

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila**  
**Institut des Sciences et de Technologie**  
**Département de Sciences et Techniques**



N° Ref :.....

**Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de**  
**Master en hydraulique**  
**Spécialité : Hydraulique Urbaine**

**Caractérisation physico-chimique des eaux  
souterraines de la région d'Oued Souf  
(Sud-Est Algérien).**

**Présenté par :**

- M<sup>elle</sup>. Belghoul Amira
- M<sup>elle</sup>. Kab Bochra

**Dirigé par :**

- M. Mehellou Ahmed

**Soutenu devant le jury :**

- M. Moussoni Abderzak      **Président**
- M<sup>me</sup>. Dib Imane              **Examinatrice**

**Année universitaire : 2019/2020**





# *Dédicace*

*Avec l'aide et la protection d'ALLAH*

*S'est réalisé ce travail.*

*Nous dédions ce travail à :*

*A ma chère mère, le soleil de mon cœur et qui m'a donnée la vie en sacrifiant le sienne pour me voir réussir et que ne jamais privé de son amour et ses conseils.*

*A mon père, ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma Formation.*

*Une dédicace spéciale à :*

*A mes très chères Frères : Farid, Boujamaa et Ahmed.*

*A mes très chères Sœurs: Malika, Firouze et Hiba.*

*Et spécialement à mon binôme: Bouchra et toute sa famille.*

*A tout la famille Belghoul et Gharbi.*

*A mes chères amies (Khadidja, Nihad , Fatima ,Nariman,Fares,Hamza,Ramzi)*

*Atout la promotion d'hydraulique 2020.*

*Tout et toute personne qui à rencontrer et aimer AMIRA un jour.*

*Enfin, à celui qui lira ce document un jour.*

*AMIRA*



# *Dédicace*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous ; Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*A ma chère mère et à mon chère père, que Dieu vous protège pour moi.*

*A mes très chères Frères : Ali et Tamim.*

*A mes très chères Soeurs: Inas et Bouthayna.*

*Je remercie beaucoup mon fiancé Abderezak son aide et ses Encouragements.*

*A ma binôme Amira et toute sa famille*

*A toute ma famille, mes amies, et tous les gens qui me sont chers.*

*A toute la promotion 2020*

*Bochra*

# Remerciements

Avant tout, Nous remercierons d'abord **Allah** pour nous avoir donné la force et le courage, la patience et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur **MEHELLOU Ahmed**, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour tous ses efforts, ses encouragements, ses précieuses orientations qu'il n'a cessé de prodiguer, c'est grâce à son infatigable dévouement que ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons à remercier très sincèrement Monsieur **MOUSSOUNI Abderzak**, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant la présidence de ce jury.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame **DIB Imane** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nous remercions également tous les enseignants de l'hydraulique.

En fin nous serons vraiment reconnaissant en vue tous ceux qui nous ont aidé de près ou loin dans la réalisation de ce travail

Sans oublier le remerciement de toute notre promotion de 2020.



## Liste des abréviations et symboles

**AEP** : Approvisionnement (Alimentation) en eaux potables.

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**DRE** : Direction des ressources en eaux.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

**MES** : Matières En Suspension.

**DBO5** : Demande biologique en oxygène.

**DCO** : Demande chimique en oxygène.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**pH** : Potentiel hydrogène.

**TDS** : Total des Solides Dissous ou Taux de Salinité.

**TA** : Titre Alcalimétrique.

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.

**TH** : Titre Hydrotimétrique.

**EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétra acétique.

**NET** : Noir d'ériochrome.

**UC** : Unités de Couleur.

**UTN** : Unités de Turbidité Néphalométriques.

**UV** : Ultra Viole.

**CI** : Nappe de Continentale Intercalaire.

**CT**: Nappe de Complexe Terminal.

**$\mu\text{S.cm}^{-1}$**  : Micro Siemens par Centimètre.

**V** : Volume.

**°C** : Degré Celsius.

**°F** : Degré Français.

**M** : Masse molaire.

**még** : Milliéquivalent.

**mg.L<sup>-1</sup>** : Milligramme par litre.

# Sommaire

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <i>Introduction générale</i> | <i>01</i> |
|------------------------------|-----------|

## *Chapitre I : Généralités sur l'eau*

|   |    |
|---|----|
| Introduction  | 03 |
| I.1 Définition de l'eau                                   | 03 |
| I.2 Cycle de l'eau dans la nature                         | 04 |
| I.3 Différents types de l'eau                             | 05 |
| I.3.1 Eaux potables                                       | 05 |
| I.3.2 Eaux saumâtres                                      | 05 |
| I.3.3 Eaux dures  | 05 |
| I.3.3.1 Les principaux éléments responsables de la dureté | 06 |
| I.3.3.2 Les eaux dures et la santé humaine                | 06 |
| I.3.4 Eaux douces   | 06 |
| I.4 Ressources hydriques naturelles                       | 07 |
| I.4.1 Eaux de pluie                                       | 07 |
| I.4.2 Eaux de mers et océans                              | 07 |
| I.4.3 Eaux de surface                                     | 07 |
| I.4.4 Eaux souterraines                                   | 08 |
| I.4.4.1 Les différentes nappes terrestres                 | 09 |
| I.4.4.2 La plus grande nappe phréatique du monde          | 09 |
| I.5 Qualité de l'eau                                      | 09 |

## *Chapitre II : Analyse physico-chimique des eaux naturelles*

|   |    |
|---|----|
| Introduction                                      | 12 |
| II.1 Paramètre organoleptique caractérisant l'eau | 12 |
| II.1.1 Couleur                                    | 12 |
| II.1.2 Goûts et Odeur                             | 12 |
| II.1.3 La turbidité                               | 13 |
| II.2 Analyse physique de l'eau                    | 13 |
| II.2.1 Température                                | 13 |
| II.2.2 Conductivité électrique (CE)               | 14 |
| II.2.3 Taux de salinité (TDS)                     | 14 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| II.3     | Qualité chimique de l'eau               | 15 |
| II.3.1   | Potentiel d'hydrogène (pH)              | 15 |
| II.3.2   | Gaz dissous dan l'eau                   | 15 |
| II.3.3   | Alcalinité (TA et TAC)                  | 16 |
| II.3.4   | La dureté ou Titre hydrotimétrique (TH) | 17 |
| II.3.5   | Demande biochimique en oxygène (DBO)    | 18 |
| II.3.6   | Demande Chimique en Oxygène (DCO)       | 18 |
| II.3.7   | Ions majeurs                            | 19 |
| II.3.7.1 | Cations                                 | 19 |
| II.3.7.2 | Anions                                  | 20 |

### *Chapitre III : Présentation de la région d'étude (Oued-Souf)*

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| III.1     | Situation géographique et administrative               | 23 |
| III.2     | Aspects démographiques                                 | 26 |
| III.3     | Aspect climatologique                                  | 28 |
| III.3.1   | Température  | 28 |
| III.3.2   | Les Précipitations                                     | 30 |
| III.3.3   | Humidité   | 32 |
| III.3.4   | Les Vents  | 32 |
| III.3.5   | Diagramme Ombrothérmique de Bagnouls et Gaussen (1953) | 33 |
| III.3.6   | Climatogramme d'Emberger                               | 34 |
| III.4     | Aspect géologique                                      | 36 |
| III.4.1   | Stratigraphie régionale                                | 37 |
| III.4.1.1 | Formation de l'ère secondaire                          | 37 |
| III.4.1.2 | Formations de l'ère Tertiaire                          | 40 |
| III.4.1.3 | Formation du Quaternaire                               | 41 |
| III.5     | Cadre hydrogéologique                                  | 41 |
| III.5.1   | Nappe phréatique superficielle                         | 42 |
| III.5.2   | Nappe du Complexe Terminal (C.T)                       | 43 |
| III.5.3   | Nappe du Continental Intercalaire (C.I)                | 44 |
| III.6     | La réalité de l'agriculture dans l'état de la vallée   | 44 |
| III.6.1   | La richesse des palmiers dans la vallée                | 44 |
| III.6.2   | Le Système Ghout                                       | 45 |
| III.6.3   | Superficie   | 46 |
| III.6.4   | Production   | 46 |



|  |    |
|--|----|
| III.7 L'ancien système agricole du Souf                            | 46 |
| III.7.1 Les moyens de production                                   | 47 |
| III.7.2 Les techniques de production                               | 48 |
| III.7.3 Les systèmes de culture                                    | 48 |
| III.7.4 Commercialisation et revenus                               | 48 |
| III.7.5 Approvisionnement  | 49 |
| III.7.6 Le financement   | 49 |
| III.8 Le nouveau système agricole du souf                          | 49 |
| III.8.1 Les systèmes de culture                                    | 50 |
| III.9 La remontée des eaux souterraines dans la région d'oued-souf | 51 |
| III.9.1 Définition du problème de la remontée des eaux             | 51 |
| III.9.2 Historique de la remontée des eaux dans la zone d'étude    | 53 |
| III.9.3 Origine du phénomène                                       | 55 |
| III.9.4 Mesures prises pour limiter le phénomène                   | 56 |

### *Chapitre IV : Matériels et méthodes de caractérisation*

|  |    |
|--|----|
| Introduction   | 58 |
| IV.1 Prélèvement et conditionnement des échantillons                 | 58 |
| IV.2 Produits chimiques utilisés                                     | 60 |
| IV.3 Préparation des solutions utilisées                             | 60 |
| IV.3.1 Préparation de la solution HCl à 0,02 N                       | 60 |
| IV.3.2 Préparation de la solution EDTA à 0,01 M                      | 61 |
| IV.3.3 Solution tampon ammoniacal de pH = 10                         | 62 |
| IV.3.4 Préparation des solutions des indicateurs colorés             | 62 |
| IV.4 Méthodes d'analyse et de caractérisation                        | 62 |
| IV.4.1 Mesure des paramètres physiques (Température, pH, TDS et CE)  | 62 |
| IV.4.2 Titrage par volumétrie (Titrimétrie)                          | 62 |
| IV.4.3 Analyse par spectrophotométrie UV-Visible (Colorimétrie)      | 64 |
| IV.5 Protocoles d'analyse et de caractérisation                      | 65 |
| IV.5.1 Mesure des paramètres physiques (Température, pH, TDS et CE)  | 65 |
| IV.5.2 Détermination des paramètres chimiques                        | 67 |
| IV.5.2.1 Détermination du titre alcalimétrique (TA)                  | 67 |
| IV.5.2.2 Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)         | 67 |
| IV.5.2.3 Détermination de la dureté ou du titre hydrotimétrique (TH) | 68 |

|   |    |
|---|----|
| IV.5.2.4 Analyse de quelques ions majeurs par spectrophotométrie UV-Visible | 69 |
|---|----|

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

|   |           |
|---|-----------|
| Introduction  | 71        |
| V.1 Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la vallée d'Oued-Souf | 71        |
| V.1.1 La température (T)  | 73        |
| V.1.2 Le pH   | 74        |
| V.1.3 La conductivité électrique (CE)   | 74        |
| V.1.4 Le taux de salinité (TDS)   | 78        |
| V.1.5 L'alcalinité de l'eau (TA et TAC)   | 80        |
| V.1.5.1 Titre alcalimétrique (TA)   | 80        |
| V.1.5.2 Titre alcalimétrique complet (TAC)  | 80        |
| V.1.6 Titre hydrotimétrique (TH)  | 81        |
| V.2 Discussion des résultats d'analyse des espèces chimiques majeures               | 82        |
| V.2.1 Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ )                  | 83        |
| V.2.2 Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )          | 83        |
| V.2.3 Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ )   | 84        |
| V.2.4 Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )   | 84        |
| V.2.5 Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )  | 84        |
| V.2.6 Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )   | 85        |
| Conclusion  | 85        |
| <br>  |           |
| <b><i>Conclusion générale</i></b>   | <b>86</b> |
| <b><i>Références bibliographiques</i></b>   | <b>88</b> |

## Liste des tableaux

| Tableau n°    | Titre du tableau  | Page |
|---------------|---|------|
| Tableau I.1   | Principales différences entre eaux superficielles et eaux souterraines.   | 08   |
| Tableau II.1  | Classification des eaux en fonction de la turbidité.  | 13   |
| Tableau II.2  | Classification des eaux selon la conductivité.  | 14   |
| Tableau II.3  | Classification des eaux d'après leur pH.  | 15   |
| Tableau II.4  | Résultats expérimentaux des titres alcalimétriques TA, TAC, TAOH.   | 16   |
| Tableau II.5  | Potabilité en fonction de la dureté de l'eau.   | 17   |
| Tableau II.6  | Normes de potabilité selon la société algérien des eaux.  | 22   |
| Tableau III.1 | Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la wilaya d'Eloued.            | 27   |
| Tableau III.2 | Températures mensuelles maximales et minimales de la région d'Eloued pour l'année 2018 et durant la période 2008- 2018. | 29   |
| Tableau III.3 | Précipitations moyennes mensuelles de la région du Souf durant la période 2008-2018.                                    | 30   |
| Tableau III.4 | Humidité relative moyenne mensuelle de la région du Souf durant l'année 2018.   | 31   |
| Tableau III.5 | Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de la région d'étude durant l'année 2018.                                       | 33   |
| Tableau III.6 | Récapitulation des systèmes aquifères de la région d'El-Oued.   | 43   |
| Tableau IV.1  | Produits chimiques et leurs marques.  | 60   |
| Tableau V.1   | Les coordonnées des points de prélèvement (forages d'eau du C.T).   | 73   |
| Tableau V.2   | Résultats de T (°C) et pH des différents points de prélèvement à la vallée d'Oued-Souf.                                 | 74   |
| Tableau V.3   | classes de minéralisation en fonction de la conductivité électrique   | 75   |
| Tableau V.4   | Résultats du TAC et du TH des différents points de prélèvement à la vallée d'Oued-Souf.                                 | 80   |
| Tableau V.5   | Dureté et potabilité de l'eau en fonction de son TH.  | 81   |
| Tableau V.6   | Données d'analyse des espèces chimiques obtenues par la DRE et l'ADE d'Eloued.  | 82   |
| Tableau V.7   | Normes de potabilité de l'eau de l'OMS.   | 83   |

## Liste des figures

| <b>Figure N°</b> | <b>Titre de la figure</b>  | <b>Page</b> |
|------------------|--|-------------|
| Figure I.1       | Composition de la molécule d'eau.  | 03          |
| Figure I.2       | Cycle de l'eau dans la nature.   | 04          |
| Figure I.3       | Nappe de l'Albien qui se trouve en nord d'Afrique.   | 10          |
| Figure III.1     | Carte géographique de la région du Souf avec la situation des zones d'études.                                  | 24          |
| Figure III.2     | Carte de Situation géographique de la zone d'étude.  | 25          |
| Figure III.3     | Situation géographique de la vallée de Souf dans la Willaya d'El-oued.   | 26          |
| Figure III.4     | Variation mensuelle de la température moyenne de la région du Souf durant la période (2008-2018).              | 30          |
| Figure III.5     | Variation des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la région du Souf entre la période (2008- 2018). | 31          |
| Figure III.6     | L'humidité relative mensuelle de la vallée du Souf (2008-2018).  | 32          |
| Figure III.7     | Vitesse moyenne mensuelle des vents de la vallée du Souf (2008-2017).  | 33          |
| Figure III.8     | Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) de la région d'El Oued durant la période (2008- 2018).  | 34          |
| Figure III.9     | Etage bioclimatique de la région du Souf selon le diagramme d'Emberger (2008-2018).                            | 36          |
| Figure III.10    | Carte géologique du Grand Erg Oriental.  | 39          |
| Figure III.11    | Carte géologique de la zone d'étude.   | 40          |
| Figure III.12    | Coupe hydrologique à travers le Sahara septentrionale.   | 42          |
| Figure III.13    | Les Ghouts du Souf.  | 46          |
| Figure III.14    | Une palmeraie moderne d'El Oued.   | 50          |
| Figure III.15    | Etendue d'une remontée.  | 53          |
| Figure III.16    | La nappe phréatique avant 1956.  | 54          |
| Figure III.17    | La nappe phréatique entre 1956 et 1986.  | 54          |
| Figure III.18    | La nappe phréatique après 1986.  | 55          |
| Figure IV.1      | Carte Google-Earth montrant les localités des points de prélèvement dans la zone d'étude.                      | 59          |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figure IV.2 | Matériels utilisés en volumétrie.   | 63 |
| Figure IV.3 | Schéma de principe d'un spectrophotomètre UV-Visible.                               | 65 |
| Figure IV.4 | Multimètre portatif utilisé (ADWA).   | 66 |
| Figure IV.5 | Spectrophotomètre UV-Visible utilisé.   | 70 |
| Figure V.1  | Carte d'inventaire des forages exploitant le CT et de CI sur la vallée d'Oued-Souf. | 72 |
| Figure V.2  | CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) des eaux étudiées.                                     | 75 |
| Figure V.3  | Carte de la conductivité en avril 2002.   | 77 |
| Figure V.4  | TDS ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) des eaux étudiées .                                      | 78 |
| Figure V.5  | Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2011                     | 79 |

## ملخص

من أجل تقييم الجودة الفيزيوكيميائية للمياه الجوفية المخصصة للإمداد بالمياه الصالحة للشرب في منطقة وادي سوف ، تم أخذ سلسلة من العينات من آبار إرتوازية لـ 10 بلديات مختلفة. أولاً ، تم قياس درجة الحرارة ، درجة الحموضة ، الناقلية الكهربائية و نسبة الملوحة للعينات المأخوذة. في الخطوة الثانية قمنا بتحديد قلوية الماء (TA و TAC) و قساوته (TH) بواسطة المعايرة الحجمية. تم تخصيص الجزء الأخير من العمل لمناقشة نتائج تحليل العناصر الكيميائية الرئيسية الموجودة في الماء و التي تم الحصول عليها من طرف الجزائرية للمياه ومديرية الموارد المائية في منطقة وادي سوف.

أظهرت النتائج المُحصَل عليها أن درجة الحرارة المقاسة تتراوح بين 19.3 و 23.2 °C وأن الـ pH يتراوح دائماً بين 6.8 و 7.5. هذه النتائج تتوافق جيداً مع المعايير الموصى بها. ومع ذلك ، فإن هذه المياه عالية التمعدن لأن ناقليتها الكهربائية أكبر من  $3000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ . تتراوح نسبة الملوحة بين 1970 و  $2402 \text{ mg.L}^{-1}$  و تزيد في نفس اتجاه تدفق المياه الجوفية. أظهرت هذه الدراسة أيضاً أن TA للماء يساوي صفر في جميع الحالات. في حين أن ، الـ TAC مرتفعاً نوعاً ما مما يعني أن تركيز أيونات  $\text{HCO}_3^-$  مرتفع كذلك. جميع المياه التي تم تحليلها قاسية للغاية لأن الـ TH دائماً يفوق  $54^\circ\text{F}$ . تركيز الأنواع الكيميائية الرئيسية عالية جداً ، خاصة بالنسبة لـ  $\text{Na}^+$  ،  $\text{Ca}^{2+}$  ،  $\text{Mg}^{2+}$  ،  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  حيث أن التركيز يتجاوز بشكل كبير معايير المياه الصالحة للشرب. ومع ذلك ، فإن تراكيز الـ  $\text{NO}_3^-$  تتقدم قيمًا مقبولة و أقل من المعايير.

## Résumé

Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eaux potables (AEP) dans la région d'Oued-Souf, une série de prélèvements ont été effectués au niveau des forages de 10 communes différentes. Dans un premier temps, on a effectué la mesure de la température, le pH, la conductivité électrique (CE) et le taux de salinité (TDS) des échantillons prélevés. Dans une seconde étape on a déterminé leur alcalinité (TA et TAC) et leur titre hydrotimétrique (TH) par titrimétrie. La dernière partie du travail a été consacrée à la discussion des résultats d'analyse des espèces chimiques majeures présentes dans l'eau obtenus par l'ADE et DRE dans la région d'Oued-Souf.

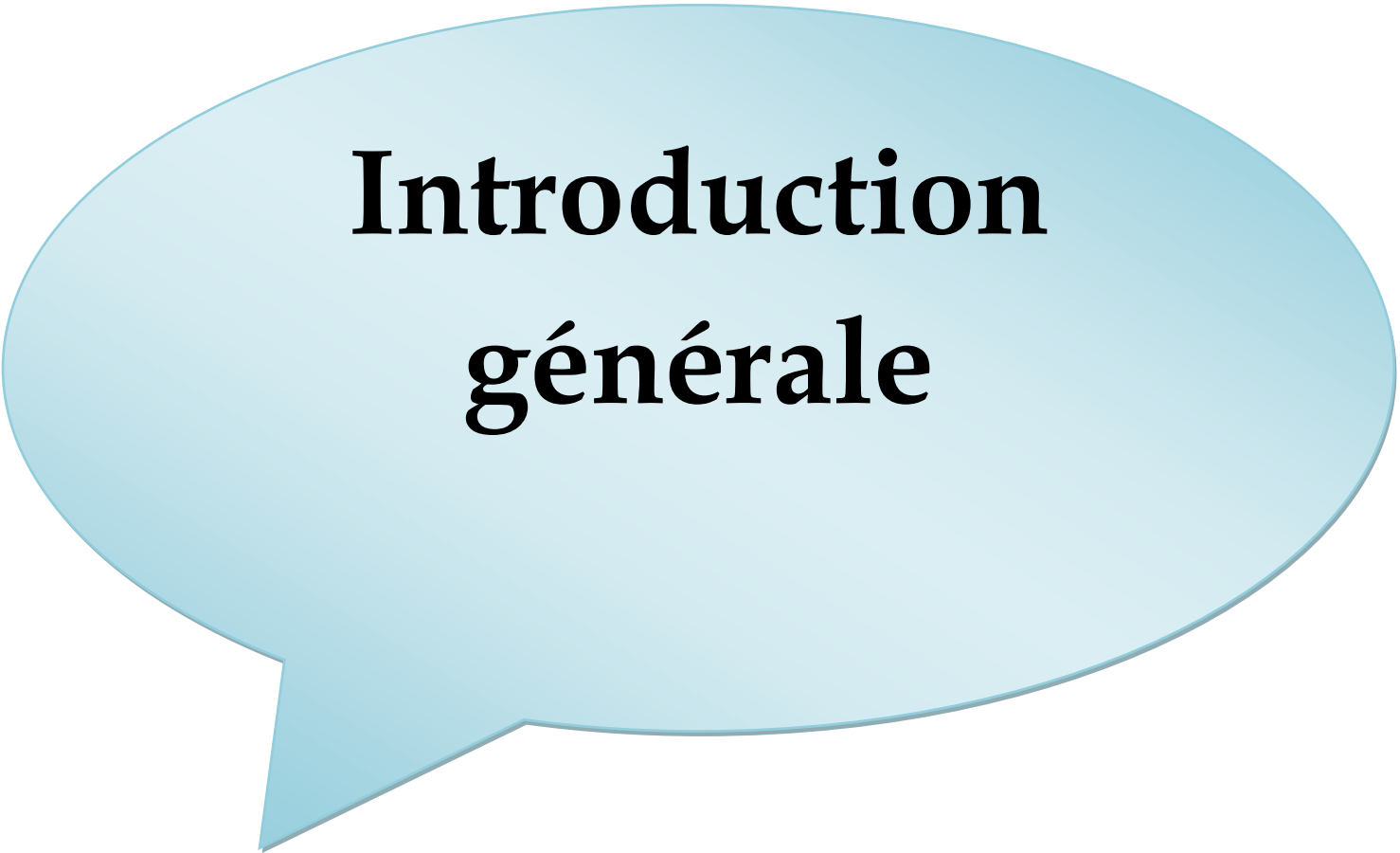
Les résultats obtenus ont montré que la température mesurée varie entre 19.3 et 23.2 °C et le pH est toujours situé entre 6.8 et 7.5. Ces résultats sont en bon accord avec les normes recommandées. Néanmoins, ces eaux sont très minéralisées car leur CE est supérieure à 3000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Le TDS varie entre 1970 et 2402  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  et augmente dans le même sens d'écoulement de la nappe. Cette étude a montré également que le TA de l'eau est dans tous les cas nul. Cependant, le TAC est toujours assez élevé et par conséquent une concentration en ions  $\text{HCO}_3^-$  élevée. La totalité des eaux analysées sont très dures, car le TH est toujours supérieur à 54 °F. Les teneurs des espèces chimiques majeures sont très élevées notamment pour le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  où la concentration dépasse énormément les normes de l'eau potable. Néanmoins, les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  présentent des valeurs acceptables et inférieures à la norme.

## Abstract

In order to examine the physico-chemical quality of groundwater intended for drinking water supply in the Oued-Souf region, a series of samples were taken from boreholes in 10 different municipalities. Firstly, the temperature, pH, electrical conductivity (CE) and salinity level (TDS) of the samples were measured. Secondly, their alkalinity (TA and TAC) and their hardness (TH) were determined by titrimetric analyses. Finally, the last part of the work was reserved for the discussion of the analysis results of the major chemical species present in the water. These results are obtained by the water authorities in Oued-Souf region.

The obtained results showed that the measured temperature varies between 19.3 and 23.2 °C and the pH is always between 6.8 and 7.5. These results are in good agreement with the recommended standards. However, these waters are highly mineralized because their CE is greater than 3000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . The TDS varies between 1970 – 2402  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and increases in the same direction of groundwater flow. This study also showed that the TA of water is zero in all cases. However, the TAC is always high and consequently the concentration of  $\text{HCO}_3^-$  ions is high. All analyzed waters are very hard, because the TH is always above 54 °F. The concentrations of major chemical species are very high, especially for  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  where the concentration greatly exceeds the drinking water standards. Nevertheless, the concentrations of  $\text{NO}_3^-$  have acceptable values and below the standard.





**Introduction  
générale**

## Introduction générale

---

L'eau est indispensable à la vie, sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre. Le constat est simple, tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour exister. L'eau est le principal constituant des êtres vivants et il est nécessaire au développement de toute vie. L'eau aussi est un élément principal utilisée par l'homme dans ses différentes activités (agricoles, industrielles) et dans sa vie quotidienne (usage domestique, loisirs). Généralement, l'origine des eaux servant à l'alimentation humaine provient des eaux souterraines et des eaux douces de surface et dans certains cas, par adoucissement des eaux de mer (**Mekkedem et al., 2017**).

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (**Tabouch et Achour, 2004**). Mais à cause du développement socioéconomique, de la croissance démographique, de la modernisation de l'agriculture et de l'évolution industrielle ... etc, ces eaux sont toujours exposées à la pollution qui guette à chaque instant et de plus en plus toutes nos belles réserves. Ces facteurs de pollution entraînent alors un grand problème de détérioration de la qualité des eaux souterraines. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un phénomène évolutif dans l'espace et dans le temps, et dans certains cas il soit très difficilement maîtrisable (**Nasri et al., 2018**). C'est pour cela qu'il est devenu très utile de procéder périodiquement à des contrôles et analyses physico-chimiques et microbiologiques de l'eau.

Dans le Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources en eaux est constitué par les eaux souterraines. Diverses études antérieures (**Tabouche et Achour, 2004 ; Boulifa, 2012 ; Khechana et Derradji, 2014 ; Nasri et al., 2018**) ont porté sur l'étude de la qualité physicochimique et/ou bactériologique de ces eaux en quelques régions Sahariennes. Les auteurs ont pu estimer leur potabilité, leur aptitude à l'irrigation et par conséquent, leur impact sur la santé humaine et l'environnement. La vallée d'Oued Souf est l'une des grandes régions peuplées dans le Sahara algérien, et possède d'énormes réserves d'eau souterraine qu'est considérée la seule ressource en eau potable dans cette région. Pour cette raison notre travail est consacré à la caractérisation physico-chimique des eaux destinées à la consommation humaine dans la vallée d'Oued Souf, de manière à déterminer leur potabilité et de donner un aperçu sur l'état actuel de leur qualité.

## Introduction générale

---

Dans ce cadre, plusieurs échantillons d'eau prélevés de différents sites de la région d'Oued Souf sont étudiés selon les techniques et les protocoles d'analyses et de caractérisations décrites par **Rodier et al., (2009)** et par **Nollet, (2007)**. Les principaux paramètres étudiés sont la température, le pH, la conductivité, le taux de salinité, l'alcalinité et la dureté totale et nous comparons les résultats obtenus aux normes locales et internationales de potabilité de l'eau. En outre, une deuxième partie du travail sera consacré à la discussion des résultats d'analyse de quelques espèces chimiques majeures obtenus par les autorités responsables de l'eau dans cette région.

En conséquence, ce mémoire se compose de cinq chapitres :

- Le premier chapitre, porte des généralités sur l'eau et ses ressources naturelles.
- Au second chapitre, on fera le point sur les principaux paramètres caractérisant la qualité de l'eau et les différentes méthodes d'analyse et de caractérisation adoptées en ce domaine.
- Le troisième chapitre sera consacré à la présentation de la région d'étude, et de donner une idée sur l'aspect démographique, climatologique, hydrogéologique et aussi sur l'état de l'agriculture dans cette région.
- Les protocoles expérimentaux et les méthodes d'analyse et de caractérisation utilisées dans ce travail seront présentés dans le quatrième chapitre.
- Enfin, dans le dernier chapitre, nous discuterons les résultats obtenus et on les comparera avec les normes nationales et internationales de potabilité de l'eau.



*Chapitre I:*

**Généralités sur l'eau**

## Introduction

L'eau est bien des plus précieux pour notre planète et donc pour nous. D'habitude, quand les personnes pensent à propos des sources d'eau, ils pensent à des rivières et des cours d'eau; en d'autres mots, eaux de surface. Mais, de toute l'eau douce utilisable dans le monde, approximativement 97 % est de l'eau souterraine. L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, est fragile et souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines. Le traitement d'une eau souterraine contaminée peut s'avérer long et coûteux, voire impossible dans certains cas. Voilà pourquoi il est impérieux de la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent (Myrand, 2008 ; Redjem et Rahmouni, 2018).

### I.1 Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. À une pression ambiante (1 atmosphère), l'eau est gazeuse au-dessus de 100 (°C) et solide en dessous de 0 (°C). Sa formule chimique est H<sub>2</sub>O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (Figure I.1). L'eau est une substance incolore, inodore, insipide qui couvre trois quart de la surface terrestre et qui joue un rôle primordial pour tout ce qui a trait à la vie (Aggoune et Bouchemel, 2019).

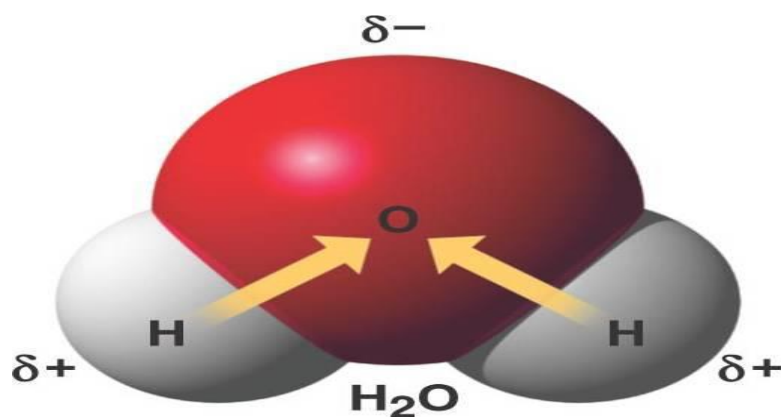


Figure I.1 : Composition de la molécule d'eau (Aggoune et Bouchemel, 2019).

### I.2 Cycle de l'eau dans la nature

Entre terre et ciel, la même eau est en circulation permanente depuis des milliards d'années. Apparue il y a 3 à 4 milliards d'années, l'eau est presque aussi ancienne que la Terre. Depuis,

son volume est resté globalement stable. C'est toujours la même eau qui circule et se transforme en permanence dans l'atmosphère, à la surface et dans le sous-sol de notre terre.

Sous l'action du soleil (Figure I.2), une partie de l'eau de mer s'évapore pour former des nuages. Avec les vents, ces nuages arrivent au dessus des continents où ils s'ajoutent à ceux déjà formés. Lorsqu'il pleut, qu'il neige ou qu'il grêle sur ces mêmes continents, une partie de l'eau de ces précipitations repart plus ou moins rapidement dans l'atmosphère, soit en s'évaporant directement, soit du fait de la transpiration des végétaux et des animaux. Une deuxième partie, en ruisselant sur le sol, rejoint assez vite les rivières et les fleuves puis la mer. Quant au reste, il s'infiltrate dans le sol et est stocké en partie dans des nappes. Cette eau finira aussi par retourner à la mer, à beaucoup plus longue, voire très longue, échéance, par le biais des cours d'eau que ces nappes alimentent. C'est ce mouvement perpétuel de l'eau sous tous ses états qu'on appelle le grand cycle de l'eau. Les activités humaines peuvent parfois perturber ce cycle et provoquer ou amplifier des phénomènes de pénuries ou d'inondation (Amara et Benmoussa, 2019).

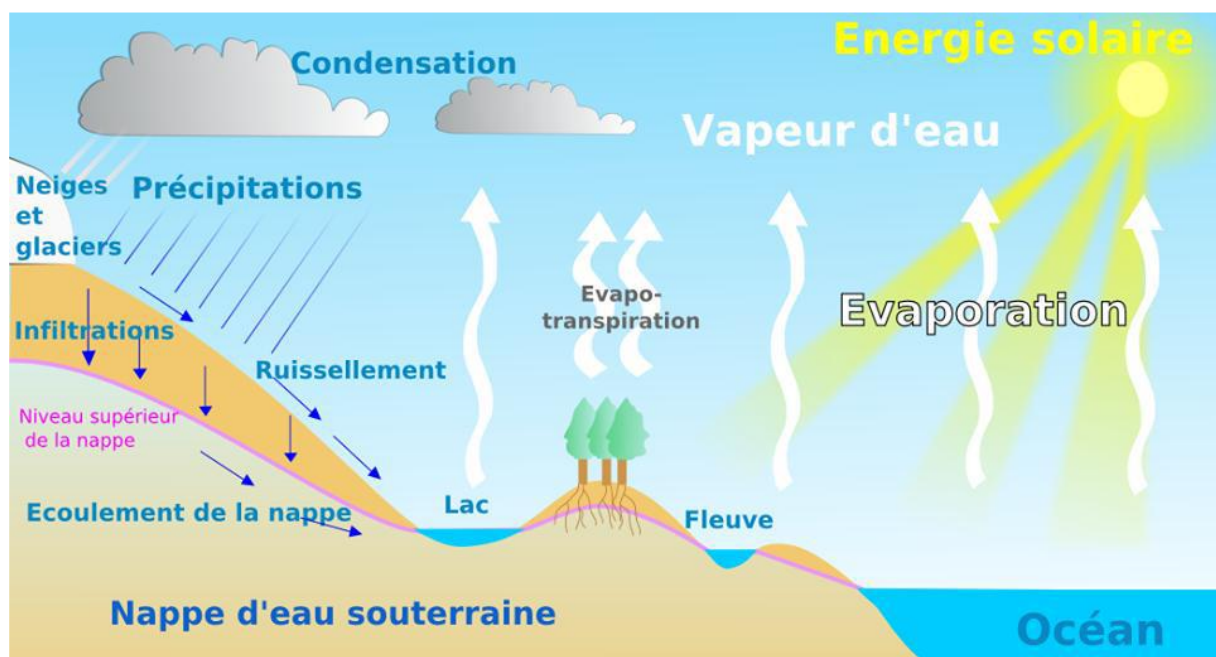


Figure I.2 : Cycle de l'eau dans la nature (Aouissi et Merabti, 2019).

### I.3 Différents types de l'eau

Selon le paramètre dominant dans l'eau, on distingue quatre types de l'eau qui sont les eaux potables, les eaux saumâtres, les eaux dures et les eaux douces (Haboul et Touati, 2019).

### I.3.1 Eaux potables

Selon la définition qui en est donnée par la directive de qualité pour l'eau de boisson de l'OMS, une eau de boisson saine ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie. On pourrait dire, qu'une eau destinée à la consommation humaine doit :

- Etre raisonnablement minéralisée.
- Assure de ne pouvoir nuire à la santé.

Une eau potable doit être exempte de germe. Pathogènes (bactéries, virus) et parasites, elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée. Il s'agit en particulier de substance indésirable ou toxique comme les nitrates et les phosphates. A l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligoéléments indispensables à l'organisme. Une eau potable doit aussi être eau agréable à boire (JOHN et DONALD, 2010) **(Ben Chabene et Hamdi, 2018)**.

### I.3.2 Eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissouts sont :  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCO}_3$  et  $\text{Na Cl}$  **(Benaissa, 2013 ; Haboul et Touati, 2019)**.

### I.3.3 Eaux dures

Une eau est dite "dure" lorsqu'elle est chargée en ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) et, par opposition, "douce" lorsqu'elle contient peu de ces ions. La dureté d'une eau s'exprime en degrés français ( $^{\circ}\text{F}$ ). Un degré français correspond à une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  **(Medfouni, 2007)**.

#### I.3.3.1 Les principaux éléments responsables de la dureté

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ . Les plus abondants étant les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . Les ions  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Sr}^{2+}$  sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

- **Le calcium** est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature. Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprennent entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/L.
- **Le magnésium** est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5 % dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 85 mg/l (**Medfouni, 2007**).

### I.3.3.2 Les eaux dures et la santé humaine

Jusqu'à une date récente, dans la bibliographie scientifique la dureté de l'eau n'était pas considérée un problème pour la santé humaine, mais uniquement un problème de désagrément dégustatif, et c'est sur la base de ces études que des recommandations gouvernementales sur la qualité de l'eau est devenue un problème de santé publique, à titre d'exemple le rapport sur la qualité de l'eau en Aquitaine en France en 2008, a directement mis en cause ce problème.

De plus les travaux de Pallav Sengupta dans le très respecté international journal of preventive medicine année 2013, a achevé le travail de la dangerosité de l'eau dure sur la santé publique et depuis l'avènement d'autres études récentes ont montré clairement une corrélation entre la consommation de l'eau dure et les trouble cardio-vasculaires, les retard de croissance, troubles de reproduction, la fluorose et bien d'autres troubles. (**Bouamra et Asmouni, 2016**)

### I.3.4 Eaux douces

Une eau douce, par opposition à une eau dure, contient une faible teneur en sels, ce qui la rend apte au captage destiné à diverses utilisations, en particulier à l'irrigation et à l'alimentation humaine en eau potable. L'eau douce est généralement caractérisée comme ayant de faibles concentrations en solution des sels et d'autres solides dissous totaux, elle se différencie ainsi d'une eau minérale. Le terme exclut spécifiquement l'eau de mer et l'eau saumâtre. Il ne comprend pas les eaux riches en minéraux tels que ferrugineuses ressorts. Le terme "eau douce" a été utilisé pour décrire l'eau sans aucune présence de sel (**Haboul et Touati, 2019**).

## I.4 Ressources hydriques naturelles

On trouve quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de mer, les eaux de surface et les eaux souterraines. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant (**Ayad, 2017**). L'eau prélevée des milieux



naturels n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine. Elle doit subir des traitements selon les exigences réglementaires de qualité en tous points du réseau, pour pouvoir être consommée sans danger par l'ensemble de la population (**Nabih, 2013 ; Chabbi et Nezli, 2018**).

#### **I.4.1 Eaux de pluie**

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces par la présence d'oxygène et d'azote et l'absence des sels dissous comme les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être souillées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (**Desjardins, 1997 ; Chabbi et Nezli, 2018**).

#### **I.4.2 Eaux de mers et d'océans**

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau. Elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète. Le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité. Elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile notamment leur coût très élevé pour leur traitement (**Aouissi et Merabti, 2019**).

#### **I.4.3 Eaux de surface**

Les eaux de surface se répartissent en eaux véhiculées par les cours d'eau, ou contenues dans les lacs, ou maintenues derrière les barrages réservoirs. Elles ont pour origine, Soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit des rassemblements des eaux de ruissellement. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains, elle est donc généralement riches en gaz dissous, en matière en suspension et en matière organique ainsi qu'en plancton. Les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique. Le tableau I.1 donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines (**Aissaoui, 2013**).

**Tableau I.1** : Principales différences entre eaux superficielles et eaux souterraines (**Aichaoui et Boukendil, 2016**).

| Caractéristiques                             | Eaux superficielles  | Eaux souterraines  |
|--|--|--|
| <b>Température</b>                           | Variable suivant la saison   | Relativement constante   |
| <b>Turbidité</b>                             | Variable, parfois élevée   | Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)  |
| <b>Couleur</b>                               | Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)  | Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)  |
| <b>Minéralisation globale</b>                | Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...   | Sensiblement constante en général, mais nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région |
| <b>Fer et Manganèse dissous</b>              | Généralement absents   | Généralement présents  |
| <b>Nitrates</b>                              | Peu abondants en général   | Teneur parfois élevée  |
| <b>Micropolluants minéraux et organiques</b> | Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source. | Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.                       |
| <b>Éléments vivants</b>                      | Bactéries, virus   | Ferro bactéries fréquentes   |

#### I.4.4 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux du sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Ils sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable car plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface (**Guergazi et Achour, 2005**). La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de ressources aquifères appelées nappes (**Belhadj et Yahia-Dahmana, 2018**).

##### I.4.4.1 Les différentes nappes terrestres

« L'aquifère », ou encore la nappe d'eau souterraine est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau. Une nappe est constituée par l'ensemble de l'eau qui occupe les interstices

de roches poreuses dans un domaine défini par son épaisseur et son étendue. Les différents types de nappes terrestres sont les suivantes :

**a) Nappe libre :** Elles sont aussi dénommées nappes à surface libre car elles sont en équilibre de pression avec l'atmosphère. Elles sont limitées en profondeur par l'existence d'un niveau imperméable ou semi perméable appelé mur.

**b) Nappe captive :** Lorsque la couche perméable est emprisonnée entre deux couches imperméables, la nappe ne peut se développer vers le haut et est alors appelée nappe captive (Aichaoui et Boukendil, 2016).

Les nappes peuvent être classées en nappes phréatiques et nappes profondes.

- **Les nappes phréatiques :** sont celles qui reposent sur la première couche imperméable ou semi perméable proche du niveau du sol, sont toujours libres et vulnérables à la contamination.
- **Les nappes profondes :** dites subordonnées reposent sur une couche imperméable plus profonde et peuvent être captives ou semi captives (Zouag et Belhadj, 2017).

#### I.4.4.2 La plus grande nappe phréatique du monde

Nappe de l'Albien se trouve en grande partie dans le Sahara algérien, elle est la plus grande réserve d'eau douce au monde. Elle contient plus de 50 000 milliards de mètres cubes d'eau douce, l'équivalent de 50 000 fois le barrage de Beni Haroun qui se trouve à l'Est du pays et qui alimente six wilayas limitrophes (Zouag et Belhadj, 2017). La carte de la figure I.3 montre l'immensité des réserves d'eau souterraines que l'Algérie possède. Cette réserve porte le nom de Nappe Albien est aujourd'hui considérée comme la plus grande réserve d'eau potable au monde.

### I.5 Qualité de l'eau

La qualité de l'eau diffère naturellement selon le lieu, la saison, et les divers types de roches et sols dans lesquels elle se déplace. Même si l'eau est claire, elle n'est pas forcément sûre à consommer. Il est important d'évaluer la salubrité de l'eau en prenant en compte les trois types de paramètres suivants :

- Microbiologique — bactéries, virus, protozoaires et helminthes (vers) ;
- Chimique — minéraux, comme les métaux ;
- Physique — température, ph et conductivité électrique.

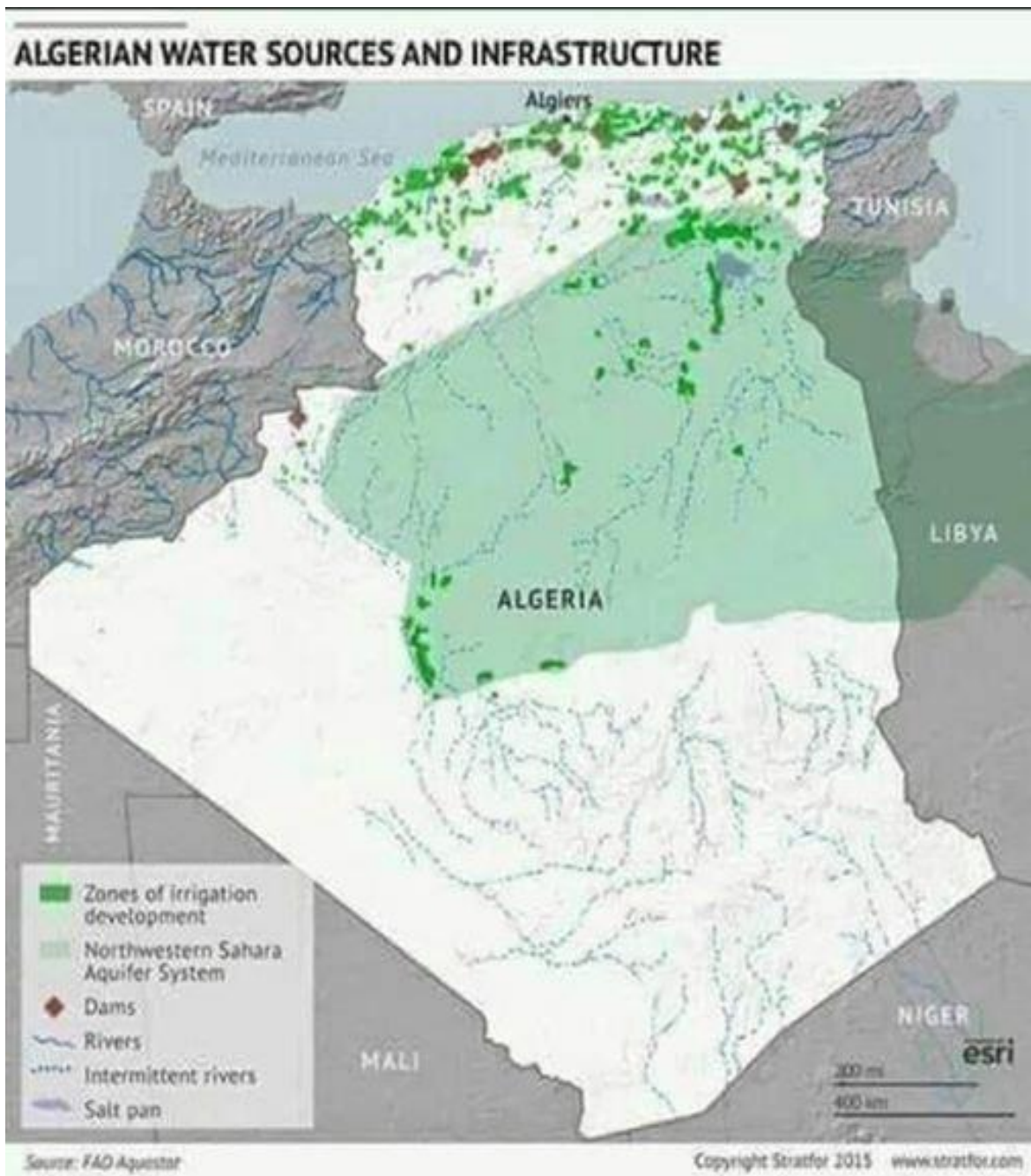


Figure I.3 : Nappe de l'Albien qui se trouve au Nord de l'Afrique.

Une eau de boisson salubre doit avoir les paramètres microbiologique, chimique et physique suivants :

- Sans agent pathogène (un agent pathogène est un organisme vivant provoquant une maladie. Parmi les agents pathogènes couramment présents dans l'eau de boisson, on trouve des bactéries, des virus, des protozoaires et des helminthes) ;
- Faibles concentrations en produits chimiques toxiques ;
- Claire ;
- Insipide, inodore et incolore (pour des raisons esthétiques).

La qualité microbiologique est habituellement la principale préoccupation car les maladies infectieuses provoquées par les bactéries, virus, protozoaires et helminthes pathogènes sont les risques sanitaires associés à l'eau de boisson les plus répandus. Seuls quelques produits chimiques ont entraîné des effets sanitaires à grande échelle chez les personnes buvant une eau qui en contient des quantités excessives. Parmi ceux-ci on trouve le fluorure, l'arsenic et les nitrates (**Bougherbi et Sabour, 2019**).



**Chapitre II :**

**Analyse physico-  
chimique des eaux  
naturelles**

## Introduction

Les facteurs organoleptiques constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter, à coup sûr, un risque pour la santé. Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.) (Rodier et al., 2009 ; Chabbi et Nezli, 2018).

## II.1 Paramètre organoleptique caractérisant l'eau

### II.1.1 Couleur

Paramètre traduit une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut avoir une origine naturelle, industrielle chimique, ou biologique. Cet élément va être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UC (Unité de couleur) à partir duquel le consommateur peut percevoir la coloration de l'eau dans un verre d'eau (Dahel, 2009 ; Merah, 2019).

### II.1.2 Goûts et Odeur

- **Goût** : Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au Cours de la dégustation.
- **Odeurs** : Propriété organoleptique par l'organe olfactif en <flairant> Certaines substances volatiles (Alpha, 2005).

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non désagréable ». La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO<sub>2</sub> ou le sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution.

### II.1.3 La turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Ce sont des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière. Leur origine peut être extrêmement variable : érosion des roches, entraînement des matières minérales ou Organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspension grossières (**Ben Abdallah et Bourenane, 2013**).

**Tableau II.1:** Classification des eaux en fonction de la turbidité (**Rodier et al., 2009**).

| Turbidité       | NTU < 5    | 5 < NTU < 30           | NTU > 50    |
|-----------------|------------|------------------------|-------------|
| Nature de l'eau | Eau claire | Eau légèrement trouble | Eau trouble |

## II.2 Analyse physique de l'eau

### II.2.1 Température

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Quand les eaux naturelles sont au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles (**Chelli et Djouhri, 2013**).

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs :

- Situation géographique, la saison ;
- La profondeur: la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface ;
- La couleur de l'eau: une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur ;



- Le volume de l'eau: plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température. Selon leurs températures, les eaux naturelles sont classées comme suit ; hypothermies, hyperthermies (**Haboul et Touati, 2019**).

### II.2.2 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une mesure qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est mesurée. L'unité principale de conductivité électrique est le siemens par mètre (S/m). La température influe beaucoup sur la conductivité qui varie d'environ 2% par °C. La CE est proportionnelle à la somme des cations et des anions (**Ghibech, 2011**).

**Tableau II.2** : Classification des eaux selon la conductivité (**Rodier et al., 2009 ; Chabbi et Nezli, 2018**).

| Type d'eaux                   | Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Résistivité  |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Eau pure                      | < 23                              | > 30000      |
| Eau douce peu minéralisée     | 100 à 200                         | 5000 à 10000 |
| Eau de minéralisation moyenne | 250 à 500                         | 2000 à 40000 |
| Eau très minéralisée          | 1000 à 2500                       | 400 à 1000   |

### II.2.3 Taux de salinité (TDS)

Le TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de 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 (**Chelli et Djouhri, 2013**).

### II.3 Qualité chimique de l'eau

#### II.3.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement. Dans les laboratoires de routine des usines de traitement, il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulation/floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau, la valeur du pH allant de 0 à 14 (Tableau II.3). En dessous de 7 l'eau est considérée comme acide et au-dessus de 7 comme alcaline. L'eau au pH de 7 est neutre (**Brasilia, 2013**).

La mesure électrométrique du pH se fait avec une électrode de verre selon la norme NF T 90-017 (2001). Le pH mètre mesure la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans l'eau à analyser. Les résultats sont exprimés en unité pH (**Dalichaouche et Bouchama, 2018**).

**Tableau II.3** : Classification des eaux d'après leur pH (**Dalichaouche et Bouchama, 2018**).

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>pH &lt; 5</b>          | Acidité forte = présence d'acidité minéraux ou organique dans les eaux naturelles |
| <b>pH = 7</b>             | pH neutre   |
| <b>7 &lt; pH &lt; 8</b>   | Neutralité approchée = majorité des eaux de surface                               |
| <b>5.5 &lt; PH &lt; 8</b> | Alcalinité moyenne  |
| <b>pH = 8</b>             | Alcalinité forte, évaporation intense   |

#### II.3.2 Gaz dissous dans l'eau

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (**Hadef et Hasni, 2017**). L'eau contient toujours des gaz dessous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et la pression de l'atmosphère gazeuse avec laquelle elle est en contact (**Rodier et al., 2009**).

### II.3.3 Alcalinité (TA et TAC)

L'eau contient des hydroxydes et des carbonates. Le titre alcalimétrique hydroxyde (TAOH) mesure les hydroxydes. Le titre alcalimétrique (TA), mesure les hydroxydes et la moitié des carbonates. Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la totalité des hydroxydes et des carbonates (**Rodier et al., 2009**).

TA : Titre alcalimétrique =  $[\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$

- Correspond à la concentration de l'eau en ions  $\text{OH}^-$  (alcalinité libre) et 1/2 de la concentration en ions carbonates.
- Se mesure par la quantité d'acide à verser dans l'eau pour ramener son pH à 8,2 (virage de phénolphtaléine du rouge à l'incolore).
- Si pH d'une eau  $< 8.2$ , alors le TA = 0.

TAC : Titre alcalimétrique complet =  $[\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$

- Correspond à la concentration de l'eau en ions  $\text{OH}^-$ , en ions carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  et bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$
- Se mesure par la quantité d'acide à verser dans l'eau pour ramener son pH à 4,3 (virage du méthylorange du jaune au rouge orangé).
- Toujours : TAC > TA (**Benmoussa, 2018**).

**Tableau II.4** : Résultats expérimentaux des titres alcalimétriques TA, TAC, TAOH (**Benmoussa, 2018**)

| Résultats Expérimentaux |             | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{CO}_3^{2-}$ | $\text{OH}^-$ | Conclusion                          |
|-------------------------|-------------|------------------|--------------------|---------------|-------------------------------------|
| pH                      | Alcalinités |                  |                    |               |                                     |
| < 8,3                   | TA = 0      | TAC              | 0                  | 0             | $\text{HCO}_3^-$ seuls              |
| > 8,3                   | TAC = 2TA   | 0                | 2TA                | 0             | $\text{CO}_3^{2-}$ seuls            |
| > 8,3                   | TAC > 2TA   | TAC - 2TA        | 2TA                | 0             | $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ |
| > 9,5                   | TAC < 2TA   | 0                | 2(TAC - TA)        | 2TA - TAC     | $\text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^-$    |
| > 9,5                   | TAC = TA    | 0                | 0                  | TAC           | $\text{OH}^-$ seuls                 |

### II.3.4 La dureté ou Titre hydrotimétrique (TH)

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et  $\text{H}^+$ . Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de  $\text{CaCO}_3$  par litre. Dans l'eau, sont déterminés :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb. En fonction de leur dureté totale, les eaux peuvent être classées suivant les indicateurs du tableau II.5 (**Benaouda, 2016**).

La dureté totale est mesurée par une méthode de titrage EDTA qui permet de déterminer rapidement l'ion Le calcium et le magnésium, avec quelques précautions, conviennent à la plupart des types de l'eau (**Hadef et Hasni, 2017**).

**Tableau II.5 :** Potabilité en fonction de la dureté de l'eau (**Benmoussa , 2018**).

| TH (°F) | Qualité              |
|---------|----------------------|
| 0 à 5   | Eau très douce       |
| 5 à 12  | Eau douce            |
| 12 à 25 | Eau moyennement dure |
| 25 à 32 | Eau dure             |
| > 32    | Eau très dure        |

### II.3.5 Demande biochimique en oxygène (DBO)

La décomposition en aérobiose, par les microorganismes, des substances organiques contenus dans les eaux, est en quelque sorte une oxydation plus ou moins lente. Les microorganismes aérobies exigent, pour cela, une quantité d'oxygène proportionnelle à la charge organique. Tant qu'il y aura de l'oxygène consommable, des microorganismes l'utiliseront pour leur travail de dégradation. La quantité d'oxygène exigée par eux est la demande biochimique d'oxygène. On utilise conventionnellement la DBO5 c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommé après 5 jours d'incubation. Pour mesurer la DBO5. (Djouamaa, 2011).

**Principe :** Il repose sur la mesure de l'oxygène consommé dans un échantillon d'eau et de ses dilutions pour dégrader la pollution initiale par voie biochimique .par détermination de la concentration en oxygène dissous avant et après incubation. Cette mesure implique l'introduction, dans une eau de dilution saturée en oxygène, d'un volume d'échantillon tel que la consommation en oxygène au bout de 5 jours soit de l'ordre de 50% de la teneur initiale.

Les résultats sont exprimés en mg/l d'O<sub>2</sub> (Dalichaouche et Bouchama, 2018).

### II.3.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg. L<sup>-1</sup>, est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origines organique ou minérale. La DCO étant en fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives et des possibilités de l'oxydation (Tardat-Henry et al, 1992).

**Principe :** Cette détermination comprend deux étapes :

- **Première étape :** oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par un excès de dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

- **Deuxième étape :** dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr après refroidissement.

Les résultats sont exprimés en mg/l d'O<sub>2</sub> (Dalichaouche et Bouchama, 2018).

### II.3.7 Ions majeurs

#### II.3.7.1 Cations

##### ❖ Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches carbonatées comme les calcaires et les dolomies. Est un composant majeur de la dureté totale de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières (**Hadef et Hasni, 2017**).

**Principe :** Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi, l'acide calcéone carboxylique, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge. Pour évaluer la concentration des ions de calcium, l'expression utilisée est la suivante (**Rodier et al., 2009**) :

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{(V \times f \times 0.4008 \times 1000)}{50}$$

$[\text{Ca}^{2+}]$  = Calcium en mg/l.

**V**= Volume en ml d'EDTA utilisé pour le titrage.

**F**= Facteur de protection du titrage d'EDTA.

**F** =  $1/V_{\text{EDTA}}$

##### ❖ Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Est un des éléments les plus dominants dans l'eau et sa teneur dépend des terrains traversés particulièrement les dolomites. Il dépasse rarement 15mg/l dans l'eau naturelle. Le magnésium représente un facteur essentiel dans la dureté de l'eau et il est dosé par la méthode complexométrie (**Ben Abdallah et Bourenane, 2013**).

##### ❖ Le sodium ( $\text{Na}^+$ )

Le sodium est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre. Il provient des formations géologiques contenant de l'halite et de la décomposition des sels minéraux, et le deuxième élément le plus abondant dissous dans l'eau de mer. Les eaux trop

chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable (**Ben Abdallah et Bourenane, 2013**).

#### ❖ Potassium

C'est le 7<sup>ème</sup> élément le plus abondant à l'état naturel. Beaucoup moins abondant que le sodium, il est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier. (**Rodier, 1984**).

### II.3.7.2 Anions

#### ❖ Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

L'eau contient des chlorures mais en proportion très variable. Ainsi les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorures alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage ; d'ailleurs, la teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation. D'après les normes canadiennes pour l'eau potable, la concentration maximale acceptable est de 250 mg/l de chlorure. Si la teneur est supérieure à cette valeur, elle affecte alors le goût de l'eau et la rend corrosive et nocive pour les plantes (**Ben Abdallah et Bourenane, 2013**).

**Principe :** Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. L'estimation du titre hydrométrique a été faite par l'expression suivante (**Rodier, 2009**) :

$$[\text{Cl}^-] = \frac{(N_{\text{AgNO}_3} \times V_{\text{AgNO}_3} \times M_{\text{Cl}^-} \times 1000)}{100}$$

[Cl<sup>-</sup>] = Chlorure en mg/l

V<sub>AgNO<sub>3</sub></sub>: Volume en ml d'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour le titrage

N<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : Concentration d'AgNO<sub>3</sub> en méq/l

M<sub>Cl</sub> : Masse molaire de chlorure

#### ❖ Le sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Le sulfate qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse, où apparaît à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux. La limite supérieure admise dans l'eau

potable est 250 mg/l (Ghazali et Zaid, 2013). Ils sont laxatifs pour l'adulte lorsque leur concentration est comprise entre 500 et 600 mg/L (Benaouda, 2016).

#### ❖ Ions Phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Les phosphates sont généralement responsables à l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (Rodier et al., 2009).

**Principe :** En milieu acide en présence de molybdate d'ammonium, orthophosphate donnent en complexe phosphomolybdique qui; réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organique peuvent être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (Dalichaouche et Bouchama , 2018).

#### ❖ Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrates ont une origine agricole et urbaine. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines (Abibsi, 2011). La quantité des nitrates maximale admissible est fixée de 50 mg/L (Coulais, 2002).

**Principe :** Ce paramètre est analysé par méthode spectrophotométrique à l'acide sulfosalicylique selon la norme ISO 7890 (1988). Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur dosage est difficile, du fait que les méthodes requises sont relativement complexes. Les résultats sont exprimés en mg/l  $\text{NO}_3$  (Dalichaouche et Bouchama , 2018).



Tableau II.6 : Normes de potabilité selon la société algérien des eaux (Merah, 2019).

| Paramètre                  | Unité                 | Normes Algériennes | Normes OMS |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|------------|
| <b>PH</b>                  | /                     | 6.5-8.5            | 6.5-9.2    |
| <b>Température</b>         | °C                    | 25                 | -          |
| <b>Conductivité</b>        | $\mu\text{S.cm}^{-1}$ | 2800               | -          |
| <b>Résidus sec à 180°C</b> | $\text{mg.L}^{-1}$    | 2000               | 1500       |
| <b>Turbidité</b>           | NTU                   | 2                  | 5          |
| <b>Dureté total (TH)</b>   | $\text{mg.L}^{-1}$    | 500                | 500        |
| <b>Calcium</b>             | $\text{mg.L}^{-1}$    | 200                | -          |
| <b>Magnésium</b>           | $\text{mg.L}^{-1}$    | 150                | 150        |
| <b>Sodium</b>              | $\text{mg.L}^{-1}$    | 200                | -          |
| <b>Potassium</b>           | $\text{mg.L}^{-1}$    | 20                 | -          |
| <b>Sulfate</b>             | $\text{mg.L}^{-1}$    | 400                | 250        |
| <b>Chlorure</b>            | $\text{mg.L}^{-1}$    | 500                | 250        |
| <b>Nitrate</b>             | $\text{mg.L}^{-1}$    | 50                 | 50         |
| <b>Nitrite</b>             | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.1                | 0.1        |
| <b>Aluminium</b>           | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.2                | 0.2        |
| <b>Phosphate</b>           | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.5                | 0.5        |
| <b>Ammonium</b>            | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.5                | -          |
| <b>Matière organique</b>   | $\text{mg.L}^{-1}$    | 3                  | -          |
| <b>Métaux lourds</b>       | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.3                | -          |
| <b>Fer</b>                 | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.3                | 0.3        |
| <b>Manganèse</b>           | $\text{mg.L}^{-1}$    | 0.5                | 0.1        |

**Chapitre III :**

**Présentation de la région  
d'étude (Oued-Souf)**

### III.1 Situation géographique et administrative

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de l'Algérie. Elle devient une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement. (**Mimoun et Zoubeidi, 2014**).

Les limites de la Wilaya sont (Figure III.1) :

- A l'Est par la république Tunisienne ;
- Au Nord –Est par Tébessa ;
- Au Nord par Khenchla et Biskra ;
- Au Nord-Ouest par Biskra ;
- A l'ouest par Djelfa ;
- Au Sud-ouest et sud par Ouargla. (**Atia et Zine, 2019**)

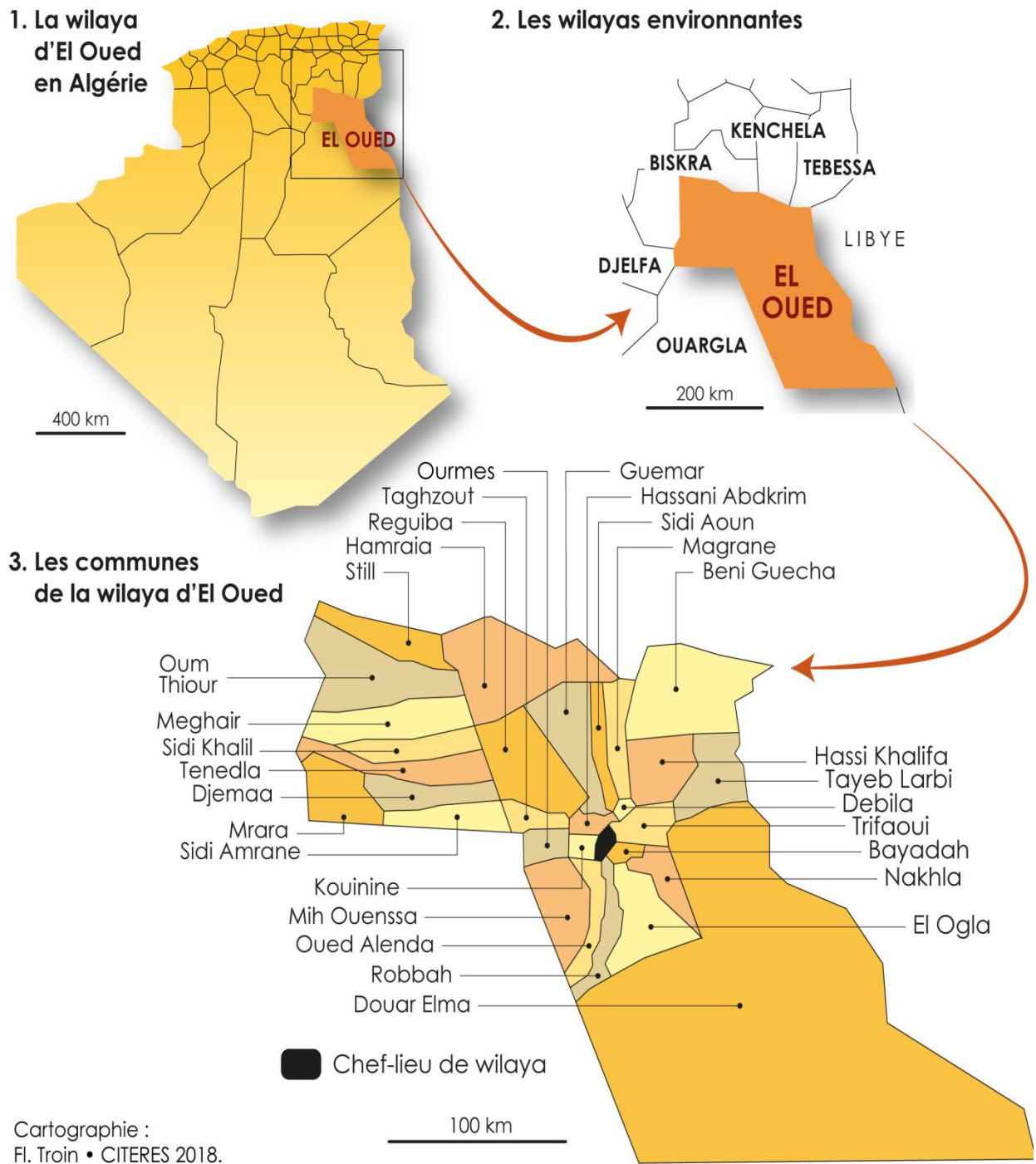
Géographiquement, la ville d'El Oued est limitée par les coordonnées suivantes :

- Longitudes  $X_1 = 05^{\circ}30'$  et  $X_2 = 07^{\circ}00'$  Est.
- Latitudes  $Y_1 = 35^{\circ}30'$  et  $Y_2 = 37^{\circ}00'$  Nord.

El-Oued c'est la région du bas Sahara (Figure II.2), il est un petit morceau d'un immense territoire géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200000 km<sup>2</sup>, constituée par les alluvions des oueds qui au cours de Quaternaire ont désagrégé les reliefs situés plus au Sud (massif central saharien) et ont épandu leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s'ouvrait en direction des chotts, c'est matériaux sont remodelés inlassablement sur place par les vents sahariens, en dunes de types variés.

Les contraintes de l'erg sont grandes: pas d'eaux superficielles, pas de sources, difficultés de circulation. Pour le saharien, l'erg est le territoire le moins attractif, dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide.

Cette région tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par les coupoles et par ses palmeraies plantées dans les ghouts (**Atia et Zine, 2019**).



**Figure III.1 :** Carte géographique de la région du Souf avec la situation des zones d'études.

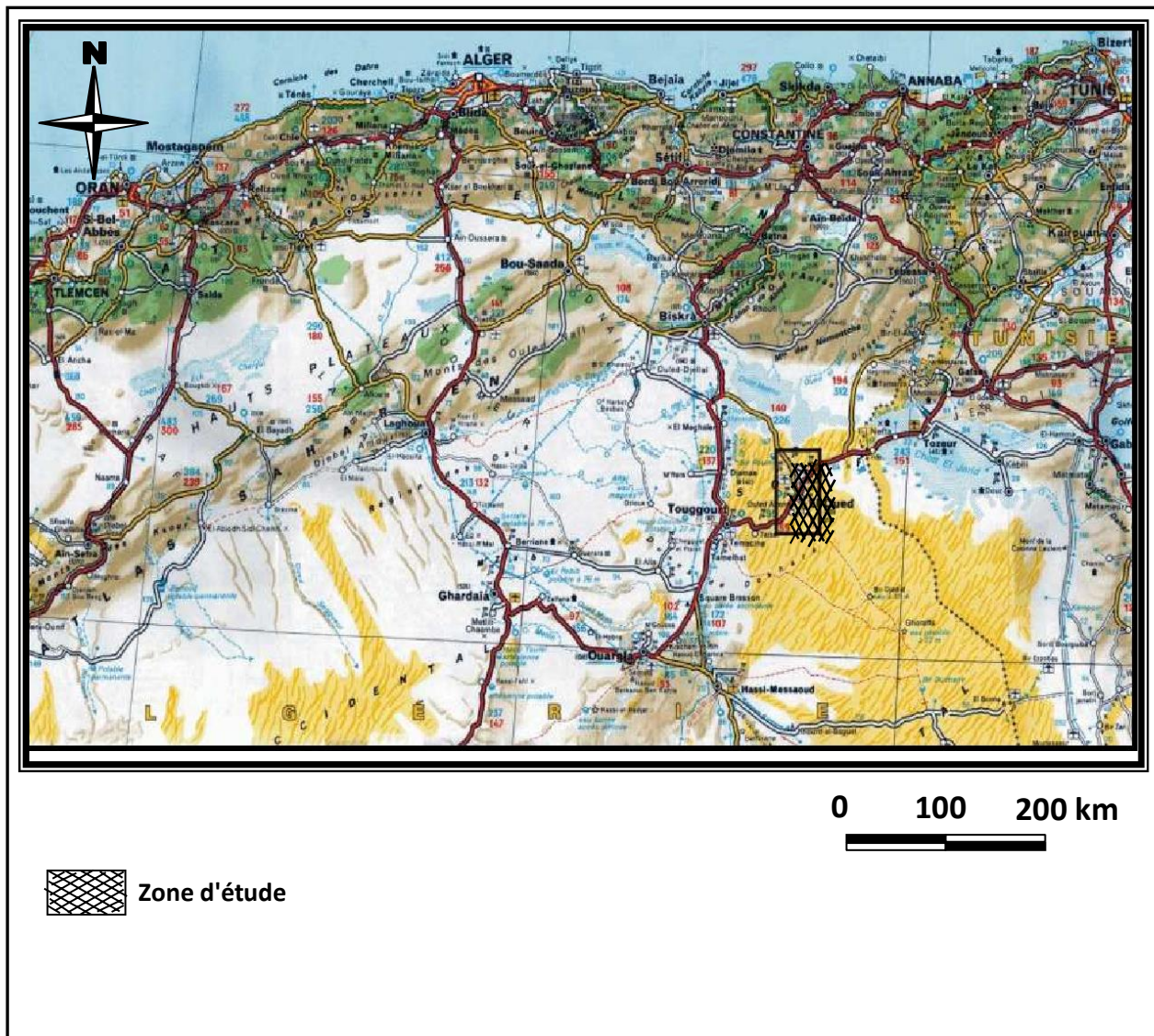


Figure III.2 : Carte de Situation géographique de la zone d'étude (Chabbi et Nezli, 2018).

La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée (Figure III.3) :

- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental ;
- A l'Est par une série de chotts ;
- A l'Ouest par l'Oued Righ (fleuve de fossile) et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt (Khechana, 2007).

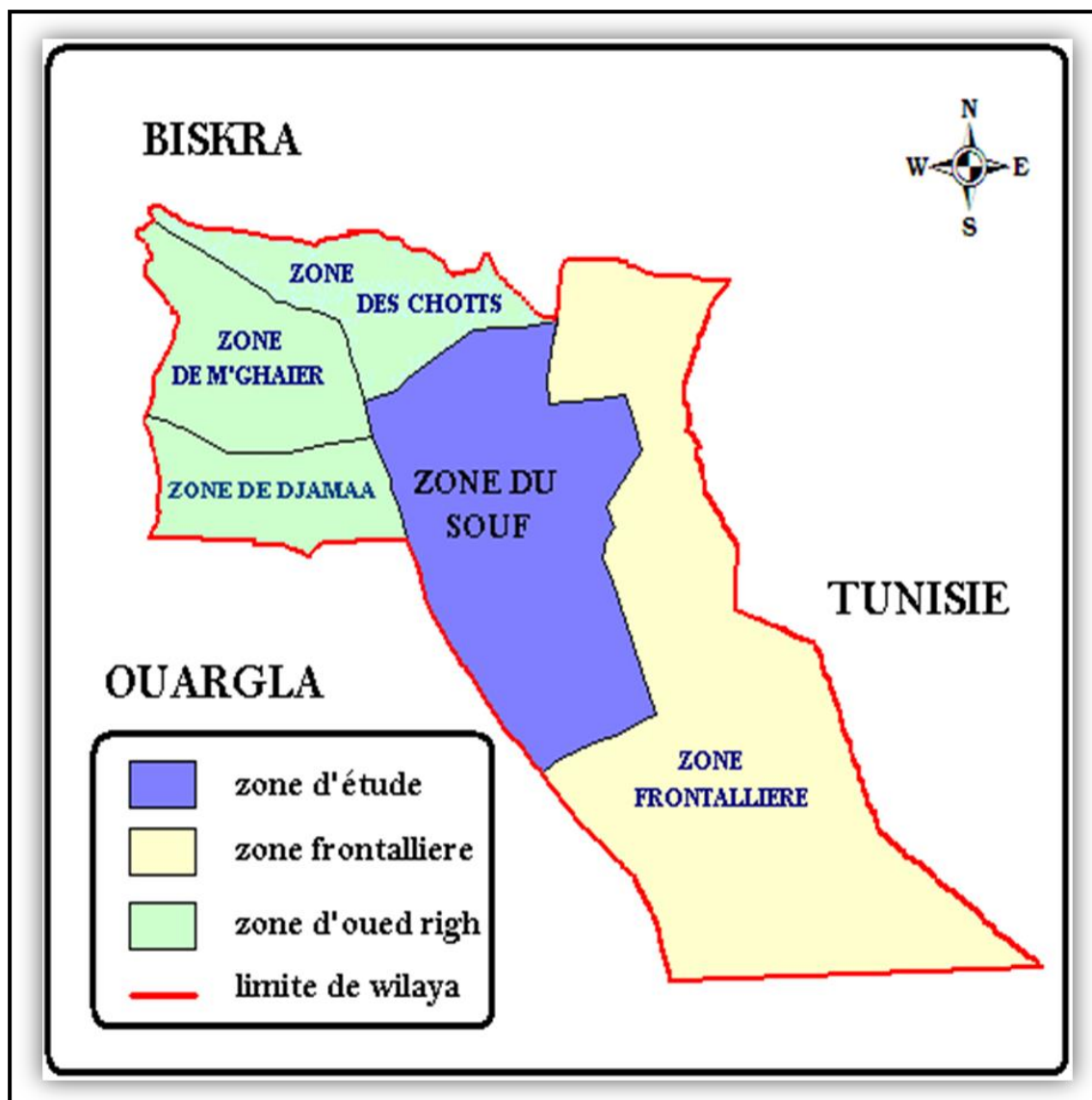


Figure III.3 : Situation géographique de la vallée de Souf dans la Wilaya d'El-oued.

### III.2 Aspects démographiques

La zone d'étude occupe une superficie de 44586 Km<sup>2</sup>. Divisé en 30 communes avec une population de 791 000 habitants et une densité de 17.74 Hab/Km<sup>2</sup>. Le tableau III.1 présente la répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la wilaya d'Eloued (Mimoun et Zoubeidi, 2014).

**Tableau III.1** : Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la wilaya d'Eloued (Mimoun et Zoubeidi, 2014).

| N° | Commune       | Population (Hab) | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Densité (Hab/Km <sup>2</sup> ) |
|----|---------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 01 | El Oued       | 163 555          | 77                            | 2124.09                        |
| 02 | Kouinine      | 12 610           | 116                           | 108.71                         |
| 03 | Réguiba       | 50 460           | 1966                          | 25.67                          |
| 04 | Guemar        | 49 325           | 1264                          | 39.02                          |
| 05 | Taghzout      | 16 600           | 539                           | 30.80                          |
| 06 | Ouermés       | 6 655            | 443                           | 15.02                          |
| 07 | Débila        | 30 015           | 78                            | 384.81                         |
| 08 | Hassani AbdK  | 28 335           | 58                            | 488.53                         |
| 09 | Hassi Khelifa | 38 235           | 1112                          | 34.38                          |
| 10 | Trifaoui      | 10 120           | 474                           | 21.35                          |
| 11 | Magrane       | 28 780           | 618                           | 46.57                          |
| 12 | Sidi Aoun     | 14 315           | 480                           | 29.82                          |
| 13 | Robbah        | 26 570           | 499                           | 53.25                          |
| 14 | Nakhla        | 15 845           | 700                           | 22.64                          |
| 15 | El Ogla       | 7 465            | 1352                          | 5.52                           |
| 16 | Bayadha       | 38 990           | 139                           | 280.50                         |
| 17 | Oued elAlenda | 7 720            | 712                           | 10.84                          |
| 18 | Mih Ouensa    | 20 650           | 1111                          | 18.59                          |
| 19 | Hamraia       | 6 405            | 2443.82                       | 2.62                           |
| 20 | Taleb Larbi   | 12 070           | 1110                          | 10.87                          |
| 21 | Ben Guecha    | 5 035            | 2642.18                       | 1.91                           |
| 22 | Douar El Ma   | 7 905            | 17852.5                       | 0.44                           |
| 23 | M'ghaier      | 58 845           | 1532                          | 38.41                          |
| 24 | Sidi Khellil  | 7 475            | 840.33                        | 8.90                           |
| 25 | Still         | 6 495            | 904.8                         | 7.18                           |
| 26 | Oum Touyour   | 12 240           | 2116.37                       | 5.78                           |
| 27 | Djamaa        | 63 550           | 780                           | 81.47                          |
| 28 | Sidi Amrane   | 24 470           | 552                           | 44.33                          |
| 29 | M'Rara        | 10 055           | 1131.66                       | 8.89                           |
| 30 | Tendla        | 10 210           | 977.9                         | 10.44                          |
|    | <b>Total</b>  | <b>791 000</b>   | <b>44586</b>                  | <b>17.74</b>                   |

### III.3 Aspect climatologique

Les modifications climatiques interviennent à toutes les échelles de temps et ne sont pas un phénomène nouveau puisque le climat a changé de nombreuses fois en réponse au forçage des divers facteurs. Des liens entre le climat et les eaux souterraines existent donc à toutes les échelles de temps. Allant de réponses à court terme comme les variations de pression atmosphérique et les marées jusqu'à des réponses à long terme comme les variations climatiques à l'échelle de milliers d'années qui ont eu un effet sur la recharge passée et qui ont potentiellement un impact sur le comportement du système actuel. De plus, en comparaison avec les systèmes d'eau de surface, les systèmes souterrains tendent à répondre plus lentement aux variations des conditions climatiques (Kelly et al., 2013 ; Walton, 2011). Ces perturbations induisent des changements hydrologiques qui peuvent potentiellement se répercuter sur la ressource en eau souterraine, en relation avec certains mécanismes propres à cette ressource (recharge, décharge, stock) et/ou ses caractéristiques (quantité, qualité) (Armandine, 2014).

L'étude climatique permet de déterminer le climat générale de la zone considérée, elle repose d'une part sur l'analyse des diagrammes représentant les variations mensuelles des données climatiques et d'autre part sur l'utilisation de certains indices (Hanancha et Sayad, 2018). Comme référence Pour cette étude, ont été enregistrées les séries des données des différents facteurs climatiques tels que la température, les précipitations, l'humidité relative et le vent pour la période 2008–2018.

#### III.3.1 Température

La température est un paramètre clé du comportement et de la qualité des eaux souterraines. Elle constitue non seulement un indicateur des conditions de recharge et du flux thermique dans l'aquifère, mais elle contrôle aussi l'activité bactérienne et les équilibres hydro-chimiques dans le sous sol. De ce fait, une augmentation de la température de l'eau peut, par exemple, entraîner une diminution de la concentration en oxygène dissous, favorisant la présence de bactéries pathogènes et provoquant ainsi la diminution des microorganismes indicateurs de la bonne qualité de la ressource.

Les données thermométriques caractérisant notre région d'étude sont mentionnées dans le tableau suivant :



**Tableau III.2 :** Températures mensuelles maximales et minimales de la région d'Eloued I durant la période 2008- 2018 (Ben Amara et Megdoud, 2019).

| Années            | T (C°)           | Mois  |       |       |       |       |       |
|-------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                  | Jan   | Fév   | Mar   | Avr   | Mai   | Jun   |
| 2008<br>à<br>2018 | T <sub>max</sub> | 18.16 | 19.66 | 24.05 | 29.02 | 33.48 | 38.23 |
|                   | T <sub>min</sub> | 5.42  | 6.52  | 10.47 | 14.77 | 19.08 | 23.57 |
|                   | T <sub>moy</sub> | 11.75 | 13.08 | 17.26 | 21.93 | 26.30 | 30.95 |

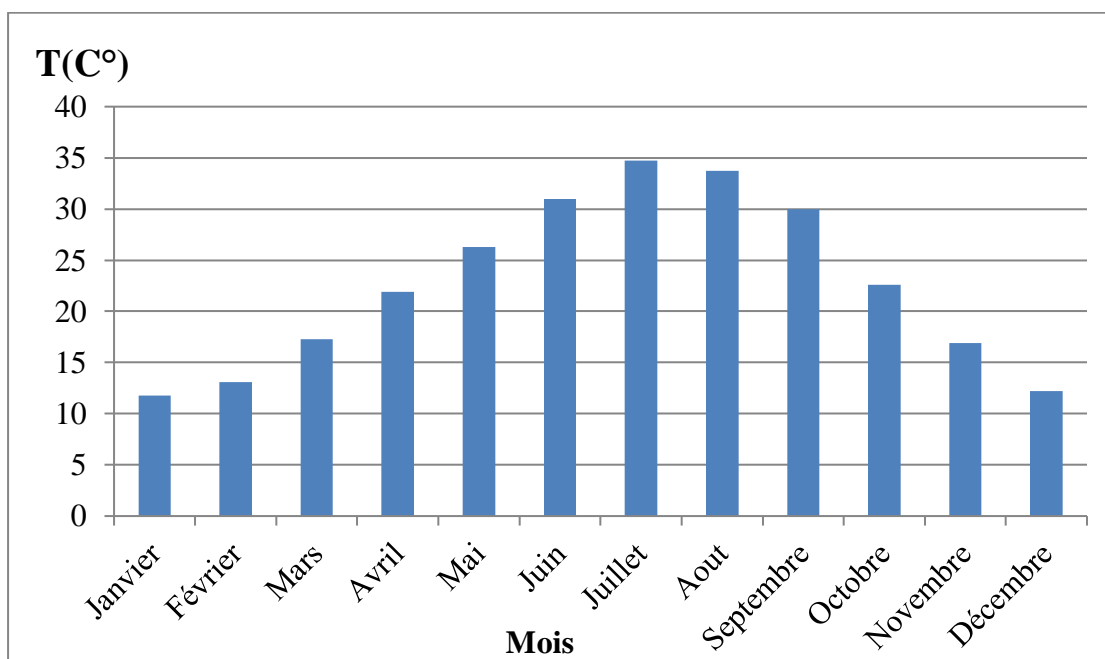
| Années            | T (C°)           | Mois  |       |       |       |       |       |
|-------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                  | Juit  | Aout  | Sépt  | Oct   | Nov   | Déc   |
| 2008<br>à<br>2018 | T <sub>max</sub> | 42.19 | 40.72 | 36.12 | 30.32 | 23.32 | 18.57 |
|                   | T <sub>min</sub> | 27.14 | 26.67 | 23.2  | 14.85 | 10.54 | 5.92  |
|                   | T <sub>moy</sub> | 34.71 | 33.70 | 29.95 | 22.6  | 16.92 | 12.21 |

T<sub>max</sub> : Moyennes mensuelles des températures maximales exprimées en °C.

T<sub>min</sub> : Moyennes mensuelles des températures minimales exprimées en °C.

T<sub>moy</sub> : Moyennes mensuelles des températures exprimées en °C.

Durant la période allant de 2008 à 2018 à Oued souf, nous remarquons que la période chaude s'étale du mois d'Avril à Octobre avec une température moyenne de 35,72 °C. La température moyenne maximale est enregistrée en mois de juillet avec 42,19°C. Tandis que la période froide débute du mois de Novembre à Mars avec une moyenne de 13,08° C, les plus faibles valeurs se produisent en janvier, avec 11,75°C. (Tableau III.2 et Figure III.4).



**Figure III.4 :** Variation mensuelle de la température moyenne de la région du Souf durant la période (2008-2018).

### III.3.2 Les Précipitations

Les précipitations constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères (ONM, 2013 ; Aissaoui, 2013). Le tableau III.3 regroupe les données concernant les précipitations mensuelles exprimées en (mm) de la période 2008-2018 de la région du Souf.

**Tableau III.3 :** Précipitations moyennes mensuelles de la région du Souf durant la période 2008-2018 (Ben Amara et Megdoud, 2019).

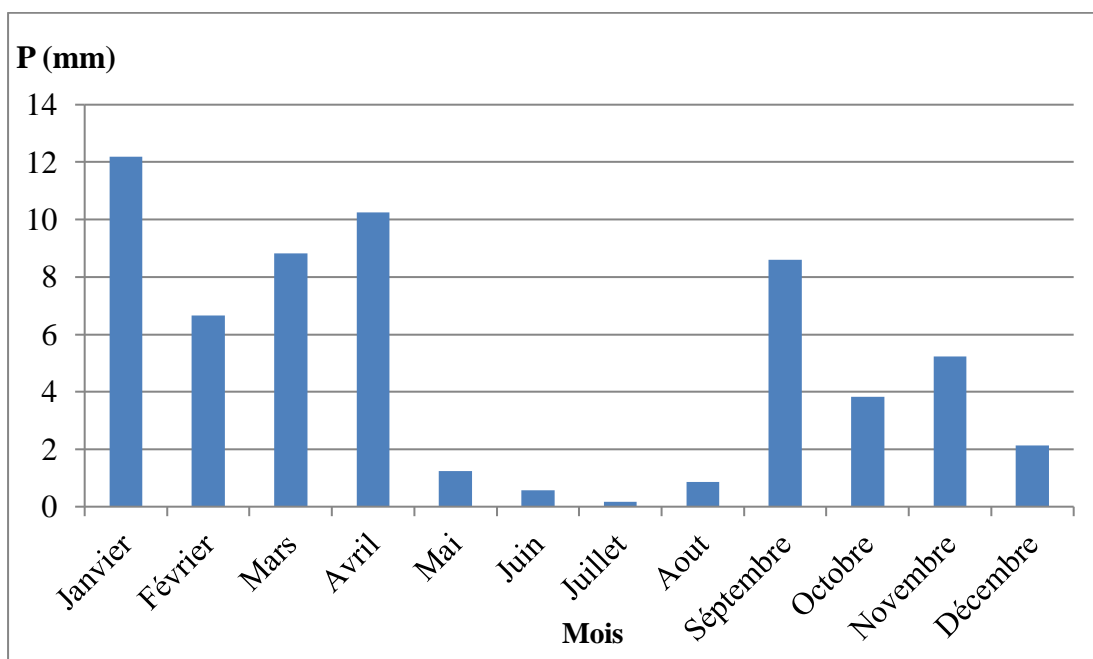
| Années :<br>2008 à 2018 | Mois  |      |      |       |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|-------|------|------|
|                         | Jan   | Fév  | Mar  | Avr   | Mai  | Jun  |
| <b>P (mm)</b>           | 12.18 | 6.65 | 8.82 | 10.24 | 1.23 | 0.57 |

| Mois        |      |      |      |      |      |       |
|-------------|------|------|------|------|------|-------|
| Juit        | Aout | Sépt | Oct  | Nov  | Déc  | Cumul |
| <b>0.18</b> | 0.85 | 8.59 | 3.82 | 5.24 | 2.14 | 60.51 |

**P (mm) :** Précipitations moyennes mensuelles en (mm).

On remarque à travers le tableau III.3 que les précipitations sont peu abondantes et irrégulières entre les saisons et les années. En effet l'analyse de la hauteur mensuelle de pluviométrie fait ressortir une moyenne de 6,65 mm/an durant la période (2008-2018), le mois le plus pluvieux est le mois de Janvier avec un maximum de précipitations de 12,18 mm, Par contre le mois le plus sec est le mois de juillet avec un minimum de 0,18 mm (Figure III.5).



**Figure III.5 :** Variation des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la région du Souf entre la période (2008- 2018).

### III.3.3 Humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Elle dépend de plusieurs facteurs à savoir : la quantité d'eau tombée, le nombre de jours de pluie, la température, les vents (**Ben Amara et Megdoud, 2019**). Les taux d'humidité relative pour l'année 2018 sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.4 :** Humidité relative moyenne mensuelle de la région du Souf durant l'année 2018. (**Ben Amara et Megdoud, 2019**)

| Mois          | Jan  | Fév  | Mar  | Avr  | Mai  | Jun  | Juit | Aout | Sépt | Oct  | Nov | Déc  |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| <b>HR (%)</b> | 54.9 | 52.2 | 41.9 | 39.5 | 37.9 | 33.7 | 23.5 | 39.7 | 39.3 | 48.9 | 58  | 59.8 |

HR (%) : Humidité relative en pourcentage.

Dans la région d'Oued Souf, durant l'année 2018, le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, mais en générale l'air est sec, elle diminue nettement jusqu'à 23,5% en Juillet, c'est le mois qui reçoit le plus faible taux d'humidité, par contre en Décembre elle s'élève jusqu'au 59,8%, c'est le mois le plus humide durant l'année (Figure III.6).

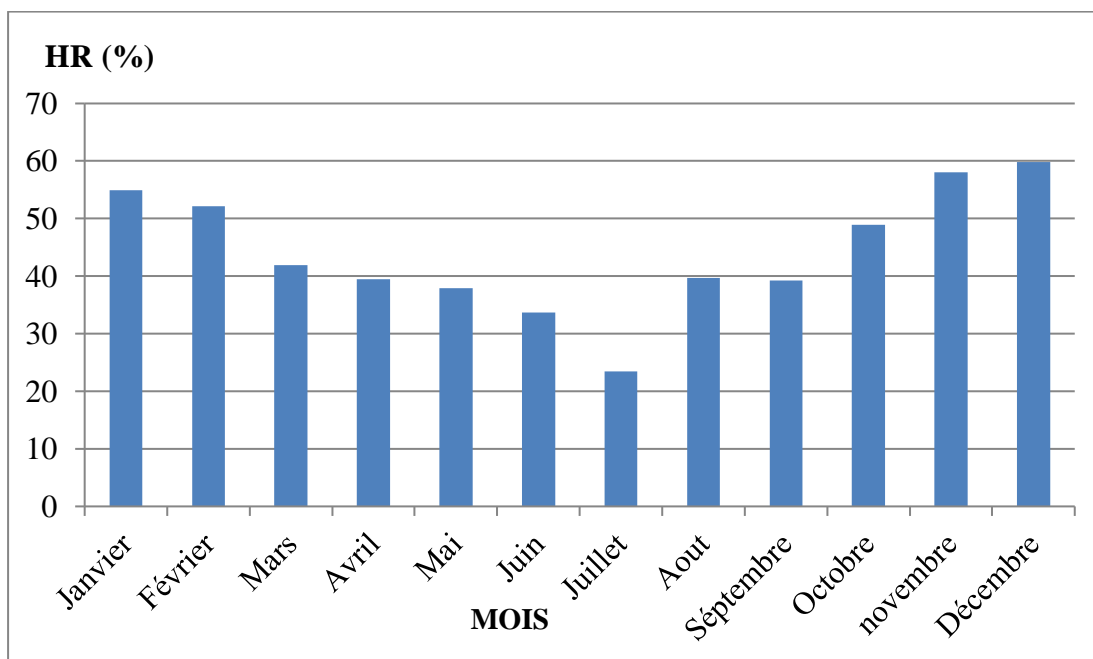


Figure III.6 : L'humidité relative mensuelle de la vallée du Souf (2008-2018).

### III.3.4 Les Vents

Le vent est un élément caractéristique du climat, il est déterminé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence. Dans la région du Souf, il souffle de façon continue et son importance est considérable. Cependant, les statistiques indiquent que la moyenne annuelle des vitesses atteint 3,7m / s. à savoir que le vent qui vient de l'Est est appelé Bahri, il est apprécié au printemps, le vent qui vient d'Ouest, ou Gharbi, est un vent froid et le vent du Sud, dit le sirocco, est un vent brûlant qui ne souffle qu'une quinzaine de jours par ans (Voisin, 2004). Les données mensuelles de la vitesse du vent pour la région d'étude durant l'année 2018 sont regroupées au tableau III.5 (Ben Amara et Megdoud, 2019).

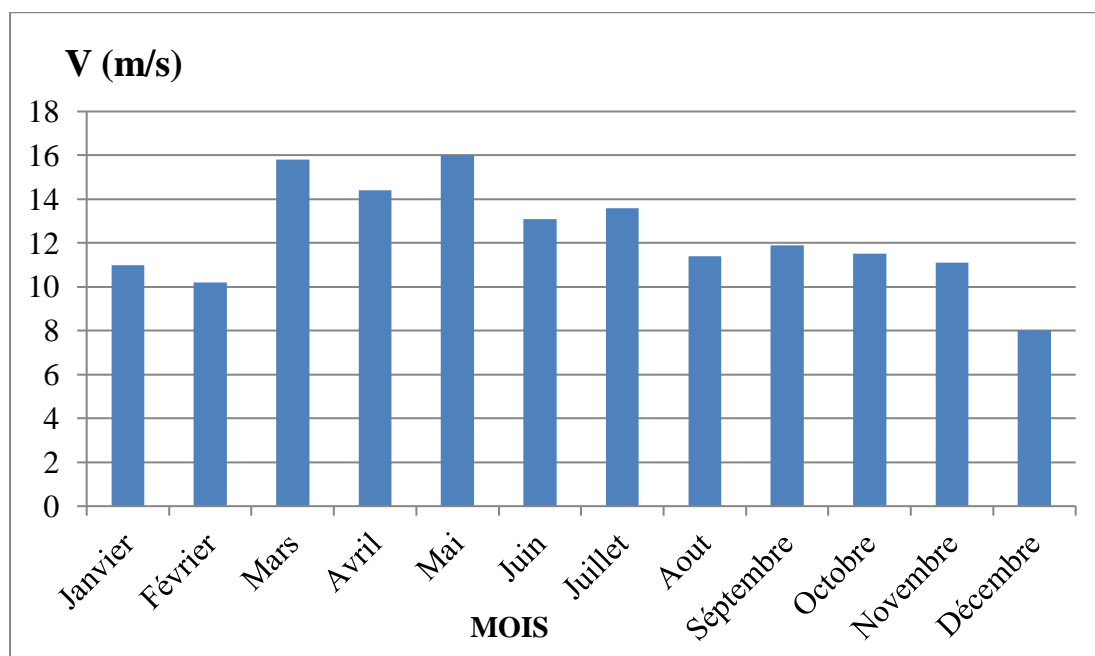
L'analyse des données du tableau III.5 montre qu'au cours de l'année 2018, on a observé que les vents sont fréquents durant toute l'année, les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période du mois du Mars jusqu' à le mois de juillet, avec un maximum de 16 m/s durant le mois

de mai, la vitesse la plus faible était de 8m/s au mois de Décembre (Figure III.7). Durant la période 2008-2018.

**Tableau III.5 :** Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de la région d'étude durant l'année 2018 (Ben Amara et Megdoud, 2019).

| Mois    | Jan | Fév  | Mar  | Avr  | Mai | Jun  | Juit | Aout | Sépt | Oct  | Nov  | Déc |
|---------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| V (m/s) | 11  | 10.2 | 15.8 | 14.4 | 16  | 13.1 | 13.6 | 11.4 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 8   |

V (m/s) : Vitesse moyenne du vent en mètre par seconde.



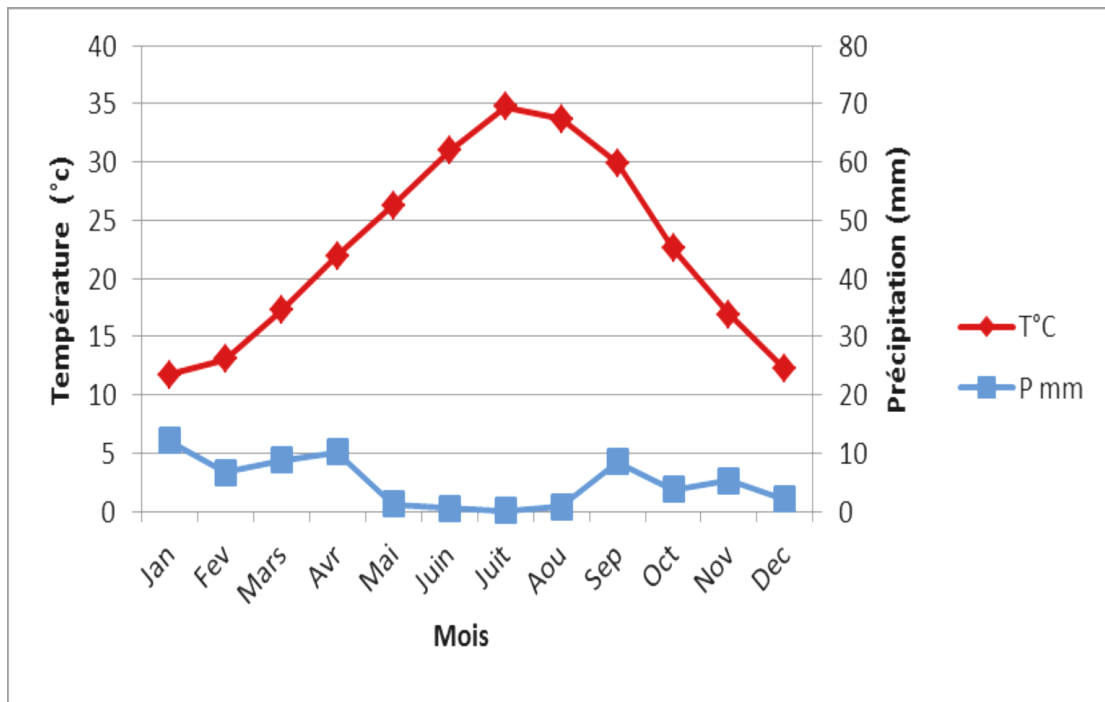
**Figure III.7 :** Vitesse moyenne mensuelle des vents de la vallée du Souf (2008-2018).

### III.3.5 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953)

Pour Gausсен un mois « sec » si le quotient des précipitations mensuelles (P) exprimé en (mm) par la température moyenne mensuelle « T » exprimé en (°C) est inférieur à deux.

La représentation sur une même graphique de la température et des précipitations mensuelles, avec en abscisse les mois, permet d'obtenir le diagramme Ombrothermique de Gausсен qui mettant immédiatement en évidence les saisons sèches et les saisons pluvieuses (Hanancha et Sayad, 2018). Selon la figure III.8, la région d'étude est caractérisée par une saison sèche qui

de l'année. Ainsi, les besoins humains en eau sont grands tout au long de l'année (Chabbi et Nezli, 2018).



**Figure III.8 :** Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) de la région d'El Oued durant la période (2008- 2018) (Ben Amara et Megdoud, 2019).

### III.3.6 Climatogramme d'Emberger

En Algérie, Il existe cinq étages bioclimatiques (sahariens, arides, semi-arides, subhumides et humides). La formule du quotient d'Emberger, a été élaborée pour les climats méditerranéens, afin de déterminer le bioclimat d'une région donnée. Elle tient compte de la variation annuelle de la température et de la pluviométrie. Le quotient (Q) se calcule par la formule de STEWART suivante :

$$Q = \frac{3.43 \times P}{M - m}$$

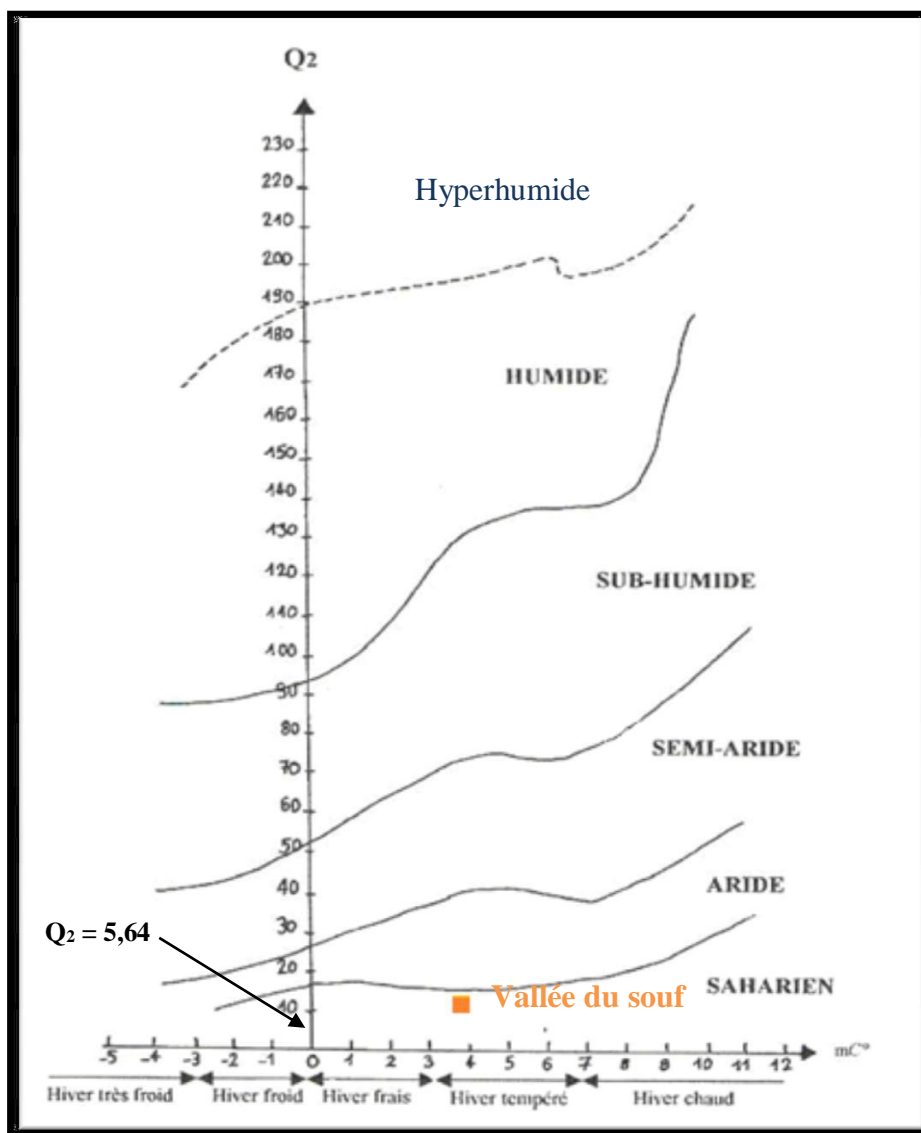
- M : la moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud de l'année exprimée en degré Celsius (°C) ;
- m : la moyenne des minima des températures du mois le plus froid de l'année exprimée en degré Celsius (°C).

- P : la moyenne des précipitations annuelles mesurées en (mm).

En fonction de la valeur de ce coefficient on distingue les zones suivantes (**Ben Amara et Megdoud, 2019**) :

- Humide avec  $Q > 100$  ;
- Tempérée avec  $100 > Q > 50$  ;
- Semi-aride avec  $50 > Q > 25$  ;
- Aride avec  $25 > Q > 10$  ;
- Désertique avec  $Q < 10$ .

Et d'après les données de la période de 10 ans (2008-2018), on a :  $P = 60,51$  mm,  $M = 42,19$  C° et  $m = 5,42$  C°, donc  $Q_2 = 5,64$ . Cette valeur reportée sur le climagramme d'Emberger (Figure III.9) qui montre que notre région d'étude appartient à l'étage bioclimatique désertique hiver tempéré.



**Figure III.9 :** Etage bioclimatique de la région du Souf selon le diagramme d'Emberger (2008-2018) (Ben Amara et Megdoud, 2019).

#### III.4 Aspect géologique

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles d'être aquifères. Le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du continental intercalaire, et des accumulations sableuses fluvio-lacustres du tertiaire continental. Sur l'ensemble de la région d'El-Oued, les formations miopliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand erg oriental.



### III.4.1 Stratigraphie locale

D'après **Cornet (1964)** et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'**ANRH (1993)** sur la région d'Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région (Figure III.10 et III.11), en allant de la plus ancienne vers la plus récente.

#### III.4.1.1 Formation de l'ère secondaire

##### ❖ Le Barrémien

Cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

##### ❖ L'Aptien

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations Dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

##### ❖ L'Albien

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

##### ❖ Le Vraconien

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire. Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

### ❖ Le Cénomanién

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

### ❖ Le Turonien

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres (**Khachena, 2007**).

### ❖ Le Sénonien

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique : l'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet :

- **Le Sénonien lagunaire** : La limite de ce sous étage est bien visible. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporitique, avec des argiles ou ces derniers sont carrément différenciés de ceux du Turonien. Il est constitué, également d'anhydrite, de calcaires dolomitiques, d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine les 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation d'anhydrite.
- **Le Sénonien carbonaté** : Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrite. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

De sommet du Turonien jusqu'au Sénonien inférieur on remarque la présence de formation lagunaire engendré par le phénomène de régression (**Recioui, 2013**).

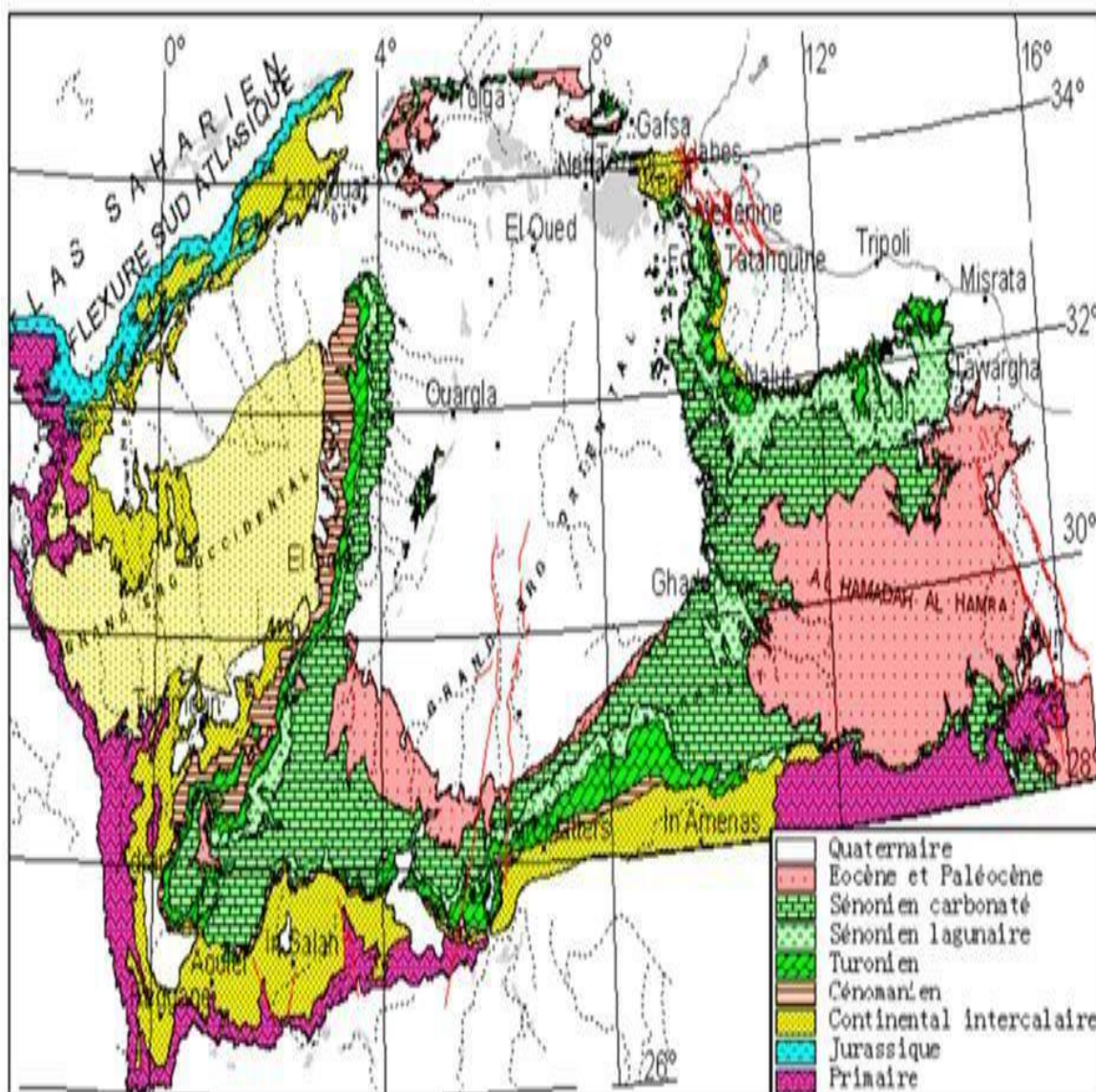


Figure III.10 : Carte géologique du Grand Erg Oriental (Atia et Zine, 2019).

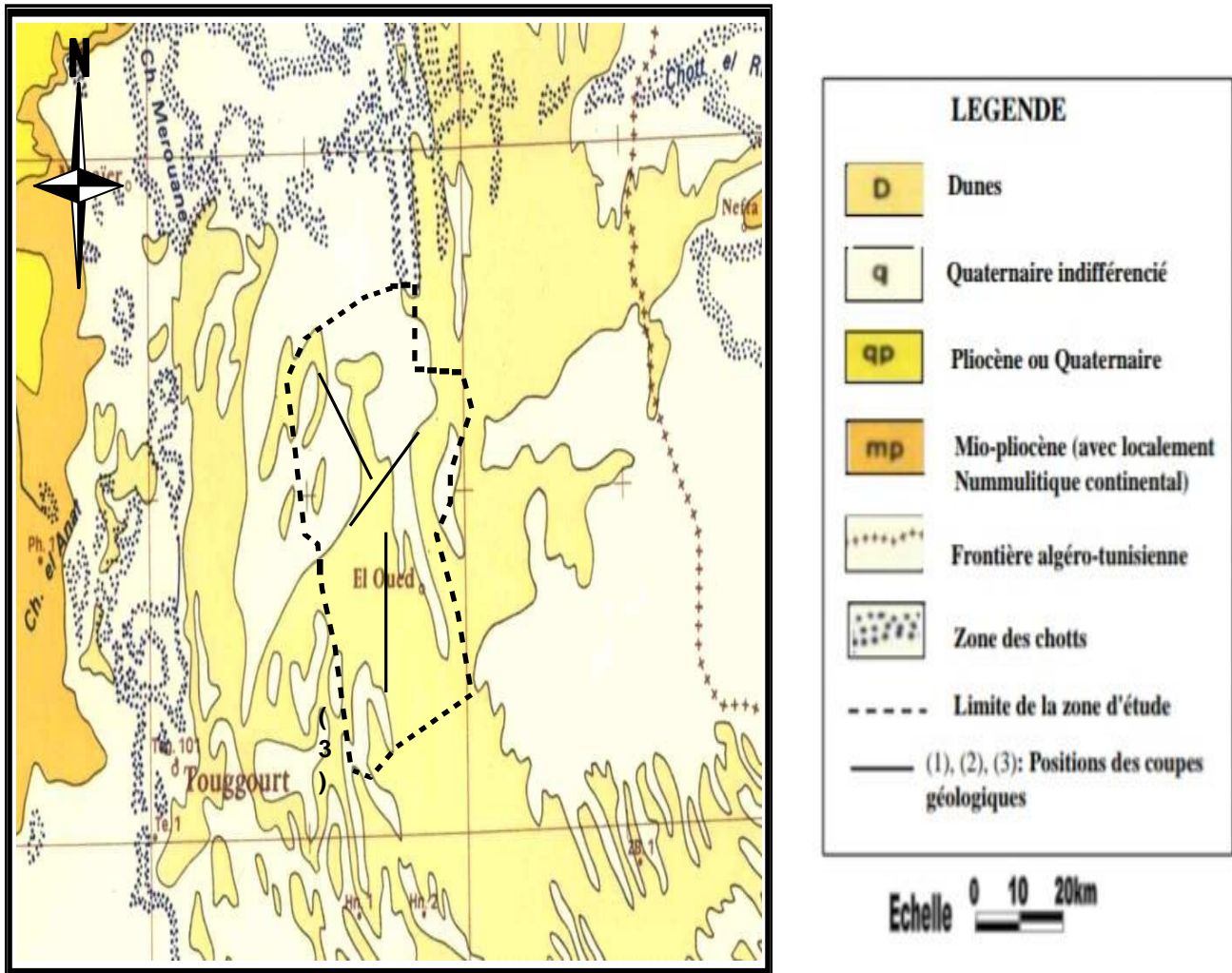


Figure III.11 : Carte géologique de la zone d'étude (Khachena, 2007).

#### III.4.1.2 Formations de l'ère Tertiaire

##### ❖ L'Eocène:

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

##### ❖ Le Mio-pliocène :

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Mio-pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès. Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et demargne séparent cet horizon en 4 niveaux:

➤ **Niveau argileux :**

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du moi-pliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénon-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

➤ **Niveau grès-sableux :**

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque Régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

➤ **Niveau argileux :**

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau Renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Mio-pliocène.

➤ **Niveau sableux :**

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

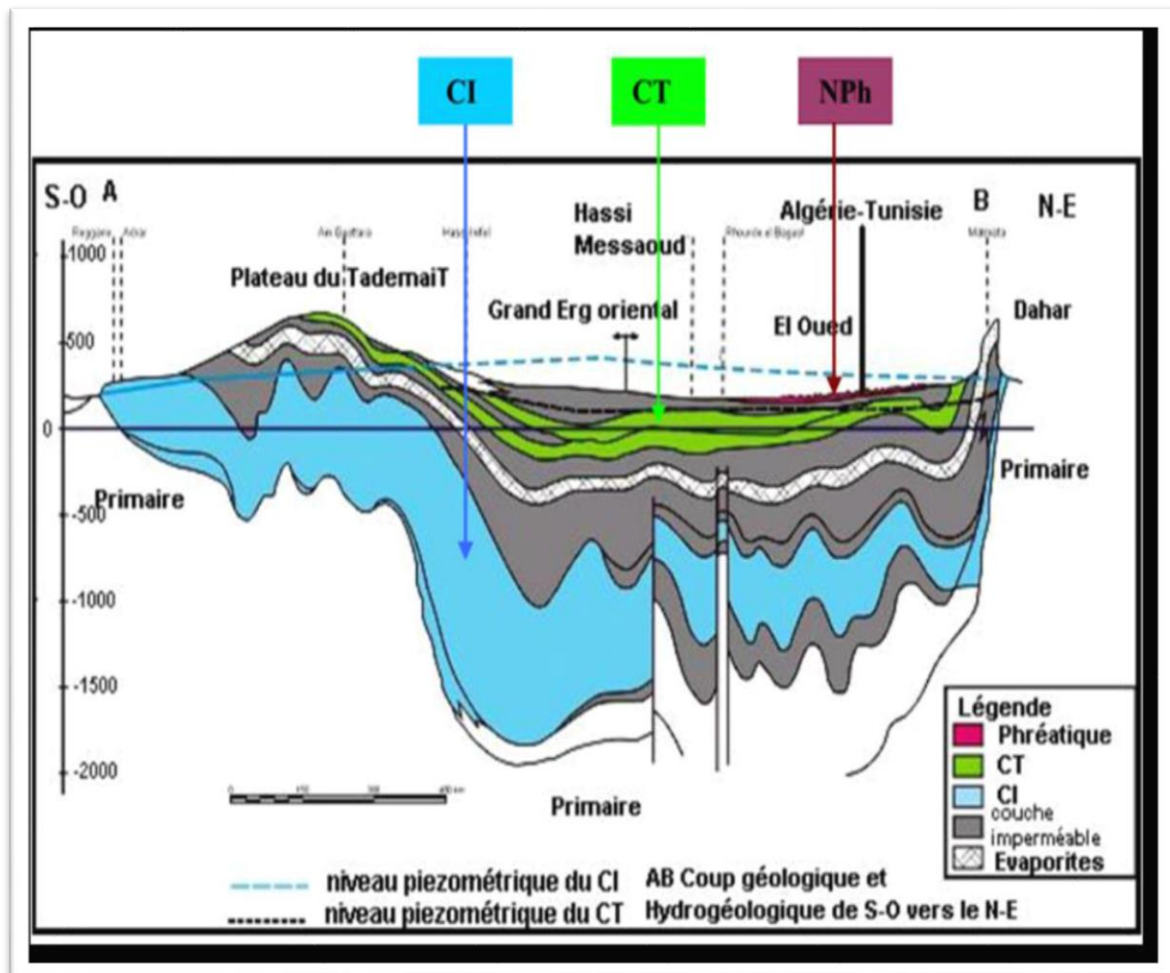
#### III.4.1.3 Formation du Quaternaire

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses (Mimoun et Zoubeidi, 2014).

#### III.5 Cadre hydrogéologique

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois aquifères (Figure III.12) ; un aquifère libre, et deux aquifères captifs (le complexe terminal "CT" et le continentale intercalaire "CI").

L'aquifère libre est constituée de formations détritiques d'âge Quaternaire et Miopliocène représentées par les: sable, grés, sable argileux, et l'argile sableuse, alors que le substratum est constitué d'argile. La profondeur du substratum est comprise entre 50 et 90 mètres (**Bouselsal et Kherici, 2014**).



**Figure III.12** : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara septentrional (**Bouselsal et Kherici, 2014**).

### III.5.1 Nappe phréatique superficielle

C'est une nappe libre, contenue dans des sables fins, intercalées localement par des lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Elle repose sur un substratum argileux, imperméable, d'une épaisseur de 200 mètres (**Necib, 2001**). La nappe phréatique s'étale sur presque la quasi-totalité du territoire de la vallée, elle est exploitée par environ 10.000 puits traditionnels, à une profondeur moyenne de 40 m (**ANRH, 2005**). Elle est comprise dans les dépôts sableux fins de type éolien, localement intercalés de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Elle est limitée

par un substratum argileux imperméable. Son épaisseur est variable et peut atteindre localement une centaine de mètres (Berrah, 2009).

**Tableau III.6 : Récapitulation des systèmes aquifères de la région d'El-Oued (Mimoun et Zoubeidi, 2014).**

| Nature hydrogéologique            |                   | Nature lithologique        | Etage               |                    | Ere       |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|-----------|
| Nappe phréatique                  |                   | Sables                     | Quaternaire         |                    |           |
| Niveau imperméable                |                   | Argiles                    |                     |                    |           |
| 1 <sup>ere</sup> nappe des sables | Complexe Terminal | Sables                     | Pliocène            |                    | Tertiaire |
| Semi-perméable                    |                   | Argiles gypseuses          |                     |                    |           |
| 2 <sup>eme</sup> nappe des sables |                   | Sables grossiers, graviers | Pontien             | Miocène            |           |
| Niveau impermeable                |                   | Argiles lagunaires, marnes | Moyen               | Eocène             |           |
| Nappe des calcaires (perméables)  |                   | Calcaire fissuré           | Inférieur           |                    |           |
| Semi-perméable                    |                   |                            | Evaporites, argiles | Sénonien lagunaire |           |
| Niveau imperméable                | Argiles, marne    | Cénomanién                 |                     |                    |           |
| Nappe de Continental Intercalaire | Sables et Grés    | Albien                     |                     |                    |           |

**III.5.2 Nappe du Complexe Terminal (C.T)**

La nappe de Complexe Terminal (C.T) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350000 Km<sup>2</sup>, avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Le Complexe terminal est constitué par des formations d'âge et de lithologie différents, à la base, il y a le

sénono-éocène carbonaté et du sommet, on trouve le Mio-pliocène sablo-argileux. La nappe du complexe Terminal est en charge sous formations argileuse du Mio-pliocène dans la partie Nord, et libre dans la partie Sud. L'écoulement général se fait vers les Chotts et vers le golf de Gabes, les eaux de cet aquifère se caractérise par une température peu élevée. Cette eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement élevée au centre (plus de 3 g/l) (**Khadraoui, 2000 ; Berrah, 2009**).

### **III.5.3 Nappe du Continental Intercalaire (C.I)**

Cette nappe est contenue dans les argiles sableuses et les grès du Continental Intercalaire. Il s'agit d'une eau fossile emmagasinée au cours des périodes pluviales du quaternaire. Elle se situe entre le massif du Tassili et de l'Atlas saharien, couvrant une étendue de 600.000 km<sup>2</sup> avec une épaisseur importante de plusieurs centaines de mètres (**Voisin, 2004 ; Ben Doyem, 2015**). Dans la région d'étude, cette nappe est captée par trois forages profonds d'une profondeur de (1800 à 2100 m), donnant un débit total de 680 l/s dont deux forages pour l'alimentation en eau potable (AEP) de la ville d'El Oued (430 l/s) et un forage pour l'irrigation à Sahan Berry d'un débit de 250 l/s, l'épaisseur du réservoir est importante et varie de 200 à 400 m, sa température atteint 60 °C et la pression en tête de puits fermé est de 25 à 27 bars (**Drouiche, 2014 ; Chabbi et Nezli, 2018**).

### **III.6 La réalité de l'agriculture dans l'état de la vallée**

La région connaît une révolution agricole, avec une superficie, une production et une diversification des cultures, et en exporte certaines au niveau national. La superficie des terres cultivées dans l'agriculture s'élevait à 80 000 hectares, dont 75500 sont irrigués, Ses cultures varient selon l'importance. Les plantations de graminées (saisonnières et protégées) occupent la plus grande partie de cette superficie, suivies de la culture du palmier. Ce sont des cultures importantes dans la vie nutritionnelle des habitants de la région (**Rayen Djaber, 2015**).

#### **III.6.1 La richesse des palmiers dans la vallée**

L'activité principale dans cette région a longtemps été basée sur l'agriculture, et notamment l'exploitation du palmier dattier, en utilisant une méthode originale : les Ghouts, sortes de cratères creusés et perpétuellement entretenus à main d'hommes, dont la profondeur était telle



que les racines des palmiers qu'on y plantait trouvaient l'eau de la nappe phréatique à la profondeur optimale. D'où ce paysage caractéristique de la vallée du Souf.

Le système agricole dans les oasis, est constitué par un groupe d'exploitations qui possèdent de faibles superficies. Celles-ci sont travaillées par les propriétaires eux-mêmes, aidés souvent par une main d'œuvre salariale.

Ce système d'exploitation oasien est caractérisé par :

- Une économie de type familial ;
- une culture basée essentiellement sur la phoeniciculture, et une place assez importante réservée aux cultures sous-jacentes ;
- Une partie de la production dattier est vendue, afin de dégager un supplément de revenu.

L'activité principale dans cette région a longtemps été basée sur l'agriculture, et notamment l'exploitation du palmier dattier, en utilisant une méthode originale : les Ghouts, sortes de cratères creusés et perpétuellement entretenus à main d'hommes, dont la profondeur était telle que les racines des palmiers qu'on y plantait trouvaient l'eau de la nappe phréatique à la profondeur optimale. D'où ce paysage caractéristique de la vallée du Souf.

### III.6.2 Le Système Ghout

Un ghout est une technique de culture de palmiers dattiers propre à la région du Souf (Figure III.13). Les palmiers sont implantés par groupe de 20 à 100 palmiers au centre d'une cuvette artificielle, d'une profondeur de 10 m et d'un diamètre de 80 à 200 m, et dont le fond a été amené à moins de 1 m au dessus de la nappe phréatique. Les oasiens creusent progressivement dans le sol, afin que les palmiers aient constamment leurs racines dans l'eau, ils n'ont pas besoin d'irrigation (**Remini, 2004**).



Figure III.13 : Les Ghouts du Souf (Yves, 2010).

### III.6.3 Superficie

Le palmier occupe une grande place dans l'esprit des habitants de Souf, alors ils ont pris soin de sa culture et en ont pris soin. Passé et présent, la superficie cultivée de l'État s'élevait à 36 335 hectares, soit un faible pourcentage de Superficie nationale totale (0.2%). Quant à la région du Souf (zone d'étude), la culture du palmier dattier est sur une superficie de 12045 hectares, soit 33,15% de la superficie totale des palmiers d'État.

### III.6.4 Production

La production nationale de dattes de toutes sortes est estimée à: 9,34 millions de kantars en 2014, l'État de la wilaya contribue à: 2,31 millions de kantars, soit 24,74% de la production nationale ainsi, il occupe la deuxième position au niveau national, après le mandat de Biskra. Quant à la province, il a été estimé que la production serait de: 0,88 million de kantars, soit 38,01% de l'état total (Rayen Djaber, 2015). L'espace agricole oasien est caractérisé par deux types de systèmes ; un ancien et un nouveau, qui se différencient par les moyens et les techniques de production mises en œuvre.

### III.7 L'ancien système agricole du Souf

Selon **Leghrissi (2007)**, la palmeraie traditionnelle du Souf est un ensemble de micropropriétés ou petites exploitations, sous forme d'entonnoirs (Ghouts), et dont les superficies sont réduites. Ce sont généralement des exploitations familiales, ayant pour objectif principal l'autosubsistance. Actuellement, la plupart de ces exploitations sont mal entretenues, envahies de mauvaises herbes, inondées suite au phénomène de la remontée de la nappe phréatique. Ce phénomène a réduit une grande partie de la superficie agricole, utilisée à l'état Ghout, et qui progresse sans cesse. L'ancien système est caractérisé par :

#### III.7.1 Les moyens de production

##### ❖ La terre :

La terre au Souf est de propriété tribale. Au début, la quasi-totalité des jardins ont une superficie de 1 à 2 hectares, puis il peut être étendu selon les règles juridiques et techniques déposées par les fellahs. Le fellah est l'homme des sciences de la palmeraie. C'est lui qui tranche les litiges entre les propriétaires, c'est lui qui indique aux agriculteurs leurs futurs jardins, suivant la direction des vents. La terre n'est exploitée que si elle est située à proximité d'une source d'eau.

##### ❖ Le matériel :

Les agriculteurs ne disposent que d'instruments rudimentaires à cause des faibles moyens financiers, et en plus, la petite taille de leurs exploitations qui ne demandent pas de moyens sophistiqués (machines agricoles). Le matériel qui est généralement utilisé est ; couffins (Zembil), houe (Mesha), faucilles (Mendjel), pelles, cordes, pioches, charettes (Cariola), râdeaux, balanciers (Khouttara)...etc (**Leghrissi, 2007**).

##### ❖ La main d'œuvre :

Dans l'ancien système, la main d'œuvre est essentiellement de type familial. Cette main d'œuvre est suffisante en raison de la taille réduite des exploitations. Il est rare de trouver un travailleur salarié permanent, à l'exception des khamés. Cette force de travail est surtout engagée pour l'entretien des parcelles cultivées. Le recours à la main d'œuvre salariale, qu'elle soit permanente ou saisonnière est temporaire pour des opérations culturales précises, pénibles et limitées dans le temps, tels que : la pollinisation, la récolte, le transport du sable et du fumier ...etc (**Leghrissi, 2007**).

### III.7.2 Les techniques de production (Leghrissi, 2007)

#### ❖ La fertilisation :

Les sols du Souf sont généralement squelettiques et pauvres en matières fertiles, d'où la Nécessité d'apporter des éléments fertilisants pour améliorer la performance des sols. Dans les palmeraies de la région du Souf, la fumure organique est la plus utilisée, elle est constituée essentiellement d'un fumier local, d'origine animale (souvent crottins de dromadaire), humain et de cendres de foyers. Quant à la fumure minérale, elle est très rarement utilisée en raison de la cherté, la rareté des engrais et la non maîtrise des techniques culturales, on retrouve essentiellement la fumure azotée. Le fumier organique est généralement destiné pour la fertilisation des palmiers dattiers, la fréquence est très faible, elle dépend des moyens et des besoins de l'agriculteur.

#### ❖ L'irrigation :

Généralement, le palmier dattier dans les Ghouts n'a pas besoin d'irrigation, car il est planté au dessus du toit de la nappe phréatique, mais pour les cultures intercalaires, on note l'installation des puits à balancier pour apporter de l'eau.

#### ❖ Le drainage :

Dans l'ancien système, le problème de drainage n'était jamais posé, car les sols au Souf sont de type sableux et donc très filtrants. En plus, la technique du Ghout qui permet une Utilisation rationnelle de l'eau, sans qu'il y a un excès à drainer.

### III.7.3 Les systèmes de culture

Dans l'ancien système agricole oasien, les productions agricoles sont essentiellement destinées aux besoins de l'exploitant et sa famille, donc c'est une culture de subsistance. Comme toutes les oasis algériennes, le palmier dattier est la principale ressource agricole et la spéculation la plus dominante, on peut y trouver également les cultures maraîchères, l'arboriculture et les cultures condimentaires. Pour l'élevage, il est de type familial, dont l'espèce caprine est la plus dominante. Par contre, les ovins sont moins importants. On trouve également l'âne ou le mulet, servant au transport du sable, du fumier, des marchandises et des personnes (Leghrissi, 2007).

### III.7.4 Commercialisation et revenus

La production dans l'ancien système agricole est constituée essentiellement par la production dattier. Cette dernière est destinée en premier lieu à l'autoconsommation, et le Surplus dégagé est commercialisé sur le marché local par de petits commerçants ou par les exploitants eux-mêmes, surtout après la dissolution de l'office national des dattes (OND). Les variétés commercialisées sont essentiellement Ghars et Deglet Nour, le prix des dattes diffère d'un cultivar à l'autre. La quantité de dattes commercialisée est faible du fait que l'exploitant cherche d'abord à satisfaire ses besoins, les autres produits non commercialisés sont en grande partie autoconsommés. **(Leghrissi, 2007).**

### III.7.5 Approvisionnement

Dans l'ancien système agricole oasien, on parle généralement d'un auto-approvisionnement, en raison de la situation financière de l'exploitant et la cherté des facteurs de production. L'approvisionnement en facteurs de production concerne principalement : les semences, le fumier, le pollen, les djebbars et les engrais...etc.

### III.7.6 Le financement

L'investissement dans le système agricole oasien traditionnel provient généralement du Maigre surplus dégagé de la production. Le développement de l'activité agricole se trouve donc limité et sans évolution. Ce système ne fait jamais appel aux prêts bancaires.

### III.8 Le nouveau système agricole du souf

Face aux contraintes de ce système, « colonisation » de nouveaux espaces dans le cadre de la mise en valeur agricole a donné naissance à une nouvelle forme d'organisation, caractérisée par une spécialisation parfois monoculturelle ; céréalière, fourragère ou maraîchère et/ou donc le palmier dattier ne constitue plus la culture principale **(Bouammar, 2000)**. Cette agriculture dite nouvelle est fondée essentiellement suite à la loi 18/83 de l'accession à la propriété foncière agricole. Cette loi touche les rapports entre l'homme et l'objet de travail qui est la terre. A la région de Souf, cette loi se traduit par :

- L'attribution de terres aux fellahs
- Une grande plantation des cultures maraîchères sous pivot (pomme de terre, Fève, petit Pois...etc.)
- Renouvellement des vergers phoenicicoles en adaptant un nouveau système D'irrigation Économiseur d'eau **(Meissa, 2016)**.

### III.8.1 Les systèmes de culture

Les nouvelles palmeraies ont de grandes superficies, de bonne productivité et qui présentent une harmonie entre les productions et entre les facteurs de production eux-mêmes, Mais aussi entre les productions et les facteurs de production (**Berrah, 2009**).

#### a- La phoeniciculture

Le nouveau système de production, que l'on a qualifié de système oasien évolué est d'inspiration coloniale. Au cours de l'année 1920, les colons en cherchant à imiter les vergers français ont mis en valeur des parcelles de terre sur lesquelles étaient plantés avec un écartement et un alignement régulier les palmiers dattiers (écartements entre pieds est de 8 à 10). Contrairement au Ghouts le système d'irrigation était apparent et les colons français ont très vite opté pour la variété Deglet Nour, très apprécié pour son goût et son aspect. Les palmeraies modernes constituent ainsi une tentative de rationalisation et d'intensification de la production dattière. Cette logique a été poursuivie par les programmes de l'Etat qui ont poussé à la mise en valeur « à plat » des palmiers (**Yves, 2010**).



**Figure III.14** : Une palmeraie moderne d'El Oued (**Yves, 2010**).

Les variétés les plus cultivées dans la vallée du Souf sont par ordre :

- La Déglet Nour : eu égard à l'importance de sa valeur marchande sur le marché intérieur ou extérieur ;
- La variété Ghars : largement cultivée du fait de sa longue période de stockage ;
- Autres variétés : regroupent des cultivars qui n'ont pas une grande valeur marchande.

Ces cultivars sont : Tinicine, Takermoust, Tafezouine...etc (**Berrah, 2009**).

#### **b- Les cultures maraîchères**

Actuellement, le Souf est devenu l'un des grands pôles en productions maraîchères, entre Autres, la production de la pomme de terre qui connaît une extension illimitée, avec 568880,33 qx. En parallèle, on retrouve également le poivre, la fève, la tomate, le petit pois, la carotte...etc (**Berrah, 2009**).

#### **c- Autres cultures**

Cette gamme de cultures qui regroupe principalement les cultures : industrielles (tabac et Arachide), arboricole (olive, vigne et coing), fourragère et condimentaires a subi des développements grâce à l'appui de l'Etat et l'introduction des techniques performantes, dont l'irrigation localisée, la fertilisation et les traits (**Berrah, 2009**).

### **III.9 La remontée des eaux souterraines dans la région d'oued-souf**

Les eaux souterraines sont des sources importantes des eaux douces pour les êtres humains, les animaux et les plantes. Malheureusement, dans quelques régions algérienne, surtout celles situées dans le Sahara, sont aujourd'hui confrontées à des problèmes liées à des aspects quantitatives et qualitatives des ressources en eau, due essentiellement à la remontée des eaux des nappes libres, qui à un effet néfaste pour les habitants et l'agriculture. La vallée de Oued-Souf est affectée par ce problème, qui à des conséquences négatives sur l'environnement et la santé (**Khechana, 2014**).

#### **III.9.1 Définition du problème de la remontée des eaux**

Une rupture du circuit hydraulique fermé : le problème est un déséquilibre entre le volume d'eau produit et eaux usées et eaux de drainage, les zones sèches sont caractérisées par un système hydraulique fermé où le bassin se compose d'une base d'influence Dans le système traditionnel,

l'eau provient de vallées ou de couches superficielles qui sont jetées après usage domestique dans des fosses sanitaires irrégulières.

Après les utilisations pour diverses activités urbaines, ils sont jetés dans des zones loin de la sphère urbaine, avec tous ses déchets. La quantité non vaporisée de cette eau son mouvement continue d'atteindre la couche d'eau de surface sur une longue période de temps. Il y avait un équilibre entre l'eau produite et les eaux usées pour cela sont restées niveau d'eau constant, après quoi l'exploitation de la plaque a été multipliée par puits de passage équipés d'un ensemble de motopompes, en plus de doubler l'absorption d'eau des plantes le volume d'eau dans la couche de surface a diminué et le niveau d'eau dans de nombreuses oasis a diminué. Mais l'exploitation des classes plus profondes entraîne un autre type de déséquilibre, le grand pompage impliqué le cercle d'eau polluée qui n'entre pas dans les profondeurs et n'est pas drainé hors du bassin hydrologique, il revient à la couche superficielle, ce qui augmente considérablement le volume de son eau.

Lorsque la couche de surface est pompée régulièrement et limitée, elle peut être en mesure de produire des résultats positifs, car la couche est recouverte a proximité, il en a de grandes quantités qui poussent les agriculteurs à équiper leurs puits de motopompes et à créer des zones de nouvelle agriculture ou zones d'expansion pour les anciennes cultures il faut être prudent en ce qui concerne la salinité de l'eau toutes les cultures ne conviennent pas, mais lorsqu'une eau profonde est nécessaire pour répondre aux besoins en eau des résidents boire et arroser est fort et continu dans le temps. En conséquence logique, le niveau d'eau de la couche de surface monte et finit près de la surface, où les palmiers (le diable) et les habitations sont-ils menacés? Il y a aussi des cas où ils apparaissent en surface pour révéler à propos du déséquilibre écologique.

Le système traditionnel fonctionnait en boucle fermée avec un débit limité, car les nouvelles technologies incorporaient des revenus accrus sans aucune issue. L'écosystème est donc aujourd'hui perturbé par sa manière soudaine et violente.

Le problème est également quantitatif et qualitatif car l'eau de la couche profonde est généralement de faible salinité de 2 à 3 g/l pour les substrats fins et coincés, tandis que les couches de surface reçoivent de l'eau de lavage des terres progressivement salinisées ne peuvent donc pas être utilisées pour l'irrigation. Si la ville a créé le problème en raison de l'escalade et des besoins nécessaires aussi, mais ce qui est exigé de la campagne doit absorber l'excès d'eau qui est



censé être évacué, de sorte que les ruraux restent les bras croisés devant eux suffocation, dont le seul responsable est les déchets fossiles (Abdaoui, 2016).

### III.9.2 Historique de la remontée des eaux dans la zone d'étude

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle.

**Avant 1956**, toute l'eau utilisée pour l'alimentation humaine, animale et l'agriculture provenait de la nappe phréatique. L'augmentation de la population et l'extension des

Cultures ont conduit à creusé en 1956 le premier forage au Complexe Terminal (CT) pour l'AEP d'El Oued.

**Entre 1957 et 1969**, environ un nouveau forage par an a été exécuté dans le CT, **de 1970 à 1980**, environ 2 forages par année ont été réalisés dans le CT, **dès 1980**, on observe les premiers ghouts envoyés à El Oued et une montée progressive et persistante de la nappe phréatique aux portes d'El Oued, ce qui **en 1985** alarme les Autorités.



Figure III.15 : Etendue d'une remontée (Recioui, 2013).

Entre 1980 et 1987, une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT et trois forages dans Continental Intercalaire (C.I.), ses derniers sont fortement artésiens, et débits de 200 l/s, soit de 5 à 10 fois plus importantes que ceux de CT.

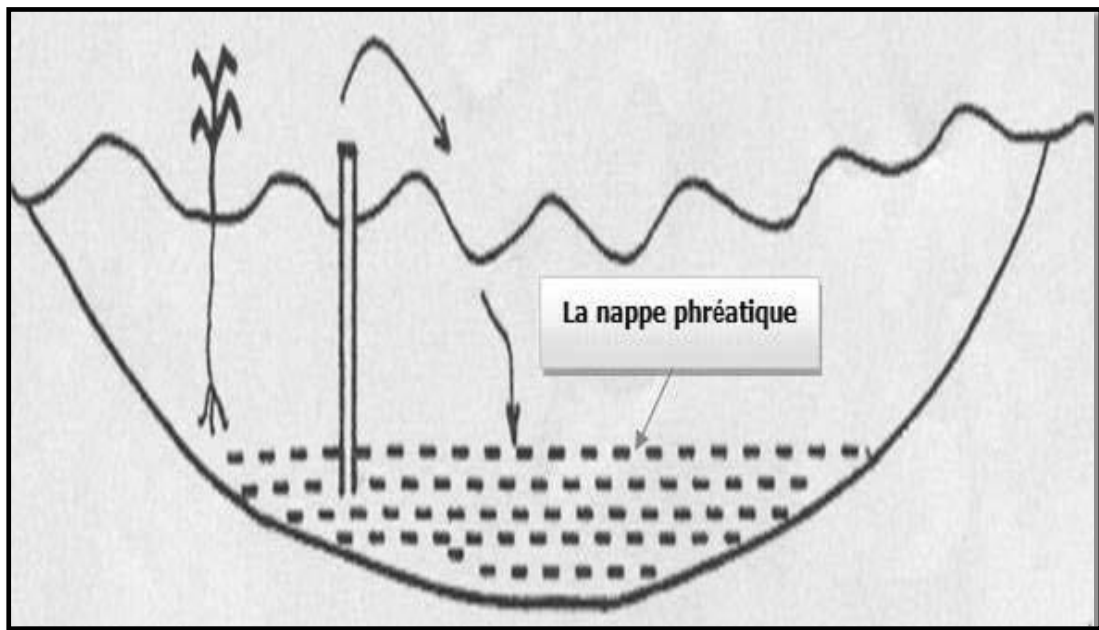


Figure III.16 : La nappe phréatique avant 1956 (Recioui, 2013).

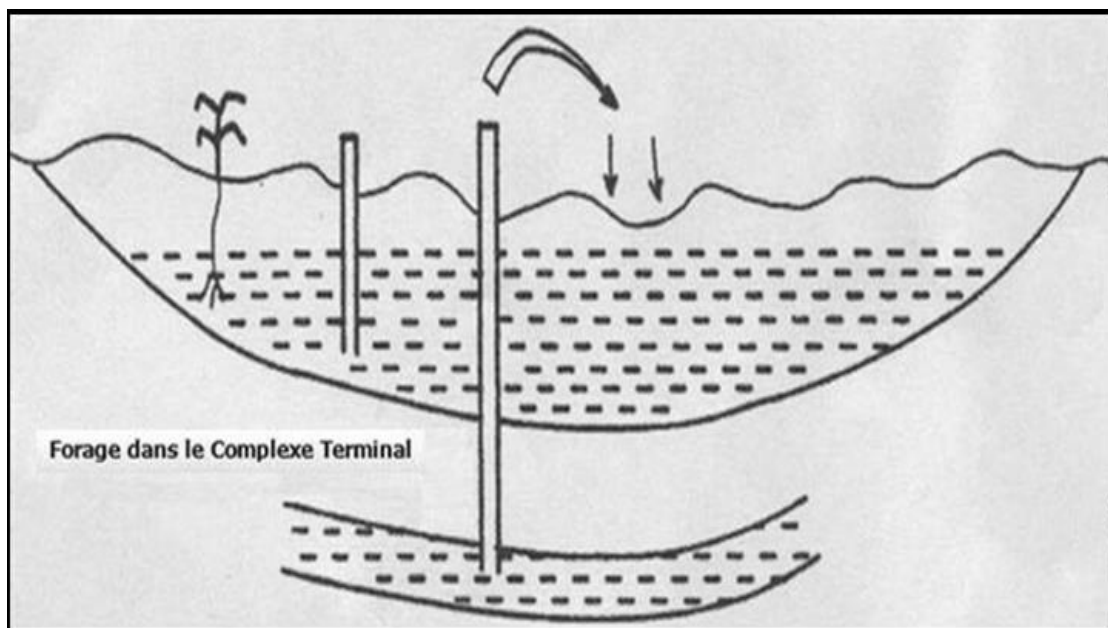
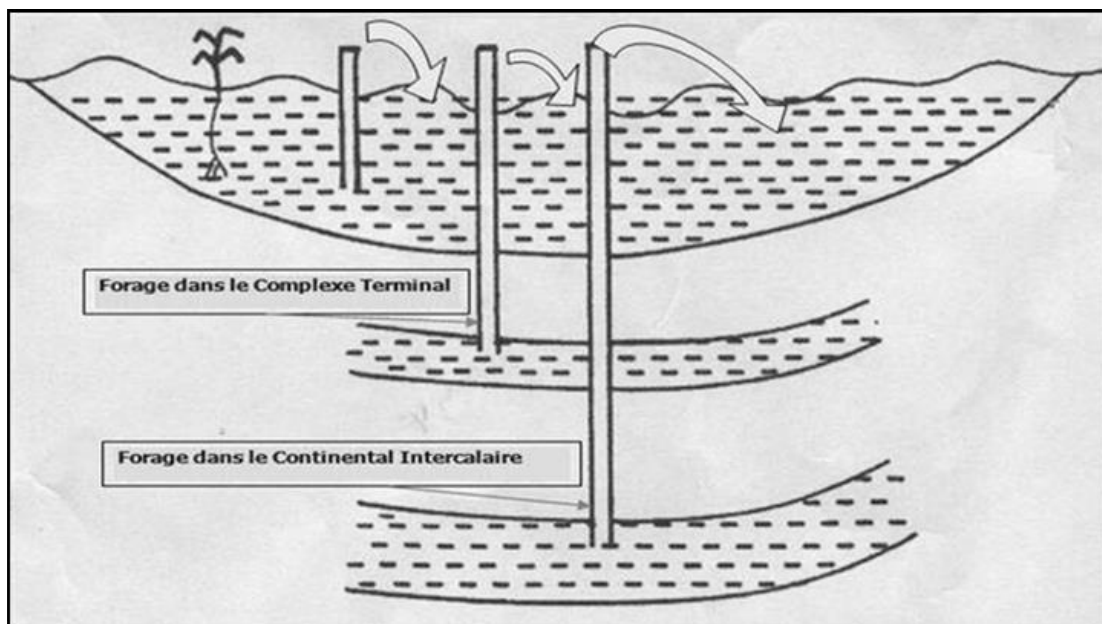


Figure III.17 : La nappe phréatique entre 1956 et 1986 (Recioui, 2013).



**Figure III.18** : La nappe phréatique après 1986 (Recioui, 2013).

**En 1993**, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine-Robbah. A partir **de 1993** jusqu'en **2004**, une série d'investigations ont été entreprises pour connaître les caractéristiques géométriques et géologiques de l'aquifère, et recensé et les forages existants. A la fin d'investigation une série des mesures telles que ; l'arrêt de nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI, et remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la construction pour l'agriculture de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique et la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles ont eu un impact positif avec une stabilisation ou une baisse du niveau piézométrique dans certaines des zones affectées, alors que dans la ville d'El Oued, la nappe continue à monter de 40 à 60 cm par année dans les quartiers les plus touchés de la ville. Devant ce problème une étude a été faite pour effectuer un réseau de drainage vertical dans les centres urbains, constitué de 58 forages débitants de 6 l/s, connecté à 34 km de conduites, l'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage qui refoulera vers Chott Halloufa, le réseau de drainage devient opérationnel depuis 2011, et maintien le niveau d'eau à 1m de profondeur sous les zones les plus bas (ghouts) (Recioui, 2013).

### III.9.3 Origine du phénomène

- ✓ Exploitation intensive des ressources en eau des nappes souterraines profondes (CICT) ;

- ✓ Fuites des réseaux d'AEP et d'assainissement ; Insuffisance de réseaux d'évacuation des eaux usées ;
- ✓ Absence d'exutoire ;
- ✓ Rejet dans la nappe phréatique des débits prélevés sur les nappes du complexe terminal et du continental intercalaire (albien) ;
- ✓ Insuffisance de drainage des eaux d'irrigation (**Boulifa, 2012**).

L'impact était des plus dangereux sur la santé des riverains, comme la propagation des maladies à transmission hydrique, ou encore sur l'urbanisme, avec les dommages occasionnés aux fondations des bâtisses et à la qualité des sols, et ce, sans parler des odeurs nauséabondes qui persistaient et étouffaient les villes, mais le plus important, ces résurgences risquaient directement de polluer les nappes phréatiques de la région (**Recioui, 2013**).

#### III.9.4 Mesures prises pour limiter le phénomène

Les mesures concrètes qu'ont été appliquées, au début au niveau de la commune de Guemar puis exécutées surtout le territoire de la wilaya, parmi ces mesures :

- La réduction des horaires d'allocations d'AEP (02 heures/24 heures au lieu de 24 heures/24 heures pour chaque cité) ;
- La création de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique pour l'agriculture ;
- L'arrêt d'exécution des nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI remplacés par des puits dans la nappe phréatique ;
- Développement de zones agricoles irriguées depuis la nappe phréatique : Le Développement d'exploitations agricoles irriguées depuis la nappe phréatique dans ou aux alentours des zones touchées joue un rôle important pour stabiliser ou inverser la tendance à la remontée, ces exploitations rejetant dans l'atmosphère 10 000 à 15 000 m<sup>3</sup> d'eau/ha par an.
- Remblayage des Ghouts : Le remblayage des Ghouts ennoyés n'est pas une mesure pour inverser le phénomène, mais permet de limiter la prolifération de moustiques et de décharges en milieu urbain. Il évite que l'eau de la nappe se charge en sels par évaporation. Pour faire face aux besoins en eau domestique, l'Administration a eu recours aux ressources des nappes profondes (nappe du Complexe terminal et du Continental intercalaire). La comparaison de ces données avec celles relatives à la situation de l'an 2000 permet de mieux voir la destination des eaux mobilisées, ainsi que la demande en eau marquée par l'augmentation du

nombre des forages est de 10012. Ces derniers sont destinés à potable dans les zones rurales. (CT et CI), seulement 86 sont à l'irrigation.

La quantité totale d'eau mobilisée quotidiennement pour l'alimentation en eau potable est de 140000 m<sup>3</sup>/jour qui correspondent à une dotation moyenne journalière (nombre d'habitation est estimé de 385677 en 2000) (Boulifa, 2012).



**Chapitre IV :**

**Matériels et méthodes  
de caractérisation**

## Introduction

Dans le but de procéder à une meilleure analyse physico-chimique des eaux de notre zone d'étude, nous avons procédé des prélèvements des échantillons de ces eaux dans le respect strict suivant les techniques d'échantillonnage.

Ce chapitre comprend essentiellement des descriptions des procédures de prélèvements, ainsi que la méthode de conditionnement des échantillons d'eau prélevée. Nous citons également les produits chimiques utilisés dans les titrages volumétriques. Une description détaillée des méthodes et des instruments expérimentales utilisées dans les analyses sera donnée. Les différents modes opératoires d'analyse et de caractérisation utilisés seront également présentés. A la fin nous donnerons aussi les principales formules de calcul utilisées pour exprimer les résultats expérimentaux obtenus.

### IV.1 Prélèvement et conditionnement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (Rodier et al., 2009).

Les prélèvements ont été effectués de différents points dans la région d'Oued-Souf où nous avons essayé de couvrir la majorité des zones peuplées dans cette région. Les points échantillonnés sont représentés sur la carte de la figure IV.1.

Notre étude est fondée sur le prélèvement de 10 échantillons des forages destinés à l'alimentation en eaux potables. Dans la vallée d'Oued-Souf, ces forages sont alimentés de la nappe du Complexe Terminal (CT) où les profondeurs allant jusqu'à 350 à 400 m environ. Les prélèvements ont été effectués manuellement pendant le mois de février 2020 dans des flacons de polyéthylène de 1.5 l de capacité avec la condition que la javellisation soit arrêtée et la conduite vidangée pour que l'échantillon soit représentatif de l'eau du forage. Ces flacons doivent toujours être nettoyés préalablement avec de l'eau distillée et avec de l'eau à étudier lors du prélèvement. Chaque flacon doit être identifié et porté la date et les coordonnées du point de prélèvement. Le délai entre le prélèvement et l'analyse au laboratoire doit être le plus court possible. Les échantillons doivent être transportés au laboratoire dans une glacière propre à une température de 4°C pour les protéger contre le rayonnement solaire (Khelifati et Khelifa, 2019).

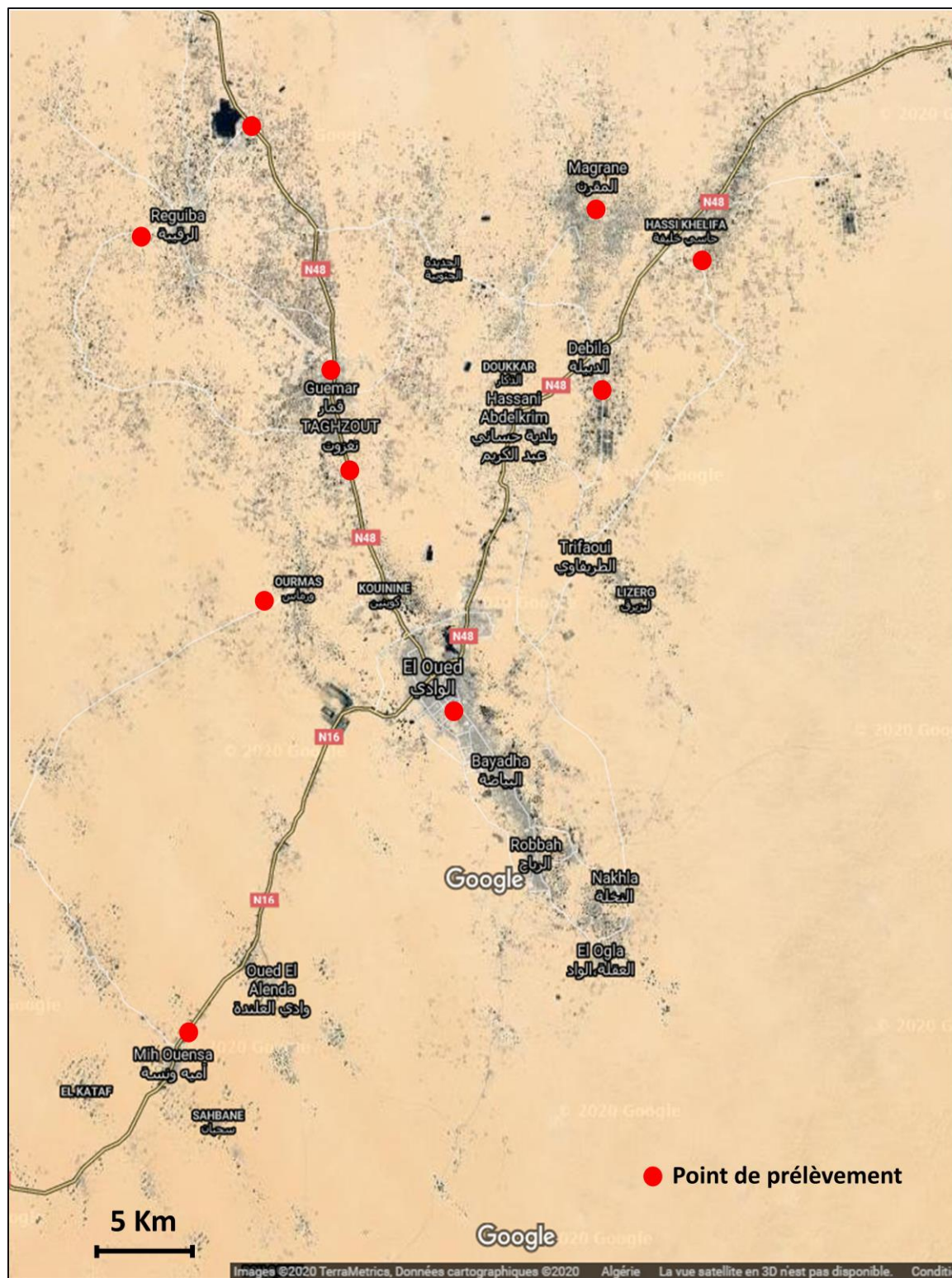


Figure IV.1: Carte Google-Earth montrant les localités des points de prélèvement dans la zone d'étude.



## IV.2 Produits chimiques utilisés

Tous les produits chimiques utilisés dans ce travail sont de qualité analytique. Le tableau IV.1 illustre les produits utilisés et leurs marques. Toutes les solutions aqueuses utilisées dans les analyses ont été préparées avec de l'eau distillée obtenue avec un distillateur de marque GFL 2004.

**Tableau IV.1:** Produits chimiques et leurs marques.

| Produit               | Marque        |
|-----------------------|---------------|
| HCl (37%)             | BIOCHEM       |
| Ethanol (96%)         | SIGMA-ALDRICH |
| EDTA (99%)            | BIOCHEM       |
| NH <sub>3</sub> (25%) | Merck         |
| NH <sub>4</sub> Cl    | Fluka         |
| Phénolphtaléine       | -             |
| Eriochrome Noir (NET) | -             |
| Méthyle Orange        | Alfa Aesar    |

## IV.3 Préparation des solutions utilisées

### IV.3.1 Préparation de la solution HCl à 0,02 N

La solution d'acide chlorhydrique de concentration 0,02 N sera utilisée dans les titrages de détermination de TA et TAC. En chimie analytique quand on travaille avec des solutions de faibles concentrations, il est préférable de préparer des solutions mères de concentrations plus grandes et faire ensuite des dilutions. Dans notre cas, on souhaite préparer un litre de solution mère de HCl à 0,2 N à partir d'une solution commerciale concentrée ( $P = 37\%$  et  $\rho = 1,18\text{ g/cm}^3$ ) et on fait après des dilutions de 10 fois pour avoir une solution fille de 0,02 N. Afin de savoir le volume de HCl concentré nécessaire à la préparation de 1 L de la solution mère on fera d'abord les calculs suivants :

- Calcul de la masse pure de HCl utilisée pour préparer la solution mère de 0,02 N :

$$m_{HCl} = C \times V \times M = 0,02 \times 1 \times 36,5 = 0,73\text{ g}$$

$m$  : la masse pure de l'HCl en (g)

$C$  : la concentration d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.02 N

$V$  : volume de l'HCl en (L)

$M$  : la masse molaire de l'HCl

- Calcul de la masse à prélever du HCl impure (37 %) :

$$\begin{array}{l} 100 \text{ g (HCl impur)} \rightarrow 37 \text{ g (HCl pur)} \\ x \quad \rightarrow \quad 0,73 \text{ g} \end{array} \quad x = \frac{0,73 \times 100}{37} = 1,972 \text{ g}$$

- Calcul du volume qui correspond à cette masse :

$$\text{On a : } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V_{\text{HCl}} = \frac{m_{\text{HCl}}}{\rho} = \frac{1,972}{1,18} = 1,67 \text{ mL}$$

$\rho$  : la masse volumique de l'HCl en (g/cm<sup>3</sup>)

$m$  : la masse de l'HCl impure en (g)

$v$  : le volume de l'HCl en (ml)

Alors, on introduit ce volume de HCl concentré dans une fiole de 1 L contenant auparavant une petite quantité d'eau et on ajuste avec de l'eau jusqu'au trait de jauge. Pour préparer la solution fille de 0,02 N nous prenons 100 mL de la solution mère et on la mettre avec 900 mL d'eau dans une fiole jaugée de 1 L.

### IV.3.2 Préparation de la solution EDTA à 0,01 M

La solution d'EDTA (sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique) est utilisée dans la détermination de la dureté ou du titre hydrotimétrique (TH) de l'eau. Selon le protocole adopté par nombreux auteurs (**Cardot, 1999 ; Rodier et al., 2009 ; Logube, 2015**) la solution d'EDTA doit être de concentration 0,01 M. Etant l'EDTA est un sel solide, sa masse nécessaire à la préparation de 1 L de solution à 0,01 M est calculée comme suit :

$$m = C \times V \times M = 0,01 \times 1 \times 372,5 = 3,725 \text{ g}$$

$C$  : la concentration d'EDTA à 0.01 M

$V$  : volume d'EDTA en (L)

$M$  : la masse molaire d'EDTA

On dissout cette quantité d'EDTA dans 1 L d'eau distillée.

### IV.3.3 Solution tampon ammoniacal de pH = 10

Dans une fiole jaugée de 1 L, on introduit 67,5 g de chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). On le dissout dans environ 200 mL d'eau distillée. Ensuite, on ajoute 570 mL de solution d'ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) à 25 % ( $d = 0,925$ ). Enfin on complète avec de l'eau distillée jusqu'à 1 litre de volume.

### IV.3.4 Préparation des solutions des indicateurs colorés

**a) Phénolphthaléine (ph-ph) :** le phénolphthaléine à 0,5 % est utilisé comme indicateur de fin de réaction acido-basique dans la détermination de TA. Pour le préparer, 0,5 g de cet indicateur est mis dans mélange eau éthanol (50 % V/V).

**b) Méthyle orange (MO) :** cet indicateur est utilisé dans la détermination de TAC. Une masse de 0,1 g de méthyle orange est dissoute dans un mélange de 80 mL d'eau et avec 20 mL de l'éthanol.

**c) Noir d'ériochrome (NET) :** la solution de noir d'ériochrome T (NET) à 0,5 % ou sel de sodium de l'acide ((hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4)) utilisée comme indicateur de fin de réaction de complexation dans la détermination du TH. Pour préparer cette solution de cet indicateur on dissout 0,5 g du NET dans 100 mL d'éthanol.

## IV.4 Méthodes d'analyse et de caractérisation

### IV.4.1 Mesure des paramètres physiques (Température, pH, TDS et CE)

Ce type d'analyse physico-chimique est fait sur quatre principaux paramètres selon les méthodes standards d'analyse (Rodier et al., 2009 ; Nollet, 2007), la température, le pH, le taux de salinité (TDS) et la conductivité électrique (CE). La mesure de ces paramètres donne une indication rapide, simple et fiable sur la qualité de l'eau et aussi sur la présence en quantité faible ou élevée en ions. La mesure de ces paramètres a été effectuée à l'aide d'un multimètre de marque Consort C3010.

### IV.4.2 Titrage par volumétrie (Titrimétrie)

La volumétrie ou la titrimétrie est une technique de dosage utilisée en chimie analytique pour déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution. Elle est particulièrement utile

pour les déterminations de substances difficilement quantifiables, qui ne peuvent être réalisées par d'autres méthodes telles que la spectrophotométrie. Le principe de titration est simple puisqu'il suffit d'ajouter goutte à goutte une solution de titrage à un volume d'échantillon précis. Après réaction, un excès de solution de titrage provoque le virage d'un indicateur coloré. La quantité de la solution de titrage nécessaire correspond exactement à la quantité de la substance à déterminer. De ce fait, le résultat est lu directement sur la seringue à double graduations qui a servi à distribuer la solution de titrage (Beljean-Leymarie et al., 2009). La technique est alors réalisée en 4 étapes :

1. Remplir le tube avec l'échantillon (l'eau) à analyser ;
2. Puis, ajouter quelques gouttes de l'indicateur à l'échantillon et mélanger ;
3. Après avoir rempli la seringue (Burette) avec la solution de titrage, verser son contenu goutte à goutte dans le tube en agitant, jusqu'au changement de couleur (virage de l'indicateur) ;
4. Enfin, lire le volume du titrant sur la seringue et utiliser ce résultat pour déterminer les teneurs des espèces à titrer.

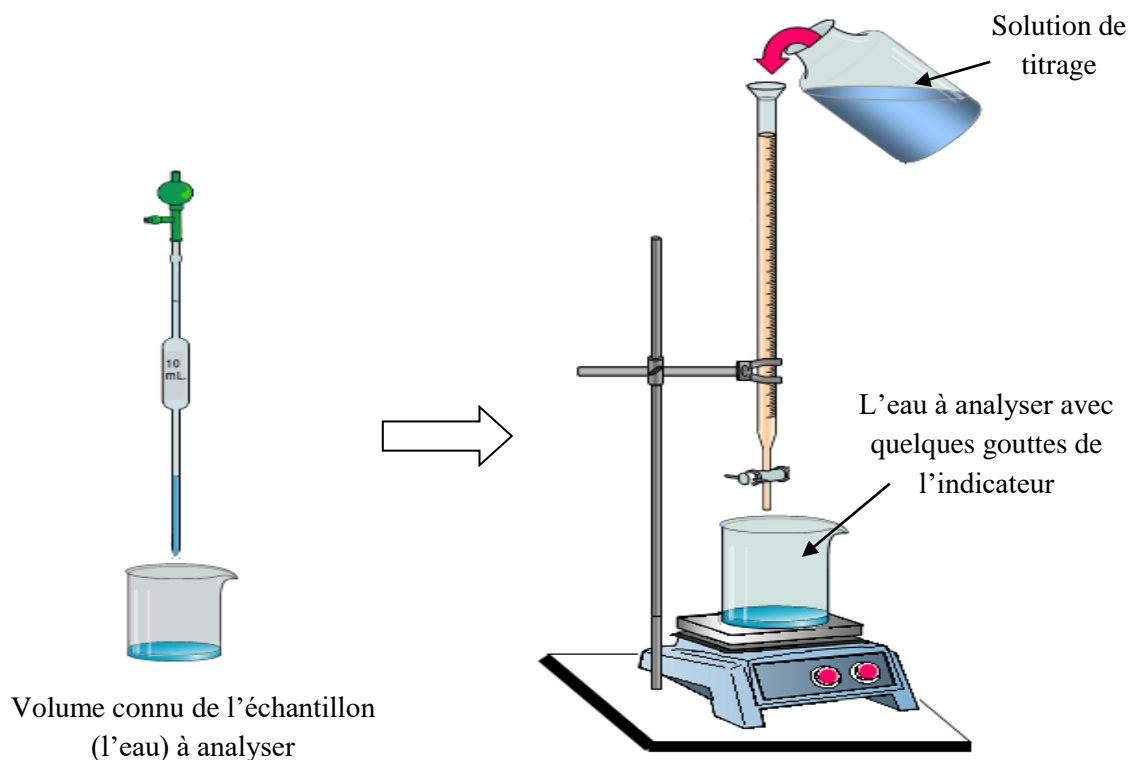


Figure IV.2 : Matériels utilisés en volumétrie.

Le titrage par volumétrie est utilisé souvent pour la mesure de l'acidité, l'alcalinité, la teneur en calcium ou en chlorure, la dureté carbonatée, la dureté totale ... etc, d'une solution aqueuse.

Dans notre travail la volumétrie est utilisée pour déterminer le titre alcalimétrique simple (TA), le titre alcalimétrique complet (TAC) et le titre hydrotimétrique (TH) des eaux étudiées.

#### IV.4.3 Analyse par spectrophotométrie UV-Visible (Colorimétrie)

La spectroscopie UV-Visible permet d'accéder qualitativement à des renseignements quant à la nature des liaisons présentes au sein de l'échantillon mais également de déterminer quantitativement la concentration d'espèces absorbant dans ce domaine spectral. Non destructive et rapide, cette spectroscopie est largement répandue en travaux pratiques de chimie ainsi qu'en analyse chimique ou biochimique.

Le principe de la technique se résume en lorsqu'un faisceau lumineux de longueur d'onde ( $\lambda$ ) donnée traverse une solution colorée, une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration et de l'épaisseur de la solution. La spectrométrie d'absorption moléculaire fonctionne sur les mêmes principes que la spectrométrie d'absorption atomique, mais dans ce cas les substances absorbantes ne sont pas nébulisées. Pour des solutions diluées l'atténuation du faisceau incident est liée à la concentration par une relation exponentielle, qui s'appelle la loi de Beer-Lambert :

$$\log \frac{I}{I_0} = k \cdot l \cdot C$$

Où :  $I_0$  : l'intensité de référence,

$I$  : l'intensité d'analyse,

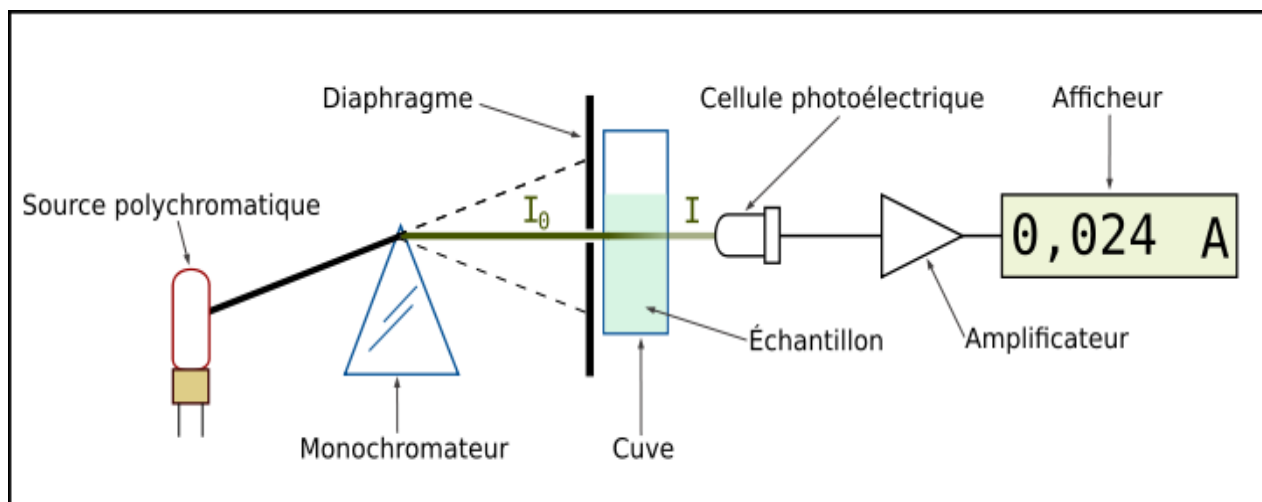
$K$  : un facteur qui tient compte de la longueur d'onde de la lumière incident et de la surface utile des atomes pour intercepter les photons,

$l$  : le chemin optique,

$C$  : la concentration de l'élément dosé.

On définit la Transmission (T) comme le rapport des deux intensités lumineuses où  $T = \frac{I}{I_0}$  et on l'exprime habituellement en pourcentage (%).

On définit la Densité optique (D) comme le logarithme du rapport inverse :  $D = \log \frac{I_0}{I}$



**Figure IV.3:** Schéma de principe d'un spectrophotomètre UV-Visible.

D'une façon général, la loi qui n'est pas suivie dans le cas des suspensions et des solutions fluorescentes, ne se vérifie bien que pour les faibles concentrations. L'adsorption peut être influencée par des substances incolores et une modification de température qui entraîne un déplacement des bandes d'adsorption vers les grandes longueurs d'ondes (**Bernard et al., 2012 ; Rouessac et al., 2004**).

La spectrométrie d'absorption moléculaire (lumière visible ou UV) permet de doser de nombreux composés du moment que les molécules possèdent des liaisons multiples ou des paires d'électrons libres (substances colorées ou non-colorée). Parmi ces composés on peut citer : le silice, l'ammoniaque, les nitrites, des composés à base de phosphore, le chrome hexavalent (ex. bichromates), les cyanures, les détergents anioniques et les cations métalliques ( $\text{Cu}^{2+}$  ;  $\text{Co}^{3+}$  ;  $\text{Cr}^{3+}$  ... etc) (**Benedetto, 1997**).

## IV.5 Protocoles d'analyse et de caractérisation

### IV.5.1 Mesure des paramètres physiques (Température, pH, TDS et CE)

#### a) Principe

La température a été mesurée in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un thermomètre portatif. Cependant, le pH, la CE et le TDS ont été mesurés dans le laboratoire à l'aide d'un multimètre de marque Consort C3010 après l'étalonnage de cet appareil selon le protocole d'étalonnage approprié à chaque paramètre.

**b) Mode opératoire**

Le pH-mètre a été étalonné avec trois solutions étalons de pH : 4, 7 et 10. Le conductimètre a été pareillement étalonné avec trois solutions étalons de conductivités bien déterminées :  $K = 84 \mu\text{S}$ ,  $1413 \mu\text{S}$  et  $12.8 \text{ mS}$ .

Afin de réaliser la mesure de ces paramètres, environ de 50 mL de l'échantillon d'eau à étudier est mis dans un petit bécher, on plonge ensuite la sonde du multimètre dans le bécher et on lit la valeur du paramètre correspondant affiché par l'appareil (Figure IV.4).

**c) Expression des résultats**

On enregistre les valeurs de la CE, pH, TDS ou de la température qui sont affichées sur l'appareil après la stabilisation de la lecture, et les résultats sont exprimés comme suit :

- La température est exprimée en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;
- La conductivité électrique est exprimée en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ;
- Le TDS exprimée en  $\text{mg}/\text{L}$ .



**Figure IV.4 :** Multimètre portatif utilisé (Marque Consort C3010).

## IV.5.2 Détermination des paramètres chimiques

### IV.5.2.1 Détermination du titre alcalimétrique (TA)

#### a) Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré (**Khelifati et Khelifa, 2019**).

#### b) Réactifs utilisés

- L'indicateur phénolphtaléine (Ph-Ph).
- L'acide chlorhydrique (HCl) à 0,02 N.

#### c) Mode opératoire

On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 mL. Puis, on ajoute 2 gouttes de solution de l'indicateur phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas où il n'y a pas de coloration le TA de l'eau est nul ( $\text{pH} < 8,3$ ), c'est-à-dire l'eau à analyser ne contient pas des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et des ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ).

Si la solution a pris la coloration rose, on verse ensuite doucement l'acide (HCl à 0,02 N) dans l'erlenmeyer à l'aide de la burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ( $\text{pH} \approx 8,3$ ). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage (**Rodier et al., 2009**).

#### d) Expression des résultats

Le volume V de HCl (mL) versé en détermination de TA divisé par cinq exprime le TA en milliéquivalents par litre :

$$TA \text{ (m} \acute{\text{e}}\text{q. L}^{-1}\text{)} = \frac{V_{\text{HCl}} \text{ (mL)}}{5}$$

En outre, V (mL) exprime le TA en degrés français ( $1^\circ \text{ f}$  correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

### IV.5.2.2 Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

#### a) Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation du volume d'eau utilisé dans la détermination de TA par un acide dilué en présence du méthyle orange comme indicateur coloré. (**Benkerrou et Sila, 2019**)



**b) Réactifs utilisés**

- L'indicateur coloré méthyle orange.
- L'acide chlorhydrique (HCl) à 0,02 N.

**c) Mode opératoire**

On utilise l'échantillon titré précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. On ajoute 3 à 4 gouttes de solution de méthyle orange et on titre de nouveau avec le même acide (HCl à 0,02 N) jusqu'à disparition de la coloration jaune et apparition de la couleur orange ou rouge clair ( $\text{pH} \approx 4,5$ ). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de  $\text{CO}_2$  qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage. Soit  $V'$  le volume d'acide HCl à 0,02 N versé depuis le début du dosage (**Rodier et al., 2009**).

**d) Expression des résultats**

Pareillement, le volume  $V'$  de HCl (mL) versé en TAC divisé par cinq exprime le TAC en ( $\text{még.L}^{-1}$ ) :

$$TAC (\text{még.L}^{-1}) = \frac{V'_{\text{HCl}} (\text{mL})}{5}$$

$V'$  (mL) exprime également le TAC en degrés français.

**IV.5.2.3 Détermination de la dureté ou du titre hydrotimétrique (TH)****a) Principe**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA) à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (**Rodier et al., 2009**).

**b) Réactifs utilisés**

- Solution d'EDTA à 0,01 M.
- Solution tampon ammoniacal de  $\text{pH} = 10$ .
- Noir d'ériochrome T.

**c) Mode opératoire**

On introduit 40 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 mL, puis on ajoute 10 mL de solution tampon ammoniacal et 3 à 4 gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en violet (le pH de la solution doit être de 10). En maintenant une agitation, nous versons ensuite la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Afin de bien confirmer la fin du dosage, on vérifie que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA. On note le volume de l'EDTA lu sur la burette (**Rodier et al., 2009**).

**d) Expression des résultats**

La concentration totale en calcium et magnésium (la dureté), exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression :

$$TH \text{ (m}é\text{q. L}^{-1}\text{)} = 1000 \frac{C \cdot V_1}{V_2}$$

ou bien :  $TH \text{ (}^{\circ}\text{F)} = 5000 \frac{2 \cdot C \cdot V_1}{V_2}$

$C$  = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

$V_1$  = Volume en mL de la solution d'EDTA.

$V_2$  = Volume d'échantillon.

**IV.5.2.4 Analyse de quelques ions majeurs par spectrophotométrie UV-Visible**

Pour l'ion à analyser, on prépare une gamme de dilutions (solutions filles) d'une solution étalon mère, ensuite on mesure l'absorbance de chacune de ces solutions étalons filles puis on trace la courbe d'étalonnage  $A = f(C)$ .

Pour les échantillons d'eau contenant l'ion à analyser, on mesure l'absorbance à la longueur d'onde ( $\lambda$ ) correspondant à cet ion, puis on repère cet absorbance sur la courbe d'étalonnage et on lit la concentration qui correspond cet absorbance (**Rouessac et al., 2004 ; Ladjama, 2007**).



Figure IV.5 : Spectrophotomètre UV-Visible utilisé.



*Chapitre V :*

**Résultats et  
discussions**

## Introduction

En jugeant que l'eau est indispensable à la vie humaine, nous devons essentiellement établir notre étude à la détermination de sa qualité, sa potabilité ainsi que son aptitude à l'irrigation dans une région parmi les plus peuplées au Sahara algérien, qu'est la vallée d'Oued-Souf. Etant cette région est hyper-aride, elle n'a donc qu'une seule ressource en eaux douces, les eaux souterraines. Rappelons que dans toute la Wilaya d'Oued-Souf, environ de 140 forages sont exploitées par les autorités responsables de l'eau pour l'alimentation en eaux potables (AEP), et des centaines de puits traditionnels sont utilisés par les agriculteurs dans le domaine de l'irrigation. Les forages destinés à l'AEP à Oued-Souf s'alimentent souvent de la nappe du complexe terminal (CT) .(Khadraoui, 2011 ; Khechana, 2014).

Notre étude est consacrée principalement à la caractérisation physico-chimique des eaux souterraines exploitées pour l'AEP dans la région d'Oued-Souf. Dans ce chapitre, nous discutons d'abord les résultats d'analyse et de caractérisation obtenus dans notre laboratoire de 10 différents forages de l'AEP. Ensuite et afin d'enrichir notre étude, une deuxième partie de ce chapitre sera consacré à la discussion des résultats d'analyse des espèces chimiques majeures obtenus par les autorités responsables de l'eau dans la région.

### V.1 Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la vallée d'Oued-Souf

Afin de mener à bien notre travail et atteindre les objectifs souhaités, nous avons procédé à un échantillonnage selon l'axe Sud–Nord c'est à dire selon le sens d'écoulement des eaux de la nappe du Complexe Terminal (CT) (Khechana et Derradji, 2014). Les échantillons ont été pris des communes suivantes : Mih-Ouansa, El-Oued, Ourmas, Taghzout, Guemar, Réguiba, Houbba, Debila, Magrane et Hassi-Khalifa à partir des forages destinés à l'AEP (Figure V.1). Le tableau V.1 rassemble les coordonnées géographiques des différents points de prélèvements choisis. Les résultats de cette étude sont présentés initialement en termes de Température (T) (°C), pH, Conductivité électrique (CE) ( $\mu\text{s.cm}^{-2}$ ) et Taux de salinité (TDS) ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) et ensuite en Titre alcalimétrique (TA) ( $\text{m}\acute{\text{e}}\text{q.L}^{-1}$  et F°), Titre alcalimétrique complet (TAC) ( $\text{m}\acute{\text{e}}\text{q.L}^{-1}$  et F°) et en Titre hydrotimétrique (TH) ( $\text{m}\acute{\text{e}}\text{q.L}^{-1}$  et F°).

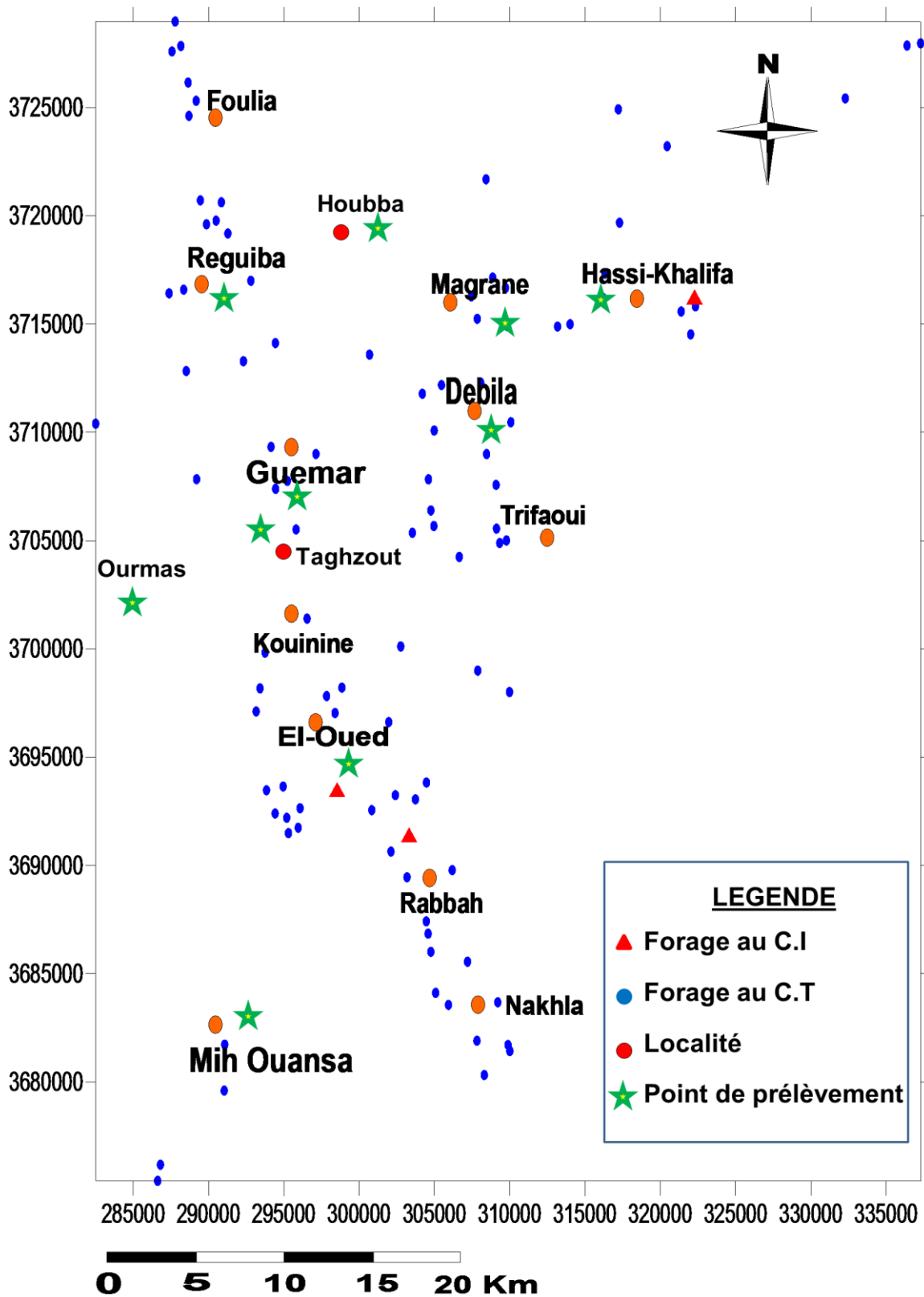


Figure V.1: Carte d'inventaire des forages exploitant le CT et CI sur la vallée d'Oued-Souf.

Tableau V.1 : Les coordonnées des points de prélèvement (forages d'eau du C.T).

| Point de prélèvement | X      | Y       | Z     |
|----------------------|--------|---------|-------|
| Reguiba              | 287545 | 3716827 | 57    |
| Houbba               | 289865 | 3716746 | 46    |
| Hassi-Khalifa        | 314192 | 3715382 | 52.74 |
| Magrane              | 306459 | 3715719 | 60    |
| Debila               | 308629 | 3709389 | 62    |
| Guemar               | 296043 | 3707551 | 60    |
| Taghzout             | 294823 | 3706036 | 77    |
| Ourmess              | 293370 | 3696082 | 80    |
| El-Oued              | 298033 | 3695244 | 79    |
| Mih-Ouansa           | 286799 | 3675852 | 91    |

### V.1.1 La température (T)

Les résultats obtenus (Tableau V.2) montrent que les valeurs de la T varient entre 19.3 et 23.2 °C. On peut dire que la T de l'eau souterraine de la vallée d'Oued-Souf est généralement voisine de 20°C, tantôt plus basse ou plus élevée, sans que des tendances se dessinent en suivant, par exemple, une ligne d'écoulement de la nappe ou qu'elle puisse être liée à l'activité humaine. Par ailleurs, les valeurs mesurées de la T dépendent également de l'heure de la mesure, de la saison et de l'ensoleillement lorsque la nappe est peu profonde et qu'elle est dans la zone d'hétérotherme journalière. Au-delà, et jusque vers 30 – 40 m de profondeur, des variations apparaissent encore, selon le mois de l'année ou la saison (**Khechana, 2014**).

Les points de prélèvement, puits du réseau d'échantillonnage, sont à des profondeurs variables, pouvant s'échelonner entre un et une cinquantaine de mètres. Les températures y dépendent de facteurs climatiques. Pour être comparables, il faudrait que les mesures puissent être faites à la même heure, à la même profondeur et le même jour, ce qui n'est pas réaliste.

**Tableau V.2 :** Résultats de T (°C) et du pH des différents points de prélèvement à la vallée d'Oued-Souf.

| Point de prélèvement | T (°C) | pH   |
|----------------------|--------|------|
| Reguiba              | 23.2   | 7.14 |
| Houbba               | 22.9   | 7.03 |
| Hassi-Khalifa        | 22.1   | 6.71 |
| Magrane              | 19.3   | 6.82 |
| Debila               | 21.6   | 6.91 |
| Guemar               | 23     | 7.37 |
| Taghzout             | 22.5   | 6.91 |
| Ourmess              | 22.7   | 6.94 |
| El-Oued              | 22,5   | 7,54 |
| Mih-Ouansa           | 22,6   | 7,41 |

### V.1.2 Le pH

On remarque que pour tous les points d'échantillonnage étudiés le pH est situé entre 6.8 et 7.5 avec une valeur moyenne de 7.07 (Tableau V.2). Ces résultats sont en bon accord avec les recommandations de l'OMS et également avec la norme Algérienne 6.5 à 8.5 (MRE, 2011 ; WHO, 2011).

### V.1.3 La conductivité électrique (CE)

La valeur de la CE traduit le degré de minéralisation d'une eau, elle augmente avec la teneur en matières minérales ioniques, si celle-ci est grande, la conductivité est élevée et l'inverse (Hill et al., 2008). La CE a été mesurée pour tous les prélèvements et les résultats obtenus sont présentés dans la figure V.2.

Les résultats obtenus (Figure V.2) montrent que les valeurs de la CE varient entre 3770 et 5580  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , et montrent aussi que les eaux souterraines de cette région ont une conductivité très élevée qui dépasse la norme algérienne de potabilité de l'eau (2800  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) (MRE, 2011). En outre, nous constatons que tous les échantillons analysés ont des CE supérieures à 3000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , donc on peut dire que ces eaux sont très minéralisées (Tableau V.3).



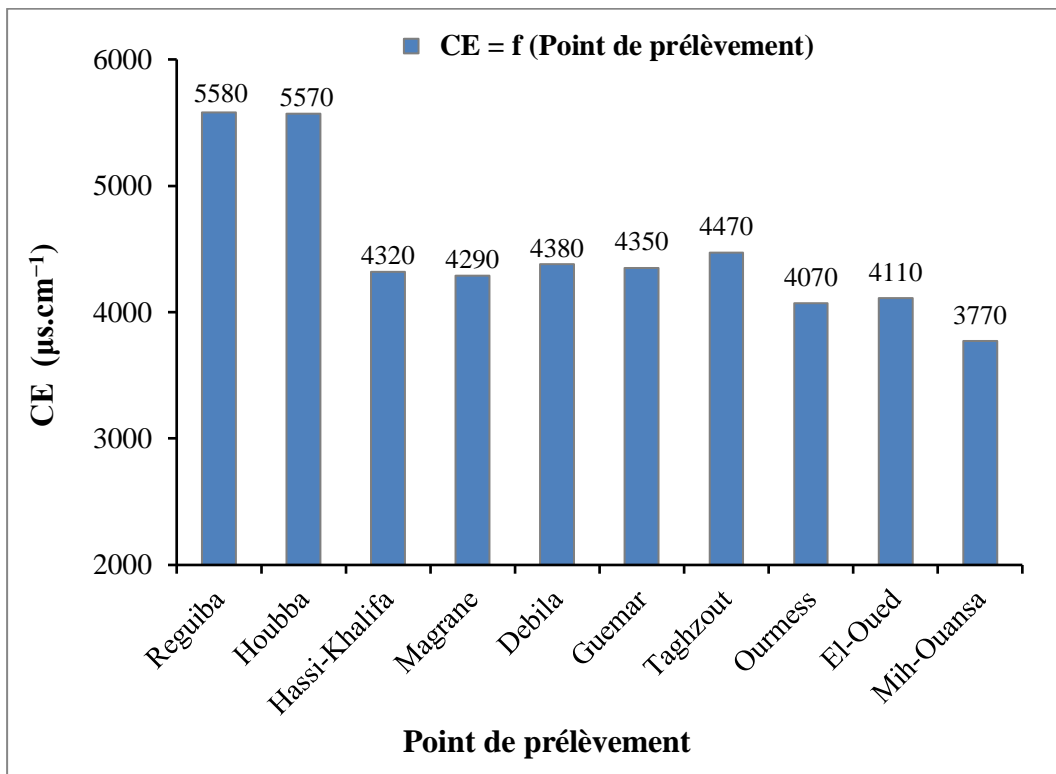


Figure V.2 : CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) des eaux étudiées.

Tableau V.3 : classes de minéralisation en fonction de la conductivité électrique

| Conductivité électrique ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) à 25 °C | Degré de minéralisation |
|--|-------------------------|
| < 450  | Très faible             |
| 450 – 750  | Faible                  |
| 750 – 1500   | Moyen                   |
| 1500 – 2300  | Moyennement élevé       |
| 2300 – 3000  | Elevé                   |
| > 3000   | Très élevé              |

L'analyse des résultats montre également que la CE augmente dans le sens Sud-Nord de la région. Généralement la CE des eaux souterraines d'une région croît de l'amont vers l'aval et avec le sens d'écoulement de la nappe (Nasri et al., 2018). Une étude similaire a été effectuée par Khechana et Derradji, (2014) sur la vallée d'Oued-Souf. Les auteurs ont trouvé que les

résultats obtenus permettent d'établir la carte de CE des eaux de cette région. A partir de cette carte, trois grandes zones ont été définies :

**a) La zone I :** Située au Nord de la zone d'étude et a une conductivité très élevée a cause des sels qui proviennent du Sud vers le Nord par l'écoulement naturel des eaux souterraines qui se chargent de plus en plus des sels lors de son écoulement, en plus, c'est une zone des chotts caractérisée par une forte évaporation.

**b) La zone II :** Située entre Houbba au nord et El-Oued au sud où la CE est relativement élevée, et celui-là peut être dû à l'existence des Ghouts inondés ou humides dans cette zone, où la CE est élevée et augmente par évaporation. Par ailleurs, dans cette zone il y'a des points ont une CE légèrement faible qu'est probablement dû à l'apport des eaux des forages destinés à l'alimentation en eau potable, comme le cas des zones de Hassi-Khalifa, Magrane et Debila dont la conductivité comprise entre 2040 et 5100  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

**c) Zone III :** Située au sud de la zone II, elle est caractérisée par les agricultures traditionnelles où la CE est relativement faible, comprise généralement entre 1800 et 4500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à l'exception de quelques zones d'agriculture irriguée par les nappes profondes ou occupées par les Ghouts inondés.

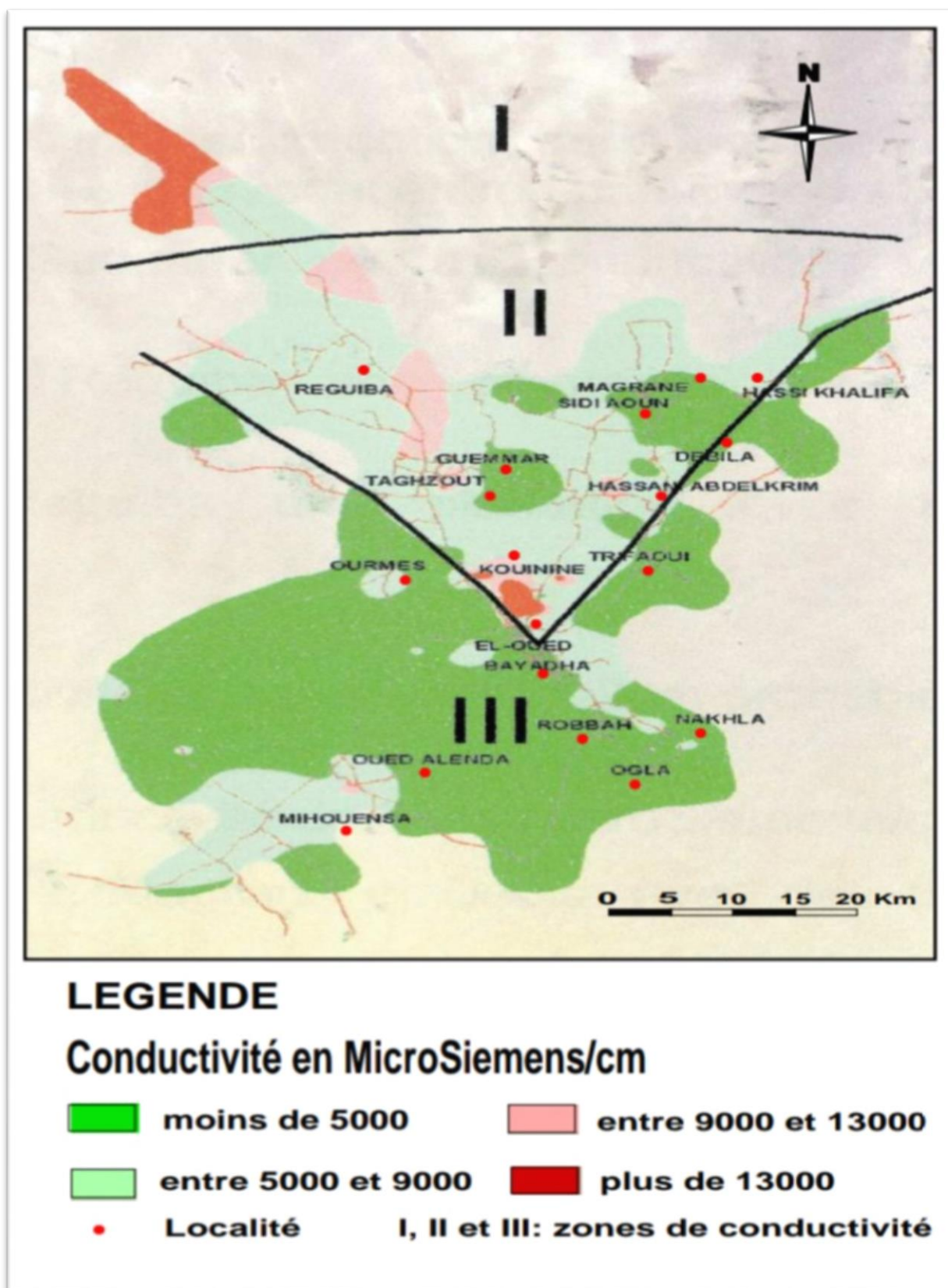


Figure V.3 : Carte de la conductivité en avril 2002 (Khechana et Derradji, 2014)

#### V.1.4 Le taux de salinité (TDS)

La salinité d'une eau correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Elle est obtenue par mesure simple à l'aide d'un TDS-mètre ou un multimètre mesurant le TDS. Les résultats des TDS mesurés en fonction du point de prélèvement sont présentés dans la figure V.3.

D'après les résultats obtenus (Figure V.3) les valeurs de TDS varient entre 1970 et 2402  $\text{mg.L}^{-1}$ . Ces résultats montrent que 100 % des eaux analysées ont une salinité supérieure aux normes algériennes ( $1500 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (MRE, 2011) et celles de l'OMS ( $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (WHO, 2011). On peut dire alors que les eaux de cette région sont fortement minéralisées. On remarque également que le sens d'accroissement de la minéralisation se fait du sud vers le nord dans la moitié sud de la région (de Mih-Ouensa à Guemar), et se fait du sud-est vers le nord-ouest dans la moitié nord de la région d'Oued-Souf. Ce qui correspond approximativement au sens d'écoulement de la nappe.

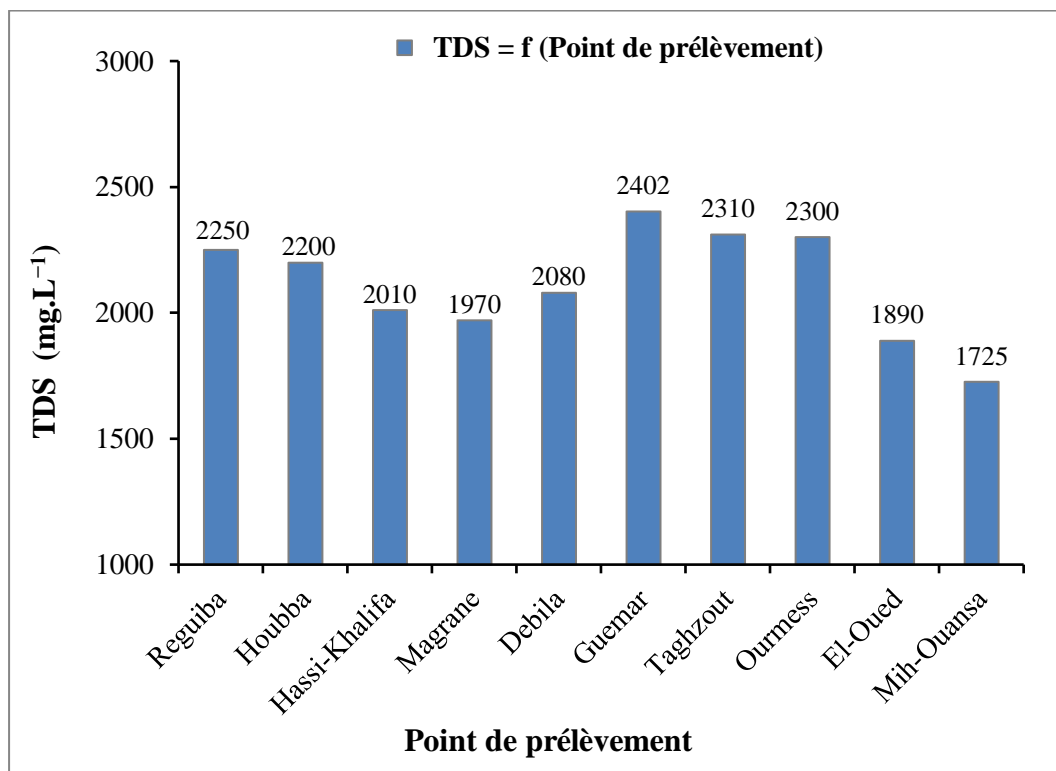
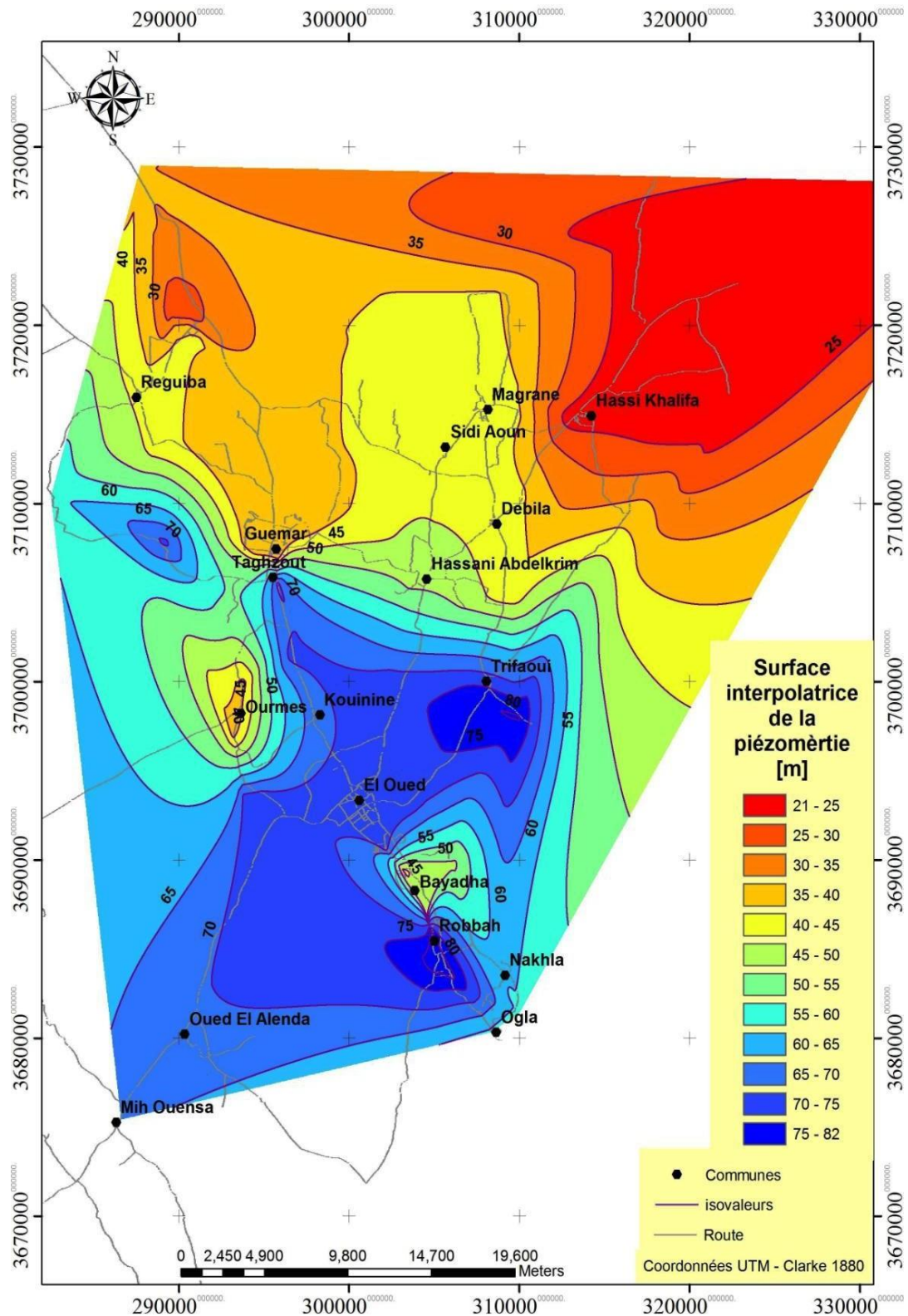


Figure V.4 : TDS ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) des eaux étudiées.



**Figure V.5 :** Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2011 (Khechana, 2014)

### V.1.5 L'alcalinité de l'eau (TA et TAC)

L'alcalinité d'une eau est fortement liée à sa dureté et donc à son caractère corrosif et à sa capacité d'entartrage des canalisations, donc il est indispensable de discuter l'alcalinité des eaux étudiées. À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ). On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont le titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique simple et le titre alcalimétrique complet (TAC).

#### V.1.5.1 Titre alcalimétrique (TA)

Le TA d'une eau correspond à la somme des concentrations des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et des ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) présents dans cette eau. Selon Rodier et ces collaborateurs (**Rodier et al., 2009**), si l'eau analysée présente un pH inférieur à 8.3, ça veut dire que son TA est nul car il n'y a presque aucune trace des ions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{OH}^-$  dans cette eau. D'après les résultats de pH obtenus précédemment (Tableau V.2), nous constatons que tous les eaux analysées ont un pH inférieur à 8.3, on peut dire alors que le TA est dans tous les cas nul et par conséquent la concentration en ions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{OH}^-$  est également nul.

#### V.1.5.2 Titre alcalimétrique complet (TAC)

Pour prendre également en compte les ions bicarbonates (appelés aussi hydrogénocarbonates) ( $\text{HCO}_3^-$ ) présents dans l'eau, on détermine le TAC. Puisque le TA de toutes les eaux étudiées est nul, on peut dire alors que le TAC calculé pour tous les échantillons d'eau (Tableau V.4) correspond seulement à la concentration des ions  $\text{HCO}_3^-$ .

**Tableau V.4** : Résultats du TAC et du TH des différents points Analysés  
(vallée d'Oued-Souf).

| Point de prélèvement | TAC                    |       | TH                     |       |
|----------------------|------------------------|-------|------------------------|-------|
|                      | (méq.L <sup>-1</sup> ) | (F°)  | (méq.L <sup>-1</sup> ) | (F°)  |
| <b>Reguiba</b>       | 3.54                   | 17.7  | 13.33                  | 133.3 |
| <b>Houbba</b>        | 3.01                   | 15.05 | 12.9                   | 129   |
| <b>Hassi-Khalifa</b> | 3.09                   | 15.46 | 11.46                  | 114.6 |
| <b>Magrane</b>       | 2.94                   | 14.73 | 10.96                  | 109.6 |

|                   |      |       |       |       |
|-------------------|------|-------|-------|-------|
| <b>Debila</b>     | 3.28 | 16.4  | 12.23 | 122.3 |
| <b>Guemar</b>     | 3.6  | 18    | 13.81 | 138.1 |
| <b>Taghzout</b>   | 3.06 | 15.3  | 13.4  | 134   |
| <b>Ourmess</b>    | 2.91 | 14.55 | 13.4  | 134   |
| <b>El-Oued</b>    | 2.62 | 13.1  | 10.8  | 108   |
| <b>Mih-Ouansa</b> | 2.68 | 13.4  | 11.3  | 113   |

Les résultats du tableau V.4 montrent d'abord que toutes les eaux analysées ont un TAC assez élevé et par conséquent une concentration en ions bicarbonates ou hydrogencarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) élevée. Une grande partie des ions  $\text{HCO}_3^-$  présents dans ces eaux peut être liée à la dissolution du bicarbonate de calcium  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  et le bicarbonate de magnésium  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . Ces deux sels sont solubles dans l'eau mais avec l'augmentation de la température de l'eau, ils peuvent se précipiter sous forme de  $\text{CaCO}_3$  et  $\text{MgCO}_3$  et cela peut engendrer des entartrages dans les canalisations d'eau. En effet, un TAC élevée n'est pas sans conséquence, puisque cela peut engendrer une eau trouble et dure, ainsi que des dégradations importantes dans les réseaux et les canalisations d'eau.

#### V.1.6 Titre hydrotimétrique (TH)

La potabilité de l'eau peut être évaluée par la dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) qui correspond à la somme des concentrations en ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Si la concentration des sels de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  est trop élevée, on dit que l'eau est dure. Les résultats du tableau V.4 montrent que tous les échantillons des eaux analysées ont présenté un TH supérieur à la norme de l'OMS (30 °F). La totalité des eaux analysées (100 % des échantillons) sont très dures, car le TH est toujours supérieur à 54 °F (Tableau V.5).

**Tableau V.5 :** Dureté de l'eau en fonction de son TH.

|                          |              |                  |                |                |                |
|--------------------------|--------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Valeur du TH (°F)</b> | <b>0 – 7</b> | <b>7 – 22</b>    | <b>22 – 32</b> | <b>32 – 54</b> | <b>&gt; 54</b> |
| <b>Dureté de l'eau</b>   | Douce        | Modérément douce | Assez douce    | Dure           | Très dure      |

La dureté élevée a des conséquences plus ou moins néfastes dans la vie quotidienne de l'homme telle que la consommation excessive du savon, la mauvaise cuisson des légumes secs et le goût inacceptable ...etc, ce qui oblige les citoyens dans cette région à acheter l'eau douce des propriétaires. Nous pouvons donc dire que les eaux souterraines de la nappe du complexe terminal d'Oued-Souf sont de qualité chimique médiocre et mauvaise et impropre à la consommation humaine selon les normes de l'OMS.

## V.2 Discussion des résultats d'analyse des espèces chimiques majeures

Dans cette partie, nous allons discuter les données d'analyse de quelques espèces chimiques majeures dissoutes dans l'eau telles que le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Les données discutées (Tableau V.6) ce sont des résultats obtenus auparavant par la Direction des Ressources en Eaux (DRE) et la société Algérienne Des Eaux (ADE) de la Wilaya d'Eloued.

Les données du tableau V.6 montrent des valeurs élevées des concentrations de toutes les espèces chimiques ces concentrations sont supérieures aux normes dans la plus part des cas.

**Tableau V.6 :** Données d'analyse des espèces chimiques obtenues par la DRE et l'ADE d'Eloued.

| Point de prélèvement \ Élément Chimique | $\text{Na}^+$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{K}^+$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{Ca}^{2+}$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{Mg}^{2+}$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{Cl}^-$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{SO}_4^{2-}$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{NO}_3^-$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | $\text{HCO}_3^-$<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) |
|---|--|---------------------------------------|---|---|--|---|--|---|
| <b>Reguiba</b>                          | 698.6                                  | 27.6                                  | 250                                       | 189.4                                     | 958.6                                  | 5788.4                                      | 18.23                                    | 46.6                                      |
| <b>Houbba</b>                           | 779.1                                  | 29.9                                  | 364                                       | 84.2                                      | 1179.4                                 | 6712  | 22.47                                    | 45.1                                      |
| <b>Hassi-Khalifa</b>                    | 625.3                                  | 27.6                                  | 352                                       | 97.3                                      | 1189.2                                 | 6635.3                                      | 21.98                                    | 45.4                                      |
| <b>Magrane</b>                          | 701.2                                  | 30.9                                  | 274                                       | 164.4                                     | 1100.2                                 | 8075.6                                      | 16.74                                    | 45.1                                      |
| <b>Debila</b>                           | 701.2                                  | 31.3                                  | 290                                       | 112.5                                     | 1029.6                                 | 7454.6                                      | 16.25                                    | 43.9                                      |
| <b>Guemar</b>                           | 612.6                                  | 24.6                                  | 274                                       | 140.2                                     | 1025.9                                 | 4436.5                                      | 20.49                                    | 46.3                                      |
| <b>Taghzout</b>                         | 579.1                                  | 28.9                                  | 328                                       | 204                                       | 1792.7                                 | 5345.2                                      | 17.24                                    | 45.1                                      |
| <b>Ourmess</b>                          | 626.5                                  | 28.2                                  | 380                                       | 107.4                                     | 1118.2                                 | 8950.6                                      | 20.93                                    | 46.3                                      |
| <b>El-Oued</b>                          | 688.6                                  | 26.4                                  | 314                                       | 182.3                                     | 1118.4                                 | 5505.4                                      | 21.91                                    | 48.8                                      |
| <b>Mih-Ouansa</b>                       | 513.9                                  | 27.2                                  | 248                                       | 155.2                                     | 1019.5                                 | 4856.7                                      | 18.53                                    | 46.3                                      |



### V.2.1 Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ )

Pour les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  (Tableau V.6), on remarque que tous les échantillons ont des concentrations importantes et supérieure aux normes (Tableau V.7). Les fortes teneurs se trouvent dans la zone Houbba, Magrane et Debila c'est-à-dire au nord-est de la vallée où la concentration est supérieure à  $700 \text{ mg.L}^{-1}$  pour le  $\text{Na}^+$  et environ de  $30 \text{ mg.L}^{-1}$  pour le  $\text{K}^+$ . L'origine de la quantité importante en ions sodium et potassium est peut être liée principalement à la dissolution des roches salifères comme l'halite ( $\text{NaCl}$ ), la sylvite ( $\text{KCl}$ ) et la carnallite ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$ ) (Nasri et al., 2018).

**Tableau V.7 :** Normes de potabilité de l'eau de l'OMS (2011).

| Espèce chimique                 | $C_{\text{Max Accept}} (\text{mg.L}^{-1})$ |
|---------------------------------|--|
| Sodium ( $\text{Na}^+$ )        | 150  |
| Potassium ( $\text{K}^+$ )      | 12   |
| Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )    | 75   |
| Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )  | 50   |
| Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )     | 200  |
| Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) | 250  |
| Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )    | 50   |

- $C_{\text{Max Accept}}$  : Concentration maximale acceptable : à partir de laquelle une eau provoque une certaine réticence chez les consommateurs ;
- P : Pourcentage des échantillons ayant une concentration inférieure à la concentration maximale acceptable.

### V.2.2 Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Les données du tableau V.6 montrent que les teneurs des deux éléments responsables à la dureté de l'eau ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) sont toujours supérieurs aux normes. Cela à été également montré dans la partie de détermination de la dureté ( $\delta$  : V.1.6) où nous avons trouvé que tous les échantillons ont présenté un TH supérieur à la norme de l'OMS ( $30 \text{ }^\circ\text{F}$ ), et la totalité des eaux analysées sont très dures ( $\text{TH} > 54 \text{ }^\circ\text{F}$ ).

En outre, nous remarquons que dans tous les cas le  $\text{Ca}^{2+}$  est l'élément le plus dominant que celui du  $\text{Mg}^{2+}$ . Rappelons que l'origine du  $\text{Ca}^{2+}$  dans les eaux souterraines provient de la dissolution des formations carbonatées, calcites ( $\text{CaCO}_3$ ) et de la dolomie  $[(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3]$  ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypseuses  $[\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$  et anhydrites ( $\text{CaSO}_4$ ). Cependant, l'origine du  $\text{Mg}^{2+}$  est la dissolution des formations évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), la kiesérite ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), et carbonatés, la dolomie  $[(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3]$  (Nasri et al., 2018).

### V.2.3 Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Pour les teneurs en  $\text{Cl}^-$ , les concentrations sont toujours élevées et supérieures aux normes. Néanmoins, la concentration en ions chlorures est dans tous les cas égale presque le double de la concentration du sodium. Dans ce cas, ce sont les chlorures qui l'emportent sur le sodium à cause d'un excès de dissolution de cet élément due au lessivage des terrains salifères (gypseux, marneux ou argileux) et par conséquent une libération des chlorures (Khechana, 2014).

### V.2.4 Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

L'examen des données du tableau V.6 a permis de remarquer aussi que la totalité des points d'eau étudiés ont une concentration en sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) supérieure aux normes. La présence des sulfates dans les eaux souterraines est généralement liée à la dissolution des roches évaporitiques particulièrement gypsifères ( $\text{CaSO}_4$ ). (Khadraoui, 2011).

### V.2.5 Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

L'excès des nitrates est l'un des principales causes de dégradation de la qualité des eaux souterraines. Les nitrates proviennent essentiellement de pollutions diffuses agricoles comme : la fertilisation par l'épandage d'engrais chimiques ou organiques azotés et l'élevage intensif (déjections animales), des rejets domestiques.

Les données du tableau V.6 montrent que des concentrations des nitrates varient entre 16 et 22  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Ces données montrent également que 100 % des eaux analysées ont des valeurs inférieures à la norme 50  $\text{mg/l}$  (Tableau V.7), et elles sont acceptables (toujours dans les normes).

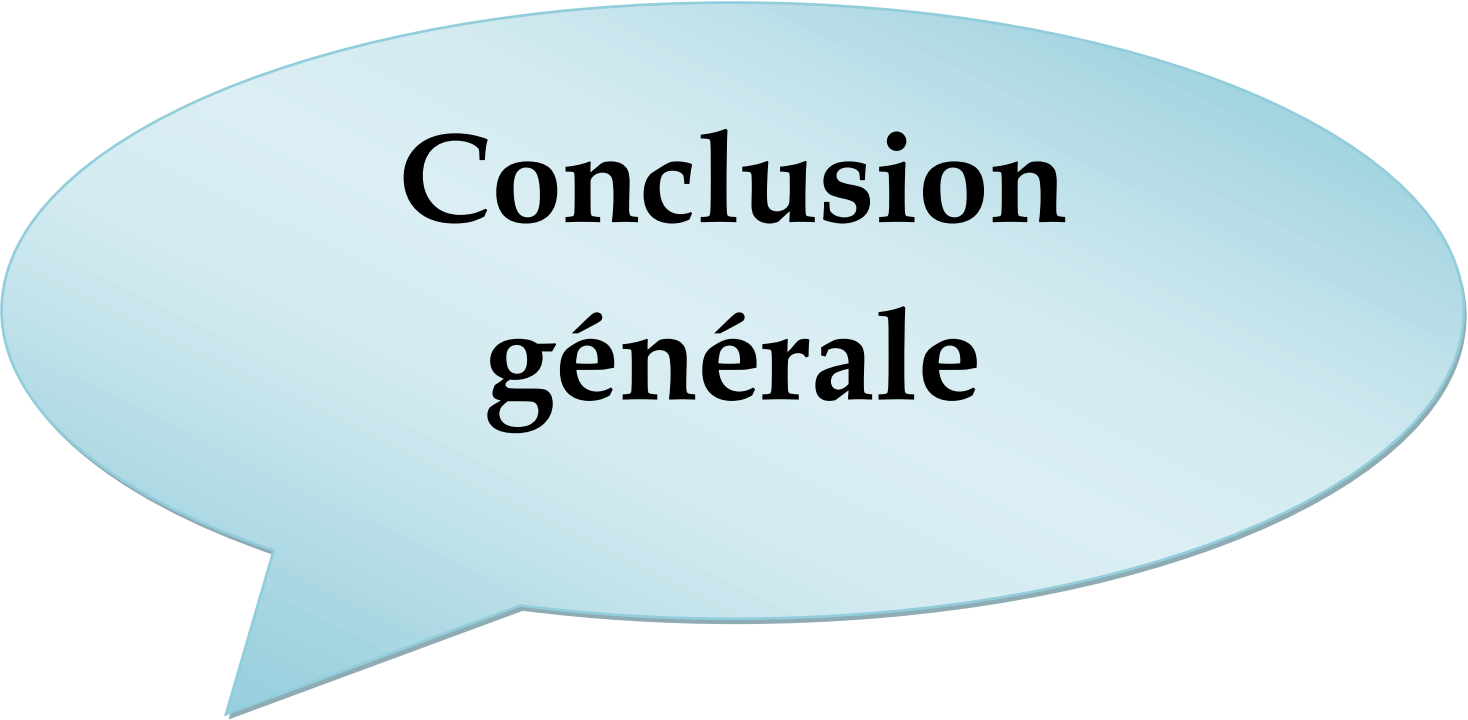
### V.2.6 Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Généralement dans les eaux naturelles la teneur en ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) qui expriment l'alcalinité, varie de 10 à 350  $\text{mg.L}^{-1}$ . Pour les échantillons étudiés la teneur varie entre 43.9 et 48.8  $\text{mg.L}^{-1}$ . On peut dire alors, que l'alcalinité des eaux étudiées est acceptable. Les  $\text{HCO}_3^-$  sont dus à la solubilisation des roches carbonatés en relation de la charge du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et du pH. Les facteurs climatiques et le recyclage des eaux de drainage peuvent contribuer à l'enrichissement des eaux souterraines par ces espèces.

### Conclusion

L'étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable dans la région d'Oued-Souf a montré que la température varie entre 19.3 et 23.2 °C, et le pH est situé entre 6.8 et 7.5 avec une valeur moyenne de 7.07. C'est-à-dire que ces deux paramètres sont en bon accord avec les recommandations algériennes et de l'OMS. Mais, ces eaux sont fortement minéralisées car leur CE est élevée. Le TDS varie entre 1970 et 2402  $\text{mg.L}^{-1}$  et augmente dans le même sens d'écoulement de la nappe. Le TA est dans tous les cas nul et par conséquent la concentration en ions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{OH}^-$  est également nul, parce que le pH est toujours inférieur à 8.3. Cependant, les résultats obtenus montrent que le TAC est toujours assez élevé et par conséquent une concentration en ions  $\text{HCO}_3^-$  élevée. La totalité des eaux analysées (100 % des échantillons) sont très dures, car le TH est toujours supérieur à 54 °F.

Les teneurs des éléments chimiques majeures sont très élevées notamment pour le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  où les concentrations dépassent énormément les normes de l'eau potable. Néanmoins, les teneurs en les  $\text{NO}_3^-$  présentent des valeurs acceptables et inférieures à la norme.



**Conclusion  
générale**

Dans ce travail nous étions intéressés à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines destinées à l'AEP dans la région d'Oued-Souf. Cette région est parmi les plus peuplées au Sahara algérien et elle n'a que les eaux souterraines comme ressource en eaux douces.

L'étude bibliographique effectuée sur la région d'Oued-Souf nous a permis principalement de constater que :

- Cette région est riche en matière de ressources en eaux souterraines. Cette richesse présente sous forme de trois nappes : la nappe phréatique, la nappe du Complexe Terminal (CT) et celle du Continental Intercalaire (CI).
- Le climat de la région est un climat saharien (hyper-aride) se caractérise par une température élevée, un faible taux de précipitation, une évaporation importante et un rayonnement solaire excessif.
- La région du Souf, est confrontée à un problème de remontée de la nappe phréatique en certaines zones et les conséquences liées à ce phénomène telle que la pollution de cette même nappe.

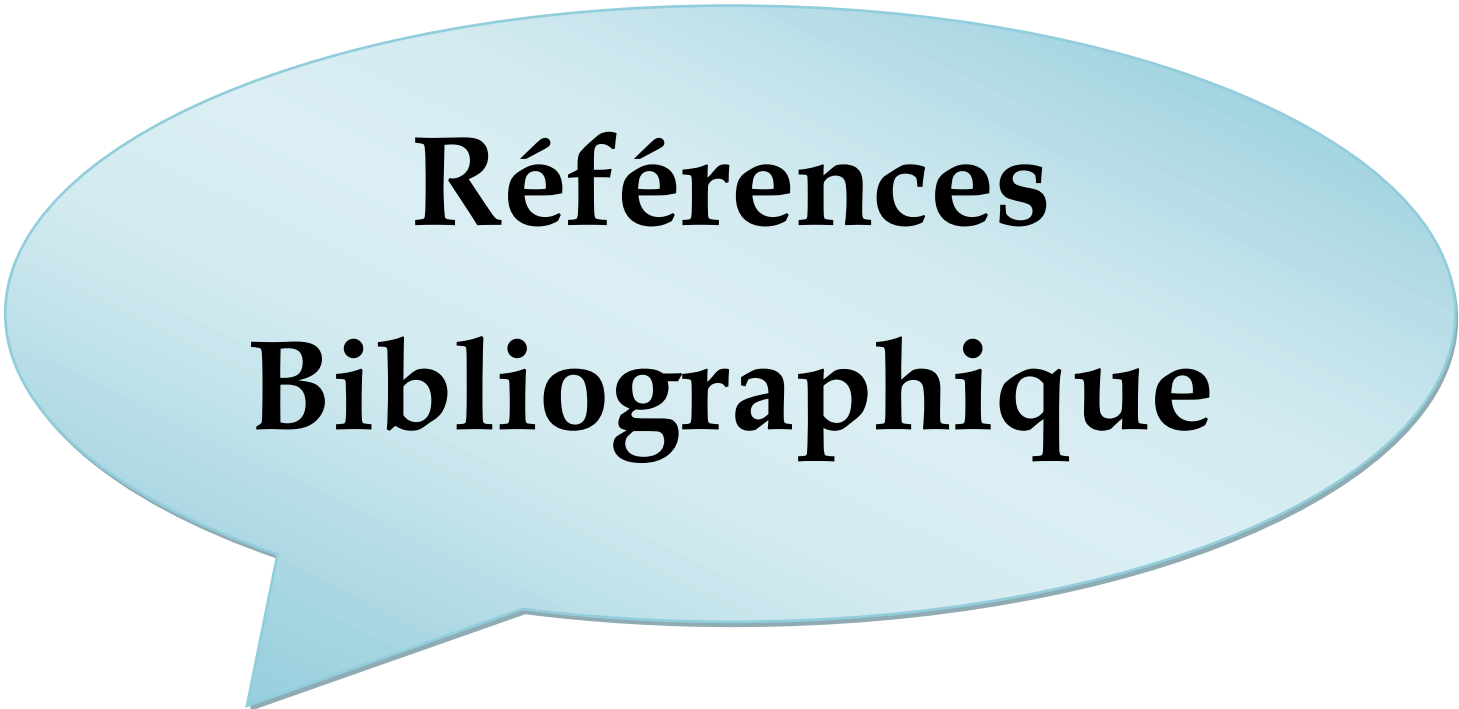
L'étude expérimentale d'analyse et de caractérisation physico-chimique des eaux souterraines destinées à l'AEP dans la région d'Oued-Souf a montré que :

- La température (environ de 20°C) et le pH (environ de 7.07) des eaux étudiées sont en bon accord avec les recommandations algériennes et de l'OMS.
- Les eaux souterraines d'Oued-Souf sont fortement minéralisées car leur CE et leur TDS sont élevés. Cette minéralisation augmente du Sud au Nord c'est-à-dire dans le même sens d'écoulement de la nappe.
- Le TA est dans tous les cas nul et par conséquent la concentration en ions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{OH}^-$  est également nul. Cependant, le TAC est toujours assez élevé et par conséquent une concentration en ions  $\text{HCO}_3^-$  élevée.
- Le TH de toutes les eaux analysées est supérieur à la norme de l'OMS (30 °F) et la totalité des eaux sont très dures, car leur TH est toujours supérieur à 54 °F.

La discussion des données d'analyse de quelques espèces chimiques majeures dissoutes dans l'eau nous a permis de connaître que les teneurs de ces espèces chimiques sont très élevées notamment pour le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  où la concentration dépasse énormément les

normes de l'eau potable. Néanmoins, les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  présentent des valeurs acceptables et inférieures à la norme. Généralement les espèces chimiques trouvées à fortes concentrations sont d'origine géologique, autrement dit, ils sont libérés par la roche mère riche en ces espèces. Ce type de salinisation se développe dans les dépressions soumises à un climat évaporant.

En fin, on peut conclure que ces eaux sont de mauvaise qualité physico-chimique pour la consommation humaine dans toutes les zones de la vallée d'Oued-Souf. Il est à signaler que ces eaux nécessitent un traitement adéquat et un contrôle permanent si on veut l'utiliser pour la consommation humaine.



**Références  
Bibliographique**

## Références bibliographiques

---

**Abibsi N. (2011)** Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phyto-épuration) pour l'irrigation des espaces verts : Application à un quartier de la ville de Biskra, Mémoire de Master, Université de Biskra, Algérie.

**Adnnane A., Moulla Zineb Reghis S., Guendouz A. (1997)** Etude isotopique et hydro chimique de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région d'Oued Souf : Rapport final des synthèses, Centre de développement des techniques nucléaires, Division datation et hydrologie isotopique.

**Aggoune K., Bouchemel N. (2019)** Analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh et des quatre forages de la nappe phréatique d'Oued El Maiz-Guelma, Mémoire de Master, Université de Guelma, Algérie.

**Aichaoui Z., Boukendil C. (2016)** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la fraction d'Ouled Belgacem (Commune d'Ain Sultane, Wilaya d'Ain defla), Mémoire de Master, Université de Khemis Miliana, Algérie.

**Aissaoui A. (2013)** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'Oued Athmania (Wilaya de Mila) par les activités agricoles, Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou, Algérie.

**Alpha S. M. (2005)** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite distribuée par l'EDMA.SA dans la ville de Bamako : Evaluation saisonnière, Thèse de doctorat, Université de Bamako, Mali.

**ANRH. (1993)** Log de forage F1 à l'Albien.

**ANRH. (2005)** Inventaire de forages d'eau de la wilaya d'El-oued.19 pages.

**Aouissi L., Merabti W. (2019)** Eau : Etude physico-chimique et bactériologique et développement d'un système de traitement (Membrane à base de charbon actif), Mémoire de Master, Université de Guelma, Algérie.

**Armandine Les Landes A. (2014)** Impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques, Thèse de doctorat, Université Rennes 1, France.

**Atia M. O., Zine A. (2019)** Apport des SIG dans l'étude de la qualité des eaux souterraines par la méthode d'analyse hiérarchique des Procédés (AHP) dans la région Nord-Ouest d'El-oued, Mémoire de Master, Université d'El oued, Algérie.

**Ayad W. (2016)** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouch (Wilaya de Skikda), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.



## Références bibliographiques

---

**Ayad W. (2017)** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : Cas des puits de la région d'El-Harrouch (Wilaya de Skikda), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.

**Belhadj S., Yahia-Dahmana S. (2018)** Analyse de la qualité de l'eau suivant les normes de potabilité de quelques sources naturelle dans la commune de Feraoun (Wilaya Bejaia), Mémoire de Master, Université de Bejaia, Algérie.

**Beljean-Leymarie M., Dubost J. P., Galliot-Guilley M. (2006)** Chimie analytique : Chimie des solutions, Elsevier Masson, Paris, France.

**Ben Abdallah S., Bourenane A. (2013)** Analyses physico-chimiques de l'eau de Générale Emballage en vue de son utilisation pour l'élaboration d'une colle, Mémoire de Master, Université de Béjaïa, Algérie.

**Ben Amara Z., Megdoud S. (2019)** Contribution à l'étude du régime alimentaire du lézard Scincus (LINNAEUS, 1759) dans la région du Souf, Mémoire de Master, Université d'El Oued, Algérie.

**Ben doyen S. (2015)** Contribution à l'étude de l'hyperfluoruration des eaux souterraines de la région d'EL-Oued (Souf) et ses conséquences sur la santé humaine, Mémoire de Master, Université d'El-Oued, Algérie.

**Benaissa F. (2013)** Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Algérie.

**Benedetto D. (1997)** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation : Les métaux lourds, Ecole des Mines de Saint-Etienne, France.

**Benkerrou N., Sila L. (2019)** Les analyses physico-chimiques des eaux de process et la boisson, Mémoire de Master, Université de Bejaia, Algérie.

**Benmoussa H. (2018)** Chimie des eaux, Polycopié pédagogique destiné aux étudiants de Master 1 Génie des procédés de l'environnement, Université d'Oran, Algérie.

**Bernard A. S., Clède S., Emond M., Monin-Soyer H., Quérard J. (2012)** Techniques expérimentales en Chimie, Dunod, Paris, France.

**Berrah S. (2009)** Contribution à l'étude spatiale de la remontée de la nappe phréatique : problèmes posés et conséquences sur le système agricole " Ghout" à Oued Souf. Mémoire d'Ingénieur, Université d'Ouargla, Algérie.

**BG (Bureau d'étude Bonard et Gardel). (2002)** Vallée du Souf : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique, Mission II.

## Références bibliographiques

---

- Bonnin J. (1982)** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine, Direction des études et recherches d'Electricité de France - N° 42, Edition Eyrolles, France.
- Bouammar B. (2000)** Les changements dans l'entérinement économique depuis 1994 et leur effet sur la rentabilité économique et financière de la néo-exploitation agricole oasisienne et sur leur devenir : cas des exploitations céréalières et phoenicicole de la région de Ouargla. Mémoire de Magister. Institut nationale d'agronomie d'Alger, Algérie.
- Bouamra D. CH., Asmouni H. (2016)** Adoucissement de l'Eau des Foggaras par Traitements Ecologique à base de Moringa sp, Mémoire de Master, Université d'Adrar, Algérie.
- Bougherbi F. T., Sabour N. E. (2019)** Recherche de quelques bactéries des maladies à transmissions hydrique au niveau de quelques sources d'eau de la Wilaya de Bouira, Mémoire de Master, Université de Bouira, Algérie.
- Boulifa K. (2012)** Synthèse hydrogéologique sur la région d'El-Oued (Sahara Nord Oriental-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Constantine 1, Algérie.
- Bouselsal B., Kherici N. (2014)** Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : Cas de la région d'El-Oued (SE Algérie), Afrique SCIENCE, 10(3), 161–170.
- Brasilia. (2013)** Manuel pratique d'analyse de l'eau, Fondation Nationale de la Santé, 4<sup>ème</sup> édition, FUNASA, Brésil.
- Cardot C. (1999)** Les traitements de l'eau pour l'ingénieur : Procédés physico-chimiques et biologiques - Cours et problèmes résolus, 1<sup>ère</sup> édition, Ellipses, France.
- Chabbi M., Nezli N. (2018)** Qualité des eaux de consommation de la vallée d'Oued Souf, Mémoire de Master, Université d'El Oued, Algérie.
- Chelli L., Djouhri N. (2013)** Analyses des eaux de réseau de la ville de Bejaia et évaluation de leur pouvoir entartrant, Mémoire de Master, Université de Bejaia, Algérie.
- Cornet A. (1964)** Introduction à l'hydrogéologie saharienne, Géographie Physique et Géologie Dynamique, Vol.VI, 5–72.
- Coulais J. M. (2002)** Qualité des eaux et normes de potabilité en deux serves. Edition des ateliers.
- Dahel Z. (2009)** Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord-Est algérien à travers un bioindicateur la moule *Perna perna*, Mémoire de Magistère, Université d'Annaba, Algérie.

## Références bibliographiques

---

**Dalichaouche M., Bouchama H. (2018)** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et traitées des stations d'épuration d'Ibn Ziad (Constantine) et de Ferdjioua (Mila), Mémoire de Master, Université de Constantine, Algérie.

**Desjardins R. (1997)** Le traitement des eaux, 2<sup>ème</sup> édition revue et enrichie, Presses internationales polytechniques, Paris, France.

**Devillers J., Squilbin M., Yourassowsky C. (2005)** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, Observation des données de l'environnement L'IBGE, Bruxelles, Belgique.

**Djouamaa M. (2011)** Caractérisation physico-chimique et bactériologique d'une zone humide « Wetland » à El-Oued en vue de sa réhabilitation, Mémoire de Magistère, Université de Biskra, Algérie.

**Drouiche A. (2014)** Impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du Souf (Sud-est algérien), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.

**Drouiche A., Chaab S., Khechana S. (2013)** Impact du déversement direct des eaux usées et de drainage dans la nappe libre de l'Oued Souf et son influence sur la qualité des eaux souterraines, Revue des Sciences et Technologie–Synthèse, 2, 50–62.

**Garnier F. (2012)** Contribution à l'évaluation biogéochimique des impacts liés à l'exploitation géothermique des aquifères superficiels, Expérimentations et simulations à l'échelle d'un pilote et d'installations réelles, Thèse de doctorat, Université d'Orléans, France.

**Gerad G. (1999)** Climatologie de l'environnement, Cours et exercices corrigés, INRA, Paris, France.

**Ghazali D., Zaid A. (2013)** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknes, Maroc), Larhyss Journal, 12, 25–36.

**Ghibech I. (2011)** Contribution à la régionalisation stochastique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans le cadre d'un sig-application à la région de Djelfa, Mémoire de Magister, Ecole nationale supérieure agronomique, Alger, Algérie.

**Guergazi S., Achour S. (2005)** Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration, Larhyss Journal, 4, 119–127.

**Haboul A., Touati A. (2019)** Contribution à l'évaluation de la potabilité des eaux dans quelques régions de la Wilaya de Bouira, Mémoire de Master, Université de Bouira, Algérie.

## Références bibliographiques

---

**Hadef D., Hasni M. (2017)** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-Miliana Wilaya d'Ain Defla, Mémoire de Master, Université de Khemis Miliana, Algérie.

**Hamed M., Guettache A. (2012)** Étude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba Bechar, Mémoire d'Ingénieur, Université de Bechar, Algérie.

**Hanancha M., Sayad H. (2018)** Contribution à l'étude de la composition floristique de la vallée du Souf (Sahara septentrional Algérien), Mémoire de Master, Université d'El Oued, Algérie.

**Hill J. W., Petrucci R. H., McCreary T. W., Perr S. (2008)** Chimie des solutions, 2<sup>ème</sup> édition de ERPI, Quebec, Canada.

**John P., Donald A. (2010)** Microbiologie, 3<sup>ème</sup> Édition, de boeck, Paris, France.

**Kachha A. (2009)** Contribution à l'étude de l'impact de la remontée de la nappe phréatique dans les Ghouts de l'Oued Souf sur les rendements et les qualités biométrique des dattes Ghars et Déglet Nour. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, Algérie.

**Kahoul M., Touhami M. (2014)** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba, Larhyss Journal, 19,129–138.

**Kelly B. F. J., Timms W., Andersen M. S., Callum M., Blakers R. S., Smith R., Rau G. C., Badenhop A., Ludowici K., Acworth R. I. (2013)** Aquifer heterogeneity and response time: The challenge for groundwater management, Crop Pasture Science, 64(12), 1141–1154.

**Khadraoui A. (2000)** Les ressources en eau dans le Sahara septentrional, Congrès scientifique Arabe à El Oued, 20–28.

**Khadraoui A. (2011)** Eau et impact environnemental dans le Sahara algérien, Office des publications universitaire, Alger, Algérie.

**Khechana S. (2007)** Etude de la gestion des ressources en eaux dans la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université d'Annaba, Algérie.

**Khechana S. (2011)** Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe phréatique de la vallée d'Oued-Souf (SE Algérien), European Journal of Scientific Research, 62(2), 207–215.

**Khechana S. (2014)** Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.

**Khechana S., Derradji E. F. (2014)** Qualité des eaux destinées à la consommation humaine et à l'utilisation agricole (Cas des eaux souterraines d'Oued-Souf, SE Algérien), Revue des Sciences et Technologie - Synthèse, 28 : 58-68.

## Références bibliographiques

---

**Khelifati A. Y., Khelifa I. (2019)** Hydrochimie et qualité physico-chimique des eaux de quelques forages de la Taoura (Wilaya de Souk-Ahras), Mémoire de Master, Université de Guelma, Algérie.

**Ladjama S. (2007)** Elimination des ions nitrates par une résine échangeuse d'anions Amberlite IRA 420, Mémoire de Magister, Université d'Annaba, Algérie.

**Leghrissi I. (2007)** La place d'un système ingénieux (Ghout) dans la nouvelle dynamique agricole de la région de Souf. Mémoire d'Ingénieur, Université d'Ouargla, Algérie.

**Legube B. (2015)** Production d'eau potable : Filières et Procédés de Traitement, Dunod, Paris, France.

**Medfouni S. (2007)** Adoucissement des eaux géothermales de l'Oued R'hir : Etude comparative de deux types de chaux (CaO et Ca(OH)<sub>2</sub>), Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, Algérie.

**Meissa B. (2016)** L'eau et l'espace agraire dans l'Oued Souf : Cas de l'ancienne palmeraie, Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, Algérie.

**Merah A. (2019)** Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des Puits de la région El-hassiane (Wilaya de Mostaganem), Mémoire de Master, Université de Mostaganem, Algérie.

**Messekher I., Menai M. R. (2009)** Evolution de la piézométrie de la ville d'Oued Souf (entre 1993, 2002 et 2007), Colloque International GIRE 2009, Université de Batna, Algérie.

**Mimoun S., Zoubeidi B. (2014)** Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien), Mémoire de Master, Université d'El-Oued, Algérie.

**Mokeddeme I., Belhachemi M., Merzougui T., Nabou N., Merzougui F. (2017)** Caractérisation physico-chimique des eaux de surfaces de la région de Béchar (Sud Ouest Algérien), Algerian Journal of Environmental Science and Technology, 3(3-A), 504–508.

**MRE (Ministère de ressources en eaux). (2011)** Décret exécutif N° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel N° 18 du 23 mars 2011, p 6-9.

**Myrand D. (2008)** Captage d'eau souterraine pour des résidences isolées. Guide technique : <http://puitsglf.com/images/guide-captage.pdf>, consulté le 05/04/2018.

**Nabih Z. (2013)** Apport de la chimométrie pour l'analyse et l'interprétation de quelques paramètres physicochimiques influençant la répartition des métaux lourds des éléments nutritifs et des anions dans les eaux de l'Oued de Bourge, Maroc.

## Références bibliographiques

---

**Nasri B., Benatallah A., Kalloum S., Benhamza M. (2018)** Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région de kenadsa et Galbelaouda (sud-ouest de l'Algérie), *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 690–702.

**Necib A. (2001)** Contribution à l'étude de l'impact de la remontée de la nappe Phréatique sur le devenir de l'agriculture dans la région de Souf, Mémoire d'Ingénieur, Université d'Ouargla, Algérie.

**Nollet L. (2007)** Handbook of water analysis, Second edition, Taylor & Francis Group, New York, USA.

**ONA (Office National de l'Assainissement). (2004)** Etudes d'assainissement des eaux, Alger, Algérie.

**ONM (Office national de la météorologie). (2013)** Station de contrôle de l'aéroport Ain El Bey, Constantine, Algérie.

**Rachdame M. (2010)** Essai de suivi de l'irrigation de la pomme de terre dans la région d'Oued Souf, Mémoire d'Ingénieur, Université d'Ouargla, Algérie.

**Recioui I. (2013)** Contribution à l'étude de l'évolution piézométrique de la nappe phréatique d'Oued Souf, Mémoire de Master, Université d'Ouargla, Algérie.

**Remini B. (2004)** La remontée des eaux dans la région d'El Oued, *Revue vecteur environnement*, 37(3), 63–67.

**Rodier J. (1984)** Analyse de l'eau : Eau de mer et Eau résiduaire, 7<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, France.

**Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009).** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer, 9<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris, France.

**Rouessac F., Rouessac A. (2004)** Analyse chimique : Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, France.

**Tabouche N., Achour S. (2004)** Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien, *Larhyss Journal*, 3, 99–113.

**Tardat-Henry M., Beaudry J. P. (1992)** Chimie des eaux, 2<sup>ème</sup> éditions, Le Griffon d'argile, Québec, Canada.

**Touhari F. (2015)** Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique d'Alger, Algérie.

**UNESCO. (1972)** Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Algérie-Tunisie (ERESS), Rapport sur les résultats du projet. Conclusion et recommandations, Projet REG.

## Références bibliographiques

---

**Voisin A. R. (2004)** Le Souf. Edition El-Walid, El-Oued, Algérie.

**W.H.O. (2004)** Sulfate in Drinking-water, Guidelines for Drinking-water Quality.

**Walton W. C. (2011)** Aquifer system response time and groundwater supply management. Ground Water, 49(2), 126–127.

**WHO (World Health Organization). (2011)** Guidelines for drinking-water quality, 4<sup>th</sup> edition. Geneva, Switzerland.

**Yves J. (2010)** Dans le contexte d'une nouvelle dynamique agricole, quels avantages du système traditionnel des Ghouts par rapports au système oasisien évolué ? Rapport de stage de Magistère, Centre d'Etudes et de Recherche sur le Développement International, Université Clermont-Auvergne, France.

**Zouag B., Belhadj Y. (2017)** Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta (Tlemcen), Mémoire de Docteur en pharmacie, Université de Tlemcen, Algérie.

ريان ج . (2015) الزراعة في إقليم وادي سوف الآليات – الواقع – الأفاق ، مذكرة ماجستير ، جامعة قسنطينة ، الجزائر .

عداوي ج . ر . (2006) مشكلة صعود المياه وآثارها على البيئة بإقليم واد سوف ، مذكرة ماجستير ، جامعة قسنطينة ، الجزائر .