34 | 157,38  | 153,8   | 5,98  |
| forage F1 chourfa | F35 | 2016 | 120,4 | 39,15  | 55,4 | 2,1 | 275,72 | 123,86  | 77,835  | 2,755 |
| f4 chourfa        | F36 | 2016 | 77,6  | 56,7   | 32,6 | 1,8 | 261,69 | 83,565  | 109,975 | 7,945 |
| f3 chourfa(f3+f1) | F37 | 2016 | 88,8  | 32,26  | 26,6 | 2,1 | 262,3  | 82,285  | 81,3    | 8,92  |
| f2 lasnam+ f1 gue | F38 | 2016 | 129,6 | 16,52  | 44,4 | 1,3 | 292,8  | 127,09  | 39,12   | 91,03 |
| f1 gue            | F39 | 2016 | 121,2 | 32,745 | 45,2 | 1,3 | 317,8  | 125,655 | 41,37   | 66,45 |
| f3 lasnam         | F40 | 2016 | 147,2 | 33,6   |      |     | 372,1  | 149,8   | 71,54   | 19,66 |
| f3 bachloul       | F41 | 2016 | 133,6 | 44,45  |      |     | 383,69 | 153,48  | 57,54   | 59,43 |
| source masdour    | F42 | 2016 | 42,8  | 25,37  | 54   | 3,3 | 198,86 | 66,74   | 113,835 | 1,17  |
| puits tarfa       | F43 | 2016 | 281,6 | 119,64 | 120  | 2,3 | 366,97 | 172,885 | 1101,9  | 8,57  |

Tableau 6 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2017) en (mg/l)

| forage                  | N   | Date de prelevement | Les parametres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |
|-------------------------|-----|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
|                         |     |                     | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |
|                         |     |                     | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| forage f8 harkat        | F1  | 2017                | 110,4                    | 33,6             |                 |                | 252,54                        | 134,19          | 265,2                         | 44,3                         |
| forage f21 sidi ziane   | F5  | 2017                | 96                       | 48               |                 |                | 311,1                         | 283,29          | 119,88                        | 44,3                         |
| NV forage f2 sidi ziane | F6  | 2017                | 116,8                    | 27,8             |                 |                | 245,22                        | 118,57          | 275,7                         | 41,55                        |
| f1+f2 sidi zian         | F7  | 2017                | 119,2                    | 25,2             |                 |                | 303,17                        | 107,565         | 73,18                         | 42,525                       |
| forage f11 ouadhia      | F8  | 2017                | 110,4                    | 29,76            |                 |                | 300,73                        | 139,16          | 64,995                        | 12,995                       |
| f13 sidi ziane          | F59 | 2017                | 166,4                    | 29,16            |                 |                | 418,46                        | 173,95          | 124,68                        | 3,8                          |
| f16 sidi ziane          | F3  | 2017                | 104                      | 34,8             |                 |                | 320,25                        | 100,11          | 91,505                        | 31,03                        |
| f10                     | F44 | 2017                | 96,00                    | 29,28            |                 |                | 323,91                        | 88,75           | 49,185                        | 25,78                        |
| f1 said abid            | F9  | 2017                | 95,6                     | 28,75            |                 |                | 386,28                        | 67,805          | 46,34                         | 4,16                         |
| f2 said abid            | F10 | 2017                | 108                      | 20,03            |                 |                | 305                           | 73,84           | 44,89                         | 12,31                        |
| forage thameur          | F46 | 2017                | 147,2                    | 34,99            |                 |                | 211,06                        | 200,93          | 78                            | 61,39                        |

## Les Annexes

|                         |     |      |        |        |  |  |        |         |         |        |
|-------------------------|-----|------|--------|--------|--|--|--------|---------|---------|--------|
| forage djaada           | F11 | 2017 | 144    | 31,1   |  |  | 201,3  | 196,67  | 78      | 29,63  |
| f5 hizer                | F12 | 2017 | 64     | 41,54  |  |  | 280,6  | 39,405  | 55,48   | 10,585 |
| f1 hizer                | F13 | 2017 | 92,4   | 49,035 |  |  | 383,08 | 61,77   | 53,17   | 32,6   |
| f2 hizer                | F15 | 2017 | 70,4   | 47,795 |  |  | 356,85 | 53,25   | 49,94   | 37,03  |
| forage oued el berdi    | F20 | 2017 | 85,6   | 51,51  |  |  | 180,56 | 114,31  | 84,99   | 43,06  |
| forage ouled el elaalem | F21 | 2017 | 126,57 | 64,155 |  |  | 334,28 | 149,81  | 323,15  | 10,805 |
| forage maala            | F24 | 2017 | 147,2  | 96,585 |  |  | 356,85 | 233,235 | 354,625 | 1,185  |
| puits marhanian         | F60 | 2017 | 139,2  | 37,44  |  |  | 462,38 | 145,55  |         |        |
| puits guelta zerga      | F26 | 2017 | 118,4  | 30,13  |  |  | 337,9  | 137,74  | 140,07  | 43,59  |
| puits khlifate          | F57 | 2017 | 396,8  | 130,56 |  |  | 437,98 | 217,26  | 1020    | 8,94   |
| source kraimia          | F61 | 2017 | 184    | 69,9   |  |  | 291,58 | 80,94   | 435,45  | 51,63  |
| puits p3 ouled zidane   | F62 | 2017 | 177,6  | 33,04  |  |  | 172,02 | 138,27  | 162,8   | 110,75 |
| source noir             | F50 | 2017 | 82     | 34,33  |  |  | 305,5  | 24,83   | 91,36   | 0,33   |
| forage raffor           | F63 | 2017 | 145,6  | 67,2   |  |  | 486,78 | 241,4   | 144,5   | 16,3   |
| source mesdour          | F42 | 2017 | 45,6   | 22,08  |  |  | 115,9  | 48,28   | 54,64   | 0      |

Tableau 7 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2018) en (mg/l)

| forage               | N   | Date de prelevement | Les parametres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |
|----------------------|-----|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
|                      |     |                     | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |
|                      |     |                     | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| f8 harkat            | F1  | 2018                | 114,4                    | 28,895           |                 |                | 328,18                        | 113,6           | 83,975                        | 47,4                         |
| f16 sidi ziane       | F3  | 2018                | 82,1                     | 49,57            |                 |                | 341,6                         | 132,06          | 82,68                         | 40,75                        |
| NV forage sidi ziane | F6  | 2018                | 96,4                     | 22,11            |                 |                | 320,25                        | 108,985         | 72,76                         | 43,81                        |
| f10 sidi ziane       | F44 | 2018                | 100                      | 38,88            |                 |                | 274,1                         | 116,44          | 65,25                         | 58,87                        |
| f11 ouadhia          | F8  | 2018                | 116,4                    | 21,89            |                 |                | 306,85                        | 175,82          | 70,625                        | 14,89                        |
| forage ouled bellil  | F45 | 2018                | 114,4                    | 17,255           |                 |                | 317,45                        | 102,595         | 98,185                        | 33,795                       |
| f1 said abid         | F9  | 2018                | 105,6                    | 14,58            |                 |                | 320,86                        | 82,36           | 55,22                         | 15,06                        |

## Les Annexes

|                           |     |      |       |        |  |  |  |        |         |         |        |
|---------------------------|-----|------|-------|--------|--|--|--|--------|---------|---------|--------|
| forage thameur            | F46 | 2018 | 70,4  | 32,56  |  |  |  | 541,62 | 183,18  | 25,6    | 34,42  |
| forage djaada             | F11 | 2018 | 70    | 32,56  |  |  |  | 416,02 | 218,68  | 20,6    | 63,65  |
| f5 hizer                  | F12 | 2018 | 60,4  | 38,64  |  |  |  | 335,5  | 35,145  | 49,33   | 2,255  |
| f1 hizer                  | F13 | 2018 | 103,2 | 42,025 |  |  |  | 436,15 | 83,78   | 38,67   | 17,23  |
| source hizer              | F14 | 2018 | 47,2  | 11,78  |  |  |  | 197,64 | 63,19   | 32,82   | 1,72   |
| f2 hizer                  | F15 | 2018 | 80    | 52     |  |  |  | 396,5  | 47,57   | 26,56   | 41,9   |
| f7 taghzout               | F64 | 2018 | 80,4  | 33,27  |  |  |  | 419,67 | 134,9   | 86,965  | 2,165  |
| melange f3 tafarka        | F47 | 2018 | 56,8  | 34,5   |  |  |  | 377    | 57,51   | 31,54   | 7,57   |
| forage f' tafarka NV      | F65 | 2018 | 141,9 | 60,55  |  |  |  | 533,14 | 384,82  | 58,54   |        |
| forage ouled el bard      | F20 | 2018 | 92,8  | 36,37  |  |  |  | 491,66 | 129,93  | 79,86   | 21,18  |
| forage ouled el aalem     | F21 | 2018 | 136,8 | 68,52  |  |  |  | 202,52 | 213,71  | 361,5   | 0      |
| source guergour           | F22 | 2018 | 139,2 | 57,35  |  |  |  | 430,7  | 81,65   | 265,44  | 9,13   |
| puits mehoulane           | F23 | 2018 | 156,8 | 91,37  |  |  |  | 420,9  | 98,69   | 388,9   | 0,58   |
| puits merdja              | F66 | 2018 | 125,6 | 80,68  |  |  |  | 374,58 | 148,02  | 167,875 | 17,695 |
| forage maala              | F24 | 2018 | 115   | 86,02  |  |  |  | 184,22 | 161,59  | 247,5   | 6,02   |
| f cha3bet sekran maamoura | F67 | 2018 | 108   | 31,59  |  |  |  | 494    | 109,34  | 521,5   | 0,39   |
| f belhdoum                | F68 | 2018 | 180   | 77,76  |  |  |  | 414,8  | 304,59  | 749,25  | 5,18   |
| p rabhi                   | F69 | 2018 | 181,6 | 85,95  |  |  |  | 375,76 | 298,91  | 386,805 | 1,745  |
| f ridan                   | F70 | 2018 | 88    | 31,59  |  |  |  | 324,52 | 51,83   | 215     | 5,93   |
| puits ain el baidha       | F27 | 2018 | 212,8 | 55,4   |  |  |  | 286,7  | 205,95  | 167,04  | 93,43  |
| source noir               | F50 | 2018 | 62,4  | 20,9   |  |  |  | 262,3  | 18,46   | 39,02   | 0,044  |
| forage f51 mchedallah     | F29 | 2018 | 108   | 89,91  |  |  |  | 469,7  | 209,45  | 89,7    | 9,74   |
| forage F1 E1 adjiba       | F33 | 2018 | 60    | 36,94  |  |  |  | 296,46 | 80,94   | 70,09   | 0      |
| forage ouled bouali       | F53 | 2018 | 105,2 | 48,11  |  |  |  | 362,95 | 224,005 | 139,405 | 7,305  |
| forage f1 chorfa          | F35 | 2018 | 86,4  | 47,63  |  |  |  | 390,4  | 150,52  | 45,21   | 20,82  |
| forage f4 chorfa          | F36 | 2018 | 82,4  | 47,14  |  |  |  | 380,64 | 132,06  | 81,04   | 8,23   |
| forage f3 chorfa          | F37 | 2018 | 88,8  | 25,995 |  |  |  | 365,39 | 110,76  | 74,38   | 9,81   |
| forage f2 el esnam        | F38 | 2018 | 114,4 | 50,52  |  |  |  | 451,4  | 154,07  | 54,655  | 73,095 |
| forage f1 gue             | F39 | 2018 | 88    | 42,76  |  |  |  | 462,38 | 127,09  | 43,88   | 104,1  |

## Les Annexes

|                   |     |      |       |       |  |  |        |        |       |        |
|-------------------|-----|------|-------|-------|--|--|--------|--------|-------|--------|
| f3 esnam          | F40 | 2018 | 84,6  | 61,23 |  |  | 401,38 | 132,77 | 50,4  | 110,75 |
| forage f1 bechlol | F54 | 2018 | 110,4 | 56,37 |  |  | 386,74 | 149,81 | 49,22 | 110,75 |
| source mesdour    | F42 | 2018 | 46,4  | 23,81 |  |  | 213,5  | 44,28  | 83,9  | 2,25   |

Tableau 8 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira en (meg/l) année 2014

| forage                  | N   | Date de prelevement | Les parametres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |   |  | BI(%) |
|-------------------------|-----|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|---|--|-------|
|                         |     |                     | Les Cation mg/l          |                  |                 |                |                               | Les Anions mg/l |                               |                              |   |  |       |
|                         |     |                     | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |   |  |       |
| Forage f8 harkat        | F1  | 2014                | 6,13803084               | 2,353425         |                 |                | 4,794453                      | 3,90376         | 0,880482                      | 0,288691                     | 0 |  |       |
| Forage f10 sidi ziane   | F44 | 2014                | 5,98832277               | 2,460399         |                 |                | 4,619066                      | 2,803712        | 1,615224                      | 0,189988                     | 0 |  |       |
| Forage f16 sidi ziane   | F3  | 2014                | 5,18987973               | 2,238223         |                 |                | 5,13867                       | 2,803712        | 1,115958                      | 0,117089                     | 0 |  |       |
| Forage f19 sidi ziane   | F4  | 2014                | 6,23783622               | 2,559144         |                 |                | 5,618935                      | 2,763659        | 1,26378                       | 0,175634                     | 0 |  |       |
| NV forage sidi ziane    | F6  | 2014                | 4,31159239               | 5,358568         |                 |                | 5,499279                      | 2,563394        | 1,565255                      | 0,105638                     | 0 |  |       |
| Forage ouled bellil     | F45 | 2014                | 4,471281                 | 3,679078         |                 |                | 5,058353                      | 3,082955        | 0,752022                      | 0,029998                     | 0 |  |       |
| Forage f11 ouadhia      | F8  | 2014                | 5,23978242               | 2,814236         |                 |                | 4,314188                      | 4,363524        | 1,071819                      | 0,263531                     | 0 |  |       |
| Forage said abid        | F9  | 2014                | 5,58910125               | 1,959268         |                 |                | 4,878049                      | 1,982625        | 0,793871                      | 0,261273                     | 0 |  |       |
| Forage thameur          | F46 | 2014                | 7,18598732               | 5,19893          |                 |                | 6,0992                        | 4,927651        | 1,323326                      | 0,328527                     | 0 |  |       |
| Forage djaada           | F11 | 2014                | 6,78676581               | 4,158815         |                 |                | 5,900865                      | 5,006628        | 1,356638                      | 0,53432                      | 0 |  |       |
| Forage f5 haizer        | F12 | 2014                | 3,65287689               | 2,739354         |                 |                | 6,938434                      | 2,450004        | 0,875277                      | 0,052739                     | 0 |  |       |
| Forage f2 haizer        | F15 | 2014                | 5,09007436               | 3,079202         |                 |                | 6,579465                      | 2,042704        | 0,85758                       | 0,184988                     | 0 |  |       |
| Forage f7 taferka       | F17 | 2014                | 5,04017167               | 4,799013         |                 |                | 8,298912                      | 4,927651        | 0,779505                      | 0,049287                     | 0 |  |       |
| Melange F3 + F1 taferka | F47 | 2014                | 3,6029742                | 2,959062         |                 |                | 6,2123                        | 1,622148        | 0,956892                      | 0,014193                     | 0 |  |       |
| Puit P2 aomar           | F71 | 2014                | 7,98443036               | 5,598848         |                 |                | 7,418699                      | 6,549516        | 5,149853                      | 0,061286                     | 0 |  |       |
| Forage ouled laalem     | F21 | 2014                | 10,3797595               | 5,598848         |                 |                | 6,699121                      | 4,865597        | 5,163386                      | 0,033546                     | 0 |  |       |
| Forage souagui          | F48 | 2014                | 4,87050252               | 5,43921          |                 |                | 6,858117                      | 2,743632        | 6,10029                       | 0,308367                     | 0 |  |       |
| Forage guelta zerga     | F26 | 2014                | 5,63900394               | 2,599465         |                 |                | 6,299174                      | 1,882492        | 2,155922                      | 0,614315                     | 0 |  |       |

## Les Annexes

|                        |     |      |            |          |  |  |          |          |          |          |   |
|------------------------|-----|------|------------|----------|--|--|----------|----------|----------|----------|---|
| Source ain el baidha   | F27 | 2014 | 6,78676581 | 3,279161 |  |  | 4,058484 | 3,785293 | 5,390325 | 0,850913 | 0 |
| Source ben younes      | F49 | 2014 | 3,3135386  | 2,719605 |  |  | 5,618935 | 1,582095 | 0,447632 | 0,445778 | 0 |
| Source noir            | F50 | 2014 | 2,47517341 | 1,599671 |  |  | 4,49941  | 1,580684 | 1,086809 | 0,014999 | 0 |
| Forage f1 semache      | F30 | 2014 | 4,43135885 | 2,039909 |  |  | 4,278127 | 2,964488 | 1,993941 | 0,017741 | 0 |
| Forage f3 semmache     | F32 | 2014 | 4,27167024 | 2,479325 |  |  | 4,419093 | 2,944744 | 2,121777 | 0,022095 | 0 |
| Forage arkoub taourirt | F51 | 2014 | 7,88462498 | 2,559144 |  |  | 5,977905 | 4,786619 | 4,246885 | 0,201439 | 0 |
| Puit safia taourirt    | F52 | 2014 | 3,3135386  | 2,719605 |  |  | 5,618935 | 1,582095 | 0,447632 | 0,445778 | 0 |
| Forage ouled bouali    | F53 | 2014 | 5,43939318 | 3,919358 |  |  | 2,619329 | 5,187149 | 3,238567 | 0,082091 | 0 |
| Forage f3 chorfa       | F37 | 2014 | 3,59299366 | 3,239663 |  |  | 4,719053 | 3,345274 | 1,139276 | 0,029998 | 0 |
| Forage f1 gue          | F39 | 2014 | 7,33569539 | 2,880066 |  |  | 6,572908 | 2,905255 | 0,731827 | 0,251597 | 0 |
| Forage f2 el esnam     | F38 | 2014 | 5,98832277 | 5,200576 |  |  | 6,736821 | 4,992525 | 0,850501 | 0,66286  | 0 |
| Forage f3 el esnam     | F40 | 2014 | 7,08618195 | 2,559144 |  |  | 6,85156  | 4,456605 | 1,196115 | 1,354751 | 0 |
| Forage f1 bechloul     | F54 | 2014 | 6,68696043 | 4,237811 |  |  | 6,179517 | 4,710462 | 1,09826  | 0,867686 | 0 |

Tableau 9 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira en (meg/l) année 2015

| forage                | N   | Date de<br>prélèvement | Les paramètres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              | BI(%) |
|-----------------------|-----|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------|
|                       |     |                        | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |       |
|                       |     |                        | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |       |
|                       |     |                        |                          |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              |       |
| forage f8 harkat      | F1  | 2015                   | 3,54608513               | 3,986011         |                 |                | 3,672141                      | 3,344428        | 1,506543                      | 0,381427                     | 0     |
| forage f10 sidi ziane | F44 | 2015                   | 3,15384999               | 4,581773         |                 |                | 5,392735                      | 2,883818        | 1,682056                      | 0,121444                     | 0     |
| forage f16 sidi ziane | F3  | 2015                   | 4,3914367                | 3,758897         |                 |                | 5,179321                      | 3,524666        | 1,866939                      | 0,127895                     | 0     |
| NV forage sidi ziane  | F6  | 2015                   | 3,70277958               | 2,962353         |                 |                | 4,769866                      | 2,843765        | 1,044336                      | 0,262241                     | 0     |
| forage ouled bellil   | F45 | 2015                   | 6,78676581               | 1,199753         |                 |                | 3,450148                      | 3,003977        | 1,065989                      | 0,71447                      | 0     |
| forage f11 ouadhia    | F8  | 2015                   | 4,79065822               | 2,638963         |                 |                | 4,41942                       | 4,966575        | 1,654574                      | 0,097091                     | 0     |
| forage thameur        | F46 | 2015                   | 7,50536454               | 1,224439         |                 |                | 6,739116                      | 6,487462        | 1,08785                       | 0,002742                     | 0     |
| forage djaada         | F11 | 2015                   | 7,08618195               | 2,479325         |                 |                | 6,059205                      | 5,108171        | 1,001447                      | 0,71447                      | 0     |

## Les Annexes

|                           |     |      |            |          |  |  |  |          |          |          |          |   |
|---------------------------|-----|------|------------|----------|--|--|--|----------|----------|----------|----------|---|
| forage f5 hizer           | F12 | 2015 | 2,95423923 | 3,263526 |  |  |  | 5,094414 | 1,081432 | 0,708925 | 0,158216 | 0 |
| melange f7+f12 taferka    | F17 | 2015 | 4,63096961 | 3,999177 |  |  |  | 6,299174 | 7,029024 | 1,116166 | 0,170634 | 0 |
| forage boulderbah         | F55 | 2015 | 11,3378911 | 4,159144 |  |  |  | 5,3393   | 8,210871 | 11,97572 | 0,189988 | 0 |
| forage ouled el alem      | F21 | 2015 | 11,0185139 | 7,583625 |  |  |  | 7,099069 | 6,027981 | 7,115271 | 0,086446 | 0 |
| puits mehouane            | F23 | 2015 | 7,90458606 | 6,63814  |  |  |  | 5,3393   | 2,603447 | 8,956809 | 0        | 0 |
| puits p2 merdja           | F56 | 2015 | 8,22396327 | 3,338408 |  |  |  | 7,099069 | 4,405833 | 11,30532 | 0,238533 | 0 |
| forage souagi             | F48 | 2015 | 7,46145017 | 3,566344 |  |  |  | 6,459153 | 2,306998 | 2,574614 | 0,158538 | 0 |
| puits guelta zerga        | F26 | 2015 | 5,94840062 | 2,119728 |  |  |  | 4,49941  | 1,361803 | 2,813837 | 0,111283 | 0 |
| puits khlifat             | F57 | 2015 | 13,7332202 | 6,87842  |  |  |  | 5,419289 | 4,666178 | 17,76371 | 0,03774  | 0 |
| puits ouled zidan         | F28 | 2015 | 7,26583163 | 2,799424 |  |  |  | 3,032389 | 3,324401 | 4,687022 | 1,786175 | 0 |
| source noir               | F50 | 2015 | 2,03602974 | 1,974902 |  |  |  | 3,879491 | 0,200265 | 0,730577 | 0,003387 | 0 |
| forage f51 mchedallah     | F29 | 2015 | 7,10614302 | 1,61942  |  |  |  | 8,698859 | 5,708967 | 2,849231 | 0,20789  | 0 |
| forage f1 semmache        | F30 | 2015 | 3,03408354 | 2,642255 |  |  |  | 5,199318 | 3,003977 | 1,941475 | 0        | 0 |
| forage f3 semache         | F32 | 2015 | 3,3135386  | 3,120346 |  |  |  | 5,3393   | 3,06321  | 1,999771 | 0,011451 | 0 |
| forage arkoub taourirt    | F51 | 2015 | 6,86661011 | 4,878832 |  |  |  | 5,499279 | 6,366175 | 4,076368 | 0,159327 | 0 |
| puits safia taourirt      | F52 | 2015 | 7,90458606 | 4,799013 |  |  |  | 5,899226 | 8,168561 | 4,978503 | 0,152182 | 0 |
| puits thazrouirt taourirt | F58 | 2015 | 7,50536454 | 6,158404 |  |  |  | 5,418961 | 7,968296 | 4,482152 | 0,240776 | 0 |
| forage ouled bouali       | F53 | 2015 | 7,42552024 | 5,039292 |  |  |  | 5,859232 | 8,010606 | 3,356617 | 0,150039 | 0 |
| forage f3 chorfa          | F37 | 2015 | 4,63096961 | 2,239539 |  |  |  | 5,759245 | 1,128818 | 0,208617 | 0,016433 | 0 |
| puits tarfa               | F43 | 2015 | 14,6913519 | 8,31763  |  |  |  | 15,57796 | 10,81432 | 15,55262 | 0,013575 | 0 |
| forage f1 gue             | F39 | 2015 | 6,23783622 | 1,519852 |  |  |  | 5,179321 | 3,424252 | 0,859037 | 1,071705 | 0 |
| melange f2+f3 el esnam    | F72 | 2015 | 7,43550077 | 1,999589 |  |  |  | 5,699253 | 3,906581 | 1,121787 | 0,71447  | 0 |
| forage f3 el esnam        | F40 | 2015 | 7,18598732 | 2,239868 |  |  |  | 5,619263 | 4,185823 | 1,031428 | 1,071705 | 0 |
| source mezdour            | F42 | 2015 | 2,47517341 | 3,039704 |  |  |  | 2,979609 | 1,461936 | 1,871936 | 0        | 0 |

## Les Annexes

Tableau 10 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira en (meg/l) année 2016

| forage                  | N   | Date de<br>prélèvement | Les paramètres chimiques |                  |                 |                 |                               |                 |                               |                              |      |  | BI(%) |
|-------------------------|-----|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------|--|-------|
|                         |     |                        | Les Cation mg/l          |                  |                 | Les Anions mg/l |                               |                 |                               |                              |      |  |       |
|                         |     |                        | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup>  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |      |  |       |
|                         |     |                        |                          |                  |                 |                 |                               |                 |                               |                              |      |  |       |
| forage f8 harkat        | F1  | 2016                   | 5,70886771               | 2,415964         | 1,826881        | 0,023019        | 3,979478                      | 3,664852        | 1,450328                      | 0,190633                     | 3.58 |  |       |
| forage f1 sida ziane    | F2  | 2016                   | 4,95034682               | 2,676404         | 1,635494        | 0,025577        | 4,069466                      | 3,795024        | 1,43794                       | 0,407958                     | 2.22 |  |       |
| forage f16 sidi ziane   | F3  | 2016                   | 5,14995758               | 3,706233         | 1,913876        | 0,035807        | 4,739378                      | 4,115449        | 1,430549                      | 0,096849                     | 2    |  |       |
| forage f19 sidi ziane   | F4  | 2016                   | 2,87439493               | 3,719399         | 6,515299        |                 | 4,759376                      | 6,318224        | 0,647089                      | 0,0429                       | 0    |  |       |
| forage f21 sidi ziane   | F5  | 2016                   | 8,62318479               | 2,559144         | 3,564577        |                 | 3,979478                      | 7,81034         | 1,593154                      | 0,630163                     | 0    |  |       |
| NV forage sidi<br>ziane | F6  | 2016                   | 4,21178702               | 3,394363         | 1,705089        | 0,025577        | 4,289437                      | 4,685499        | 1,539751                      | 0,143539                     | 6.61 |  |       |
| f1+f2 sidi ziane        | F7  | 2016                   | 4,75073606               | 2,239045         | 1,315143        |                 | 3,939483                      | 2,623473        | 1,083686                      | 0,387878                     | 0    |  |       |
| forage f11 ouadhia      | F8  | 2016                   | 5,50925695               | 3,574985         | 2,209656        | 0,025577        | 4,279849                      | 5,397146        | 1,052873                      | 0,257887                     | 1.49 |  |       |
| forage f1 said abid     | F9  | 2016                   | 2,83447278               | 1,039292         | 1,270117        | 0,03325         | 2,299698                      | 0,92122         | 1,014355                      | 0,136443                     | 8.44 |  |       |
| forage f2 said abid     | F10 | 2016                   | 3,2336943                | 0,919152         | 1,035233        | 0,03325         | 1,899751                      | 1,101458        | 1,289597                      | 0,194987                     | 7.58 |  |       |
| forage djaada           | F11 | 2016                   | 7,54528669               | 3,259412         | 2,00087         | 0,023019        | 5,579268                      | 5,426198        | 0,815107                      | 0,851558                     | 0.62 |  |       |
| forage f5 haizer        | F12 | 2016                   | 2,8145117                | 2,978811         | 1,035233        | 0,035807        | 4,279439                      | 1,702254        | 1,272212                      | 0,136443                     | 3.69 |  |       |
| forage f1 haizar        | F13 | 2016                   | 3,75268227               | 4,93849          | 0,904741        | 0,038365        | 5,679255                      | 1,910981        | 1,047772                      | 0,237243                     | 4.10 |  |       |
| source haizer           | F14 | 2016                   | 1,83641898               | 0,879654         | 0,612451        |                 | 2,099725                      | 1,101458        | 0                             | 0,001452                     | 0    |  |       |
| forage f2 haizer        | F15 | 2016                   | 3,51314936               | 4,139066         | 0,843845        | 0,048596        | 5,239313                      | 1,532028        | 0,896722                      | 0,161441                     | 4.37 |  |       |
| forage f4 taghzout      | F16 | 2016                   | 2,51509556               | 3,638757         | 1,252719        | 0,028134        | 4,339431                      | 1,161538        | 0,795744                      | 0,095639                     | 7.54 |  |       |
| f7+f12 taferka          | F17 | 2016                   | 4,15190379               | 6,238223         | 5,535571        |                 | 5,499279                      | 8,411136        | 0,875694                      | 0                            | 0    |  |       |
| h12+h17+f3<br>taghzout  | F18 | 2016                   | 4,19182594               | 6,198725         | 2,470639        | 0,04348         | 5,159323                      | 5,523651        | 0,894119                      | 0,252242                     | 4.35 |  |       |
| forage f3 taghzout      | F19 | 2016                   | 2,35540696               | 3,159021         | 1,244019        | 0,04348         | 4,459415                      | 2,162864        | 0,37726                       | 0,173537                     | 2.65 |  |       |
| forage oued el-bardi    | F20 | 2016                   | 5,18987973               | 3,07879          | 1,613745        | 0,030692        | 3,65952                       | 3,674865        | 2,30541                       | 0,568673                     | 1.47 |  |       |
| forage ouled laalem     | F21 | 2016                   | 11,0983582               | 5,811973         | 4,471509        | 0,051154        | 5,895948                      | 6,899134        | 10,47824                      | 0,209986                     | 4.56 |  |       |
| source guegour          | F22 | 2016                   | 6,90653226               | 5,638757         | 0,817747        | 0,079288        | 6,169191                      | 1,451922        | 8,206452                      | 0,017821                     | 8.20 |  |       |

## Les Annexes

|                     |     |      |            |          |          |          |          |          |          |          |      |
|---------------------|-----|------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| puits mahouene      | F23 | 2016 | 5,50925695 | 9,637935 | 2,592431 | 0,07673  | 6,029209 | 2,693566 | 10,77253 | 0,016047 | 4.54 |
| forage Imaala       | F24 | 2016 | 8,7828734  | 8,74388  | 3,862549 | 0,07673  | 6,899095 | 5,977914 | 9,315955 | 0,190149 | 2.09 |
| forage bakouche     | F25 | 2016 | 6,26777783 | 2,580539 | 0,948238 | 0,020461 | 4,579399 | 1,361803 | 3,197968 | 0,205632 | 2.47 |
| puits guelta zarga  | F26 | 2016 | 6,66699935 | 3,398889 | 1,739887 | 0,017904 | 4,399423 | 2,873523 | 3,847555 | 0,305384 | 1.71 |
| puits ain bidha     | F27 | 2016 | 11,2580468 | 2,318864 | 2,31405  | 0,015346 | 4,019473 | 6,487462 | 4,91875  | 1,786175 | 3.94 |
| puits pouled zidane | F28 | 2016 | 8,8627177  | 2,718782 | 1,370161 | 0,03325  | 2,81963  | 3,900093 | 3,389513 | 1,786175 | 4.38 |
| forage f51 mehdala  | F29 | 2016 | 5,98832277 | 5,569636 | 2,488038 | 0,058827 | 5,279144 | 5,22692  | 4,326938 | 0,229663 | 3.28 |
| forage f1 semache   | F30 | 2016 | 3,07400569 | 3,001851 | 2,950193 |          | 4,11946  | 2,363129 | 1,93627  | 0        | 0    |
| forage f2 semache   | F31 | 2016 | 4,63096961 | 4,95865  | 2,801218 | 0,086961 | 2,079727 | 5,086735 | 2,918979 | 0,05919  | 10   |
| f3 semache          | F32 | 2016 | 3,59299366 | 3,119111 | 1,678991 | 0,074173 | 4,189451 | 2,733619 | 2,481965 | 0,057174 | 5.56 |
| f1 E1 laadjiba      | F33 | 2016 | 3,17381107 | 3,262703 | 2,453241 | 0,102307 | 4,079465 | 2,893831 | 2,158628 | 0,011773 | 0.83 |
| f2 E1 laajiba       | F34 | 2016 | 5,11003543 | 4,799013 | 2,470639 | 0,063942 | 4,939352 | 4,439117 | 3,202132 | 0,096445 | 0.93 |
| forage F1 chourfa   | F35 | 2016 | 6,00828385 | 3,221559 | 2,409743 | 0,053711 | 4,519407 | 3,493639 | 1,620533 | 0,044433 | 9.43 |
| f4 chourfa          | F36 | 2016 | 3,87244872 | 4,665707 | 1,418008 | 0,046038 | 4,289437 | 2,357064 | 2,289691 | 0,128137 | 4.92 |
| f3 chourfa(f3+f1)   | F37 | 2016 | 4,43135885 | 2,654598 | 1,157025 | 0,053711 | 4,299436 | 2,32096  | 1,692674 | 0,143862 | 0.95 |
| f2 lasnam+ f1 gue   | F38 | 2016 | 6,46738859 | 1,359391 | 1,931274 | 0,03325  | 4,799371 | 3,584746 | 0,814482 | 1,468131 | 4.28 |
| f1 gue              | F39 | 2016 | 6,048206   | 2,694507 | 1,966072 | 0,03325  | 5,209153 | 3,54427  | 0,861328 | 1,071705 | 0.26 |
| f3 lasnam           | F40 | 2016 | 7,34567593 | 2,764863 | 2,543725 |          | 6,0992   | 4,225312 | 1,48947  | 0,317076 | 0    |
| f3 bachloul         | F41 | 2016 | 6,66699935 | 3,657684 | 3,084698 |          | 6,289175 | 4,329112 | 1,197989 | 0,958487 | 0    |
| source masdour      | F42 | 2016 | 2,13583512 | 2,087636 | 2,348847 | 0,084403 | 3,259573 | 1,882492 | 2,370057 | 0,01887  | 6.16 |
| puits tarfa         | F43 | 2016 | 14,0525974 | 9,844888 | 5,219661 | 0,058827 | 6,015113 | 4,876456 | 22,94167 | 0,138217 | 7.59 |

## Les Annexes

Tableau 11 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira en (meg/l) année 2017

| forage                  | N   | Date de preleve<br>ment | Les parametres chimiques |                  |                 |                 |                               |                 |                               |                              | BI(%) |
|-------------------------|-----|-------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------|
|                         |     |                         | Les Cation mg/l          |                  |                 | Les Anions mg/l |                               |                 |                               |                              |       |
|                         |     |                         | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup>  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |       |
| forage f8 harkat        | F1  | 2017                    | 5,50925695               | 2,764863         |                 |                 | 4,139457                      | 3,785011        | 5,521492                      | 0,71447                      | 0     |
| forage f21              | F5  | 2017                    | 4,79065822               | 3,949805         |                 |                 | 5,099331                      | 7,990579        | 2,495914                      | 0,71447                      | 0     |
| NV forage f2 sidi ziane | F6  | 2017                    | 5,82863416               | 2,287595         |                 |                 | 4,019473                      | 3,344428        | 5,740103                      | 0,670118                     | 0     |
| f1+f2 sidi zian         | F7  | 2017                    | 5,94840062               | 2,073647         |                 |                 | 4,969348                      | 3,034017        | 1,523615                      | 0,685843                     | 0     |
| forage f11 ouadhia      | F8  | 2017                    | 5,50925695               | 2,448879         |                 |                 | 4,929354                      | 3,925197        | 1,353203                      | 0,209583                     | 0     |
| f13 sidi ziane          | F59 | 2017                    | 8,30380758               | 2,399506         |                 |                 | 6,8591                        | 4,906496        | 2,595851                      | 0,061286                     | 0     |
| f16 sidi ziane          | F3  | 2017                    | 5,18987973               | 2,863608         |                 |                 | 5,249312                      | 2,823738        | 1,905144                      | 0,500452                     | 0     |
| f10                     | F44 | 2017                    | 4,79065822               | 2,409381         |                 |                 | 5,309304                      | 2,503314        | 1,024037                      | 0,41578                      | 0     |
| f1 said abid            | F9  | 2017                    | 4,77069714               | 2,365768         |                 |                 | 6,331629                      | 1,912532        | 0,964804                      | 0,067092                     | 0     |
| f2 said abid            | F10 | 2017                    | 5,38949049               | 1,648221         |                 |                 | 4,999344                      | 2,082757        | 0,934614                      | 0,198536                     | 0     |
| forage thameur          | F46 | 2017                    | 7,34567593               | 2,879243         |                 |                 | 3,459546                      | 5,667503        | 1,623968                      | 0,990097                     | 0     |
| forage djaada           | F11 | 2017                    | 7,18598732               | 2,559144         |                 |                 | 3,299567                      | 5,547344        | 1,623968                      | 0,477872                     | 0     |
| f5 hizer                | F12 | 2017                    | 3,19377214               | 3,418227         |                 |                 | 4,599397                      | 1,111472        | 1,155099                      | 0,170715                     | 0     |

## Les Annexes

|                         |     |      |            |          |  |  |          |          |          |          |   |
|-------------------------|-----|------|------------|----------|--|--|----------|----------|----------|----------|---|
| f1 hizer                | F13 | 2017 | 4,61100853 | 4,034972 |  |  | 6,279177 | 1,742307 | 1,107005 | 0,525773 | 0 |
| f2 hizer                | F15 | 2017 | 3,51314936 | 3,932936 |  |  | 5,849233 | 1,501989 | 1,039756 | 0,59722  | 0 |
| forage oued el berdi    | F20 | 2017 | 4,27167024 | 4,238634 |  |  | 2,959612 | 3,224269 | 1,769501 | 0,694471 | 0 |
| forage ouled el elaalem | F21 | 2017 | 6,31618344 | 5,279161 |  |  | 5,479281 | 4,225594 | 6,728017 | 0,174263 | 0 |
| forage maala            | F24 | 2017 | 7,34567593 | 7,947747 |  |  | 5,849233 | 6,57871  | 7,383329 | 0,019112 | 0 |
| puits marhanian         | F60 | 2017 | 6,94645441 | 3,080848 |  |  | 7,579006 | 4,105435 | 0        | 0        | 0 |
| puits guelta zerga      | F26 | 2017 | 5,90847847 | 2,479325 |  |  | 5,538618 | 3,885144 | 2,916272 | 0,703019 | 0 |
| puits khlifate          | F57 | 2017 | 19,8013873 | 10,74347 |  |  | 7,179058 | 6,128113 | 21,23651 | 0,144184 | 0 |
| source kraimia          | F61 | 2017 | 9,18209491 | 5,751903 |  |  | 4,779373 | 2,283023 | 9,066114 | 0,832688 | 0 |
| puits p3 ouled zidane   | F62 | 2017 | 8,8627177  | 2,718782 |  |  | 2,81963  | 3,900093 | 3,389513 | 1,786175 | 0 |
| source noir             | F50 | 2017 | 4,09202056 | 2,824933 |  |  | 5,00754  | 0,700364 | 1,902125 | 0,005322 | 0 |
| forage raffor           | F63 | 2017 | 7,26583163 | 5,529726 |  |  | 7,978954 | 6,809015 | 3,008505 | 0,262886 | 0 |
| source mesdour          | F42 | 2017 | 2,27556265 | 1,81691  |  |  | 1,899751 | 1,361803 | 1,13761  | 0        | 0 |

## Les Annexes

Tableau 12 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira en (meg/l) année 2018

| forage               | N   | Date de prelevement | Les parametres chimiques |                  |                 |                |                               |                 |                               |                              | BI(%)    |   |
|----------------------|-----|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------|---|
|                      |     |                     | Les Cation mg/l          |                  |                 |                | Les Anions mg/l               |                 |                               |                              |          |   |
|                      |     |                     | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |          |   |
| f8 harkat            | F1  | 2018                | 5,70886771               | 2,3777           |                 |                |                               | 5,379295        | 3,204242                      | 1,748368                     | 0,764467 | 0 |
| f16 sidi ziane       | F3  | 2018                | 4,09701083               | 4,078996         |                 |                |                               | 5,599266        | 3,724932                      | 1,721406                     | 0,657216 | 0 |
| NV forage sidi ziane | F6  | 2018                | 4,81061929               | 1,819379         |                 |                |                               | 5,249312        | 3,07407                       | 1,514871                     | 0,706567 | 0 |
| f10 sidi ziane       | F44 | 2018                | 4,99026898               | 3,199342         |                 |                |                               | 4,492853        | 3,284348                      | 1,358512                     | 0,949455 | 0 |
| f11 ouadhia          | F8  | 2018                | 5,80867309               | 1,801275         |                 |                |                               | 5,029668        | 4,959242                      | 1,47042                      | 0,240146 | 0 |
| forage ouled bellil  | F45 | 2018                | 5,70886771               | 1,419872         |                 |                |                               | 5,203416        | 2,893831                      | 2,044222                     | 0,545045 | 0 |
| f1 said abid         | F9  | 2018                | 5,26972404               | 1,199753         |                 |                |                               | 5,25931         | 2,323076                      | 1,149686                     | 0,242888 | 0 |
| forage thameur       | F46 | 2018                | 3,51314936               | 2,679284         |                 |                |                               | 8,877852        | 5,166841                      | 0,532995                     | 0,555125 | 0 |
| forage djaada        | F11 | 2018                | 3,49318828               | 2,679284         |                 |                |                               | 6,819106        | 6,168166                      | 0,428894                     | 1,026547 | 0 |
| f5 hizer             | F12 | 2018                | 3,01412246               | 3,179593         |                 |                |                               | 5,499279        | 0,991312                      | 1,027056                     | 0,036369 | 0 |
| f1 hizer             | F13 | 2018                | 5,14995758               | 3,458136         |                 |                |                               | 7,149062        | 2,363129                      | 0,805113                     | 0,277885 | 0 |
| source hizer         | F14 | 2018                | 2,35540696               | 0,969348         |                 |                |                               | 3,239575        | 1,78236                       | 0,683316                     | 0,02774  | 0 |
| f2 hizer             | F15 | 2018                | 3,99221518               | 4,278955         |                 |                |                               | 6,499148        | 1,341776                      | 0,552982                     | 0,675763 | 0 |

## Les Annexes

|                              |     |      |            |          |  |  |  |          |          |          |          |   |
|------------------------------|-----|------|------------|----------|--|--|--|----------|----------|----------|----------|---|
| f7 taghzout                  | F64 | 2018 | 4,01217626 | 2,737708 |  |  |  | 6,878934 | 3,805038 | 1,81062  | 0,034917 | 0 |
| melange f3 tafarka           | F47 | 2018 | 2,83447278 | 2,838922 |  |  |  | 6,179517 | 1,622148 | 0,656666 | 0,122089 | 0 |
| forage f' tafarka NV         | F65 | 2018 | 7,08119168 | 4,982514 |  |  |  | 8,738854 | 10,85437 | 1,218809 | 0        | 0 |
| forage oued el bardli        | F20 | 2018 | 4,63096961 | 2,9928   |  |  |  | 8,058943 | 3,664852 | 1,662693 | 0,341591 | 0 |
| forage ouled el aalem        | F21 | 2018 | 6,82668796 | 5,638346 |  |  |  | 3,319565 | 6,027981 | 7,526468 | 0        | 0 |
| source guergour              | F22 | 2018 | 6,94645441 | 4,719194 |  |  |  | 7,05973  | 2,303049 | 5,526488 | 0,147249 | 0 |
| puits mehouane               | F23 | 2018 | 7,82474175 | 7,518618 |  |  |  | 6,899095 | 2,783685 | 8,096938 | 0,009354 | 0 |
| puits merdja                 | F66 | 2018 | 6,26777783 | 6,638963 |  |  |  | 6,139851 | 4,175105 | 3,495175 | 0,285385 | 0 |
| forage maala                 | F24 | 2018 | 5,73880932 | 7,078379 |  |  |  | 3,019604 | 4,557865 | 5,152976 | 0,097091 | 0 |
| f cha3bet sekran<br>maamoura | F67 | 2018 | 5,38949049 | 2,599465 |  |  |  | 8,097299 | 3,084083 | 10,85768 | 0,00629  | 0 |
| f belhdoum                   | F68 | 2018 | 8,98248416 | 6,398683 |  |  |  | 6,799108 | 8,591374 | 15,59946 | 0,083543 | 0 |
| p rabhi                      | F69 | 2018 | 9,06232846 | 7,072619 |  |  |  | 6,159192 | 8,431162 | 8,053332 | 0,028143 | 0 |
| f ridan                      | F70 | 2018 | 4,3914367  | 2,599465 |  |  |  | 5,319302 | 1,461936 | 4,476322 | 0,095639 | 0 |
| puits ain el baidha          | F27 | 2018 | 10,6192924 | 4,558733 |  |  |  | 4,699384 | 5,809099 | 3,47779  | 1,506838 | 0 |
| source noir                  | F50 | 2018 | 3,11392784 | 1,719811 |  |  |  | 4,299436 | 0,520689 | 0,8124   | 0,00071  | 0 |

## Les Annexes

|                          |     |      |            |          |  |  |  |          |          |          |          |   |
|--------------------------|-----|------|------------|----------|--|--|--|----------|----------|----------|----------|---|
| forage f51<br>mchedallah | F29 | 2018 | 5,38949049 | 7,398478 |  |  |  | 7,69899  | 5,907822 | 1,867563 | 0,157087 | 0 |
| forage F1 E1 adjiba      | F33 | 2018 | 2,99416139 | 3,039704 |  |  |  | 4,859363 | 2,283023 | 1,459281 | 0        | 0 |
| forage ouled bouali      | F53 | 2018 | 5,24976296 | 3,958856 |  |  |  | 5,94922  | 6,318365 | 2,902427 | 0,117815 | 0 |
| forage f1 chorfa         | F35 | 2018 | 4,31159239 | 3,919358 |  |  |  | 6,399161 | 4,245621 | 0,941277 | 0,335785 | 0 |
| forage f4 chorfa         | F36 | 2018 | 4,11198164 | 3,879037 |  |  |  | 6,239182 | 3,724932 | 1,687261 | 0,132733 | 0 |
| forage f3 chorfa         | F37 | 2018 | 4,43135885 | 2,139066 |  |  |  | 5,989215 | 3,124136 | 1,548599 | 0,158216 | 0 |
| forage f2 el esnam       | F38 | 2018 | 5,70886771 | 4,157169 |  |  |  | 7,39903  | 4,345754 | 1,137923 | 1,178876 | 0 |
| forage f1 gue            | F39 | 2018 | 4,3914367  | 3,518618 |  |  |  | 7,579006 | 3,584746 | 0,913586 | 1,678924 | 0 |
| f3 esnam                 | F40 | 2018 | 4,22176755 | 5,038469 |  |  |  | 6,579137 | 3,744958 | 1,049333 | 1,786175 | 0 |
| forage f1 bechloUI       | F54 | 2018 | 5,50925695 | 4,638552 |  |  |  | 6,339169 | 4,225594 | 1,024766 | 1,786175 | 0 |
| source mesdour           | F42 | 2018 | 2,3154848  | 1,959268 |  |  |  | 3,499541 | 1,248978 | 1,746807 | 0,036288 | 0 |

## Les Annexes

Tableau 13: Caractéristiques physique des eaux de forage de la wilaya de Bouira année 2014

| forage                  | N   | Date de prélèvement | Les paramètres physiques |      |            |      |         |
|-------------------------|-----|---------------------|--------------------------|------|------------|------|---------|
|                         |     |                     | T (°C)                   | pH   | CE (µS/cm) | TUR  | TH (°F) |
| Forage f8 harkat        | F1  | 2014                | 20,5                     | 6,94 | 1093       | 0,48 | 42,5    |
| Forage f10 sidi ziane   | F44 | 2014                | 17,7                     | 7    | 1070       | 0,96 | 42      |
| Forage f16 sidi ziane   | F3  | 2014                | 19,5                     | 6,94 | 1116       | 2,82 | 37,5    |
| Forage f19 sidi ziane   | F4  | 2014                | 20                       | 6,95 | 1162       | 0,21 | 44      |
| NV forage sidi ziane    | F6  | 2014                | 21,5                     | 7,08 | 1054       | 1,13 | 48,4    |
| Forage ouled bellil     | F45 | 2014                | 18,3                     | 6,99 | 1081       | 1,2  | 40,8    |
| Forage f11 ouadhia      | F8  | 2014                | 20,6                     | 7,19 | 1130       | 1,19 | 40,3    |
| Forage said abid        | F9  | 2014                | 20,6                     | 7    | 971        | 0,81 | 37,8    |
| Forage thameur          | F46 | 2014                | 19,7                     | 7,05 | 1352       | 0,38 | 62      |
| Forage djaada           | F11 | 2014                | 21                       | 7,35 | 1343       | 1,05 | 54,8    |
| Forage f5 haizer        | F12 | 2014                | 17,95                    | 7,07 | 698,5      | 0,66 | 32      |
| Forage f2 haizer        | F15 | 2014                | 20,8                     | 7,05 | 941        | 0,31 | 41      |
| Forage f7 taferka       | F17 | 2014                | 20,7                     | 7,23 | 1033       | 0,44 | 49,2    |
| Melange F3 + F1 taferka | F47 | 2014                | 16                       | 7,25 | 891        | 0,32 | 34,6    |

## Les Annexes

|                        |     |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Puit P2 aomar          | F71 | 2014 | 16,4 | 6,51 | 2180 | 0,82 | 68   |
| Forage ouled laalem    | F21 | 2014 | 18,1 | 6,68 | 1973 | 0,25 | 80   |
| Forage souagui         | F48 | 2014 | 13   | 6,96 | 1292 | 0,29 | 51,6 |
| Forage guelta zerga    | F26 | 2014 | 13,2 | 7,2  | 1022 | 1,3  | 41,2 |
| Source ain el baidha   | F27 | 2014 | 12,7 | 7,22 | 1413 | 0,43 | 50,4 |
| Source ben younes      | F49 | 2014 | 12,7 | 6,98 | 654  | 0,1  | 30,2 |
| Source noir            | F50 | 2014 | 11,7 | 7,35 | 535  | 0,49 | 20,4 |
| Forage f1 semache      | F30 | 2014 | 21,2 | 7,02 | 841  | 0,67 | 32,4 |
| Forage f3 semmache     | F32 | 2014 | 20,4 | 7,47 | 851  | 2,3  | 33,8 |
| Forage arkoub taourirt | F51 | 2014 | 22,2 | 6,9  | 1467 | 0,26 | 52,4 |
| Puit safia taourirt    | F52 | 2014 | 12,7 | 6,98 | 654  | 0,1  | 30,2 |
| Forage ouled bouali    | F53 | 2014 | 16,1 | 7,26 | 1460 | 0,49 | 46,8 |
| Forage f3 chorf        | F37 | 2014 | 21,4 | 7,15 | 825  | 0,49 | 64,2 |
| Forage f1 gue          | F39 | 2014 | 18   | 7,02 | 1081 | 0,69 | 51,2 |
| Forage f2 el esnam     | F38 | 2014 | 10,2 | 6,67 | 1337 | 0,3  | 56   |
| Forage f3 el esnam     | F40 | 2014 | 17,3 | 6,46 | 1276 | 0,21 | 48,4 |
| Forage f1 bechloul     | F54 | 2014 | 18,6 | 7,08 | 1139 | 0,31 | 54,8 |

## Les Annexes

Tableau 14 : Caractéristiques physiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira année 2015

| forage                 | N   | Date de prélèvement | Les paramètres |       |            |       |         |
|------------------------|-----|---------------------|----------------|-------|------------|-------|---------|
|                        |     |                     | T (°C)         | pH    | CE (µS/cm) | TUR   | TH (°F) |
| forage f8 harkat       | F1  | 2015                | 20,55          | 7,065 | 1050       | 0,755 | 37,8    |
| forage f10 sidi ziane  | F44 | 2015                | 23,6           | 6,87  | 1049       | 0,36  | 39      |
| forage f16 sidi ziane  | F3  | 2015                | 17,9           | 7,21  | 1055       | 0,16  | 40,8    |
| NV forage sidi ziane   | F6  | 2015                | 22,8           | 6,94  | 989        | 0,49  | 26,8    |
| forage ouled bellil    | F45 | 2015                | 21,9           | 6,63  | 1099       | 2,13  | 40      |
| forage f11 ouadhia     | F8  | 2015                | 15,9           | 7,28  | 1173       | 0,22  | 37,2    |
| forage thameur         | F46 | 2015                | 20,8           | 6,99  | 1397       | 0,26  | 50      |
| forage djaada          | F11 | 2015                | 14             | 7,24  | 1406       | 0,2   | 48      |
| forage f5 hizer        | F12 | 2015                | 18,5           | 7,10  | 764        | 0,76  | 31,1    |
| melange f7+f12 taferka | F17 | 2015                | 16,7           | 7,16  | 1491       | 0,51  | 43,2    |
| forage boulerbah       | F55 | 2015                | 16,5           | 7,4   | 2150       | 0,49  | 77,6    |
| forage ouled el alem   | F21 | 2015                | 22,5           | 6,89  | 2210       | 0,2   | 93,6    |
| puits mehouane         | F23 | 2015                | 18,5           | 7,8   | 1676       | 0,093 | 72,8    |
| puits p2 merdja        | F56 | 2015                | 17,5           | 7,93  | 1580       | 0,16  | 61,6    |

## Les Annexes

|                          |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|------|-------|
| forage souagi            | F48 | 2015 | 19,7 | 6,94 | 1188 | 1,04 | 55,5  |
| puits guelta zerga       | F26 | 2015 | 20,2 | 7,26 | 964  | 2,17 | 40,4  |
| puits khlifat            | F57 | 2015 | 14,8 | 7,12 | 2360 | 0,28 | 103,2 |
| puits ouled zidan        | F28 | 2015 | 16,9 | 7,54 | 1318 | 0,15 | 50,4  |
| source noir              | F50 | 2015 | 14,7 | 7,51 | 398  | 0,9  | 20,2  |
| forage f51 mchedallah    | F29 | 2015 | 20,8 | 6,99 | 1397 | 0,26 | 52    |
| forage f1 semmache       | F30 | 2015 | 21,1 | 7,85 | 824  | 1,88 | 28,6  |
| forage f3 semache        | F32 | 2015 | 21,1 | 7,85 | 877  | 1,22 | 32,4  |
| forage arkoub taourirt   | F51 | 2015 | 16,2 | 7    | 1522 | 0,1  | 58,8  |
| puits safia taourirt     | F52 | 2015 | 17,8 | 7,18 | 1854 | 1,85 | 63,6  |
| puits thazroust taourirt | F58 | 2015 | 16,7 | 7,16 | 1847 | 0,94 | 68,4  |
| forage ouled bouali      | F53 | 2015 | 16,2 | 7,39 | 1703 | 0,32 | 62,4  |
| forage f3 chorfa         | F37 | 2015 | 23,2 | 7,11 | 827  | 0,78 | 34,4  |
| puits tarfa              | F43 | 2015 | 13,9 | 7,71 | 2550 | 10,1 | 115,2 |
| forage f1 gue            | F39 | 2015 | 14,1 | 7,13 | 1125 | 0,31 | 38,8  |
| melange f2+f3 el esnam   | F72 | 2015 | 13,1 | 6,99 | 1298 | 3,42 | 47,2  |
| forage f3 el esnam       | F40 | 2015 | 14,2 | 6,92 | 1350 | 0,5  | 47,2  |

## Les Annexes

|                |     |      |      |     |     |      |      |
|----------------|-----|------|------|-----|-----|------|------|
| source mezdour | F42 | 2015 | 13,7 | 8,4 | 634 | 0,33 | 27,6 |
|----------------|-----|------|------|-----|-----|------|------|

Tableau 15 : Caractéristiques physique des eaux de forage de la wilaya de Bouira année 2016

| forage                | N   | Date de prélèvement | Les paramètres physiques |       |            |       |         |
|-----------------------|-----|---------------------|--------------------------|-------|------------|-------|---------|
|                       |     |                     | T (°C)                   | pH    | CE (µS/cm) | TUR   | TH (°F) |
| forage f8 harkat      | F1  | 2016                | 18,05                    | 7,135 | 1141,5     | 0,27  | 40,8    |
| forage f1 sida ziane  | F2  | 2016                | 18,6                     | 7,11  | 1019,5     | 0,64  | 38,3    |
| forage f16 sisi ziane | F3  | 2016                | 17,5                     | 7,09  | 1092,5     | 0,18  | 44,6    |
| forage f19 sisi ziane | F4  | 2016                | 15,4                     | 7,24  | 1458       | 24,5  | 33,2    |
| forage f21 sisi ziane | F5  | 2016                | 20,6                     | 7,05  | 1448       | 0,89  | 56      |
| NV forage sisi ziane  | F6  | 2016                | 18,8                     | 7,2   | 1021,5     | 0,41  | 38,2    |
| f1+f2 sisi ziane      | F7  | 2016                | 20,1                     | 7,34  | 979        | 0,49  | 35      |
| forage f11 ouadhia    | F8  | 2016                | 19,4                     | 7,155 | 1158,5     | 1,025 | 45,2    |
| forage f1 said abid   | F9  | 2016                | 21,6                     | 7,24  | 854        | 0,36  | 19,4    |
| forage f2 said abid   | F10 | 2016                | 21                       | 7,31  | 856        | 0,46  | 20,8    |
| forage djaada         | F11 | 2016                | 16                       | 7,06  | 1395,5     | 0,365 | 54,2    |

## Les Annexes

|                      |     |      |       |       |            |       |      |
|----------------------|-----|------|-------|-------|------------|-------|------|
| forage f5 haizer     | F12 | 2016 | 19,05 | 7,35  | 763        | 0,885 | 29   |
| forage f1 haizar     | F13 | 2016 | 18,2  | 7,2   | 1055       | 2,11  | 43,5 |
| source haizer        | F14 | 2016 | 16,6  | 8,13  | 285        | 0,51  | 13,6 |
| forage f2 haizer     | F15 | 2016 | 18,7  | 7,325 | 935,5      | 0,2   | 38,3 |
| forage f4 taghzout   | F16 | 2016 | 20,8  | 7,37  | 785        | 0,64  | 30,8 |
| f7+f12 taferka       | F17 | 2016 | 21,2  | 7,23  | 1764       |       | 52   |
| h12+h17+f3 taghzout  | F18 | 2016 | 20,95 | 7,27  | 1404,5     | 1,94  | 40   |
| forage f3 taghzout   | F19 | 2016 | 20,5  | 7,25  | 795        | 1,76  | 27,6 |
| forage oued el-bardi | F20 | 2016 | 19,6  | 7,33  | 1219,5     | 2,445 | 46,2 |
| forage ouled laalem  | F21 | 2016 | 18,55 | 7,03  | 2030,5     | 0,36  | 84,8 |
| source guegour       | F22 | 2016 | 19,95 | 7,145 | 1264       | 0,16  | 62,8 |
| puits mahouene       | F23 | 2016 | 19,9  | 7,585 | 1578       | 0,275 | 75,8 |
| forage lmaala        | F24 | 2016 | 18,3  | 7,245 | 1954       | 0,395 | 88   |
| forage bakouche      | F25 | 2016 | 14,8  | 7,67  | 1002       | 0,42  | 45,4 |
| puits guelta zarga   | F26 | 2016 | 19,9  | 7,73  | 1111,33333 | 0,975 | 50,4 |

## Les Annexes

|                     |     |      |       |       |        |       |      |
|---------------------|-----|------|-------|-------|--------|-------|------|
| puits ain bidha     | F27 | 2016 | 17,4  | 7,05  | 1767   | 0,66  | 68   |
| puits pouled zidane | F28 | 2016 | 17,6  | 7,05  | 1288   | 9,94  | 58   |
| forage f51 mehdala  | F29 | 2016 | 17,9  | 7,09  | 1450   | 0,33  | 58   |
| forage f1 semache   | F30 | 2016 | 14,4  | 8,14  | 969    | 4,8   | 30,6 |
| forage f2 semache   | F31 | 2016 | 19,1  | 7,12  | 1320   | 0,41  | 48   |
| f3 semache          | F32 | 2016 | 17,25 | 7,9   | 1028,5 | 5,69  | 33,7 |
| f1 E1 laadjiba      | F33 | 2016 | 16,65 | 7,71  | 996    | 2,78  | 32,3 |
| f2 E1 laajiba       | F34 | 2016 | 20,5  | 7,13  | 911    | 2,05  | 49,6 |
| forage F1 chourfa   | F35 | 2016 | 16,35 | 7,31  | 1236,5 | 1,285 | 44,3 |
| f4 chourfa          | F36 | 2016 | 16,6  | 7,22  | 943,5  | 0,36  | 36,7 |
| f3 chourfa(f3+f1)   | F37 | 2016 | 15,75 | 7,22  | 917,5  | 0,445 | 35,6 |
| f2 lasnam+ f1 gue   | F38 | 2016 | 17,1  | 7,08  | 1096   | 0,53  | 39,2 |
| f1 gue              | F39 | 2016 | 15,85 | 7,025 | 1173,5 | 0,485 | 43,9 |
| f3 lasnam           | F40 | 2016 | 13,8  | 6,84  | 1445   | 0,17  | 50,8 |
| f3 bachloul         | F41 | 2016 | 16,8  | 6,86  | 1654   | 0,85  | 63,2 |

## Les Annexes

|                |     |      |       |       |       |       |      |
|----------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|
| source masdour | F42 | 2016 | 23,25 | 7,82  | 684,5 | 0,575 | 21,2 |
| puits tarfa    | F43 | 2016 | 23,35 | 7,235 | 2515  | 1,32  | 120  |

Tableau 16 : Caractéristiques physiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira année 2017

| forage                  | N   | Date de prelevement | Paramètres physique |      |            |      |         |
|-------------------------|-----|---------------------|---------------------|------|------------|------|---------|
|                         |     |                     | T (°C)              | pH   | CE (μS/cm) | TUR  | TH (°F) |
| forage f8 harkat        | F1  | 2017                | 17,1                | 7,11 | 1111       | 0,45 | 41,6    |
| forage f21              | F5  | 2017                | 17,5                | 6,86 | 1453       | 1,44 | 44      |
| NV forage f2 sidi ziane | F6  | 2017                | 17,8                | 7,1  | 960        | 0,65 | 40,8    |
| f1+f2 sidi zian         | F7  | 2017                | 20,7                | 6,93 | 998        | 1,29 | 40,3    |
| forage f11 ouadhia      | F8  | 2017                | 16,3                | 6,97 | 1061       | 1,09 | 40      |
| f13 sidi ziane          | F59 | 2017                | 14,7                | 6,95 | 1360       | 0,35 | 53,6    |
| f16 sidi ziane          | F3  | 2017                | 20,9                | 6,94 | 1036       | 0,48 | 40,5    |
| f10                     | F44 | 2017                | 19,4                | 7,08 | 900,5      | 1,1  | 36,2    |
| f1 said abid            | F9  | 2017                | 16,4                | 7,03 | 885,5      | 0,26 | 35,8    |
| f2 said abid            | F10 | 2017                | 16,6                | 7,11 | 853,5      | 0,26 | 35,3    |
| forage thameur          | F46 | 2017                | 17,1                | 7,01 | 1472       | 1,27 | 51,2    |

## Les Annexes

|                          |     |      |      |      |       |      |       |
|--------------------------|-----|------|------|------|-------|------|-------|
| forage djaada            | F11 | 2017 | 16,4 | 7,01 | 1318  | 0,17 | 48,8  |
| f5 hizer                 | F12 | 2017 | 19,7 | 7,16 | 706,5 | 0,36 | 33,2  |
| f1 hizer                 | F13 | 2017 | 19,3 | 6,94 | 942,5 | 0,96 | 43,4  |
| f2 hizer                 | F15 | 2017 | 20   | 7,04 | 826   | 1,53 | 37,4  |
| forage oued el berdi     | F20 | 2017 | 18   | 7,36 | 1147  | 0,43 | 42,6  |
| forage ouled el elaallem | F21 | 2017 | 15,9 | 7,29 | 1775  | 0,3  | 66,8  |
| forage maala             | F24 | 2017 | 25,4 | 7,21 | 1830  | 0,57 | 76,8  |
| puits marhanian          | F60 | 2017 | 19,5 | 6,87 | 1256  | 1,24 | 50,4  |
| puits guelta zerga       | F26 | 2017 | 17,9 | 7,2  | 1100  | 0,35 | 42    |
| puits khlifate           | F57 | 2017 | 21,8 | 7,28 | 2041  | 0,62 | 153,6 |
| source kraimia           | F61 | 2017 | 18,6 | 7    | 1326  | 0,27 | 74,8  |
| puits p3 ouled zidane    | F62 | 2017 | 17,6 | 7,05 | 1288  | 9,94 | 58    |
| source noir              | F50 | 2017 | 19,5 | 7,17 | 672   | 0,29 | 34,7  |
| forage raffor            | F63 | 2017 | 19,7 | 6,95 | 1525  | 7,01 | 64,4  |
| source mesdour           | F42 | 2017 | 13,3 | 8,1  | 777   | 0,49 | 20,6  |

## Les Annexes

Tableau 17: Caractéristiques physiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira année 2018

| forage               | N   | Date de prélèvement | Paramètres physique |       |            |       |         |
|----------------------|-----|---------------------|---------------------|-------|------------|-------|---------|
|                      |     |                     | T (°C)              | pH    | CE (µS/cm) | TUR   | TH (°F) |
| f8 harkat            | F1  | 2018                | 21,2                | 7,395 | 1030       | 0,305 | 40,5    |
| f16 sidi ziane       | F3  | 2018                | 23,5                | 7,14  | 1001       | 0,61  | 41      |
| NV forage sidi ziane | F6  | 2018                | 21,4                | 7,46  | 992        | 0,56  | 33,2    |
| f10 sidi ziane       | F44 | 2018                | 23,6                | 7,21  | 959        | 0,38  | 41      |
| f11 ouadhia          | F8  | 2018                | 14                  | 7,32  | 1097       | 0,39  | 38,1    |
| forage ouled bellil  | F45 | 2018                | 16,7                | 7,53  | 966        | 0,52  | 35,7    |
| f1 said abid         | F9  | 2018                | 16,3                | 7,33  | 880        | 0,45  | 32,4    |
| forage thameur       | F46 | 2018                | 15,2                | 6,85  | 1377       | 0,42  | 62      |
| forage djaada        | F11 | 2018                | 15,7                | 6,95  | 1300       | 0,43  | 62      |
| f5 hizer             | F12 | 2018                | 15,3                | 7,21  | 673,5      | 0,33  | 31,1    |
| f1 hizer             | F13 | 2018                | 14,3                | 7,04  | 896,5      | 0,45  | 43,2    |
| source hizer         | F14 | 2018                | 15                  | 7,87  | 303        | 0,49  | 16,4    |
| f2 hizer             | F15 | 2018                | 14,1                | 6,93  | 800        | 0,93  | 41,4    |

## Les Annexes

|                           |     |      |      |      |       |      |       |
|---------------------------|-----|------|------|------|-------|------|-------|
| f7 taghzout               | F64 | 2018 | 16,7 | 7,29 | 990,5 | 1,38 | 33,8  |
| melange f3 tafarka        | F47 | 2018 | 16,3 | 7,44 | 767   | 0,11 | 28    |
| forage f' tafarka NV      | F65 | 2018 | 23,8 | 7,35 | 1973  | 1,75 | 60,41 |
| forage oued el bardi      | F20 | 2018 | 17,1 | 7,16 | 1175  | 0,34 | 46,4  |
| forage ouled el aalem     | F21 | 2018 | 15,1 | 7,23 | 1841  | 0,62 | 62,4  |
| source guergour           | F22 | 2018 | 13,3 | 7,53 | 1171  | 0,85 | 58,4  |
| puits mehouane            | F23 | 2018 | 14,2 | 7,14 | 1670  | 0,21 | 76,8  |
| puits merdja              | F66 | 2018 | 17,7 | 7,36 | 1598  | 0,57 | 64,6  |
| forage maala              | F24 | 2018 | 12,1 | 7,83 | 1712  | 1,34 | 64,2  |
| f cha3bet sekran maamoura | F67 | 2018 | 17,9 | 7,37 | 1766  | 0,98 | 40    |
| f belhdoum                | F68 | 2018 | 17,7 | 7,72 | 2640  | 2,09 | 77    |
| p rabhi                   | F69 | 2018 | 14,8 | 7,72 | 2176  | 2,56 | 80,8  |
| f ridan                   | F70 | 2018 | 14,7 | 7,94 | 1214  | 0,19 | 24    |
| puits ain el baidha       | F27 | 2018 | 15,5 | 7,17 | 1781  | 0,46 | 76    |
| source noir               | F50 | 2018 | 23,9 | 7,65 | 499   | 0,39 | 24,2  |

## Les Annexes

---

|                       |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| forage f51 mchedallah | F29 | 2018 | 21,1 | 7,04 | 1385 | 0,23 | 64   |
| forage F1 E1 adjiba   | F33 | 2018 | 15,6 | 7,76 | 826  | 0,55 | 30,2 |
| forage ouled bouali   | F53 | 2018 | 17,4 | 7,54 | 1452 | 0,31 | 46,1 |
| forage f1 chorfa      | F35 | 2018 | 19,6 | 7,21 | 1012 | 0,35 | 41,2 |
| forage f4 chorfa      | F36 | 2018 | 17,9 | 7,21 | 1011 | 0,23 | 40   |
| forage f3 chorfa      | F37 | 2018 | 17,9 | 7,4  | 952  | 0,31 | 32,9 |
| forage f2 el esnam    | F38 | 2018 | 16,6 | 7,28 | 1373 | 0,28 | 49,4 |
| forage f1 gue         | F39 | 2018 | 16,6 | 6,97 | 1088 | 0,1  | 39,6 |
| f3 esnam              | F40 | 2018 | 17,6 | 6,83 | 1257 | 0,11 | 46,4 |
| forage f1 bechloU1    | F54 | 2018 | 16,4 | 6,79 | 1336 | 0,29 | 50,8 |
| source mesdour        | F42 | 2018 | 13,6 | 7,86 | 625  | 2,77 | 21,4 |

## Les Annexes

Tableau 18: les paramètres caractéristiques ;

| Paramètre                                                                                                                 | Symbole |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| TDS                                                                                                                       | R_C_N1  |
| Cl <sup>-</sup> / <b><math>\Sigma</math> anions</b>                                                                       | R_C_N5  |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / <b><math>\Sigma</math> anions</b>                                                         | R_C_N6  |
| (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )                     | R_C_N7  |
| Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>                                                                                        | R_C_N8  |
| Mg <sup>2+</sup> /(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )                                                                   | R_C_N9  |
| Ca <sup>2+</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                                                                           | R_C_N10 |
| Ca <sup>2+</sup> /(Ca <sup>2+</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )                                                      | R_C_N11 |
| (Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )/HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                                       | R_C_N12 |
| Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>                                                                                           | R_C_N15 |
| (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> )/(Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> +Ca <sup>2+</sup> ) | R_C_N16 |
| Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>                                                                                          | R_C_N18 |