



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT**
Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique & de génie civil

MEMOIRE

*Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master en
Hydraulique Option : Ouvrages hydrauliques*

THEME:

Contribution à la recherche des sites envisageables pour la
recharge artificielle de la nappe libre de Oued Souf approche
quantitative et qualitative

Dirigé par:

□ KHECHANA SALIM.

Présenté Par:

□ BEN MOUSSA MAHMOUD
□ MESSAOUDI BACHIR
□ SOLTANI MOSTAFA

Dr. MEGA Nabil

Dr.khachana salim

Dr. MILOUDI Abdelmonem

Maitre de conférences

Maitre de conférences

Maitre de conférence

A

A

A

Président

encadrer

Examineur

Promotions : 2022



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant avant tout de nous avoir donné le courage et la force de développer cette entreprise.

Avec une grande gratitude, nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur, le [Dr Khichana Salim](#), pour avoir suggéré ce sujet et pour avoir suivi et dirigé ce travail. Nous le remercions vivement pour son aide, ses conseils et ses orientations, ainsi que pour les commentaires et critiques qui nous ont été d'une précieuse contribution. Nous remercions également les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous nos professeurs de l'Université d'El Oued qui ont contribué à notre formation au cours de notre parcours universitaire.

Enfin à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'études sans oublier

D. NABIL MEGA

Encore une fois merci à tous.

الملخص:

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو إثبات فعالية التغذية الاصطناعية للطبقة المائية الجوفية الحرة باعتماد أحواض الرشح التوغل باستعمال المياه المستعملة المصفاة.

بعد معرفة الخصائص الفيزيوكيميائية والبيولوجية للمياه المستعملة المصفاة ومطابقتها للمعايير الجزائرية للمياه المستعملة في الوسط الطبيعي، يمكن استعمال هذه المياه في تغذية الطبقة المائية الجوفية الحرة في منطقته دراستنا.

المياه المستعملة المصفاة يمكن ضخها من محطتي التصفية المزعم انجازها في كل من بلديتي اميه ونسة وكذا بلديه العقلة على مسافة 064 و 054 على التوالي و وضعها في أحواض الترشيح والتوغل بموقعي البلديتين المذكورتين.

هناك حاجة كبيرة في تخزين المياه داخل الطبقة المائية الجوفية الحرة لمنطقه الدراسة بالنظر للنفاذية الجيدة للتربة داخل الأحواض المذكورة.

نظرا لقدرة التربة للتقية يمكن القول أن المياه المخزنة داخل الطبقة المائية المعنية ذات نوعيه جيده ويمكن استعمالها في المحيطات الزراعية بالمنطقة دون أخطار بيئية تذكر.

من خلال الدراسة الاقتصادية لمشروع التغذية الاصطناعية للطبقة المائية الجوفية في منطقته دراستنا، تبين أن انجاز هذا الأخير ممكن وبمردودية جيدة.

الكلمات المفتاحية : حوض الترشيح. المياه المستعملة المصفاة. الطبقة المائية الجوفية الحرة. مياه التغذية. رمل الكتبان.

RESUME:

L'objectif principal de cette étude est d'approuver l'efficacité de la recharge artificielle de la nappe phréatique par dispositif des bassins d'infiltration. En utilisant les eaux usées épurées.

Après avoir connaître les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux épurées et sa conformité aux normes algériennes des eaux usées rejetées dans les milieux naturels, on constate que l'utilisation de ces eaux est acceptable à la recharge artificielle de la nappe phréatique de notre zone d'étude. Les eaux usées épurées doivent être rejetées aux bassins d'infiltrations des sites de recharge dans la commune de Mih Ouensa et d'El Oglia issues des STEP des dites commune, à des distances de 460 et 540 m.l consécutifs.

Une très grande efficacité remarquée pour le stockage de l'eau dans l'aquifère de notre zone d'étude grâce à la bonne perméabilité du sol. Ainsi que, vu le pouvoir épurateur du sol, on peut conclure que la qualité des eaux stockées est de bonne qualité. Elles sont exploitables pour l'irrigation des périmètres cultivés dans la zone sans risque environnementale.

L'étude économique du projet de recharge artificielle de la nappe phréatique de dite zone, montre que sa réalisation est très faisable, ainsi qu'il est rentable.

Mot clés : bassin d'infiltration, eaux épurées, nappe phréatique, eaux de recharge, perméabilité, sable de dunes.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----|
| Remerciements | |
| Résumé | |
| Table des matières | i |
| Liste des tableaux | iv |
| Liste des figures | v |
| Liste des abréviations | vii |
| Introduction générale | 01 |
| CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE | |
| Introduction | 04 |
| I.1 Situation géographique | 04 |
| I.2 Evolution de la population | 06 |
| I.3 Activité économique d'El-Oued | 07 |
| I.4 Ressources hydriques | 09 |
| I.5 Situation climatologique | 09 |
| I.5.1 La température | 09 |
| I.5.2 La précipitation | 10 |
| I.5.3 Détermination des périodes sèches et de l'étage bioclimatique de la région d'El-Oued | 11 |
| I.5.4 L'évaporation | 14 |
| I.5.5 L'humidité | 15 |
| I.5.6 La durée d'insolation | 16 |
| I.5.7 Le vent | 17 |
| Conclusion | 18 |
| CHAPITRE II : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE | |
| Introduction | 20 |
| II.1 Stratigraphie régionale | 20 |
| II.1.1 Formation de la Secondaire | 20 |
| II.1.1.1 Le Barrémien | 20 |
| II.1.1.2 L'Aptien | 21 |

| | |
|--|----|
| II.1.1.3 L'Albien | 21 |
| II.1.1.4 Le Vraconien | 21 |
| II.1.1.5 Le Cénomaniens | 21 |
| II.1.1.6 Le Turonien | 21 |
| II.1.1.7 Sénonien | 22 |
| II.1.1.7.1 Sénonien lagunaire | 22 |
| II.1.1.7.2 Sénonien carbonaté | 22 |
| II.1.2 Formation de la Tertiaire | 22 |
| II.1.2.1 L'Eocène | 22 |
| II.1.2.2 Le Mio-pliocène | 22 |
| II.1.3 Formations du Quaternaire | 23 |
| II.1.4 Interprétation des coupes géologiques | 25 |
| II.1.4.1 Coupe N°01..... | 25 |
| II.1.4.2 Coupe N°02..... | 26 |
| II.1.4.3 Coupe N°03..... | 27 |
| II.1.5 Tectonique | 28 |
| II.1.6 Relief | 28 |
| II.2 Cadre hydrogéologique | 29 |
| II.2.1 La nappe d'eau de surface (nappe libre) | 30 |
| II.2.2 La nappe de complexe terminale | 30 |
| II.2.2.1 Nappe de sable | 30 |
| II.2.2.2 Nappe calcaire | 31 |
| II.2.2.3 Nappe continentale intercalaire | 32 |
| Conclusion | 32 |

**CHAPITRE III :
NOTION DE LA RECHARGE DE LA NAPPE**

| | |
|---|----|
| I. INTRODUYION | 27 |
| II. Aquifère:..... | 27 |
| II.1. Définition:..... | 27 |
| II.2. Différents type d'aquifères : | 27 |
| II.2.1. Aquifère à nappe libre | 27 |
| II.2.2. Aquifère à nappe semi captive : | 28 |

| | |
|---|----|
| II.2.3. Aquifère à nappe captive : | 28 |
| II.3. RECHARGE ARTIFICIELLE : | 24 |
| Définition : | 29 |
| II.4. Objectif de la recharge artificielle : | 29 |
| II.5. principales technique de recharge artificielle : | 30 |
| II.5.1. Méthode d'injection directe : | 30 |
| II.5.2. Recharge artificielle indirecte (Réalisation artificielle induite) :..... | 31 |
| II.5.3. Recharge artificielle passive : | 31 |
| II.5.4. Les bassins d'infiltration : | 32 |
| II.6. les différentes propriétés du bassin d'infiltration: | 33 |
| II.6.1. Les propriétés physiques intrinsèques du bassin: | 33 |
| II.6.2. les propriétés physiques chimiques et micro-biologiques de l'eau d'infiltration:... | 34 |
| II.7. Avantages et inconvénients de la technique du bassin d'infiltration :..... | 35 |
| II.8. Contraintes hydrogéologiques et règlementaires à la recharge artificielle : | 35 |
| III. Conclusion: | 39 |

CHAPITRE III : RECHARGE ARTIFICIELLE

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCTION | 40 |
| II. TOPOGRAPHIE DE LA ZONE: | 40 |
| III. NAPPE PHREATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE: | 41 |
| III.1. Substratum de la nappe : | 41 |
| III.2. Epaisseur de la nappe :..... | 43 |
| III.3. Niveaux piézométriques de la nappe phréatique: | 43 |
| IV. Etat previosionelle: | 48 |
| IV.1. Paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique de la zone d'étude :... .. | 50 |
| IV.2. Amélioration du niveau de traitement de l'eau pourvoir épurateur du sol : | 50 |
| V. ESTIMATION DE LA QUANTITE D'EAU DEPLOYEE AU SYSTEME DE RECHARGE ARTIFICIELLE : | 50 |
| V.1. Evaluation du débit moyen journalier des eaux usées : | 50 |
| V.1.1 .Evaluation de la population 2019 – 2049:..... | 51 |
| V.1.2 Estimations les besoins en eau potable en différents horizons (2019 – 2049): | 51 |
| V.2. Estimation de la réserve : | 50 |

| | |
|---|----|
| V.3. Calcule d débit d'infiltration : | 62 |
| VI. Dimensionnement des bassin d'infiltration: | 63 |
| VII. Qualité des eaux utilisées à la recharge artificielle: | 65 |
| VII.1: Normes de rejet: | 65 |
| VII.2. Qualité des eaux épurées prévisionnelle : | 65 |
| VIII. Etude de vulnérabilité: | 68 |
| IX. IX.CONCLUSION | 70 |

CHAPITRE V : ETUDE ECONOMIQUE

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCTION..... | 72 |
| II. INVISTISSEMENT | 72 |
| III. CHARGE ANNUELLE D'EXPLOITATION: | 74 |
| IV. EFFET ECONOMIQUE:..... | 74 |
| IV.1. Efficience économique : | 74 |
| IV.1.1. Valeur de la production d'eau rechargée : | 75 |
| IV.1.2. Prix de revient des mètres cube d'eau produit : | 76 |
| IV.1. 3.Prix de vent d'un m ³ d'eau pour l'irrigation : | 76 |
| IV.2. Bénéfice : | 76 |
| IV.2.1. Coefficient d'efficience économique : | 76 |
| IV.2.2. Délai de recouvrement : | 76 |
| V. CONCLUSION : | 78 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIES..... | 82 |

LISTE DE TABLEAUX

| Titre | Page |
|--|----------|
| Tableau I.1 : Estimation de la population. | 6 |
| Tableau I.2 : Répartition mensuelle de la température(1996-2020). | 9 |
| Tableau I.3 : Précipitations mensuelles, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020). | 10 |
| Tableau I.4 : Evaporation moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020). | 13 |
| Tableau I.5 : Humidité relative moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020). | 14 |
| Tableau I.6 : Insolation moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020). | 15 |
| Tab IV.1 : Les profondeurs et les niveaux du substratum des points d'eau | 42/44 |
| Tab IV.2 : différents niveaux du puits a travers la zone d'étude | 46/47/48 |
| Tab.IV.3 : Récapitulation des paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique | 53 |
| Tab IV.4 : évaluations de la population 2019- 2049. | 54 |
| Tab IV.5 : les besoins en AEP en différents horizons (2019- 2049): | 55 |
| Tab IV.6 : Débits des eaux usées domestiques à différents horizons (2019- 2049): | 55/56 |
| Tab IV.7 : Débits de deux rejets différents horizons (2019- 2049): | 56 |
| Tab IV.8 : la perméabilité des différents types de sols : | 57 |
| • TabIV.9 . Volumes annuelles d'eau de recharge : | 57 |
| TabIV.10 : Dimensionnement des bassins d'infiltration : | 63 |
| Tableau IV.11 : les normes des rejets | 65 |

| | |
|---|----------|
| Tableau IV.12: Résultat des analyses des eaux épurées: | 66 |
| Tab.V.1. Dépenses pour investissement (devis estimatif) | 71/72/73 |
| Tab.V.2. Frais d'exploitation | 73/74 |
| Tab : V.3. Volume d'eau de recharge | 74 |
| Tab.V.4. Bénéfice | 75 |

LISTE DES FIGURES

| Titre | page |
|--|------|
| Figure I.1: Situation géographique de la wilaya d'El-oued | 4 |
| Figure I.2: Situation géographique de la zone d'étude | 5 |
| Figure I.3 Répartition Générale des Terres (Source :D.S.A /W.d'El-Oued). | 8 |
| Figure I.4: Température moyenne mensuelle à la station de Guemmar au cours la période 1996 - 2020 | 9 |
| Figure I.5: Précipitations moyenne mensuelles enregistrées à la station de Guemmar au cours la période 1996 – 2020 | 10 |
| Figure I.6: Diagramme ombrothermique de « GAUSSEN» pour la région d'El oued. | 11 |
| Figure I.7: Diagramme d'Emberger de la station d'El-Oued (1996-2020) | 12 |
| Figure I.8: Evaporation moyenne mensuelle pour la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020) | 14 |
| Figure I.9: L'humidité relative moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020) | 15 |
| Figure I.10: Durée d'insolation moyenne, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020) | 16 |
| Figure II.1 : Plan Géologique de Grand Erg Oriental, (Khechana, S. 2014). | 23 |
| Figure II.2: Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional (G. Busson 1970) (Khechana, S. 2014). | 23 |
| Figure II.3: Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages | 24 |
| Figure II.4: Coupe géologique N° 2, Extraite à partir des logs lithologiques des forages (A.N.R.H, 1989) | 25 |
| Figure II.5: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages | 26 |

| | |
|--|----|
| Figure II.6 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972) | 28 |
| Figure II.7: Coupe hydrogéologique de la région d'El-Oued | 30 |
| Figure III.1 : Aquifère à nappe libre | 33 |
| Figure III.2 : Aquifère et puits | 34 |
| Figure III.3 : Aquifère à nappe captive | 34 |
| Figure III.4 : Schéma présentant une partie des différents types de recharges artificielle dans différents environnements hydrogéologiques (d'après Gale et al., 2002, Pettenati, 2007). | 37 |
| Figure III.5 : Schéma simplifié de la technique de recharge par bassin d'infiltration (d'après Pettenati,2007, Eusseuff et Lansey, 2004). | 38 |
| Fig IV.1. Carte topographique de la zone d'étude. | 41 |
| Fig IV.2. Carte de niveau du substratum de la zone d'étude. | 45 |
| Fig IV.3. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2008). | 49 |
| Fig IV.4. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2010). | 50 |
| Fig IV.5. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2014). | 50 |
| Fig IV.6. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2019). | 51 |
| Fig.IV. 7. Carte situation des sites de deux STEP. | 52 |
| Fig.IV. 8. Carte situation des sites de recharge artificielle | 62 |
| Fig IV.9. Disposition 3D du bassin d'infiltration | 63 |
| Fig IV.10: coupe transversale du bassin d'infiltration | 64 |
| Fig IV.11 : Coupe longitudinale du bassin d'infiltration | 64 |
| Fig. 12 : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe phréatique de Oued Souf. | 68 |

LISTE DES ABREVIATIONS

- FAO : Food and Agriculture Organization.
- ONM : Office National Météorologique.
- ABHS: Agence de Bassin Hydrographique Sahara
- ADE: Algérienne Des Eaux
- AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.
- AEI : Alimentation en Eau d'Industrie.
- AEP : Alimentation en Eau Potable.
- ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques
- CI: Continental Intercalaire
- CT: Complexe Terminal
- DSA : Direction des Services Agricoles.
- DRH : Direction des Ressources Hydriques.
- GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
- ONA : Office nationale de
l'assainissement.

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie est actuellement à la conforation avec un problème de pénurie de l'eau qui s'amplifie depuis des années, les précipitations sont insuffisantes et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Le climat chaud et sec qui sévit sur une bonne partie du territoire, réduit également les disponibilités en eau.

La pénurie de l'eau est aggravée par l'augmentation régulière des besoins en eau due à l'amélioration du niveau de vie des citoyens, l'accroissement de la population, l'industrialisation et l'essor de l'agriculture irriguée notamment aux régions sud.

Ces facteurs ont conduit à la mise en œuvre des programmes de réalisation d'ouvrages destinés à la réutilisation des eaux usées épurées produites à l'aval des stations d'épuration. Selon l'origine et la composition de cette eau, sa réalisation à la recharge devrait être gérée d'une manière rationnelle et judicieuse, surveillée et contrôlée par des spécialistes dans l'objectif de maîtriser et minimiser les risques de pollution liés à cette pratique.

La recharge artificielle d'aquifère avec des eaux usées épurées et déjà développée depuis une vingtaine d'années sur le pourtour méditerranéen et en Australie, dans des secteurs soumis à un stress hydrique important.

L'objet de notre contribution est de faire procéder à la recharge de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Souf, aux zones sud de la vallée à partir des eaux usées épurées issues de la station d'épuration qui sera réalisée dans la commune d'El-Ogla et la commune de Mih-Ounssa.

D'avantage la réutilisation de ces eaux à la recharge de la nappe phréatique nécessite un dispositif de transport et de distribution de l'eau usée épurée, du site de la STEP vers le site de la recharge.

Une bonne caractérisation des pollutions résiduelles de l'eau usée à réutiliser à la recharge est alors indispensable pour concevoir un complément de traitement fiable et performant.

CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE

Introduction

Dans ce chapitre, nous traiterons des généralités sur la zone d'étude, les caractéristiques les plus importantes de cette région, en termes de géographie, démographie, climat, activité économique et agricole.

Présentation de La zone d'étude

1.1 Situation Géographique

La wilaya d'Oued Souf est située dans le Sahara est d'Algérie, wilaya depuis 1984, couvert une superficie totale de 37652 Km², et une population de 700905 habitants, se trouver à environ 700Km ou Sud -Est d'Alger (figure I.1), et 350 Km à l'Oust de Gabes (Tunisie). Après le nouveau découpage administratif publié dans le dernier numéro du Journal Officiel du 18 décembre 2019, n°78, l'arrêté présidentiel précisant les noms, le siège et la numérotation des Etats nouvellement créés, et ce après avoir été signé par le Président de la République, Monsieur Abdelmadjid Tebboune, Elle est limitée par :

- Les Wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa au nord,
- La Tunisie à l'est,
- Les Wilayas d' El Meghair et Touggourt à l'ouest, □ La Wilaya d' Ouargla au Sud.

Notre zone d'étude présente la vallée d'Oued Souf, à 7° E et 33.5° N. Cette dernière se n'est pas un bassin versant mais une unité de ressources en eau qui est délimité par :

- Le grand arg orientale au sud,
- Une série de chotts au nord et à l'est,
- Oued Righ et ligne de palmeraie de Biskra à Touggourt à l'ouest.



Figure I.1: Situation géographique de la wilaya d'El-oued

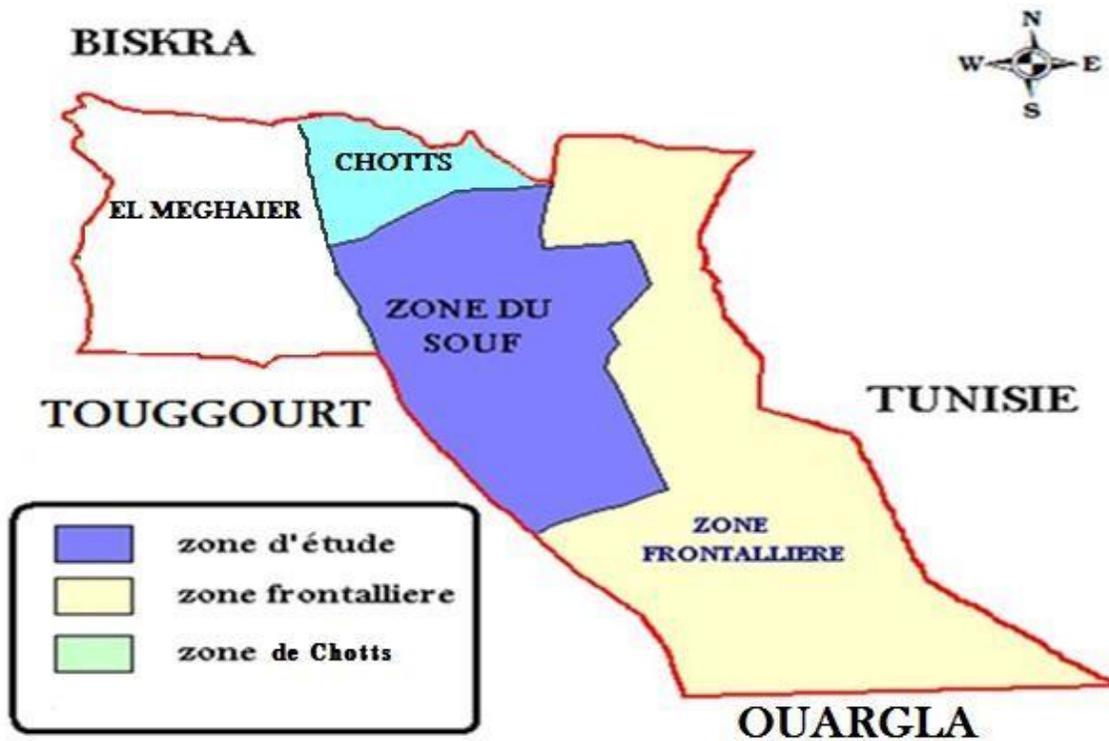


Figure I.2: Situation géographique de la zone d'étude

F

1.2 Evolution De La Population

La zone d'étude comprend 18 communes qui représentent une population totale de 661470 habitants, dont la superficie occupée est de 11738 Km².

Selon le tableau 1, nous remarquons que la commune la plus peuplée est celle d'El-Oued (2 478,51 hab/km²), suivie par la commune de Hassani Abdelkerim (566,21 hab/km²), par contre la commune d'El-Ogla à la plus faible densité de population (6,53 hab/km²).

Tableau I-1 Estimation de la population

| N° | Commune | Population(hab) | Superficies(km ²) | Densité de la population (hab/km ²) |
|--------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|---|
| 01 | El-Oued | 190 845 | 77 | 2 478,51 |
| 02 | Kouinine | 14 825 | 116 | 127,80 |
| 03 | Reguiba | 60 935 | 1966 | 30,99 |
| 04 | Guemar | 59 430 | 1264 | 47,02 |
| 05 | Taghzout | 19 000 | 539 | 35,25 |
| 06 | Ourmes | 7 755 | 443 | 17,50 |
| 07 | Debila | 34 920 | 78 | 447,69 |
| 08 | HassaniAbdelkerim | 32 840 | 58 | 566,21 |
| 09 | HassiKhalifa | 44 410 | 1112 | 39,94 |
| 10 | Trifaoui | 11 645 | 474 | 24,57 |
| 11 | Magrane | 32 885 | 618 | 53,21 |
| 12 | SidiAoun | 16 315 | 480 | 33,99 |
| 13 | Robbah | 30 385 | 499 | 60,89 |
| 14 | Nakhla | 18 475 | 700 | 26,39 |
| 15 | El-Ogla | 8 835 | 1352 | 6,53 |
| 16 | Bayadha | 44 730 | 139 | 321,80 |
| 16 | MihOuansa | 24 500 | 1111 | 22,05 |
| 18 | OuedAllenda | 8 740 | 712 | 12,27 |
| Total | | 661470 | 11738 | 56.35 |

Situation Au 31/12/2020 Source :D.P.S.B /W.d'El-Oued.

1.3 Activité économique d'El-Oued

Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale. Les principales activités, exercés dans la région d'El-Oued sont :

1. La commerce

Grâce à la position géographique entre trois Etats (Algérie, Tunisie, Libye), ElOued a acquis une position stratégique exceptionnelle, La ville d'El-Oued seule compte 13409 commerçants.

On peut dire que la ville d'El Oued est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région d'El-Oued, d' où l'importance de son marché.

2. L'artisanat

El Oued à toujours était un centre artisanal, notamment pour les objets liés à Artisanats de production de biens et l'Artisanats d'art. Il s'agit des tailleurs, des tapissiers, des maçons, des cordonniers, des menuisiers, des bijoutiers et des forgerons.

3. L'industrie

L'industrie a connu un développement remarquable ces derniers temps, le nombre de travailleurs ayant atteint 12133 travailleurs. Par 7% de l'effectif total, cela se traduit par l'émergence de plusieurs pôles multi-activités dans ce domaine de nombreuses industries ainsi que l'augmentation du nombre de PME productrices. Les communes de (Kouinine, Taghzout) sont à l'avant-garde en termes de pourcentage élevé de travailleurs employés Secteur industriel. Où la municipalité (Kouinine) arrive en tête du classement des travailleurs totaux, et cela est dû à la zone industrielle L'installation moderne sur le sol de la commune, dans laquelle plusieurs investissements ont été enregistrés, on retrouve alors la ville (Taghzout) en deuxième place sur le total des travailleurs, en raison de la propagation de petits ateliers, ainsi qu'à proximité de la région Zone Activité à (Quinin) de la commune de (Taghzout).

4. L'agriculture

L'état de la vallée étudiée se distingue par son caractère agricole, les terres exploitées représentant 40 % de la superficie totale (178 3472 km²) (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020) comme le montre le Figure I.3. Ces dernières décennies Souf a connue le développement

de cultures maraîchères de plein champ, essentiellement la pomme de terre. La wilaya d'El Oued est classée première zone productrice en pomme de terre au niveau national où elle alimente le marché national à environ 40%.

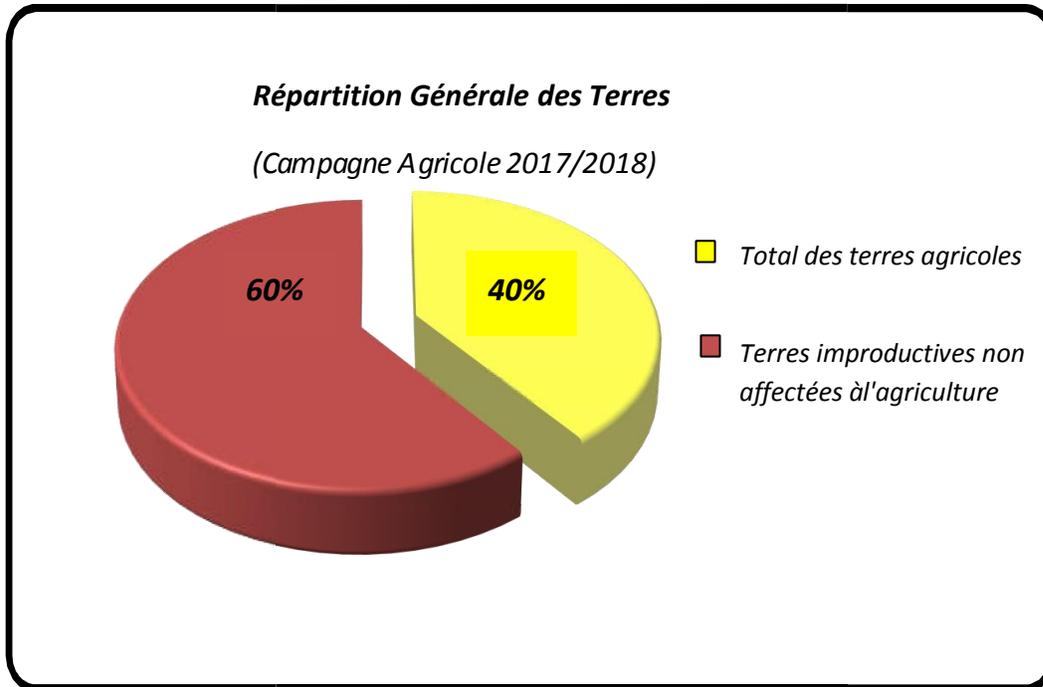


Figure I.3 Répartition Générale des Terres (Source :D.S.A /W.d'El-Oued).

1.4 Ressources Hydriques

Dans la région d'étude, la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau souterraines, les prélèvements des eaux de complexe terminal et de continentale intercalaire augmentent chaque année.

1.5 Situation Climatologique

Le climat de la région est considéré comme un climat désertique et se caractérise par un été chaud et sec. La température atteint parfois 54 ° C, et un hiver froid et sec où la température atteint un peu temps jusqu'à 3 ° C. Nous avons obtenus toutes les données liées au climat (pluie, température, humidité, etc.) de la station conditions météorologiques à l'aéroport de Guemmar pour la période allant de 1996 à 2020 Il se résume comme suit:

I.5.1 La Température

En raison de la nature de la région, la chaleur est très importante, car c'est l'un des facteurs les plus importants qui jouent un rôle précis l'activité agricole de la zone. D'après ce qui est montré dans le tableau I.2 représentatif des variations mensuelles de température et la figure I.4, on note que la valeur maximale a été enregistrée au mois d'août à 43,90 ° C et la valeur la plus basse a été enregistrée au mois de janvier à 5,6 ° C.

Autrement dit, une différence de température de plus de 35 ° C, ce qui est une grande différence qui a un effet direct sur les cultures.

La température annuelle moyenne pour la période (1996-2020) est estimée à 23,3 ° C.

Tableau I.2 Répartition mensuelle de la température (1996-2020).

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Max | 17,9 | 20,9 | 25,6 | 30,1 | 35,5 | 41,3 | 43,9 | 37,5 | 38,0 | 30,1 | 23,8 | 19,4 |
| Min | 5,6 | 6,7 | 10,9 | 14,9 | 19,5 | 24,3 | 27,5 | 27,3 | 23,3 | 17,6 | 10,9 | 6,5 |
| Moy | 11,8 | 13,8 | 18,3 | 22,5 | 27,5 | 32,8 | 35,7 | 32,4 | 30,7 | 23,8 | 17,4 | 13,0 |

Source:ONM2021

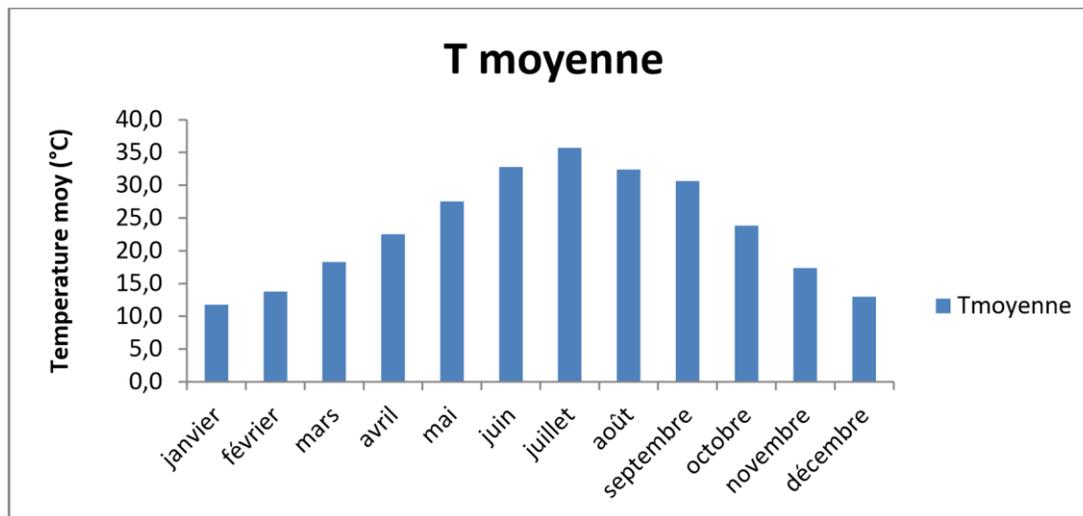


Figure I.4: Température moyenne mensuelle à la station de Guemmar au cours la période 1996 - 2020

I.5.2 La Précipitation

La région d'Oued Souf est caractérisée par des faibles précipitations en général, elle enregistre la plus grande valeur en hiver et la plus faible en été.

La précipitation annuelle moyenne est estimée (0.4 :16.4) mm, (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020) ce qui est une valeur faible dans une zone dans laquelle elle est située la valeur d'évaporation est très élevée car la valeur d'évaporation maximale a été enregistrée en juillet, en plus de la spécificité sols sableux à haute perméabilité.

La pluviométrie est définie comme une fluctuation observée d'année à autre et de mois à autre, avec des périodes exceptionnel là où la pluie tombe, provoquant la perte de grandes surfaces agricoles.

Tableau I.3 Précipitations mensuelles, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| p(mm) | 16,4 | 5,4 | 6,4 | 5,9 | 4,8 | 1,5 | 0,4 | 1,5 | 6,5 | 8,4 | 10,6 | 7,2 |

Source: ONM 2021

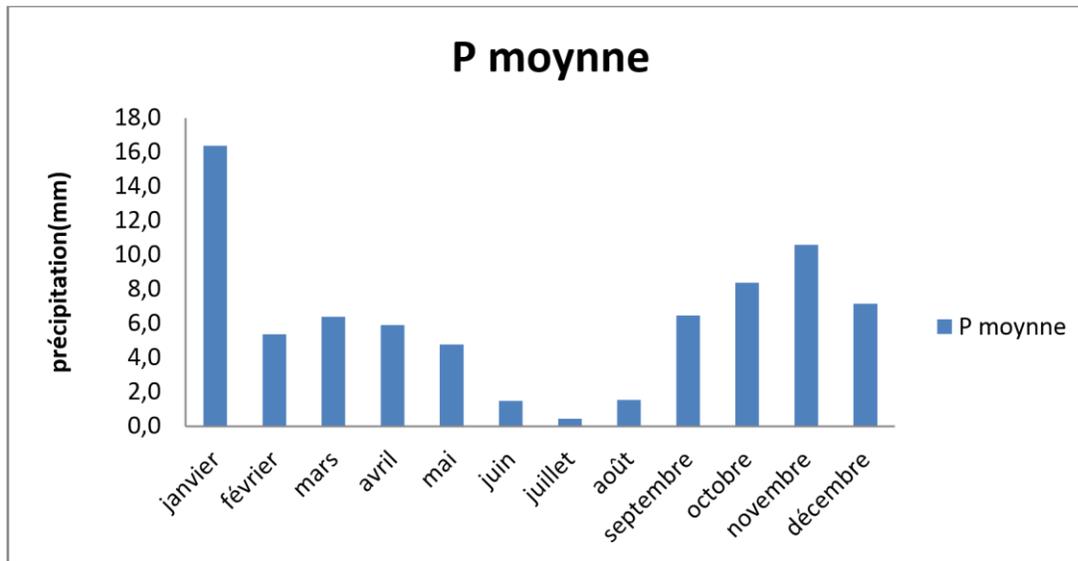


Figure I.5: Précipitations moyenne mensuelles enregistrées à la station de Guemmar au cours la période 1996 – 2020

(Ahmed Hannanou Soumaia Kir.2020)

I.5.3 Détermination des périodes sèches et de l'étage bioclimatique de la région d'El-Oued

Le diagramme d'ombrothermique de GAUSSEN permet déterminer les périodes sèches et humides d'une région quelconque à partir des séries de précipitation et de température

(paramètres en valeurs moyennes mensuelles). Le principe de calcul est selon l'équation suivante (Saad Allah, 2018) :

$$P = 2T$$

P: Précipitation moyenne mensuelle (mm)

T: température moyenne mensuelle (°C)

Si la courbe des précipitations est au-dessus de la courbe de la température la période est humide si non elle est sèche. On constate, d'après figure I.6 suivant, que la région d'El-Oeud est totalement sèche tout au long de l'année, aucune période humide n'était observée. Ceci confirme l'aspect saharien de la région.

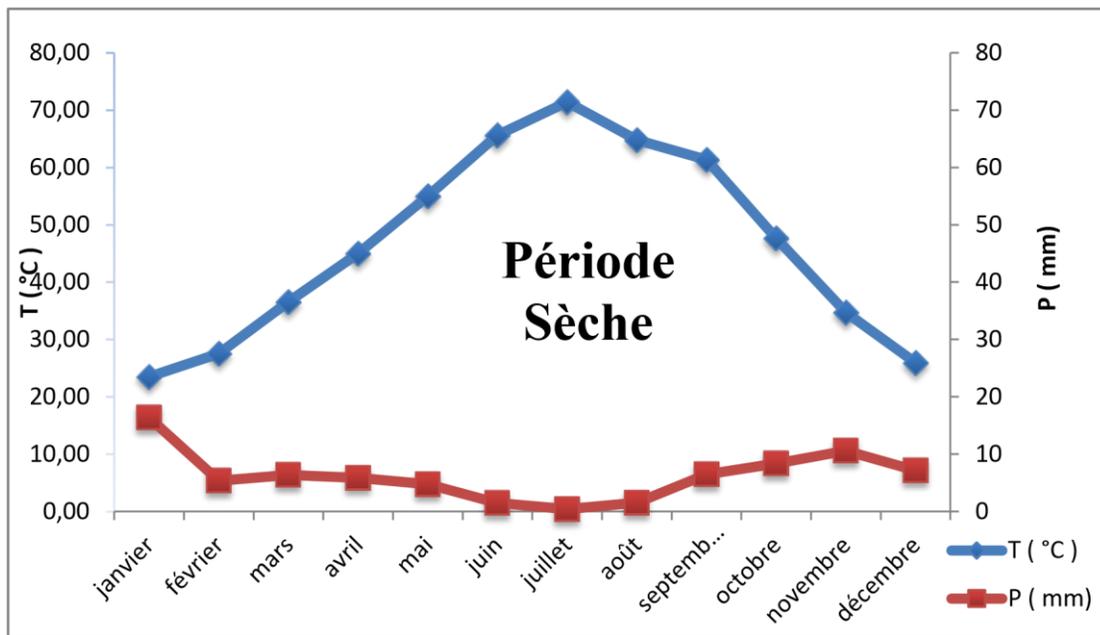


Figure I.6: Diagramme ombrothermique de « GAUSSEN » pour la région d'El oued.

Diagramme d'Emberger

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger (1955) a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q_2 (figure.I-5). Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures min et max, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds (Bouselsal, 2016).

$$Q_2 = 3.43 \cdot \frac{P}{M - m}$$

Q_2 : facteur des précipitations d'Emberger

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) M : moyenne des max du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{C}$). m : moyenne des min du mois le plus froid ($^{\circ}\text{C}$).

Pour le cas de la station de El-Oued au cours la période 1996 - 2020, on trouve

$$\text{pour } Q^2 = \frac{3.43 \times 75}{35.7 \times 11.8} = 10.76 \text{ mm} / ^{\circ}\text{C}$$

$t(m)=11.8^{\circ}\text{C}$ que la région se trouve dans l'étage bioclimatique « saharienne très chaud », voir figure I.7.

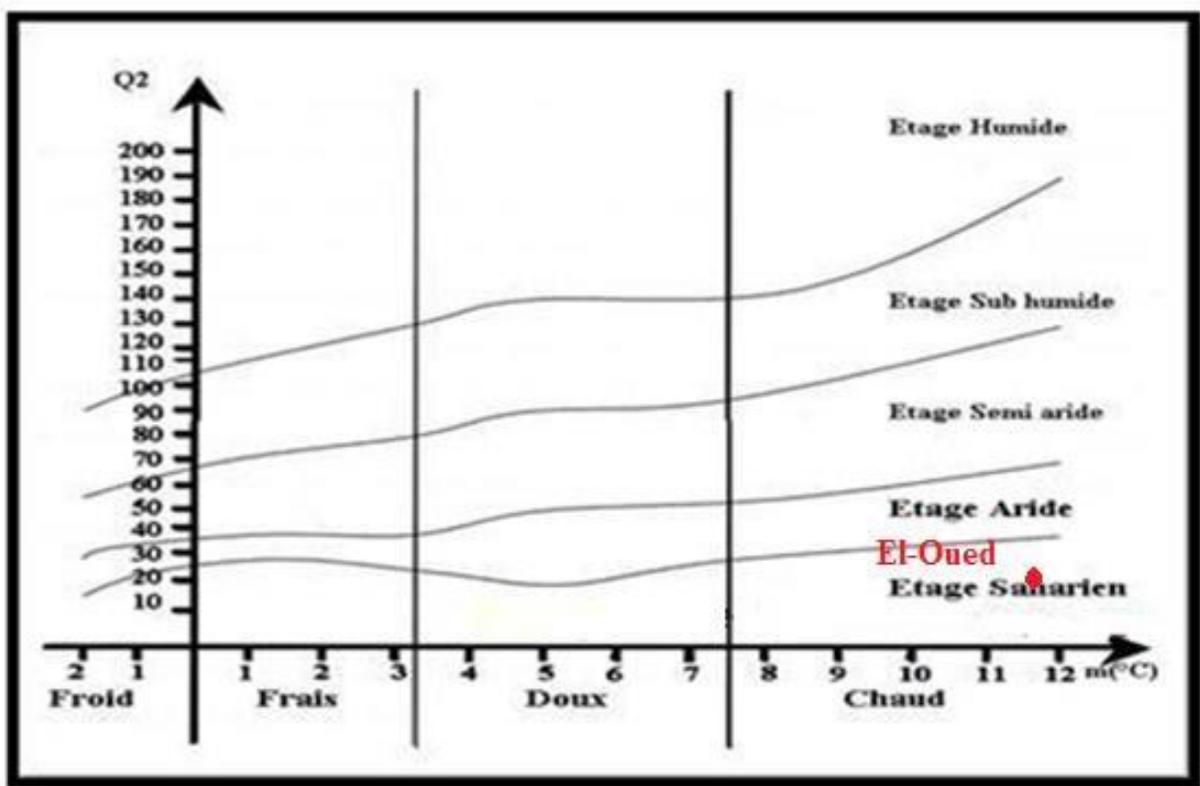


Figure I.7: Diagramme d'Emberger de la station d'El-Oued (1996-2020)

L'indice d'aridité de De Martonne (1926)

L'indice d'aridité de De Martonne ($\text{mm}/^{\circ}\text{C}$) est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité en exprimant le caractère restrictif pour certaines formations végétales (Koussa, 2017):

$$\text{IDM} = P/(T + 10), \text{ où}$$

P est la quantité annuelle de précipitations,

T est la température moyenne annuelle de l'air.

De Martonne a proposé six grands types de climats selon les valeurs de cet indice.

- $IDM < 5$ Aridité absolue désert sans culture,
- 5 à 10 désert (aride) désert et steppe ; aucune culture sans irrigation,
- 10 à 20 semi-aride formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité,
- 20 à 30 semi-humide prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire,
- 30 à 40 humide les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage, - $IDM > 40$ humide la forêt est partout la formation climatique. Les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages.

Cet indice ne doit être utilisé que pour un découpage en grandes zones climatiques. Pour notre cas nous avons calculé cet indice comme suit:

$$IDM = p / T + 10 = 75 / 23.30 + 10 = 2.25 > 5 \text{ (climat hyper aride).}$$

1.5.4 L'évaporation

Le facteur d'évaporation a enregistré des valeurs importantes ces dernières années entre (84,7–339,4) mm. (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020) Son interprétation est la suivante: l'intensité de la chaleur et des précipitations, car ces deux facteurs ont connu une augmentation significative sans oublier l'effet celle sur le couvert végétal représente les changements relatifs d'évaporation pour la période (1996-2020).

Tableau I.4 : Evaporation moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Evapor (mm) | 99,4 | 157,5 | 157,5 | 204,2 | 270,7 | 301,3 | 339,4 | 300,2 | 193,9 | 147,3 | 103,2 | 84,7 |

Source:ONM2021

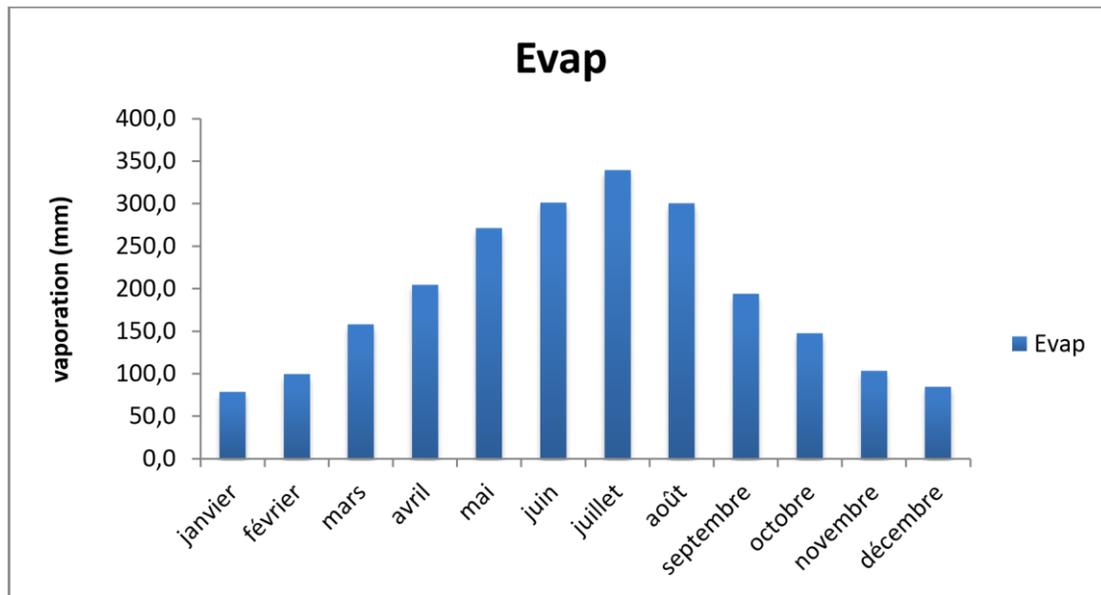


Figure I.8: Evaporation moyenne mensuelle pour la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

1.5.5 L'humidité

L'humidité est liée à la température et à la présence de plans d'eau, et elle varie selon les saisons. La zone où l'on peut dire que la wilaya d'El-Oued connaîtra Cinq mois humides d'octobre à le mois de février où le taux d'humidité dépasse 50%, le maximum du mois de décembre est de 63.5%.

Tableau I.5 : Humidité relative moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Humidité % | 61,8 | 52,8 | 49,1 | 44,2 | 37,7 | 33,2 | 29,8 | 34,6 | 46,0 | 50,8 | 58,9 | 63,5 |

Source:ONM2021

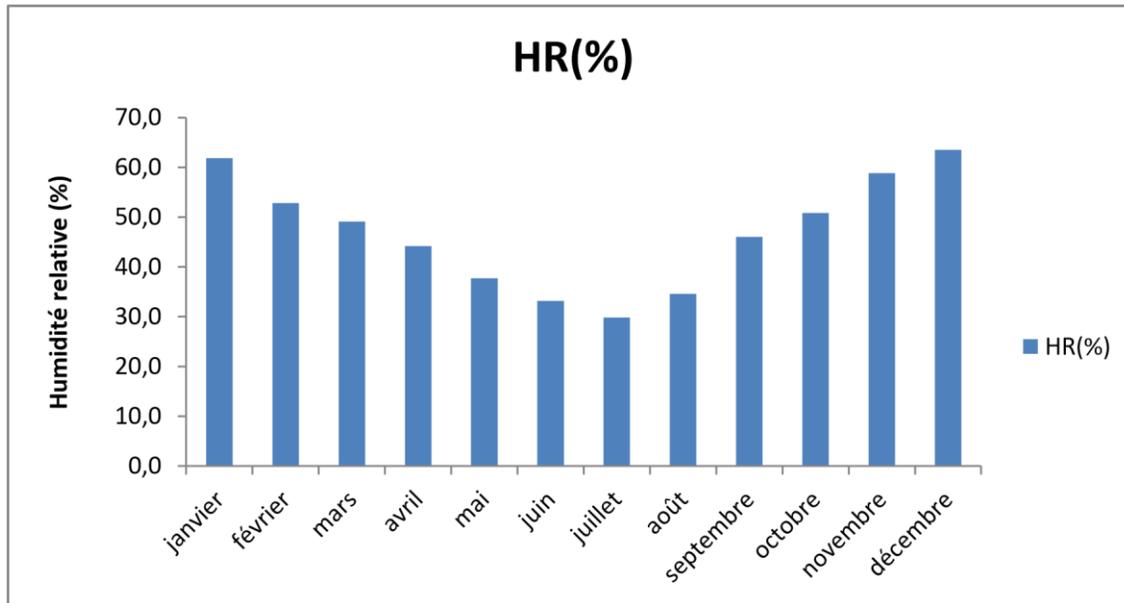


Figure I.9: L'humidité relative moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

1.5.6 La durée d'insolation

L'insolation est la durée d'apparition du Soleil, elle est exprimée en heures. Elle varie en fonction de latitude et le taux de couverture nuageux. La région d'El-Oued reçoit une quantité d'insolation relativement très forte. On note que le mois de juillet est le plus ensoleillé d'une durée mensuelle de 356,2 heures et que le mois de décembre est le mois le moins ensoleillé d'une durée de 232 heures. Voir Tableau I.6 et figure I.10.

Tableau I.6 : Insolation moyenne mensuelle, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| Ensol (Heur) | 252,4 | 251,6 | 280,8 | 293,1 | 316,1 | 349,8 | 356,2 | 335,45 | 278,1 | 264,3 | 236,2 | 232 |

Source:ONM2021

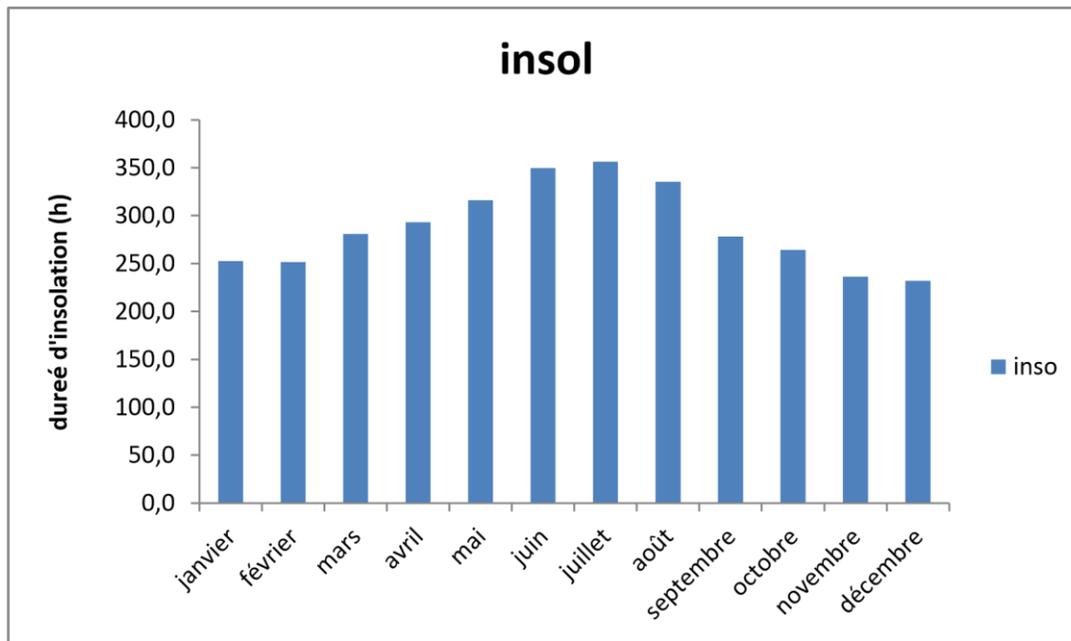


Figure I.10: Durée d'insolation moyenne, enregistrées à la station de Guemmar au cours de la période (1996-2020)

1.5.7 Le Vent

Selon la rose des vents, figure I.11 observée pour les vents dans une direction est-nord-est, Il est le dominant suivi des vents du sud-ouest et se caractérise par sa température élevée et est connu localement sous le nom de al-shehili.

Dans la zone d'étude, les vents jouent un rôle important en raison de leur surface lorsqu'ils travaillent pour former des dunes Sablonneux. Dans la région, on distingue trois types de vents:

a. Al-Shehili

Il souffle en été du côté sud, et il est chargé d'air chaud, donc il fonctionne pour se soulever de la température, qui affecte négativement les cultures car elle accélère les processus d'évaporation et de transpiration, et ses plages de vitesse entre 10-17 km / h.

b. Al Dhahrawi

Sa vitesse varie entre 13-16 km / h, car il a des vitesses élevées, qui souffle au printemps dans la direction du nord-ouest est qu'il paralyse la circulation et travaille à enterrer les Ghitans avec du sable.

c. El-bahri

Ce sont des vents qui soufflent à l'automne, qui sont chargés d'un degré d'humidité considérable, avec une direction Est - Ouest, la vitesse varie entre 10 et 11 km / h.

Conclusion

Compte tenu de l'immensité de la zone d'étude et de sa distinction avec son climat désertique chaud et sec en été et froid et peu de pluie en hiver et son couvert végétal représenté dans les palmiers et certaines cultures saisonnières comme la culture de pommes de terre et de melons, et avec la présence de certains vents dominants tels que le Sirocco (al-shehili) chaud, qui affecte l'augmentation du phénomène d'évaporation et l'évapotranspiration.

CHAPITRE II
GEOLOGIE ET
HYDROGEOLOGIE

Introduction

La connaissance des caractéristiques géologiques est une nécessité pour chaque étude. C'est un outil qui nous aide à étudier le bilan hydrique.

La région d'étude est exactement dans la partie Nord de la plateforme saharienne caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti dunes. Car le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du Continental Intercalaire, et des accumulations sableuses Fulvio-lacustres de tertiaire continental.

Sur l'ensemble de la région d'El-Oued, les formations Mio-pliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts Quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense Erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand Erg oriental.

II.1 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 une autre.

Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'ANRH (1993) sur la région d'Oued Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente.

II. 1.1 Formation de la Secondaire

II.1.1.1 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 (Sahraoui, 2016).

II.1.1.2 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 (Boulifa, 2012).

II.1.1.3 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 (Sahraoui, 2016).

II.1.1.4 Le Vraconien

C'est une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilocarbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo-dolomitiques. On rencontre aussi des sables avec passages des grès 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.1.1.5 Le Cénomaniens

Les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. La limite inférieure de cet étage est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui le distingue nettement, tandis que sa limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspond à la base du Turonien. L'épaisseur de cet étage dans toute la zone d'étude est environ 120 m (Bouselsal, 2016)

II.1.1.6 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 clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 m.

II.1.1.7 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.1.1.7.1 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.1.1.7.2 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.1.2 Formation de la Tertiaire

II.1.2.1 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.1.2.2 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 grés et de calcaires. Cet horizon est composé de quatre niveaux :

- Niveau Argileux:

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

- Niveau Gres-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).

- Niveau Argilo-Sableux

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

- 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.

II.1.3 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.

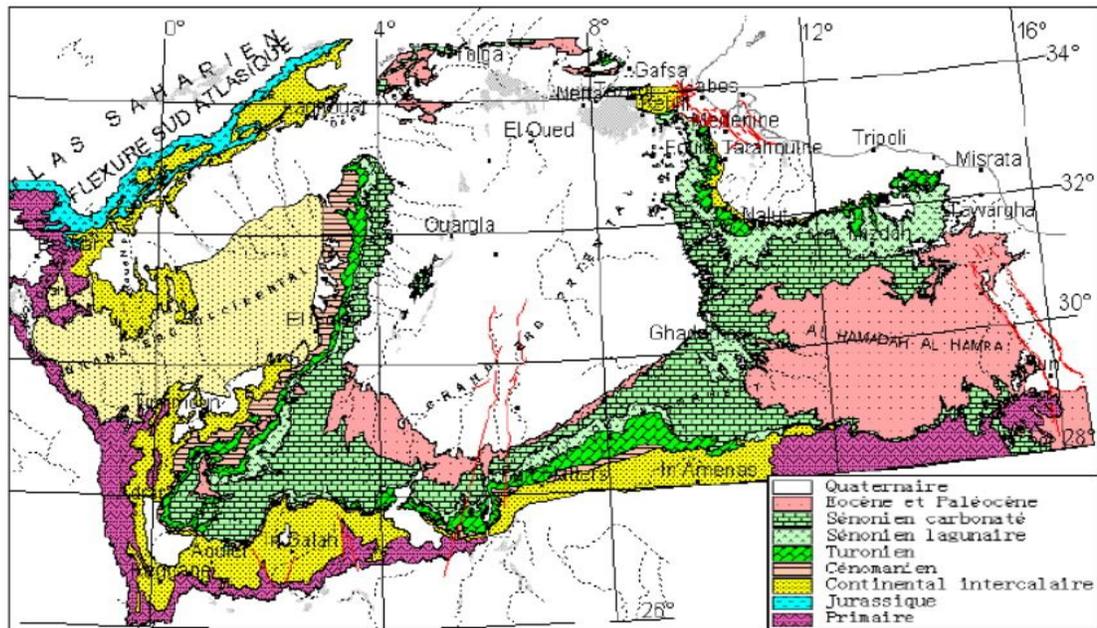


Figure II.1 : Plan Géologique de Grand Erg Oriental, (Khechana, S. 2014). (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

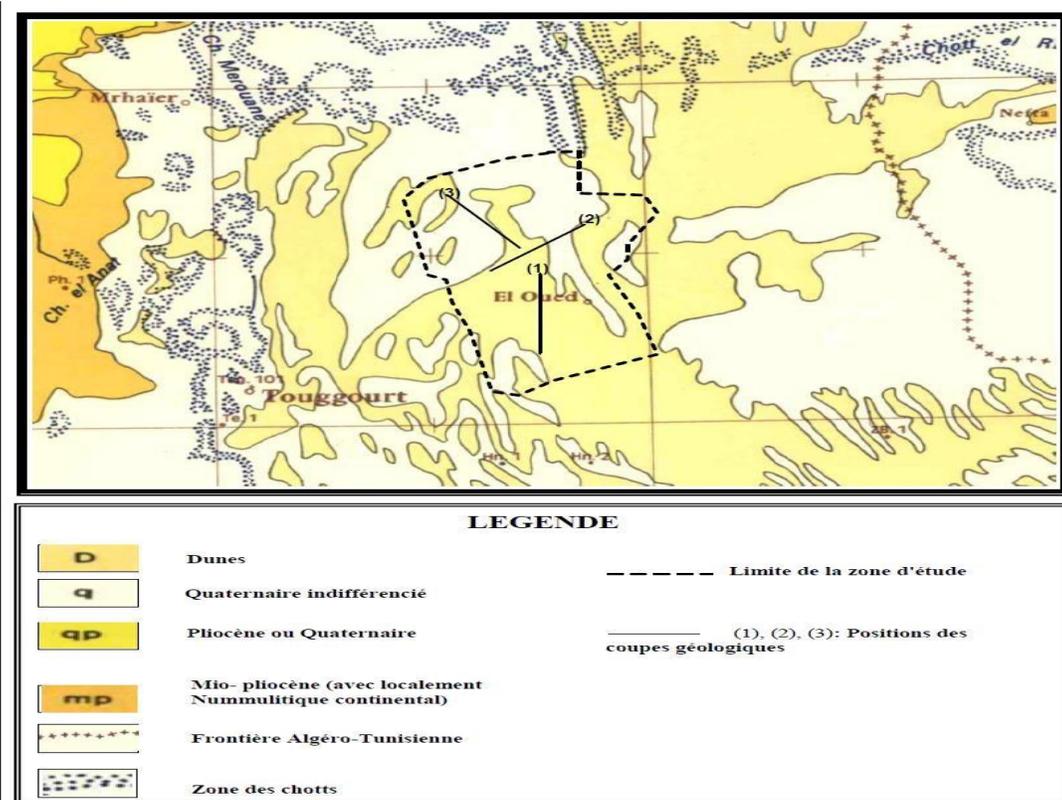


Figure II.2: Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional (G. Busson 1970) (Khechana, S. 2014).

II.1.4 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 , 2009).

II.1.4.1 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 (Figure II.3).

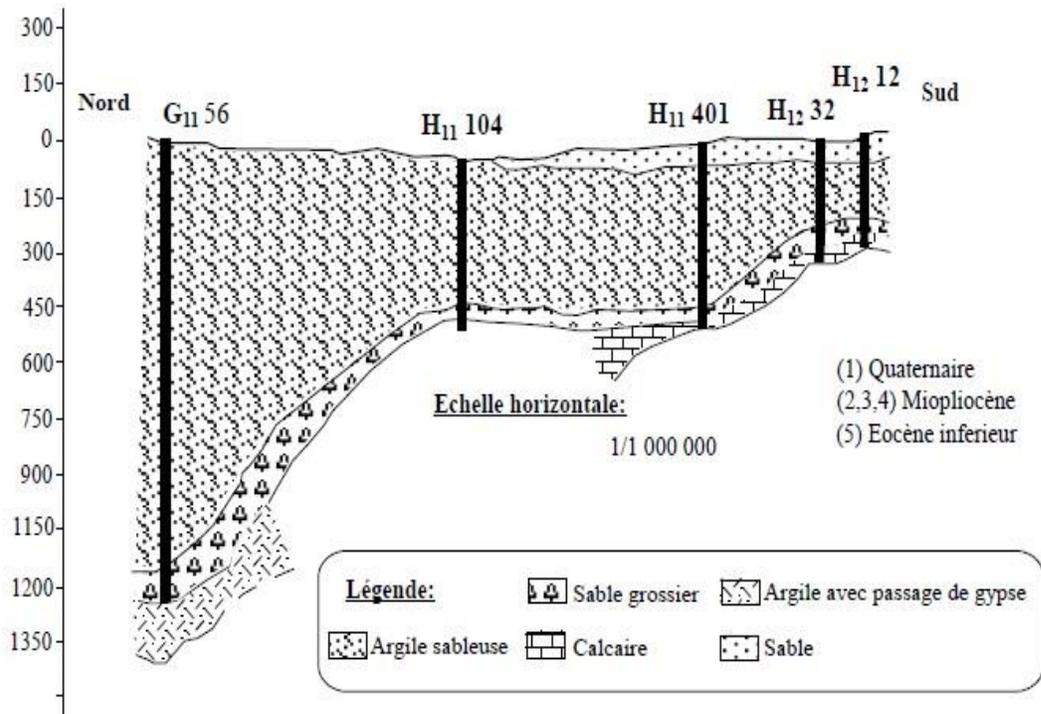


Figure II.3: Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages

II.1.4.2 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, ceci 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 une autre (par exemple, au niveau du forage H12-540 l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H12 -84) (Figure II.4).

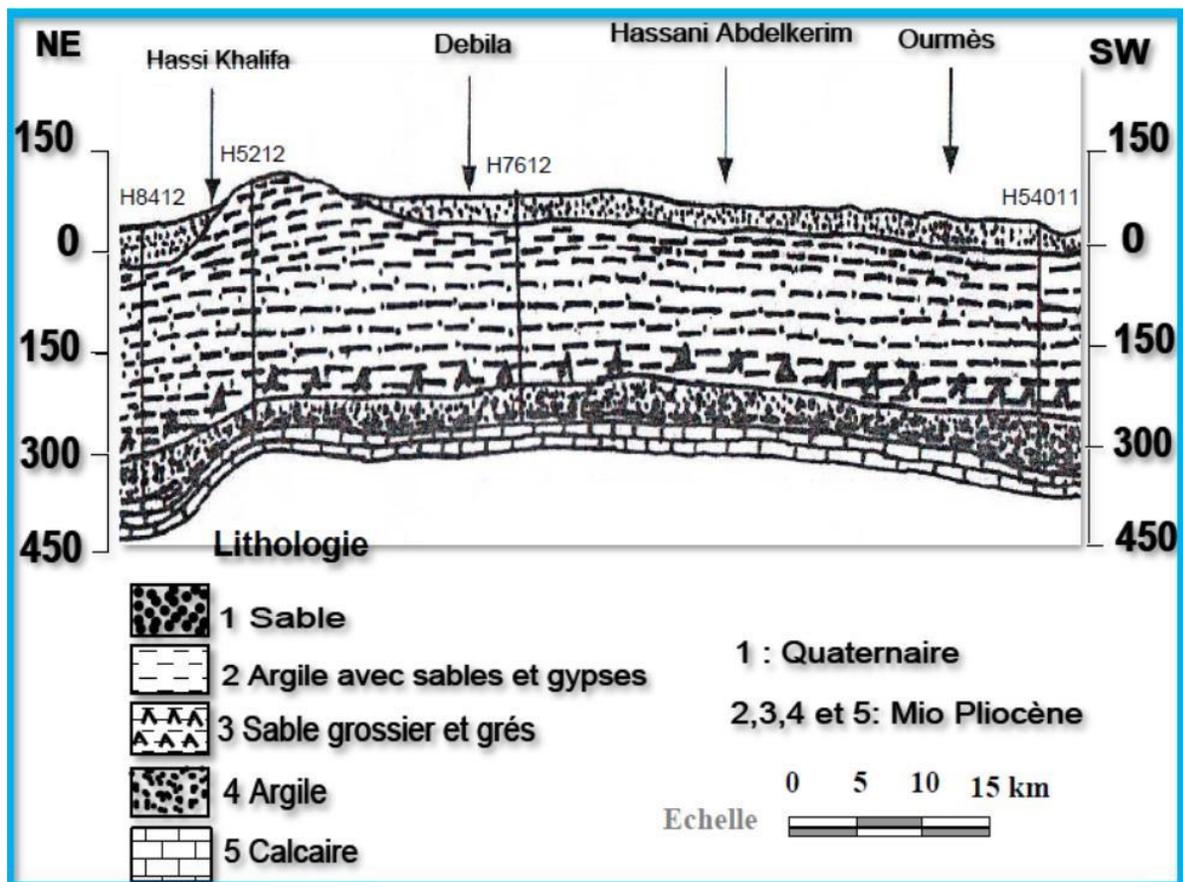


Figure II.4: Coupe géologique N° 2, Extraite à partir des logs lithologiques des forages (A.N.R.H, 1989)

II.1.4.3 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 est 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 II.5)

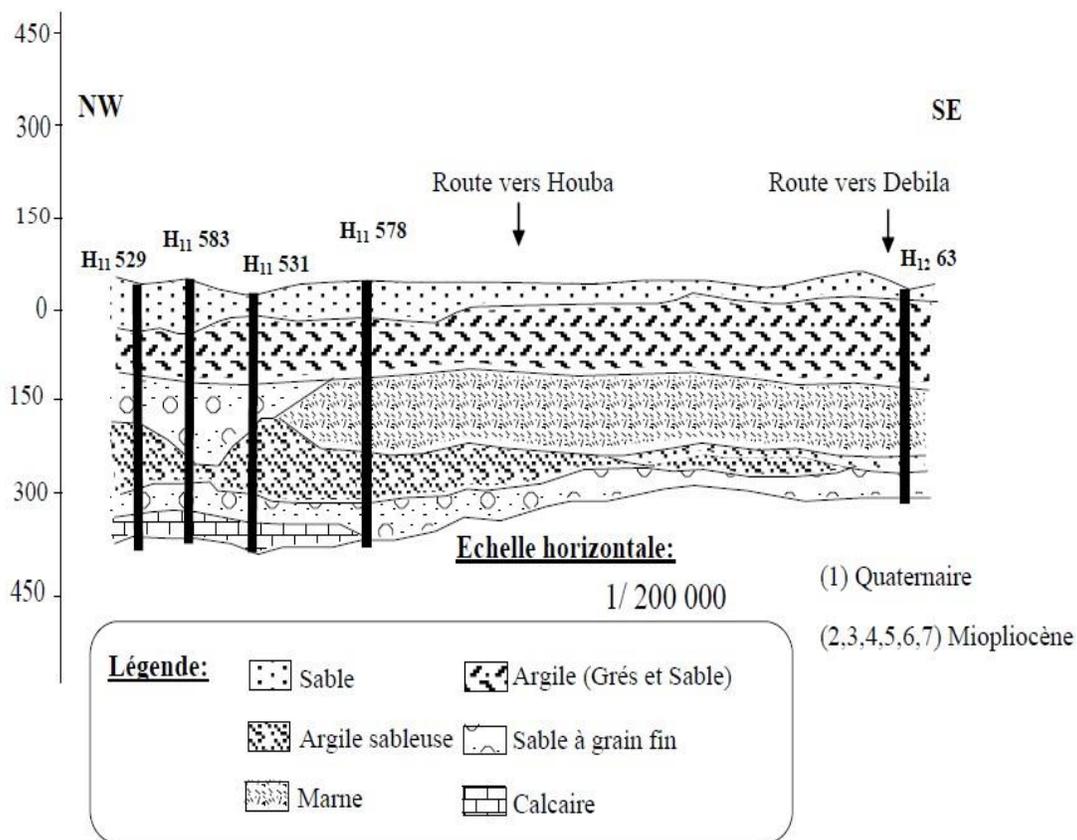


Figure II.5: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989) extrait à partir des logs lithologiques des forages

II.1.5 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 crétacée 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 oued Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

L'aquifère Quaternaire d'oued 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.

II.1.6 Relief

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.

II. 2 Cadre hydrogéologique

Afin d'obtenir des résultats précis dans le domaine du bilan hydrique de la région, nous avons dû à une étude hydrogéologique, à travers laquelle nous apprenons à connaître la source d'eau, Selon les études réalisées à Oued Souf ce qui prouve que les sources d'eau proviennent de la couche libre de surface et de l'aquifère du complexe terminal C.T Aussi albien et continental intercalaire C.I. Ces études ont montré que les couches de la région formée sont les suivantes, de haut en bas:

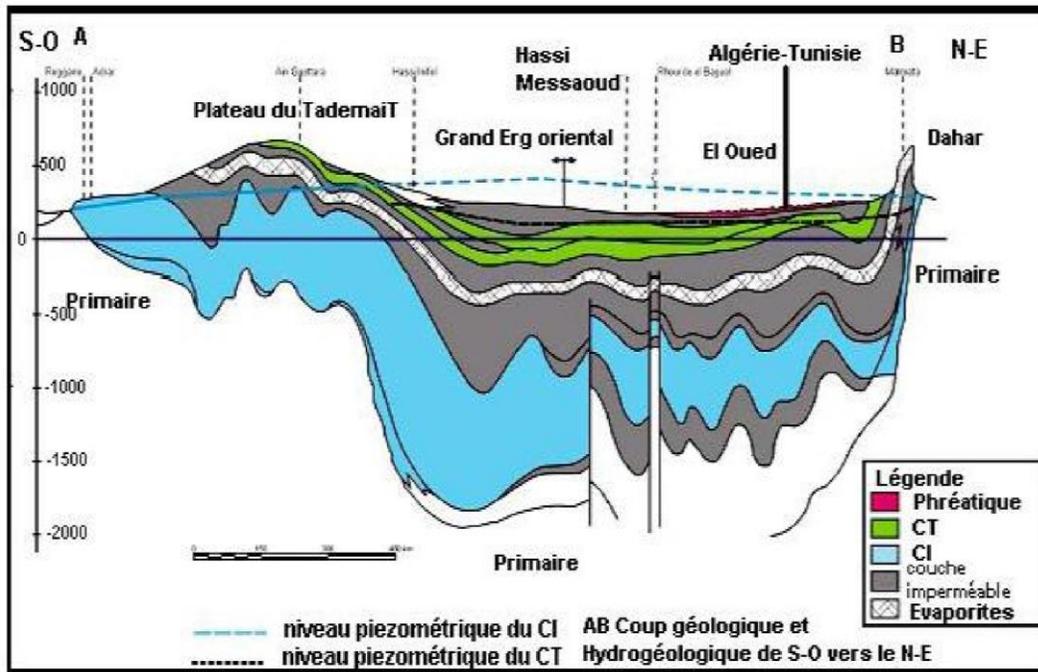


Figure II.6 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)

II. 2.1 La nappe d'eau de surface (nappe libre)

Cette couche est présente dans toute la région, correspondant aux formations de surface de la Quaternaire, d'épaisseur à une vitesse de 50 mètres constituée principalement de sable et de

grains fins entrelacés avec des tranches d'argile sableuse en gypse, cette formation encourage grandement le problème de la remontée et des fuites d'eau, le niveau d'eau y est à une profondeur de 15 mètres dans la ville El-Oued et à une profondeur de 9 mètres dans la ville de Guemmar et à une profondeur de 3 mètres dans la ville de Sidi Aoun. Les coupes géologiques montrent que cette couche est fondée sur une base d'argile non perméable jusqu'à 200mètres d'épaisseur, comme nous l'avons dit, la zone la plus élevée est caractérisée par la perméabilité et la proximité de la surface, car elle est exploitée par plus de 500 puits. En tant qu'une source d'arrosage des zones agricoles. Les études hydrogéologiques réalisées en 1993 montrent la direction de l'écoulement de l'eau de cette couche superficielle, qui part du sud vers les zones de lignes, c'est-à-dire du sud vers le nord-ouest. En suivant cet axe du sud au nord-ouest, le degré de salinité est plus au nord-ouest qu'au sud par lavage et dissolution de certaines des substances formant des couches dans l'eau, et cela a été confirmé par les études hydrochimiques réalisées en 1993 et 1994, qui montrent que la salinité varie du sud au nord La gamme ouest se situe entre 2 g / L au sud et 6 g / L au nord-ouest.

II. 2.2 la nappe de complexe terminale

II. 2.2 .1 Nappe de sable

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 artésienne, 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 (Melghigh 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.

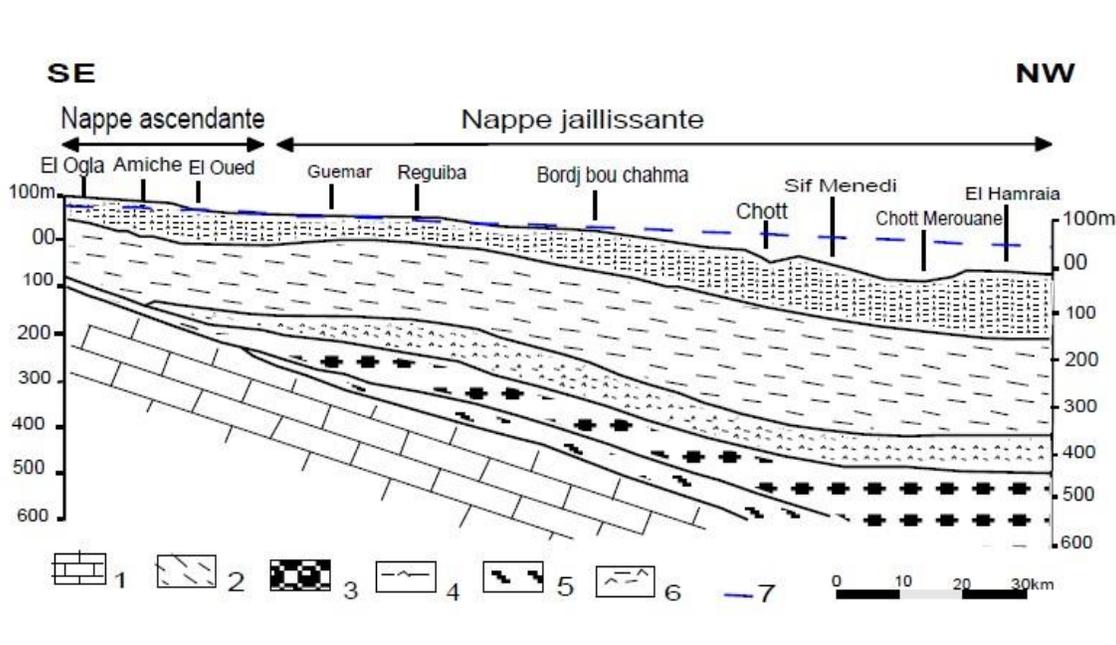


Figure II.7: Coupe hydrogéologique de la région d'El-Oued

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. Argile set gypse dominants.
5. Argiles et sable dominants.
6. Argile, sable et gypse (3 derniers étages appartenant au Mio-Pliocène supérieur).
7. Niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur.

II. 2.2 .2 Nappe calcaire

Selon les puits réalisés dans la région, les formations carbonatées de l'éocène inférieur correspondent à des profondeurs comprises entre 500 et 800 Mètres, mais compte tenu de la salinité élevée de son eau, cette couche ne représente aucun avantage hydrogéologique.

II. 2.2 .3 Nappe continentale intercalaire

Dans la région d'étude, l'aquifère du continental intercalaire se présente sous forme d'une nappe artésienne, et elle constitue la plus grande réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien. Cette nappe est surmontée par celle du complexe terminal qui se présente sous forme d'une nappe libre.

On définit l'aquifère du Continental Intercalaire comme les formations continentales du Crétacé inférieur, comprises entre l'Albien et le Néocomien, Constituées de sables, de grès avec intercalations d'argiles dont la profondeur du toit varie de 700 à 1200 m environ.

Le Continental Intercalaire est surmonté par les dépôts du crétacé supérieur à savoir : Cénomaniens, Turonien et Sénonien salifère qui peut atteindre une épaisseur de l'ordre de 220 m.

Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est particulier par son volume considérable du à la fois à son extension sur plus de 600.000 km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. De grandes quantités d'eau y ont été stockées pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté de la topographie de la zone d'étude, qui est caractérisée par des dunes de sable dont la hauteur dans certaines zones atteint plus de 100 mètres, ce qui est considéré comme un obstacle face à l'activité humaine, qu'elle soit urbaine ou agricole, en raison de la faiblesse de la pente, qui rend difficile la réalisation du réseau d'assainissement et de drainage. Nous avons également présenté les formations géologiques de la zone d'étude et au final les couches hydrogéologiques.

CHAPITRE III :
NOTION DE LA RECHARGE
DE LA NAPPE

I. INTRODUCTION : Avant de commencer à étudier la thèse, il faut identifier des concepts liés à cette dernière, afin d'estimer et d'incarner cette technique (alimentation des aquifères).

Avant d'entamer à l'étude hydrogéologique et la recharge artificielle de la nappe phréatique, nous devons prévoir et définir les notions concernant ces derniers, afin d'apprécier et concrétiser cette technique (recharge des nappes).

II. Aquifère :

II.1. Définition Un aquifère est un sol ou une roche réservoir originellement poreuse ou fissurée, contenant une nappe d'eau souterraine et suffisamment perméable pour que l'eau puisse y circuler librement.

L'aquifère est une formation géologique (réservoir) poreuse ou facturée susceptible de contenant une nappe d'eau. Une nappe d'eau souterraine est la masse d'eau contenue et mobile contenue dans une formation géologique.

II.2. Différents type d'aquifères :

II.2.1. Aquifère à nappe libre : Une **nappe libre** qualifie une napped'eau, souvent une nappe souterraine phréatique, dont la partie supérieure n'est pas limitée par une couche imperméable, de ce fait, son niveau peut monter et parfois atteindre la surface du sol si les précipitations augmentent. Un aquifère ouvert n'est pas fermé au sommet par un matériau imperméable et détermine la nappe phréatique.

Un aquifère à nappe libre est une nappe souterraine dont la surface supérieure est à pression atmosphérique : c'est la surface piézométrique.

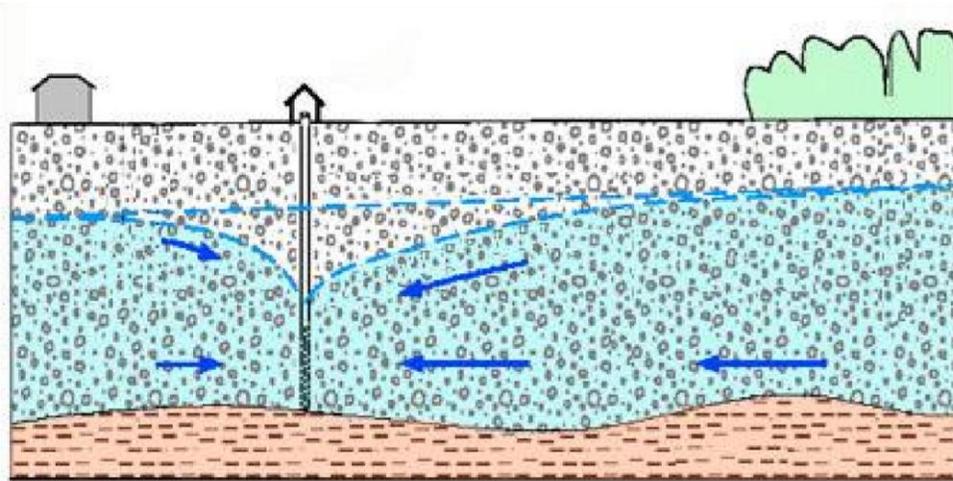


Figure III.1 : Aquifère à nappe libre

La nappe libre est caractérisée par :

- Contact direct avec l'atmosphère,
- Recharge (alimentation) rapide,
- Pas de protection naturelle face aux pollutions de surface.

II.2.2. Aquifère à nappe semi captive :

Un aquifère à nappe semi-captive est une nappe souterraine dont la surface supérieure est au contact d'un matériau semi-imperméable confinant ainsi partiellement les eaux.

II.2.3. Aquifère à nappe captive :

Dans les nappes captives, la pression est supérieure à la pression atmosphérique, la surface piézométrique est donc située au-dessus du toit de la nappe.

Dans certains cas, ces nappes captives peuvent être soumises à des phénomènes d'artésianisme (jaillissement naturel de l'eau à la surface ou lors d'un forage en raison de la pression) : on parle alors de nappes artésiennes

L'eau souterraine est confiée entre deux formations hydrogéologiques imperméables. Elle est caractérisée par :

- Pas de contact direct avec l'atmosphère. □ Recharge (alimentation) lente.
- Protection naturelle face aux pollutions.
- Eau généralement fortement minéralisée.

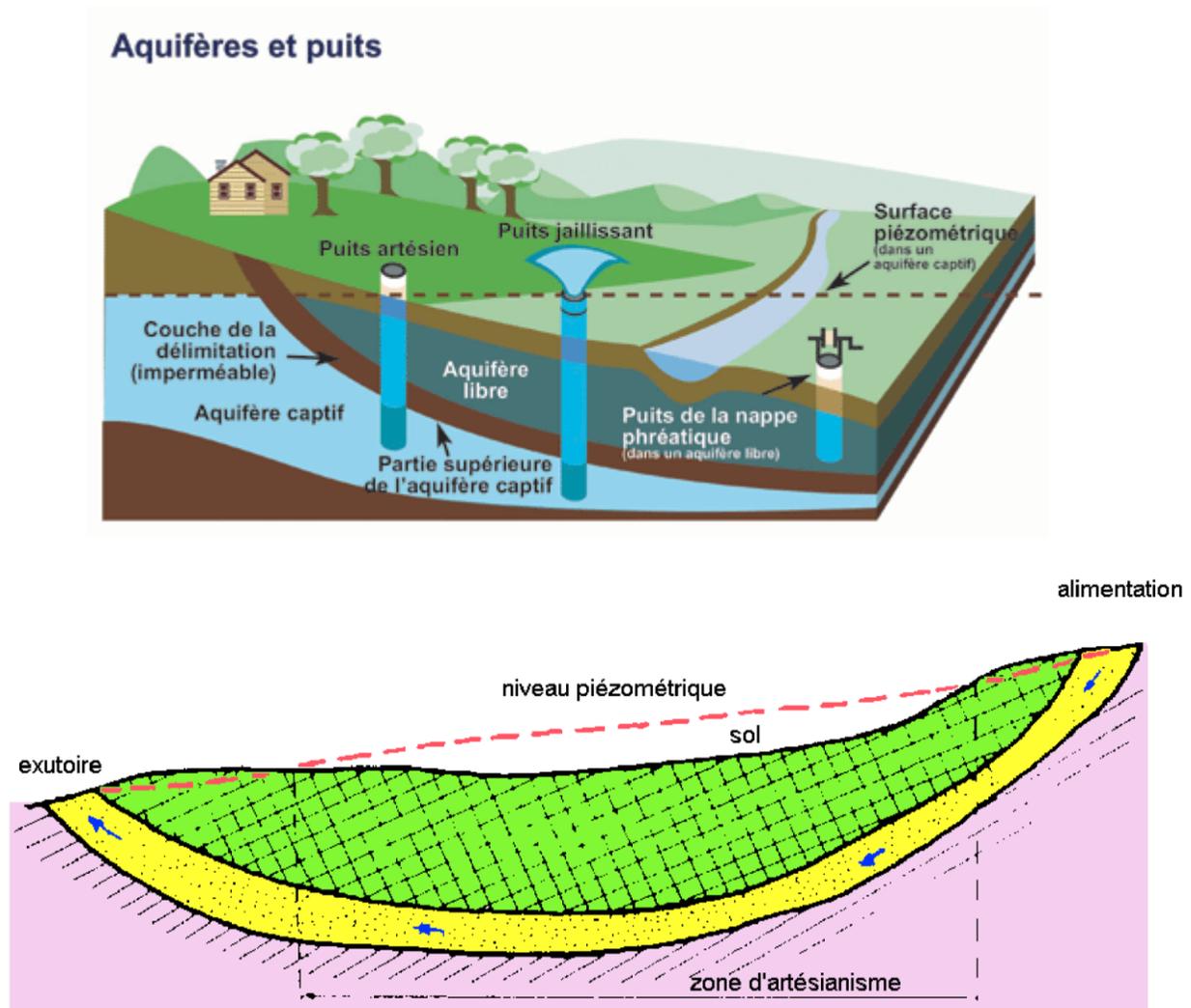


Figure III.3 : Aquifère à nappe captive

III. Recharge artificielle :

III.1. Définition : La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère ; elle est une des mesures qui peut être mise en œuvre pour sécuriser l'approvisionnement en eau, compenser certains effets du changement climatique et plus généralement aménager la pression quantitative et qualitative sur les masses d'eau souterraine. Au sens hydrogéologique, c'est le volume d'eau alimentant une nappe souterraine sur une durée donnée.

Les précipitations sont les principales sources qui alimentent les eaux souterraines. Les nappes libres se chargent assez rapidement à chaque épisode pluvieux.

La recharge artificielle ou réalimentation des nappes aquifères consiste à injecter de l'eau dans une formation aquifère en ayant pour objectif une gestion active et rationnelle de ce réservoir. Il s'agit d'utiliser un processus qui intervient naturellement au niveau de toute retenue ou cours d'eau des zones humides, des parcelles irriguées, des fuites de canalisations et de toutes zones d'écoulement d'eau ou l'eau s'infiltrer naturellement dans le sol en augmentant le niveau des nappes.

Les intérêts de la recharge artificielle ou (réalimentation artificielle) sont multiples dont les principales sont :

- De réduire, arrêter ou même inverser la baisse du niveau de la nappe qui peut être naturelle due à surexploitation des ressources permanentes ou cycliques.
- De stocker de l'eau à moindre coût car les infrastructures allouées à cet effet sont généralement minimales en comparaison avec un stockage en réservoir de surface.
- D'épurer l'eau de façon naturelle au cours des infiltrations vers la nappe grâce aux propriétés biologiques et physico-chimiques du sol.
- De faciliter l'acceptation par le public de l'utilisation de l'eau usée traitée ou épurée, notamment en tant qu'eau potable, grâce au passage de celle-ci par un système d'épuration naturelle (zone non saturée).

III.2. Objectif de la recharge artificielle :

Dans la majorité des cas recensés en Algérie, le but premier de la recharge artificielle est le soutien à une nappe souterraine surexploitée ; le deuxième objectif poursuivi est l'amélioration de la qualité des nappes avec une baisse significative des concentrations en certains éléments chimiques par dilution (i.e. nitrate, pesticides), permettant ainsi la mise en œuvre de traitements de potabilisation finaux plus simples et plus économiques. En parallèle, la contamination des eaux infiltrées est réduite naturellement si le procédé de recharge mis en œuvre intègre l'identification de zones réactives et/ou de zones tampons ainsi que des zones favorables au développement des microorganismes. En effet, les minéraux argileux, les hydroxydes de fer et de manganèse ainsi que les microorganismes présents dans ces différentes zones ont des capacités importantes de contribuer à la décontamination (i.e. biodégradation des composés organiques, etc.) et de fixer les polluants métalliques et métalloïdes. Cette géo-épuration est utilisée dans beaucoup de pays pour parfaire le traitement d'eau usée traitée et s'en servir comme eau de recharge.

Le premier but de la recharge artificielle est le soutien à une nappe souterraine surexploitée, le deuxième objectif est l'amélioration de la qualité des nappes avec une baisse significative des

concentrations en certains éléments chimiques par dilution (nitrates, pesticides) permettent ainsi la mise en œuvre de traitements complémentaires plus simple et plus économiques.

En parallèle, la contamination des eaux infiltrées sera réduite naturellement si le procédé de recharge mis en œuvre intègre l'identification de zones réactif.

III.3. principales technique de la recharge artificielle : En fonction du contexte

hydrogéologique, de la qualité des eaux de recharge, des conditions du milieu (zones urbaines vs. zones rurales) et des objectifs de l'alimentation artificielle, quatre grandes méthodes de recharge artificielle peuvent être employées

III.4.

Les méthodes d'infiltration consistent à faciliter l'infiltration de l'eau jusqu'à la nappe, tout en améliorant la qualité de l'eau de recharge grâce aux capacités géo-épuratrices du sol et de la zone non saturée de l'aquifère. Un des principaux avantages de ces méthodes est qu'elles sont peu coûteuses et relativement faciles à mettre en œuvre et à entretenir.

III.3.1. Méthode d'injection directe :

via des forages sont les méthodes les plus utilisées à travers le monde. Elles permettent de recharger des nappes captives et/ou de créer des barrières hydrauliques afin de repousser certaines contaminations d'aquifères destinées à la consommation, notamment les intrusions salines.

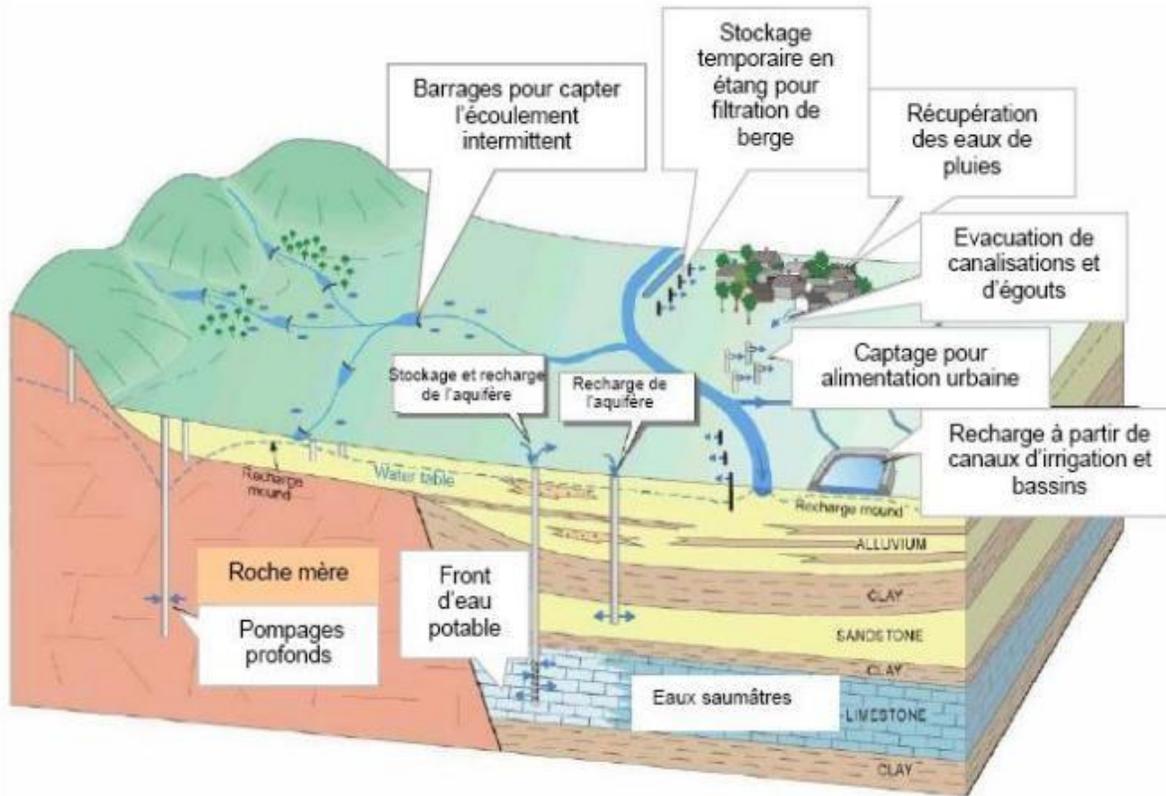


Figure III.4 : Schéma présentant une partie des différents types de recharges artificielle dans différents environnements hydrogéologiques (d'après Gale et al., 2002, Pettenati, 2007).

Recharge artificielle indirecte (Réalisation artificielle induite) : aussi appelée «la réalimentation artificielle induite» consiste à augmenter le transfert d'eau entre un cours d'eau et une nappe alluviale en mettant en place des sites de pompage à proximité des berges de celui-ci. Lors de ce processus, l'eau du cours d'eau est filtrée grâce au pouvoir épurateur des berges.

Consiste à augmenter le transfère d'eau entre un cours d'eau et une nappe alluviale en mettant en place des sites de pompage à proximité des berges de celui-ci. Lors de ce processus, l'eau des cours d'eau est filtrée grâce au pouvoir épurateur des berges.

III.3.2. Recharge artificielle passive : C'est le cas, par exemple, lorsque des fuites sont présentes dans le réseau d'eau urbain, ou lorsque l'irrigation des cultures est trop intense. C'est le cas, par exemple des fuites d'eau présentent dans un réseau d'eau urbain ou lorsque l'irrigation des cultures est trop intense.

III.3.3. Les bassins d'infiltration :

Cette méthode regroupe les techniques tel que les barrages et retenues collinaires filtrants ainsi que les eaux pluviales ou de l'assainissement individuelle.

Cette catégorie englobe également les chaussées réservoirs, les fossés, les tranchés, les puits dans la zone non saturée, les oueds, les terres d'infiltration, les filtres à sable et l'épandage souterraines.

Pour l'ensemble des cas techniques, l'eau traverse la zone non saturée lors de son transfert vers l'aquifère. L'eau peut ainsi être potentiellement épurée par son contact avec le sol qui permet l'élimination de certains agents pathogènes mais aussi de substances inorganiques et organiques potentiellement contaminants.

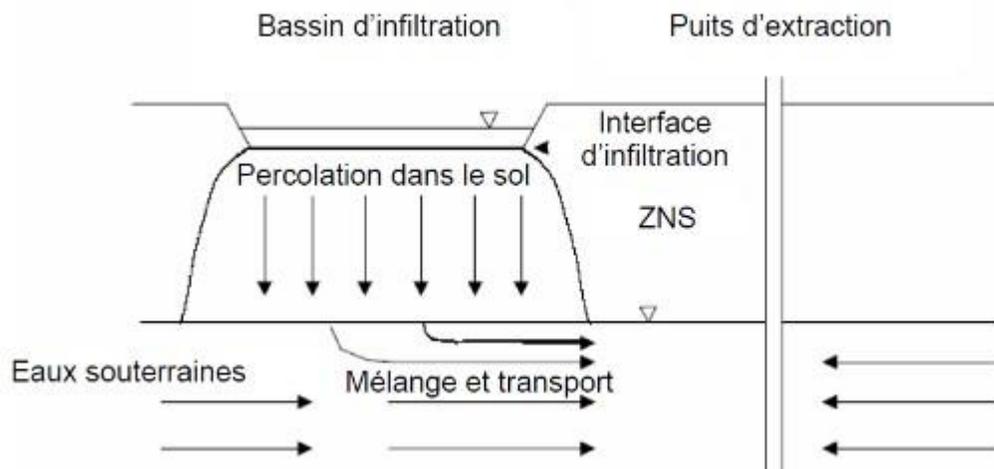


Figure III.5 : Schéma simplifié de la technique de recharge par bassin d'infiltration (d'après Pettenati, 2007, Eusseuff et Lansey, 2004).

La mise en place de la méthode par bassin d'infiltration implique donc de caractériser finement les propriétés physico-chimiques de la zone non saturée pour :

- Evaluer les impacts d'une telle installation sur les propriétés physico-chimiques de cette zone tels que la diminution de la perméabilité, la mobilisation de contaminants, les conditions redox ou le PH afin d'estimer si ces capacités d'épuration seront augmentées ou altérées.

- D'étudier la rupture d'équilibre thermodynamique entre l'eau infiltrée et la zone non saturée en cas d'arrêts définitifs ou temporaires de la recharge artificielle, pouvant entraîner des remobilisations des polluants jusqu'alors fixés.

La méthode des bassins d'infiltration est très répandue dans le cadre des différents projets de recharge artificielle particulièrement dans les régions du monde affectés par des pénuries récurrentes des ressources en eau. Suivant les techniques considérées les caractéristiques des bassins peuvent être adaptées au fonction des objectifs locaux visés tel que le taux d'infiltration désire.

IV. Conclusion:

Après avoir appris les concepts d'aquifères et de l'alimentation artificielle des eaux souterraines, ses objectifs, ses types et ses avantages, nous passons maintenant au sujet de la thèse de la fin de l'étude.

Après avoir vu les notions des aquifères et de la recharge artificielle des nappes, notamment la nappe phréatique, on y a l'attention de projet ces connaissance à note sujet de mémoire de fin d'étude.

CHAPITRE IV
RECHARGE ARTIFICIELLE

I. INTRODUCTION :

Pour qu'on puisse étudier le phénomène de la recharge artificielle, on doit percevoir l'état de la nappe et ces caractéristiques hydrodynamiques, physiques ainsi de l'eau employée à la recharge, on évaluant sa quantité et sa qualité à fin de recharger notre nappe en toute sécurité du point de vue pollution, en prenant en considération l'éventuelle remontée.

II. TOPOGRAPHIE DE LA ZONE:

La zone d'étude est située au sud de la vallée d'El Oued, caractérisée par une altitude faible au Nord-Est (51 à 77 m) à la plus haut au Sud-Ouest, avec une altitude de (110 à 120m).

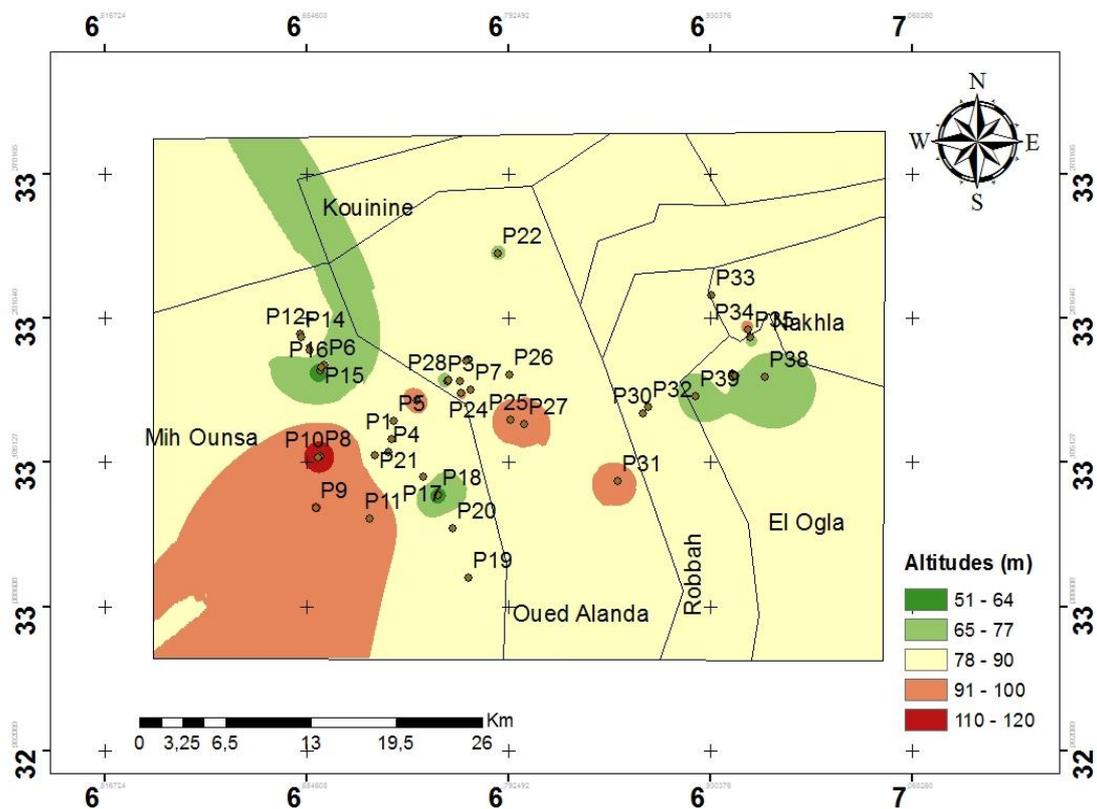


Fig IV.1. Carte topographique de la zone d'étude.

I. NAPPE PHREATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE:

La nappe phréatique de la zone en question est comprise dans des dépôts sableux de type éolien, localement intercalés de lentille d'argile sableuse et gypseuses. Elle est limitée par un

substratum argileux imperméable, son épaisseur est d'environ 54 mètre de la zone étudiée jusqu'à la région de Guémar au Nord de cette région.

Actuellement la nappe est alimentée par les eaux usées brutes à travers les fosses perdues pratiquées dans le tissu urbain plus les eaux d'irrigation et les fuites du réseau d'eau potable des communes Mih Ouensa, Oued Alenda, Nakhla et El Oglia ainsi que leur agglomération dépendants car ces municipalités sont dépourvues de réseau d'assainissement collectif. Néanmoins le centre chef lieu de la commune de Robbah qui est équipés du réseau d'égout acheminant ces eaux à la STEP de Kouinine.

I.1. Substratum de la nappe :

Le substratum de notre zone a différents niveaux allant de -16 à 47m au dessus du niveau de la mer, le faible niveau est situé au Nord-Est (-16 à -9.1 m) à la plus haut au Sud-Oest à une altitude de (35 à 47 m).

Tab IV.1 : Les profondeurs et les niveaux du substratum des points d'eau

| commune | sigle | X | Y | Z | P |
|---------------------------------|-------|------------|-------------|--------|--------|
| Mih Ouenssa (dif allah) | P1 | 6° 42' 46" | 33° 12' 02" | 91,00 | 47,00 |
| Mih Ouenssa (Baboukha) | P2 | 6° 45' 50" | 33° 15' 10" | 91,00 | 36,00 |
| Oued Alanda | P3 | 6° 45' 33" | 33° 14' 20" | 83,00 | 19,00 |
| Mih Ouenssa (El Katef) | P4 | 6° 42' 38" | 33° 11' 30" | 84,00 | 24,00 |
| Mih Ouenssa (Cit Naser) | P5 | 6° 42' 52" | 33° 12' 46" | 80,00 | 20,00 |
| Mih Ouenssa (Bougoufa) | P6 | 6° 40' 00" | 33° 15' 00" | 88 | 36,00 |
| Oued Alanda2 | P7 | 6° 46' 00" | 33° 14' 01" | 89 | 39,00 |
| Oued Alenda3 | P8 | 6° 39' 49" | 33° 11' 20" | 119,00 | -9,00 |
| Mih Ouenssa1 | P9 | 6° 39' 41" | 33° 09' 17" | 104,00 | 46,00 |
| Mih Ouenssa2 | P10 | 6° 39' 46" | 33° 11' 18" | 96,00 | 43,00 |
| Mih Ouenssa3 | P11 | 6° 41' 53" | 33° 08' 49" | 101,00 | -16,00 |
| Mih Ouenssa (Ballebassi Hassan) | P12 | 6° 39' 00" | 33° 16' 14" | 80,00 | 17,00 |
| Mih Ouenssa (PP Oued Turk) | P13 | 6° 39' 25" | 33° 15' 37" | 84,00 | 17,00 |
| Mih Ouenssa (PP Gouirat) | P14 | 6° 39' 04" | 33° 16' 08" | 80,00 | 17,20 |
| Mih Ouenssa (Ecole Oued Turk) | P15 | 6° 39' 50" | 33° 14' 48" | 49,00 | 22,00 |

| | | | | | |
|--|-----|------------|-------------|-------|-------|
| Mih Ouenssa (Mosquée O.Turk (Cté Nasr) | P16 | 6° 39' 53" | 33° 14' 54" | 85,00 | 21,00 |
| Mih Ouenssa (Ecole Sahbane) | P17 | 6° 44' 04" | 33° 10' 31" | 81,00 | 19,10 |
| Mih Ouenssa (Ecole Harouilla) | P18 | 6° 44' 39" | 33° 09' 46" | 59,00 | 23,00 |
| Mih Ouenssa (Ecole Bougouffa) | P19 | 6° 45' 56" | 33° 06' 29" | 90 | 21,00 |
| Mih Ouenssa (PP Harouilla/ Bougouffa) | P20 | 6° 45' 15" | 33° 08' 26" | 85 | 18,30 |
| Mih Ouenssa (Mahda Kakkour) | P21 | 6° 42' 04" | 33° 11' 23" | 90 | 20,00 |
| Oued Alenda (BENAÏSSA Amor) | P22 | 6° 47' 08" | 33° 19' 29" | 77,00 | 15,00 |
| Oued Alenda (Ecole Nord) | P23 | 6° 45' 02" | 33° 14' 22" | 68,00 | 13,00 |
| Oued Alenda (Mosqué Sud) | P24 | 6° 45' 37" | 33° 13' 53" | 94,00 | 22,20 |
| Oued Alenda (Unité de soin M.Ghazala) | P25 | 6° 47' 37" | 33° 12' 48" | 95,00 | 22,00 |
| Oued Alenda (Ecole Cheagamet) | P26 | 6° 47' 35" | 33° 14' 36" | 89,00 | 20,20 |
| Oued Alenda (Cité Laababba) | P27 | 6° 48' 12" | 33° 12' 37" | 92,00 | 20,00 |
| Oued Alenda (Azeb Ah.Khalifa) | P28 | 6° 45' 06" | 33° 14' 23" | 80,00 | 18,00 |
| Oued Alenda (Benamor Med Elhachmi) | P29 | 6° 43' 47" | 33° 13' 34" | 97,00 | 24,00 |
| Robbah(Mosquée Dbidibi) | P30 | 6° 53' 05" | 33° 13' 04" | 81,00 | 16,00 |
| Robbah(Kecha Med Tahar) | P31 | 6° 52' 01" | 33° 10' 20" | 93,00 | 18,00 |
| Robbah (PP Debidibi) | P32 | 6° 53' 17" | 33° 13' 19" | 84,00 | 16,20 |
| Nekhla (Agoun Ali) | P33 | 6° 55' 51" | 33° 17' 47" | 80,00 | 16,00 |

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|------------|-------------|-------|-------|
| Nekhla (Bouta Brahim) | P34 | 6° 57' 22" | 33° 16' 26" | 97 | 15,20 |
| Nekhla(Gharbi Mabrouk) | P35 | 6° 57' 28" | 33° 16' 07" | 72 | 14,00 |
| EL Oгла (Attalah Mabrouk) | P36 | 6° 56' 43" | 33° 14' 40" | 82 | 16,00 |
| EL Oгла (PP Cimetière El Oгла) | P37 | 6° 56' 52" | 33° 14' 33" | 74,00 | 14,20 |
| EL Oгла (Guettouta Taher) | P38 | 6° 58' 05" | 33° 14' 32" | 70,00 | 13,50 |
| EL Oгла (Benamor Delloula) | P39 | 6° 55' 14" | 33° 13' 44" | 73,00 | 14,00 |

(Direction des Ressources Hydriques2022)

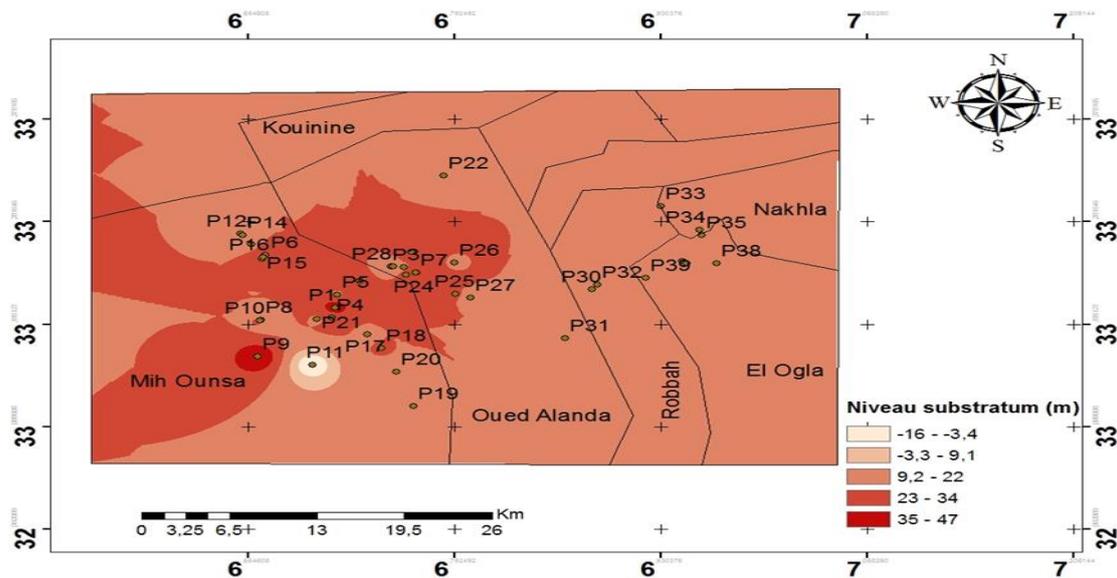


Fig IV.2. Carte de niveau du substratum de la zone d'étude.

II.1. Epaisseur de la nappe :

D'après les coupes géologiques qui ont été réalisées par DREW.2019 sur la base des logs des forages exécutés dans le « CT » et « CI » ainsi les puits améliorés réalisés dans la zone d'étude, on remarque que le substratum est rencontré à des profondeurs comprises entre 55 et 73 mètres. Soit à une épaisseur moyenne de 54 m.

II.2. Niveaux piézométriques de la nappe phréatique :

D'après les prélèvements des niveaux piézométriques de la nappe phréatique de vallée d'Oued Souf effectué par ANRH en 2008-20010- 2014-2019, les résultats obtenus sont représentées au tableaux ci-dessous :

Tab IV.2 : différents niveaux du puits a travers la zone d'étude

| commune | H | Appelation | Lieu | Coordonnées | | | Niveau pézométrique | | | |
|---------------|-----|---------------------------------|---------------|-------------|-------------|--------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | X | Y | Z | 2008 | 2010 | 2014 | 2019 |
| Mih Ouensa | H54 | Ballebassi Hassan | Oued Turk | 6 39 00 | 33 16 14 | 8 0 | 76. 15 | 74. 77 | 74.0 6 | 63.7 5 |
| | H53 | PP Oued Turk | Oued Turk | 6 39 25 | 33 15 37 | 8 4 | 80. 12 | 76. 8 | 79.9 4 | 67.6 |
| | H55 | PP Gouirat | Oued Turk | 6 39 04 | 33 16 08 | 8 0 | 73. 35 | 74. 4 | 73.3 | 61 |
| | H56 | Ecole Oued Turk | Oued Turk | 6 39 50 | 33 14 48 | 9 4 | 83. 75 | 83. 36 | 81.5 | 69.1 6 |
| | H58 | Mosquée O.Turk (Cté Nasr) | Oued Turk | 6 39 53 | 33 14 54 | 8 5 | 74. 7 | 74. 67 | 74.5 8 | 62.2 7 |
| | H59 | Ecole Sahbane | Sahbane | 6 44 04 | 33 10 31 | 8 1 | 70. 65 | 70. 61 | 70.5 5 | 62.2 4 |
| | H61 | Ecole Harouilla | Sahbane | 6 44 39 | 33 09 46 | 9 5 | 82. 25 | 82. 22 | 82.7 | 69.8 5 |
| | H60 | Ecole Bougouffa | Bougouf fa | 6 45 56 | 33 06 29 | 9 0 | 77. 27 | 77. 25 | 75.6 | 64.8 |
| | H57 | PP Harouilla/ Bougouffa | Mih Ouensa | 6 45 15 | 33 08 26 | 8 5 | 77. 78 | 77. 7 | 77.2 | 65.3 |
| | H6 | Mahda | Mih | 6 42 | 33 11 | 9 | 87. | 87. | 74 | 74.8 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|---------------|----------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|
| | 9 | Kakkour | Ouensa | 04 | 23 | 0 | 35 | 28 | | 2 |
| Oued Alenda | H6 | BENAISSA | O.Alenda | 6 47 | 33 19 | 7 | 74. | 72. | 69.5 | 64 |
| | 8 | Amor | a | 08 | 29 | 7 | 4 | 15 | | |
| | H6 | Ecole | O.Alenda | 6 45 | 33 14 | 6 | 65. | 63 | 60.4 | 54.9 |
| | 4 | O.Alanda Nord | a | 02 | 29 | 8 | 34 | | | 2 |
| | H6 | Mosqué | O.Alenda | 6 45 | 33 13 | 9 | 91. | 89. | 86.5 | 81.1 |
| | 5 | O.Alanda Sud | a | 37 | 53 | 4 | 7 | 1 | | |
| | H6 | Unité de soin | O.Alenda | 6 47 | 33 12 | 9 | 92. | 90. | 88.1 | 82.6 |
| | 7 | M.Ghazala | a | 37 | 48 | 5 | 65 | 51 | | 1 |
| H6 | Ecole | Cheagamet | 6 47 | 33 14 | 8 | 86. | 84. | 82.3 | 76.8 | |
| 6 | Cheagamet | met | 35 | 36 | 9 | 3 | 6 | | 2 | |
| H6 | Cité | Laababba | 6 48 | 33 12 | 9 | 89. | 86. | 83.9 | 78.4 | |
| 3 | Laababba | a | 12 | 37 | 2 | 35 | 63 | | | |
| H6 | Azeb | O.Alenda | 6 45 | 33 14 | 8 | 78. | 78. | 78 | 72.5 | |
| 2 | Ah.Khalifa | a | 06 | 23 | 0 | 05 | 05 | | 3 | |
| H7 | Benamor | O.Alenda | 6 43 | 33 13 | 9 | 80. | 81. | 80.6 | 75.2 | |
| 1 | Med Elhachmi | a | 47 | 34 | 7 | 45 | 57 | 5 | | |
| Robbah | H7 | Mosquée | Robbah | 6 53 | 33 13 | 8 | 70. | 70. | 69.3 | 61.3 |
| | 0 | Dbidibi | | 05 | 04 | 1 | 1 | 05 | | 1 |
| | H7 | Kecha Med | Robbah | 6 52 | 33 10 | 9 | 78. | 78. | 77.4 | 69.4 |
| 2 | Tahar | | 01 | 20 | 3 | 45 | 2 | | | |
| H7 | PP Debidibi | Debidibi | 6 53 | 33 13 | 8 | 69. | 68. | 64.6 | 56.6 | |
| 9 | | | 17 | 19 | 4 | 44 | 7 | | 2 | |

| | | | | | | | | | | |
|--------|---------|--------------------------|---------|------------|-------------|--------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Nekhla | H7 8 | Agoun Ali | Khobna | 6 55 51 | 33 17 47 | 8 0 | 63. 5 | 69. 19 | 65 | 53.0 1 |
| | H7 7 | Bouta Brahim | Nekhla | 6 57 22 | 33 16 26 | 7 9 | 67 | 64. 7 | 65 | 57.0 2 |
| | H7 9 | Gharbi Mabrouk | Nekhla | 6 57 28 | 33 16 07 | 7 2 | 60. 3 | 58. 4 | 57.9 5 | 49.9 3 |
| EL | H8 | Attalah | EL Ogla | 6 56 | 33 14 | 8 | 70. | 70. | 69.5 | 62.5 |
| Ogla | 0 | Mabrouk | | 43 | 40 | 2 | 29 | 17 | | 8 |
| | H7 6 | PP Cimetièrre El Ogla | EL Ogla | 6 56 52 | 33 14 33 | 7 4 | 62 | 61. 2 | 61.0 5 | 54.5 7 |
| | H7 3 | Guettouta Taher | EL Ogla | 6 58 05 | 33 14 32 | 7 0 | 58 | 57. 5 | 57.5 | 50.5 9 |
| | H7 5 | Benamor Delloula | EL Ogla | 6 55 14 | 33 13 44 | 7 3 | 61. 5 | 61 | 60.5 | 53.5 8 |

(Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

On remarque la baisse des niveaux piézométriques d'une année à une autre, en 2008, le niveau moyen piézométrique est de 75m par contre en année de 2019 le niveau deviens 64.8 m, c'est à dire il y a une baisse du niveau piézométrique d'à peu près de 10 m.

Cette importante baisse est due à la sur exploitation des eaux de la nappe à l'agriculture et à la réduction des fosses perdus dans les tissus urbaines causé par la réalisation des réseaux d'assainissement.

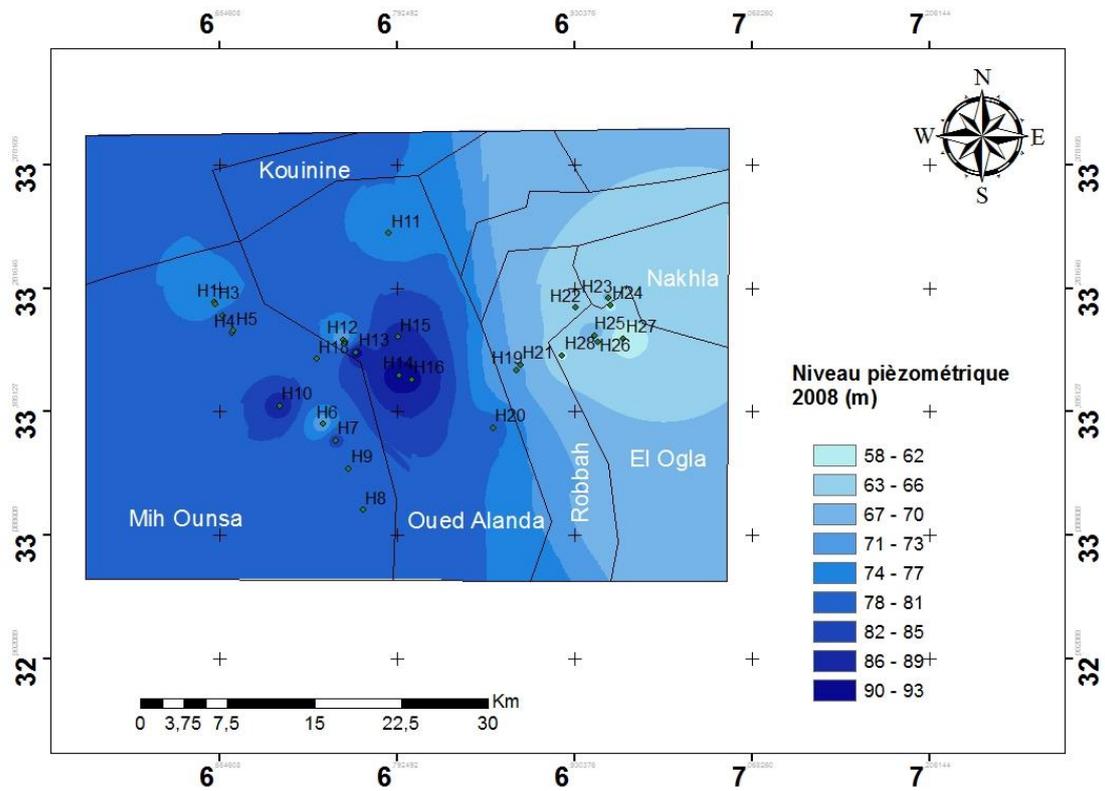


Fig IV.3. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2008).

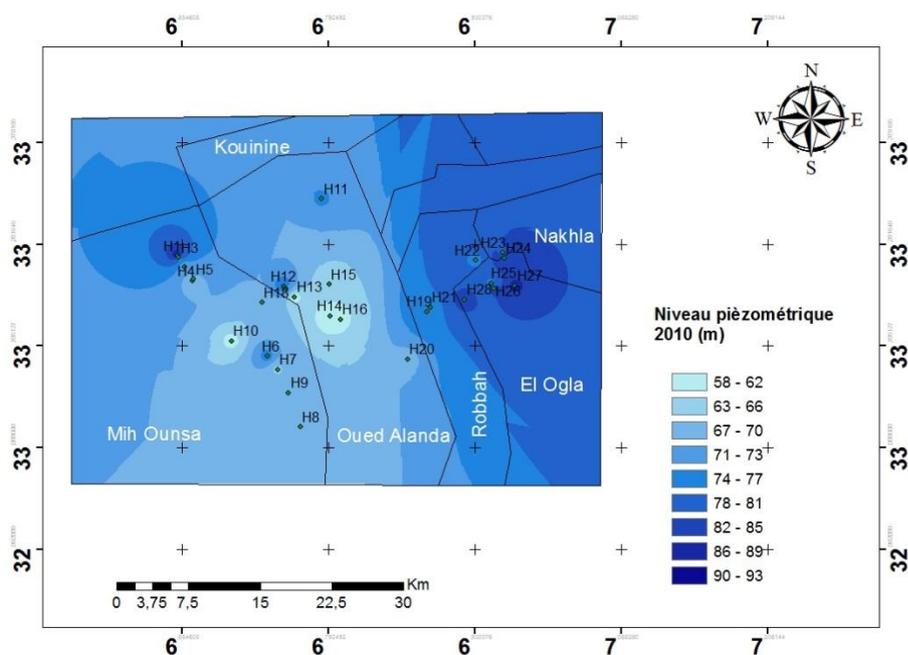


Fig IV.4. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2010).

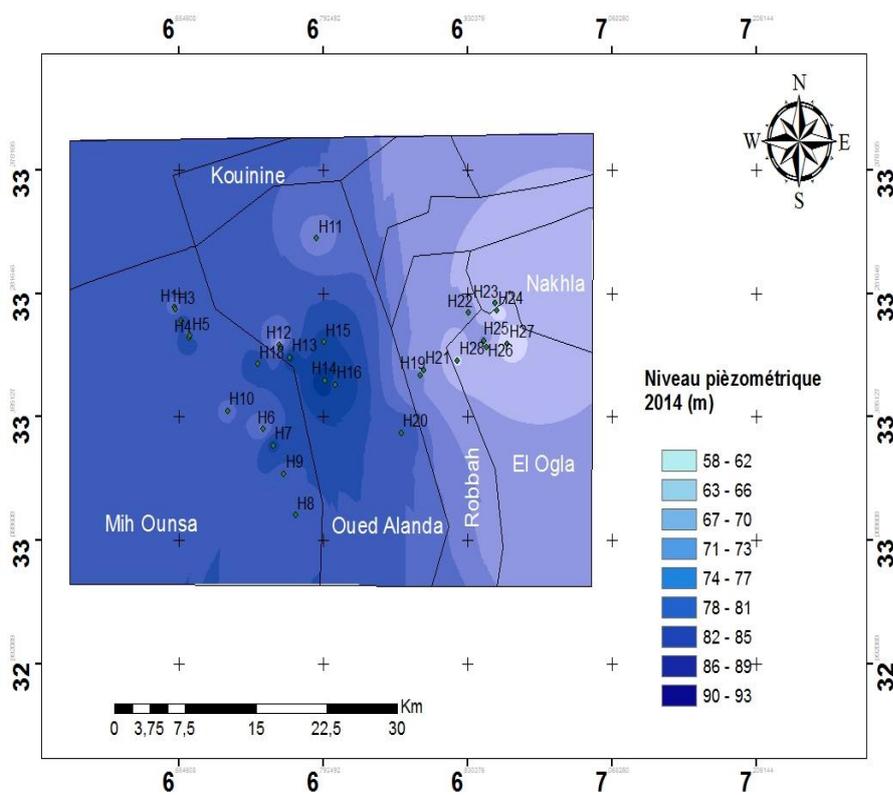


Fig IV.5. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2014).

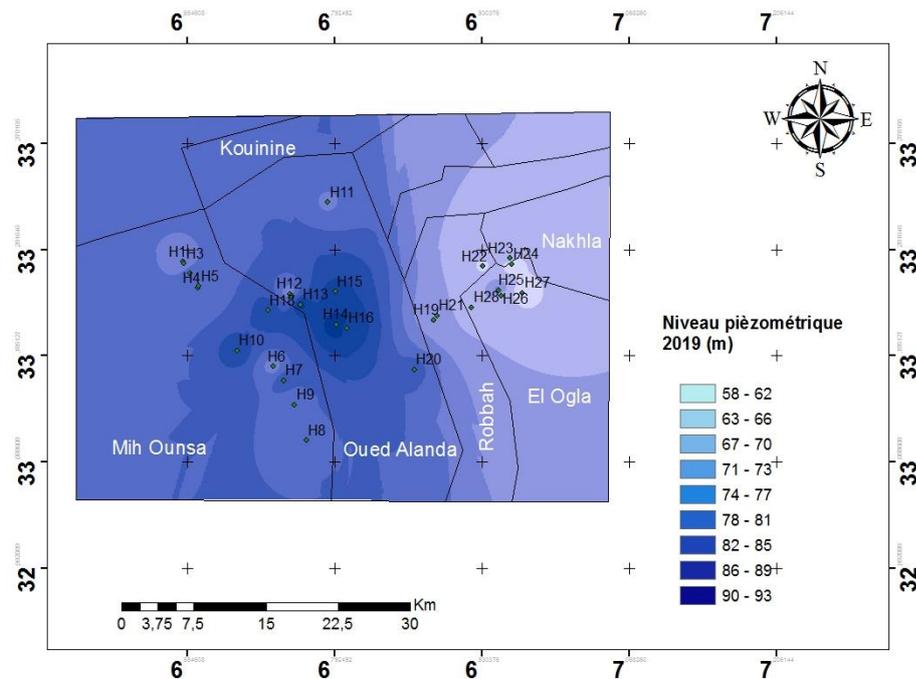


Fig IV.6. Carte de niveau piézométrique de la zone d'étude (année 2019).

. IV. ETAT PREVISIONNELLE:

Notons que les chefs lieu des communes précitées (Mih Ouensa, Oued Alenda, Nakhla et El Ogla) sont dotées d'une étude du schéma directeur du réseau d'assainissement dont

l'objectif d'améliorer les conditions d'hygiène de la population concernée ainsi de réduire la qualité médiocre des eaux alimentant la nappe phréatique à travers les fosses perdues.

Le futur réseau d'assainissement devra véhiculer les eaux usées vers deux (02) stations d'épurations : la première sera implantée dans le territoire de la commune de Mih Ouensa d'une capacité de 5504.21 m³/j recevant les eaux usées de l'agglomération de Mih Ouensa et d'Oued Alenda.

L'autre station sera implantée dans le territoire de la commune d'El Ogla d'une capacité de 20909.65 m³/j recevant les eaux usées issues des agglomération de Nakhla et El Ogla et de Robbah .

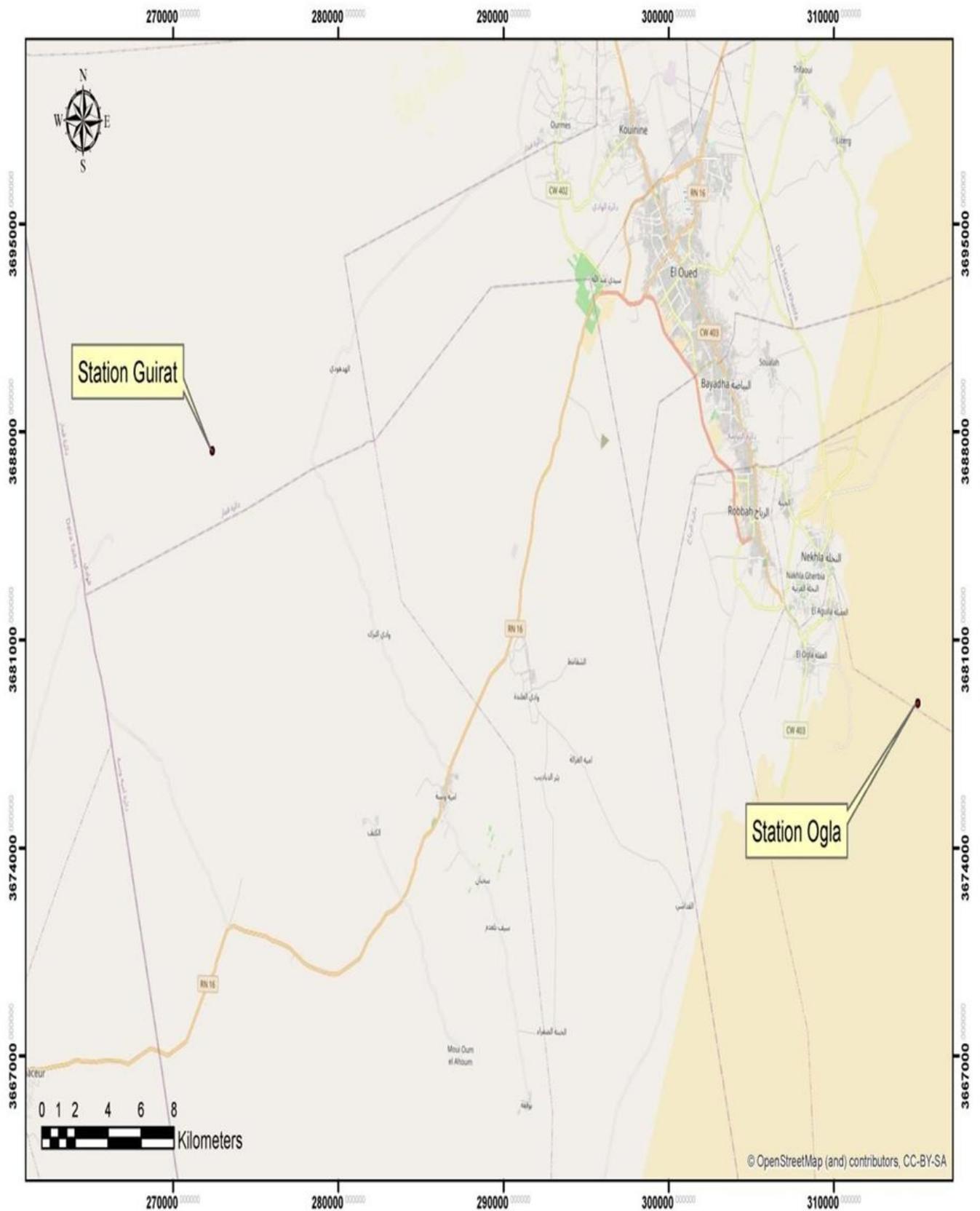


Fig.IV. 7. Carte situation des sites de deux STEP.

IV.1. Paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique de la zone d'étude :

Le tableau ci-dessous représente les paramètres hydrodynamiques obtenus par l'étude qui a été réalisée par HPO-BG 2002 lors de l'étude de la remontée de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf.

Tab.IV.3 : Récapitulation des paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique

| Localité | Débit spécifique (m ² /s) | Porosité % | Perméabilité (m/s) X 10 ⁻⁴ | Transm T (m ² /s) X 10 ⁻³ |
|---------------|---|---------------|---|---|
| Mih Ouensa | 3.7x10 ⁻⁴ | 12.49 | 1.13 | 5.42 |
| Oued Alenda | 3.7x10 ⁻⁴ | 12.49 | 1.13 | 5.42 |
| Nakhla | 1.83 x10 ⁻² | 12.49 | 1.89 | 8.3 |
| Ogla | 1.83 x10 | 12.49 | 1.89 | 8.3 |
| Robbah | 1.83 x10 | 12.49 | 1.89 | 8.3 |

Source : (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

IV.2. Amélioration du niveau de traitement de l'eau pourvoir épurateur du sol :

La formation du sous sol de notre zone d'étude agit généralement comme un filtre dont l'effet permet d'éliminer un certain nombre des constituants physiques, chimiques et microbiologiques des eaux usées traitées. C'est le pouvoir épurateur du sous sol qui en améliorant la qualité de l'eau constitue souvent le principal objectif de la recharge artificielle par des eaux de moindre qualité.

V. Estimation de la quantité d'eau déployée au système de recharge artificielle :

V.1. Evaluation du débit moyen journalier des eaux usées :

Il y a lieu de considérer que l'eau consommée ne correspond pas en totalité à l'eau produite à cause des pertes qui peuvent atteindre jusqu'à 30 % de la production. En règle générale, il convient de tenir compte :

- de l'accroissement prévisible de la population sur la zone concernée ;
- du développement probable de la consommation des usagers.

On désigne les eaux usées domestiques et les eaux des équipements (scolaires, sanitaires, culturels et administratifs).

V.1.1 .Evaluation de la population 2019 – 2049:

Selon les statistiques de la DPAT de l'année 2019, la population de la région est de 64.760 habitant, avec un taux d'accroissement de 3.05%.

Les nombres de la population en différents horizons (2019 – 2049) sont évalués par la formule suivante:

$$P_f = P_0 (t + 1)^n$$

Où : P_f est le nombre de la population en future.

T: taux d'accroissements démographie.

n: années. Nombre d'années à l'horizon 2049 soit 30 ans. Le

tableau ci-dessous résume les résultats obtenus:

Tab IV.4: évaluations de la population 2019- 2049.

| Commune | pop 2019 | pop 2029 | pop 2039 | pop 2049 |
|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Mih Ouensa | 9530 | 12866 | 17211 | 23472 |
| Oued Alenda | 3965 | 5353 | 76161 | 9765 |
| Robbah | 29235 | 39467 | 52798 | 72006 |
| Nekhla | 13410 | 18104 | 24218 | 33029 |
| EL Ogla | 8620 | 11637 | 15568 | 21231 |
| SUM | 64760 | 87427 | 185956 | 159503 |

Source : (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

Estimations des besoins en eau potable en différents horizons (2019 – 2049):

Le débit moyen journalier d'eau potable est donné par la formule suivante :

$Q_{moy j} = C_{moy} * K_j$ Avec :

$Q_{moy j}$: débit moyen journalier d'eau potable (m³/j).

$C_{moy j}$: consommation journalière d'eau potable (m³/j).

K_j : Coefficient représente la perte de charge.

Où : $C_{moy j} = D * N$ Avec:

D : dotation journalière (l/j/hab) N

: nombre d'habitants.

Nous considérons que:

- Comme base une dotation d'eau potable de 150 l/j/hab pour la consommation d'eau domestique.
- la consommation d'équipements représente 15% des débits des eaux domestiques.

- les 80% de l'eau consommée sont rejetée comme eaux usées dans le réseau d'évacuation.

Les tableaux ci-dessous résument les résultats obtenus:

Tab IV.5 : les besoins en AEP en différents horizons (2019- 2049):

| Commune | Besoin en eau 2019 (m3/j) | Besoin en eau 2029 (m3/j) | Besoin en eau 2039 (m3/j) | Besoin en eau 2049 (m3/j) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Mih Ouensa | 1972.71 | 2663.262 | 3562.677 | 4858.704 |
| Oued Alenda | 820.755 | 1108.071 | 1482.327 | 2021.562 |
| SUM 1 | 2793.465 | 3771.333 | 5045.004 | 6880.266 |
| Robbah | 6051.645 | 8169.669 | 10929.186 | 14905.242 |
| Nekhla | 2220.696 | 3747.528 | 5013.126 | 6837.003 |
| EL Ogla | 1784.34 | 3747.528 | 3222.576 | 4394.817 |
| SUM2 | 10056.681 | 15664.725 | 19164.888 | 26137.062 |

Source : (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

Tab IV.6: Débits des eaux usées domestiques à différents horizons (2019- 2049):

| Commune | Q eu 2019 (m3/j) | Q eu 2029 (m3/j) | Q eu 2039 (m3/j) | Q eu 2049 (m3/j) |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mih Ouensa | 1578.168 | 2130.610 | 2850.142 | 3886.963 |
| Oued Alenda | 656.604 | 886.457 | 1185.862 | 1617.250 |
| Robbah | 4841.316 | 6535.735 | 8743.349 | 11924.194 |
| Nekhla | 1776.557 | 2998.022 | 4010.501 | 5469.602 |
| EL Ogla | 1427.472 | 2998.022 | 2578.061 | 3515.854 |
| SUM | 10280.117 | 15548.846 | 19367.914 | 26413.862 |

Source : Ahmed Hannanou Soumaia Kir. Contribution A L'etude Hydrogeologique Et Essal De La Recharge Artificielle De La Nappe Phreatique De La Vallee De Qued Souf (Zone Sud). 2020

Tab IV.7: Débits de deux rejets différents horizons (2019- 2049):

| Commune | Q rejet 2019 (m3/j) | Q rejet 2029 (m3/j) | Q rejet 2039 (m3/j) | Q rejet 2049 (m3/j) |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Mih Ouensa | 2234.772 | 3017.066 | 4036.003 | 5504.213 |
| EL Ogla | 8045.345 | 12531.780 | 15331.910 | 20909.650 |

Source : (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

Nota : les débits d'eau usées rejetées prés-citée au tableau ci-dessus sont acheminées vers les stations d'épuration de Mih Ouensa et d'El Ogla.

V.2. Estimation de la réserve :

Nous tenons ici d'évaluer la réserve de l'aquifère à nappe libre (Phréatique) de la zone d'étude (Sud de la vallée de Oued Souf). La réserve totale contenue dans le réservoir représente le volume total de la formation aquifère, au quel est appliqué la porosité efficace.

L'estimation de la réserve de l'aquifère de la nappe libre est rendu possible après avoir connaître l'épaisseur moyen du dit aquifère.

Le volume utile u le réserve est calculée par la formule :

$$V = e * S * n_e \quad (m^3).$$

Avec : e : épaisseur moyen (m) ;

n_e : porosité efficace ;

S : superficie (m) ;

D'après l'étude qui faite par HPO-BG en 2002 pour mieux savoir les caractéristiques hydrodynamique et hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée du Souf.

Les résultats obtenues ont permis d'estimer l'épaisseur moyen de l'aquifère ainsi la porosité efficace de nappe phréatique de la zone d'étude, qui sont les suivants :

L'épaisseur moyen « e » est l'ordre de 54 m et la porosité efficace est a l'ordre de 12.49 %. (Cette valeur est usuelle pour des sables fins).

La superficie de la zone d'étude s'étend à 4374.4 Km² soit 4374.4x 10⁶ m², d'où le volume utile $V = e * S * n_e = 54 \times 4374.4 \times 10^6 \times 0.1249 = 29503578240 \text{ m}^3$

$$V = 29503.578 \text{ Hm}^3.$$

V.3. Calcule d débit d'infiltration :

Pour que l'eau puisse s'infiltrer la perméabilité du sol K (m/s) doit être de 10^{-5} et 10^{-2} m/s.

Tab IV.8 : la perméabilité des différents types de sols :

| Perméabilité K (m/s) | 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} | 10^{-4} , 10^{-5} | 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} | 10^{-9} , 10^{-10} , 10^{-11} |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| Type de sols | Gravier sans sable ni éléments fin | Sable avec gravier, sable grossier à sable fin | Sable très fin, limon grossier à limon argileux | Argile limoneuse à argile homogène |
| Possibilité d'infiltration | excellentes | Bonnes | Moyennes à faibles | Faibles à nulles |

Source : (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

Ordre de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (Musy et Souter 1991).

Surface d'infiltration des bassins d'infiltration :

- On prend en compte uniquement le fend horizontale.
- Les talus ne sont pas considérés dans le calcul de dimensionnement initial (surface supplémentaire de sécurité qui sera nécessaire après quelques années de fonctionnement et de colmatage.
- $Q_{inf} = S_{inf} \times K \times I$
- Où : Q_{inf} : débit infiltré.
- S_{inf} : surface d'infiltration (fond du bassin) K : perméabilité du sol.
- I : Gradient hydraulique = 1 car la zone non saturée est supérieur à 1.5 m d'après
- SYMASOL- Gestion des eaux pluviales : Guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives – Juin 2016.

- Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

• **TabIV.9.** Volumes annuelles d'eau de recharge :

| sites | A (m) | B(m) | S(m ²) | K (m/s) | I | Q_{inf} (m ³ /s) | V *10 ⁶ (m ³) |
|---------------|-------|------|--------------------|-------------------|-----|----------------------------------|---|
| El Ogla | 100 | 200 | 20000 | 1.89 10^{-4} | x 1 | 121.44 | 119.21 |
| Mih Ouensa | 60 | 100 | 6000 | 1.89 10^{-4} | x 1 | 73.44 | 71.52 |

- Source : Ahmed Hannanou Soumaia Kir. Contribution A L'etude Hydrogeologique Et Essai De La Recharge Artificielle De La Nappe Phreatique De La Vallee De Qued Souf (Zone Sud). 2020
-
- Avec :
- A : largeur du fond du bassin d'infiltration (m).
- B : longueur du bassin d'infiltration (m).
- S : surface du fond du bassin d'infiltration (m²).
- K : la perméabilité (m/s).
- I : Gradient hydraulique.
- Q_{inf} : débit infiltré.
- V : Volumes annuelles d'eau de recharge

Recharge artificielle de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf « zone sud » I.

Site Mouih Ouensa.

Objectif : quantité et amélioration de la qualité.

Type : Bassin d'infiltration.

Aquifère / Masse d'eau : sableuse

Eau de recharge : Eau usée épurée.

Utilisation de la nappe : Irrigation.

Epaisseur de la ZNS : 14m.

1. Localisation :

Le site de recharge artificielle de Mouih Ouensa est situé au sud-est de la commune aux coordonnées : **X** : 272 262 m

Y : 368 777 7 m

Z : 87 m

Coordonnée UTM WGS 84 zone 325

Le site de recharge artificielle est planté au Nord-Ouest de la STEP de Mih Ouensa à une distance de 460 m.

2. Objectif de la recharge artificielle :

La réalimentation artificielle est principalement nécessaire afin de maintenir le niveau piézométrique de la nappe et ainsi d'assurer la disponibilité de l'eau de bonne qualité pour l'irrigation qui devra servir une superficie de 2500 Ha de terre agricole. Il est à noter que les

capacités géo-épuratrices du dispositif de recharge bassin d'infiltration sont aussi intéressantes. Dans la zone en question l'exploitation de la nappe se fait via de milliers de puits traditionnels

3. Caractéristiques de l'aquifère concerné :

La nappe phréatique dans cette zone sera réalimentée dans une formation des dépôts sableux fin de type éolien, intercalés de lentille d'argiles sableuses et gypseuses. Elle est limitée par un substratum d'argile imperméable, son épaisseur est à l'ordre de **60 m** localement. La

-44-

transmissivité de cet aquifère à été évaluée à **$5,42 \times 10^{-3}$** m²/s, une porosité de **12,49%** et de perméabilité de **$1,13 \times 10^{-4}$** m/s.

4 .Système de recharge artificielle mis en place :

Le système de recharge artificielle qui sera mis place sera fonctionné de la manière suivante :

- a) L'eau prélevée dans la station d'épuration à un débit de **229.34 m³/h**.
- b) Elle sera ensuite acheminer jusqu' à un bassin d'infiltration (deux de 0.6 Ha chacun), ces derniers représentent une surface de 1.200 Ha. L'eau alors sera infiltrée jusqu' à la nappe. Située au dessous de la surface du sol.

5 .Surveillance du dispositif :

Le dispositif de la recharge artificielle de dit site sera accompagner par l'implantation des piézomètres à proximité de la zone de recharge (on a préconisé trois « 03 » piézomètres). Ces piézomètres ont pour objectif de suivre l'évolution de la nappe ainsi de permettre le prélèvement d'eau de la nappe pour l'analyse périodique à fin de contrôler la qualité de l'eau de cette nappe.

6 les volumes d'eau mis en jeu :

Grace à ce système de recharge artificielle, 71.52 Hm³ d'eau sont infiltrés au maximum par années pour des prélèvements au maximum 76.9 Hm³ pour une superficie prévision

Recharge artificielle de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf « zone sud »

Objectif : quantité et amélioration de la qualité d'eau.

Type : Bassin d'infiltration.

Aquifère / Masse d'eau :

Eau de recharge : Eau usée épurée.

Utilisation de la nappe : Irrigation.

Epaisseur de la ZNS : 20 m.

II.Site El Ogla.

1. Localisation :

Le site de recharge artificielle d'El Ogla est situé au sud-est de la commune au coordonnées : **X** : 315 644 m

Y : 367 870 9 m

Z : 86 m

Coordonnée UTM WGS 84 zone 325

Le site de recharge artificielle est planté au Sud-Est de la STEP de l'Ogla à une distance de 540 m.

2 .Objectif de la recharge artificielle :

Le principale objectif de la recharge artificielle de la dite nappe est de maintenir le niveau piézométrique de cette dernière ainsi d'assurer la disponibilité de l'eau pour l'irrigation et pour une éventuelle industrie qui devra être implanté dans cette zone d'étude. L'eau de la recharge artificielle de cette nappe sera de bonne qualité via son épuration par le procédé du système de lagunage aérée ainsi du pouvoir géo-épuration du sol de recharge.

L'exploitation de l'eau de cette nappe se fait via des milliers de puits traditionnels servant l'irrigation d'une superficie de 4000Ha.

3 Caractéristiques de l'aquifère:

La nappe phréatique dans la zone d'El Ogla se caractérise par des dépôts sableux fin de type éolien, intercalés de lentille d'argiles sableuses et gypseuses. Elle est limitée par un substratum d'argile imperméable, son épaisseur est à l'ordre de **55** m localement. La transmissivité de cet aquifère à été évaluée à **8.3×10^{-3}** m²/s, une porosité de **12.49%** et de perméabilité de **$1,89 \times 10^{-4}$** m/s.

4. Système de recharge artificielle mis en place :

Le système de recharge artificielle qui sera mis en place devra fonctionner de la manière suivante :

- a) L'eau devra être prélevé dans la station d'épuration à un débit de **871.24 m³/h**.
- b) Elle sera ensuite acheminer vers le bassin d'infiltration (deux de 2 Ha chacun), ce dispositif de recharge artificielle représente une surface de 4 Ha. L'eau alors sera infiltrée jusqu' à la nappe située en dessous de la surface du sol.
- c) En définitif l'eau devra être prélevée dans la nappe par l'intermédiaire des puits par pompage.

5 .Surveillance du dispositif :

Le dispositif de la recharge artificielle dans cette zone sera équipé par des piézomètres (trois). A des distances 5, 15, 45 m a partir du bassin d'infiltration qui ont pour but de contrôler le niveau de la nappe et servent le prélèvement des échantillons pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques. Afin de suivre l'évaluation de la qualité des eaux de cette nappe. On a prévoyez d'installer des évaporomètres pour l'évaluation du volume d'eau évaporé.

6. Volumes d'eau mis en jeu :

Grace à ce système de recharge artificielle, **119.2** Hm³ /an d'eau seront infiltrées pour des prélèvements au maximum **118.5** Hm³/an pour ne superficie irrigable de 3757.8 Ha à raison de 1l/s/Ha.

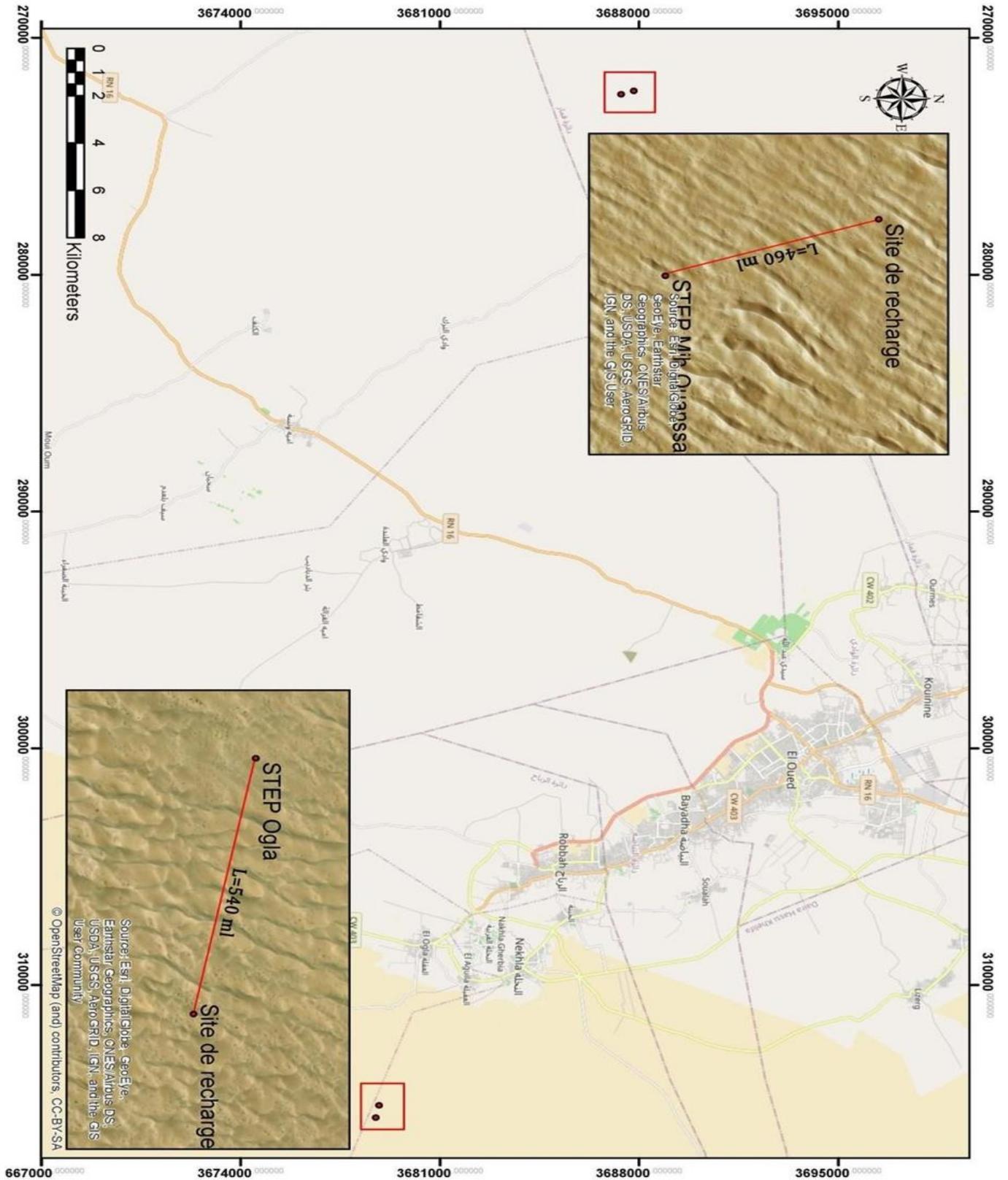


Fig.IV. 8. Carte situation des sites de recharge artificielle
(Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

Source : Ahmed Hannanou Soumaia Kir. Contribution A L'etude Hydrogeologique Et Essal De La Recharge Artificielle De La Nappe Phreatique De La Vallee De Qued Souf (Zone Sud). 2020

VI. Dimensionnement des bassin d'infiltration:

La forme des bassins d'infiltration des deux sites sont de forme rectangulaire à parois inclinés (de fruit $m=1$) les résultats obtenus sont résumées au tableau suivants :

TabIV.10 : Dimensionnement des bassins d'infiltration :

| sites | b (m) | B(m) | H(m) | m | L(m) | S(m ²) | V (m ³) |
|---------------|-------|-------|------|---|------|--------------------|---------------------|
| El Oglá | 100 | 102.4 | 1.2 | 1 | 200 | 121.44 | 24288 |
| Mih Ouensa | 60 | 62.4 | 1.2 | 1 | 100 | 73.44 | 7344 |

Source : Ahmed Hannanou Soumaia Kir. Contribution A L'etude Hydrogeologique Et Essal De La Recharge Artificielle De La Nappe Phreatique De La Vallee De Qued Souf (Zone Sud). 2020

Avec :

,b : largeur du fond du bassin d'infiltration (m).

B : largeur supérieur du bassin d'infiltration (m).

H : hauteur du bassin d'infiltration (m).

L : largeur du bassin d'infiltration (m).

S : surface vertical du bassin d'infiltration (m²).

V : le volume du bassin d'infiltration (m³).

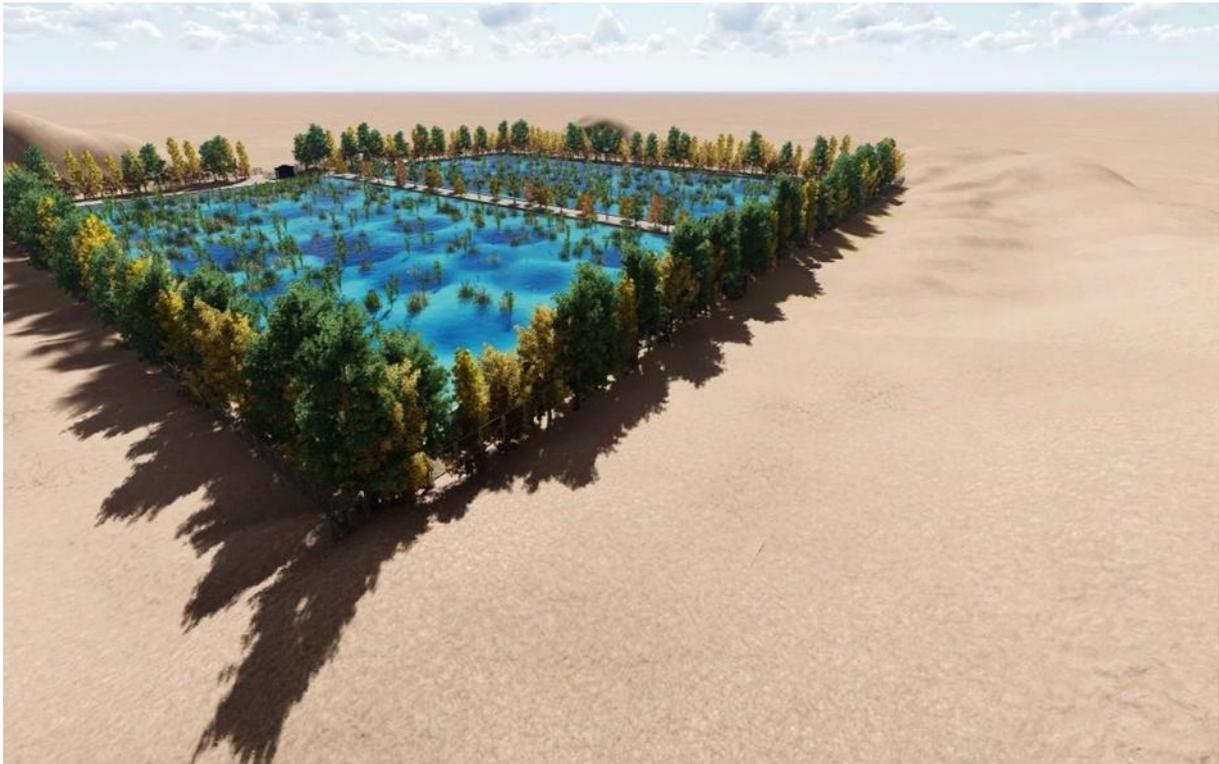


Fig IV.9. Disposition 3D du bassin d'infiltration (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

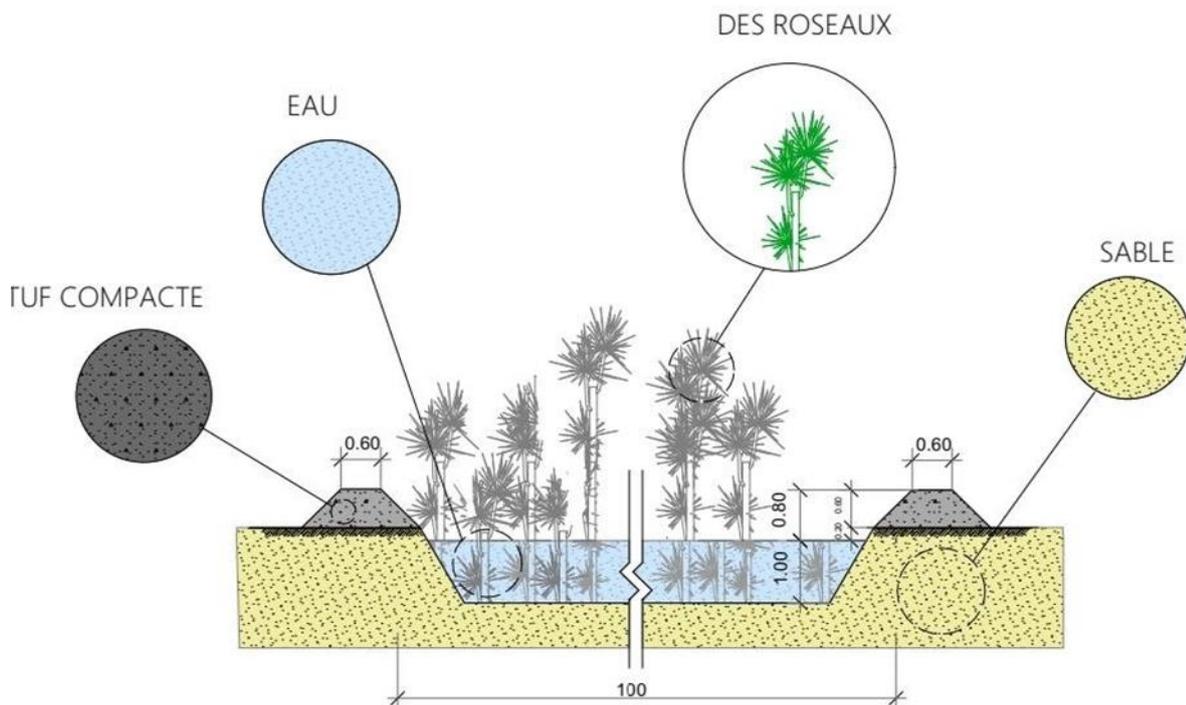


Fig IV.10: coupe transversale du bassin d'infiltration (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

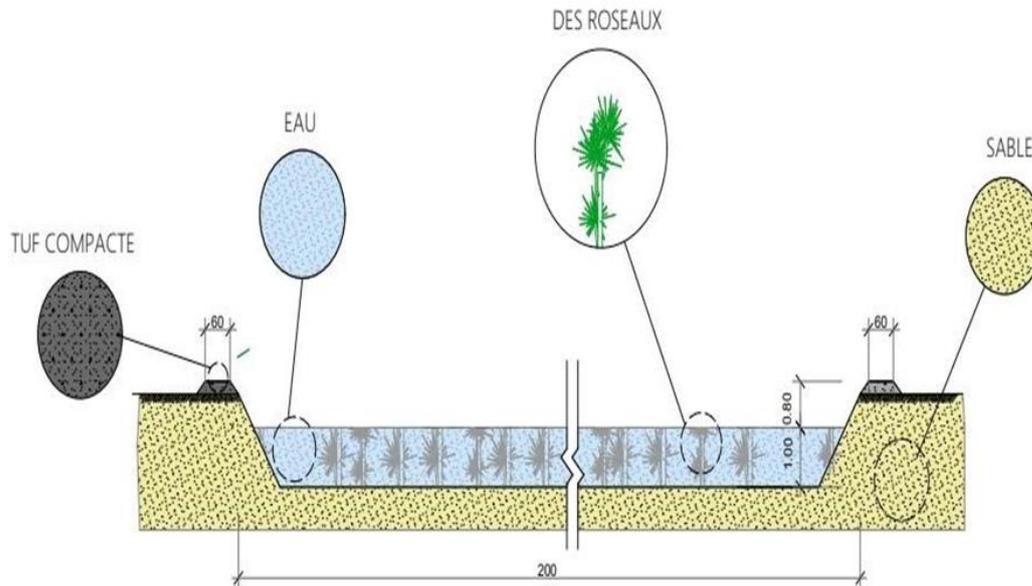


Fig IV.11 : Coupe longitudinale du bassin d'infiltration

(Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

VII. QUALITE DES EAUX UTILISEES A LA RECHARGE ARTIFICIELLE:

VII.1: Normes de rejet:

Le tableau suivant illustre les normes des rejets, extrait du décret exécutif N° 26 du journal Officiel du 23 avril 2006, réglementant les rejets d'effluents liquides, ce sont les valeurs limites maximales des paramètres de rejet.

Tableau IV.11: les normes des rejets

| Parametres analyses | Unités | Valeurs Limites |
|---------------------|--------|-----------------|
| Température | °C | 30 |
| pH | - | 6.5à8.8 |
| Conductivité | µs/cm | / |
| Turbidité | NTU | / |
| Oxygène dissous | mg/l | / |
| MES | mg/l | 35 |
| DBO5 | mg/l | 35 |

| | | |
|------------------------|------|------|
| DCO | mg/l | 120 |
| Ammonium | mg/l | / |
| Azote kjeldhal | mg/l | 30 |
| Phosphore total | mg/l | 10 |
| Sulfates | mg/l | / |
| Métaux lourds | | |
| Fer | mg/l | 3 |
| Etain | mg/l | 2 |
| Manganèse | mg/l | 1 |
| Cadmium | mg/l | 0.2 |
| Chrome | mg/l | 0.5 |
| Cuivre | mg/l | 0.5 |
| Nickel | mg/l | 0.5 |
| Mercure | mg/l | 0.01 |

(Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

VII.2. Qualité des eaux épurées prévisionnelle :

Le résultat sont obtenus après épuration des eaux usées des stations d'épurations des eaux usées de Sidi Aoun (STEP 03), de Hassani Abdelkim (STEP2) et de Rguéba (STEP 04) qui sont considérées semblables à ceux de Mih Ouensa et celle d'El Oglia (ONA 2017). Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Tableau IV.12: Résultat des analyses des eaux épurées:

| Paramètres analyses | Unité | Résultats de rejet | Norme |
|--|---------------------|---------------------------|--------------|
| DCO | mgO ₂ /l | 93.66 | 1000 |
| DBO₅ | mgO ₂ /l | 34.16 | 500 |
| Nitrate (NO₃) | mg/l | 4.25 | 0.1 |
| Nitrite (NO₂) | mg/l | 0.65 | 0.1 |
| Azote ammoniacal (NH₄) | mg/l | 20.64 | - |
| Phosphates (PO₄) | mg/l | 2.24 | - |
| Phosphor total | mg/l | 5.14 | 50 |
| M.E.S 105°C | mg/l | 28.85 | 600 |

| | | | |
|---------------------|------|------|---------|
| Conductivité | ms | 5.8 | - |
| Azote global | mg/l | 38.7 | 150 |
| pH | - | 7.87 | 5.5-8.5 |

(Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

La zone d'étude est nature rustique, dépendante de l'agriculture et de l'élevage cela nous montre l'absence de métaux lourds, les valeurs en générale sont dans les normes qui permis de rejeter les eaux usées épurés dans les milieux naturelles.

VII. Etude de la vulnérabilité:

Le but de l'étude de la vulnérabilité de la nappe phréatique de notre zone c'est de savoir les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans ces terrains, c'est à dire des moyens à employer pour la protection de cette dernier.

La méthode utilisée appelée la méthode DRASTIC cette méthode basée sur sept (07) paramètres:

D: profondeur de l'eau.

R: la recharge de la nappe.

A: nature du matériau de l'aquifère.

S: type de sol.

T: topographie de terrain.

I: impact de la zone non saturée.

C: conductivité hydraulique.

La carte ci-dessous déterminée la vulnérabilité de la nappe phréatique d'Oued Souf, elle est obtenue donc par la superposition spatiale des différentes couches caractérisant les paramètres de la méthode DRASTIC.

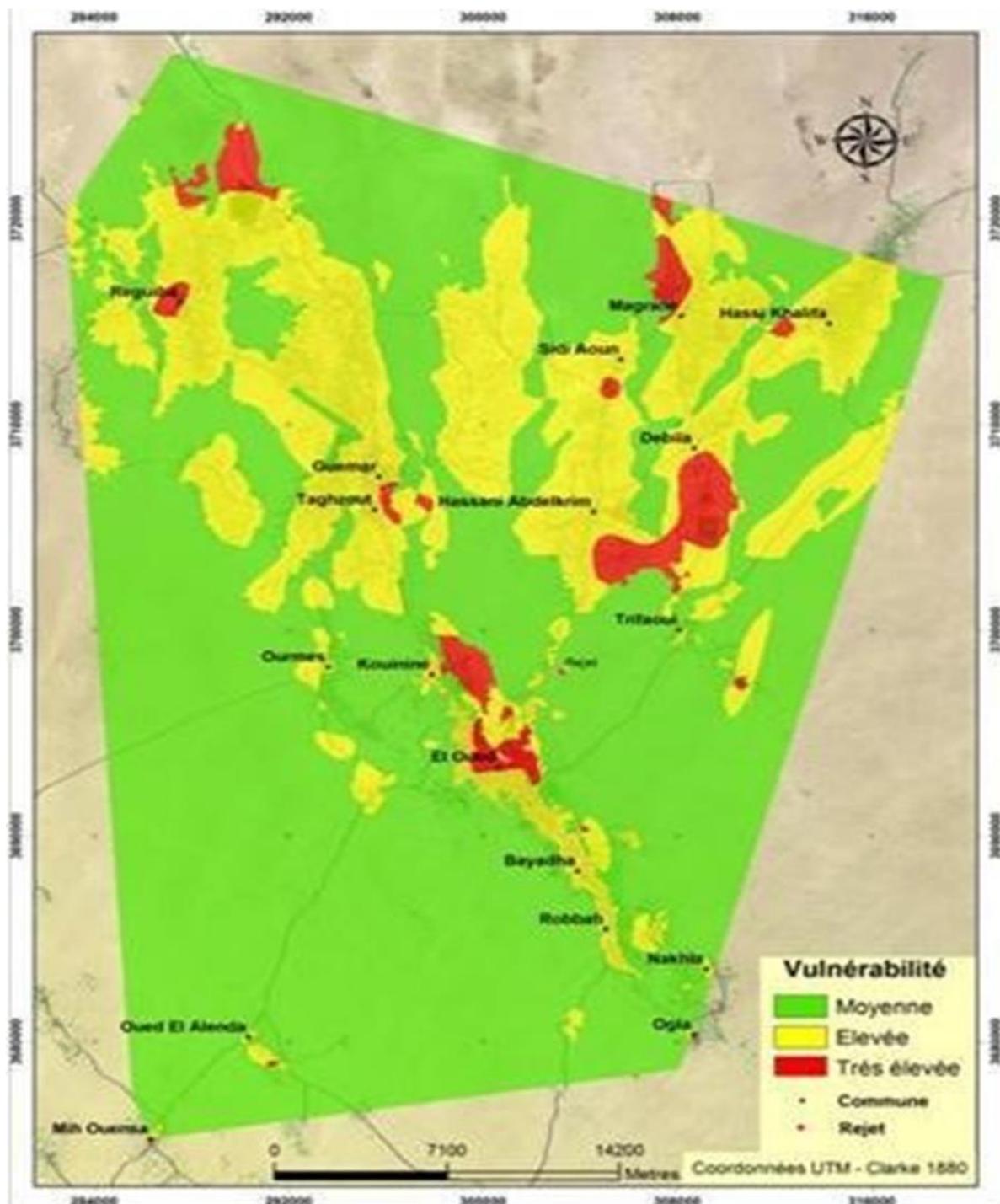


Fig. 12 : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe phréatique de Oued Souf. (Ahmed Hannanou Soumaia Kir.. 2020)

Cette carte a permis de bien cibler les zones à risque de pollution. Elle regroupe trois (3) classes. **La classe 1 :**

Caractérise un degré de vulnérabilité "Moyen" à la pollution, représentée dans la carte en couleur verte. C'est la classe qui contient la zone d'étude .

La classe 2 :

Caractérise un degré de vulnérabilité "Elevé" à la pollution. Elle regroupe les zones à vulnérabilité "Forte" à la pollution, représentée par le couleur jaune qui occupe le site de rejet de la ville d'El Oued et la grande surface irriguée et urbanisée de la zone d'étude. **La classe 3**

:

Qui caractérise une vulnérabilité "Très élevée" à la pollution, regroupe les zones dont le risque à la contamination est "très fort". Les zones concernées sont : les communes de Kouinine, El-Oued, Reguiba, Foulia et Magrane ainsi que le Sud de Hassi Khalifa, la zone agricole entre Debila et Trifaoui et l'est de Taghzout.

IX. CONCLUSION :

Il y a plusieurs raisons et facteurs qui nous font penser à étudier la possibilité de la recharge artificielle de la nappe phréatique dans notre zone d'étude (communes Mih Ouensa et El Ogla), d'après les prélèvements des niveaux piézométriques de la nappe phréatique de vallée d'Oued Souf effectué par ANRH en 2008-20010- 2014-2019,

On remarque la baisse des niveaux piézométriques d'à peu près de 10 m d'une année à une autre. Cette importante baisse est due à la surexploitation des eaux de la nappe à l'agriculture et à la réduction des fosses perdus dans les tissus urbaines causé par la réalisation des réseaux d'assainissement a travers la vallée d'El Oued.

Les paramètres hydrodynamiques ($K= 1.13 \times 10^{-4}$ à 1.89×10^{-4} et la porosité de 12.49 %) et la formation du sous sol de notre zone d'étude agit généralement comme un filtre dont l'effet permet d'infiltrer une importante quantité d'eau ainsi d'éliminer un certain nombre des constituants physiques, chimiques et microbiologiques des eaux usées traitées.

Les analyses des eaux épurées prévisionnelle et l'étude de la vulnérabilité permettent la possibilité de la recharge artificielle.

CHAPITRE V :
ETUDE ECONOMIQUE

I. INTRODUCTION:

Avant de passer à l'application des principes énoncés dans ce projet. On doit s'interroger sur la rentabilité de ce dernier.

Certes, envisagé dans son ensemble, la recharge artificielle par bassin de rétention (infiltration) ne nécessite pas de grands moyens pour sa réalisation ni pour son exploitation c'est-à-dire qu'il est moins payant.

Dans ce sens qu'on a prévu d'apprécier l'aspect économique de notre projet.

II. INVESTISSEMENT :

Il s'agit ici d'effectuer un devis quantitatif et estimatif des travaux liés au projet étudié.

Tab.V.1.Dépenses pour investissement (devis estimatif)

a) **Site Mih Ouensa :**

| N° | Designation des travaux | Unité | Quantité | Préx unitaire | Montent |
|------------------------------------|---|-------|----------|---------------|--------------|
| I. Travaux de Terrassement. | | | | | |
| 1 | Terrassement en grande masse pour excavation des bassins d'infiltration dans un terrain sableux | m3 | 16157 | 400.00 | 6462800 |
| 2 | Fouille en tranché pour pose de canalisation | m3 | 658 | 300.00 | 197400 |
| 3 | Remblai de tranché | m3 | 635 | 200.00 | 127000 |
| 4 | Fourniture et mise en place de massif en tuf y compris comptage pour diguette et des pistes d'accées. | m3 | 517.5 | 2,000.00 | 1035000 |
| II. Canalisation | | | | | |
| 5 | Fourniture et mise en place de conduite en PEHD PN 10 bars, diamètre 250 mm y compris toutes sujestions pour sa mise en service et de bonne execution | m l | 460 | 3,500.00 | 1,610,000.00 |
| 6 | Fourniture et mise en place de vannes de bonne qualité y compris toutes sujestions de raccordement au réseau diamètre 250 mm | u | 2 | 100,000.00 | 200,000.00 |
| III. Travaux d'aménagement | | | | | |
| 7 | Réalisation d'une cloture en Barodage y compris fondation de sa fixation ainsi de portail | m l | 394 | 12,000.00 | 4,728,000.00 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|------|--------------|---------------|
| 8 | Fourniture et emplantation des arbres (bris event) Casarine y compris son reseau d'irrigation. | u | 3351 | 600.00 | 2,010,600.00 |
| 9 | Réalisation des péozomètres | u | 3 | 1,500,000.00 | 4,500,000.00 |
| Total hors taxes | | | | | 20,870,800.00 |
| taxes sur la valeur ajouté (TVA 19%) | | | | | 3,965,452.00 |
| Total à taxes | | | | | 24,836,252.00 |

b) Site d'El Ogla

| N° | Designation des travaux | Unité | Quantité | Préx unitaire | Montent |
|------------------------------------|---|-------|----------|---------------|--------------|
| I. Travaux de Terrassement. | | | | | |
| 1 | Terrassement en grande masse pour excavation des bassins d'infiltration dans un terrain sableux | m3 | 53434 | 400.00 | 6,462,800.00 |
| 2 | Fouille en tranché pour pose de canalisation | m3 | 772 | 300.00 | 197,400.00 |
| 3 | Remblai de tranché | m3 | 730 | 200.00 | 127,000.00 |
| 4 | Fourniture et mise en place de massif en tuf y compris comptage pour diguette et des pistes d'accées. | m3 | 396 | 2,000.00 | 1,035,000.00 |
| II. Canalisation | | | | | |
| 5 | Fourniture et mise en place de conduite en PEHD PN 10 bars, diamètre 315 mm y compris toutes sujestions pour sa mise en service et de bonne execution | m l | 540 | 3,500.00 | 1,890,000.00 |
| 6 | Fourniture et mise en place de vannes de bonne qualité y compris toutes sujestions de raccordement au réseau diamètre 300 mm | u | 2 | 100,000.00 | 200,000.00 |
| III. Travaux d'aménagement | | | | | |
| 7 | Réalisation d'une cloture en Barodage y compris fondation de sa fixation ainsi de portail | m l | 394 | 12,000.00 | 4,728,000.00 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|-------|--------------|---------------|
| 8 | Fourniture et emplantation des arbres (bris event) Casarine y compris son reseau d'irrigation. | u | 42230 | 600.00 | 25,338,000.00 |
| 9 | Réalisation des péozomètres | u | 3 | 1,500,000.00 | 4,500,000.00 |
| Total hors taxes | | | | | 59,199,200.00 |
| taxes sur la valeur ajouté (TVA 19%) | | | | | 11,247,848.00 |
| Total à taxes | | | | | 70,447,048.00 |

III. Charge annuelle d'exploitation:

Our l'exploitation de nitre site de recharge, il est impératif de déterminer les charges annuelles allouées aux personnels chargés à cette mission.

Tab.V.2. Frais d'exploitation

a) site **Mih Oensa**

| N° | Designation des travaux | Nbr | Durée (jour/mois) | Salaire mensuelle | Montent annuelle |
|----|-------------------------|-----|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Ingenieur | 1 | 12 | 45,000.00 | 18,000.00 |
| 2 | Technicien Superieur | 1 | 24 | 38,000.00 | 30,400.00 |
| 3 | Main doeuve | 1 | 30 | 20,000.00 | 600,000.00 |
| | | | | | 648,400.00 |

b) site **d' EL Oglá**

| N° | Designation des travaux | Nbr | Durée (jour/mois) | Salaire mensuelle | Montent annuelle |
|----|-------------------------|-----|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Ingenieur | 1 | 12 | 45,000.00 | 18,000.00 |
| 2 | Technicien Superieur | 1 | 24 | 38,000.00 | 30,400.00 |
| 3 | Main doeuve | 1 | 30 | 20,000.00 | 600,000.00 |
| | | | | | 648,400.00 |

Frais globale d'investissement (site Mih Oensa + site El Oglá) = Si

: Si = 70.447.048.00 + 24.836.252.00 = 95.283.300.00 DA.

- Frais globale d'exploitation (site Mih Oensa + site El Oglá) = S

ex

S ex = 648.400.00 x 2 = 1.296.800.00 DA

- Dispenses Total : D= Si + S ex = 95.283.300.00 + 1.296.800.00 = 96.580.100.00 DA.

IV. Effet économique:

IV.1. Efficience économique :

L'efficience économique est le rapport existant entre le bénéfice réalisé (effet économique) et les dépenses effectuées pour l'option de cet effet.

IV.1.1. Valeur de la production d'eau rechargée :

Tab : V.3. Volume d'eau de recharge.

| Site de recharge | Volume d'eau produite (m ³) *10 ⁶ |
|------------------|---|
| Mih Oensa | 71.52 |
| El Ogla | 119.21 |
| Total | 190.73 |

IV.1.2. Prix de revient des mètres cube d'eau produit :

Le prix de revient d'un m³ d'eau produite par la recharge c'est la valeur monétaire qui a contribué à la production de ce volume d'eau (1m³).

Prix de revient (DA/ m³) = capital investi(DA) / Volume d'eau annuel produite (m³)

$$\text{Prix de revient} = 96,580,100.00 / 190.73 \times 10^6 = 0.51 \text{ DA/m}^3$$

IV.1.3. Prix de vent d'un m³ d'eau pour l'irrigation :

Selon le journal officielle de la république N : 05 du 12 Janvier 2005, le prix de vente d'eau pour les superficies irriguées est évalué à 2.5 DA/m³.

IV.2. Bénéfice :

Le bénéfice réalisé est la différence entre les recettes obtenues par vente du volume global et les dépenses totales.

$$B = R - D$$

Avec :

B : bénéfice (DA) ;

D : dépenses totales ((DA)

; R : recette (DA).

Tab.V.4. Bénéfice

| site | Mih Oensa | El Ogla |
|-------------------------------------|-----------|---------|
| volume exploité *10 ⁶ m3 | 76.9 | 118.5 |
| Volume global*10 ⁶ m3 | 195.4 | |

R : la recette = prix de vente = $2.5 \times 195.4 \times 10^6 = 488.500.000.00$ DA

D : dépenses = 96.580.100.00 DA

D'où le bénéfice réalisé sera $B = 488.500.000.00 - 96.580.100.00 = 391.919.900.00$ DA.

IV.2.1. Coefficient d'efficacité économique :

Coefficient d'efficacité économique = bénéfice (DA) / dépenses (DA).

$$= 391.919.900.00 / 96.580.100.00 = \mathbf{4.06 \text{ IV.2.2.}}$$

Délai de recouvrement :

Délai de recouvrement = dépenses totales (DA) / bénéfice (DA)

$$= 96.580.100.00 / 391.919.900.00 = \mathbf{0.25 \text{ an}}$$

V. CONCLUSION :

Après avoir calculé l'efficacité économique et le délai de recouvrement, ce dernier est assez court 0.25 an c'est-à-dire trois (03) mois seulement. Ce qui nous permet de réaliser ce projet sans aucune incidence économique. (Projet de recharge artificielle est très faisable

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Notre région d'étude est caractérisée par un climat de type saharien (été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible précipitation et une forte évaporation). Elle présente aussi une morphologie propre au désert (située au grand erg oriental), plus précisément des dunes fixes dont seul le sable superficiel est remodelé son cesse par le vent.

L'activité principale des habitants de cette région est l'agriculture et l'élevage. La zone repose sur une énorme quantité d'eau située à différentes profondeurs du sol.

La vallée de Oued Souf a connue un phénomène dramatique manifesté par la remonter d'eau de la nappe phréatique qui a provoqué des dégâts importants aux années (1984-1999) aux zones urbanisées par la destruction des immeubles et aux zones agricoles (Ghout) par l'asphyxie des vaccines des palmiers dattiers.

Après l'étude du schéma directeur du réseau d'assainissement, l'éradication des fosses perdues et l'extension rapide de la superficie agricole dont l'exploitation des eaux de la nappe phréatique a augmentée considérablement d'un jour à l'autre ce qui provoque que une baisse très sensible du niveau d'eau de cette nappe.

Pour mettre en équilibre et de maintenir un niveau stable de la dite nappe ainsi d'assurer la disponibilité d'eau pour l'irrigation. On a en l'intension d'effectuer l'essai de recharge artificielle à partir des eaux usées épurées, c'est le but de notre mémoire de fin d'étude.

De ce fait le mode est purement naturel à travers des bassins dits d'infiltration.

- Les eaux épurées rejetées aux bassins d'infiltration sont conforme aux normes algériennes des eaux usées rejetées au milieu naturel.
- La perméabilité du sol (1.13×10^{-4} - 1.89×10^{-4}) est bonne, permettant l'infiltration d'important volume.
- Le site de recharge artificielle est principalement sableux, ou le sable joue un rôle très primordial au traitement complémentaire des eaux usées épurées ce qui tend à améliorer la qualité d'eau de notre nappe.
- La réduction de la salinité et la charge organique et inorganique améliore de son rôle la qualité de la production agricole.

CONCLUSION GENERALE

- Le niveau d'eau de la nappe doit être contrôlé à partir des piézométriques implanté a proximité du site de recharge ainsi de la qualité d'eau stockée.
- On prévoit que la gestion des sites étudiés ainsi l'irrigation des périmètres agricoles exploitants ces eaux, doit être allouée à l'office national d'irrigation et de drainage ONID.
- Au cas d'un éventuel ex provoquant la remonté on à prévoyez un by-pass qui doit acheminer les eaux épurée du STEP vers le chott.

Economiquement, la recharge artificielle de la nappe phréatique de notre zone d'étude est mois coûteuse nécessité pas d'implantant moyen d'exploitions. elle bénéficie du la première année de son utilisation.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIES

CONCLUSION GENERALE

1. Ahmed Hannanou Soumaia Kir. Contribution A L'etude Hydrogeologique Et Essai De La Recharge Artificielle De La Nappe Phreatique De La Vallee De Qued Souf (Zone Sud). 2020
2. Recharge Artificielle Des Eaux Souterraines : État De L'art Et Perspectives Rapport Final Jcasanova, M. Cagnimel, N. Devau, M. Pottenati Sostener (Brom)
3. Direction des Ressources Hydriques