

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département: Génie rural

القسم هندسة ريفية

Spécialité: Science de l'eau

التخصص: علم المياه

Mémoire De Fin D'études

Pour L'obtention Du Diplôme de Master En Science de l'eau

**THEME**

**LA QUALITE HYDRO CHIMIQUE DE LA NAPPE  
PHREATIQUE DE LA VALLEE DU SOUF POUR  
L'IRRIGATION**

Présenté Par : DOUAIBIA Sabrine

Soutenu Publiquement le 17 /12/2019

Devant le jury composé de :

Mémoire dirigé par :

M.CHABACA M.N

(Professeur, ENSA)

Président (e) :

M.SELLAM .F

(MAA, ENSA)

Examineurs :

M. MANSOURI .D

(MAB, ENSA)

M. LARIBI A

(MCB, ENSA)

Invité :

M. BIOUS I

(Doctorant, ENSA)

PROMOTION : 2016-2019

## Table de Matières

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Dédicaces .....              | I   |
| Remerciements .....          | II  |
| Liste des figures .....      | III |
| Liste des tableaux .....     | IV  |
| Liste des abréviations ..... | VI  |

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| <b>Introduction générale .....</b> | <b>1</b> |
|------------------------------------|----------|

### Etude bibliographique

|   |   |
|---|---|
| Chapitre I : Hydrochimie des eaux.....                            | 3 |
| I.1 Introduction : .....  | 3 |
| I.2 Classification Hydro-chimique Des Eaux : .....                | 3 |
| I.2.1 Classification des eaux d'après PIPER : .....               | 3 |
| I.2.2 Classification des eaux d'après SCHOELLER Berkaloff : ..... | 4 |
| I.2.3 Classification des eaux d'après Riverside : .....           | 5 |
| I.2.4 Classification des eaux d'après WILCOX : .....              | 6 |
| I.2.5 Classification des eaux d'après Stabler : .....             | 6 |
| I.2.6 Classification des eaux d'après Stiff : .....               | 7 |
| I.3 Paramètres physico-chimiques : .....                          | 7 |
| I.3.1 Paramètres physiques : .....                                | 7 |
| I.3.1.1 Température : .....                                       | 7 |
| I.3.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH) : .....                        | 8 |
| I.3.1.3 La conductivité électrique : .....                        | 8 |
| I.3.2 Les paramètres chimiques : .....                            | 8 |
| I.3.2.1 Les Cations : .....                                       | 8 |
| I.3.2.1.1 Le Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) : .....                  | 8 |
| I.3.2.1.2 Le Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ) : .....                | 8 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| I.3.2.1.3    | Le sodium et le potassium ( $\text{Na}^+$ et $\text{K}^+$ ) : ..... | 9  |
| I.3.2.2      | Les Anions : .....  | 9  |
| I.3.2.2.1    | Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) : .....                             | 9  |
| I.3.2.2.2    | Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) : .....                         | 9  |
| I.3.2.2.3    | Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) : .....                       | 10 |
| I.3.2.2.4    | Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) : .....                                | 10 |
| Chapitre II  | : Présentation de la région d'étude .....                           | 10 |
| II.1         | Généralité : .....  | 10 |
| II.2         | Situation géographique : .....                                      | 10 |
| II.3         | Situation économique : .....  | 12 |
| II.4         | Relief : .....  | 13 |
| II.5         | Facteurs abiotiques (données climatiques) : .....                   | 14 |
| II.5.1       | La température : .....  | 15 |
| II.5.2       | Les précipitations : .....  | 15 |
| II.5.3       | Le vent : .....   | 16 |
| II.5.4       | Humidité relative : .....   | 16 |
| II.5.5       | Évapotranspiration (ETP) : .....                                    | 17 |
| II.5.6       | Insolation : .....  | 17 |
| II.6         | Facteurs biotiques : .....  | 18 |
| II.6.1       | La Flore de la région d'Oued Souf : .....                           | 18 |
| II.6.2       | La Faune de la région de l'Oued Souf: .....                         | 18 |
| II.7         | Le Sol : .....  | 19 |
| Chapitre III | : Hydrogéologie de la zone d'étude .....                            | 20 |
| III.1        | Hydrogéologie de la région : .....                                  | 20 |
| III.2        | Les ressources en eau : .....                                       | 20 |
| III.2.1      | Les eaux de surface : .....   | 21 |
| III.2.2      | Les eaux souterraines : .....                                       | 21 |
| III.2.2.1    | La nappe phréatique : .....   | 21 |
| III.2.2.2    | La nappe du complexe terminal (CT) : .....                          | 22 |
| III.2.2.2.1  | Les nappes des sables : .....                                       | 22 |
| III.2.2.2.2  | Les nappes de calcaires : .....                                     | 23 |
| III.2.2.3    | La nappe du continental intercalaire (albien) (CI) : .....          | 24 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| III.3   | Origine des eaux d'irrigation .....  | 26 |
| Chapitre IV : La piézométrie de la nappe phréatique : ..... |  | 27 |
| IV.1  | Piézométrie : .....  | 27 |
| IV.2  | Inventaire des points d'eau : .....  | 27 |
| IV.3  | Étude de l'évolution piézométrique de la nappe : .....                         | 28 |
| IV.3.1  | Variation des niveaux piézométriques dans la période 2009-2010: .....          | 28 |
| IV.3.1.1  | La piézométrie 2009: .....   | 28 |
| IV.3.1.2  | La piézométrie 2010 : .....  | 29 |
| IV.3.2  | Fluctuation de la nappe phréatique entre 2010 et 2009 : .....                  | 30 |
| IV.4  | Causes de la remontée de la nappe : .....                                      | 31 |
| IV.5  | Conséquences de la remontée de la nappe phréatique sur l'environnement : ..... | 32 |
| IV.5.1  | Impact sur les oasis et l'activité agricole : .....                            | 32 |
| IV.5.2  | Impact sur le secteur sanitaire : .....  | 32 |
| IV.5.3  | Impact sur l'environnement : .....   | 32 |

### **Matériels et méthodes**

|  |  |    |
|--|--|----|
| Introduction : .....                             |  | 34 |
| II.1 Zone d'échantillonnages : .....             |  | 34 |
| II.3.1   | Choix des points de prélèvement : .....                    | 34 |
| II.3.2   | Localisation et coordonnées UTM des sites d'essais : ..... | 35 |
| II.3.3   | Exécution des prélèvements : .....                         | 36 |
| II.3.4   | Stockage des échantillons : .....                          | 37 |
| II.2 Matériel et appareillages d'analyse: .....  |  | 37 |
| II.3 Méthodes d'analyse physico-chimique : ..... |  | 41 |
| II.3.1   | Analyse physique « mesure in situ » : .....                | 41 |
| II.3.1.1   | Température (°C): .....                                    | 41 |
| II.3.1.2   | CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) : .....                     | 41 |
| II.3.1.3   | PH: .....  | 41 |
| II.3.2   | Analyses chimiques « mesure in vitro » : .....             | 43 |
| II.3.2.1   | Calcium : .....  | 43 |

|   |    |
|---|----|
| II.3.2.1.1 Principe : .....                             | 43 |
| II.3.2.2 Dureté totale : .....                          | 43 |
| II.3.2.2.1 Principe : .....                             | 43 |
| II.3.2.3 Alcalinité (TAC) : .....                       | 44 |
| II.3.2.3.1 Principe : .....                             | 44 |
| II.3.2.4 Chlorure : .....                               | 45 |
| II.3.2.4.1 Principe : .....                             | 45 |
| II.3.2.5 Magnésium : .....                              | 46 |
| II.3.2.6 Nitrate : .....                                | 46 |
| II.3.2.6.1 Principe : .....                             | 46 |
| II.3.2.7 Sodium et Potassium : .....                    | 47 |
| II.3.2.7.1 Principe : .....                             | 47 |
| II.3.2.8 Résidu sec : .....                             | 48 |
| II.3.2.8.1 Principe : .....                             | 48 |
| II.4 Outils d'analyse des données : .....               | 49 |
| II.4.1 Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A) : ..... | 49 |
| II.4.2 Logiciel ArcGIS : .....                          | 50 |
| II.4.3 XLSTAT : .....                                   | 50 |
| Conclusion : .....                                      | 51 |

## **Résultats et discussions**

|  |    |
|--|----|
| Introduction : .....   | 52 |
| III.1 Interprétation des résultats des analyses chimiques des éléments majeurs : ..... | 53 |
| III.1.1 Identification des faciès chimiques des eaux : .....                           | 53 |
| III.1.1.1 Diagramme de Piper : .....   | 53 |
| III.1.1.2 Profils hydrogéochimiques Schöeller-Berkaloff : .....                        | 54 |
| III.1.2 État de la qualité des eaux souterraines en vue d'un usage agricole : .....    | 57 |
| III.1.2.1 Méthode de SAR : .....   | 57 |
| III.1.2.2 Méthode de Wilcox : .....  | 58 |
| III.1.2.3 Classes d'irrigation : .....   | 59 |
| III.2 Cartographie des paramètres hydro-chimique : .....                               | 60 |
| III.2.1 Carte de conductivité : .....  | 60 |

|         |   |           |
|---------|---|-----------|
| III.2.2 | Carte de température :.....                             | 62        |
| III.2.3 | Carte de potentiel d'hydrogène :.....                   | 65        |
| III.2.4 | Carte de résidu sec :.....                              | 66        |
| III.3   | Etude statistique des données hydro-chimiques :.....    | 69        |
| III.4   | Analyse en composante principale (A.C.P) : .....        | 70        |
| III.4.1 | Calcul de la matrice de corrélation : .....             | 70        |
| III.4.2 | Étude des valeurs propres : .....                       | 70        |
| III.4.3 | Étude des variables sur le cercle de corrélation :..... | 73        |
|         | <b>Conclusion générale</b> .....                        | <b>76</b> |
|         | <b>references bibliographiques</b> .....                | <b>78</b> |
|         | <b>Annexes</b> .....                                    | <b>A</b>  |
|         | Annexe 1 :.....   | A         |
|         | Annexe 2 :.....   | B         |
|         | <b>Résumé</b>   |           |

## Résumé

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Le but de notre étude est la caractérisation des eaux souterraines d'irrigation exploitées dans la vallée du Souf. Pour cela, nous nous sommes basé sur une campagne de mesures des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines effectuées au laboratoire de l'ADE du Souf. Les paramètres mesurés ont porté sur la conductivité, le pH, la T°C et les éléments majeurs, à savoir :  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ . Les résultats ont révélé que le seuil de la salinité admissible, est largement dépassé. Le danger de sodicité de ces eaux est exprimé par le calcul du taux d'absorption du Sodium ou SAR. Ce paramètre nous indique que le degré d'aptitude des eaux de la région d'EL Oued à l'irrigation est faible. L'évaluation de la qualité hydro-chimique par l'ACP, montre que la qualité des eaux est mauvaise à médiocre. La salinité trop élevée, est déconseillée pour une utilisation agricole car cela aggraverait la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération de ses qualités physiques. Des moyens correctifs doivent être envisagés car le rendement des récoltes se réduit linéairement à mesure que la salinité augmente.

**Mots clés :** qualité des eaux, vallée du Souf, analyses physico-chimiques, SAR, ACP

## Summary

The quality of water used for irrigation is an essential parameter for crop yield, maintaining soil productivity and protecting the environment. The purpose of our study is to characterize the groundwater used for irrigation in the Souf Valley. To do this, we based ourselves on a campaign of measurements of the physico-chemical parameters of groundwater, carried out in the laboratory of the ADE du Souf. The parameters measured covered conductivity, pH, T°C and the major elements, namely:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Na}^+$ . The results revealed that the threshold of the admissible salinity is largely exceeded. The danger of sodium in these waters is expressed by calculating the absorption rate of Sodium or SAR, which indicates that the degree of irrigation suitability of waters in the EL Oued region is low. The hydro-chemical quality assessment by the ACP shows that water quality is poor. Salinity that is too high is not recommended for agricultural use because it would aggravate the possible degradation of the soil structure and the alteration of its physical qualities. Corrective measures must be considered as crop yields decrease linearly as salinity increases.

**Keywords:** water quality, Souf Valley, physico-chemical analyses, SAR, ACP

## ملخص:

تعد جودة المياه المستخدمة في الري معياراً أساسياً لإنتاجية المحاصيل والحفاظ على إنتاجية التربة وحماية البيئة. الهدف من دراستنا هو توصيف المياه الجوفية للري المستغلة في وادي سوف. لهذا، اعتمدنا على حملة قياسات للمعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية أجريت في مختبر: والعناصر الرئيسية، وهي  $T^{\circ}C$  المعلمات المقاسة تتعلق بالتوصيل، ودرجة الحموضة، و  $HCO_3^-$ ،  $Cl^-$ ،  $NO_3^-$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $K^{+}$  و  $Na^{+}$ . وكشفت النتائج عن تجاوز عتبة. معدل الامتصاص الصوديوم لهذه المياه من خلال حساب معدل امتصاص الصوديوم أو معدل الامتصاص النوعي. تخبرنا هذه المعلمة أن درجة ملاءمة مياه أن جودة المياه من ACP منطقة الواد للري منخفضة. يُظهر تقييم جودة المياه الكيميائية من قبل رديئة إلى متوسطة. لا يُنصح بارتفاع نسبة الملوحة للاستخدام الزراعي لأنها قد تؤدي إلى تفاقم التدهور المحتمل لبنية التربة وتغيير صفاتها الفيزيائية. يجب مراعاة الوسائل التصحيحية لأن غلة المحاصيل تتناقص خطياً مع زيادة الملوحة.

الكلمات المفتاحية: نوعية المياه، وادي سوف، التحليلات الفيزيائية والكيميائية، معدل الامتصاص النوعي، ACP