



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Hydraulique et génie civil

Mémoire de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: hydraulique

Spécialité: hydraulique ouvrage

Thème

Estimation

**la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et
risque de dégradation des sols. Cas de la vallée d El-oued
(sud-est algérien)**

Présenté par:

- Khatraoui abdelkoudous
- Tellia abdellali

Dr. Bouchmal fatoum

zair nadjet

Wakwak abdelkadre

Enseignante:

- zair nadjet

MAA

MCA

Président

Rapporteur

Examineur

Soutenu en Septembre 2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir accordé la santé, le courage et les moyens pour suivre nos études et la volonté pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement notre promoteur Dr. NADJET ZAIR, pour ces orientations, ces conseils et l'aide durant l'élaboration de cette étude.

A toutes et à tous qui ont participé à la réalisation de ce modeste travail

Un grand merci pour nos familles

A la fin nous remercions à tous nos collègues du 2ème année master :

Hydraulique ouvrage 2020.

KHATRAOUI ABDELKOUDOUSE

Et

TELLIA ABDELLALI



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

*À ma très chère mère Bouchra et à mon père Med Bachir, en leur
Souhaitant Longévité et la santé. Qui m'a vraiment soutenu tout au long de mon
parcours universitaire*

À mes sœurs et à ma grande famille

*À tous mes amis qui ont toujours été à mes côtés dans les bons et les mauvais
moments*

*À tous mes collègues de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'EL-OUED et
surtout la spécialité Ouvrage.*

TELLIA ABDELLALI



DEDICACE



Je dédie ce modeste travail

À ma très chère mère, en lui souhaitant Longévité et la santé, et à mon très chère père, que dieu ait pitié de lui. Qui m'a vraiment soutenu tout au long de mon parcours universitaire,

À mes sœurs et à ma grande famille

À tous mes amis qui ont toujours été à mes côtés dans les bons et les mauvais moments

À tous mes collègues de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'EL-OUEDEt surtout la spécialité Ouvrage

KHATRAOUI ABDELKOUDOUSE



Résumé :

La rareté de la ressource en eau dans le domaine agricole a mené à mettre au point des moyens à fin d'augmenter le rendement agricole. Il convient aussi d'évoquer l'usage abusif des eaux souterraines pour des fins agricoles dans la plus part du temps la vérification de la qualité de cette eau et son aptitude à l'irrigation n'est pas toujours respectée.

La région de Guemmar et Débila possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, et qui ne sont représentées, uniquement, que par les eaux souterraines de la nappe du complexe terminal. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

Suite à l'analyse de la situation actuelle de la nappe et de son environnement, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations, en fonction de la lithologie et des facteurs climatiques. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres physicochimiques au cours de la campagne (2020).

La méthodologie suivie, pour l'évaluation de la qualité de ces eaux est celle préconisée par la FAO (1976).

Les résultats trouvés, comparés aux directives de la FAO, ont mis à jour certaines "anomalies" pouvant être à l'origine de problèmes agronomiques (salinité), pédologiques (perméabilité) et de toxicité, dus à des teneurs excessives en sodium, chlore, bicarbonate. Le problème de salinité est rencontré dans les deux communes d'étude.

Le constat établi est que la pratique de l'irrigation se fait de façon anarchique sans aucune étude préalable d'évaluation de la qualité des eaux. Les agriculteurs irriguent plusieurs types d'irrigation.

Mots clés : eaux souterraines, irrigation ; exploitations agricoles, El-Oued

Abstract:

The scarcity of water resources in agriculture has led to the development of means to increase agricultural output. It is also worth mentioning the abusive use of groundwater for agricultural purposes, most of the time the verification of the quality of this water and its suitability for irrigation is not always respected.

The region of Guemmar and Débila currently has relatively limited water resources, which are only represented by groundwater from the water table of the terminal complex. In recent years, an economic boom, particularly in agriculture, has taken place, which has led, on the one hand, to an increase in water requirements and, on the other hand, to the degradation of water quality.

Following the analysis of the current situation of the water table and its environment, an action program was designed to monitor variations, depending on the lithology and climatic factors. We were thus able to study the evolution of physicochemical parameters during the campaign (2020.)

The methodology followed to assess the quality of these waters is that recommended by the FAO (1976.)

The results found, compared to the FAO guidelines, revealed certain " anomalies " that could be the cause of agronomic (salinity), soil (permeability) and toxicity problems, due to excessive sodium contents, chlorine, bicarbonate. The salinity problem is encountered in the two study municipalities.

The established fact is that the practice of irrigation is done in an anarchic manner without any prior study to assess the quality of the water. Farmers irrigate several types of irrigation.

Keywords: groundwater, irrigation; farms, El-Oued

ملخص:

أدت ندرة الموارد المائية في الزراعة إلى تطوير وسائل لزيادة الإنتاج الزراعي. ومن الجدير بالذكر أيضًا إساءة استخدام المياه الجوفية للأغراض الزراعية ، حيث لا يتم دائمًا احترام التحقق من جودة هذه المياه وصلاحياتها للري في معظم الأحيان.

تتمتع منطقة غيمار ودبيلا حاليًا بموارد مائية محدودة نسبيًا ، والتي يتم تمثيلها فقط بالمياه الجوفية من منسوب المياه الجوفية لمجمع المحطة. في السنوات الأخيرة ، حدثت طفرة اقتصادية ، لا سيما في الزراعة ، أدت من ناحية إلى زيادة الاحتياجات المائية ، ومن ناحية أخرى ، إلى تدهور جودة المياه.

بعد تحليل الوضع الحالي لمنسوب المياه الجوفية وبيئتها ، تم تصميم برنامج عمل لرصد الاختلافات ، اعتمادًا على الصخر والعوامل المناخية. وهكذا تمكنا من دراسة تطور البارامترات الفيزيائية والكيميائية خلال الحملة (2020).

المنهجية المتبعة لتقييم جودة هذه المياه هي التي أوصت بها منظمة الأغذية والزراعة (1976).

كشفت النتائج ، مقارنة بإرشادات منظمة الأغذية والزراعة ، عن بعض " الشذوذ " الذي يمكن أن يكون سببًا لمشاكل الزراعة (الملوحة) والتربة (النفاذية) والسمية ، بسبب المحتوى الزائد من الصوديوم والكلور والبيكربونات. تمت مواجهة مشكلة الملوحة في بلديتي الدراسة.

الحقيقة الراسخة هي أن ممارسة الري تتم بطريقة فوضوية دون أي دراسة مسبقة لتقييم جودة المياه. يروي المزارعون عدة أنواع من الري.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية ، الري ؛ مزارع الوادي

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| Introduction générale : | 1 |
| Chapitre I: Présentation général de la zone d'étude | |
| I.1. Situation géographiques d'El Oued | 3 |
| I.2. Aperçu sur la wilaya D'El – Oued | 3 |
| I.2.1. Situation Economique | 6 |
| I.2.2 Répartition administratif et démographique | 6 |
| I.3. Topographie d 'El-Oued | 8 |
| I.4 : Stratigraphie régionale | 10 |
| I. 4.1 : Formation de l'ère Secondaire | 12 |
| I.4.1.1 : Le Barrémien | 12 |
| I.4.1.2 L'Aptien | 12 |
| I.4.1.3 L'Albien | 12 |
| I.4.1.4 Le Vraconien | 12 |
| I.4.1.5 LE Céomanien | 12 |
| I.4.1.6. Le Turonien | 12 |
| <i>I.4.1.7 Sénonien</i> | 13 |
| <i>I.4.1.7.1. Sénonien lagunaire</i> | 13 |
| <i>I.4.1.7.2 Sénonien carbonaté</i> | 14 |
| I.4.2 <i>Formation de l'ère Tertiaire</i> | 14 |
| <i>I.4.2.1. L'Eocène</i> | 14 |
| <i>I.4.2.2. LE Mio-Pliocène</i> | 14 |
| I.5 Interprétation des coupes géologiques | 19 |
| I.5.1 Coupe N°1 | 19 |
| I.5.2 Coupe N°2 | 19 |
| I.5.3 Coupe N°03 | 20 |
| I.6. Tectonique | 21 |
| I.7 Relief | 22 |
| I.8. Conclusion | 23 |
| Chapitre II: Hydrogéologie | |
| I. Introduction | 25 |
| II. Cadre hydrogéologique | 25 |
| II .1. Nappe Phréatique | 26 |
| II .2. Nappe du Complexe Terminal | 26 |
| a- Nappes des sables | 28 |
| b- Les nappes de calcaires | 28 |
| II .3. Nappe du Continent Intercalaire (CI) | 28 |
| IV. Aperçu historique | 29 |
| V. Piézométrie | 31 |
| V.1. Interprétation de la carte piézométrique (2010) | 31 |
| V.2. Interprétation de la carte piézométrique (2013) | 32 |
| IV.1. Introduction | 33 |
| IV.3. Essai de pompage à El-Oued centre : | 34 |
| IV.3.1. Introduction | 34 |
| Chapitre III Caractéristiques du sol | 34 |
| IV.3.3. Interprétation de l'essai de longue durée | 35 |

| | |
|---|----|
| II.1. Principaux composants du sol | 35 |
| II.2. Caractéristiques du sol | 35 |
| II.2.1. Analyses granulométriques de la zone non saturée | 35 |
| II.2.2. Répartition des fins dans la zone non saturée | 36 |
| II.2.3. Analyses chimiques de la zone non saturée | 36 |
| II.2.4. Essai de cisaillement rectiligne | 37 |
| II.2.5. Porosité | 37 |
| II.2.5.1. Mesure de perméabilité par la méthode de Muntz | 37 |
| IV.5.3. Interprétation de l'essai de longue durée : | 37 |
| IV.6. Essai de pompage à Blila | 37 |
| IV.6.1. Introduction | 37 |
| IV.6.2. Détermination de débit spécifique : | 37 |
| IV.6.3. Interprétation de l'essai de longue durée | 38 |
| IV.7. Essai de pompage à Ourmes : | 38 |
| IV.7.1. Introduction : | 38 |
| IV.7.2. Détermination de débit spécifique | 39 |
| IV.7.3. Interprétation de l'essai de longue durée | 39 |
| VI. Conclusion : | 40 |
| Chapitre III: Hydroclimatologie | |
| I. Introduction | 42 |
| II.1.1. Température | 42 |
| II.1.1.1. Températures moyennes mensuelles interannuelles | 42 |
| II.1.1.2. Températures moyennes annuelles | 44 |
| II.1.2. Précipitation | 45 |
| II.1.2.1. Précipitations moyennes mensuelles | 45 |
| II.1.2.2. Précipitations moyennes annuelles | 46 |
| II.1.3. Indice d'aridité | 47 |
| II.1.4. Diagramme pluviothermique | 48 |
| II.1.5. L'humidité | 49 |
| II.1.6. Le vent | 52 |
| II.1.7. Evaporation | 53 |
| 2. Calcul des paramètres de bilan hydrique | 53 |
| II.2.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) | 53 |
| II.1.2. L'évapotranspiration réelle (E.T.R) | 54 |
| II.2.1.2.1. Méthode de Thornthwaite | 54 |
| II.3. Etablissement du bilan Hydrique | 54 |
| II.3.1. Interprétation du bilan Hydrique | 55 |
| III. Conclusion | 57 |
| Chapitre IV : Caractéristiques du sol | |

| | |
|---|----|
| I.Introduction | 59 |
| II.1. Principaux composants du sol | 59 |
| II.2.1. Analyses granulométriques de la zone non saturée | 60 |
| II.2.2.Répartition des fins dans la zone non saturée : | 61 |
| II.2.3. Analyses chimiques de la zone non saturée : | 62 |
| II.2.4. Essai de cisaillement rectiligne : | 64 |
| II.2.5. Porosité | 65 |
| III.Conclusion | 68 |
| Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols. | |
| I.Introduction | 70 |
| II.1. Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation | 70 |
| II.1.1 Risque de salinité | 71 |
| II.1.2 Risque d'alcalinité (excès en sodium) | 71 |
| II.1.3 Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates | 72 |
| II.1.3.1 pH de l'eau d'irrigation | 72 |
| II.1.3 Risques liés aux éléments toxiques | 73 |
| II.1.4 Les nutriments | 73 |
| II.1.5. Classification des eaux d'irrigation | 73 |
| II.1.5.1 La classification de l'U.S.S.L | 73 |
| II.2. Echantillonnage et analyse hydrochimique | 75 |
| II.3. Analyse chimique de l'eau et évaluation des impacts sur l'agriculture | 75 |
| II.3.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques | 75 |
| II.3.1.1. La température | 75 |
| II.3.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) | 76 |
| II.3.1.3 .La conductivité électrique (CE) | 76 |
| II.3.1.4. Qualité chimique des eaux | 77 |
| II.3.1 .4.1. Le calcium (Ca^{2+}) | 77 |
| II.3.1. 4.2 Le magnésium (Mg^{2+}) | 78 |
| II.3.1.4. 3. Le sodium (Na^{+}) 3.1.4. 4. Le potassium (K^{+}) | 78 |
| II.3.1.4.5. Les chlorures (Cl^{-}) | 79 |
| II.3.1.4..6. Les sulfates (SO_4^{2-}) | 79 |
| II.3.1.4.7. Les bicarbonates (HCO_3^{-}) | 80 |
| II.3.1.5. Résultats SARaj | 80 |
| II.4. Discussion | 81 |
| II.4.1. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation | 81 |

| | |
|--|----|
| II.4.1.1 Effet de la salinité | 81 |
| II.4.1.2. Evaluation du problème de perméabilité | 82 |
| II.4.1.3. Evaluation du problème de toxicité | 83 |
| II.4.1.4. Les risques de toxicité spécifique aux ions sodium | 84 |
| II.4.1.5. Toxicité de l'ion chlore | 85 |
| II.4.1.6. Effets divers sur les cultures sensibles | 86 |
| II.4.1.6. Les bicarbonates (HCO_3^-) | 87 |
| II.5. Représentation graphique des faciès hydrochimiques | 89 |
| II.6. Aptitudes des eaux à l'irrigation | 89 |
| II.6.1. Classification des eaux par la méthode de Richards | 89 |
| II.6.2. Classification des eaux par la méthode de Wilcox | 89 |
| III Conclusion | 90 |
| Conclusion Generale | 93 |
| Références bibliographiques | 96 |

Liste des tableaux

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tableau. I.01 | Coordonnées géographiques de la commune d'El Oued | 3 |
| Tableau. I.02 | Répartition de L'élevage dans la région d'étude (DSA/ 2018) | 6 |
| Tableau. I.03 | Production animale estimée dans la région d'étude | 6 |
| Tableau. I.04 | Surface et population de la vallée du Souf par commune | 9 |
| Tableau. I.05 | Altitude moyenne des communes d'Oued Souf | 10 |
| Tableau. II.01 | Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued. | 29 |
| Tableau. II.02 | Coordonnées UTM des sites des essais pompages | 34 |
| Tableau. II.03 | Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques | 39 |
| Tableau. III.01 | Coordonnées géographiques de la station météorologique de la région d'El- Oued | 42 |
| Tableau. III.02 | Températures moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf (1993-2018) | 43 |
| Tableau. III.03 | Répartition des moyennes annuelles de température sur la période (2002-2018) | 44 |
| Tableau. III.04 | Précipitations moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf(1993-2018) | 45 |
| Tableau. I.05 | Répartition des précipitations moyennes annuelles (2002-2018) | 46 |
| Tableau. III.06 | Classement en fonction de l'indice d'aridité(selon De Martonne) | 48 |
| Tableau. I III.07 | Couples température/ précipitation mensuelle interannuelle de la région d'Oued Souf (1993-2018) | 49 |
| Tableau. III.08 | Humidités moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf (1993-2018) | 50 |
| Tableau. III.09 | Vitesses des vents moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf(1993-2018) | 51 |
| Tableau. III.10 | Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en (1993-2018) | 52 |
| Tableau. III.11 | Les valeurs mensuelles du coefficient de correction K dans la région | 53 |
| Tableau. III.12 | Bilan hydrique d'après Thorntwaite (1993-2018) | 54 |
| Tableau. V.01 | Source Bulletin FAO n° 29 ; 1976 | 72 |
| Tableau. V.02 | La conductivité électrique | 73 |
| Tableau. V.03 | La teneur en sodium (SAR) | 74 |
| Tableau. V.04 | Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation | 74 |

Liste des figures

| | | |
|----------------|--|----|
| Figure I.01 | Situation géographique de la région d'El-Oued (Dourouni/Touahri 2008) | 4 |
| Figure I.02 | Carte satellite de la commune d'El Oued (GOOGLE EARTH 2019) | 5 |
| Figure I.03 | Situation économique de la commune d'El Oued (DSA2018) | 7 |
| Figure I. 04 | Figure 1 :Répartition administrative des communes d'Oued Souf | 8 |
| Figure I. 05 | Carte topographique de la vallée du Souf (DRE d'El-Oued, 2019) | 11 |
| Figure I.06 | Carte géologique locale (d'après la carte dressée par Gouskov) | 13 |
| Figure I. 07 | Plan géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy, M., 2005) | 16 |
| Figure I. 08 | Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993). | 17 |
| Figure I. 09 | Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional (G. Busson 1970) in Khechana, S. 2014. | 18 |
| Figure I. 10 | Coupe géologique N° 01(DROUCHE 2008) | 19 |
| Figure I.11 | Coupe géologique N° 2, Extraite à partir des logs lithologiques des forages (A.N.R.H, 1989) | 20 |
| Figure I. 2 | Coupe géologique N° 03(DROUCHE 2008) | 21 |
| Figure II.01 | Carte d'inventaire des points des eaux souterraines de la région d'El-Oued (2013) | 25 |
| Figure II.02 | Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) | 26 |
| Figure II.03 | Coupe hydrogéologique de l'El-Oued | 27 |
| Figure II. 04 | Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional.(Cornet, 1964) | 30 |
| Figure II. 05 | Carte géologie avec le sens d'écoulement des aquifères CT et CI (UNESCO, 1972) | 31 |
| Figure II.06 | Carte piézométrique des eaux souterraines de la région d'El-Oued (2010) | 32 |
| Figure II. 07 | Carte piézométrique des eaux souterraines d'el-Oued (2013) IV. Paramètres hydrodynamiques | 33 |
| Figure II. 08 | Essai de pompage longue durée à El-Oued centre interprété par la méthode de Cooper &-Jacob | 35 |
| Figure II. 09 | Essai de pompage long duré à Ain raach Interprété par la méthode de Cooper &-Jacob | 36 |
| Figure II. 10 | Essai de pompage longue durée a magrane interprété | 37 |
| Figure II.11 | par la méthode de Cooper &-Jacob | 38 |
| Figure III.01 | Histogramme de Températures moyennes mensuelles (1993-2018) | 43 |
| Figure III.02 | Répartition moyenne annuelle des températures (2002/2018) | 44 |
| Figure III.03 | Histogramme de Précipitations moyennes mensuelles (1993-2018) | 45 |
| Figure III. 04 | Répartition des moyennes annuelles de précipitation (2002-2018) | 47 |
| Figure I. 05 | Diagramme pluviothermique de la station de Guemar durant la période (1993-2018) | 49 |
| Figure III.06 | Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelle (1993-2018) | 50 |
| Figure III. 07 | Histogramme des vitesses moyennes mensuelles du vent en Km/h (1993-2018) | 51 |

| | | |
|----------------|---|----|
| Figure III. 08 | Histogramme de l'évaporation moyenne mensuelle en mm (1993-2018) | 52 |
| Figure III. 09 | Bilan hydrique d'après Thornthwaite (1993-2018) | 55 |
| Figure IV.01 | Description d'un sol | 60 |
| Figure IV.02 | les courbes granulométriques de quelques échantillons de la zone non saturée | 61 |
| Figure IV.03 | Histogramme de la composition granulométrique de la zone non saturée. | 62 |
| Figure IV. 04 | Répartition des fins dans la zone non saturée (D'après Boussalssal 2012). | 63 |
| Figure IV. 05 | Histogramme de résultats des analyses chimiques des sols de la zone non saturée. | 64 |
| Figure IV.06 | Courbes des essais de cisaillement rectiligne des sols de la zone non saturée. | 65 |
| Figure IV. 07 | Dispositif de H. Darcy. | 66 |
| Figure V.01 | variation des valeurs de température en (C°) (2020) de la région d'étude | 76 |
| Figure V.02 | variation des valeurs du pH (2020) de la région d'étude | 76 |
| Figure V.03 | variation des teneurs de conductivité électrique en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (2020) de la région d'étude | 77 |
| Figure V. 04 | variation des teneurs de calcium en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 77 |
| Figure V. 05 | variation des teneurs de magnésium en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 78 |
| Figure V.06 | 06 : variation des teneurs de sodium en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 78 |
| Figure V. 07 | variation des teneurs de potassium en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 79 |
| Figure V.08 | variation des teneurs de chlorure en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 80 |
| Figure V.09 | variation des teneurs de sulfate en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 80 |
| Figure V.10 | variation des teneurs de bicarbonate en (mg/l) (2020) de la région d'étude | 81 |
| Figure V. 11 | Variation de la salinité (CE) de la région d'étude | 82 |
| Figure V. 12 | Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité | 83 |
| Figure V.13 | Variation des valeurs du SAR (2020) | 85 |
| Figure V.14 | Variation de l'ion chlore (2020) | 86 |
| Figure V.15 | Variation de pH (2020) | 86 |
| Figure V. 16 | 16 Variation du taux de bicarbonate (2020) | 87 |
| Figure V.17 | Diagramme de Piper des eaux souterraines de la région d'étude (2020). | 88 |
| Figure V. 18 | Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF des eaux souterraines de la région d'étude (2020). | 88 |
| Figure V.19 | Diagramme de Richards pour l'année 2020. | 89 |
| Figure V. 20 | Diagramme de Wilcox pour l'année 2020. | 90 |

Introduction Générale

Introduction Générale d'étude

Introduction générale :

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Pour pallier à cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation.

Mais, il arrive que la qualité de l'eau exigée ne soit pas toujours disponible. Dans le but de sauver voire d'améliorer leurs rendements, les exploitants agricoles se trouvent contraints à recourir à différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures. Il se trouve que sur le site d'étude, ils sont contraints d'utiliser des eaux souterraines pouvant provenir via les forages destinés à l'irrigation.

Ceci a fait que dans certains cas l'irrigation n'a pas été ce complément nécessaire à l'amélioration de la production et on a pu constater bien au contraire, des baisses de rendements des cultures et parfois même la stérilisation progressive des sols voire des problèmes sanitaires.

Dans ce travail nous allons essayer d'aborder, les effets et les problèmes qui peuvent être engendrés par les eaux d'irrigation et leur qualité sur les caractéristiques physicochimique et hydro chimique des sols irrigués et sur le rendement et le bon fonctionnement des réseaux d'irrigation, et afin de renforcer l'idée on s'est appuyé sur les résultats des études déjà faites et qui traitent la même problématique.

Pour bien mener cette recherche, nous avons réparti notre travail en quatre chapitres comme suit:

Introduction générale

- Présentation de la région d'étude ;
- Climat de la région d'étude ;
- Caractéristiques du sol ;
- Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols.

Et enfin conclusion générale et recommandation.

Chapitre I
Présentation général de la zone
d'étude

I.Introduction :

La wilaya d'El-Oued est une région aride, fait partie du Sahara Septentrional partagé par la Tunisie, la Libye et l'Algérie. Elle est située au Sud-Est du Sahara Algérien.

La wilaya répartie en trois zones bien distinguées qui sont les suivantes :

- La vallée de Souf ;
- La vallée d'Oued Rhig;
- La zone frontalière (Taleb Larbi).

Dans cette Partie, nous mettrons en évidence la localisation géographique et les principales activités de la population dans la région d'El-Oued, en exposant les paramètres climatiques importants et les différentes couches de formation géologique.

Nous vous présentons les trois types d'aquifères: la nappe phréatique, complexe terminal et le continental intercalaire dans la Région oued Souf.

II.1. Situation géographique d'El Oued:

La zone d'étude est située dans la wilaya d'El Oued, l'une des principales oasis du sahara septentrional algérien.

Elle est située au Sud-est de l'Algérie, à une distance de 650 km de la capitale.

Elle est administrativement limitée par les wilayas suivantes :(DRE/2019)

1. Biskra, Khenchela et Tébessa au Nord.
2. Djelfa au Nord-Ouest.
3. Ouargla au Sud et Sud-ouest.
4. La Tunisie à L'Est.

Géographiquement elle est limitée par les coordonnées suivantes :

Tableau N° 01 : Coordonnées géographiques de la commune d'El Oued

| | |
|-------------------|--|
| Longitudes | X₁ = 5° 30' X₂ = 07°00' EST |
| Latitudes | Y₁ = 35° 30' Y₂ = 37°00' NORD |

Quant à la commune d'El Oued, elle est située au centre de la wilaya d'Oued Souf, elle est administrativement limitée par les communes suivantes :

1. Hassani Abdelkrim au Nord.
2. Kouinine Oued El Alenda au Nord-ouest.
3. Bayadha au Sud.
4. Trifaoui à L'Est.

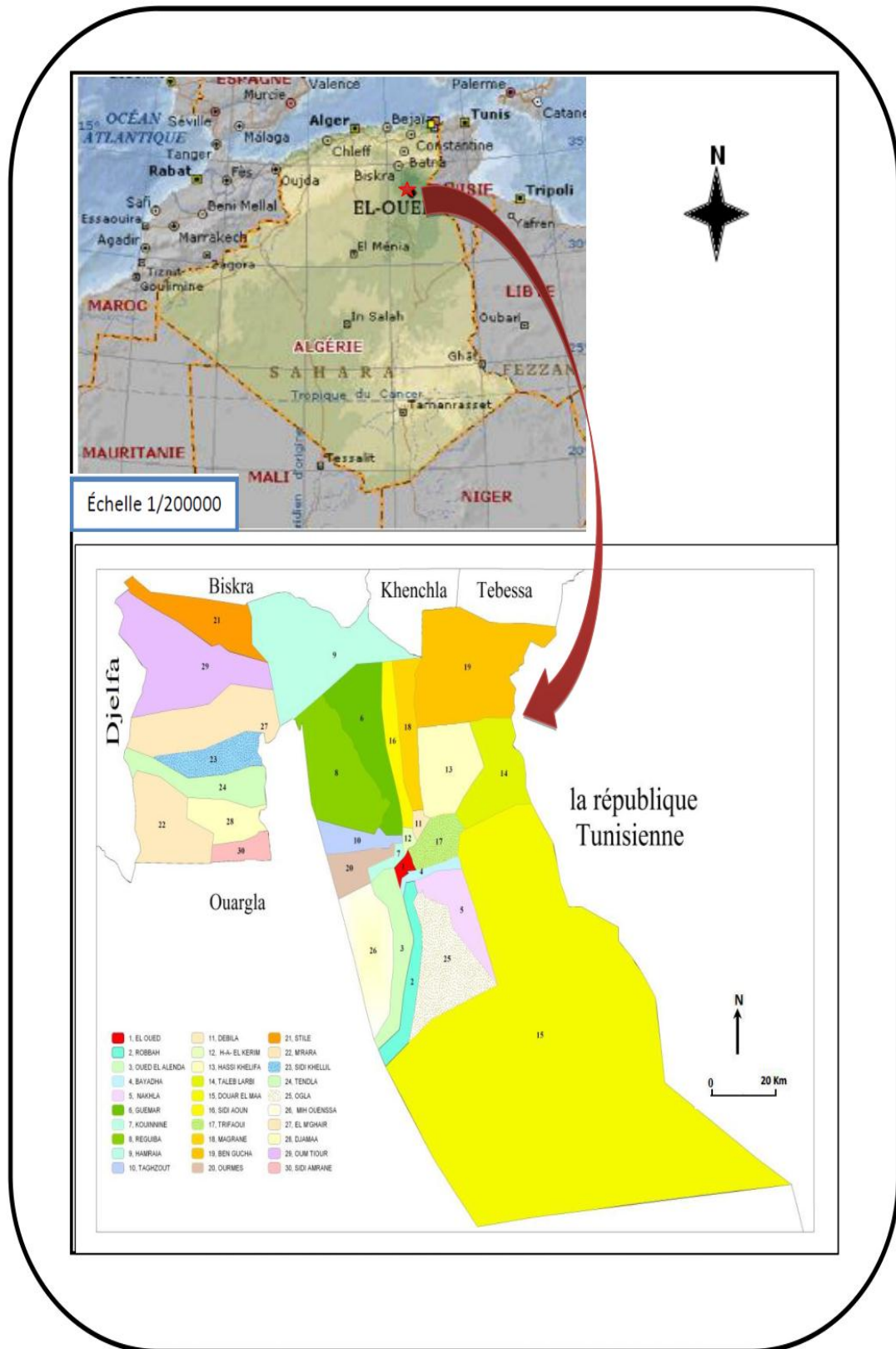


Figure 3 :Situation géographique de la région d'El-Oued (Dourouni/Touahri 2008)



Figure 4 :Carte satellite de la commune d'El Oued (GOOGLE EARTH 2019)

II.2. Aperçu sur la wilaya D'El – Oued :

La wilaya d'El-Oued occupe une superficie de 44586 km², divisé en 30 communes avec une population de 900000 habitants et une densité de 19.58hab/km² habitants au kilomètre carré. (DBSP fin 2019).

Cette population est répartie à travers 30 communes regroupées dans 12 daïras.

II.2.1. Situation Economique :

L'activité agricole dans la région d'El-Oued se marque par l'exploitation des palmiers dattiers ; actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an (DSA, 2018).

Ces activités agricoles se font dans le creux des dunes et sont ainsi appelés **Ghout**. L'agriculture se caractérise également par les cultures de tabac, des cacahuètes et les cultures maraîchères et la pomme de terre.

Du point de vue industrie, la wilaya d'El-Oued se caractérise par les activités suivantes: les textiles, la cosmétique, l'industrie agro-alimentaire, la production de sel de table à partir des chotts et des sabkhats et la fabrication des matériaux de constructions, etc...

L'élevage des moutons, des chèvres et des chameaux se répartit comme suit :

Tableau N° 02 : Répartition de L'élevage dans la région d'étude (DSA/ 2018)

| | |
|----------------|----------------------|
| Ovin | 500 000 têtes |
| Caprin | 153 000 têtes |
| Camelin | 27300 têtes |
| Bovin | 4700 têtes |

Ces élevages correspondent à une production estimée dans le tableau 4 suivant :

Tableau N° 03 : Production animale estimée dans la région d'étude

| | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Production de viande rouge | 4700 tonnes/an |
| Production de viande blanche | 2240 tonnes/an |
| Production d'œufs | 27561270 œufs/an |
| Production laitière | 44 000000 litres/an |

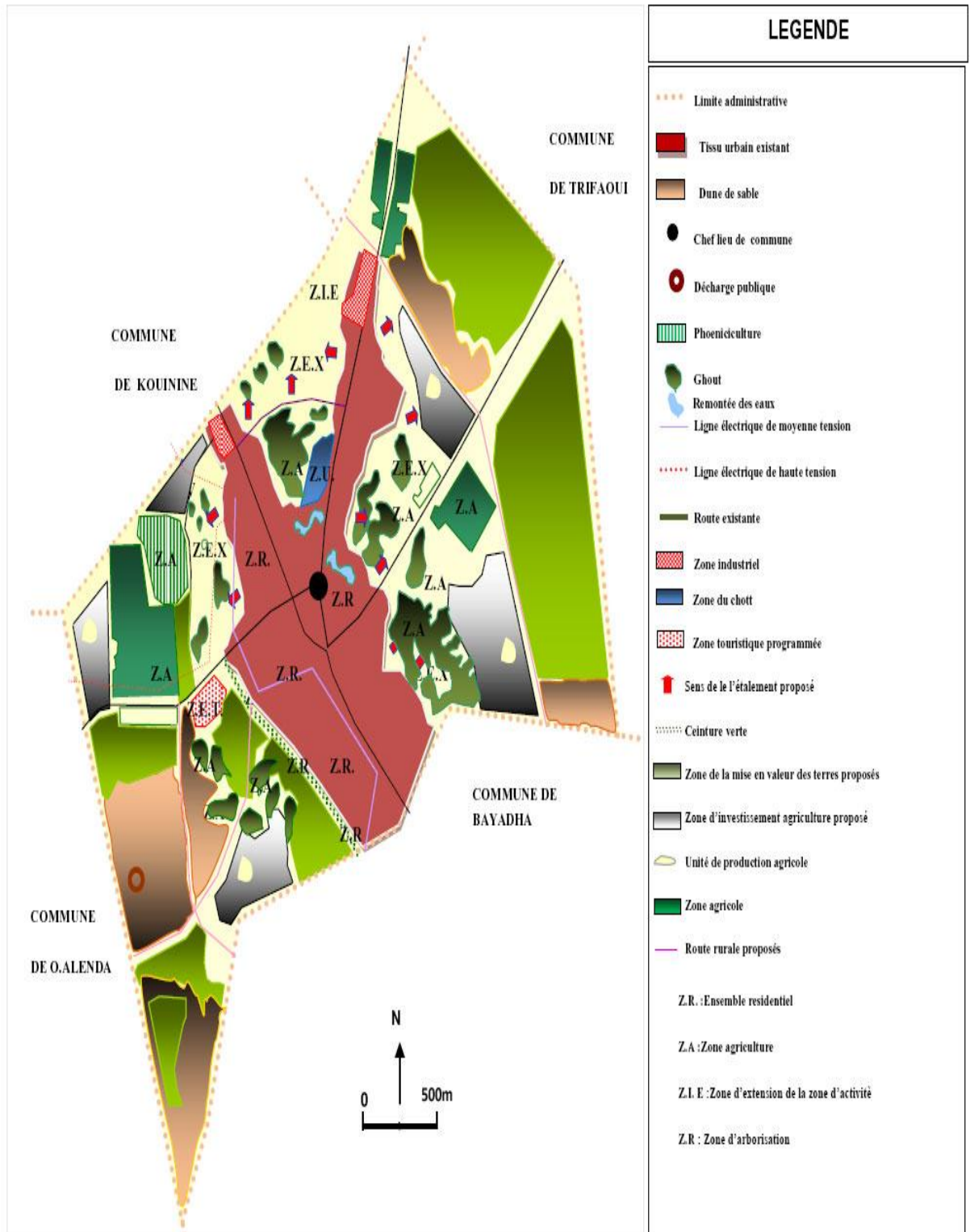


Figure 5 :Situation économique de la commune d'El Oued (DSA2018)

II.2.2 Répartition administratif et démographique :

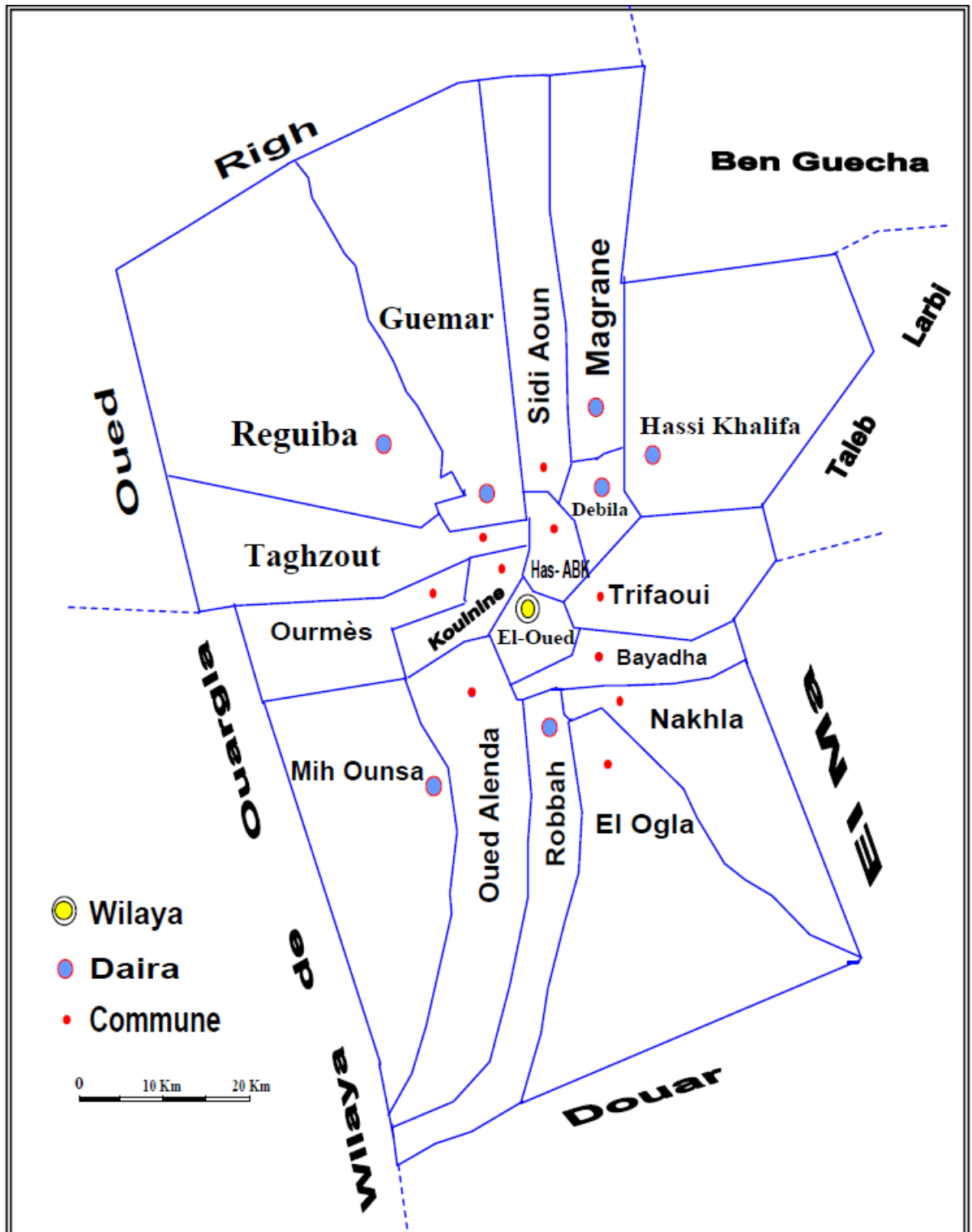


Figure 6 :Répartition administrative des communes d'Oued Souf

(DRE d'El-Oued 2019)

Tableau N° 04: Surface et population de la vallée du Souf par commune

| N° | Commune | Population (hab.) | Superficie (Km ²) | Densité populaire (hab/km ²) |
|----|--------------------|-------------------|-------------------------------|--|
| 1 | Hassi Khalifa | 43255 | 1112 | 38.89 |
| 2 | El-Ogla | 8620 | 1352 | 6.37 |
| 3 | MihOuansa | 23885 | 1111 | 21.49 |
| 4 | El-Oued | 185615 | 77 | 2410.58 |
| 5 | Robbah | 29685 | 499 | 59.48 |
| 6 | Oued Allenda | 8545 | 712 | 12.00 |
| 7 | Bayadha | 43720 | 139 | 314.53 |
| 8 | Nakhla | 18040 | 700 | 25.77 |
| 9 | Guemar | 57220 | 1264 | 45.26 |
| 10 | Sidi Aoun | 15950 | 480 | 33.22 |
| 11 | Trifaoui | 11375 | 474 | 23.99 |
| 12 | Magrane | 32115 | 618 | 51.96 |
| 13 | Ourmes | 7540 | 443 | 17.02 |
| 14 | Kouinine | 14395 | 116 | 124.09 |
| 15 | Reguiba | 58610 | 1966 | 29.81 |
| 16 | Taghzout | 18560 | 539 | 34.43 |
| 17 | Debila | 33960 | 78 | 435.38 |
| 18 | Hassani Abdelkerim | 32030 | 58 | 552.24 |
| 19 | Hamraia | 7370 | 2444 | 3.01 |
| 20 | Taleb Larbi | 14905 | 1110 | 13.42 |
| 21 | Douar El-Maa | 9395 | 17813 | 0.52 |
| 22 | Ben Guecha | 6390 | 2646 | 2,41 |
| 23 | Still | 7540 | 904 | 8,34 |
| 24 | M'rara | 11710 | 1132 | 10,34 |
| 25 | Sidi Khalil | 8550 | 840 | 10.17 |
| 26 | Tendla | 11515 | 978 | 11,77 |
| 27 | El-Meghaier | 66905 | 1532 | 43.67 |
| 28 | Djamaa | 71905 | 780 | 92.18 |
| 29 | Oum Tiour | 13430 | 2116 | 6.34 |
| 30 | Sidi Amrane | 27265 | 552 | 49.39 |
| | Totaux | 900000 | 44586 | 21.88 |

Source : (DBSP d'El-Oued, FIN2019)

D'après le tableau 5, notons que :

- ❖ la commune la plus peuplée est El-Oued avec une densité de l'ordre de (2337.07hab. /km²)
- ❖ la commune de Hassani Abdelkrim se classe après l'oued avec une densité de (537.06hab. /km²),
- ❖ la commune El-Ogla a la moindre densité populaire égale à (6.20hab. /km²).

II.3. Topographie d 'El-Oued :

La région d'Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara caractérisée par une faible altitude au Sud-est du pays.

- Le point le plus haut se trouve à la côte 125m dans la commune d'Essoualah,
- Le point le plus bas se trouve à la cote -4 m dans la commune de Réguiba (Foulia), (ANRH, 2019).

L'altitude moyenne de la région est de 61 mètres et marque une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara.

Tableau N° 05 : Altitude moyenne des communes d'Oued Souf

| N° | N° Commune | Altitude Moyenne (m) | N° | N° Commune | Altitude Moyenne (m) |
|----|----------------|----------------------|----|-------------------|----------------------|
| 1 | Hassi Khalifa | 77 | 10 | Sidi Aoun | 54 |
| 2 | El-Ogla | 91 | 11 | Trifaoui | 81 |
| 3 | MihOuansa | 91 | 12 | Magrane | 60 |
| 4 | El-Oued | 77 | 13 | Ourmes | 85 |
| 5 | Robbah | 93 | 14 | Kouinine | 75 |
| 6 | Oued Allenda | 83 | 15 | Reguiba | 57 |
| 7 | Bayadha | 90 | 16 | Taghzout | 78.5 |
| 8 | Nakhla | 85 | 17 | Debila | 62 |
| 9 | Guemar | 64 | 18 | Hassan Abdelkerim | 66 |

Source : (DRE d'El-Oued, 2019)

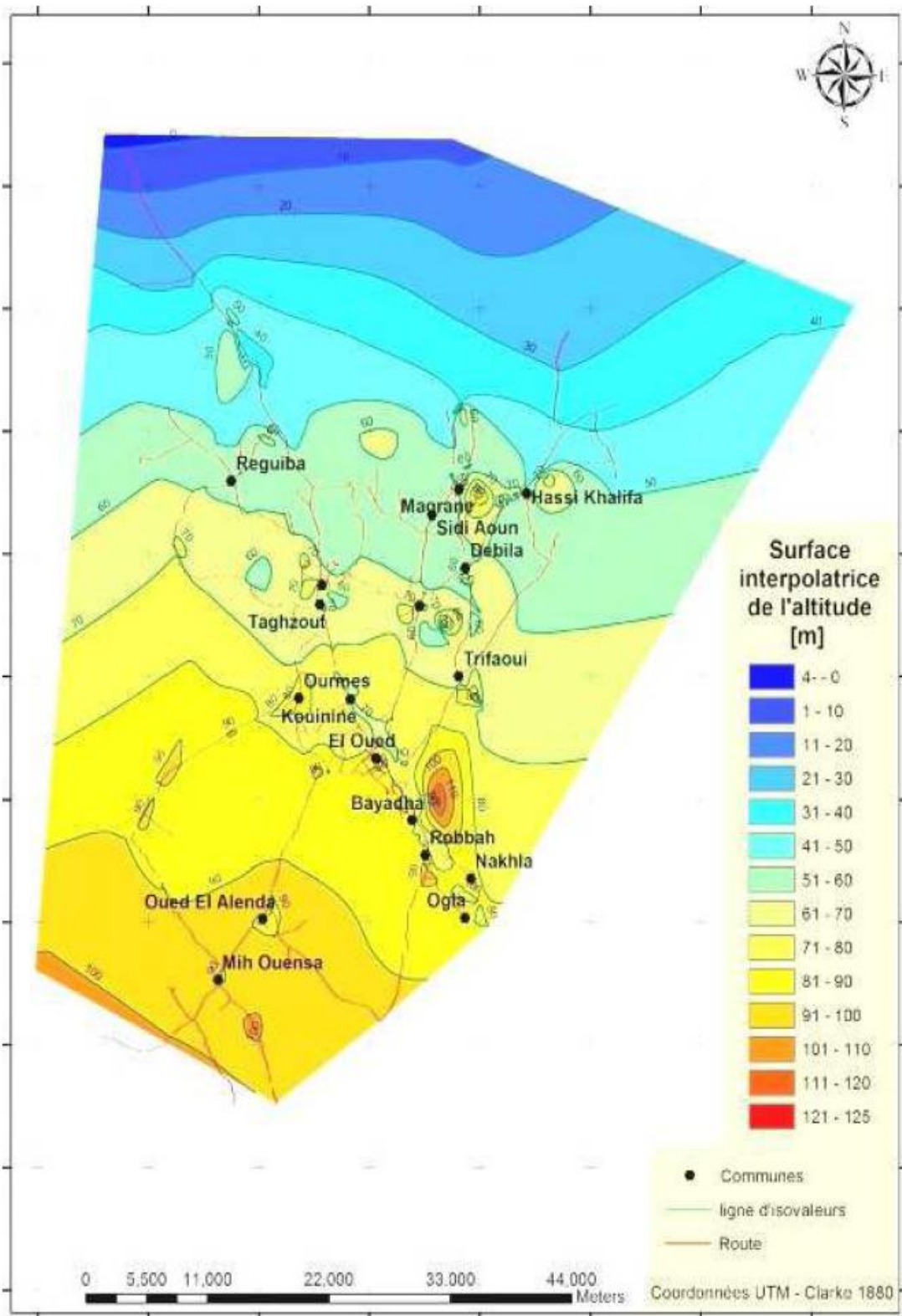


Figure 7 : Carte topographique de la vallée du Souf (DRE d'El-Oued, 2019)

II.4 : Stratigraphie régionale :

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) 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 de Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente.

II. 4.1 : Formation de l'ère Secondaire :**II.4.1.1 : 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.

II.4.1.2 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.

II.4.1.3 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 Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

II.4.1.4 Le Vraconien :

C'est 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 rencontre aussi des sables avec passages des grés à ciment calcaires. Cet étage constitue la couverture de l'albien par des niveaux argileux. L'épaisseur de cet étage dans toute la zone d'étude varie entre 250 m et 300 m.

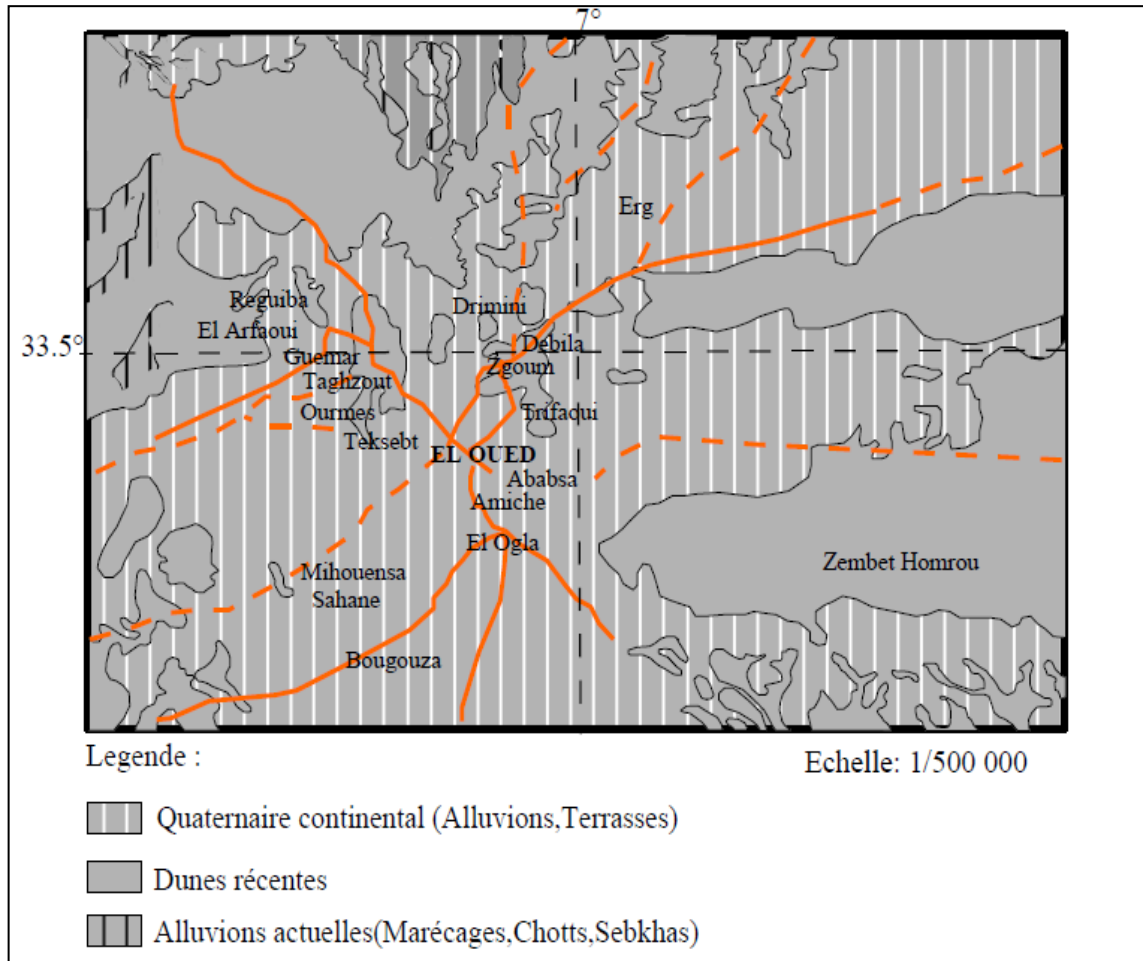
II.4.1.5 LE Cénomaniens :

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 de d'Anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable. La limite inférieure de cet étage est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui le distingue nettement. La

limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspond à la base du Turonien.

II.4.1.6. Le Turonien

Cet étage représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies microcristallines compactes avec des intercalations de calcaires et parfois de marnes. Les forages de la région montrent que sa épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 m.



Bensaddik / Aouadi (2014)

Figure 8 : Carte géologique locale (d'après la carte dressée par Gouskov)

II.4.1.7 Sénonien :

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents de point de vue faciès : l'un correspond au sénonien lagunaire, situé à la base, et le sénonien carbonaté situé à la partie supérieure.

II.4.1.7.1. Sénonien lagunaire :

Le sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporitique avec des argiles ou ces dernières sont aisément différenciables de celles du Turonien. Il est constitué également d'anhydrite, de calcaires dolomitiques, d'argiles et surtout de bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine les 150 mètres.

La limite supérieure de cette formation coïncide avec le Turonien de la dernière intercalation anhydritique.

II.4.1.7.2 Sénonien carbonaté :

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques, avec des intercalations marno-argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et de dolomies vacuolaires. Son épaisseur dépasse parfois 300 mètres. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène qui présentent tous les deux des calcaires de même nature avec la présence de nummulites.

II.4.2 Formation de l'ère Tertiaire :**II.4.2.1. L'Eocène :**

Cet étage est formé par des sables et des argiles parfois. Nous rencontrons du gypse et des graviers. Dans la région d'El-Oued cet étage est carbonaté à sa partie inférieure, alors que sa partie supérieure est marquée par des argiles de types lagunaires. L'épaisseur de cet étage varie entre 150 m et 200 m.

II.4.2.2. LE Mio-Pliocène :

Ce dernier repose en discordance indifféremment sur le primaire, d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autres part. Il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminal (CT). La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montre que le Mio-Pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo-argileux avec des intercalations gypseuses, marneuses et des passages de grès. Sur toute *l'étendue* du Sahara oriental, Bel et De marne séparent cet horizon en quatre niveaux :

❖ a. NIVEAU ARGILEUX:

Il présente une faible épaisseur, son existence n'affecte que la partie centrale de Sahara oriental.

❖ b.NIVEAU GRESO-SABLEUX

C'est le plus puissant par rapport aux autres, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara. C'est en fait à ce niveau que se trouve le principal horizon aquifère- appelé aussi complexe terminal (CT).

❖ c.NIVEAU ARGILO-SABLEUX

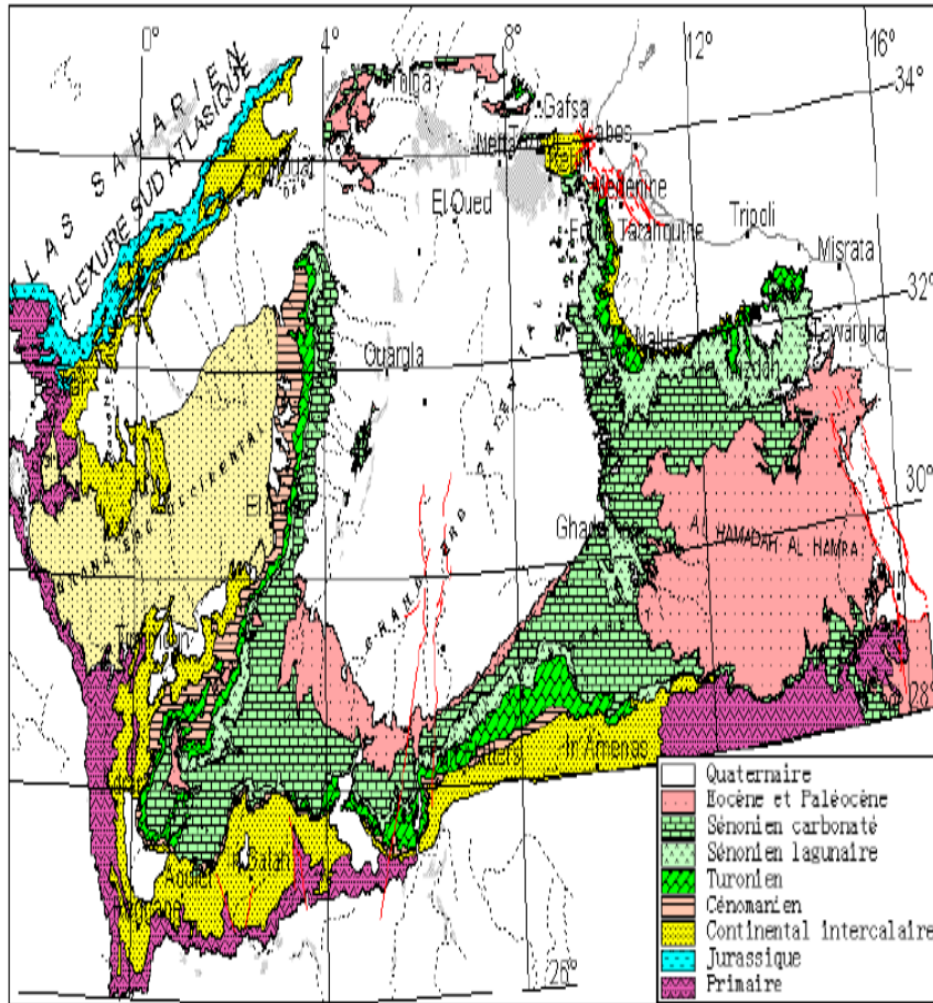
Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique ; ses limites demeurent toujours confondues

❖ d.NIVEAU SABLEUX

Ce niveau constitué le deuxième horizon aquifère du complexe terminal. Donc du point de vue hydrogéologique les deux niveaux sableux (b et d) présentent un grand intérêt. Ils correspondent à la nappe des sables du complexe terminal.

I.4.3 Formations 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.



(MIMOUNE /ZOUBEIDI 2014)

Figure 9 :Plan géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy, M., 2005)

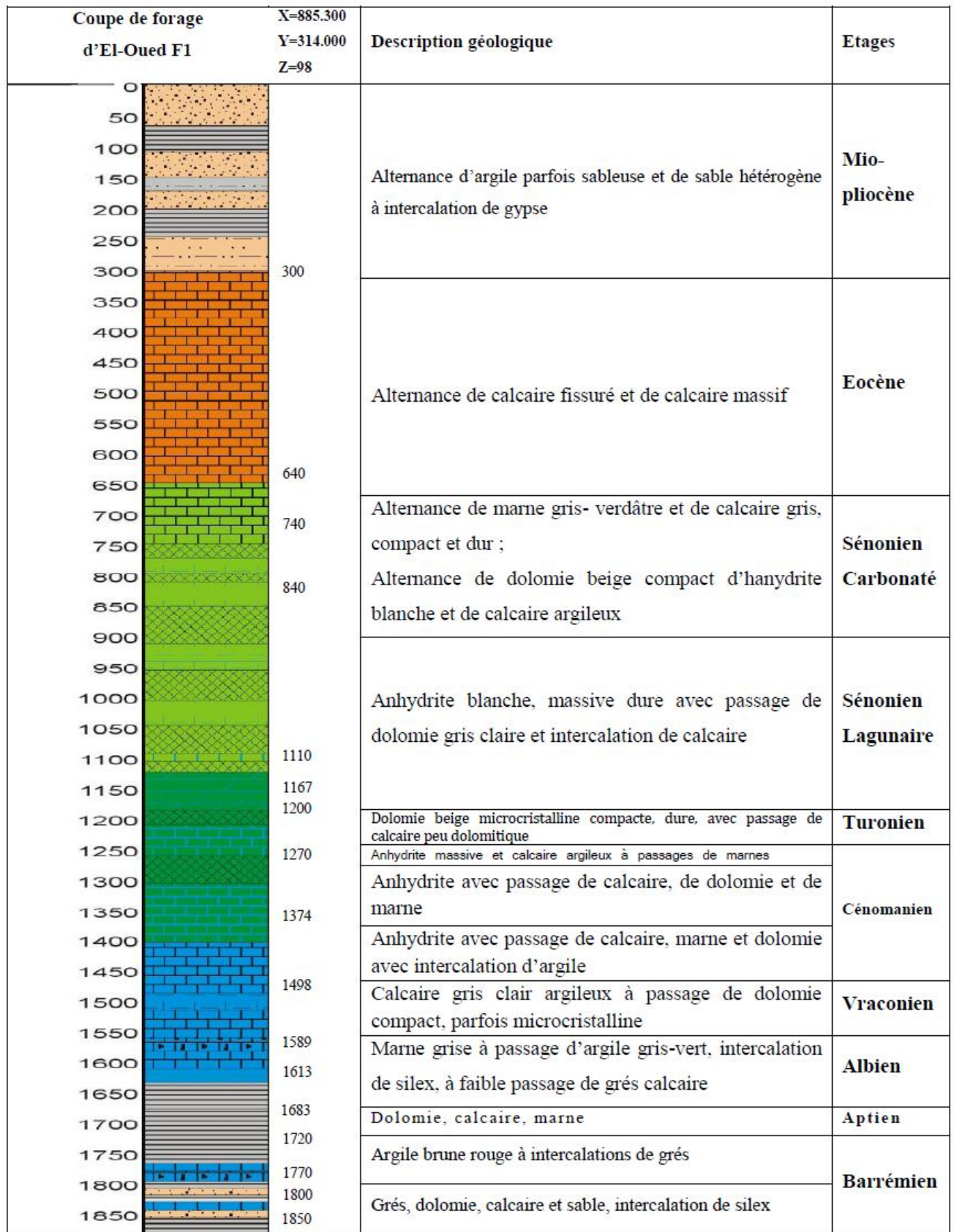


Figure 10 :Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).

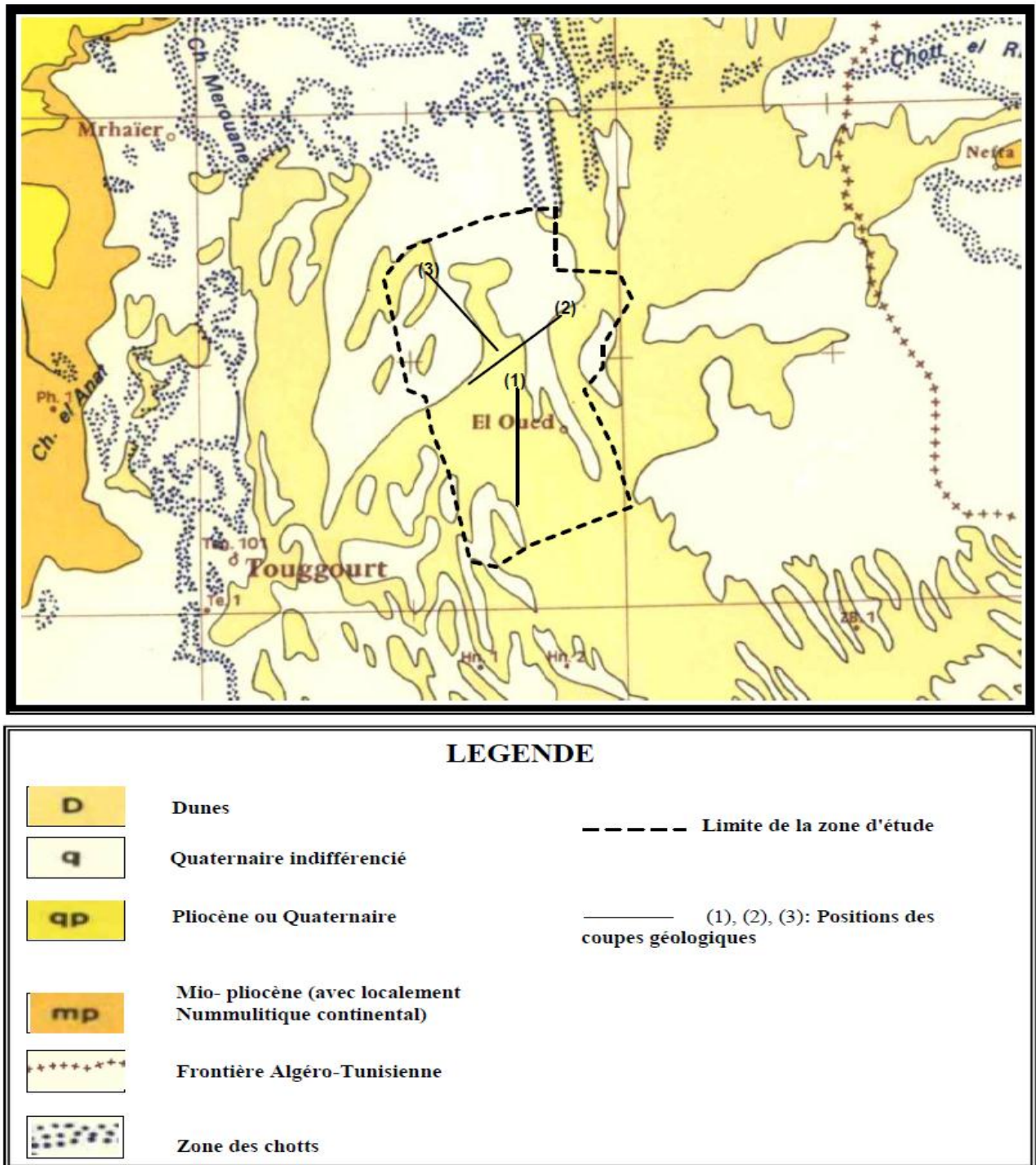


Figure 11 :Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional (G. Busson 1970) in Khechana, S. 2014.

II. 5. Interprétation des coupes géologiques :

L'objectif de ces coupes géologiques est d'établir une corrélation lithologique du sous-sol, d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximative des couches ainsi que l'épaisseur utile de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued. Ces coupes sont vérifiées ensuite par les sondages électriques verticaux) (BOUSALSAL /B 2009)

II.5.1 Coupe N°1 :

Cette coupe orientée Nord – Sud, faite sous la base de coupes de forages, on remarque que l'épaisseur de formation miopliocène (constituée par des argiles sableuses, de sable et de calcaire) diminue du Nord vers le Sud. Au niveau du **H11.104**, on remarque l'absence des formations quaternaires correspondant aux formations sableuses ; ce manque ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud (voir **H12.32 et H12.23**). (Figure N°19). (BENSEDIK AOUADI 2014).

Coupe corrélatrice extraite à partir des logs lithologiques des forages

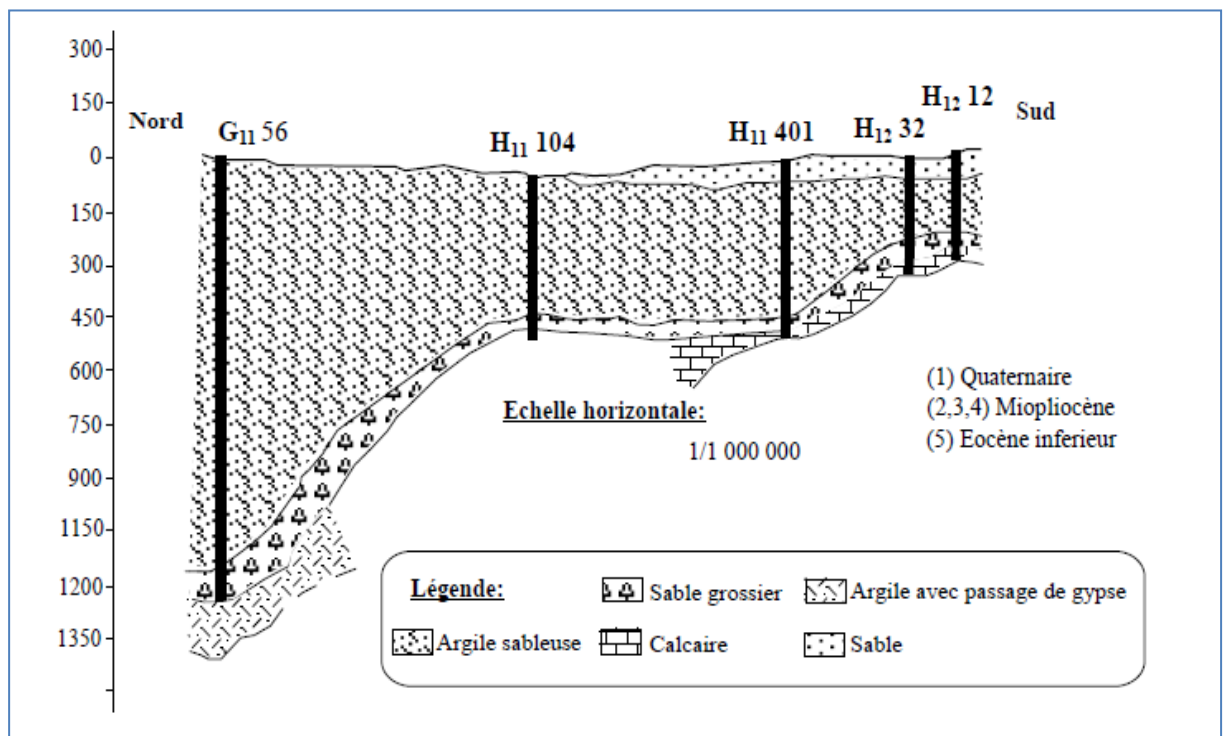


Figure 12 : Coupe géologique N° 01 (DROUCHE 2008)

II.5.2 Coupe N°2 :

La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaga vers Ouermès, on remarque au niveau du forage (**H12-52**), l'absence du Quaternaire, ce ci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations miopliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent

d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage **H12-540** l'épaisseur présente presque la moitié de celle de **H12 -84**) (Figure N°20). (MIMOUNE / ZOUBEIDI 2014).

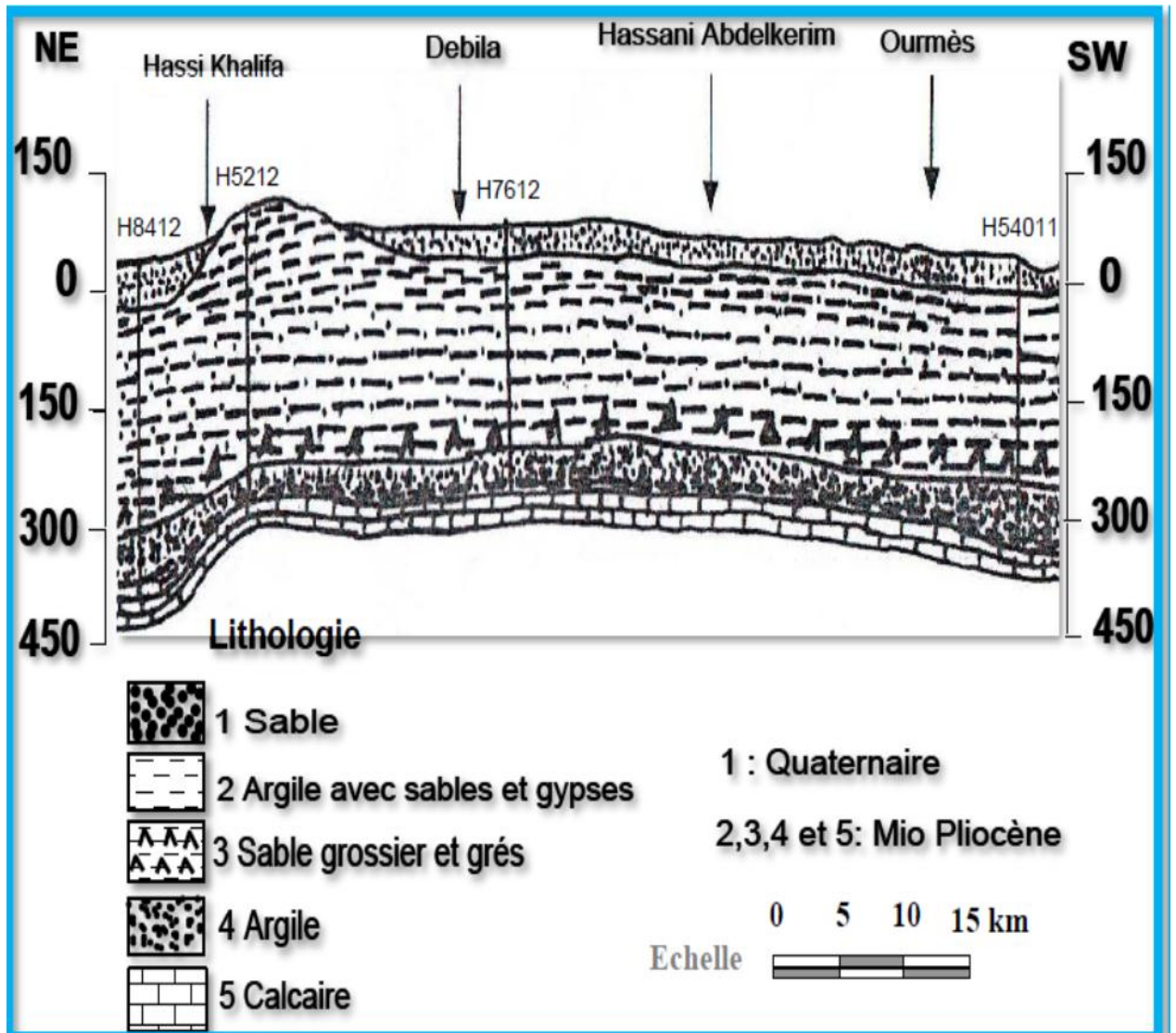


Figure 13 : Coupe géologique N° 2, Extraite à partir des logs lithologiques des forages (A.N.R.H, 1989)

II.5.3 Coupe N°03 :

La coupe N° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le **Sud-Est**, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au **Nord-Ouest** qu'au **Sud-est**.(Figure N°21). (MIMOUNE/ZOUBEIDI 2014).

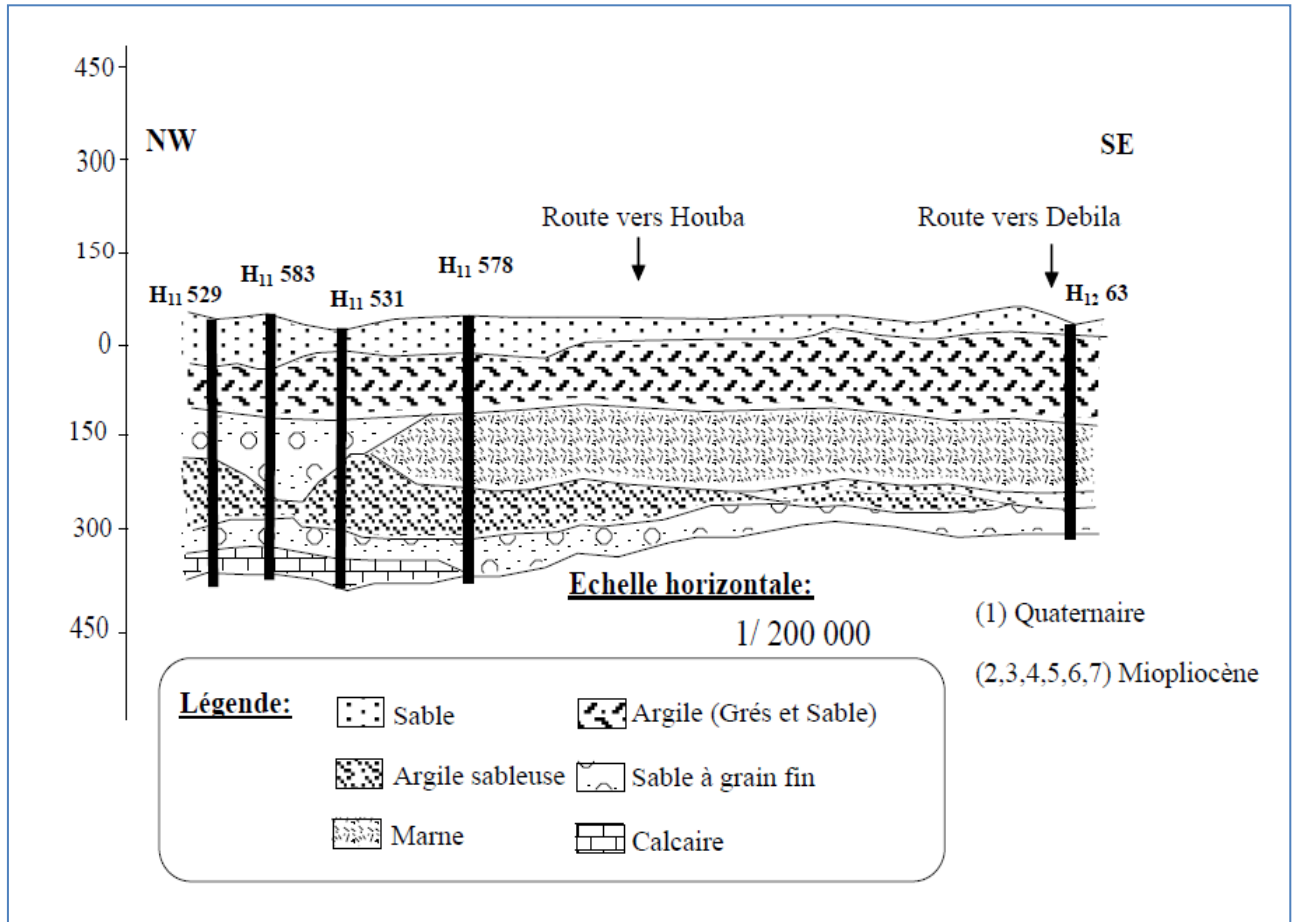


Figure 14 : Coupe géologique N° 03(DROUCHE 2008)

II.6. Tectonique :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous- tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme créacé forme un vaste synclinal dont le fond a un très grand rayon de courbure. Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles

dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire.

Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-est de la région d'étude. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.(MIMOUNE / ZOUBEIDI2014 _ KHECHNA /S 2014).

II. 7Relief :

Le relief de la ville d'El Oued est Caractérisé par l'existence de trois principales formes:

- **Une région sableuse** : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.
- **Une forme de plateaux rocheux** : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- **Une zone de dépression** : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

Il est à signaler que l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

La variation de côte est relativement faible, le point le plus bas correspond à la cote 130m alors que le plus haut atteint la 60m (MIMOUNE / ZOUBEIDI 2014 _ KHECHNA /S 2014)

III.8.Conclusion:

Le relief d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes: une région sableuse, une forme de plateau rocheux et une zone de dépression. Du point de vue topographique l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts.

A partir de cette étude, nous constatons que la région à une particularité spécifique de point de vue géologique, ainsi que les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

La stratigraphie de la région est caractérisé par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux dépôts de Quaternaire

Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement.

Chapitre II
Hydrogéologie

I. Introduction :

L'étude hydrogéologique est prépondérante à la compréhension des processus d'alimentation des aquifères d'une part, et la reconnaissance des sens d'écoulement d'autre part, ainsi que la variation du gradient hydraulique, les caractéristiques hydrodynamiques, et la détermination des conditions aux limites du système aquifère et enfin la détermination de la géométrie des nappes.

Dans un premier stade est de comprendre l'évolution du niveau piézométrique dans le temps et dans l'espace.

Dans un deuxième stade de connaître le régime hydrodynamique du réservoir en cernant finalement les zones de fortes transmissivités d'une part, et d'autre part les zones de fortes perméabilités.

Ces descriptions vont pouvoir nous aider à mieux comprendre la vulnérabilité de la nappe aux différents polluants.

II. 1. Inventaire des forages : L'inventaire des points d'eau de notre système aquifère se définit par 29 forages en Complexe Terminale selon l'inventaire de 2013.

Parmi les quels trois sont abandonnés, le reste est destiné soit à l'exploitation de l'AEP soit à l'exploitation irrigation, Plus d'une soixantaine de forage se trouvent dans la région d'El-Oued exploitant la nappe pour l'alimentation en eau potable d'une part et d'autre part pour l'irrigation des terres cultivées. (Fig. II.1).

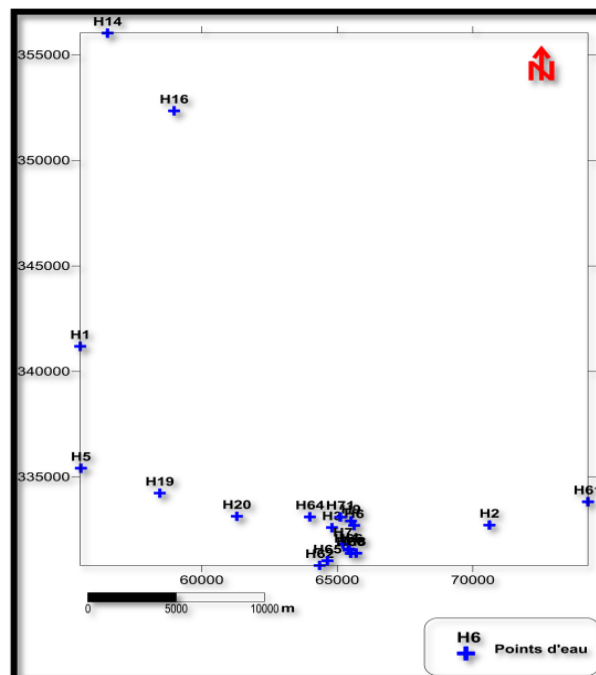


Figure 01 : Carte d'inventaire des points des eaux souterraines de la région d'El-Oued (2013)

II.2 Cadre hydrogéologique :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780'000 km².

Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux.

Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au Nord-Est du bassin (Fig. I I I . 2). Celui-ci comporte, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres.

Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique certain. Allant du Crétacé au Quaternaire, elle constitue une alternance de grès, sables, sables argileux et d'argiles, de calcaires, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites. Cette série comporte trois grands ensembles perméables auxquels correspondent trois grands systèmes aquifères : la nappe du Continental Intercalaire, la nappe du Complexe Terminal et la nappe phréatique.

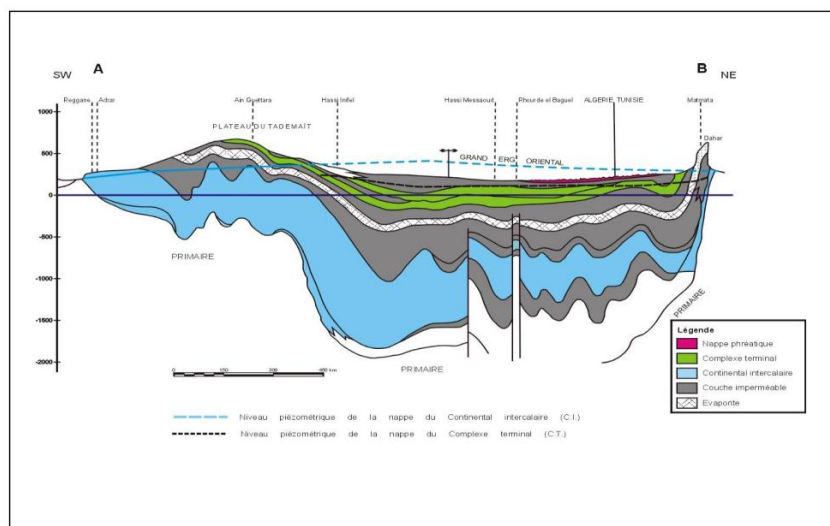


Figure 02 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

. III .1. Nappe Phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variant entre 10 et 60 mètres.

Vu sur son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies ; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 21000.

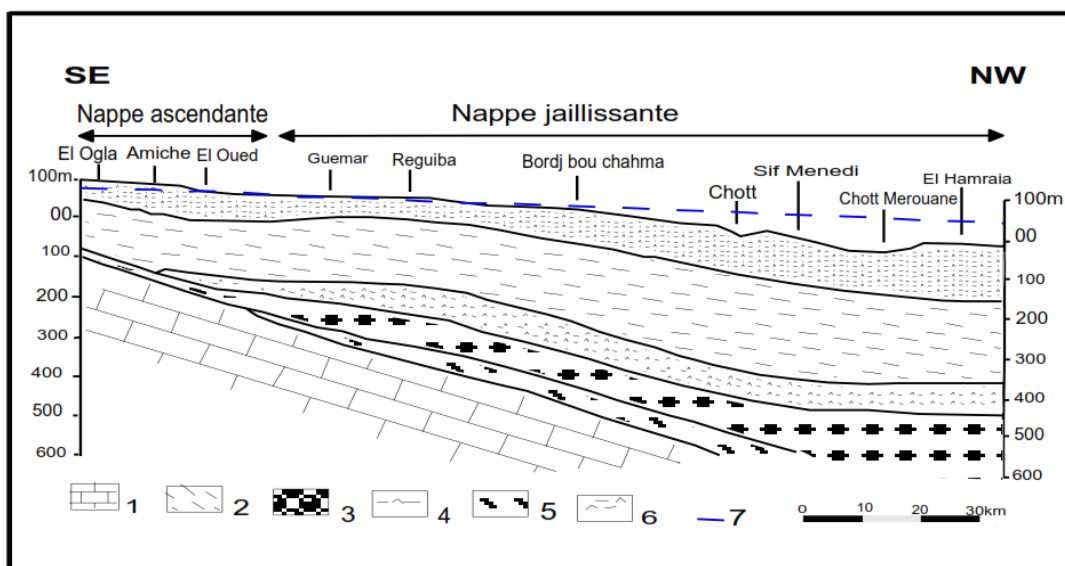
La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide sur toute la région du Souf et particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté dans la région des Chotts la nappe libre est présente sur toute la zone d'étude.

La nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations (les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques) et la source absolue de ces dernières est des nappes profondes du Complexe Terminal et Continentale Intercalaire (Cote, 1998).

III .2.Nappe du Complexe Terminal :

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes : Sénonien carbonaté et Eocène, Miopliocène sableux.

D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène (Pontien) et Pliocène, alors que la dernière à l'Eocène inférieur (Figure II.03).



1- calcaire de l'Eocène inférieur marin et de l'Eocène moyen évaporitique. 2- Argiles sableuses et marnes de la base du continental terminal. 3- Sable grossiers à graviers du Pontien inférieur. 4- Argiles et gypse dominants. 5- Argiles et sable dominants. 6- Argile sable et gypse (les trois derniers étages appartiennent au Mio-Pliocène supérieur). 7- Niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur

Figure 03 : Coupe hydrogéologique de l'El-Oued

a- Nappes des sables :

Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud aurésienne, dans la région d'étude elle se trouve à 280 mètres de profondeur.

Il faut mentionner également l'existence d'une deuxième nappe de sables d'âge Pontien. Au dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires en contact avec les marnes de l'Eocène inférieurs et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du Pontien du Sud Tunisien, la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ. L'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est, autrement dit vers la zone des chotts (Melghir et Merouane).

Dans la zone à fortes exploitations telle que la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Laarbi et Douar El Maa, la nappe est exploitée à ce jour artisanalement. C'est le cas de la nappe Pontienne.

b- Les nappes de calcaires :

Le Complexe Terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe ; les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant de repère pour la classification des eaux souterraines ; du Sud au Nord, nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux. Il correspond au niveau inférieur.

Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux, est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des passées d'argile rouge.

III .3.Nappe du Continent Intercalaire (CI) :

Le terme « C.I » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régité par une régression marine suivit d'une transgression du Crétacé supérieur.

Le Continent Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base Trias et le sommet de l'Albien.

Le traitement manquant du réservoir aquifère du Continental Intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 Km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système aquifère soit constitué par les grandes quantités d'eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées ; il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoire.

Tab.III.1: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.

| Nature hydrogéologique | | Nature lithologique | Etagé | | Ere |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|---------|-----------|
| Nappe phréatique | | Sables | Quaternaire | | |
| Niveau imperméable | | Argiles | | | |
| 1 ^{ère} nappe des sables | Complexe Terminal | Sables | Pliocène | | Tertiaire |
| Semi-perméable | | Argiles gypseuses | | | |
| 2 ^{ème} nappe des sables | | Sables grossiers, graviers | Pontien | Miocène | |
| Niveau imperméable | | Argiles lagunaires, marnes | Moyen | Eocène | |
| Nappe des calcaires (perméables) | | Calcaire fissuré | Inférieur | | |
| | | | Sénonien carbonaté | | |
| Semi-perméable | | Evaporites, argiles | Sénonien lagunaire | Crétacé | |
| Niveau imperméable | Argiles, marnes | Cénomaniens | | | |
| Nappe de Continental Intercalaire | Sables et Grés | Albien | | | |

IV. Aperçu historique :

La géomorphologie de la région du Souf se présente par des reliefs très accidentés, avec l'existence de plusieurs fosses (GHITANES) inondées abritant en général les palmeraies dépeuries.

Avant la réalisation du premier forage en 1956 la nappe ne suscitait pas d'inquiétudes, car elle était presque l'unique ressource exploitée, soit pour l'A.E.P ou pour l'irrigation.

Autre fois dans le Souf la palmeraie était plantée dans le GHOUT à environ 1m du toit de la nappe phréatique ce qui lui permet de puiser l'eau directement de l'aquifère. Mais avec

lacroissance démographique et le développement urbain et agricole de la région créant ainsi une demande importante et incessante des besoins en eau pour l'A.E.P et l'irrigation, provoquant ainsi la multiplication des forages à travers la région du Souf.

En présence de toute cette mobilisation en eau totalisant un débit de 119.92hm³/an et en présence d'un sol favorable au phénomène de la remontée capillaire et en l'absence de réseau d'assainissement et de drainage et d'un exutoire naturel. Toutes ces conditions accélèrent l'apparition de ce phénomène de la remontée

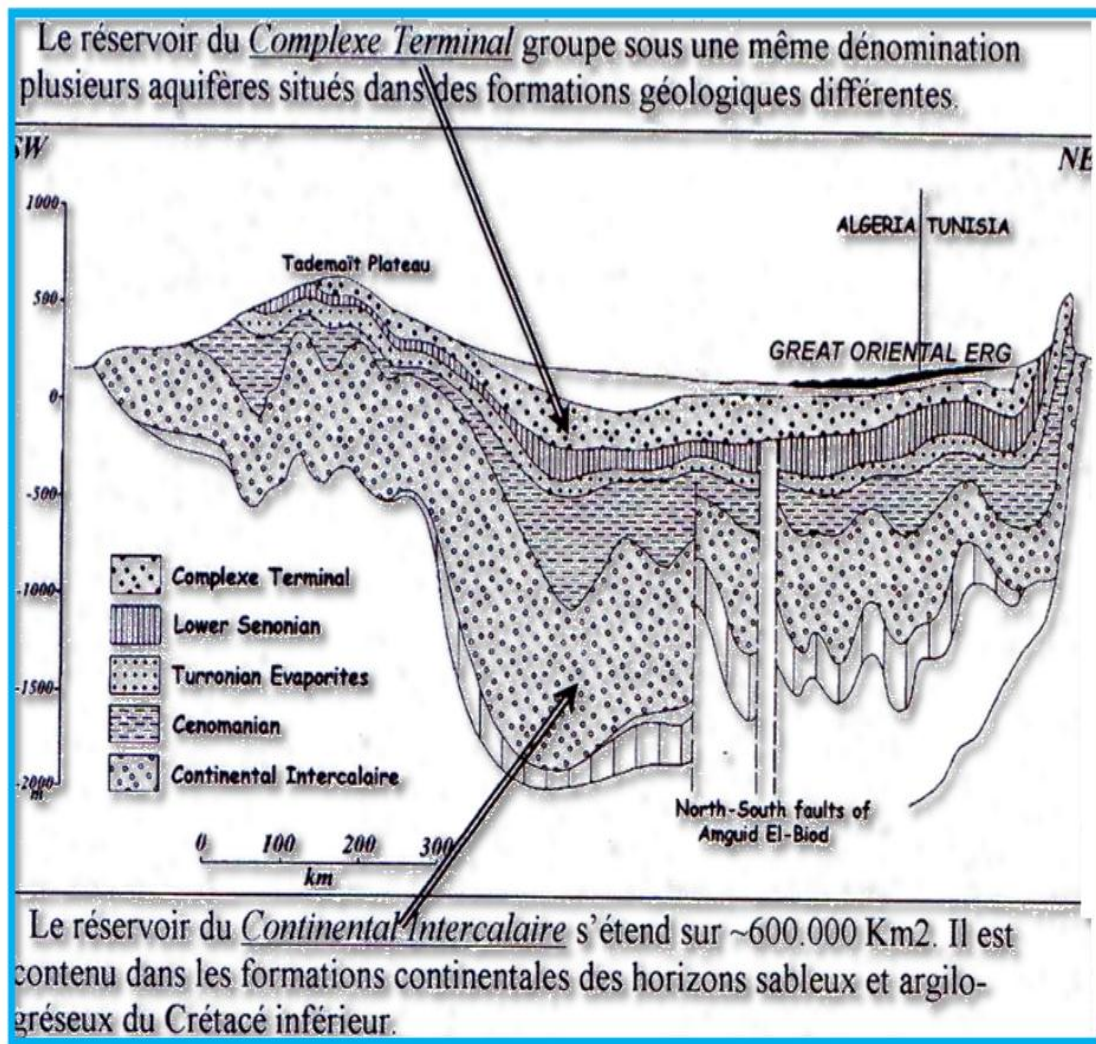


Figure 04 :Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional.(Cornet, 1964)

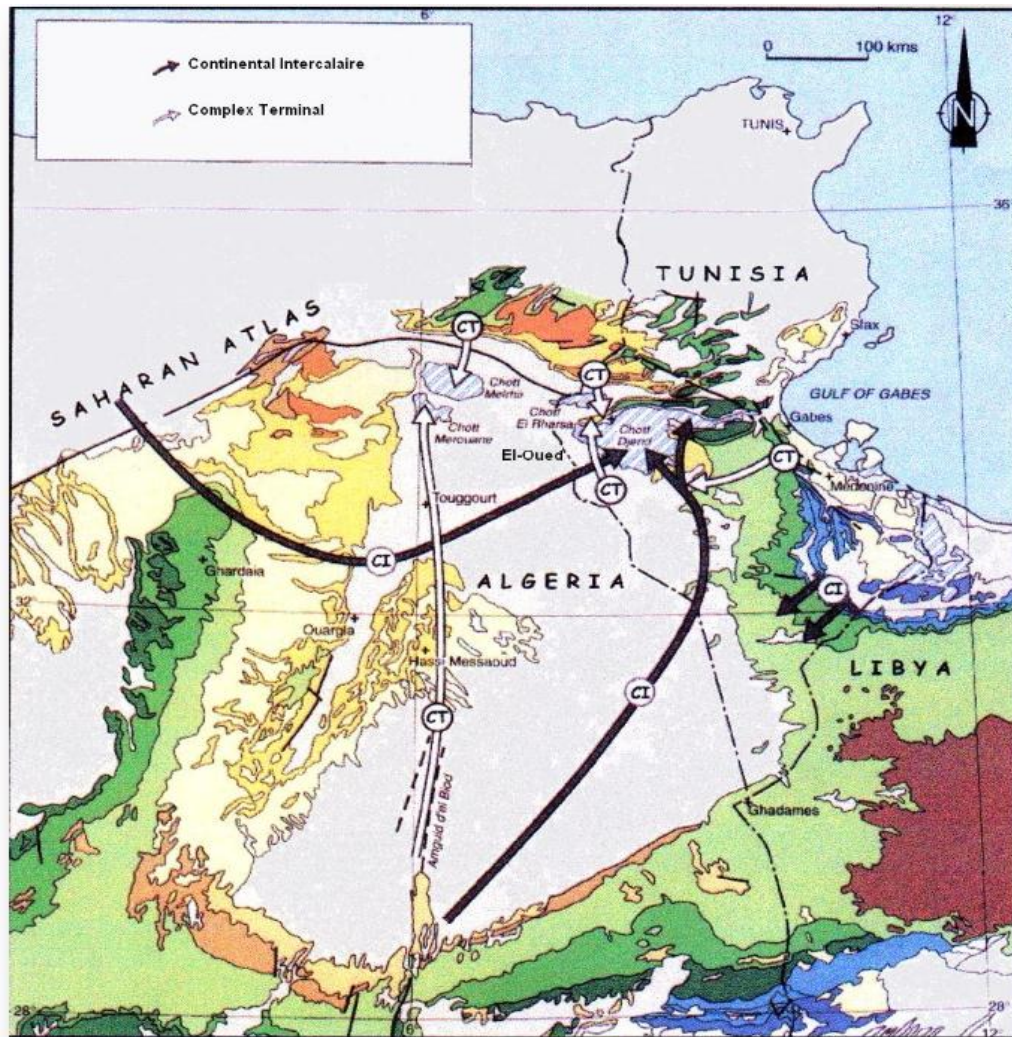


Figure 05 : Carte géologique avec le sens d'écoulement des aquifères CT et CI (UNESCO, 1972)

V. Piézométrie:

La carte piézométrique a pour but de représenter la configuration de l'aquifère et de schématiser la fonction conduite du réservoir et le comportement hydrodynamique de l'aquifère, elle traduit la morphologie de la surface d'eau de la nappe à une époque déterminée. Une campagne piézométrique faite pendant les basses eaux a permis de suivre l'évolution de la piézométrie de la nappe

V.1. Interprétation de la carte piézométrique (2010):

La carte piézométrique dressée pendant la période des basses eaux (2010) a permis de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines, l'alimentation de la nappe.

Le sens d'écoulement est Sud – Nord-Ouest, les courbes hydro isohypses sont relativement rapprochées avec une concavité orientée vers le Sud.

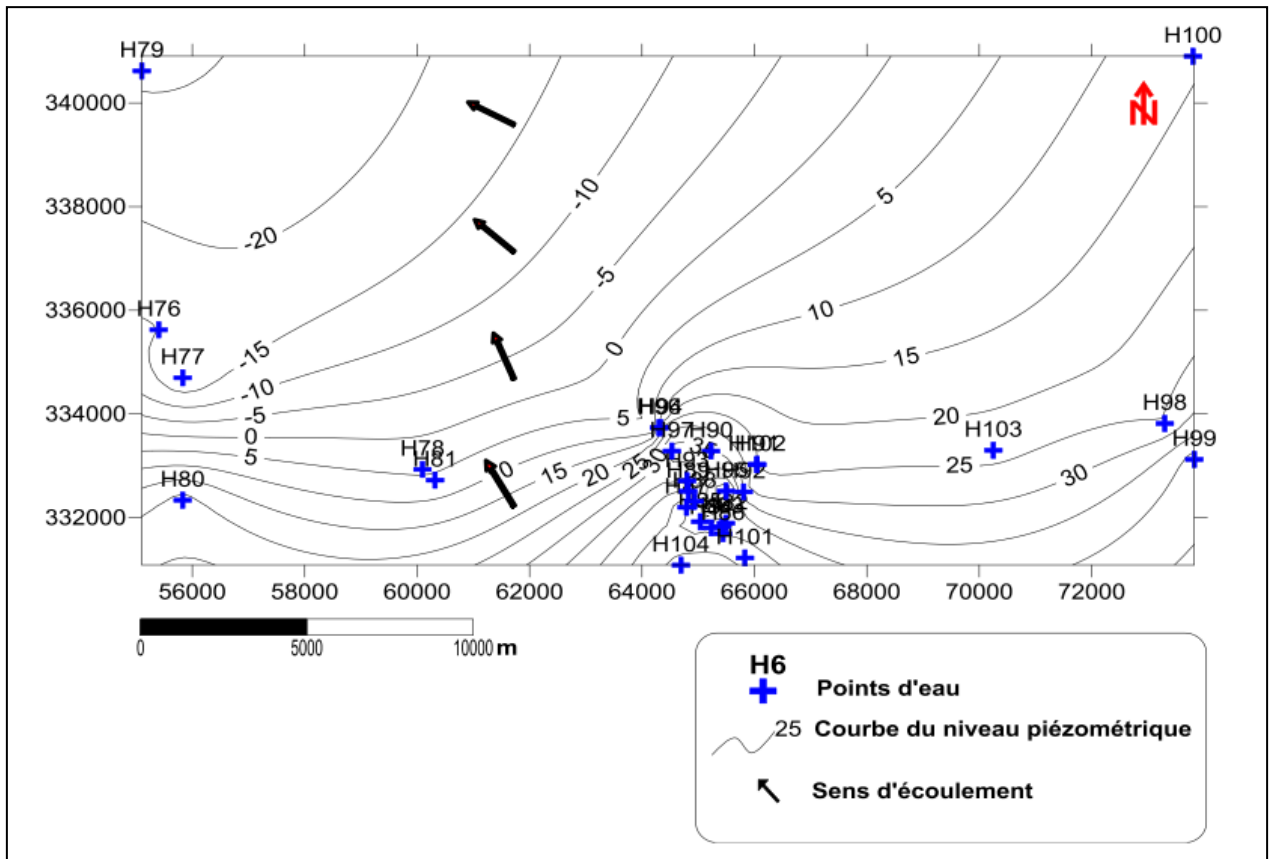


Figure 06 : Carte piézométrique des eaux souterraines de la région d’El-Oued (2010)

V.2. Interprétation de la carte piézométrique (2013):

La carte piézométrique dressée pendant la période des basses eaux (2013) a permis de déterminer le sens d’écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines, l’alimentation de la nappe. (La figure III . 7) décrit principaux :

Le sens de l’écoulement est Sud - Nord-Ouest, les courbes hydro isohypses sont relativement rapprochées avec une concavité orientée vers le Sud-Ouest.

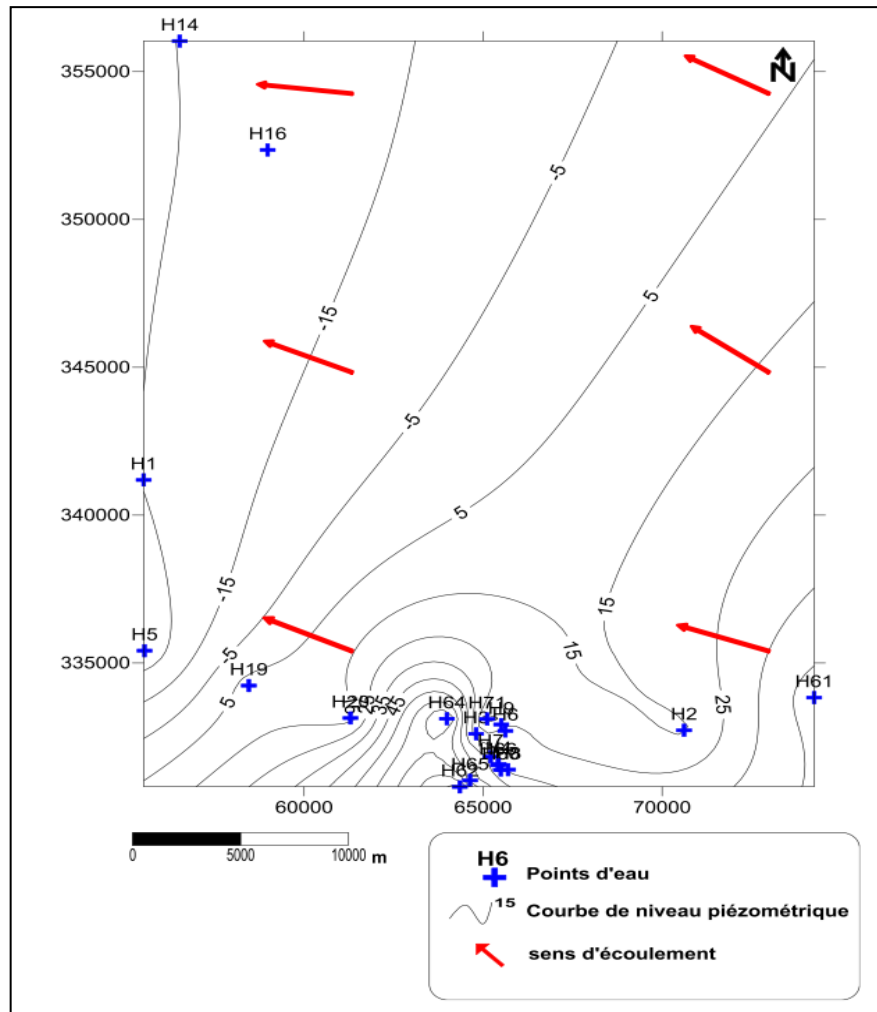


Figure 07 : Carte piézométrique des eaux souterraines d'el-Oued (2013) IV. Paramètres hydrodynamiques :

IV.1.Introduction:

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 4 sites répartis dans la zone d'étude de la région du Souf à Ain raach, NakhlaChamaliya, Ourmes, El-Oued centre, et Foulia, du 2013.

Chaque site d'essais est constitué d'un forage de pompage et trois piézomètres d'observation, situés à 5, 15, 45 mètres du puits de pompage. Les forages de pompage sont des forages existants avec des caractéristiques différentes, alors que tous les piézomètres réalisés pour ces essais de pompage sont identiques. Les rejets des eaux de pompage sont situés plus loin des sites des essais de pompage.

Les essais de pompage ont comporté, pour chaque site :

Un essai par paliers enchaînés et composé de trois paliers de 6 heures chacun à débit constant mais différents, séparés par un intervalle d'au moins 12 heures.

➤ L'essai de longue durée a constitué en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée.

IV.2. Coordonnées UTM des sites des essais par pompage :

Les coordonnées UTM des sites des essais de pompage sont définies dans le tableau (III.1).

Tab.III. 2 : Coordonnées UTM des sites des essais pompages

| Site | X | Y | Z (m) |
|----------------|--------------|---------------|-------|
| El-Oued centre | 06°51'44" | 33°21'22" | 92 |
| Ain raach | 06°0'20 ,2 " | 33°54'22 ,5 " | 24 |
| Nakhlagharbiya | 06°56'20" | 33°15'45" | 90 |
| Ourmes | 06°45'54 " | 33°23'59" | 79 |
| Blila | 06°57'06" | 33°34'19" | 60 |

IV.3. Essai de pompage à El-Oued centre : IV.3.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, trois de 8 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués le 2013 sur un forage amélioré, exploité, dans la commune d'El-Oued, (coordonnées UTM Clarke 1880

$X = 06^{\circ}51'44''$, $Y = 33^{\circ}21'22''$).

Cet aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse.

IV.3.2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures du rabattement du niveau piézométrique dans le forage de pompage d'essai de 8 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le graphe, temps/rabattement. Le débit est de 33l/s

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 28800 secondes. Le rabattement à 16l/s est de 2,1 m, celui à 24 l/s est de 1,02 m, et celui à 33l/s est de 1,22 m.

Le débit spécifique est de $2, \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.3.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation d'essai de longue durée, (72 h) à débit constant de 43 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage

Les mesures dans le forage de pompage sont représentées sur le graphe, temps/rabattement.

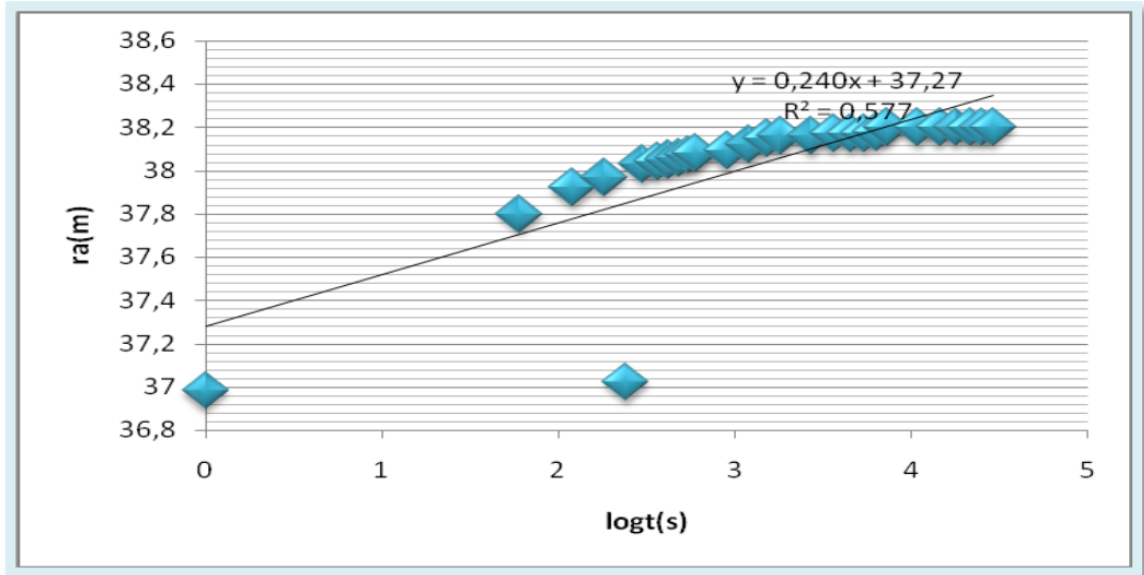


Figure 08 : Essai de pompage longue durée à El-Oued centre interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de :

$$T = 0.183Q / c = 0.183 * 53 * 10^{-3} / 0.28 = 3.4 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

IV.4. Essai de pompage à Ain raach :

IV.4.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués en 2013 , au-delà de la localité de Ain raah, en direction de Biskra (coordonnées UTM X = 06°0'20,2 " , Y = 00°34'22,5 ").

Cet aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable limoneux gypseux peu argileux et du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse.

IV.4. 2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures du rabattement du niveau piézométrique dans le forage de pompage d'essai de 8 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le graphe, temps/rabattement.

Le débit est de 53/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 28800 secondes. Le rabattement à 30l/s est de 4 m, celui à 40 l/s est de 0,97 m, et celui à 53/s est de 1,29 m.

Le débit spécifique est de $4,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.4.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h) débit constant de 53 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage. Les mesures dans le forage de pompage

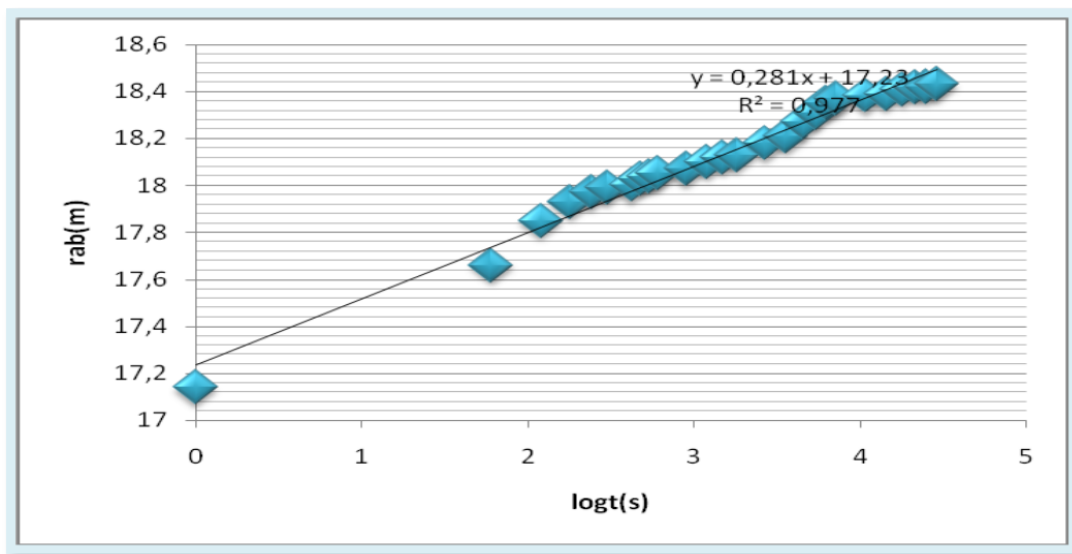


Figure 09 :Essai de pompage long duré à Ain raach Interprété par la méthode de Cooper &-Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de :

$$T = 0.183Q / c = 0.183 * 40 * 10^{-3} / 0.04 = 1,83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

IV.5.Essai de pompage à Nakhla gharbiya: IV.5.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 6heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 2013 sur un forage amélioré, non exploité, dans un périmètre agricole abandonné de la commune de (coordonnées UTM Clarke 1880 X =6°56'20 , Y =33°15'33) .

IV.5.2.Détermination de débit spécifique :

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 15l/s, 25 l/s et 34 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 14400 secondes. Le rabattement à 15 l/s est de 8,46 m, celui à 25 l/s est de 16,47 m, et celui à 34 l/s est de 21,09m.

Le débit spécifique est de $01.61 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.5.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h) à débit constant de 34 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage. Les mesures dans le forage de pompage est représenté sur le graphe, temps/rabattement.

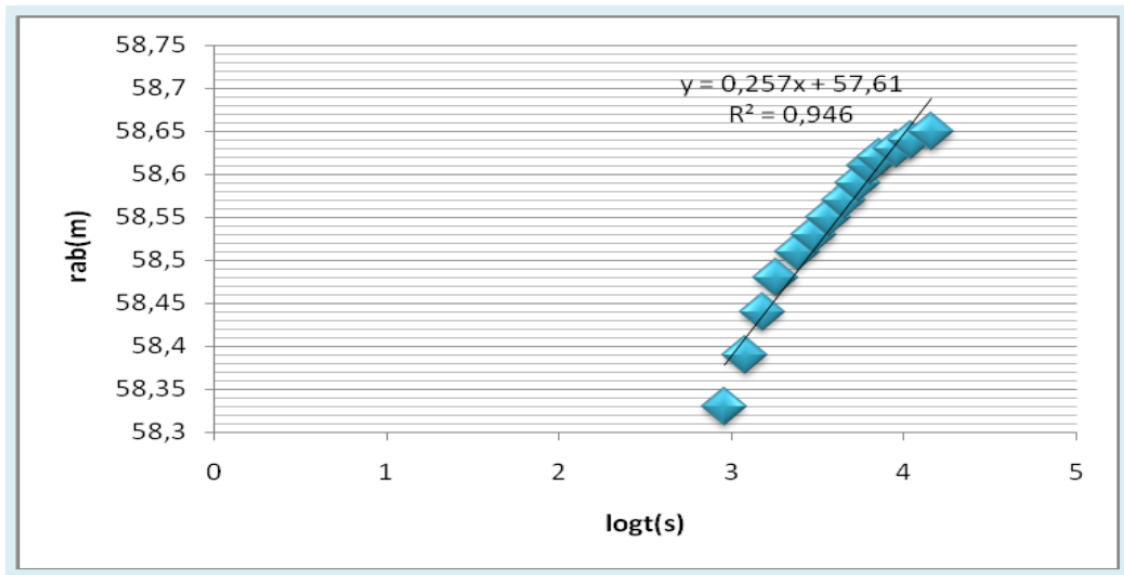


Figure 10 : Essai de pompage longue durée à Nakhla ttghamaliya interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de : $T = 0.183Q / c = 5,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

IV.6. Essai de pompage à Blila :

IV.6.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 2013 et sur un Le forage de Blila est destiné à l'alimentation en eau potable (AEP) de la commune de Magran ..

(coordonnées UTM Clarke 1880 X = $6^{\circ}57'05''$, Y = $33^{\circ}54'22,5''$).

Cette aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable limoneux gypseux peu argileux et du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse. 92m.

IV.6.2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures dans le forage de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe temps/rabattement. Les débits sont de

20 l/s, 30 l/s et 35 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 14400 secondes. Le rabattement à 20 l/s est de 8,67 m, celui à 30 l/s est de 15,59 m, et celui à 35 l/s est de 21,53 m.

Le débit spécifique est de $1,62 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.6.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h) à débit constant de 35 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage. est représentées sur le graphe, temps/rabattement

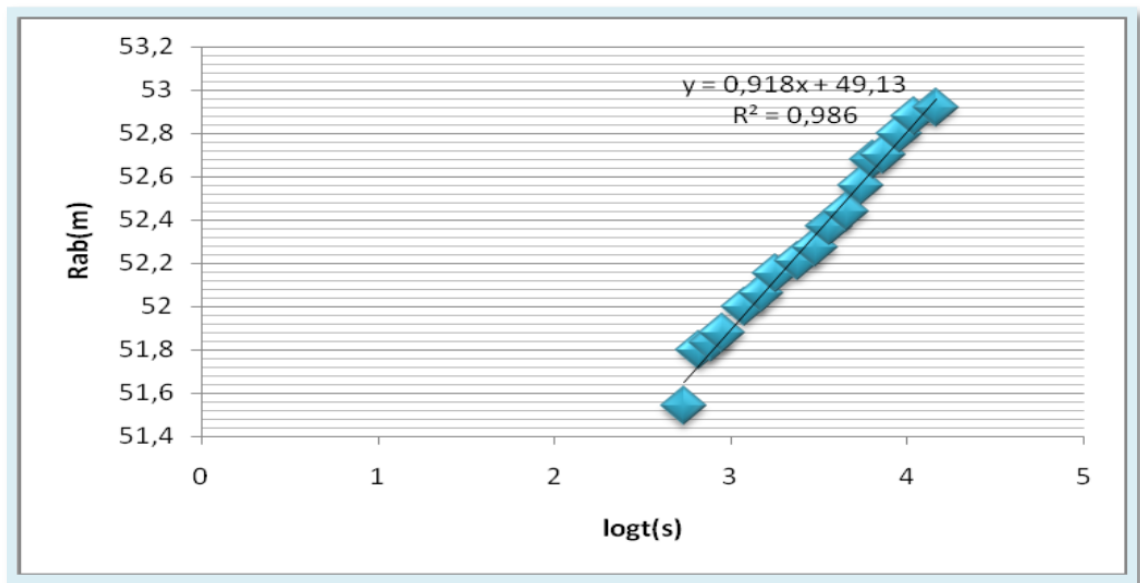


Figure 11 : Essai de pompage longue durée à magrane interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de : $T = 3,44 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.7. Essai de pompage à Ourmes :

IV.7.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre 2013 sur un forage amélioré exploité, dans la commune de Ourmes (coordonnées UTM Clarke 1880 $X = 06^{\circ}45'54''$, $Y = 33^{\circ}23'59''$).

IV.7.2.Détermination de débit spécifique :

Les mesures dans le forage de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe temps/rabattement. Les débits sont de 20l/s,30 l/s et40 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 28800 secondes. Le rabattement à 20 l/s est de 1,62 m, celui 30 l/s est de 0,88 m, et celui à 40 l/s est de 0,83 m. Le débit spécifique est de $5,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.7.3.Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation d'essai de logue durée, (72 h, 05 min et 30 s) à débit constant de 13,3 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage

La transmissivité T déterminée par la méthode de Jacob & Cooper est de :

$$T = 0.183Q / c = 0.183 \cdot 40 \cdot 10^{-3} / 0.04 = 1,83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Coefficient de porosité efficace (ne) :

Le coefficient de porosité efficace de la nappe libre est estimé à 10 % dans la zone d'étude (d'après la DHW d'El Oued).

Tab.I I I . 3 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques .

| site | Débit spécifique (m ² /s) | Transmissivité(m ² /s) |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| El-Oued centre | 2×10^{-2} | $3,4 \times 10^{-6}$ |
| Nakhlgharbiya | $4,1 \times 10^{-2}$ | $1,83 \times 10^{-2}$ |
| Ain raach | 1.61×10^{-3} | $5,88 \times 10^{-2}$ |
| Blila | $1,62 \times 10^{-3}$ | $3,44 \times 10^{-2}$ |
| Ourmes | $5,6 \times 10^{-2}$ | $1,83 \times 10^{-2}$ |

VI. Conclusion :

L'étude hydrogéologique complétée par la géophysique ainsi que la géologie et les données de forages ont permis de schématiser la géométrie de l'aquifère alluvionnaire. Il s'agit d'un aquifère libre au Nord devient captif à semi captif au Sud par changement de faciès lithologique.

L'analyse piézométrique a montré que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme avec un écoulement de direction générale Sud-Nord, et un gradient hydraulique assez fort en bordure de la plaine diminuant en allant au centre de cette dernière.

L'examen des coupes hydrogéologiques et l'interprétation des essais de pompage montrent bien la zone favorable à l'implantation des forages .

Chapitre III
Hydroclimatologie

I. Introduction:

La connaissance des caractéristiques hydro climatologiques est nécessaire pour l'étude hydrogéologique, elle est indispensable pour évaluer l'alimentation de réservoir souterrain (nappe phréatique) par infiltration, et pour l'établissement d'un bilan hydrique.

Dans ce chapitre, nous allons travailler avec une série de données climatologiques de la répartition des précipitations et températures moyennes mensuelles interannuelles enregistrées sur une période de 25 ans (1993-2018);

Et la répartition des précipitations et températures moyennes annuelles enregistrées sur une période de 16 ans (2002-2018); Fournies par l'Office National de Météorologie (ONM) à Guemar au nord de la ville d'Oued Souf.

Tableau N°01 : Coordonnées géographiques de la station météorologique de la région d'El- Oued

| Station | Code A.N.R.H | Altitude (m) | Longitude | Latitude |
|---------|--------------|--------------|-----------|----------|
| Guemar | 13 04 09 | 64 | 06°47'E | 33°30'N |

II.1.1. Température :

La température atteint parfois 46°C en été, alors qu'elle peut atteindre 5°C et 21°C en hiver. Dans les oasis règne un microclimat non aride créé par la densité de la palmeraie dans les ghouts.

II.1.1.1. Températures moyennes mensuelles interannuelles

Le tableau ci-dessous montre les valeurs des températures mensuelles interannuelles dans la région d'étude sur la période 1993/2018.

Tableau N°02 : Températures moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf (1993-2018)

| Températures (°C) | MOIS | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | T°C Moyenne annuelle |
|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| | Min | 22,63 | 17,65 | 10,21 | 6,05 | 5,23 | 6,30 | 10,52 | 14,69 | 18,81 | 23,57 | 26,64 | 27,09 | 15,78 |
| | Max | 35,47 | 30,61 | 22,97 | 17,92 | 17,61 | 19,32 | 24,05 | 28,62 | 33,33 | 38,54 | 41,06 | 41,15 | 29,30 |
| | Moy | 29,05 | 24,13 | 16,59 | 11,98 | 11,42 | 12,81 | 17,28 | 21,65 | 26,07 | 31,06 | 33,85 | 34,62 | 22,54 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

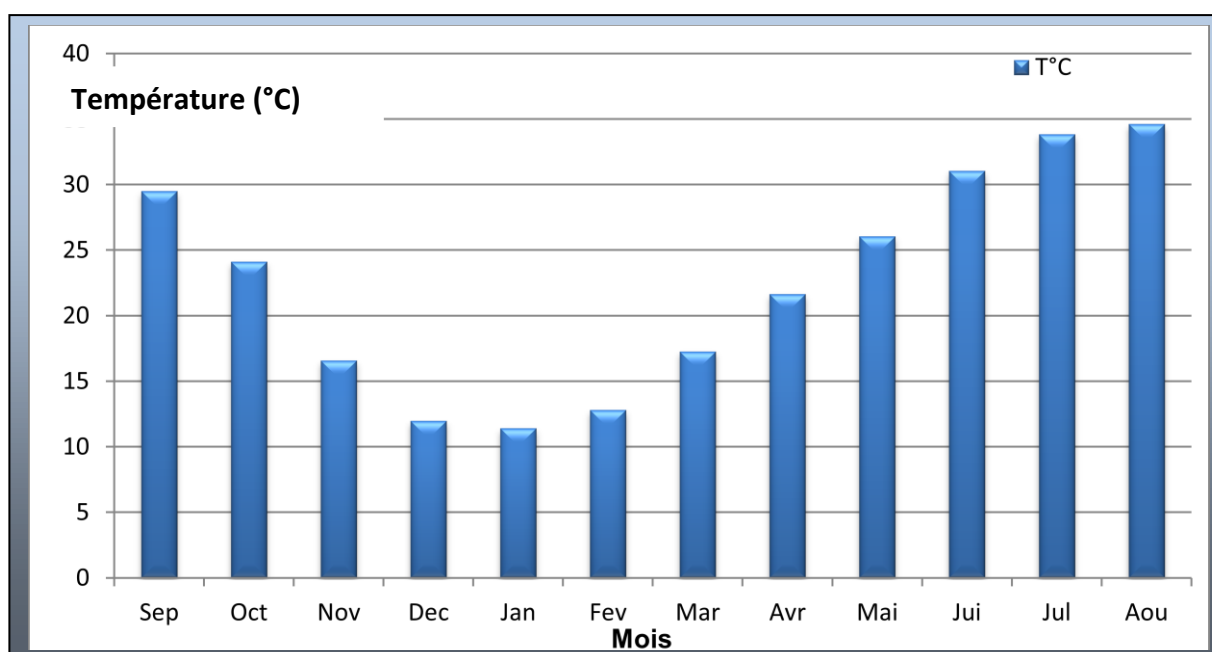


Figure N°01 : Histogramme de Températures moyennes mensuelles (1993-2018)

Selon le tableau (07) et comme le montre le graphe (06) nous avons les résultats suivants:

- le maximum des moyennes mensuelles est enregistré au mois d'Août (34.62°C),
- le minimum est observé au mois de Janvier (11.42°C).

Deux périodes climatiques se distinguent:

- ❖ une période froide qui dure de Novembre à Avril avec un minimum durant le mois de janvier 11.42°C
- ❖ une période chaude qui va du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre avec un maximum de température relevé pendant le mois d'Août 34.62 °C.

❖ la moyenne annuelle est de l'ordre de 22,54°C

II.1.1.2. Températures moyennes annuelles :

Le tableau II-3 montre la répartition moyenne annuelle de température durant la période (2002-2018).

Tableau N°03 : Répartition des moyennes annuelles de température sur la période (2002-2018)

| Année | T(C°) | Année | T(C°) |
|-----------|-------|-------------------------|--------------|
| 2002/2003 | 22.75 | 2010/2011 | 21.45 |
| 2003/2004 | 23.4 | 2011/2012 | 21.2 |
| 2004/2005 | 22.7 | 2012/2013 | 22.8 |
| 2005/2006 | 22.4 | 2013/2014 | 22.7 |
| 2006/2007 | 22.35 | 2014/2015 | 22.8 |
| 2007/2008 | 22.6 | 2015/2016 | 23 |
| 2008/2009 | 22.45 | 2016/2017 | 22.9 |
| 2009/2010 | 22.0 | 2017/2018 | 23.2 |
| | | Moyenne annuelle | 22.45 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

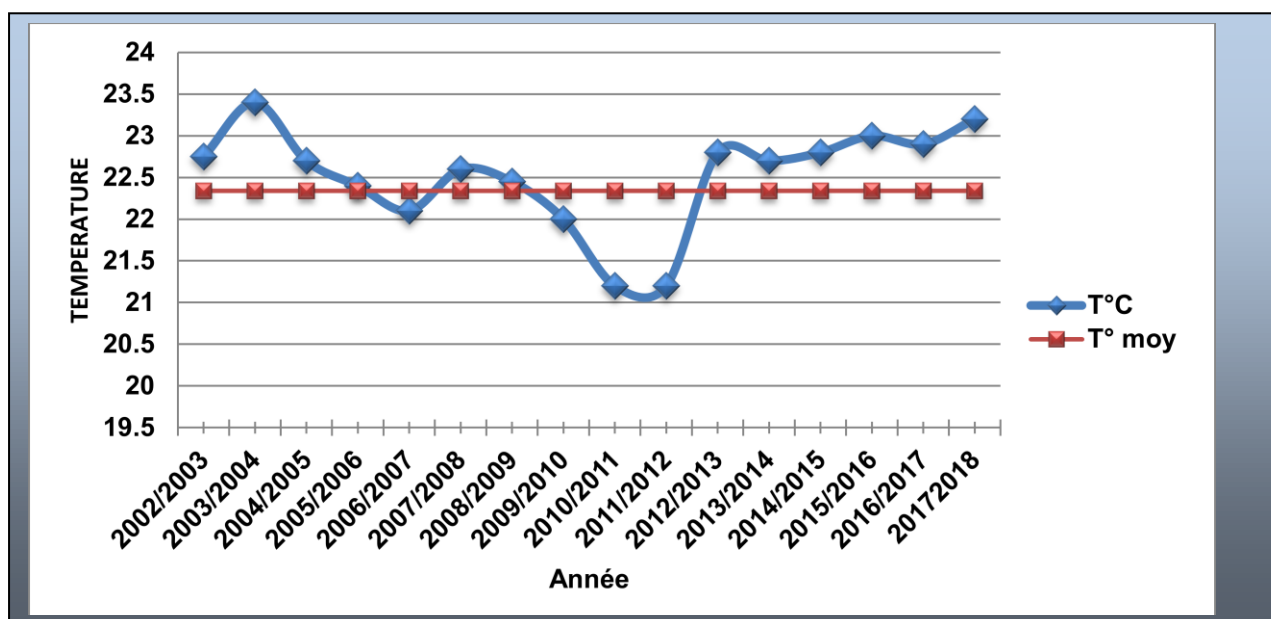


Figure N°02 : Répartition moyenne annuelle des températures (2002/2018)

La figure 07 montre la répartition des températures moyennes annuelles :

- L'année la plus chaude est 2003/2004 avec une température moyenne $T=23.4^{\circ}\text{C}$
- L'année la plus froide est l'année 2011/2012 avec une moyenne de température égale à 21.2°C .

II.1.2. Précipitation :

II.1.2.1. Précipitations moyennes mensuelles :

Tableau N°04 : Précipitations moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf(1993-2018)

| MOIS | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | ΣP Annuelle (mm) |
|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|--------------------------------|
| P(mm) | 7,49 | 7,36 | 6,93 | 7,73 | 20,88 | 1,32 | 7,21 | 11,58 | 1,65 | 0,99 | 0,16 | 2,65 | 75,95 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

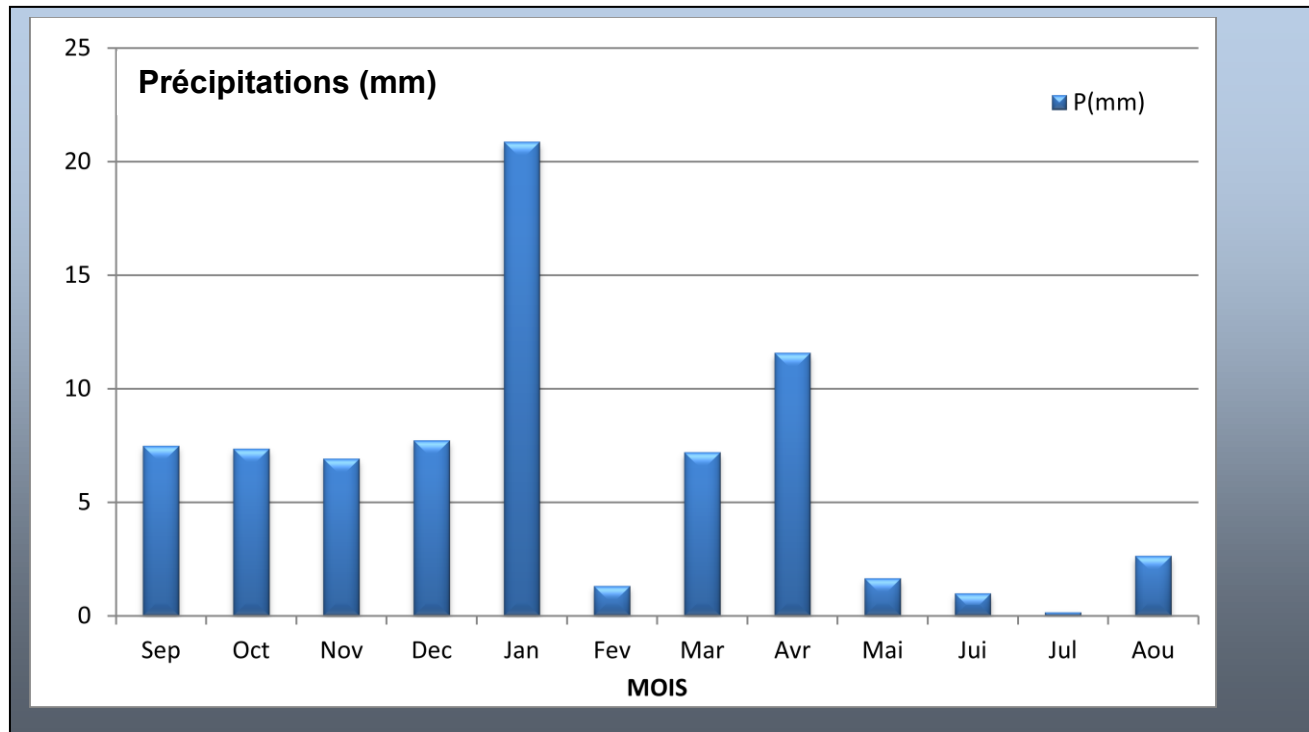


Figure N°03: Histogramme de Précipitations moyennes mensuelles (1993-2018)

La courbe obtenue du tableau (II-2) montre une variabilité des précipitations dans le temps nous avons :

❖ Le maximum des moyennes mensuelles interannuelles est enregistré pendant le mois de janvier avec une valeur de 20.88 mm

❖ Le minimum est enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de 0,16 mm.

❖ La précipitation annuelle est de l'ordre de 75,95 mm.

II.1.2.2. Précipitations moyennes annuelles :

Le tableau II.5 montre la répartition moyenne annuelle de température durant la période (2002-2018).

Tableau N°5: Répartition des précipitations moyennes annuelles (2002-2018)

| Année | P(mm) | Année | P(mm) |
|-----------|-------|-------------------------|-----------------|
| 2002/2003 | 47.12 | 2010/2011 | 102.78 |
| 2003/2004 | 48.91 | 2011/2012 | 197 |
| 2004/2005 | 74.44 | 2012/2013 | 40.51 |
| 2005/2006 | 97,9 | 2013/2014 | 27.2 |
| 2006/2007 | 142.7 | 2014/2015 | 21.1 |
| 2007/2008 | 57.94 | 2015/2016 | 23.5 |
| 2008/2009 | 68.72 | 2016/2017 | 28.4 |
| 2009/2010 | 44.46 | 2017/2018 | 43.85 |
| | | Moyenne annuelle | 75.38 mm |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

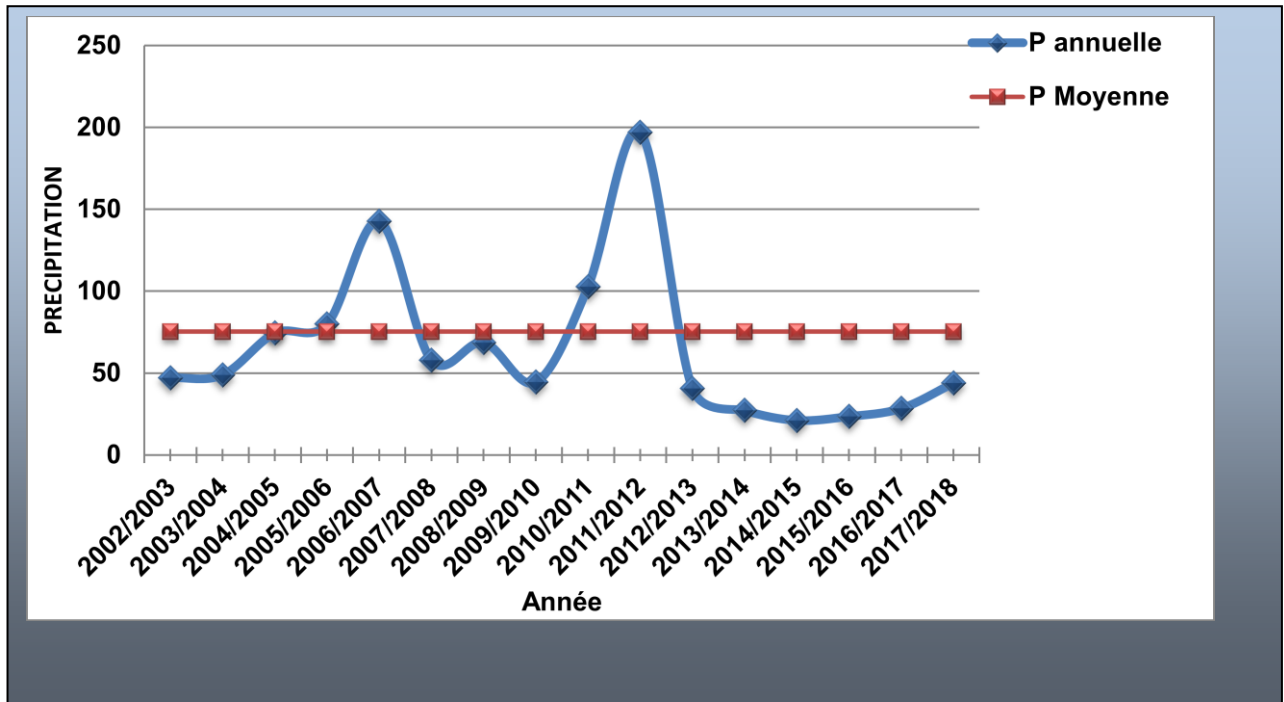


Figure N°04: Répartition des moyennes annuelles de précipitation (2002-2018)

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de l'aéroport de Guemar sur la période allant de 2002 jusqu'à 2018 permet de dire que :

- l'année la plus pluvieuse était celle de (2011/2012) avec 197 mm/an
- l'année la plus sèche était celle de (2014/2015) avec 21.1 mm/an

II.1.3. Indice d'aridité :

Cet indice permet d'identifier le type de climat dans la région d'étude à l'aide de la formule de DEMARTONE.

$$I = P / (10 + T) \dots\dots\dots 1$$

Avec :

I : indice d'aridité.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

Application numérique:

P = 75,95 mm

T = 22,54°C Donc I = 2,33

Tableau N°06 : Classement en fonction de l'indice d'aridité (selon De Martonne)

| Classement de l'indice d'aridité | Type de climat |
|----------------------------------|--------------------|
| $I < 5$ | Climat hyper-aride |
| $5 < I < 7.5$ | Climat steppique |
| $7.5 < I < 10$ | Climat semi-aride |
| $10 < I < 20$ | Climat hyper-aride |
| $20 < I < 30$ | Climat tempéré |
| $= 30$ | Climat humide |

$I = 2,33 < 5$, Ce qui confirme que la région d'El-Oued est caractérisée par un climat hyper aride.

II.1.4. Diagramme pluviothermique :

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviothermique dont le but est de déterminer la période sèche et celle humide.

Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois.

Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations (in Baygnons).

Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau; et lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

Tableau N°07 : Couples température/ précipitation mensuelle interannuelle de la région d'Oued Souf (1993-2018)

| MOIS | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 2T °C | 22.84 | 25.62 | 34.56 | 43.3 | 52.14 | 62.12 | 67.7 | 69.24 | 58.1 | 48.26 | 33.18 | 23.96 |
| P(mm) | 20,88 | 1,32 | 7,21 | 11,58 | 1,65 | 0,99 | 0,16 | 2,65 | 7.49 | 7.36 | 6.93 | 7.73 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

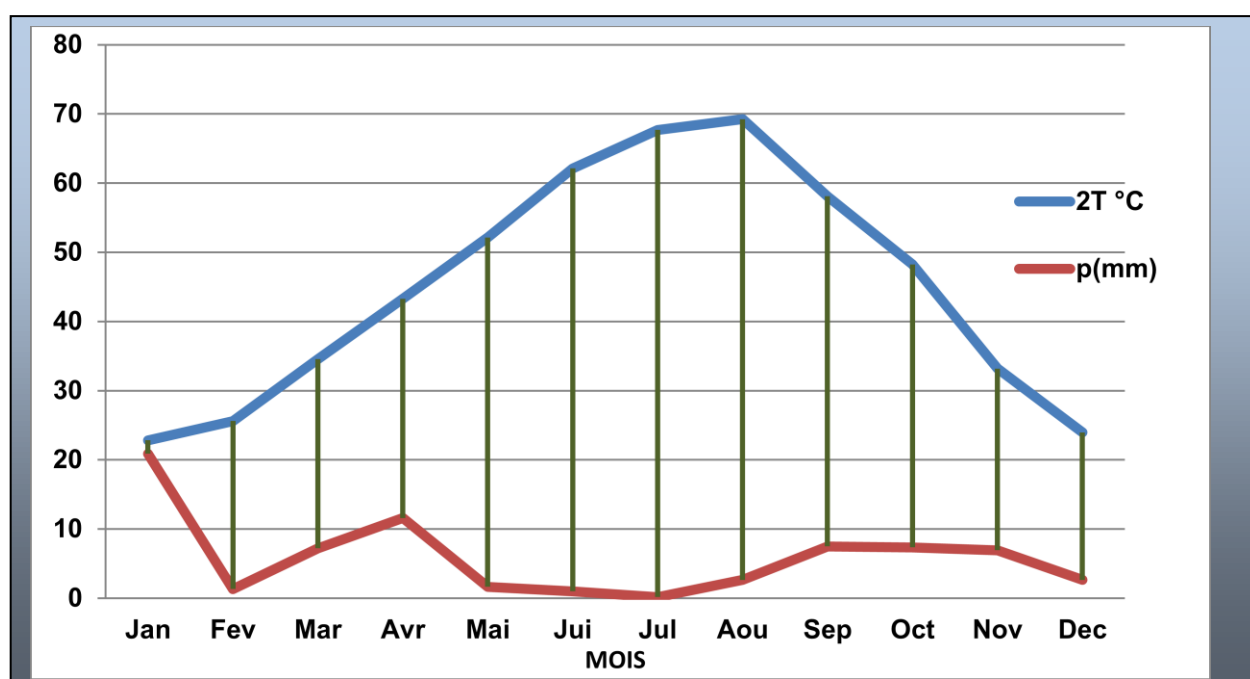


Figure N°05:Diagramme pluviothermique de la station de Guemar durant la période (1993-2018)

D'après le diagramme, nous constatons que la sécheresse est permanente durant toute l'année ; à cause des faibles précipitations et des températures élevées et l'absence totale de la période humide, même pour le mois de janvier qui est marqué par la température la plus basse (11,42°C) et la précipitation la plus élevée (20,88 mm).

II.1.5. L'humidité :

L'humidité est un état de climat qui se traduit par le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation.

Tableau N°08: Humidités moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf (1993-2018)

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Humidité % | 47,56 | 53,60 | 57,78 | 63,42 | 62,44 | 54,08 | 48,58 | 45,85 | 40,52 | 36,29 | 33,42 | 37,35 | 48,41 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

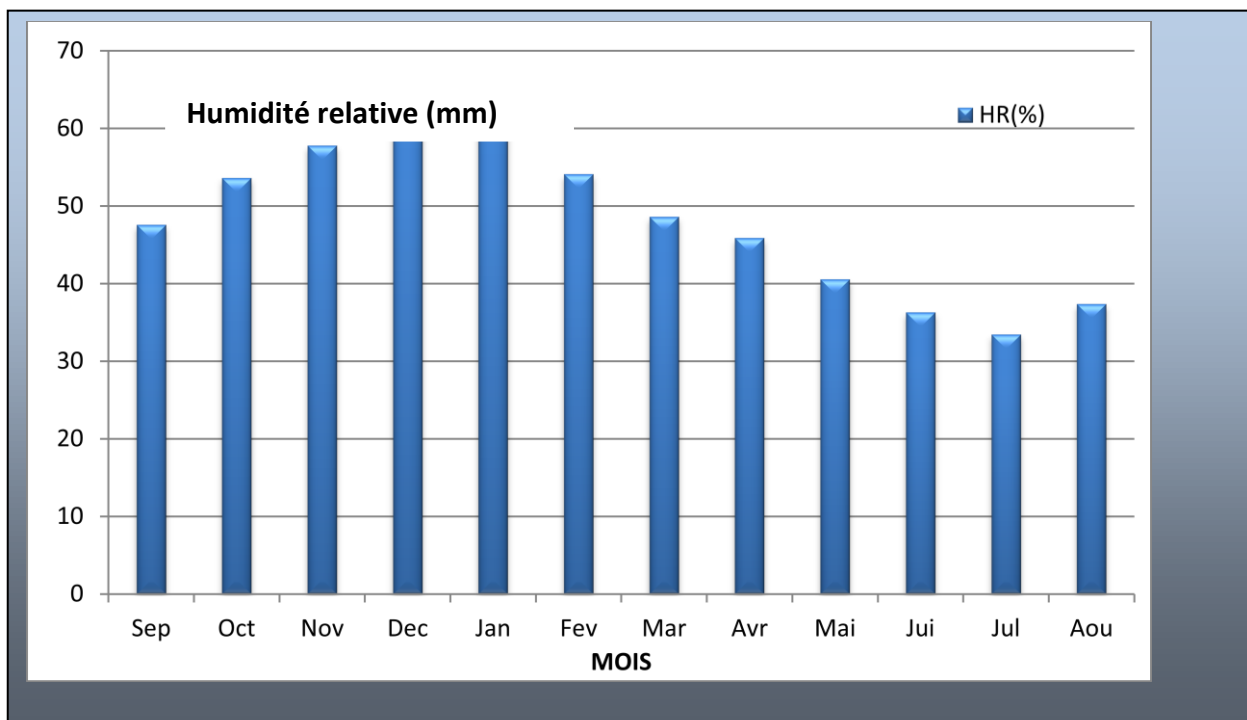


Figure N°06: Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelle (1993-2018)

L'histogramme (Fig N°11) permet de distinguer les mois secs des mois relative menthumides.

On remarque que :

- ✓ les mois humides sont Janvier, Février, Octobre, Novembre, Décembre
- ✓ les mois secs caractérisant le reste de l'année.

D'après le tableau (Tableau II.7)on remarque que :

- un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 33.42 %, c'est la saison d'été.
- un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 63,42 %, c'est la saison d'hiver.
- Humidité annuelle de l'ordre de 48,41%

II.1.6. Le vent :

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps.

La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud-Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables.

Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares.

Tableau N°09 : Vitesses des vents moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf(1993-2018)

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | moy |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vent (Km/h) | 17,10 | 15,44 | 14,00 | 15,27 | 17,27 | 17,36 | 18,09 | 19,64 | 18,82 | 18,30 | 15,60 | 17,73 | 17,05 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

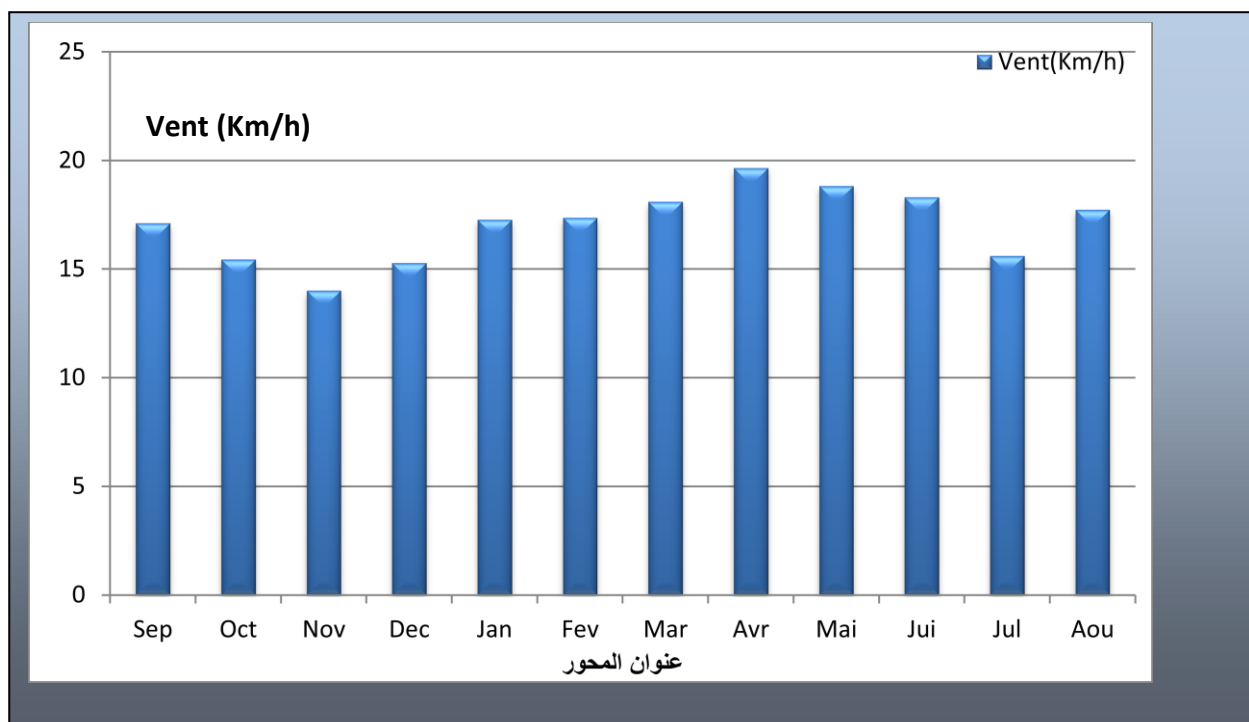


Figure N°07: Histogramme des vitesses moyennes mensuelles du vent en Km/h (1993-2018)

D'après l'histogramme on peut remarquer que la vitesse du vent moyenne varie entre 15,27Km/h enregistrée durant le mois de décembre et 17,73 m/s pour le mois d'avril, Les vitesses du vent moyennes annuelles est 17,05 m/s.

II.1.7. Evaporation :

Le tableau suivant (15) porte les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation période (1994-2018).

L'évaporation la plus élevée se produit en juin, Juillet et Août, et la plus faible en janvier. En moyenne elle est de 47.38 mm par an.

Tableau. N°10 Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en (1993-2018)

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | moy |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| EVAP (mm) | 19.98 | 14.76 | 9.833 | 7.865 | 7,79 | 9.6 | 14.72 | 20.62 | 25.57 | 29.92 | 33.39 | 30.79 | 22.485 |

(O.N.M.

El-Oued Guemar, 2018)

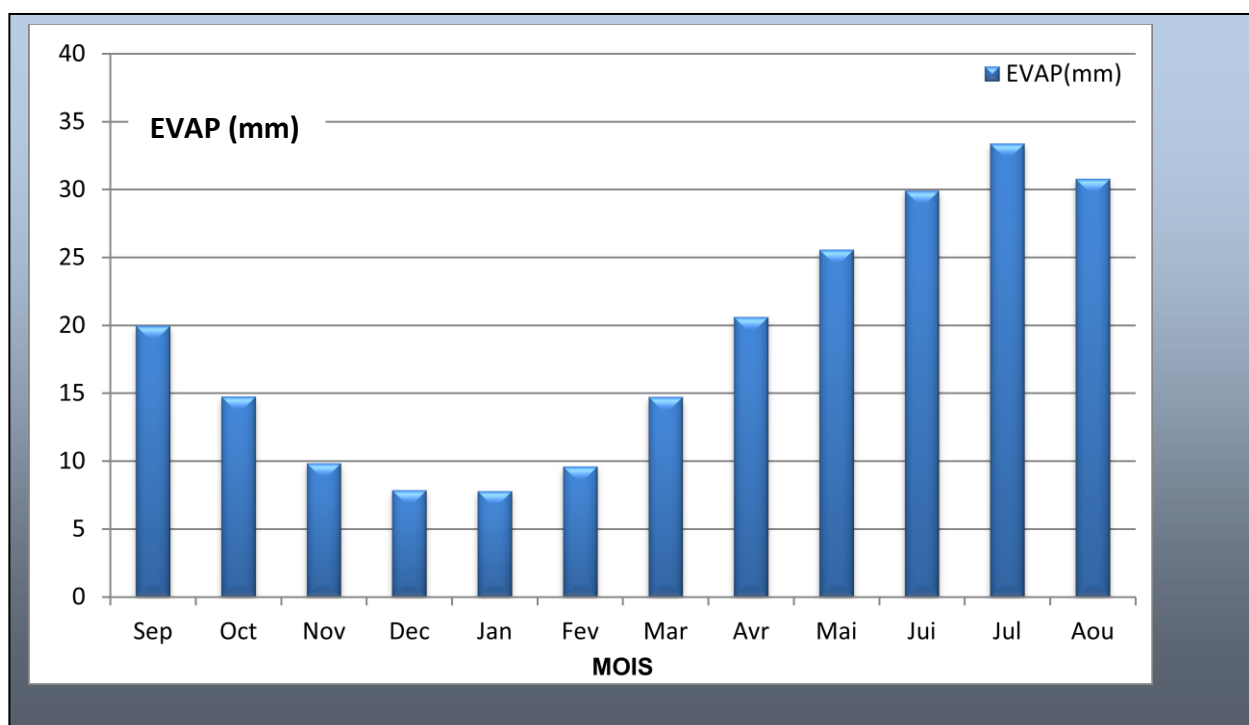


Figure N°08: Histogramme de l'évaporation moyenne mensuelle en mm (1993-2018)

II.2. Calcul des paramètres de bilan hydrique :

II.2.1.L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration résulte de deux phénomènes : l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (Transpiration). Elle est en fonction de plusieurs facteurs tels que climat, humidité, température, l'insolation et aussi la végétation.

II.2.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP représente la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.

La région d'étude est une zone aride, nous avons utilisé la méthode de THORNTWAITE pour calculer l'évapotranspiration potentielle selon les formules suivantes :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K \dots\dots\dots 2$$

Avec : $a = (1.6 / 100) \times I + 0.5.$

Application numérique: a= 2.47

$I = \sum i$ avec $i = (T / 5)^{1,514}$

T : Température moyenne du mois considéré en °C

I : indice thermique annuel

i : indice thermique mensuel

a:exposant

K : coefficient de correction, qui dépend du temps et de la latitude.

Notre station se trouve à une latitude 33° 30' N.

Ce terme sera ensuite multiplié par l'ETP du mois : **ETP c = ETP.K**

Tableau N°11 : Les valeurs mensuelles du coefficient de correction K dans la région d'étude

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Jui | Août |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| K | 1.03 | 0.98 | 0.89 | 0.88 | 0.90 | 0.87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.18 | 1.2 | 1.14 |

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

II.2.1.2.L'évapotranspiration réelle (E.T.R)

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons plusieurs méthodes

II.2.1.2.1.Méthode de Thorntwaite

L'évapotranspiration peut être évaluée la formule empirique de Thorntwaite, en se basant sur les conditions suivantes :

- ❖ Si $P-ETP > 0$; c.-à-d. : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.
- ❖ Si $P-ETP < 0$; c.-à-d. : $P < ETP$, nous avons alors deux cas :

A/ si $P + RFU > ETP \rightarrow ETR = ETP \dots\dots\dots 3$

B/ si $P + RFU < ETP \rightarrow ETR = P + RFU \dots\dots\dots 4$

II.3. Etablissement du bilan Hydrique :

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur une grande période.

$P = ETR + EX \dots\dots\dots 5$

Avec : P : Précipitation en (mm).

ETR : la lame d'eau évaporée réellement en (mm).

EX : Excédent : $EX = R+I$;

R : ruissellement, I : infiltration.

Le tableau (II. 09), résume le calcul du bilan hydrique par la méthode de Thorntwaite pour la station météorologique de Guemar à partir de la pluviométrie et des températures mensuelles.

Tableau N°12: Bilan hydrique d'après Thorntwaite (1993-2018)

| Mois | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Total |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P (mm) | 7.49 | 7.36 | 6.93 | 7.73 | 20.88 | 1.32 | 7.21 | 11.58 | 1.65 | 0.99 | 0.16 | 2.65 | 75.95 |
| T° | 29.05 | 24.31 | 16.59 | 11.98 | 11.42 | 12.81 | 17.28 | 21.65 | 26.07 | 31.06 | 33.85 | 34.62 | / |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|----------|
| K | 1.03 | 0.98 | 0.89 | 0.88 | 0.90 | 0.87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.18 | 1.2 | 1.14 | / |
| I | 14.35 | 10.96 | 6.14 | 3.75 | 3.49 | 4.15 | 6.53 | 9.19 | 12.18 | 15.88 | 18.09 | 18.72 | 123.43 |
| ETP (mm) | 136.4 | 83.64 | 29.56 | 13.07 | 11.88 | 15.25 | 37.83 | 69.23 | 119.69 | 184.47 | 232 | 233 | 933.34 |
| P-ETP | -129 | -76.28 | -22.63 | -5.34 | 9.00 | -13.93 | -30.62 | -57.65 | -118.04 | -183.48 | -231.8 | -230.35 | -1099.12 |
| RFU (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.00 |
| ETR (mm) | 7.49 | 7.36 | 6.93 | 7.73 | 11.88 | 1.32 | 7.21 | 11.58 | 1.65 | 0.99 | 0.16 | 2.65 | 66.95 |
| EXC/mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ETPc (mm) | 140.58 | 81.96 | 26.30 | 11.52 | 10.69 | 13.26 | 38.96 | 74.76 | 141.23 | 217.67 | 278.4 | 265.62 | 1300.95 |
| DA (mm) | 129 | 76.28 | 22.63 | 5.34 | 0 | 13.93 | 30.62 | 57.65 | 118.04 | 183.48 | 231.8 | 230.35 | 1099.08 |

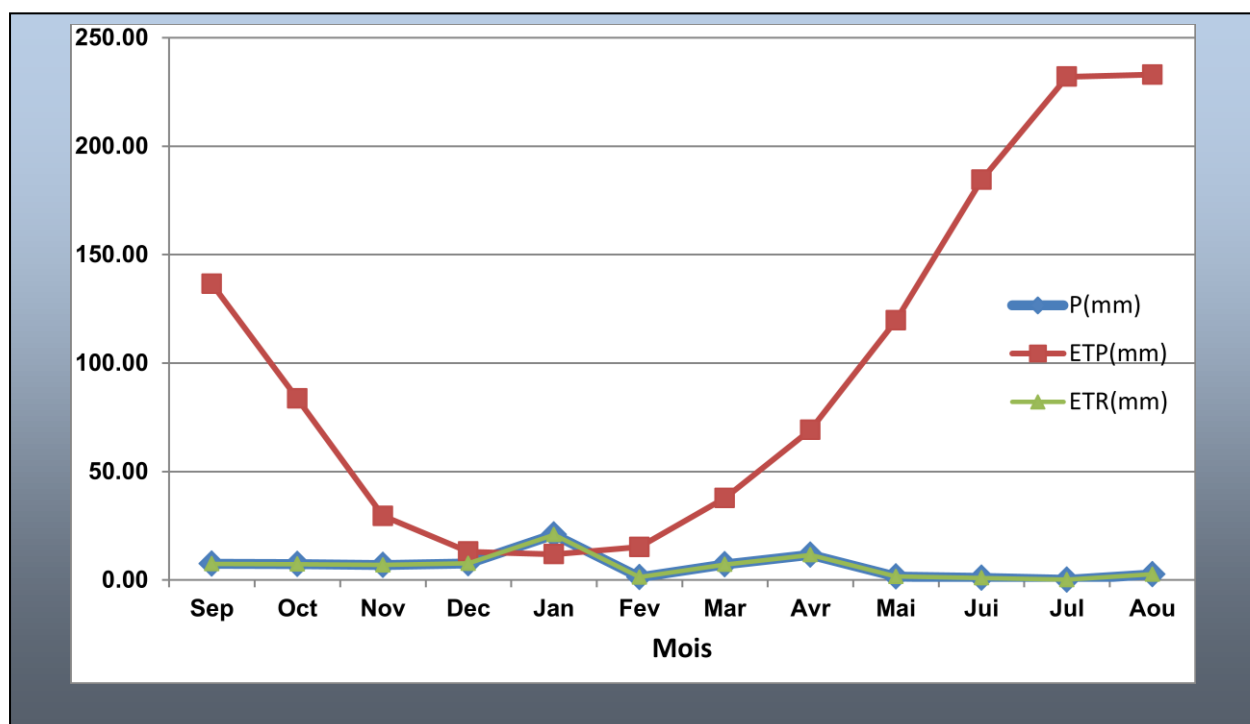


Figure N°09: Bilan hydrique d'après Thorntwaite (1993-2018)

II.3.1. Interprétation du bilan Hydrique :

Au terme de ce bilan hydrique pour la station de Guemar selon Thorntwaite, nous pouvons dire que :

- Au cours de l'année, la pluviométrie annuelle dépasse une fois l'évapotranspiration potentielle.

- l'ETP atteint le maximum au mois d'Août 233 mm et son minimum au mois de Janvier 11.88mm.

- La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de Janvier avec une valeur de 9.00mm et le reste de l'année est épuisée.

- La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure 11 mois de l'année (sauf Janvier).

- Il y a un déficit agricole durant toute l'année d'où la nécessité d'irriguer.

- L'excédent est nul durant toutes les saisons de l'année, d'où l'alimentation de

- l'aquifère ne se fait probablement donc qu'à partir des limites.

III. Conclusion

L'analyse climatique a permis de ressortir les résultats suivants :

- La précipitation mensuelle interannuelle est de l'ordre de 75.95mm.
 - La température moyenne mensuelle est de l'ordre 22.54 C°.
 - La région de Souf se caractérise par un climat hyper aride;
 - Le mois le plus humide est Décembre (moyenne interannuelle 63.42%) avec un faible rayonnement solaire (moyenne de 277.29 heures).
 - Le mois le plus sec est Juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 33.42 %).
- La brillance du soleil est très élevée (moyenne de 358.89 heures) ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.
- L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 66.95mm soit 100 % des précipitations annuelles (selon la méthode de Thorntwaite).
 - Le déficit agricole est de l'ordre de 1108.12 mm.

Ces résultats montrent que les conditions climatiques (infiltration efficace) ne contribuent pas à la recharge de la nappe libre.

Chapitre IV
Caractéristiques du sol

Le risque des tremblements de terre a longtemps été jugé inéluctable. Autrefois, on se contentait d'admettre que les constructions devaient parfois subir les séquences de

I. Introduction :

D'après Stengel et Gelin (1999), le géologue et l'hydrogéologue appliquent le nom de sol aux couches meubles superficielles notamment à toute l'épaisseur surmontant les nappes souterraines, non saturée d'eau en permanence. C'est dans cette zone que les échanges d'eau et des solutés surviennent.

Le sol se forme par l'action directe de l'atmosphère, de la biosphère et du climat sur la lithosphère, il se situe donc à l'interface entre ces différentes composantes de l'environnement et c'est ce qui rend son rôle si important et sa pollution si dangereuse.

Le sol est l'environnement où tous déséquilibre ou pollution peut avoir des conséquences sur les différentes composantes de l'écosystème. de plus certaines activités humaine agressent le sol et altèrent ses propriétés.

Le degré de sévérité de ces dégradations va dépendre aussi de la nature du sol (sableux, argileux...) et de sa situation, selon qu'il est soumis au vent, à l'humidité, etc. A cela s'ajoute la déforestation (liée aux trois quarts à l'expansion agricole), qui accroît également la détérioration des sols en accélérant leur érosion. Ainsi chaque année, des millions d'hectares disparaissent, deviennent impropres à l'agriculture ou perdent leurs fonctions positives d'épuration de l'eau de régulation des cours d'eau ou accumulation de carbone.

II.1. Principaux composants du sol

Le sol est un système complexe formé de très nombreux composants minéraux et organique soumis à des phénomènes physique, chimique et biologique en constante interaction. Il comprend :

• Une fraction minérale :

Faite de fragments de roche issus du sous-sol comprenant, du plus fins au plus gros, des argiles, des limons, des sables, et d'ions comme les anions phosphate, (PO_4^{3-}), sulfates (SO_4^{2-}) et le nitrate (NO_3^-). Les silicates tels les argiles, constituent 95% des roches de la croûte terrestre ; quant au grain de sable, il s'agit d'un cristal de quartz, forme cristalline de la silice.

• Des organismes vivants :

Racines, champignons, invertébrés, quelques vertébrés et une multitude de micro-organismes qui transforment la matière minérale.

• **De l'humus :**

Matière organique en cours de minéralisation essentiellement issue de la feuille morte, cadavres, excréments.

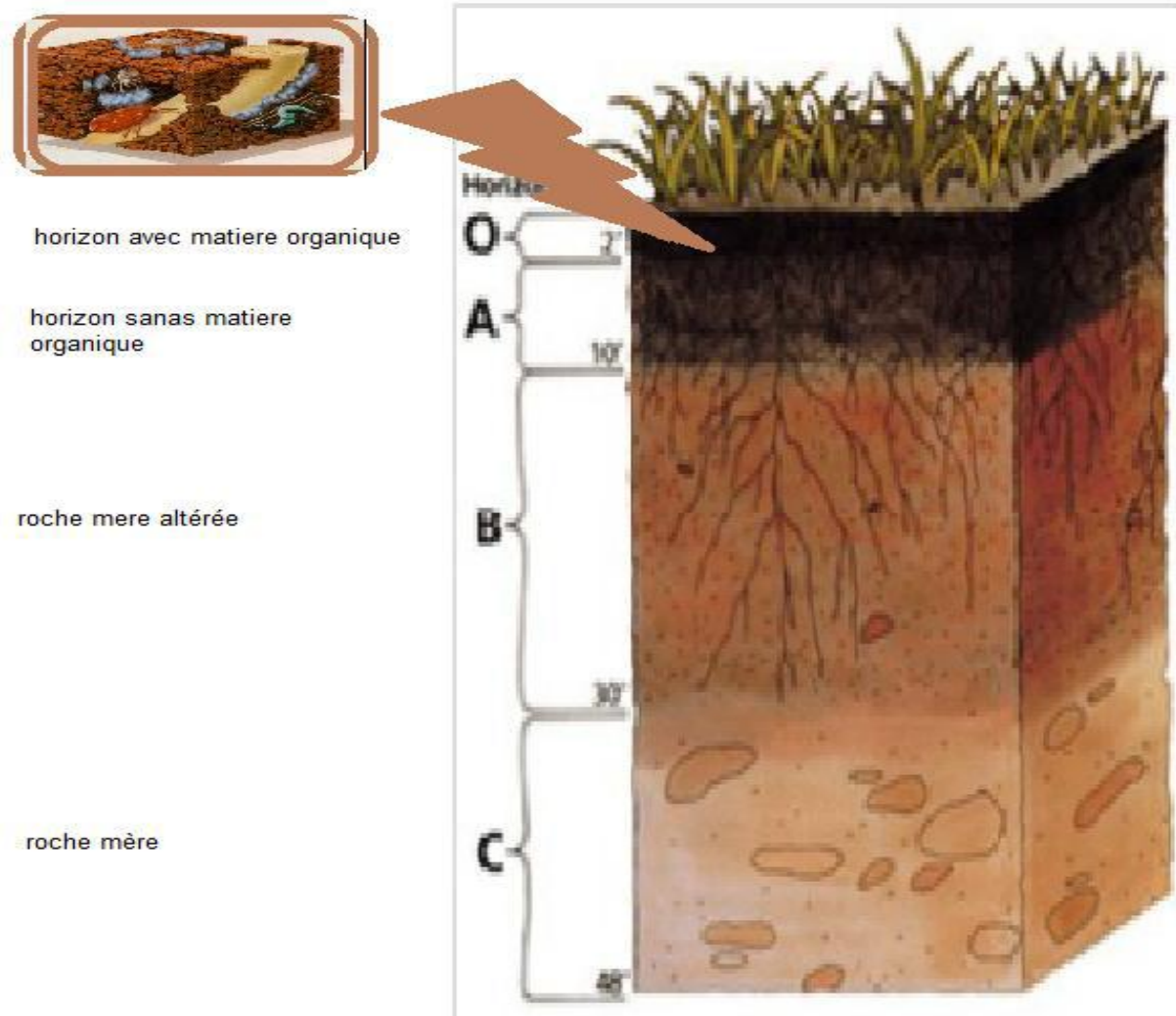


Figure N°01: Description d'un sol

II.2. Caractéristiques du sol :

Le sol comporte trois phases : une phase solide (qui est minérale et organique), une phase liquide ou solution du sol (qui correspond à l'eau et aux éléments dissous), et une phase gazeuse (composé principalement de l'oxygène, de méthane, de dioxyde de carbone).

Le sol est d'abord caractérisé par une texture et une structure qui va fortement conditionner ses propriétés physiques et chimique, notamment celle liées à l'eau.

Des essais ont été effectués au laboratoire des travaux publics du sud d'Ouargla au mai 2012, sur des échantillons prélevés de la zone non saturée, pour déterminer les

caractéristiques géotechniques de la zone d'étude. A cet effet 30 échantillons sont prélevés de différents endroits à des profondeurs de 50 cm et de 3 m par la tarière manuelle.

II.2.1. Analyses granulométriques de la zone non saturée :

L'analyse granulométrique est un essai qui a pour but de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimensions, par un tamisage mécanique pour les grains supérieurs à 0.080 mm.

Les résultats sont présentés sous forme des courbes granulométriques. L'analyse granulométrique se fait en général par tamisage sous l'eau, lorsque les matériaux ne contiennent pas d'éléments argileux ou limoneux, l'analyse granulométrique peut se faire par tamisage à sec. Les courbes granulométriques des 30 échantillons prélevés de la zone d'étude, montrent une grande ressemblance dans la forme générale des courbes (Fig.).

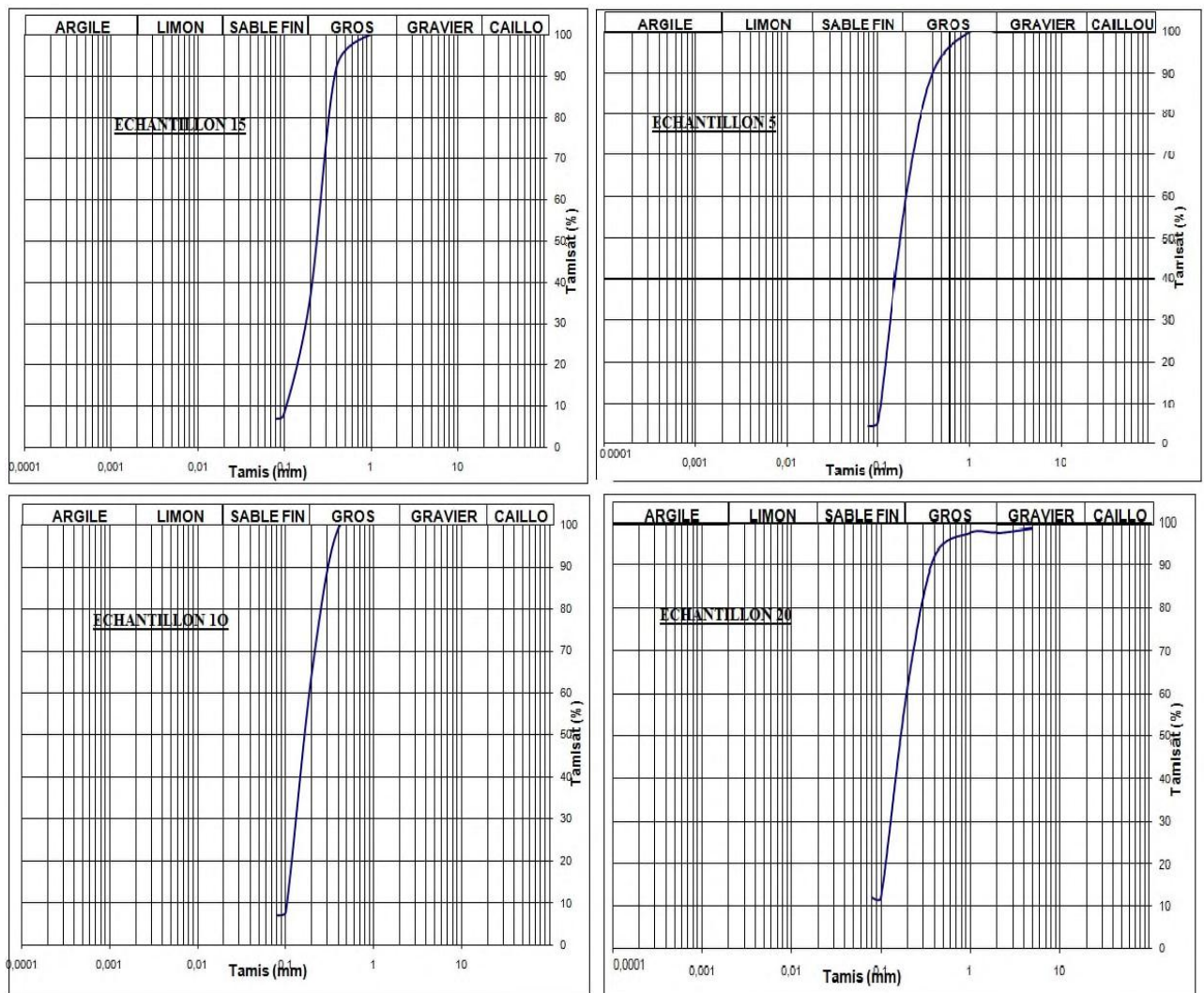


Figure N°02: les courbes granulométriques de quelques échantillons de la zone non saturée

(D'après Boussalssal 2012).

Les résultats des essais granulométriques réalisés sur les différents échantillons sont représentés dans l’histogramme de la figure. Nous remarquons que la zone non saturée d’El-Oued est dominée par les sables (sable grossier, sable moyen et sable fin), leur pourcentage oscille entre 75% à 92%. La fraction fine est généralement inférieure à 10%.

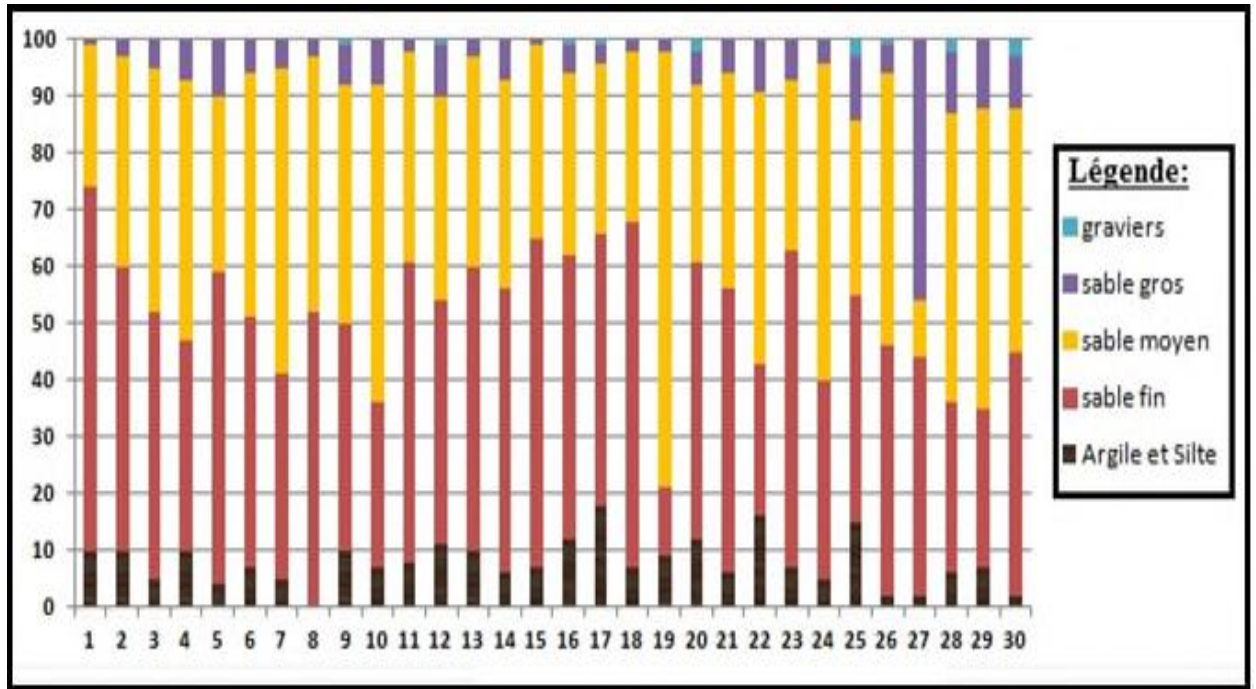


Figure N°03: Histogramme de la composition granulométrique de la zone non saturée.

II.2.2. Répartition des fins dans la zone non saturée :

Le pourcentage des fins (Fig.) varie d’un endroit à l’autre, les valeurs les plus fortes sont mesurées dans les zones de dépressions et les zones agricoles, les valeurs faibles sont mesurées dans les échantillons prélevés des dunes de sable.

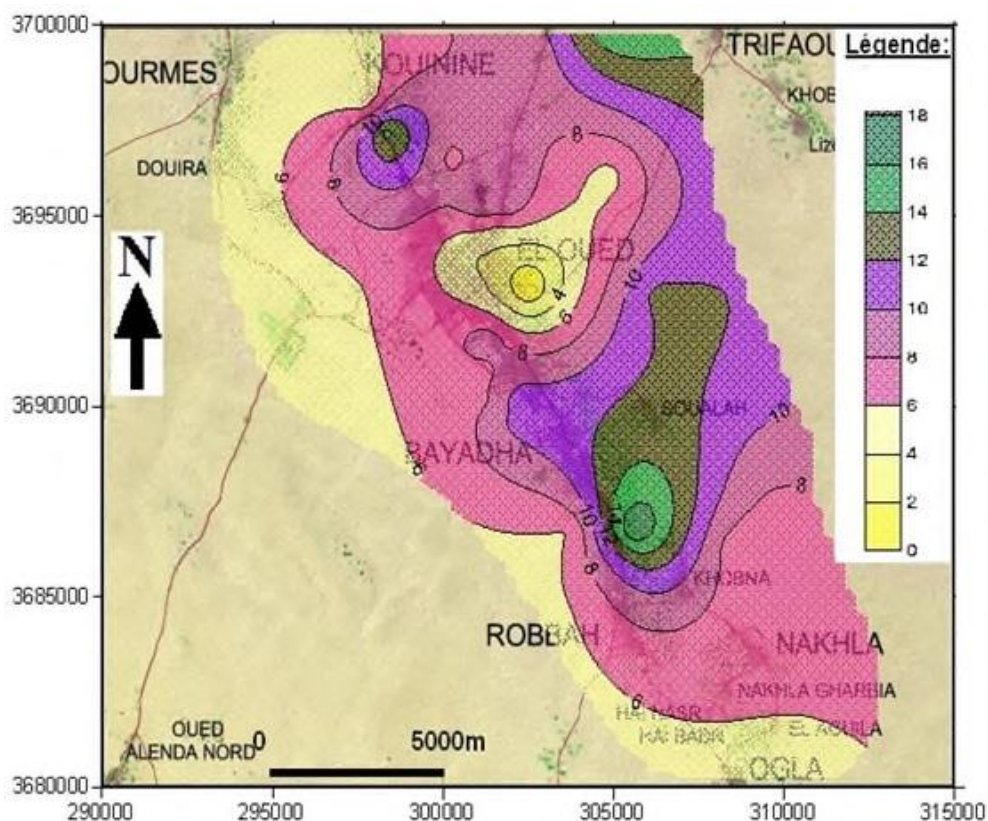


Figure N°04: Répartition des fins dans la zone non saturée (D'après Boussalssal 2012).

II.2.3. Analyses chimiques de la zone non saturée :

25 échantillons répartis dans la zone d'étude sont analysés, pour déterminer le pourcentage de carbonate, de sulfate, des insolubles et la concentration de NaCl dans le sol de la zone non saturée. Les résultats des analyses sont représentés dans l'histogramme de la figure. On remarque que le pourcentage des solubles varie entre 16% et 25%. Ce pourcentage est très important et il a des conséquences graves sur les constructions surtout que la région est menacée par le problème de la remontée des eaux de la nappe libre.

Les carbonates dans les sols de la zone non saturée, montre que le pourcentage des carbonates oscille entre 7% et 20%, donc le sol est située dans la catégorie sol calcaire.

Les sulfates, dans les sols, se trouvent sous différentes formes, on cite à titre indicatif : Sulfate de sodium (Na_2SO_4), sulfate de magnésium (MgSO_4), sulfate de calcium (CaSO_4), etc. Cette fraction présente une importance considérable vis à vis du béton et devient nocive envers ce béton utilisé pour les fondations lorsque le taux dépasse les 3% en présence d'eau. La fraction des sulfates est exprimée sous forme de gypse avec la formule chimique ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Les taux de sulfates oscille entre 0.68% et 4.56%.

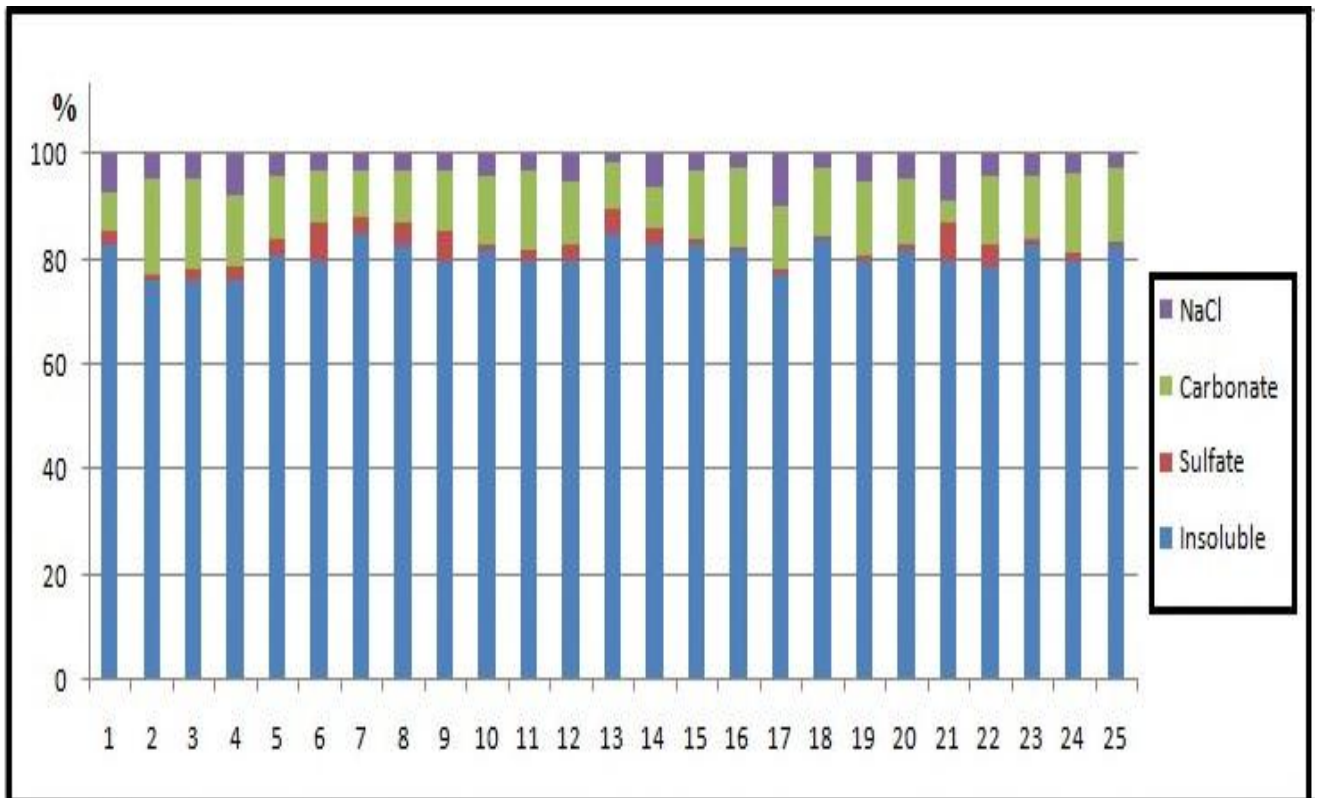


Figure N°05: Histogramme de résultats des analyses chimiques des sols de la zone non saturée.

L'Halite se trouve dans la zone non saturée, avec des concentrations qui varient d'un endroit à l'autre (Fig.), d'une manière générale le pourcentage de NaCl dans la région d'étude oscille entre 0.5% et 4%.

II.2.4. Essai de cisaillement rectiligne :

L'objectif de l'essai est la détermination de la résistance au cisaillement du sol de la zone non saturée. La boîte de Casagrande ou boîte de cisaillement est destinée aux essais de cisaillement rectiligne dans lesquels on cherche à obtenir la rupture de l'échantillon suivant un plan imposé. L'idée première d'une boîte de cisaillement appartient au français Alexandre Collin (1846), mais c'est le professeur américain Casagrande. A qui l'a mise au point et lui a donné la diffusion connue actuellement.

L'angle de frottement interne (Fig.) varie entre 30° et 32° , avec une moyenne de 31.2° , cette valeur correspond aux sables éoliens situés dans un état de compacité moyen à assez élevé. La cohésion varie entre 0.010 et 0.25 bar, avec une moyenne de 0.19 bar.

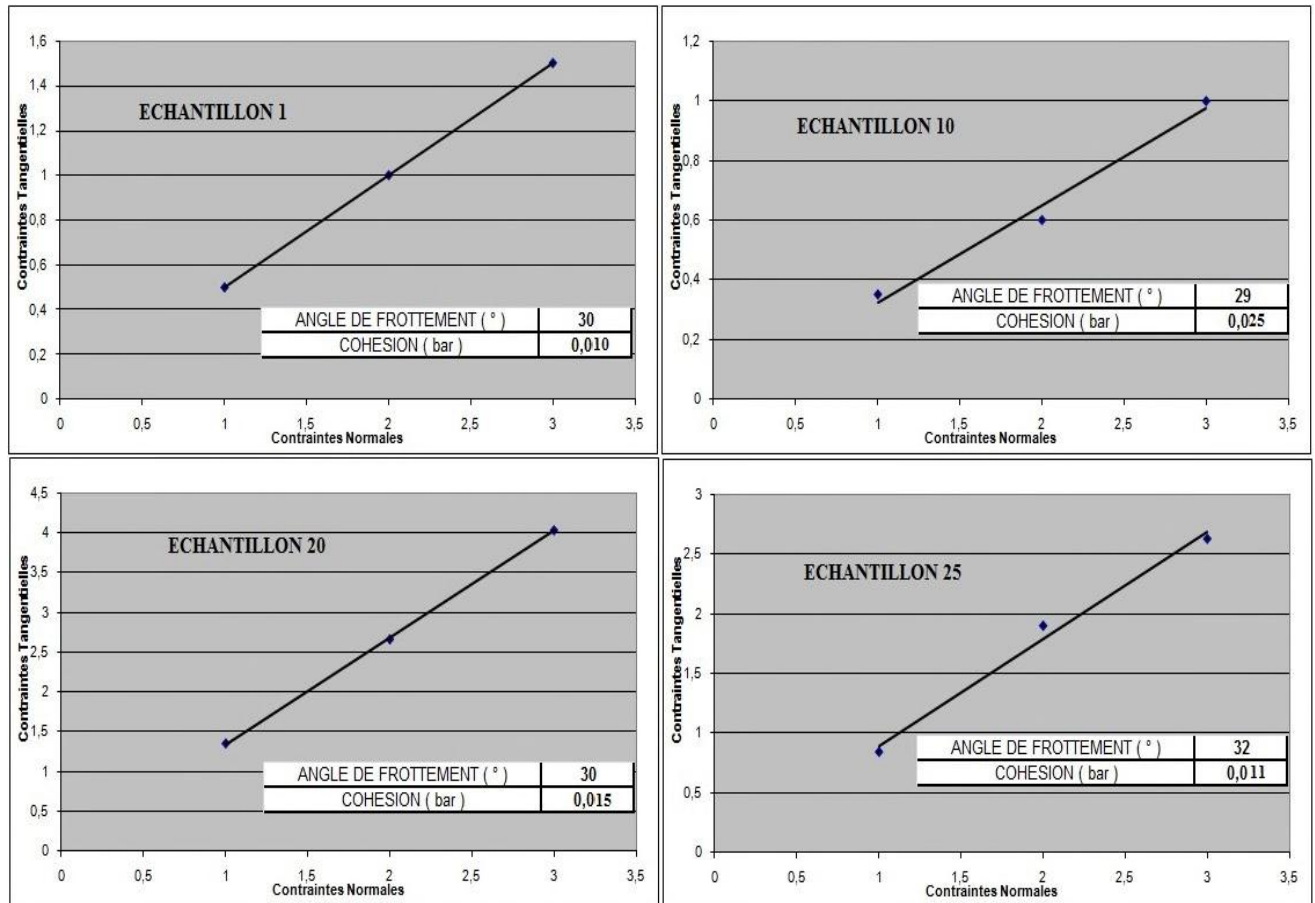


Figure N°06: Courbes des essais de cisaillement rectiligne des sols de la zone non saturée.

II.2.5. Porosité :

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" ou capacité de rétention du sol qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus: le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau: cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes; son rôle est cependant essentiel puisque c'est l'eau qu'utilisent les racines des plantes.

- Mesure de perméabilité par la méthode de Muntz :

- Principe de mesure :

La détermination du coefficient de perméabilité K a été effectuée par la méthode du double anneau ou méthode de Muntz. Elle a été réalisée sur 42 sites (dans 33 se trouvent dans la zone

d'étude). Sur chaque site, ils ont effectué 3 essais dans un rayon d'une centaine de mètres afin d'obtenir un K moyen et apprécier sa variabilité.

Le coefficient de perméabilité mesuré par la méthode de Muntz qui a été utilisée correspond au coefficient de Darcy (Fig.). Il a les dimensions d'une vitesse de filtration (m/s).

Pour mémoire, rappelons que H. Darcy a étudié expérimentalement en 1856 l'écoulement de l'eau à travers une colonne de sable. Il a utilisé des cylindres verticaux de 2,5 m de haut et 0,35 m de diamètre intérieur, remplis de sable sur une épaisseur et sous une charge d'eau H.

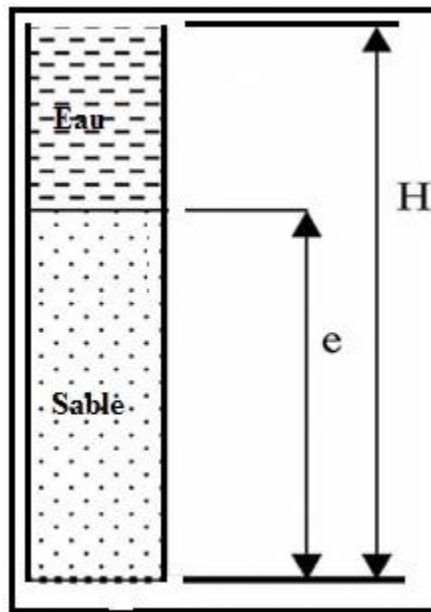


Figure N°07 : Dispositif de H. Darcy.

L'écoulement est régi par la formule suivante : $Q = KSH/e$

- Q ; étant le débit écoulé en m³/s ;
- H ; la hauteur de charge d'eau en mètres ;
- S ; la surface de la section en m² ;
- E ; la hauteur de la colonne de sable en mètres
- H/e ; la perte unitaire ou le gradient hydraulique i
- Le coefficient K est le coefficient de perméabilité de Darcy ou coefficient de filtration.

Pratiquement, on mesure le volume d'eau infiltrée en fonction du temps sur une surface déterminée de sol, l'infiltromètre étant conçu pour que l'infiltration se fasse dans un cylindre de sol de section égale à la surface d'infiltration. Ceci n'implique que les lignes de courant soient sensiblement verticales. Pour que cette condition soit remplie, l'appareil dispose d'un

anneau de garde autour du cylindre d'infiltration (Fig.) empêchant l'eau du cylindre central de s'écouler latéralement.

La mesure de débit est effectuée sur l'anneau intérieur, l'anneau de garde, deuxième cylindre placé autour de l'anneau intérieur, force les lignes de courant à avoir une direction verticale.

Noter les 4 tuyaux arrivant dans l'infiltromètre. 2 tuyaux (jaunes) arrivent dans l'anneau central et 2 autres (rouges) arrivent dans l'anneau extérieur. Chaque paire de tuyaux conduit à un réservoir étanche d'alimentation en eau. L'un des deux tuyaux d'une paire amène l'eau du réservoir à l'infiltromètre, l'autre règle l'entrée d'air dans le réservoir et détermine ainsi le débit d'eau.

La présence de l'anneau de garde est importante pour des mesures fiables. Colombani et Col. ont montré que lorsqu'il n'y avait plus d'eau dans l'anneau de garde, les valeurs obtenues étaient fortement exagérées, passant pratiquement du simple au double dans un sol sableux.

L'appareil utilisé est du même type que celui décrit par Colombani et Col. L'infiltromètre est composé de deux anneaux concentriques en tôle d'acier de 200 mm de hauteur. Le diamètre intérieur de l'anneau central est de 200 mm (section : $31,42 \times 10^{-3} \text{ m}^2$), le diamètre intérieur de l'anneau de garde est de 490 mm. Ces deux anneaux sont rendus solidaires par des entretoises.

Ils sont munis à leur base de couteaux permettant de les enfoncer dans le sol sur 10 cm.

Le dispositif comporte deux réservoirs de 50 litres. Un réservoir alimente l'anneau intérieur. Il possède une échelle graduée pour relever les quantités infiltrées. Le deuxième réservoir alimente l'anneau de garde. Lorsque l'appareil est mis en marche, le sol commence par se saturer en eau et le débit est instable. Quand le sol est saturé et le débit stable, on mesure le volume infiltré cumulé en fonction du temps.

Dans ces conditions, la profondeur du sol soumis à infiltration étant grande par rapport aux 50 mm de lame d'eau, la charge d'infiltration est très voisine de 1 (à quelques pour cent près). Le niveau d'eau est réglé par l'affleurement d'un tube fixé à l'appareil et qui alimente en air le réservoir d'eau. L'eau est amenée par un deuxième tuyau et débouche dans l'anneau par un tube dont l'orifice est à quelques millimètres au-dessous de l'orifice d'entrée d'air.

Les mesures sont effectuées au fond d'une fosse de 0.5 m de profondeur pour s'affranchir des perturbations de surface du sol.

Les mesures du coefficient de perméabilité K effectuées sur 33 sites, existant sur la zone d'étude montre que la perméabilité de l'aquifère superficiel d'El-Oued (Fig.), oscille entre $1.1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ à $2.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

III. Conclusion :

Au terme de ce chapitre, on vient de souligner l'importance de la qualité d'un sol dans le cas d'une éventuelle exploitation hydro-agricole.

En effet, un bon sol est dit sol fertile d'une part, et même avec sa fertilité le rendement d'une parcelle peut être différent selon le type de la récolte. Et afin d'améliorer ce rendement agricole il faudrait se pencher à l'étude des caractéristiques du sol et de ses principaux composants.

L'analyse granulométriques des 30 échantillons prélevés de la zone d'étude, montrent que le sol de la zone d'étude est sableux, dominée par les sables (sable grossier, sable moyen et sable fin). L'analyses chimiques de la zone non saturée donne le pourcentage des solubles varie entre 16% et 25%, le pourcentage des carbonates oscille entre 7% et 20%, les taux de sulfates oscille entre 0.68% et 4.56% et le pourcentage de NaCl dans la région d'étude oscille entre 0.5% et 4%.

Les résultats obtenus par la méthode de Muntz montrent que la perméabilité de l'aquifère superficielle d'El-Oued, oscille entre 1.1×10^{-4} m/s à 2.6×10^{-4} m/s.

Chapitre V
Estimation de la salinité des eaux
souterraines utilisées en
irrigation et risque de dégradation
des sols

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

Les éléments principaux sont soumis aux actions dues aux charges permanentes et aux charges

I.Introduction :

L'eau d'irrigation, qu'elle que soit son origine superficielle ou souterraine, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui peuvent affecter les sols et les cultures suivant leur concentration, il est important alors d'adopter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause.

La composition chimique d'une eau d'irrigation doit donc être examinée en fonction de son impact sur la terre et les plantes.

Les agriculteurs dans les régions sahariennes qui sont connues par leur climat aride très sévère et caractérisé par une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse pas d'augmenter utilisent comme sources d'irrigation : les eaux souterraines, les eaux épurées. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation ne sera pas sans conséquences sur la qualité des sols et le rendement des réseaux d'irrigation.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux utilisées dans l'irrigation et les risques éventuels de la dégradation des sols d'une part, ainsi que le rendement des cultures et l'efficacité des systèmes d'irrigation.

L'étude se base principalement sur les informations de la campagne de prélèvement répartis sur les deux communes Guemar et Debila pour l'année 2020. Comme la région d'étude est à vocation agricole, un intérêt particulier sera accordé à cet effet.

II.1. Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants :

- PH
- La salinité(CE)
- L'alcalinité(le SAR)
- La dureté(les carbonates et bicarbonates)
- Les éléments toxiques
- Les nutriments

II.1.1 Risque de salinité

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs :

- la tolérance en sel de la culture,
- les caractéristiques du sol sous l'irrigation,
- les conditions climatiques, la qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.
- les procédures de gestion des sols et de l'eau.

Elle peut être aussi mesurée grâce à la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (CEW), qui est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou decisiemens par mètre (ds/m) ou microsiemens par mètre (ds/m) ou microsiemens par centimètre, sachant que $1\text{ds/m}=1000\mu\text{s/cm}$.

II.1.2 Risque d'alcalinité (excès en sodium)

Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présente dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles et cause la dispersion des particules dans le sol.

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR.

Qu'est-ce que c'est le SAR ?

L'indice est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{Na}{(Ca^{+2} + Mg^{+2}/2)^{1/2}}$$

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

II.1.3 Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates

Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH.

Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un PH élevé, ça peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

En présence de carbonates, le SAR devient insuffisante pour déterminer les risques d'alcalinisation, pour cela on doit déterminer le SAR ajusté (L.K, Rycroft, 1983) :

$$SAR_{ajusté} = SAR * [1 + (8,4 - pHc)]$$

pHc : c'est le pH théorique d'une eau d'irrigation en équilibre avec de la calcite.

$$pHc = (PK'2 - PK'c) + P(Ca + Mg) + p(Alk)$$

$PK'2$: c'est le log négatif de la deuxième constante de dissociation de l'eau

$PK'c$: c'est le produit de solubilité de CaCO_3

$P(Ca + Mg)$: C'est le log négatif de la concentration de Ca et Mg

$p(Alk)$: c'est le log négatif de la concentration en ions carbonates et bicarbonates dans l'eau.

Avec :

| | | |
|-------------|----------------------|---|
| $pHc > 8,4$ | $SAR_{ajusté} < SAR$ | L'eau a tendance de dissoudre le CaCO_3 du sol |
| $pHc < 8,4$ | $SAR_{ajusté} > SAR$ | L'eau a tendance à précipiter le CaCO_3 |

Tableau 1. Source Bulletin FAO n° 29 ; 1976

II.1.3.1 pH de l'eau d'irrigation :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale.

II.1.3.2 Risques liés aux éléments toxiques :

Les éléments toxiques les plus réputés sont :

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

- Chlorure(Cl)
- Sodium(Na)

Le sodium et le chlorure sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures.

Le bore peut être toxique à très faible concentration. Une concentration en bore inférieure à 1mg/l est essentielle pour le développement des plantes, mais des niveaux plus élevés peuvent poser des problèmes pour les plantes sensible.

II.1.4 Les nutriments :

Ce sont des substances nécessaires pour le métabolisme et la photosynthèse des plantes comprenant les macronutriments (N, P, Ca, Mg).

II.1.5. Classification des eaux d'irrigation :

II.1.5.1 La classification de l'U.S.S.L

C'est classification la plus utilisé en ce qui concerne l'irrigation proposé par laboratoire de Riverside (*RICHARD 1954*), elle est basée sur :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux destiné à l'irrigation.

C'est-à-dire :

- la conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm)
- le SAR (% de Na échangeable)

II.1.5.2 Teneur en sel :

Tableau 2 : La conductivité électrique

| Classe | Conductivité électrique en $\mu\text{mhos/cm}$ | Définition |
|--------|--|--|
| C1 | < 250 | Eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour la plupart des cultures sur la plus part des sols. |
| C2 | 250 -750 | Eau de salinité moyenne. Elle peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré. |
| C3 | 750 -2250 | Eau à forte salinité .Elle ne peut pas être utilisée sur des sols faiblement drainés. Même lorsque le drainage est suffisant |
| C4 | 2250 - 5000 | Eau a très forte salinité. Elle ne convient pas à l'irrigation dans des conditions ordinaires. |

Source Bulletin FAO n° 29 ; 1976

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

Tableau 3 : La teneur en sodium (SAR)

| Classe | SAR | Définition |
|--------|-----------|---|
| S1 | SAR<10 | L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation. |
| S2 | 10<SAR<18 | L'eau contenant une quantité moyenne de sodium peuvent présenter quelques difficultés dans les sols a texture fine .Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols a texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau. |
| S3 | 18<SAR<26 | Les eaux contenant une quantité élevée de sodium peuvent provoquer des difficultés dans la plus part des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il n'y a pas de gypse, il faut en ajouter un amendement chimique exerçant le même effet. |
| S4 | SAR>26 | L'eau contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropre à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage du gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation. |

II.1.5.3. La classification d'Ayers et Westcot (1985) :

Le tableau suivant donne la classification proposée par un groupe de chercheurs américains de l'université de Californie.

Tableau 4. Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Bulletin FAO n° 29 ; 1976)

| Nature des problèmes | Unité | Guide pour la qualité de l'eau | | |
|--------------------------------------|---------|--------------------------------|----------------------|------------------|
| | | Pas de problèmes | Problèmes croissants | Problèmes graves |
| Salinité | μS/cm | < 0.75 | 0.75 - 2.0 | > 3 |
| CE | mg/l | < 450 | 450-2000 | > 2000 |
| Perméabilité | μS/cm | | | |
| CE | | > 0.5 | 1.5 - 0.2 | < 0.2 |
| SAR | | < 6 | 6.0 - 9 | > 9 |
| | | < 8 | 8 - 16 | > 16 |
| | | < 16 | 16 - 24 | > 24 |
| Toxicité spécifique de certains ions | | | | |
| Sodium (Na) | SAR aj. | <3 | 3.0 - 9 | > 9 |
| Irrigation de surface | meq/l | | | |
| Irrigation par aspersion | | <3 | 9 | |

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

| | | | | |
|--|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Chlore (Cl⁻) | | | | |
| Irrigation de surface | meq/l | < 4 | 4.0 – 10 | |
| Irrigation par aspersion | meq/l | <3 | 3 | >10 |
| Effets divers | | | | |
| Azote (NO₃⁻) | mg/l | < 5 | 5.0 – 30 | > 30 |
| Bicarbonate (HCO₃⁻) | meq/l | < 1.5 | 1.5 – 8.5 | > 8.5 |
| avec aspersion) | | | | |
| pH | | Gamme normale : 6.5 -8.4 | Gamme normale : 6.5 -8.4 | Gamme normale : 6.5 -8.4 |

II.2. Echantillonnage et analyse hydrochimique :

Les échantillons ont été collectés à travers toute la zone d'étude afin de mieux représenter la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines de la nappe aquifère.

II.3. Analyse chimique de l'eau et évaluation des impacts sur l'agriculture :

II.3.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques:

Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes AFNOR (NF-T 90-10 ; 1997) et par Rodier (2005).

À chaque prélèvement, la température, le pH la conductivité électrique ont été mesurés (testés) in situ.

II.3.1.1. La température :

La température mesurée sur les eaux souterraines de la région d'étude, varie de 21 à 28,4°C, avec une moyenne proche de 23,65°C. Ces valeurs sont dues principalement à la profondeur du plan d'eau, et sont très proches de la température moyenne de l'atmosphère de la région d'étude. Nous pouvons donc penser que l'aquifère est en équilibre thermique avec l'atmosphère.

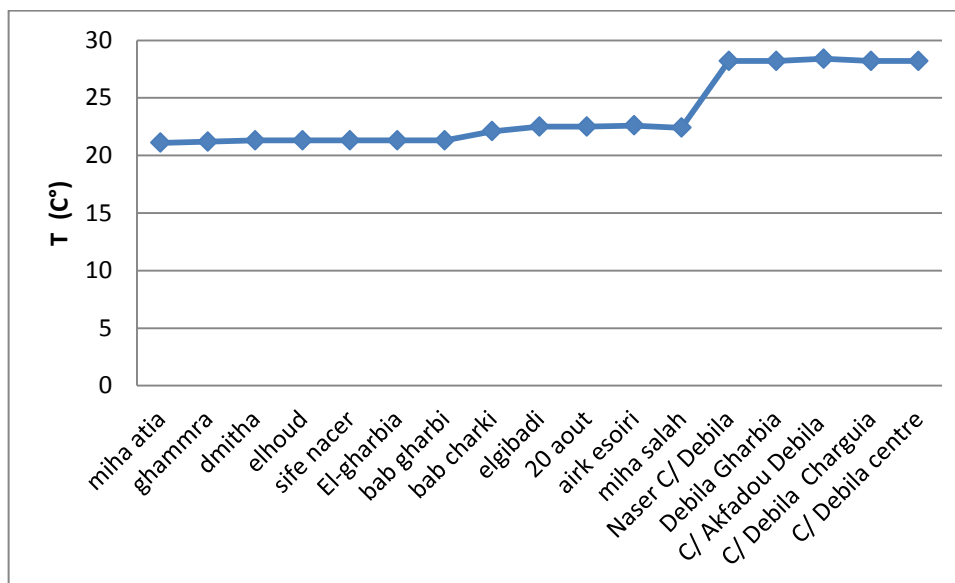


Figure N°01 : variation des valeurs de température en (C°) (2020) de la région d'étude

II.3.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Le pH varie entre 7.3 et 7.7, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles.

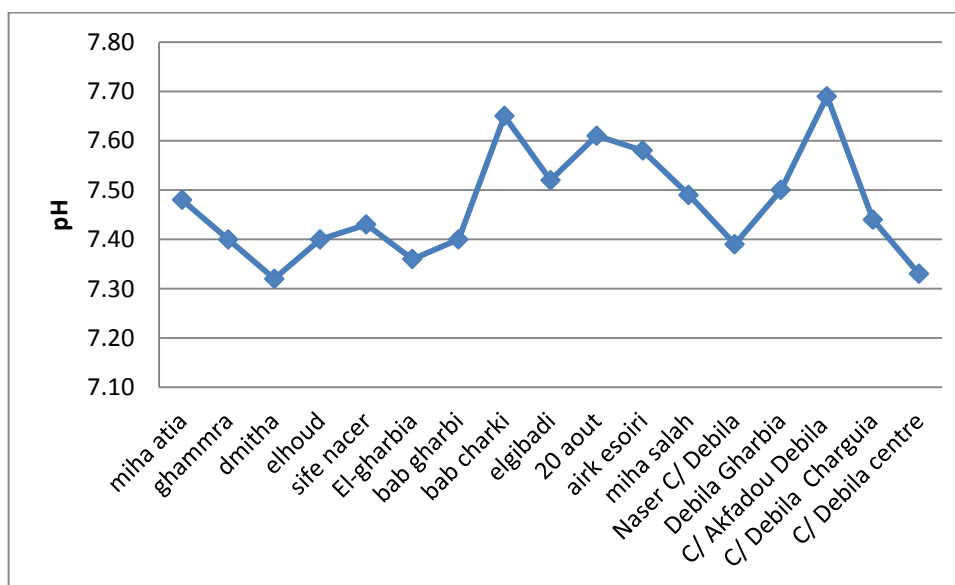


Figure N° 02: variation des valeurs du pH (2020) de la région d'étude

II.3.1.3 .La conductivité électrique (CE):

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs mesurées ont été ramenées à 25°C. Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des puits dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux. Les valeurs maximales sont de l'ordre de 4530 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

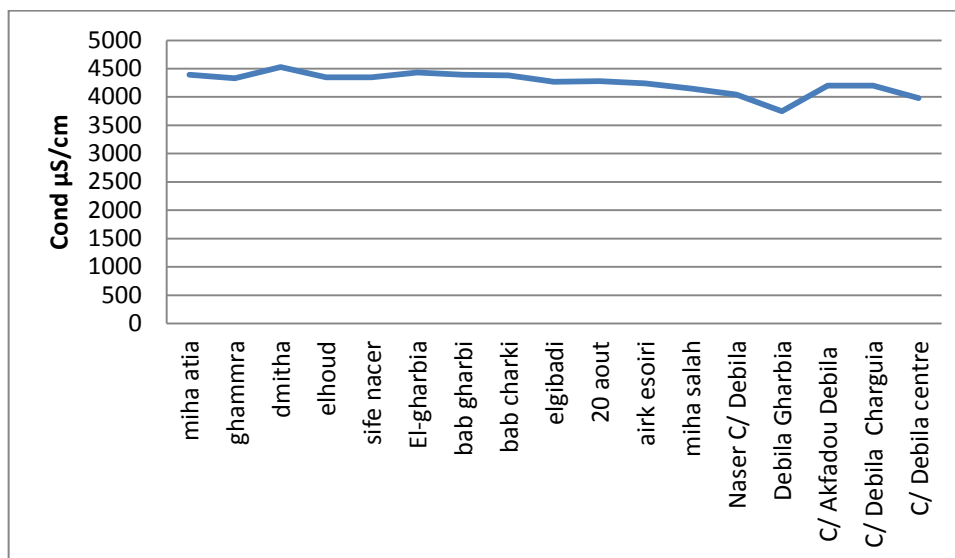


Figure N° 03: variation des teneurs de conductivité électrique en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (2020) de la région d'étude

II.3.1.4. Qualité chimique des eaux : les mesures ont été effectuées au niveau de laboratoire ADE de la commune d'El oued.

3.1 .4.1. Le calcium (Ca^{2+}) : la totalité des points de prélèvement présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux. Les valeurs les plus élevées avec un maximum de 320,64 mg/l sont observées au niveau du forage de Sif nacer commune de Guemmar avec une moyenne de 269,7 mg/l.

L'ion Ca^{2+} provient de deux origines naturelles différentes qui sont :

La dissolution des formations carbonatées d'âge crétacé et la dissolution des formations gypses et de calcaires.

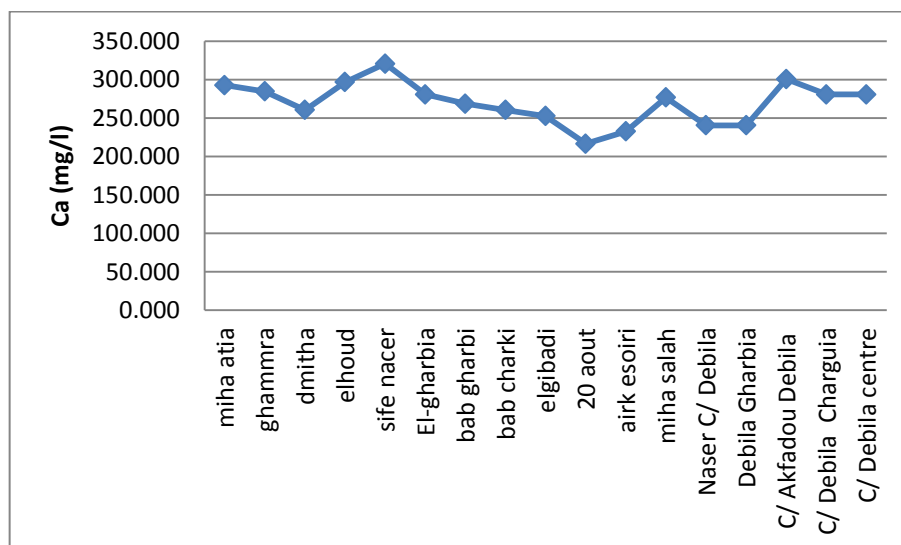


Figure N°04 : variation des teneurs de calcium en (mg/l) (2020) de la région d'étude

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

3.1. 4.2 Le magnésium (Mg^{2+}) :

Les valeurs du magnésium varient de 65,62 mg/l au niveau du forage Miha Salah à 165.27 mg/l au forage du 20 Aout dans la commune de Guemmar avec une valeur moyenne de 117,23 mg/l. Les variations de concentration sont élevées .

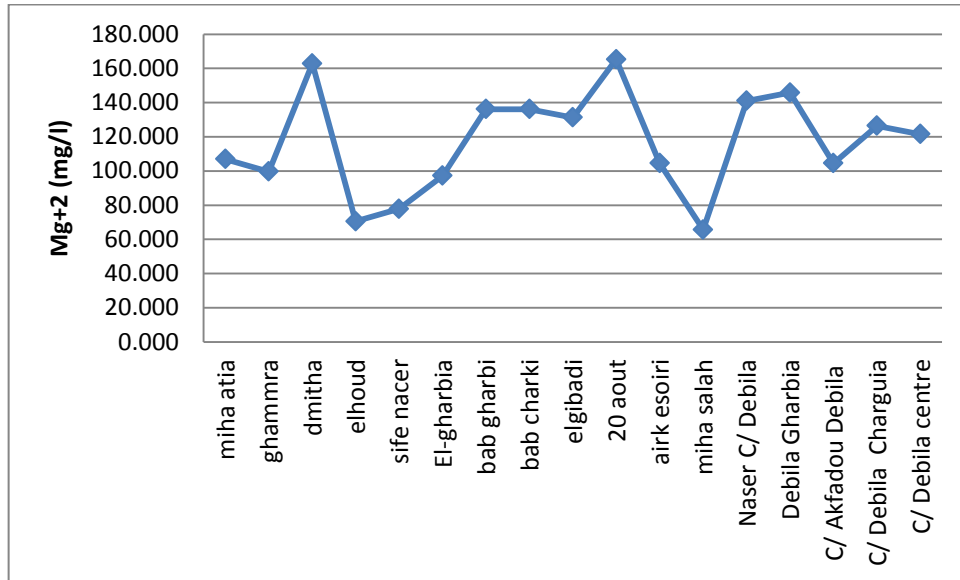


Figure N°05 : variation des teneurs de magnésium en (mg/l) (2020) de la région d'étude

3.1.4. 3. Le sodium (Na^+) :

Le sodium présente également des valeurs fortes allant de 320 mg/l au forage Debila gharbia, et 450 mg/l au forage de Gammra, avec une valeur moyenne de 388 mg/l.

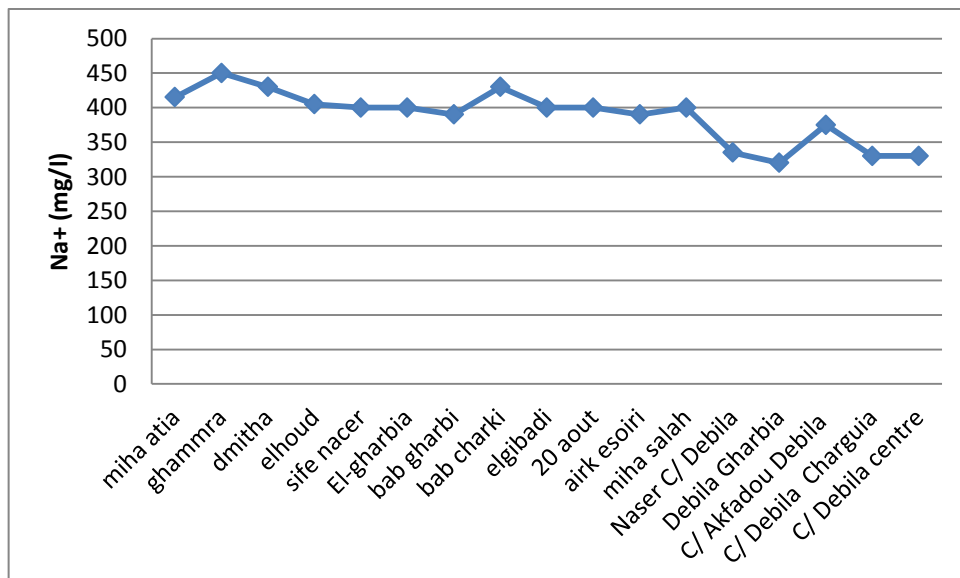


Figure N°06 : variation des teneurs de sodium en (mg/l) (2020) de la région d'étude

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

3.1.4. 4. Le potassium (K^+):

Les valeurs de potassium sont basses, de l'ordre de 22 mg/l au niveau du forage Miha Salah. Les valeurs les plus élevées sont observées au forage Bab charki commune de Guemmar avec un maximum de 37 mg/l, pour une moyenne de 31 mg/l.

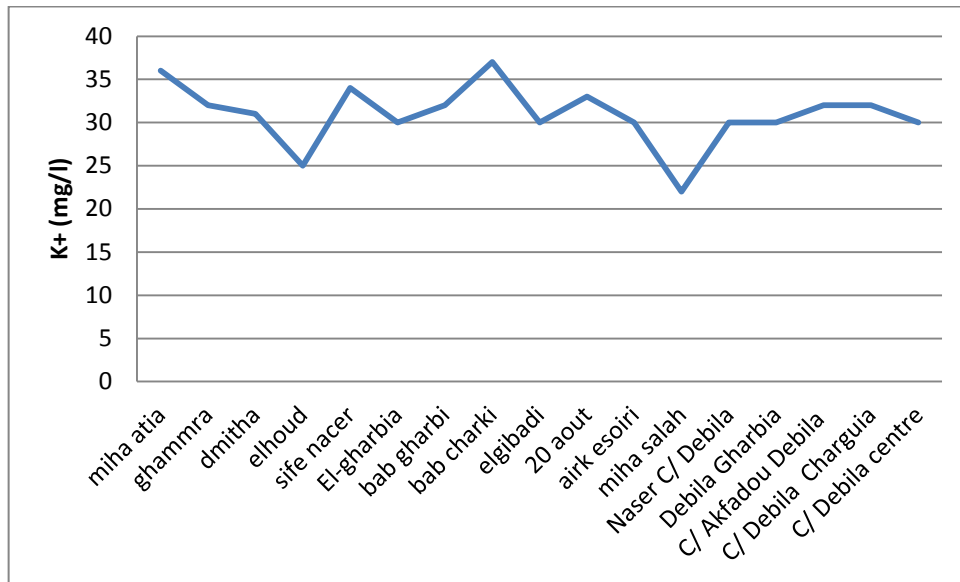


Figure N°07 : variation des teneurs de potassium en (mg/l) (2020) de la région d'étude

3.1.4.5. Les chlorures (Cl^-) :

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution. Les teneurs enregistrées, pendant toute la période d'observation, montrent des valeurs importantes qui dépassent la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l. On signale la totalité des puits dépassent cette norme. Le taux des chlorures est très élevé au forage de Miha Salah commune de Guemmar 1127 mg/l, mais moindre au niveau de forage Airk esoiri avec un ordre de 722 mg/l, avec une moyenne de 885,5 mg/l.

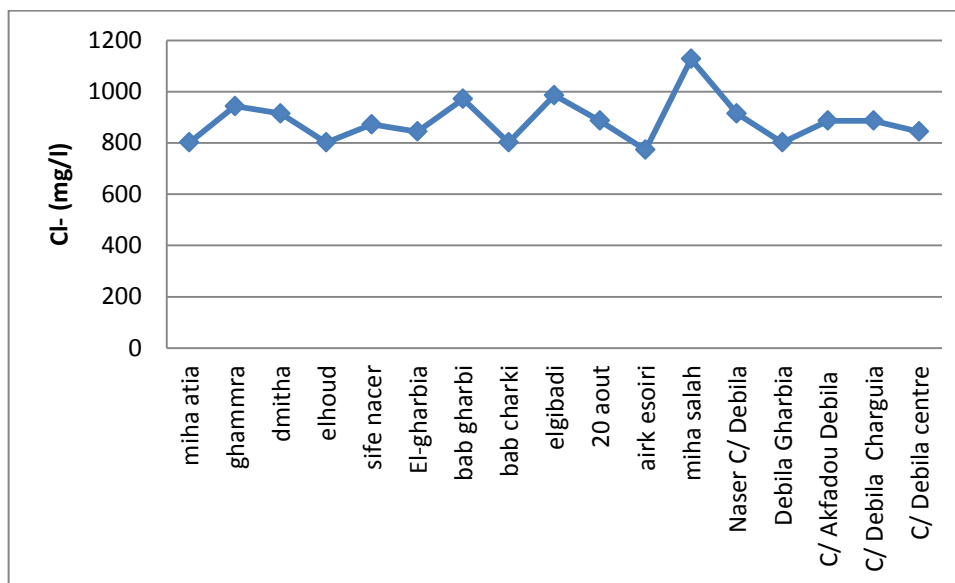


Figure N° 08: variation des teneurs de chlorure en (mg/l) (2020) de la région d'étude

3.1.4.6. Les sulfates (SO₄²⁻):

Les plus fortes teneurs en sulfates sont enregistrées au centre du secteur d'étude avec un maximum de 847,6 mg/l, avec une moyenne de 620,6 mg/l, suite au phénomène d'évaporation alors que les plus faibles valeurs sont enregistrées au forage Airk esoiri avec un minimum de 193.06 mg/l.

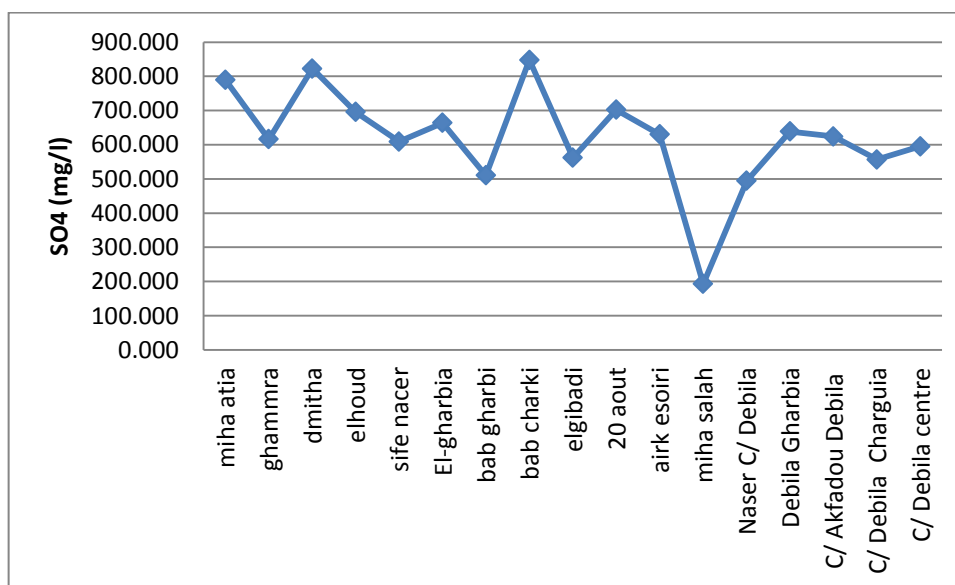


Figure N°09 : variation des teneurs de sulfate en (mg/l) (2020) de la région d'étude

3.1.4.7. Les bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les teneurs de bicarbonates (HCO₃⁻) sont enregistrées avec une moyenne de 186,9 mg/l et un maximum de 207.7 mg/l se trouve dans la commune de Guemmar (forage Sif nacer). Les concentrations varient faiblement.

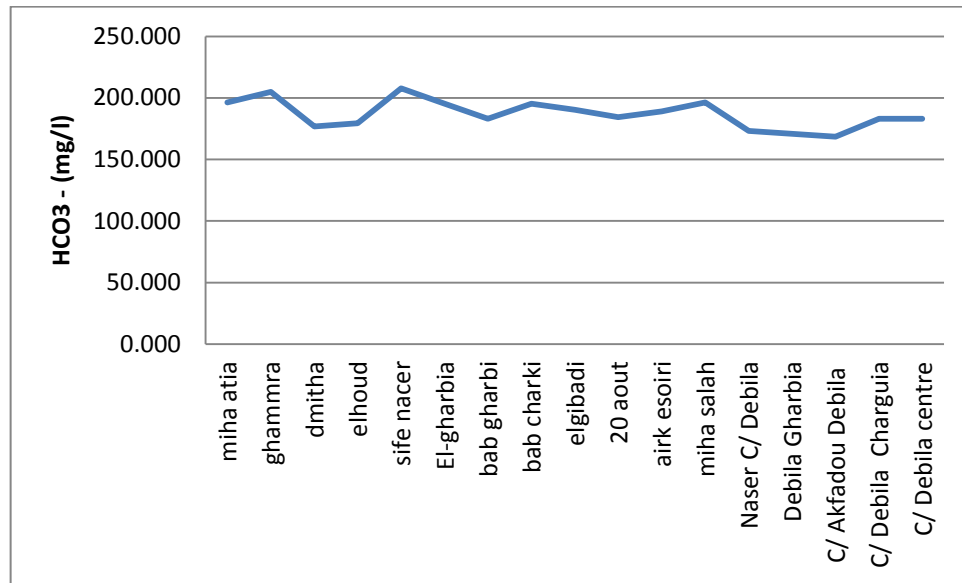


Figure N°10 : variation des teneurs de bicarbonate en (mg/l) (2020) de la région d'étude

II.3.1.5. Résultats SARaj :

Le calcul du SARajusté a donné les valeurs maximales sont observées au forage de Ghamra et Bab charki. Les minimas sont observés à Sif nacer et Debila gharbia.

Les valeurs du SAR ajusté sont supérieures aux valeurs du SAR et le pHc est inférieurs à 8,4 donc dans ce cas l'eau a tendance à précipiter le CaCO₃.

II.4. Discussion :

II.4.1. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

L'examen des valeurs des paramètres physiques et leur comparaison avec les directives de la F.A.O relatives à l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation (tableau 5) permet de tirer les conclusions suivantes :

II.4.1.1 Effet de la salinité :

Les résultats des paramètres physiques, illustrés par les histogrammes de la figure montrent, que durant la campagne de prélèvement, la teneur totale en sels (exprimée par la conductivité électrique) des eaux des forages se trouve comprise entre les valeurs 3700 µS/cm et 4500 µS/cm, dépassant les valeurs 750 µS/cm et 2000 µS/cm, limite au-dessus de laquelle les eaux sont classées dans la catégorie Problèmes croissants P-C et limite au-dessus de laquelle les eaux sont classées dans la catégorie Problèmes graves P-G.

Cette forte salinité, due à la lithologie, mais aussi à des conditions climatiques très arides. Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

En effet, avec le climat aride que connaît la région on peut s'attendre à des périodes de sécheresse.

Si l'irrigation devient une nécessité, il est impératif que les exploitants doivent s'assurer au préalable, de la qualité physique de leur sol et du bon drainage de ce dernier. Un drainage médiocre favoriserait l'accumulation des sels dans la zone racinaire et restreindrait la disponibilité de l'eau dans le sol pour les cultures. Pour extraire de l'eau la plante doit surmonter non seulement le potentiel hydrique du sol mais également le potentiel osmotique des sels. Le préjudice serait encore plus grave avec l'introduction des cultures sensibles aux sels. Les risques de salinisation des sols qu'entraînerait l'irrigation par de telles eaux présentent un critère préjudiciable à sa qualité et peut être considérée comme nuisible pour les cultures sensibles, particulièrement sous le climat, aride, à forte évaporation qui caractérise la région.

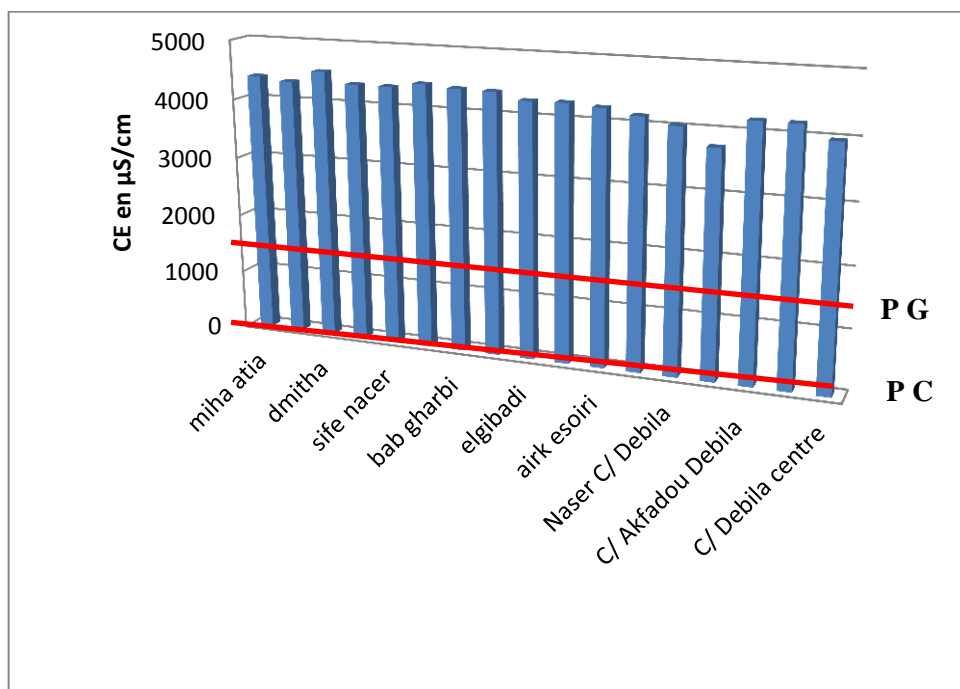


Figure N°11 : Variation de la salinité (CE) de la région d'étude.
(PC = Problèmes croissants ; PG = Problèmes graves).

II.4.1.2. Evaluation du problème de perméabilité

Un problème de perméabilité lié à la qualité de l'eau se pose quand la vitesse de pénétration ou de circulation de l'eau dans et à travers le sol diminuent sous l'effet de certains sels ou de l'absence de sels dans l'eau, au point que la culture n'est plus suffisamment alimentée en eau et que le rendement diminue.

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

Les valeurs de la salinité globale trouvées dans la région d'étude, sont supérieures à celle qui correspond dans les directives à la catégorie 'sévères' donc un problème de perméabilité liée à la salure globale.

De telles eaux sont corrosives et entraînent les sels solubles à la surface du sol. Les matériaux carbonatés sont décomposés, dispersés et créent des obstacles de circulation de l'eau.

• Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité

Les valeurs calculées du SARaj durant la campagne, dans les points d'eaux, sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie « sérieux problèmes », (fig.).

La salinité et la teneur en ions Ca^{+2} , Mg^{+2} et SO_4^{-} sont suffisamment élevées pour compenser ou atténuer dans une certaine mesure le problème que peut poser un SARaj élevé.

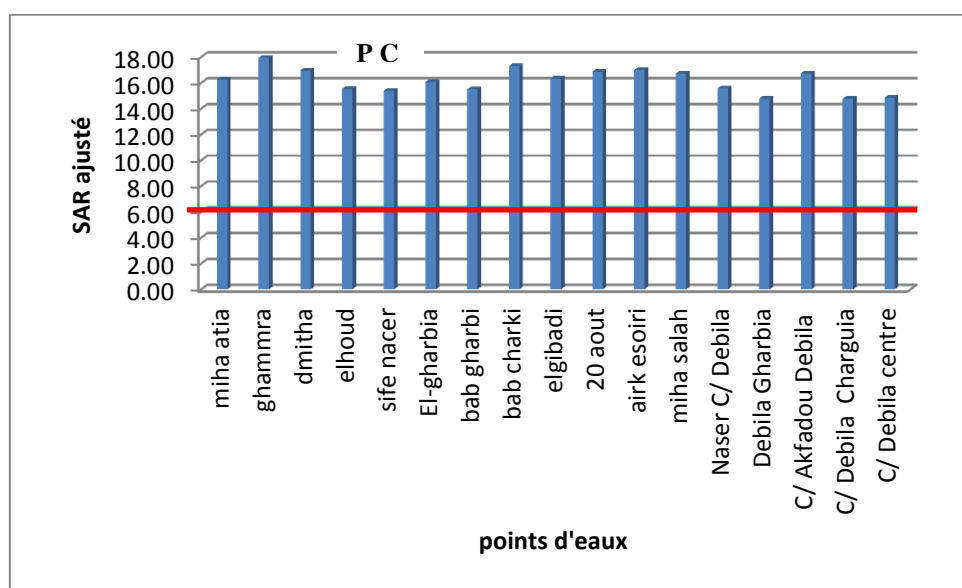


Figure N°12 : Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité

II.4.1.3. Evaluation du problème de toxicité :

La toxicité pose un problème différent de ceux de la salinité et de la perméabilité car elle se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation.

Il se pose un problème de toxicité quand certains constituants de l'eau sont absorbés par les cultures et s'accumulent en quantités susceptibles d'entraîner une diminution des rendements.

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

Les directives de la FAO traitent de la toxicité des ions Na, Cl. La toxicité de ces ions est liée à la méthode d'irrigation utilisée et de la valeur du SARaj s'agissant du sodium. Un SARaj compris entre 3 et 9 serait à l'origine de "problèmes croissants", supérieur à 9 on est dans la catégorie de "Problèmes graves".

II.4.1.4. Les risques de toxicité spécifique aux ions sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément a pour origine l'altération de la roche et du sol, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Pour l'évaluation du risque de toxicité les directives utilisent les valeurs du SARaj. D'après les résultats trouvés on observe que les valeurs du SAR varie entre 6.35 et 7.41 se situent dans la catégorie des "problèmes croissants".

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en ions sodium fait que les cultures absorbent le sodium en même temps que l'eau celui-ci se concentre dans les feuilles tandis que l'eau s'échappe par transpiration. Il peut en résulter des dégâts (toxicité) si l'accumulation du sodium atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques en sont la brûlure et le roussissement du feuillage ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles.

En climat sec, l'irrigation avec une telle eau peut être pratiquée étant donné, comme vu plus haut que la salinité et la teneur en ions Ca^{++} et Mg^{++} sont suffisamment élevées pour compenser ou atténuer l'effet nocif des ions Na^+ . Mais l'irrigation par aspersion peut poser des problèmes de toxicité particuliers qui tiennent à l'absorption du sodium par les feuilles.

Apparemment, le problème peut se poser, étant donné que cette exploitation pratique une culture maraîchère à longueur d'année. Dès fois les aléas du climat font que les pluies deviennent rares obligeant les exploitants à recourir à l'irrigation. Dans ce cas la pratique d'une irrigation de surface est recommandée.

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

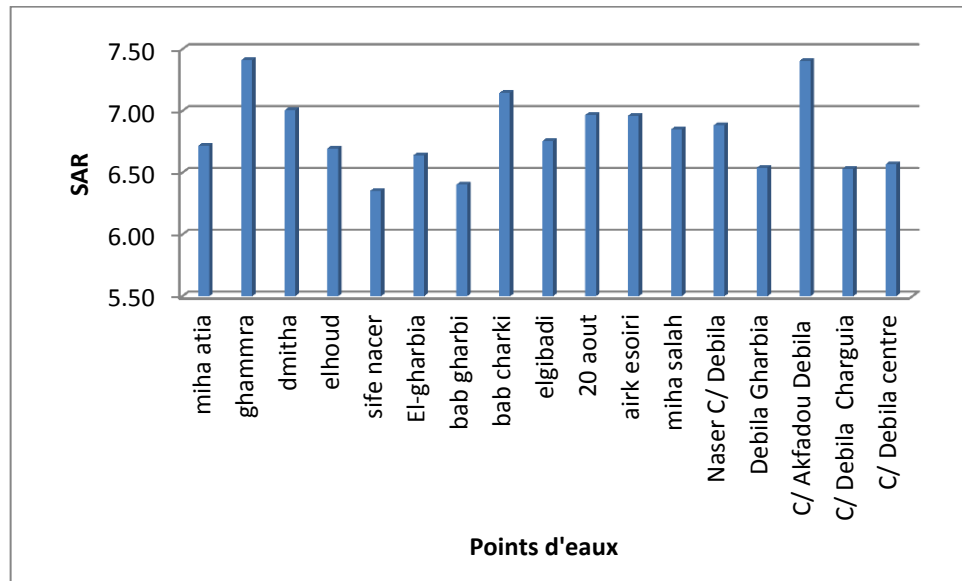


Figure N°13 : Variation des valeurs du SAR (2020)

II.4.1.5. Toxicité de l'ion chlore :

D'après les directives, il y a problème de toxicité par le chlore si la concentration est comprise entre 4 et 10 meq/l au-delà de 10 meq/l de Cl⁻ les problèmes deviennent graves.

Au regard des résultats trouvés (fig.) les eaux des forages présenteraient des risques de toxicité graves en fonction des cycles de développement des cultures sur pied.

Dans les conditions extrêmes de faible humidité, l'irrigation par aspersion peut entraîner une brûlure du feuillage et une défoliation sur des cultures normalement considérées comme tolérantes au chlore.

Ces teneurs en chlorures et sulfates pourraient s'expliquer par la géologie des terrains de la région ou par une contamination directe de l'eau par des rejets domestiques ou par l'utilisation des pesticides dans l'agriculture.

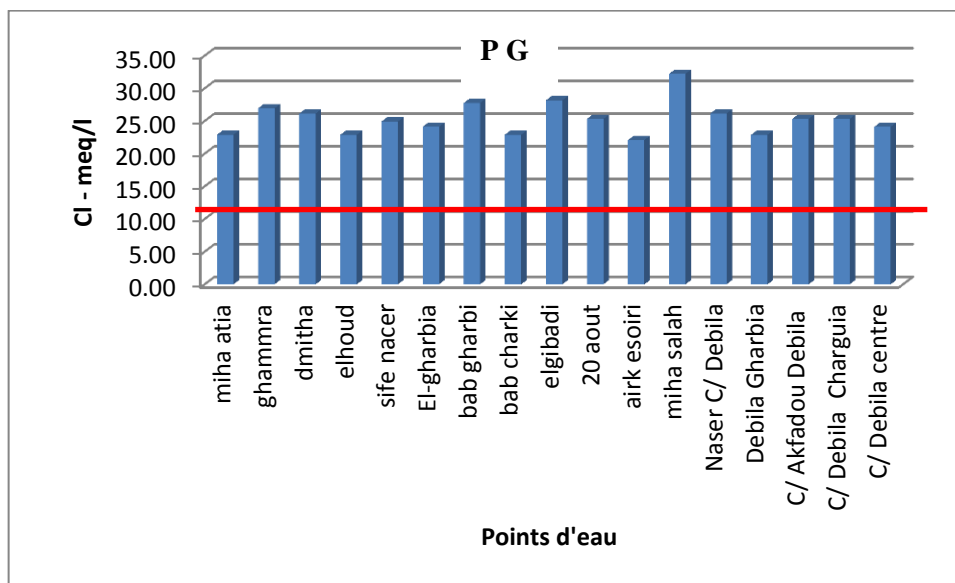


Figure N°14 -Variation de l'ion chlore (2020)

II.4.1.6. Effets divers sur les cultures sensibles

- **Le pH**

Pour région d'étude, les pH de ses eaux sont situés dans la gamme normale (7,3 à 7,7) avec une légère tendance à l'acidification observée, probablement due à une nitrification (minéralisation des matières organiques accrue mais qui se trouve toutefois tamponnée par la présence d'un milieu fortement calcique.

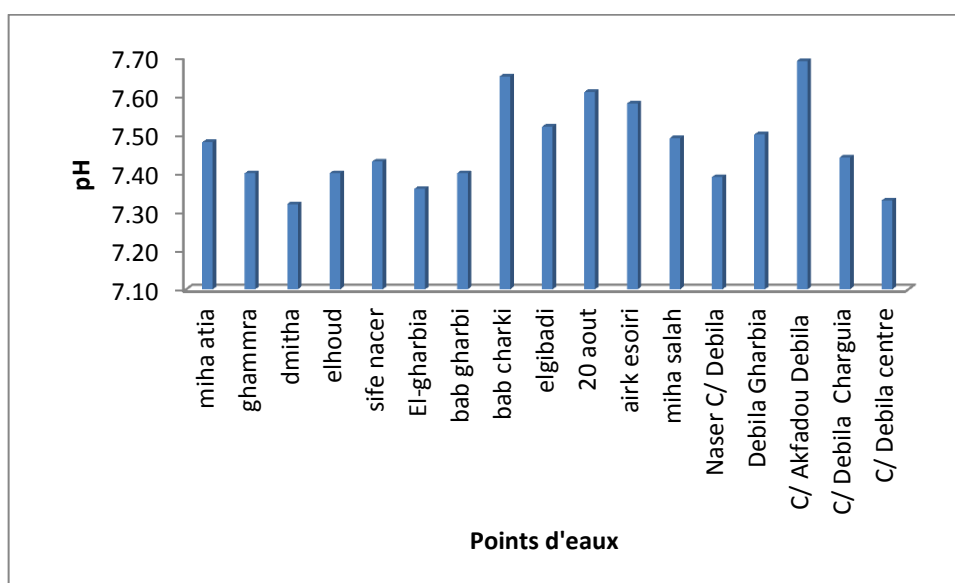


Figure N°15. Variation de pH (2020)

• **Les bicarbonates (HCO_3^-) :**

D'après les directives, il y a problème avec les bicarbonates quand leur teneur dépasse 1.5 meq/l.

Pour le secteur d'étude, les taux de bicarbonates trouvés classent les eaux dans la catégorie "problème croissant" (fig.). Mais dans la parcelle à vocation maraîchère, on doit s'attendre à un risque croissant. Le taux de bicarbonate est de 4 meq/l correspondant à un "problème croissant" qui se manifeste par un dépôt blancs sur les fruits ou sur les feuilles, et qui ne sont pas entraînés par les arrosages suivants ce dépôt nuit à la qualité commerciale et au goût des fruits. L'irrigation par aspersion est à déconseiller.

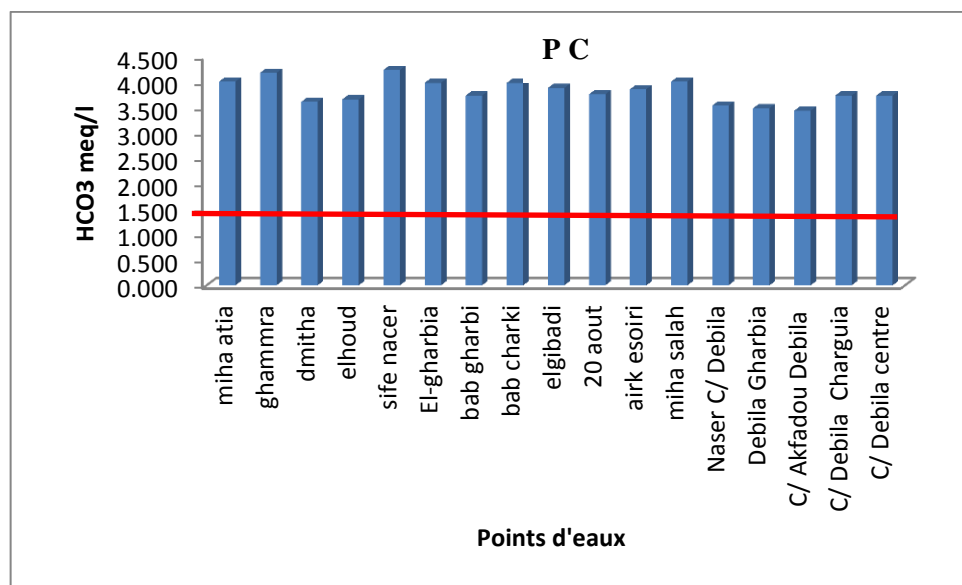


Figure N°.16 Variation du taux de bicarbonate (2020)

II.5. Représentation graphique des faciès hydrochimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil indispensable. Pour atteindre cet objectif, nous avons eu recours au diagramme de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. L'établissement de ces diagrammes a été fait en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

- Diagramme de PIPER et SCHOELLER-BERKALOFF :

Les faciès sont représentés sur le diagramme de Piper (figure) et de scholler. D'après les figures, nous remarquons que l'ensemble des nuages de points ne présente pas de dominance anionique ou cationique. Nous signalons cependant la présence d'un faciès chloruré calcique, relativement dominant, et un faciès sulfaté calcique et chloruré sodique.

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

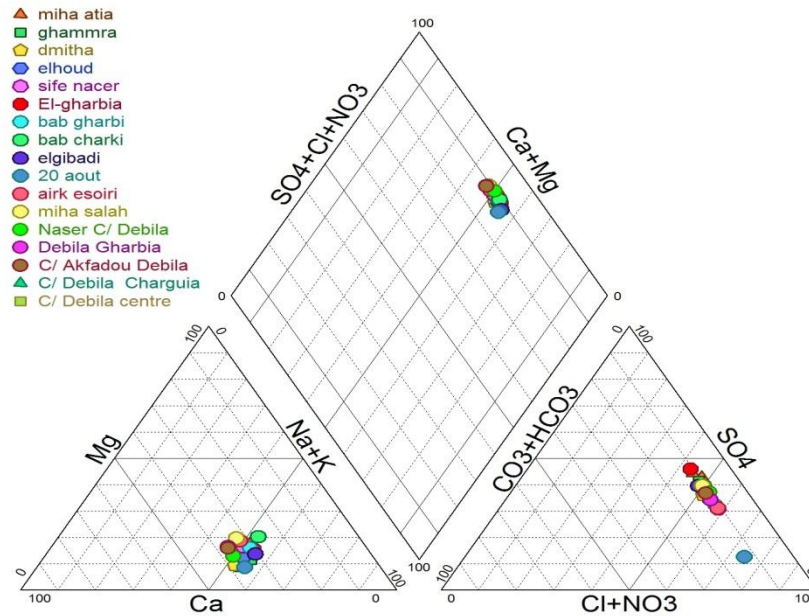


Figure 17: Diagramme de Piper des eaux souterraines de la région d'étude (2020).

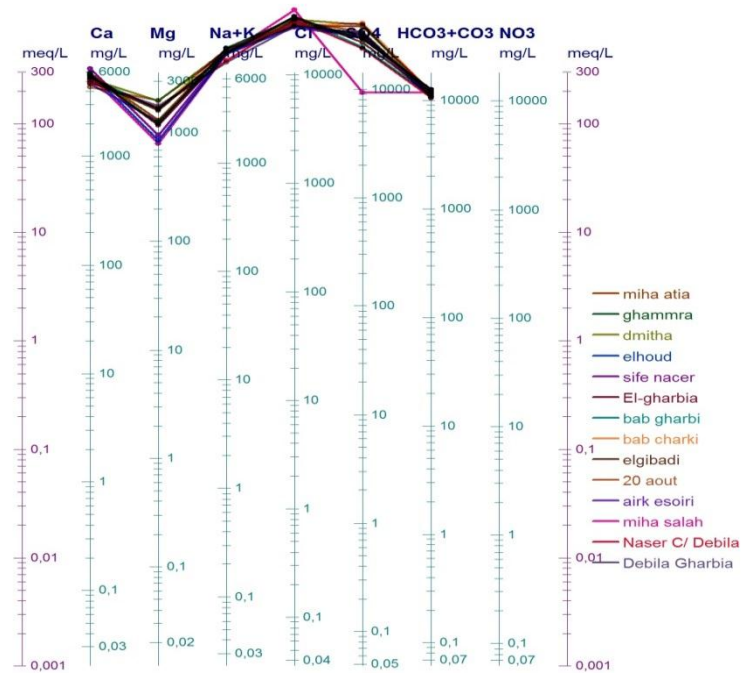


Figure N°18: Diagramme de SHOELLER-BERKALOFF des eaux souterraines de la région d'étude (2020).

II.6. Aptitudes des eaux à l'irrigation :

II.6.1. Classification des eaux par la méthode de Richards :

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards (voir figures), selon la conductivité électrique et la valeur du SAR, nous observons que les totalités des eaux se situent hors la zone des classes, qui définit une eau de salinité très élevée qui ne convient pas à l'irrigation en conditions ordinaires. Ces eaux ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des sols perméables avec un bon drainage. A défaut de ces critères l'eau présente un danger d'alcalisation des sols à textures fines. Seules les plantes tolérantes aux sels (tabacs, coton, orge, artichaut et dattiers) peuvent être cultivées.

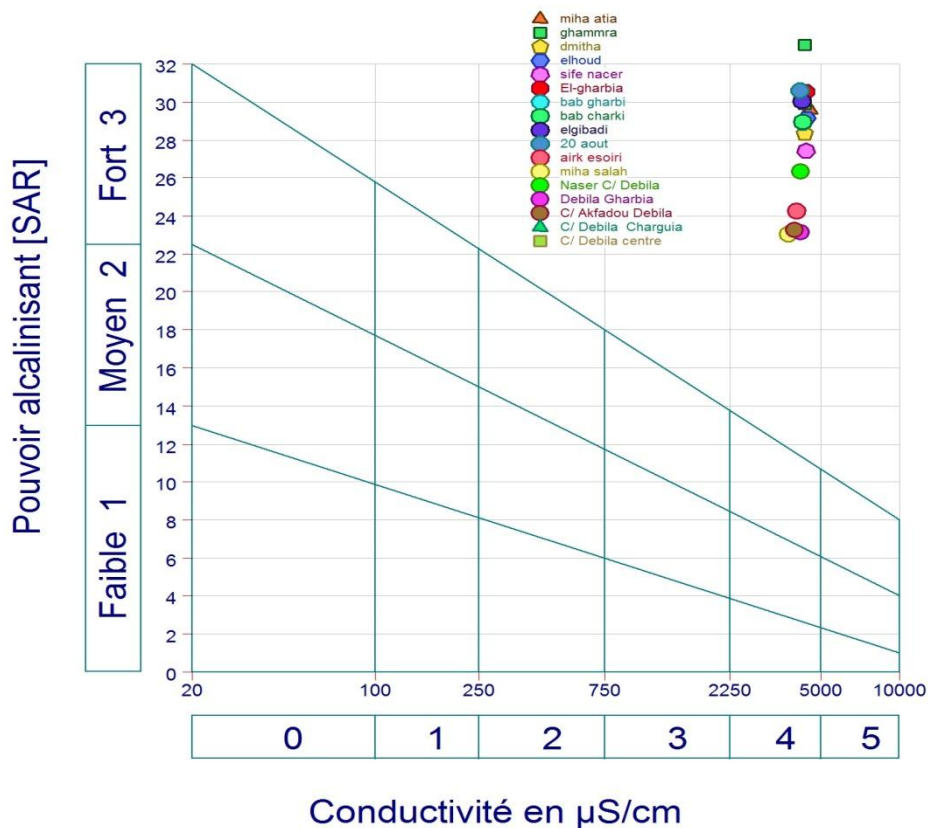


Figure N°19: Diagramme de Richards pour l'année 2020.

II.6.2. Classification des eaux par la méthode de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation (Figures).

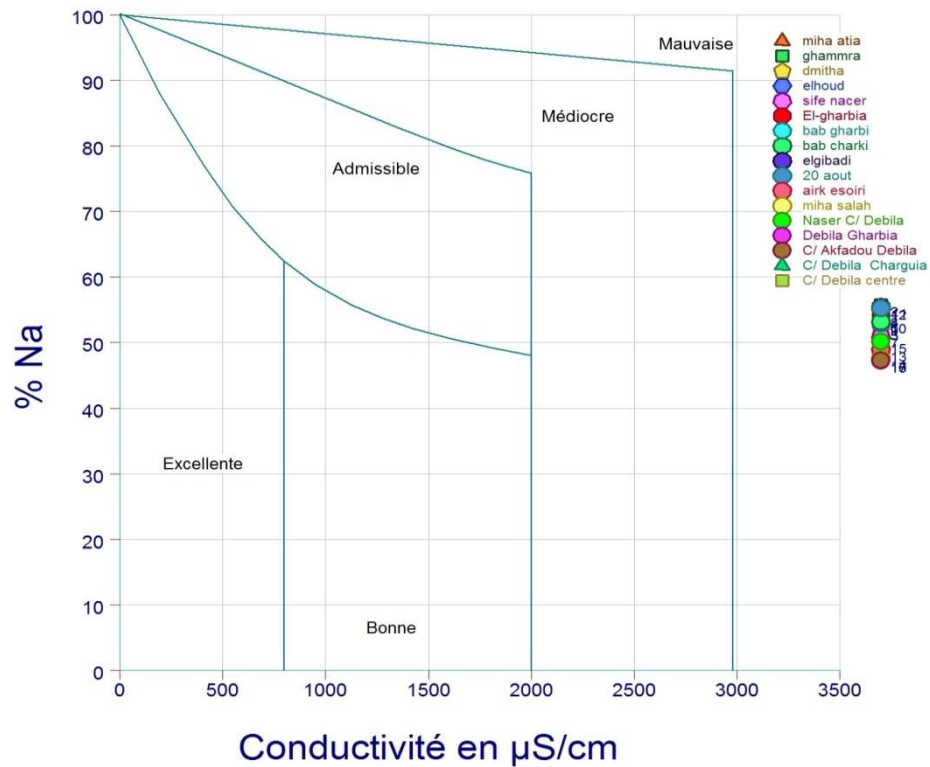


Figure N°20: Diagramme de Wilcox pour l'année 2020.

Les diagrammes couvrant toute la période d'observation montrent que les eaux souterraines de la nappe de la région d'étude selon la classification de Wilcox, appartiennent à une seule classe: Mauvaise.

En examinant les deux méthodes (Richards et Wilcox) de classification d'aptitude des eaux à l'irrigation, nous remarquons qu'elles présentent la même distribution de la qualité. En effet, la 'mauvaise' est déterminée par les deux classifications.

Conclusion :

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines, utilisées à des fins d'irrigation dans exploitation agricoles, comparés aux valeurs guides (FAO) ont conduit aux conclusions suivantes :

Pour ce qui est de la teneur en sels, les résultats obtenus durant la campagne de prélèvement dépassent la valeur des 750 µS/cm. Selon les Directives de la FAO, les eaux souterraines se classent dans la catégorie : "Problèmes croissants".

Chapitre V: Estimation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols

Les eaux de la région d'étude présentent un profil salin de type calcique à dominance d'anion chloruré est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques ;

Alors que les eaux de la région d'étude, présente un chimisme sodique à dominance d'ions carbonates et chlorures. Les fluctuations de la salinité sont sous l'influence des apports de l'activité agricole de la ferme.

Pour ce qui est de l'effet de la salinité sur la perméabilité, les valeurs de la salinité globale trouvées dans les eaux souterraines sont comprises entre 3700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elles sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie « Problèmes graves P-G ». Donc un problème de perméabilité liée à la salure globale.

Pour ce qui est de l'effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité les valeurs calculées du SARaj, dans les points d'eaux de prélèvement, sont supérieures à celles qui correspondent dans les Directives à la catégorie « sérieux problèmes », et ce, quelle que soit la nature texturale et le type de sols.

Pour ce qui est des risques de toxicité spécifique aux ions sodium le sodium est l'un des plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Pour évaluer ses effets, les directives utilisent les valeurs du SARaj. Pour les eaux de la région d'étude les résultats trouvés sont de 14.8 et 18. Elles sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie "Problèmes graves". Les valeurs du SAR ajusté sont supérieures aux valeurs du SAR et le pHc est inférieurs à 8,4 donc dans ce cas l'eau a tendance à précipiter le CaCO_3 .

Pour ce qui est de la toxicité de l'ion chlore au regard des résultats trouvés les eaux des forages présenteraient des risques de toxicité graves en fonction des cycles de développement des cultures sur pied.

Pour ce qui est du pH des eaux d'irrigation pour les eaux de la région d'étude, le pH de ses eaux est situé dans la gamme normale (6,5 à 8,4) avec une légère tendance à l'acidification.

Pour ce qui est des bicarbonates pour le secteur d'étude, les taux de bicarbonates trouvés classent les eaux dans la catégorie "Problème croissant".

La classification de Richards et celle de Wilcox ont prouvé la dégradation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Generale

Conclusion Generale :

Au cours de ce travail de synthèse, nous avons traité la problématique de la variation de la qualité de l'eau d'irrigation et son influence que ça soit sur le sol ou sur le fonctionnement des réseaux d'irrigation en général.

En effet, nous avons abordé en détail les différentes qualités de l'eau d'irrigation ainsi que leurs provenances tout en spécifiant leur aptitude à être utilisée dans le domaine agricole.

Un domaine qui nécessite d'avantage d'attention vu les risques auxquels est exposé, non seulement la plante, mais aussi le sol dans le cas d'un usage non rationnel de cette ressource que ça soit en termes de quantité ou bien en qualité.

La présente étude, qui a porté sur la région de Guemmar et Débila wilaya d'El-Oued, située au Nord-Est d'El-Oued Sud-est d'Algérie, a abouti aux conclusions suivantes:

La zone d'étude est soumise à un climat de type hyperaride, avec un hiver froid sec et un été chaud et sec, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 96,18 mm. La température moyenne interannuelle est de 27,06°C.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines, utilisées à des fins d'irrigation dans exploitation agricoles, comparés aux valeurs guides (FAO) ont conduit aux conclusions suivantes :

Pour ce qui est de la teneur en sels, les résultats obtenus durant la campagne de prélèvement dépassent la valeur des 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Selon les Directives de la FAO, les eaux souterraines se classent dans la catégorie : "Problèmes croissants".

Les eaux de la région d'étude présentent un profil salin de type calcique à dominance d'anion chloruré est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques ;

Alors que les eaux de la région d'étude, présente un chimisme sodique à dominance d'ions carbonates et chlorures. Les fluctuations de la salinité sont sous l'influence des apports de l'activité agricole de la ferme.

Pour ce qui est de l'effet de la salinité sur la perméabilité, les valeurs de la salinité globale trouvées dans les eaux souterraines sont comprises entre 3700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elles sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie « Problèmes graves P-G ». Donc un problème de perméabilité liée à la salure globale.

Pour ce qui est de l'effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité les valeurs calculées du SARaj, dans les points d'eaux de prélèvement, sont supérieures à celles qui correspondent dans les Directives à la catégorie « sérieux problèmes », et ce, quelle que soit la nature texturale et le type de sols.

Pour ce qui est des risques de toxicité spécifique aux ions sodium le sodium est l'un des lus indésirables dans l'eau d'irrigation. Pour évaluer ses effets, les directives utilisent les valeurs du SARaj. Pour les eaux de la région d'étude les résultats trouvés sont de 14.8 et 18.

Conclusion Generale

Elles sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie ‘‘Problèmes graves’’. Les valeurs du SAR ajusté sont supérieures aux valeurs du SAR et le pHc est inférieurs à 8,4 donc dans ce cas l’eau à tendance à précipiter le CaCO_3 .

Pour ce qui est de la toxicité de l’ion chlore au regard des résultats trouvés les eaux des forages présenteraient des risques de toxicité graves en fonction des cycles de développement des cultures sur pied.

Pour ce qui est du pH des eaux d’irrigation pour les eaux de la région d’étude, le pH de ses eaux est situé dans la gamme normale (6,5 à 8,4) avec une légère tendance à l’acidification.

Pour ce qui est des bicarbonates pour le secteur d’étude, les taux de bicarbonates trouvés classent les eaux dans la catégorie ‘‘Problème croissant’’.

La classification de Richards et celle de Wilcox ont prouvé la dégradation de la qualité des eaux destinées à l’irrigation.

Comme suggestion, on peut proposer:

L’apport et l’ajout de l’argile et le contrôle de l’utilisation de l’irrigation (doses, durés...) et peut être installation des réseaux de drainage pour évacuer l’eau saline en dehors de la parcelle cultivée.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

Achour, S. 1990. La qualité des eaux du Sahara Septentrional en Algérie. Etude de l'excès en fluor. Tribune de l'eau, Cebedeau, 42 (542), 53-57.

Achour. S., Youcef. L. 2001. Excès des fluorures dans les eaux du Sahara septentrional oriental et possibilité de traitement. E.I.N. International, N°6, pp 47-54.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). 1993. Etude hydrogéologique de la région d'El-Oued: contribution au problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique. RepTech. ANRH, Ouargla, 47 pp.

ANRH .1999. Inventaire de forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya d'El Oued. Agence nationale des ressources hydrauliques, Direction régionale Sud-est, Ouargla.

Boubir, H. M. N. et Abdallah, F. 2009. Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au bas Sahara algérien. Environnement Urbain/Urban Environment, vol. 3, p. c-1-c-18.

Bouselsal, B. et 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 (Sud-Est Algérie). Afrique Science, Vol.10, N°3, 1 septembre 2014.

Couture I. 2006. (b)

Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation ; *Colloque sur l'irrigation l'eau, source de qualité et de rendement 10 février 2006, Hôtel Mortagne, Boucherville ;*

Debieche, Taha-Hocine. 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien. Thèse doctorat. Univ Franche-Comté (France). 235p.

Derradji, F., Kherici, N., Romeo, M. et Caruba, R. 2004. Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). Sécheresse 2004 ; 15 (4) : 353-60.

ELGABALYM M., 1970. Problèmes d'échantillonnage, d'analyse et de cartographie des sols salins. La salinité, Sém. Baghdad(1970), Bull. Irrig. Drain. FAO, Rome. P34-44.

Références bibliographiques

FAO 1975. Food Alimentation Organisation Les besoins en eau des cultures. *Bull.FAO n° 24. Rome.*

Gouaidia, Layachi. 2008. Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico–chimiques des eaux d’une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana (NE Algérie). Thèse doctorat. Univ Annaba. 199p.

HALITIM A., 1988- Les sols des régions arides d’Algérie. Ed. O. P. U, Alger. 384 p.

Kherici, N., Zouini, D. et Kherici, H. 1996. Origine de la remontée des eaux de la nappe superficielle de Souf (Nord-Est du Sahara Septentrional Algérien). Association Espanola de Hidrologia Subterranea. *Hidrogeologia* 12:49–59.

LOUCIF SEIAD N., 2003. Les ressources en eau et leurs utilisation dans le secteur agricole en Algérie, H.T.E, n° 125, 94-100pp.

MANICHON H., 1982. Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d’une méthode de daignostic basée sur l’observation morphologique –théseDoct. Ing. Sc. Agronomique INA-PG, 214 pp. + Ann.

NANCY M., 1997. La qualité de l’eau d’irrigation: un facteur à ne pas négliger, 33-34p.

B. REMINI, B. 2006. La disparition des ghouts dans la région D’EL OUED (Algerie). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.49-62.

Richard L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural handbook 60.* Washington, DC: USDA, 160p.

ZINE, Brahim. 2009. La remontée des eaux souterraines en surface: mécanisme et l’impact sur l’environnement (Cas de Oued Souf). Mémoire magistère en hydraulique. Univ Batna. 145p.