

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**Université Echahid Hamma Lakhdar
El Oued**



MEMOIRE

*Présente en vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique
Option : Ouvrage hydraulique.*

THEME :

**CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET
ESSAI DE RECHARGE DE LA NAPPE PHREATIQUE DE
VALLEE DE OUED SOUF
(ZONE SUD)**

PRESENTE PAR:

♦ Mr. Hannanou Ahmed
♦ M^{elle} KIR Soumaia

PROMOTEUR:

♦ Mr. KHECHANA Salim

Juin 2020

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier avant tout le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la force d'élaborer ce travail.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre promoteur [le Docteur KHECHANA SALIM](#) pour son aide précieuse et d'avoir suivi et dirigé ce travail, nous le remercions infiniment, pour ses conseils, ses orientations ainsi que ses remarques et ses critiques qui nous ont été d'un apport précieux, nos remerciements s'étendront aussi aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous nos professeurs de l'université d'El Oued qui ont contribué à l'enrichissement de notre connaissance.
Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude

Merci encore à tous...

RESUME:

L'objectif principal de cette étude est d'approuver l'efficacité de la recharge artificielle de la nappe phréatique par diapositif 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 recharges à la commune de Mih Ouensa ainsi 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.

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 notre 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.

الملخص:

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

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 منطقة دراستنا.

المياه المستعملة المصفاة يمكن ضخها من محطتي التصفية المزعم انجازها في كل من بلديتي اميه ونسة وكذا بلدية العقلة على مسافة

460 م/ ط 450 م/ ط على التوالي و وضعها في أحواض الترشيح والتوغل بموقعي البلديتين المذكورتين.

هناك حاجة كبيرة في تخزين المياه داخل الطبقة المائية الجوفية الحرة لمنطقة الدراسة بالنظر للتنفاذية الجيدة للتربة داخل الأحواض المذكورة. نظرا لقدره التربة للتنقية يمكن القول أن المياه المخزنة داخل الطبقة المائية المعنية ذات نوعية جيدة ويمكن استعمالها في محيطات الزراعة بالمنطقة دون أخطار بيئية تذكر.

الدراسة الاقتصادية لمشروع التغذية الاصطناعية للطبقة المائية الجوفية في منطقة دراستنا تبين أن انجاز هذا الأخير ممكن وبمردودية جيدة.

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

LISTE DES ABREVIATIONS :

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.
DRE : Direction des Ressources en eau.
GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
ONA : Office nationale de l'assainissement.
ONM : Office National Météorologique.

TABLE DES MATIERES :

Résumé	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
INTRODUCTION GENERALE	1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. INTRODUCTION	4
II. PRESENTATION DE LA ZONE	4
II.1. Situation géographique:	4
II.2 La topographie de la région:	6
II.3. Situation climatologique:	8
II.3.1. Pluviomètre	8
II.3.2. Température	9
II.3.3.Vent:	10
II .3.4. L'humidité relative:	11
II.3. 5. L'évaporation:	12
II.3 .6. L'ensoleillement:	12
II.3 .7. Diagramme pluvio-thermique :	13
II.4. CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE :	14
II.4.1. Evapotranspiration	14
II.4.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :	16
II.5. Etablissement du bilan :	17
II .5. CONCLUSION:	18

CHAPITRE II : GEOLOGIE ET HYDRAUGEOLOGIE

I. INTRODUCTION	20
II. GEOLOGIE REGIONALE :	20
II.1. Lithostratigraphie:	21
II.1.1. les formations du Secondaire:	21
II.1.2. Les formations d Tertiaire :	23
II.1.3. Formations du Quaternaire :	24
III. HYDROGÉOLOGIE	25
III.1. Présentation des nappes aquifères de la région d'étude :	25
III.2. Nappe phréatique	26
III.3. Nappe du Complexe Terminal (CT) :	26
III.4. Nappe du Continental Intercalaire (CI) :	27
IV.CONCLUSION :	28

CHAPITRE III : NOTION DE LA RECHARGE DE LA NAPPE

I. INTRODUCTION	30
II. Aquifère:	30
II.1. Définition :	30
II.2. Différents type d'aquifères :	30
II.2.1. Aquifère à nappe libre	30
II.2.2. Aquifère à nappe semi captive :	30
II.2.3. Aquifère à nappe captive :	31
III. RECHARGE ARTIFICIELLE :	31
III.1. Définition :	31
III.2. Objectif de la recharge artificielle :	32
III.3. principales technique de recharge artificielle :	33
III.3.1. Méthode d'injection directe :	33
III.3.2. Recharge artificielle indirecte (Réalisation artificielle induite) :	34
III.3.3. Recharge artificielle passive :	34
III.3.4. Les bassins d'infiltration :	35
III.4. les différentes propriétés du bassin d'infiltration:	36
III.4.1. Les propriétés physiques intrinsèques du bassin:	36
III.4.2. les propriétés physiques chimiques et micro-biologiques de l'eau d'infiltration:	37
III.5. Avantages et inconvénients de la technique du bassin d'infiltration :	38
III.6. Contraintes hydrogéologiques et réglementaires à la recharge artificielle :	
III.6.1. Contraintes associées à la nature de l'aquifère	
III.6.2. Contrainte associées à la capacité géo épuratoire du sol et du sous sol	
III.6.3. Contrainte associées à la capacité de stockage	
III.6.4. Contraintes réglementaires	40
IV. Conclusion:	42

CHAPITRE IV : RECHARGE ARTIFICIELLE

I. INTRODUCTION	44
II. TOPOGRAPHIE DE LA ZONE:	44
III. NAPPE PHREATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE:	45
III.1. Substratum de la nappe :	45
III.2. Epaisseur de la nappe :	47
III.3. Niveaux piézométriques de la nappe phréatique:	47
IV. ETAT PREVISIONELLE:	51
IV.1. Paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique de la zone d'étude :	54
IV.2. Amélioration du niveau de traitement de l'eau pourvoir épurateur du sol :	54
V. ESTIMATION DE LA QUANTITE D(EAU DEPLOYEE AU SYSTEME DE RECHARGE ARTIFICIELLE :	54

V.1. Evaluation du débit moyen journalier des eaux usées :	54
V.1.1 .Evaluation de la population 2019 – 2049:	55
V.1.2. Estimations les besoins en eau potable en différents horizons (2019 – 2049):	55
V.2. Estimation de la réserve :	57
V.3. Calcule d débit d’infiltration :	57
VI. DIMENSIONNEMENT DES BASSIN D4INFILTRATION:	65
VII. QUALITE DES EAUX UTILISEES A LA RECHARGE ARTIFICIELLE:	67
VII.1: Normes de rejet:	67
VII.2. Qualité des eaux épurées prévisionnelle :	67
IX.CONCLUSION	68

CHAPITRE V : ETUDE ECONOMIQUE

I. INTRODUCTION	70
II. INVISTISSEMENT	70
III. CHARGE ANNUELLE D’EXPLOITATION:	72
IV. EFFET ECONOMIQUE:	73
IV.1. Efficience économique :	73
IV.1.1. Valeur de la production d’eau rechargée :	72
IV.1.2. Prix de revient des mètres cube d’eau produit :	72
IV.1.3.Prix de vent d’un m ³ d’eau pour l’irrigation :	74
IV.2. Bénéfice :	74
IV.2.1. Coefficient d’efficience économique :	74
IV.2.2. Délai de recouvrement :	75
V. CONCLUSION :	75
CONCLUSION GENERALE:	77

LISTE DE TABLEAUX

Tab I.1 récapitulatif sur la densité des communes de la zone d'étude	6
Tab I.2 : Répartition mensuelle de la pluviométrie (1976-2018)	8
Tableau I.3 : Répartition mensuelle de la température (1976-2018).	9
Tab I.4 : Les variations de la vitesse moyenne mensuelle du vent (1976-2018)	10
Tab I.5 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative (1976-2018)	11
Tab I.6 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation (1976-2018)	12
Tableau I.7 : Les moyennes mensuelles de l'ensoleillement (1976-2018)	13
Tableau I.8: Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	13
Tab I.9: Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thorntwaite (1976-2006)	15
Tab.I.10: Résultats de l'application numérique de la formule de TURC (1976-2018).	16
Tab II.11 : bilan hydrique d'après Thorntwaite (1976-2018).	17
Tab III.1 : récapitulatif des avantages et des inconvénients des dispositifs de recharge type bassin d'infiltration.	38
Tab IV.1 : Les profondeurs et les niveaux du substratum des points d'eau	45
Tab IV.2. Différents niveaux du puits à travers la zone d'étude	47
Tab.IV.3 : récapitulation des paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique:	54
Tab IV.4: évaluations de la population 2019- 2049.	55
Tab IV.5 : les besoins en AEP en différents horizons (2019- 2049):	56
Tab IV.6: Débits des eaux usées domestiques à différents horizons (2019- 2049):	56
Tab IV.7: Débits de deux rejets différents horizons (2019- 2049):	57
Tab IV.8 : la perméabilité des différents types de sols :	58
TabIV.9. Volumes annuelles d'eau de recharge :	58
TabIV.10 : Dimensionnement des bassins d'infiltration :	65
Tableau IV.11: les normes des rejets	67
Tableau IV.1: Résultat des analyses des eaux épurées:	68
Tab.V.1.Dépenses pour investissement (devis estimatif):	70
Tab.V.2. Charge annuelle d'exploitation	72
Tab : V.3. Volume d'eau de recharge.	73
Tab.VII.4. Bénéfice	75

LISTE DES FIGUURES

Fig I.1 Situation géographique de la zone d'étude	5
Figure 1.2: Carte topographique de la vallée du Souf	6
Fig I.3 : Répartition mensuelle de la pluviométrie (1976-2018)	8
Figure 1.4: Répartition mensuelle de la température (1976-2018)	9
Figure 1.5 : Les variations de la vitesse moyenne mensuelle du vent (1976-2018)	10
Fig I. 6 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative(1976-2018)	11
Fig I.7 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation (1976-2018)	12
Fig I.8: Les moyennes mensuelles de l'ensoleillement (1976-2018)	13
Fig I.9: Diagramme pluvio-thermique de la station de Guemar (1976-2018)	14
Fig II.1 : Carte géologique de la zone d'étude	24
Fig II.2 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	25
Fig III.1 : Aquifère à nappe libre	30
Fig III.3 : Aquifère à nappe captive	31
Fig III.4 : Schéma présentant une partie des différents types de recharges artificielle dans différents environnements hydrogéologiques	34
Fig III.5 : Schéma simplifié de la technique de recharge par bassin d'infiltration	44
Fig IV.1. Carte topographique de la zone du sud	46
Fig IV.2. Carte de niveau du substratum de la zone du sud.	46
Fig IV.3. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2008).	48
Fig IV.4. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2010).	49
Fig IV.5. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2014).	50
Fig IV.6. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2019).	51
Fig.IV. 7. Carte situation des sites de deux STEP	53
Fig.IV. 8. Carte situation des sites de recharge artificielle.	64
Fig IV.9. Disposition 3D du bassin d'infiltration	65
Fig IV.10: coupe transversale du bassin d'infiltration	66
Fig IV.11 : coupe longitudinale du bassin d'infiltration	66

INTRODUCTION GENERALE

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 de puis 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 de Oued Souf, aux zones sud de la vallée à partir des eaux usées épurées issues des STEP situées 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

I. INTRODUCTYION :

Dans ce chapitre, on va donner un aperçu historique sur la région d'étude, puis on donne quelques informations sur ses différents composants climatiques.

II. PRESENTATION DE LA ZONE:

II.1. Situation géographique:

El oued est située dans le Sahara algérien, c'est une Wilaya depuis 1984 et couvre une superficie totale de 44586.80 km², la population est de 900000 habitants (DRE 2019), se trouve à environ 700 km au Sud- Est d'Alger (Figure I.1) et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie). Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa,
- A l'Est par la Tunisie,
- A l'Ouest par les wilayas Biskra, Djelfa et Ouargla,
- Au Sud par la Wilaya d'Ouargla.

L'aire d'étude représente la vallée du Souf, par 7°E et 33°5N. La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée :

- ✓ Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental.
- ✓ Au Nord-est par une série de chotts.
- ✓ A l'Ouest par l'Oued Right et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt.

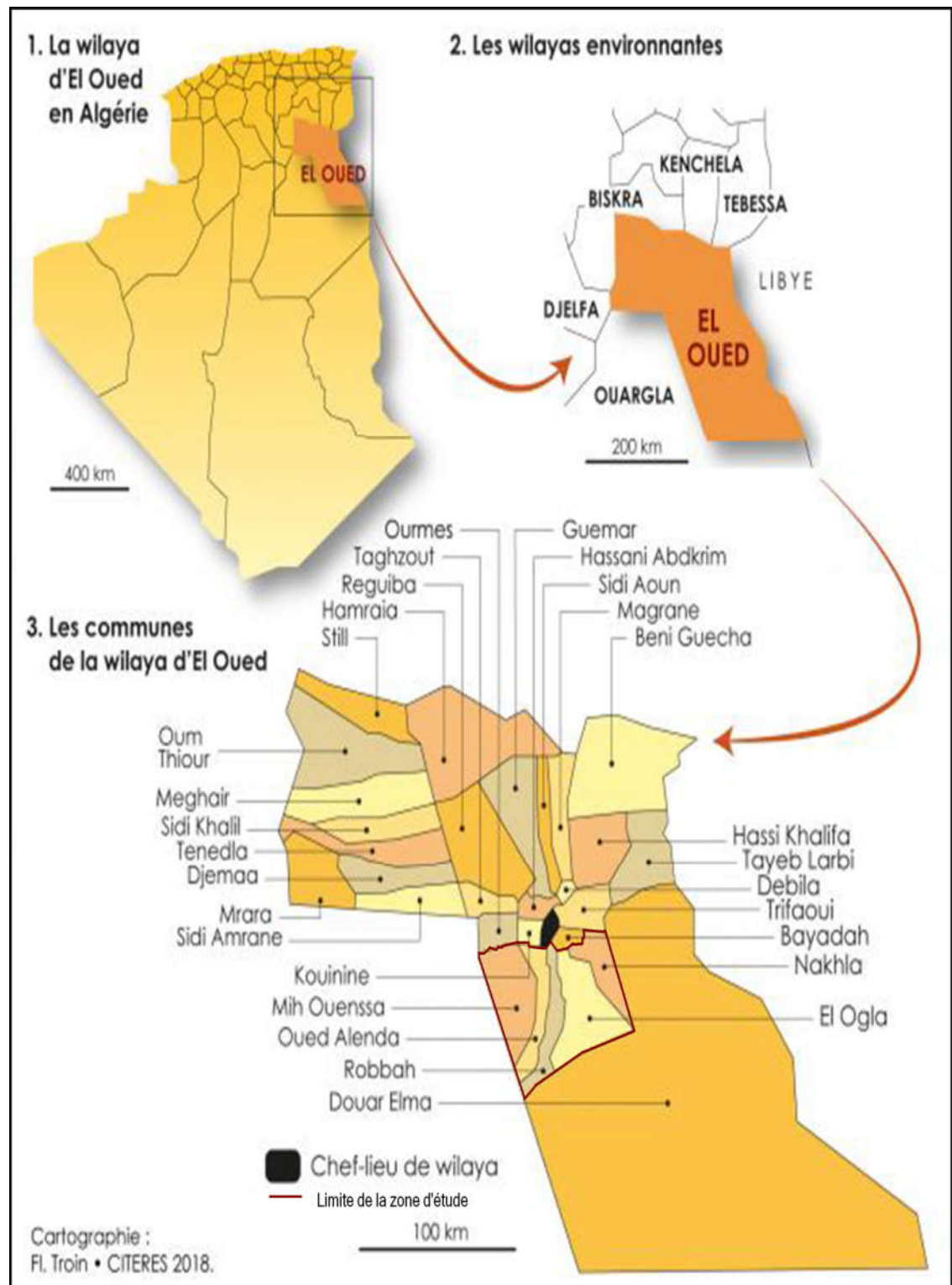


Fig I.1: Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude située au sud de la vallée d'Oued Souf compte 05 communes regroupées en deux Daire Mih Ouensa et Robbah. Elle occupe une superficie de 4374.4 Km² englobant une population de 88775 habitants (DPSB 2019).

Tab I.1: récapitulatif sur la densité des communes de la zone d'étude.

Commune	Superficie (Km ²)	Population	Densité (hab/ Km ²)
Mih-Ouensa	1111.20	23885	21.49
Oued-Alenda	712	8545	12
Robbah	499.20	29685	59.47
Nakhla	700	18040	25.77
Ogla	1352	8620	6.38
Total	4374.4	88775	20.29

Source : DPSB El-Oued2019.

II.2 La topographie de la région:

La région de Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara caractérisée par une faible altitude au Sud-est du pays. Le point le plus haut se trouve à la côte 125m dans la ville Bayada (Essoualah), alors que le point le plus bas se trouve à la cote -3 m à Foulia commune de Réguiba (ANRH/2016).

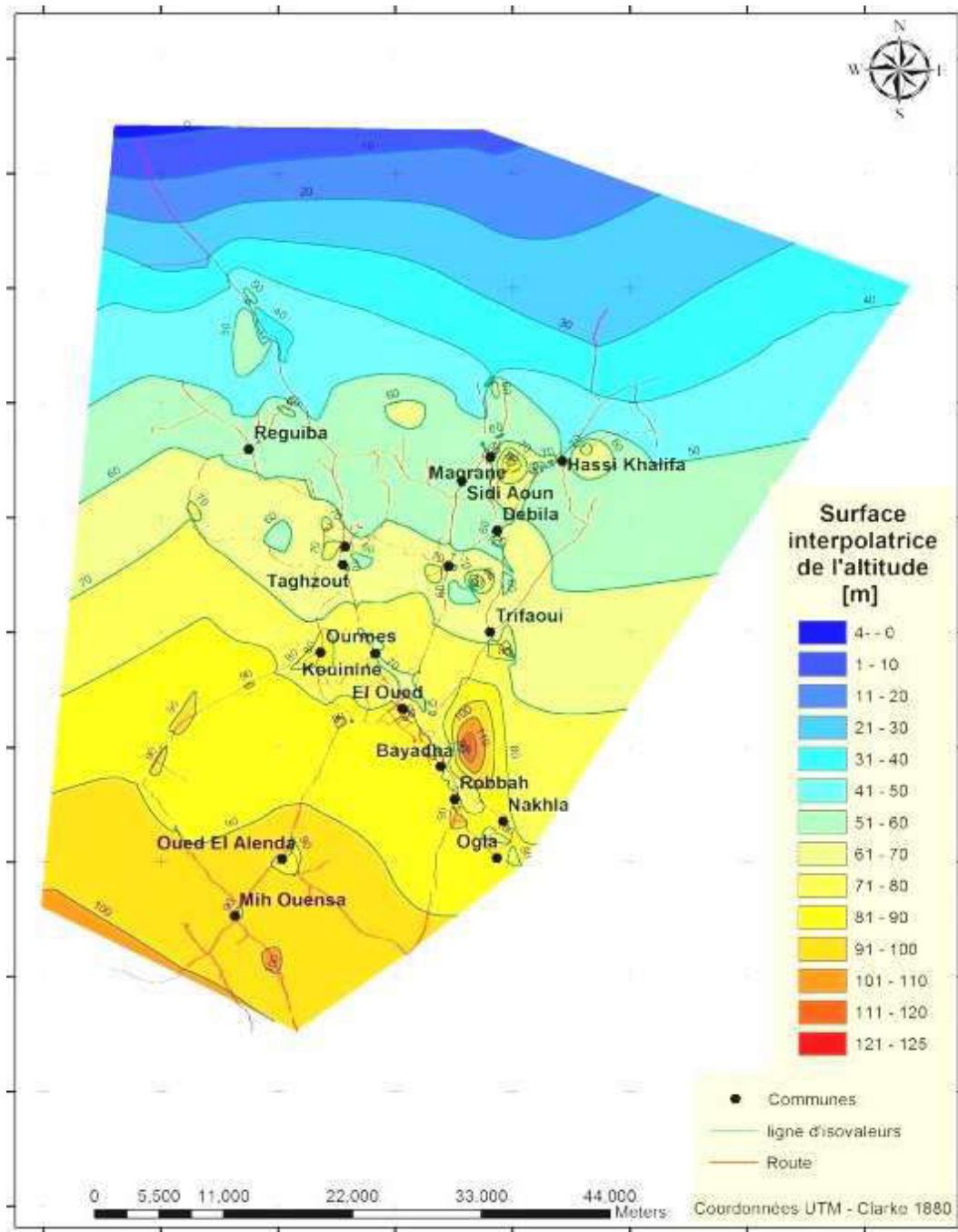


Figure 1.2: Carte topographique de la vallée du Souf Source :DRE d'El-Oued, 2016

L'altitude moyenne de la région est de 61 m et dénonce une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 m au dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts (ANRH, 2016).

II.3. Situation climatologique:

Le climat est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation.

La caractérisation du climat du zone d'étude a été établie sur la base des données climatiques disponibles de la station météorologique O.N.M. d'EL OUED pour la période allant de **1976 à 2018**.

II.3.1. Pluviométrie:

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable dans l'hydro climatologie qui sert à obtenir une description des régimes pluviométriques d'une part et d'autre part son rôle sur l'écoulement.

Tab I.2 : Répartition mensuelle de la pluviométrie (1976-2018)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
p(mm)	5.37	7.18	9.06	6.24	14.66	6.92	8.05	6.67	4.78	1.45	0.48	1.98	72.84

Source: :(ONM 2019)

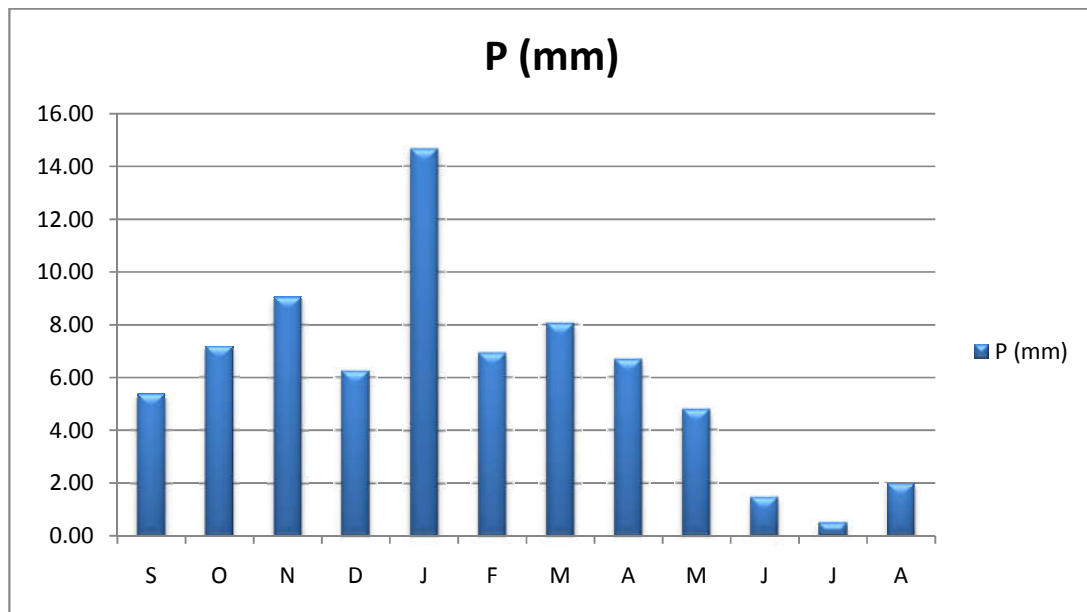


Fig I.3 : Répartition mensuelle de la pluviométrie (1976-2018)

La moyenne annuelle des précipitations enregistrées au cours des 42 années est faible, elle est estimée 72.84 mm, avec un maximum des jours de pluies au mois des janvier 14.66 mm et un minimum de 0.48 mm jours de pluies au mois de juillet.

Sa répartition à travers les mois et les saisons se fait d'une manière irrégulière, la période la plus pluvieuse est la période à partir du mois de septembre au mois de mars.

II.3.2. Température:

La température est un paramètre important dont il faut tenir compte pour la caractérisation d'une région donnée. Le tableau suivant représente la répartition moyenne mensuelle de la température.

Tableau I.3 : Répartition mensuelle de la température (1976-2018).

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Tmoy	30.29	24.19	17.5	12.43	11.77	14.3	18.51	22.2	27.61	32.24	35.03	29.47	22.96

Source: :(ONM 2019)

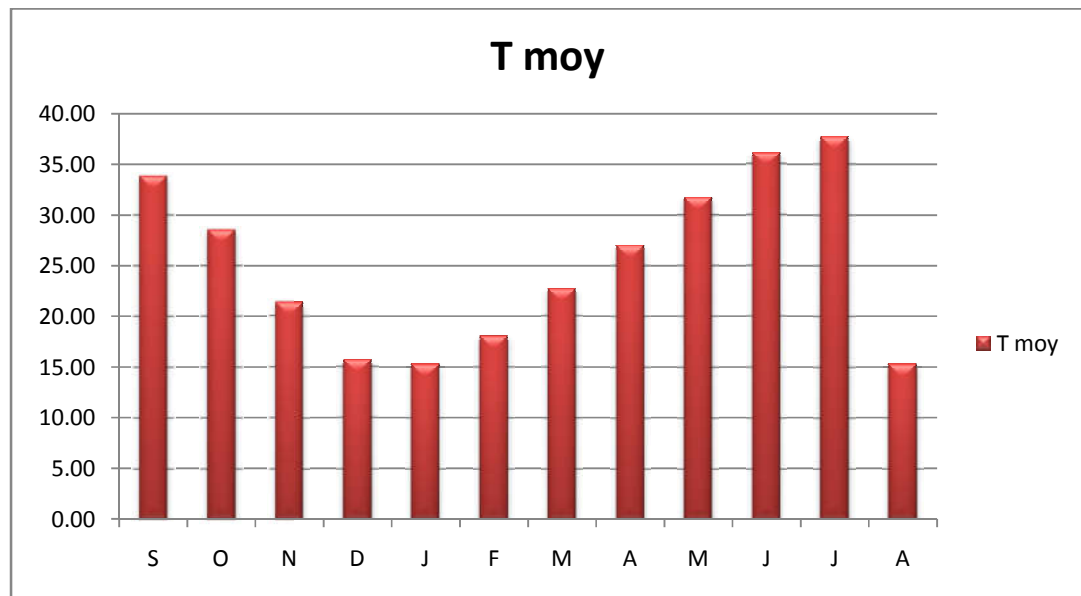


Figure I.4: Répartition mensuelle de la température (1976-2018)

La température moyenne annuelle dans la zone du projet est de **22.96°C**. La température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois de juillet avec **35,03°C** et la plus basse est observée au mois de janvier (**11.77°C**).

Les températures maximales sont d'une façon générale élevées tous les mois de l'année sauf en hiver, ce qui indique un climat chaud.

Les températures minimales sont supérieures à 0°, ce qui indique que les basses températures ne constituent pas une contrainte pour les cultures.

II.3.3.Vent:

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares.

Tab 1.4 : Les variations de la vitesse moyenne mensuelle du vent (1976-2018)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moy
V m/s	4.08	2.81	2.88	3.04	2.99	3.64	4.06	4.99	5.14	5.15	4.66	4.28	3.98

Source: :(ONM 2019)

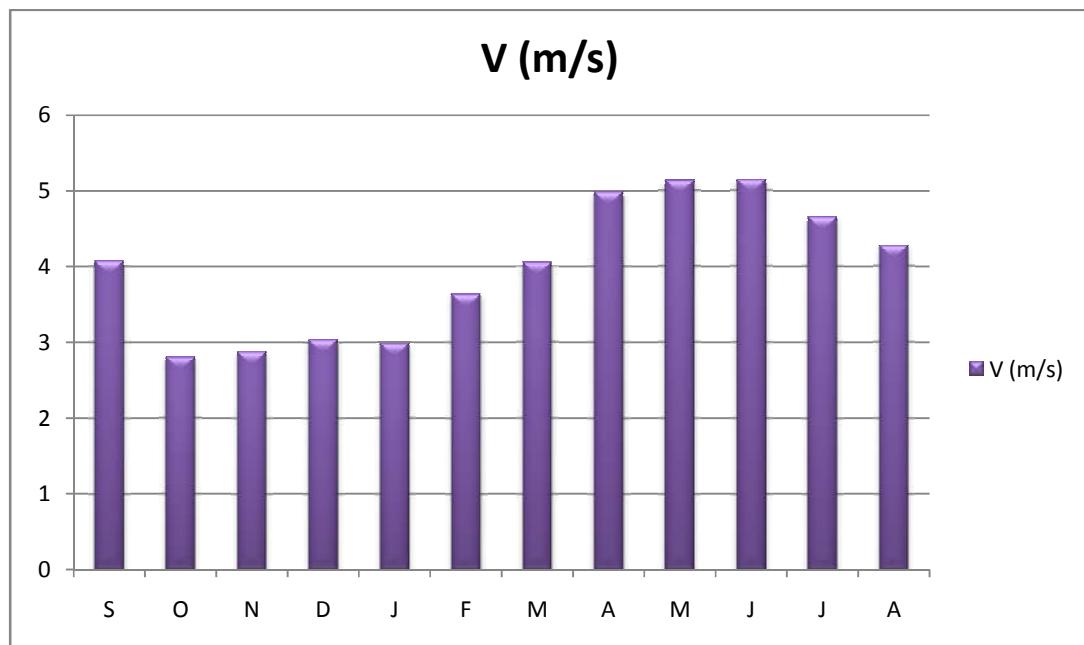


Figure I.5 : Les variations de la vitesse moyenne mensuelle du vent (1976-2018)

Nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant le mois de Février jusqu'à le mois d'Aout, avec un maximum de 5.15 m/s durant le mois Juin. Le chihili (ou sirocco) provoque des dégâts très sévères (dessèchement, déshydratation); Les vents de sable freinent considérablement l'activité socio-économique et envahissent les cultures.

II.3.4. L'humidité relative:

La région se caractérise par un air sec. Avec une humidité moyenne annuelle de 47.59% le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre. La valeur de l'humidité moyenne maximale dans la région est enregistrée pendant le mois de Décembre avec 66.99% et la valeur de l'humidité moyenne minimale dans cette région est enregistrée pendant le mois de Juillet avec 31.15%.

Tab I.5 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative (1976-2018)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Humidité %	46.87	51.47	59.39	66.99	63.77	54.42	48.02	42.62	37.43	34.44	31.15	34.46	47.59

Source : (ONM 2019)

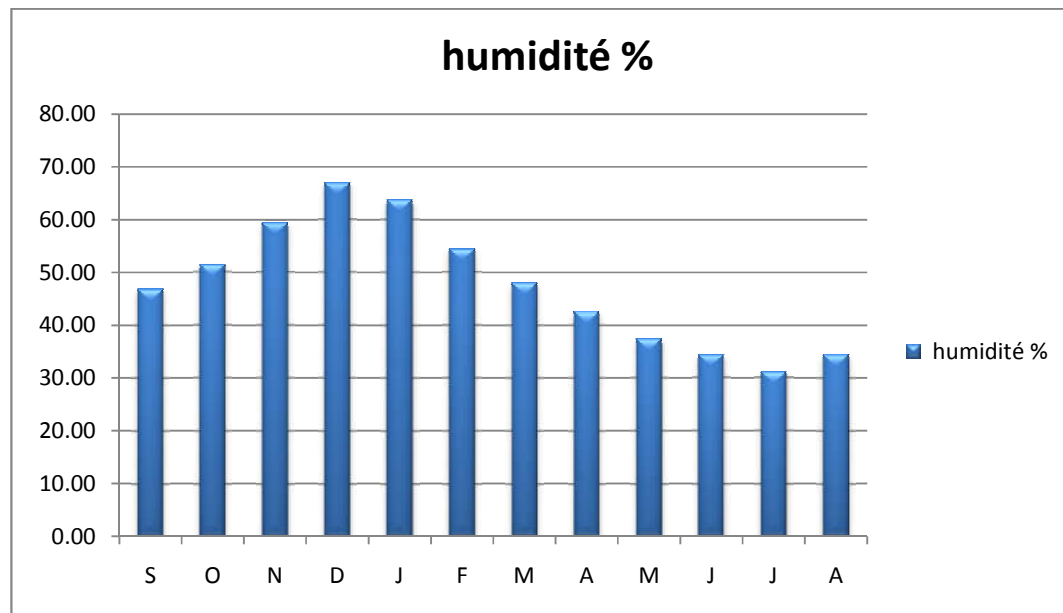


Fig I. 6 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative(1976-2018)

II.3. 5. L'évaporation:

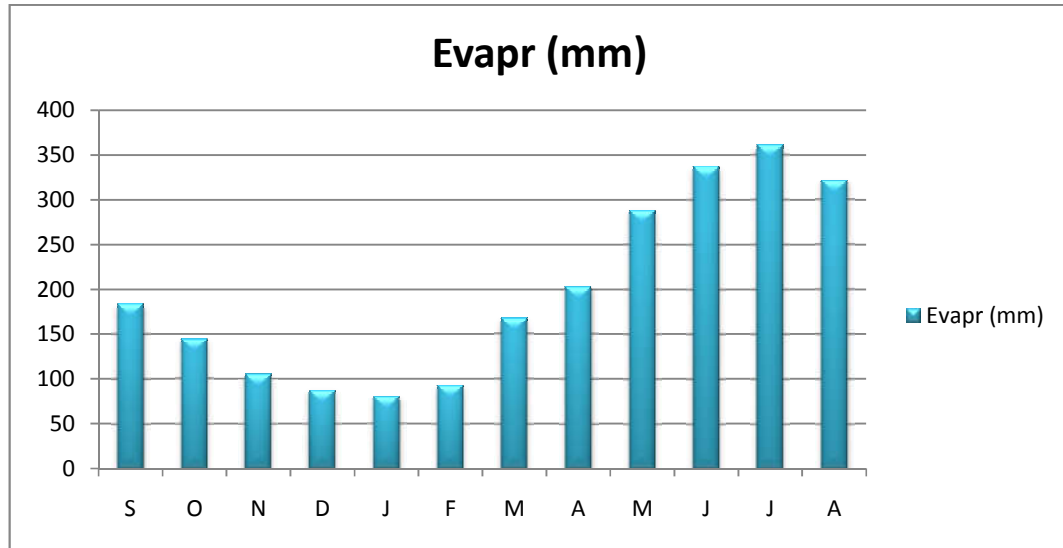
L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux. Ce phénomène est donc une vaporisation progressive.

Le tableau ci-après fait ressortir que l'évaporation maximale est de l'ordre de 361.5 mm enregistré pendant le mois de Juillet.

Tab I.6 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation (1976-2018)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Evapor (mm)	184.2	144.8	105.2	87.3	80.3	93.1	167.7	203	288.5	337.3	361.5	321.3	2374.2

Source: ONM 2019

**Fig I.7 :** Les moyennes mensuelles de l'évaporation (1976-2018)**II.3 .6. L'ensoleillement:**

Les radiations solaires sont importantes au Sahara, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année.

On peut remarquer que les valeurs les plus importantes sont enregistrées en période allant du mois de Mars ou mois de mai, la valeur la plus élevée est celle du mois de juillet avec une valeur de 360 Heures.

Tableau I.7 : Les moyennes mensuelles de l'ensoleillement (1976-2018)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Ensol (Heur)	282.1	266	239.2	233.3	268.3	255.2	284.7	296.9	317.9	353.1	360	339.3	3496.08

Source: ONM2019

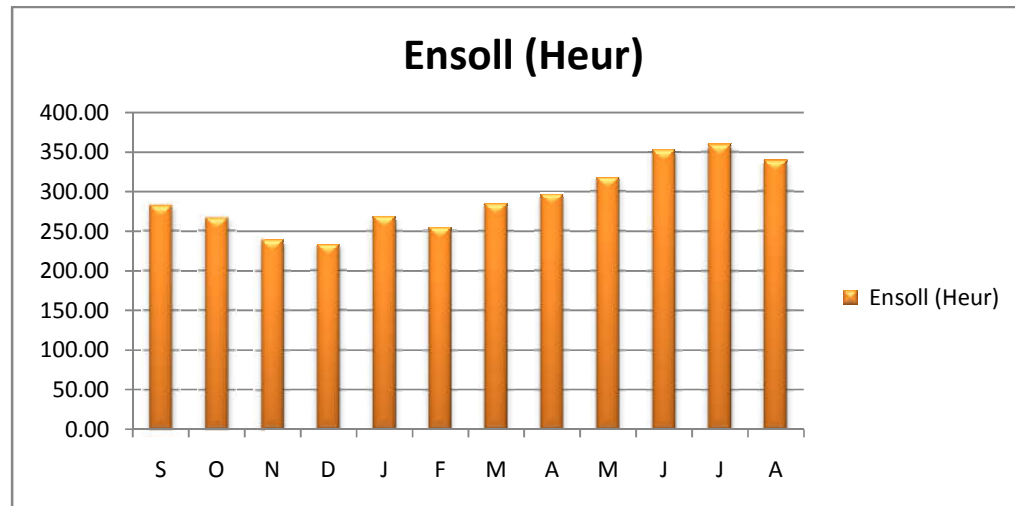


Fig I.8: Les moyennes mensuelles de l'ensoleillement (1976-2018)

II.3 .7. Diagramme pluvio-thermique :

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station de Guemar sur une période de 42 années, permettent l'établissement du diagramme pluvio-thermique (Fig I.9.). Suivant Gaussen et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Le diagramme pluvio-thermique montre que la période sèche est étendue sur les douze mois de l'année dans la zone d'étude.

Tableau I.8: Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2T(°C)	23.54	28.6	37.02	44.4	55.22	64.48	70.06	58.94	60.58	48.38	35	24.86
p(mm)	14.7	5.29	7.99	7.43	4.44	1.36	0.26	1.84	5.72	6.75	7.24	6.21

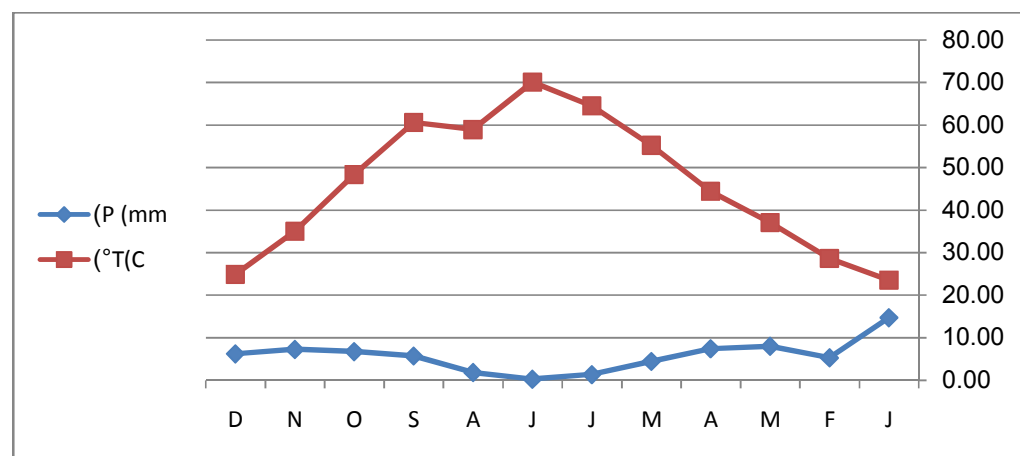


Fig I.9: Diagramme pluvio-thermique de la station de Guemar (1976-2018)

II.4. Calcule des paramètres de bilan hydrique:

II.4.1. Evapotranspiration :

C'est un élément principal de bilan hydrique, désigne toutes les pertes en eaux par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, elle regroupe l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et cette dernière avec la formule de Turc pour estimer l'évapotranspiration réelle (ETR) :

a. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

La formule utilisée pour le calcul est :
$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm)

T : température moyenne mensuelle de l'air (°C)

I : indice thermique annuel

$$a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

Calcul de l'indice thermique mensuel i : $i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.514}$ D'où $I = \sum i$

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Tab I.9: Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thorntwaite (1976-2006)

Mois	T(C°)	i	K	ETP (mm)
Setembre	30.29	15.29	1.03	149.76
Octobre	24.19	10.88	0.97	80.09
Novembre	17.5	6.66	0.88	32.18
Décembre	12.43	3.97	0.86	13.30
Janvier	11.77	3.66	0.88	11.86
Février	14.3	4.91	0.86	18.92
Mars	18.51	7.25	1.03	43.37
Avril	22.2	9.55	1.09	72.52
Mai	27.61	13.29	1.19	137.05
Juin	32.24	16.81	1.2	204.13
Juillet	35.03	19.06	1.22	255.72
Août	29.47	14.67	1.15	156.05
Total	275.54	126.00	-	1174.94

b. l'évapotranspiration réelle (ETR):

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons plusieurs méthodes, mais l'ETR s'écarte plus ou moins de l'ETP, selon le climat et la nature de la surface évaporant.

.1. Méthode de Thorntwaite:

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W Thorntwaite, où on distingue deux cas principaux :

1. Si $P - ETP > 0$; c-a-d : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.
2. Si $P - ETP < 0$; c-a-d : $P < ETP$, ce cas est subdivisé encore en deux cas :
 2. a- Si $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$.
 2. b- Si $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$.

Les résultats des calculs sont résumés dans les tableaux 11 (bilan hydrique).

b.2. Formule de Turc :

C'est une méthode empirique qui se base sur de nombreuses données hydrologiques, cette expression est la suivante:

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

ETR : L'évapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : paramètre exprimant le pouvoir évaporant de l'atmosphère, il a pour expression :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \text{d'où } T \text{ est la température moyenne annuelle en } ^\circ\text{C}.$$

Tab.I.10: Résultats de l'application numérique de la formule de TURC (1976-2018).

P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
72.84	22.96	1479.18	76.68

II.4.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

On peut calculer la RFU d'après la formule de Hallaire : $RFU = \frac{1}{3} Da.He.P$

RFU : réserve facilement utilisable en cm.

Da : Densité apparente du sol.

He : Humidité équivalente du sol.

P : profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en mm.

RFU = 50 mm, C'est la valeur maximale de la réserve facilement utilisable, mais seulement dans les régions sahariennes (d'après les agronomes de l'institut National d'agronomie d'Alger).

II.5. Etablissement du bilan :

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur une grande période. $P = ETR + EX$

Avec : P : précipitation en (mm) ;

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

EX : Excédent : $EX = R + I$; R : ruissellement, I : infiltration.

Le tableau II.18, résume le calcul du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite à partir de la pluviométrie et des températures mensuelles.

Tab II.11 : bilan hydrique d'après Thornthwaite (1976-2018).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	TOTAL
P (mm)	5.37	7.18	9.06	6.24	14.66	6.92	8.05	6.67	4.78	1.45	0.48	1.98	72.84
ETP	149.8	80.09	32.18	13.3	11.86	18.92	43.37	72.52	137.1	204.1	255.7	156.1	1174.94
P-ETP	-144	-72.9	-23.1	-7.06	2.8	-12	-35.3	-65.9	-132	-203	-255	-154	-1102
RFU	0	0	0	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	2.8
ETR	5.37	7.18	9.06	6.24	11.86	9.72	8.05	6.67	4.78	1.45	0.48	1.98	72.84
DA	144.4	217.3	240.4	247.5	244.7	256.7	292	357.9	490.1	692.8	948.2	1102	1102.2
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Formule de vérification :

1. $\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EX$ On a: $\Sigma ETR + \Sigma EX = 72.84 + 0 = 72.84 = \Sigma P$.
2. $\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA$ On a:

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA = 72.84 + 1102.1 = 1174.94 = \Sigma ETP.$$

Au terme de ce bilan hydrique selon Thornthwaite, nous pouvons dire que :

- Au cours de l'année, la pluviométrie annuelle dépasse une fois l'évapotranspiration potentielle.
- L'ETP atteint le maximum au mois de juillet (255.7mm) et son minimum au mois de Janvier (11.86 mm).
- La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de Janvier avec une valeur de 2.8 mm et le reste de l'année est épuisée.
- La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure 11 mois de l'année (sauf Janvier).

- Il y a un déficit agricole durant toutes l'année d'où la nécessité d'irriguer.
- L'excédent est nul durant toute les saisons de l'année, d'où l'alimentation de l'aquifère ne se fait probablement donc qu'à partir des limites.

II .5. CONCLUSION:

Le climat de la région semblable au désert algérien, est caractérisé par un climat désertique caractérisé par:

- Chaleur extrême et sécheresse en été ;
- Froid en hiver ;
- Vent de sable au printemps et cirocco en été la fluctuation des précipitations en automne et en hiver ;
- Manque d'humidité dans l'atmosphère pendant l'été ;

La région d'El-Oued est située dans l'étage bioclimatique aride. Elle est caractérisée par la faiblesse de la pluviométrie avec moyenne de 72.84 mm/an, les fortes amplitudes thermiques, une intense évaporation moyenne de 47.59 % ainsi que par l'existence de vent qui sont parfois violents et catastrophiques. Elle renferme d'immenses ressources hydriques mais par contre la qualité de ces eaux exige au préalable traitements (deminéralisation, adoucissement, refroidissement, défluoruration...).

L'établissement du bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres nous permettent de ressortir les résultats suivants:

- Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 2.8 mm pendant le mois de janvier.

La précipitation est de l'ordre de 72.84 mm qui contribue complètement à l'évapotranspiration réelle.

Concluant que les conditions climatiques ne contribuent pas à la recharge de la nappe libre.

CHAPITRE II

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

I. INTRODUCTION:

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet de la détermination des horizons susceptibles être aquifères.

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. GEOLOGIE REGIONALE :

Le Sahara a subi au cours des temps géologiques plusieurs périodes de stabilité et d'instabilité qui ont conduit à la structure actuelle.

Les principaux traits de la structure géologique et la reconstitution paléogéographique du Sahara sont:

- Le socle précambrien.
- Les Tassilis.
- Les mers primaires et les plissements hercyniens.
- Le continental intercalaire.

Ce régime continental dure jusqu'au milieu de la période crétacé: soit entre 175 et 100 million d'années.

Le développement des grès a été particulièrement abondant de l'Hauterivien à l'Albien et à ce dernier étage surtout.

L'importance provient de la perméabilité et de l'extension de ses grès qui renferment actuellement la plus grande ressource aquifère du Sahara. Constituant l'un des plus importants bassins artésiens du monde.

- La dernière invasion marine(Transgression Cénomaniennne).

- La phase continentale tertiaire et actuelle.

II.1. Lithostratigraphie:

II.1.1. les formations du Secondaire:

Le Trias:

Les formations triasiques reposent transgressivement sur la surface érodée des roches sédimentaires et effusives de la série inférieure. Il est constitué d'argile rouge avec abondants amas de gypse et de chlorure de sodium, le tout intercalé de coulées basaltique. On trouve également des grès fin, argileux, à rares passées de calcaires dolomitique. Cette formation curieuse n'a pu s'élaborer que sous un climat spécial, probablement subdésertique.

Le jurassique:

Il est représenté par des sédiments lagunaires, marins et continentaux et fait partie de la formation du Continental Intercalaire.

- **Jurassique inférieur (Lias):**

Constitué essentiellement d'anhydrites à passées d'argile, calcaires et de sel blanc rose, on peut trouver également des calcaires oolithiques et des marnes.

- **Jurassique moyen (Dogger):**

Représenté essentiellement d'anhydrites et par une alternance de calcaire, de grès souvent glauconieux et d'argiles bariolées.

- **Jurassique supérieur (Malm):**

C'est une série argilo-gréseuse à passées de calcaire, d'anhydrites et dolomies, la présence de glauconie est bien caractéristique.

Le Crétacé:

Comme on l'a déjà remarqué dans l'étude de la géologie régionale, le Crétacé (jusqu'au Cénomanién) est représenté dans la majeure partie du Sahara algérien par des faciès continentaux du Continental intercalaire.

- **Le crétacé inférieur:**

Le Néocomien:

Il est représenté par des sédiments continentaux bariolées grés-argileux avec quelques passées d'anhydrite.

Le Barrémien:

Cet étage est généralement percé par tous les forages de Continental Intercalaire réalisés dans le bas de Sahara. Il présente une alternance de grès avec passage d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on a également des sables avec présence de silex. D'après les forages d'El-oued l'épaisseur moyenne est variable (entre 200 et 240 mètres).

L'Aptien:

Il est principalement constitué de formations dolomitiques, marneuses et marnocalcaires.

D'après les coupes géologiques des forages de la région, cet étage est le seul dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

L'Albien:

Il formé d'une alternance de marnes, de grès, de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argiles. Sa 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.

A l'Est de la région d'étude l'épaisseur de cette étage varie de 100 à 150 m, par endroits elle peut atteindre 200 mètres.

Le Vraconien:

Il constitue une zone de transition entre l'Albien greso-sableux et le Cénomani argilo-carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo-dolomitiques.

On trouve aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire. Les niveaux argileux que contient cet étage présentent une importance, car ils constituent la couverture de l'Albien. L'épaisseur varie entre 250 et 300 mètres.

Le Cénomani:

Constitué par une alternance de dolomies, de calcaire dolomitique, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites.

Ces formations donnent à cet étage le caractère d'un écran imperméable. La limite inférieure est caractérisée par les évaporites, les dolomies, qui la distinguent nettement de la limite supérieure dont les formations sont les évaporites et les calcaires.

Le turonien :

La nature lithologique de ses formations est dolomies microcristallines compactes avec des intercalations de calcaire sénoniens et par fois des marnes. Il constitue la base du Complexe Terminal, son épaisseur varie, par endroit, elle dépasse parfois les 650 mètres.

La Sénonien :

Les différentes études géologiques effectuées à travers le Sahara Algérien montrent une différence, du point de vue faciès, entre le sénonien lagunaire situé à la base et le Sénonien carbonaté situé à la partie supérieure.

II.1.2. Les formations d Tertiaire :

L'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire, formées par des argiles et sables, parfois on rencontre du gypse et gravier. L'épaisseur de cet horizon varié entre 150 et 200 mètres.

Le Mio-Pliocène :

Les 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 des passées de grès.

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

Il existe quatre niveaux :

- **Niveaux argileux :**

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental.

Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénon-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

- **Niveaux grès sableux :**

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

- **Niveaux argileux :**

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau sableux miopliocène.

- **Niveau sableux :**

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

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 et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

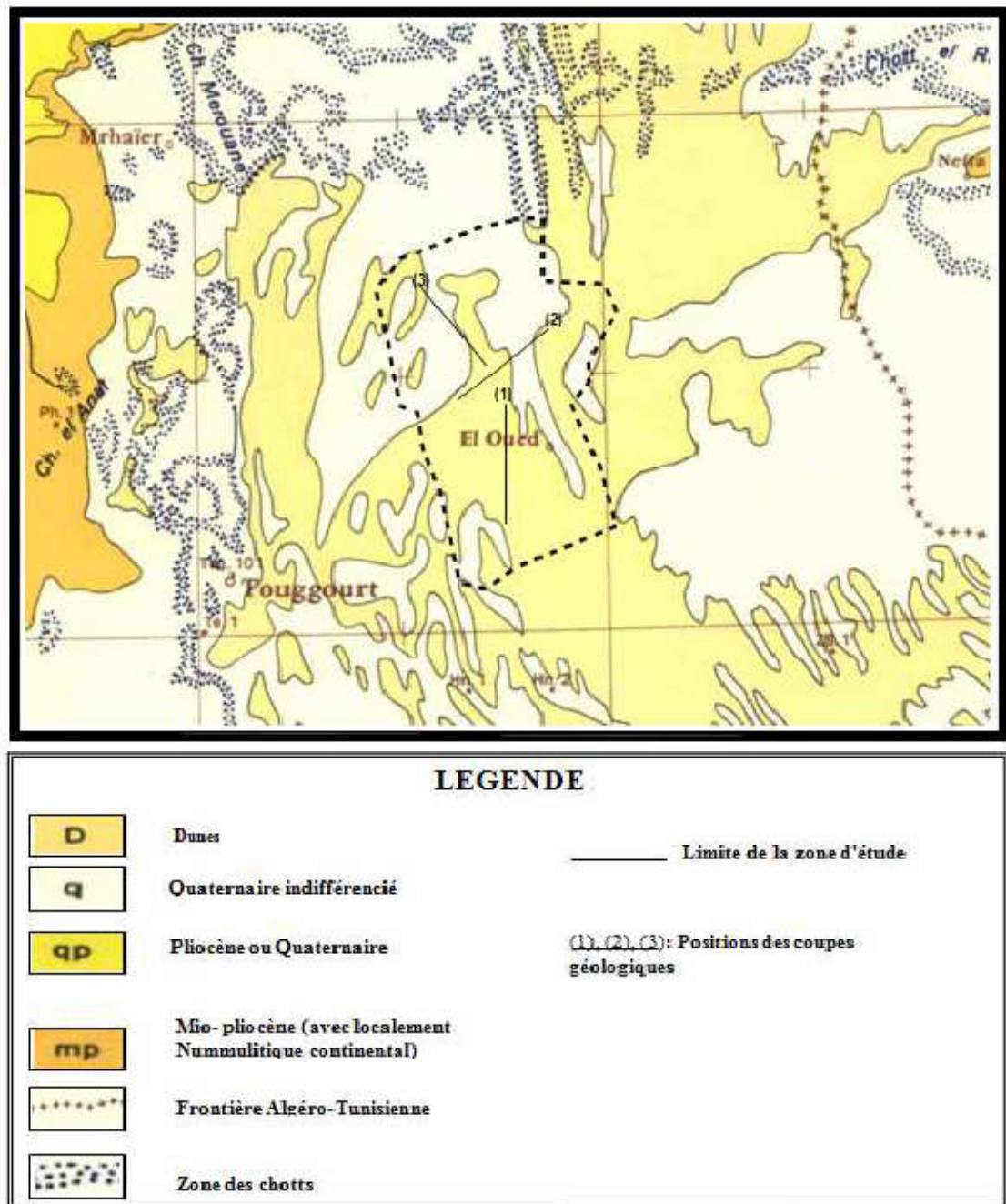


Fig II.1 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional G. Busson 1970) .

III. HYDROGÉOLOGIE :

L'étude hydrogéologique a pour finalité la planification de l'exploitation des ressources en eaux souterraines, ceci après avoir une idée sur le comportement et l'évolution de la surface piézométrique, ainsi sur le comportement hydrodynamique et les conditions aux limites de ces ressources.

Le dimensionnement de la couche mouillée et l'estimation du volume du réservoir nécessitent la mise en évidence :

- Des niveaux piézométriques grâce à la carte piézométrique.
- De la carte de substratum de l'aquifère.
- Des paramètres hydrodynamiques de la nappe (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emménagement, porosité).

III.1. Présentation des nappes aquifères de la région d'étude :

Du point de vue hydrogéologique, la région d'El Oued est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique

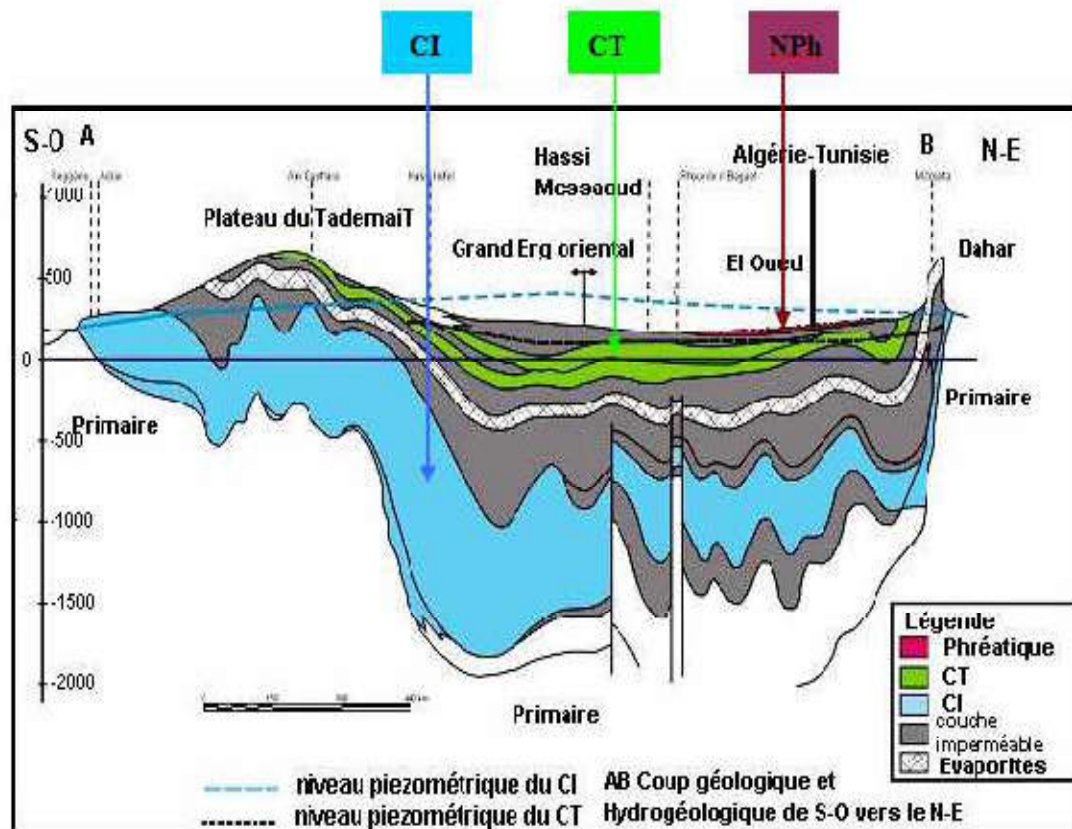


Fig II.2 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)

III.2. Nappe phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf, correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variant entre 00 et 60 mètres.

Vu sur son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 39125 puits autorisés. (DRE El oued 2019)

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

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

III.3. Nappe du Complexe Terminal (CT) :

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

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

a- Nappes des sables :

Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud 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 (Melghir et Merouane).

Dans la zone à fortes exploitations telle que la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage.

b- Les nappes de calcaires :

Le Complexe Terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe ; les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant de repère pour la classification des eaux souterraines ; du Sud au Nord, nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux. Il correspond au niveau inférieur. Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux, est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des passées d'argile rouge.

III.4. Nappe du Continental Intercalaire (CI) :

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

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

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

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et grâce à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine.

Les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent également une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui

occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent en Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental, le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs. L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tadmait dès le Xe siècle (UNESCO, 1972a ;BRL-BNEDER, 1992).

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo- gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. Elle est exploitée par trois forages artésiens. La commune d'El-Oued exploite cet aquifère par deux forages artésiens pour l'AEP d'un débit cumulé de 340 l/s et une température avoisinant les 70°C (DRE El oued 2019).

IV.CONCLUSION :

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

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès. La stratigraphie de la région est caractérisé par des séries sédimentaires allant de crétacé inférieur jusqu'aux dépôts de Quaternaire. Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement dans la partie Nord-Est où il se termine par une croûte gypseuse, son substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité.

Le système aquifère est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire).

CHAPITRE III

NOTION DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

I. INTRODUCTION :

Avant d'entamer 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. AQUIFERE:

II.1. Définition :

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

II.2. Différents type d'aquifères :

II.2.1. Aquifère à nappe libre :

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

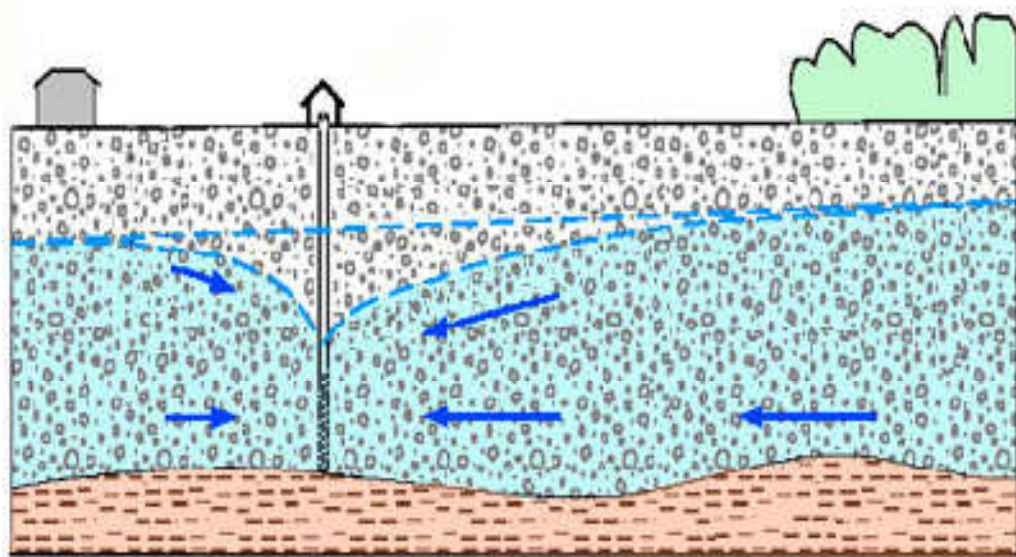


Fig III.1 : Aquifère à nappe libre

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 :

L'eau souterraine est confinée 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.

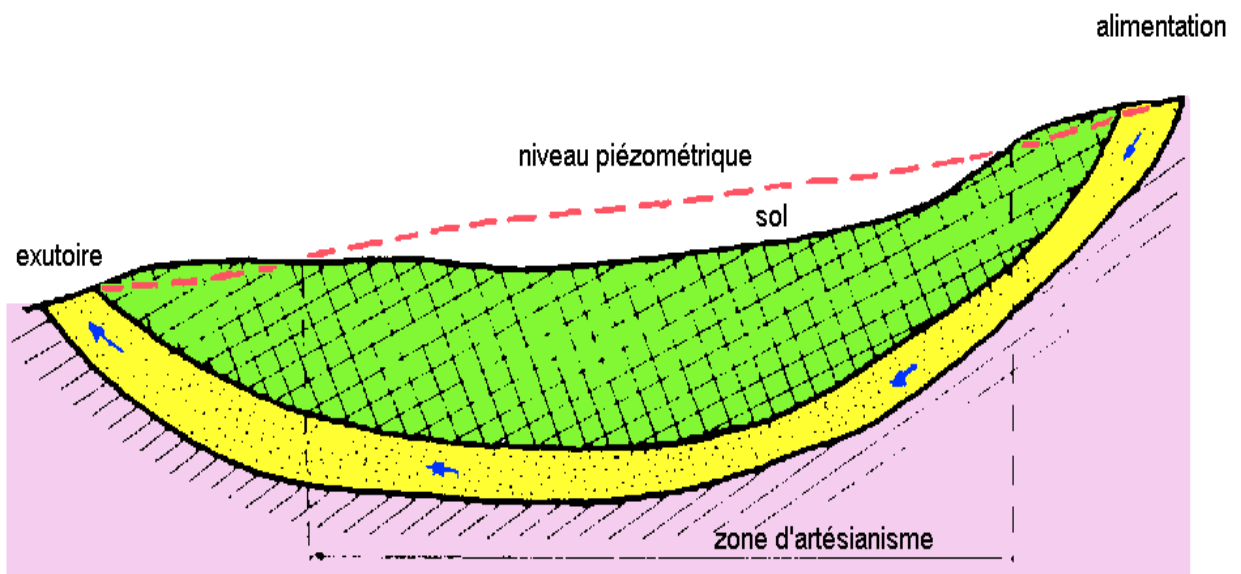


Fig III.3 : Aquifère à nappe captive

III. RECHARGE ARTIFICIELLE :

III.1. Définition :

Au sens hydrogéologique, la recharge artificielle est 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 zone d'écoulement d'eau ou l'eau s'infiltré 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 naturel au due à sur exploitation des ressources permanentes ou cycliques.
- De stocker de l'eau à moindre cout car les infrastructures alloués a cette effet sont en générale minimal en comparaison avec un stockage en réservoir de surface.
- D'épurer l'eau de façon naturelle au cours des sont infiltrations vers la nappe grâce aux propriétés biologique et physico-chimiques du sol.
- De faciliter l'acceptation par le publique de l'utilisation de l'eau usée traitée ou épurée, notamment en tant qu'eau d'irrigation, grâce au passage de celles-ci par un système d'épuration naturelle (zone non saturée).

III.2. Objectif de la recharge artificielle :

Le premiers but de la recharge artificielle est le soutien à une nappe souterraine surexploitée, Le deuxième objectif est amélioration de la qualité des nappes avec une baisse significatif 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'indentification de zones réactif.

III.3. principales technique de recharge artificielle :

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.

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

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 contamination d'aquifère destinées à la consommation notamment les intrusions salines.

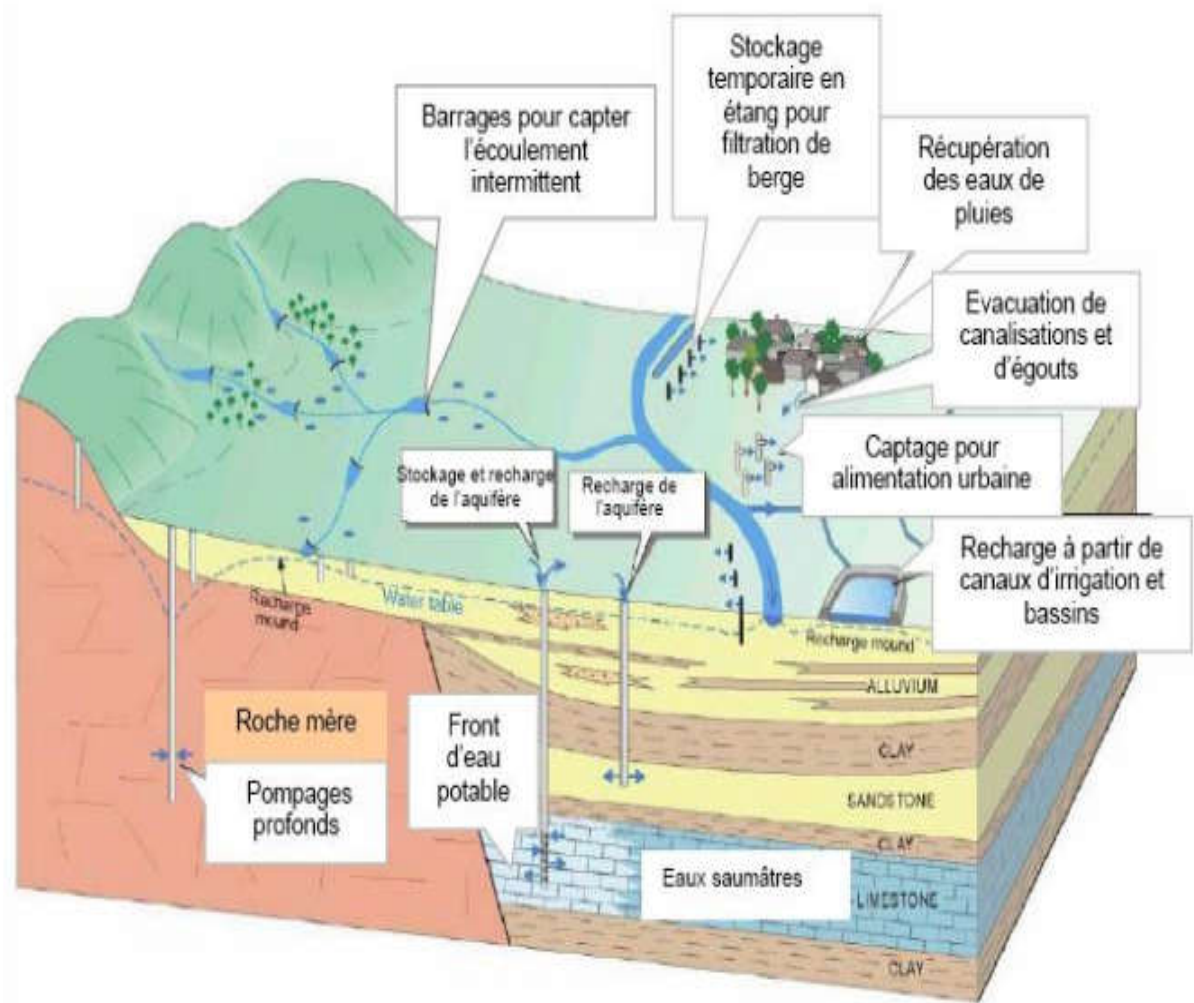


Fig III.4 : Schéma présentant une partie des différents types de recharges artificielle dans différents environnements hydrogéologiques (d'après Gale et al., 2002, Pettenati, 2007).

III.3.2. Recharge artificielle indirecte (Réalisation 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 des cours d'eau est filtrée grâce au pouvoir épurateur des berges.

III.3.3. Recharge artificielle passive :

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.3.4. 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.

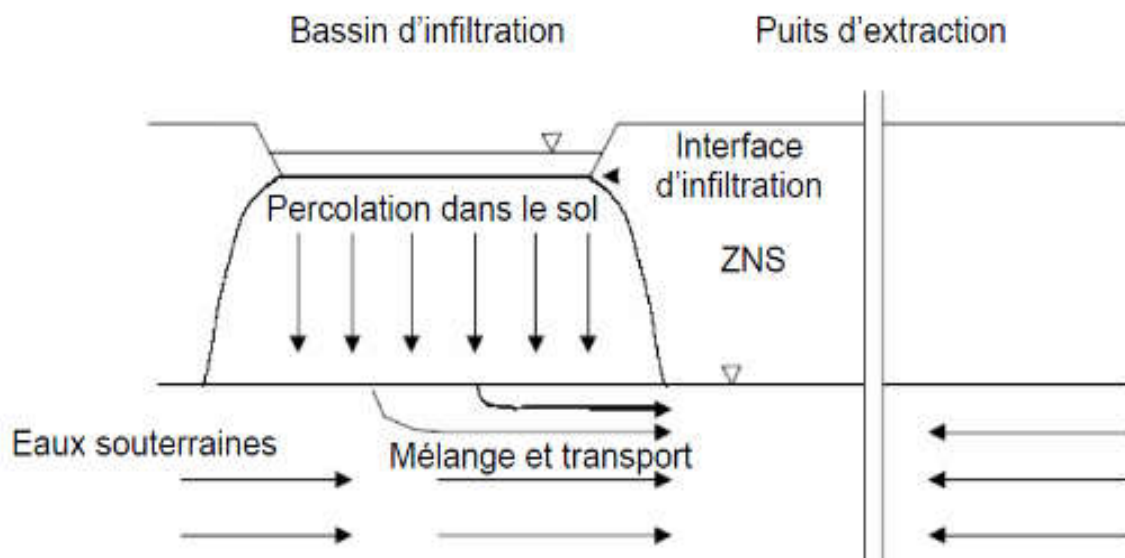


Fig III.5 : Schéma simplifié de la technique de recharge par bassin d'infiltration (d'après Pettenati, 2007, Eusseuff et Lansey, 2004).

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.

Si le but est quantitatif, le taux d'infiltration sélectionné pourra ainsi être assez élevé. Tandis qu'un taux d'infiltration plus faible sera préconisé lorsque le but d'injection implique également une géo-épuration des eaux infiltrées.

Lors de la mise en place du bassin d'infiltration deux grands groupes de critères sont à prendre en considération:

- Les propriétés physiques intrinsèques du bassin.
- Les propriétés physiques chimiques et micro-biologiques de l'eau d'infiltration.

III.4. les différentes propriétés du bassin d'infiltration:

III.4.1. Les propriétés physiques intrinsèques du bassin:

Concernant cette propriété le fond du bassin peut être plat ou légèrement incliné environ 1 à 2% de pendage. Dans le cas des bassins ayant un fond incliné l'infiltration de l'eau dans une direction donnée est le plus souvent favorisée et la vidange du bassin est également facilitée.

Le fond du bassin peut être nu ou recouvert d'une couche filtrante, selon d'épaisseur de cette couche le taux d'infiltration, le degré d'épuration des eaux de recharge ainsi que la durée d'activité du bassin peuvent varier.

La capacité géo-épuration de la couche filtrante est parfois renforcée en cultivant des végétaux sur cette couche. Les plantes permettent en effet d'améliorer l'épuration de l'eau infiltrée en favorisant la phytostabilisation et/ ou la biodégradation de plusieurs substances

contaminants inorganiques et organiques. De plus la présence de plantes au niveau de la couche filtrante protège la surface du bassin de phénomènes érosifs et de colmatage.

III.4.2. les propriétés physiques chimiques et micro-biologiques de l'eau d'infiltration:

Parmi ces différentes propriétés trois semble prépondérantes:

- **L'épaisseur de la tranche d'eau** influence de manière directe le débit d'infiltration des eaux provenant du bassin vers l'aquifère. L'épaisseur de la tranche d'eau est également susceptible d'affecter le débit d'infiltration en induisant une modification de la compacité des terrains ou du développement microbien sur le fond du bassin.
- **La température de l'eau** influence le taux d'infiltration. En effet elle est plus faible lorsque la température de l'eau diminue au raison de l'augmentation de sa viscosité.

Le volume d'eau infiltrée au sein d'un bassin diminue significativement lors des périodes des hivernales.

- **Les propriétés physiques, chimiques et micro-biologiques** des eaux utilisées influencent d'une manière importante le taux d'infiltration au sein du bassin d'infiltration.

Le volume d'eau infiltrée est d'autant moins important lorsque ces eaux sont faiblement traitées. En effet elles possèdent des caractéristiques physiques, chimiques et micro-biologiques favorisant la diminution de la porosité du bassin et donc son colmatage.

Ces eaux (eaux peu traitées) ont des teneurs élevées en particules susceptibles d'obstruer les pores du bassin d'infiltration, telles que les flotants et/ ou de matière en suspension. Ces eaux possèdent aussi une composition chimique favorisant la précipitation de nouvelles phases minérales au sein du bassin d'infiltration ainsi que dans la zone non saturée sous-jacente et donc la diminution de la porosité dans ces systèmes.

Les eaux peu traitées sont également riches en matières organiques, ce qui favorise le développement bactérien. Un tel développement est susceptible de diminuer la porosité, notamment à travers la formation de biofilm.

Pour éviter ou plutôt ralentir ce processus de colmatage, on doit prévoir certaines solutions tel que:

- ✓ Le prétraitement de l'eau à infiltrer pour ce faire plusieurs techniques peuvent être envisagées comme la présence de bassin de décantation ou de filtre à sable en amont du bassin d'infiltration ou la modification des propriétés chimiques de l'eau de recharge via l'ajout de différents composés chimiques principalement inorganiques. La seconde solution consiste en un fonctionnement par alternance des bassins d'infiltration suivant des cycles de "mise en eau assèchement" afin de permettre la décompactions du fond du bassin et/ou à son entretien.

III.5. Avantages et inconvénients de la technique du bassin d'infiltration :

Tab III.1 : récapitulatif des avantages et des inconvénients des dispositifs de recharge type bassin d'infiltration.

Avantages	inconvénients
Possibilité d'utilisation des différents types d'eau de recharge	Colmatage d'origine physique et biologique de la zone d'infiltration
Infiltration de volumes d'eau importants	
Epuration des eaux de recharge lors de leur infiltration à travers la zone vadose (ZNS) de l'aquifère ce qui implique une réduction des étapes de prétraitement de ces eaux.	
Amélioration de la capacité géo-épuration du système via l'ajout de couche de sable et/ ou la mise en place de géotextile.	Processus de colmatage quasi-irréversible
Possibilité d'inclusion de végétation augmentant la perméabilité du sol et les propriétés géo-épuration du dispositif.	Taux d'infiltration variable suivant la technique utilisée
Cout de mise en place relativement faible.	Besoin d'une emprise au sol conséquente.
Facilité d'entretien	
Mise en place facile dans les divers sites.	Tau d'infiltration diminuant au cours du temps
Applicable dans le cas AEP	

III.6. Contraintes hydrogéologiques et réglementaires à la recharge artificielle :

On s'intéresse dans ce chapitre à la faisabilité d'un projet de recharge artificielle et particulier aux conditions hydrologiques et hydrogéologiques indispensables à réussite. Le premier de ces facteurs est l'existence d'une ressource d'eau adéquate pour fournir l'eau de recharge (STEP par exemple) capable de fournir de volume d'eau de recharge durant la durée de

vie d'un projet estimé généralement de 20 ans (Daher 20011). Le deuxième facteur concerné la présence de formations géologiques aptes à favoriser un stockage dont les principales contraintes de nature hydrogéologique est rappelées dans cette partie.

1. Contraintes associées à la nature de l'aquifère :

Afin de pouvoir bénéficier d'une recharge artificielle efficace, les aquifères des milieux dits « continues » doivent posséder trois caractéristiques quelque soit le dispositif de recharge utilisée.

- Une perméabilité suffisante pour permettre l'écoulement de l'eau injectée.
- Un coefficient d'emménagement important afin de pouvoir offrir une capacité de stockage conséquente.
- Un temps de résidence suffisamment long afin que l'augmentation de réserve de la nappe induit par le recharge soit compatible avec le délai de reprise d'eau souhaité.

Deux paramètres doivent être considérés dans une opération d'alimentation artificielle :

- ✓ Le transfère de la masse d'eau qui est fonction de la transmissivité et du gradient hydraulique.
- ✓ Le transfère de pression à partir du point d'injection qui est fonction de la diffusivité de la formation aquifère.

La diffusivité « D » étant la vitesse de réaction d'un aquifère lors d'une perturbation (injection d'eau dans notre cas). Elle est égale au rapport de la transmissivité « T » par le coefficient d'emménagement « S » ($D=T/S$). Une valeur élevée de la diffusivité caractérise un transfère de pression qui induit un écoulement facile et rapide.

En résumé pour que les capacités de stockage dans un aquifère de milieu dit « continu » soient optimales, la diffusivité de l'aquifère ciblé doit être plutôt faible. Un bon coefficient d'emménagement et une perméabilité suffisante élevée sont indispensables.

2. Contrainte associées à la capacité géo épuratoire du sol et du sous sol :

A fin de bénéficier d'une épuration de l'eau de sa percolation dans la zone non saturée en tirant profit de la capacité réactive et de géo épuratoire de cette zone, il faut s'assurer que la zone non saturée ne possède pas de zone polluées, mais qu'elle peut à l'inverse déclencher des

réactions géochimiques d'épuration de certaines pollutions résiduelles selon la qualité des eaux introduites.

Les pollutions de différentes natures apportées par l'eau d'infiltration peuvent perturber les réactions géochimiques dans le sol et surtout dans la zone non saturée. Ces processus peuvent fortement altérer les propriétés pétrophysiques de la zone non saturée et de l'aquifère.

A une bonne perméabilité du sol doit s'ajouter un pouvoir filtrant efficace. Ce pendant la filtration entraîne l'accumulation de matière à la surface et dans les pores du sol, provoquant un colmatage avec diminution des capacités d'absorption du sol et ses capacités d'infiltrations. Pour remédier à ces phénomènes, il est indispensable que les volumes d'eau usée épurée n'entraînent pas une diminution notable de l'épaisseur de la zone non saturée.

3. Contrainte associées à la capacité de stockage :

Les contraintes liées aux volumes mis en jeu sont prépondérantes : contrainte savoir par rapport aux volumes envisagés si un site intéressant qu'il s'agisse d'une méthode de recharge par infiltration à partir de la surface ou d'une méthode de recharge directement dans l'aquifère par injection, il faut :

- Que l'eau injectée puisse s'écouler dans l'aquifère ce qui suppose une bonne perméabilité, c'est le paramètre prépondérant dans le cas de fort débit à injecter.
- Une épaisseur de la zone non saturée suffisante pour éviter la saturation dans le cas de recharge par infiltration et un volume disponible de stockage suffisant.
- Que l'aquifère offre une capacité de stockage suffisante condition qui suppose un bon coefficient d'emmagasinement. L'extension de l'aquifère, son coefficient d'emmagasinement et la hauteur de stockage disponible (profondeur de la zone non saturée) représente des paramètres structurants dans le cas de volumes importants à stocker.

Par ailleurs l'estimation de la ressource en eau souterraine renouvelable est indispensable pour les réflexions sur l'implantation de dispositifs de recharge artificielle.

4. Contraintes réglementaires : Art 43-52 du code des eaux

L'un des objectifs environnementaux pour les eaux souterraines inscrits et repris dans la réglementation Algérienne est la prévention et la limitation de l'introduction de polluants dans

les eaux souterraines définis à l'article 51 de la loi 03-10 du 19 Joumada Eoula 1424 correspondant au 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre d développement durable.

Par ailleurs, l'utilisation des eaux usées traitées de reflétions spécifiques sur l'utilisation de ce type d'eau pour le recharge artificielle.

- **Obligation d'autorisation préalable** : l'article 45 de la loi N° :55-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondants au 04 Aout 2005 relative à l'eau fixe la nomenclature dans le domaine de l'eau. La recharge artificielle est donc doit être soumise à une autorisation préalable. En l'absence d'arrêté ministériel de prescriptions générales relatif à ce mode de recharge à ce jour, cette contrainte doit être intégrée lors de l'instruction de la demande d'autorisation. Une étude d'impact est également nécessaire a propos de cette technique (recharge artificielle par les eaux usées épurées).
- **La réutilisation des eaux usées** : La réutilisation des eaux usées doit être encadrée par un régime juridique strict qui permet d'assurer la protection de la ressource.
- Evaluation des principes directeurs de l'organisation mondiale de la santé (OMS) concernant l'utilisation des eaux usées :

Les nouveaux principes directeurs de l'OMS reconnaissent que les eaux usées constituent un bien économique à la fois comme ressource hydrique et comme ressource de nutriments.

Un de bat à été lancé à l'occasion de la semaine mondiale de l'eau a Stockholm (Aout 2009) sur la capacité des pays à s'adonner à l'appréciation et à la gestion des risques de façon systématique. Le fait de mettre l'accent sur des objectifs sanitaires relatifs à la consommation d'aliments irrigués avec des eaux usées suppose d'accorder une attention particulière à la qualité environnementale de l'eau et aux différentes utilisations (notamment l'irrigation) dans les pays ou l'on est de plus en plus sensibilisés au traitement des eaux usées et ou cette pratique est de plus en plus répandue.

Des discussions a propos de ce sujet ont mis en avant les points suivants :

- Plutôt que de formuler des plans de gestion préventive des risques sanitaires en matière d'utilisation des eaux usées, le groupe a suggéré d'envisager l'élaboration de plans de

gestion des risques sanitaires en matière d'assainissement fondés sur une large interprétation de la notion d'assainissement, ce qui permettrait de prendre en compte les aspects environnementaux de manière appropriés.

Les aspects économiques sont un facteur clés ainsi que la nécessité d'avantage de recharge s'impose pour clarifier ceux qui sont associés à l'utilisation des eaux usées et la consommation de légumes et de poissons produits au moyen d'eaux usées.

IV. CONCLUSION:

Après avoir vu les notions des aquifères ainsi de la recharge artificielle des nappes notamment la nappe phréatique, on y a l'intention de projeter ces connaissances à notre sujet de mémoire de fin d'étude.

CHAPITRE IV

RECHARGE ARTIFICIELLE

I. INTRODUCTION :

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

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 (68 à 80 m) à la plus haut au Sud-Oest à une altitude de (92 à 98m).

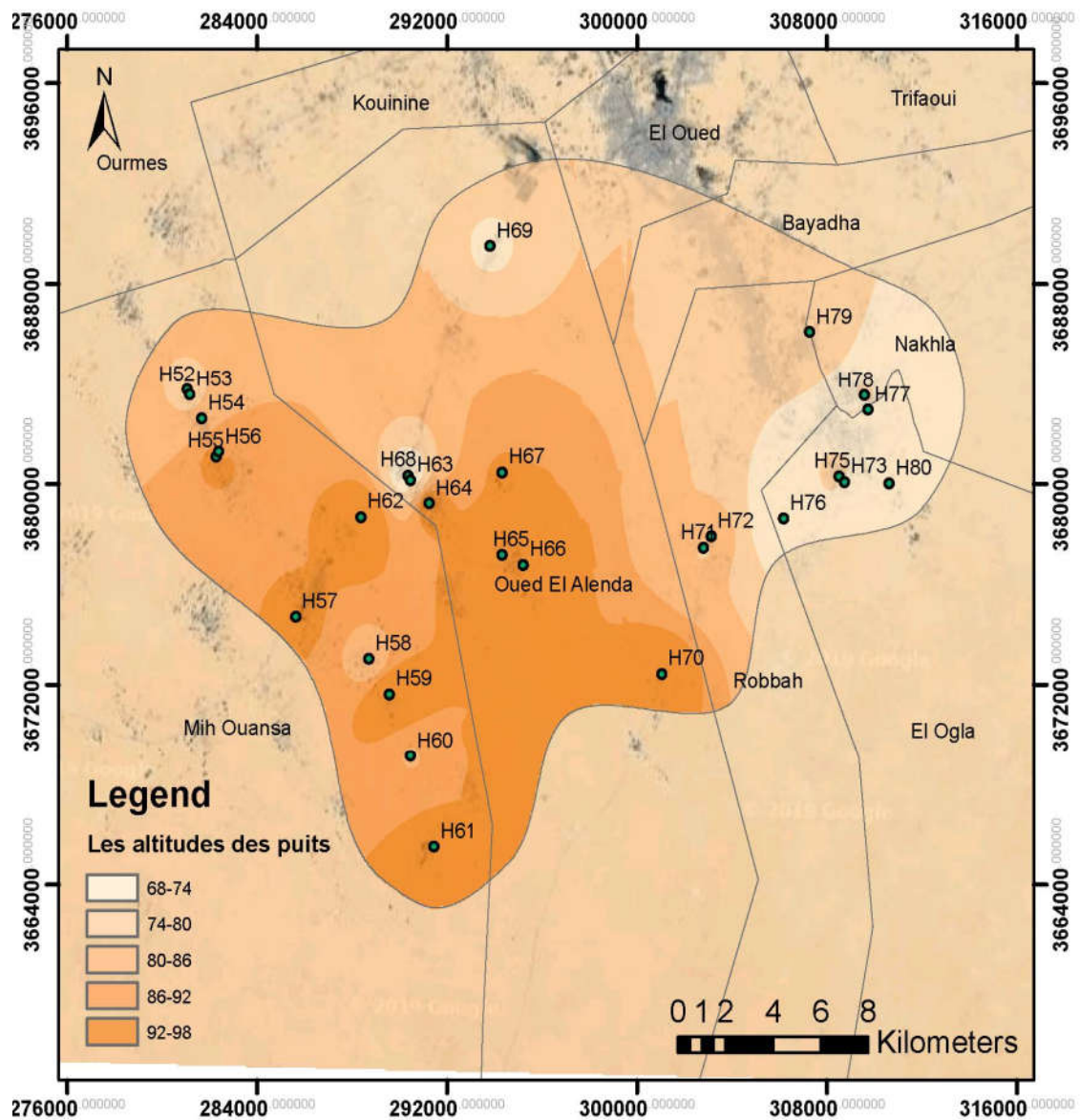


Fig IV.1. Carte topographique de la zone du sud

III.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 lentilles d'argile sableuses et gypseuses. Elle est limitée par un substratum argileux imperméable, son épaisseur est d'environ 54 mètre de la zone étudiée. 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 Ogla 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 équipé du réseau d'égout acheminant ces eaux à la STEP de Kouinine.

III.1. Substratum de la nappe :

Le substratum de notre zone a différents niveau allant de 13 à 23m au dessus du niveau de la mer, le faible niveau est situé au nord-Est (13 à 17 m) à la plus haut au Sud-Oest à une altitude de (21 à 23 m).

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

commune	H	Appellation	Lieu	Coordonnées			Substratum	
				X	Y	Z	P	N
Mih Ouensa	H54	Ballebassi Hassan	Oued Turk	6 39 00	33 16 14	80	63	17
	H53	PP Oued Turk	Oued Turk	6 39 25	33 15 37	84	67	17
	H55	PP Gouirat	Oued Turk	6 39 04	33 16 08	80	62.8	17.2
	H56	Ecole Oued Turk	Oued Turk	6 39 50	33 14 48	94	72	22
	H58	Mosquée O.Turk (Cté Nasr)	Oued Turk	6 39 53	33 14 54	85	64	21
	H59	Ecole Sahbane	Sahbane	6 44 04	33 10 31	81	61.9	19.1
	H61	Ecole Harouilla	Sahbane	6 44 39	33 09 46	95	72	23
	H60	Ecole Bougouffa	Bougouffa	6 45 56	33 06 29	90	69	21
	H57	PP Harouilla/ Bougouffa	Mih Ouensa	6 45 15	33 08 26	85	66.7	18.3
	H69	Mahda Kakkour	Mih Ouensa	6 42 04	33 11 23	90	70	20
Oued Alenda	H68	BENAISSA Amor	O.Alenda	6 47 08	33 19 29	77	62	15
	H64	Ecole O.Alenda Nord	O.Alenda	6 45 02	33 14 29	68	55	13
	H65	Mosqué O.Alenda Sud	O.Alenda	6 45 37	33 13 53	94	71.8	22.2
	H67	Unité de soin M.Ghazala	O.Alenda	6 47 37	33 12 48	95	73	22
	H66	Ecole Cheagamet	Cheagamet	6 47 35	33 14 36	89	68.8	20.2
	H63	Cité Laababba	Laababba	6 48 12	33 12 37	92	72	20
	H62	Azeb Ah.Khalifa	O.Alenda	6 45 06	33 14 23	80	62	18

	H71	Benamor Med Elhachmi	O.Alenda	6 43 47	33 13 34	97	73	24
Robbah	H70	Mosquée Dbidibi	Robbah	6 53 05	33 13 04	81	65	16
	H72	Kecha Med Tahar	Robbah	6 52 01	33 10 20	93	75	18
	H79	PP Debidibi	Debidibi	6 53 17	33 13 19	84	67.8	16.2
Nekhla	H78	Agoun Ali	Khobna	6 55 51	33 17 47	80	64	16
	H77	Bouta Brahim	Nekhla	6 57 22	33 16 26	79	63.8	15.2
	H79	Gharbi Mabrouk	Nekhla	6 57 28	33 16 07	72	58	14
EL Ogla	H80	Attalah Mabrouk	EL Ogla	6 56 43	33 14 40	82	66	16
	H76	PP Cimetière El Ogla	EL Ogla	6 56 52	33 14 33	74	59.8	14.2
	H73	Guettouta Taher	EL Ogla	6 58 05	33 14 32	70	56.5	13.5
	H75	Benamor Delloula	EL Ogla	6 55 14	33 13 44	73	59	14

Source (ANRH 2019)

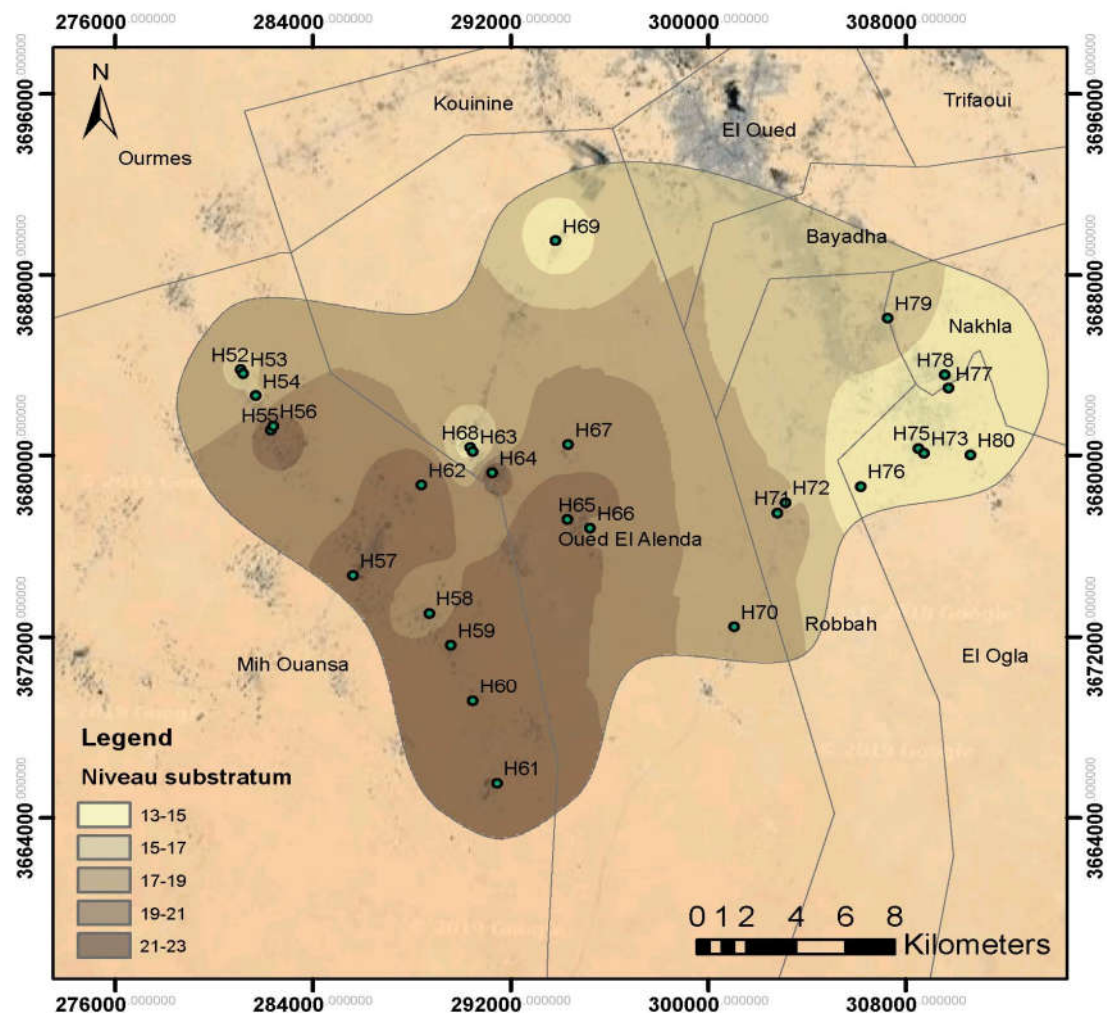


Fig IV.2. Carte de niveau du substratum de la zone du sud.

III.2. 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.

III.3. 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 2008-2010- 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 pézométrieque			
				X	Y	Z	2008	2010	2014	2019
Mih Ouensa	H54	Ballebassi Hassan	Oued Turk	6 39 00	33 16 14	80	76.15	74.77	74.06	63.75
	H53	PP Oued Turk	Oued Turk	6 39 25	33 15 37	84	80.12	76.8	79.94	67.6
	H55	PP Gouirat	Oued Turk	6 39 04	33 16 08	80	73.35	74.4	73.3	61
	H56	Ecole Oued Turk	Oued Turk	6 39 50	33 14 48	94	83.75	83.36	81.5	69.16
	H58	Mosquée O.Turk (Cté Nasr)	Oued Turk	6 39 53	33 14 54	85	74.7	74.67	74.58	62.27
	H59	Ecole Sahbane	Sahbane	6 44 04	33 10 31	81	70.65	70.61	70.55	62.24
	H61	Ecole Harouilla	Sahbane	6 44 39	33 09 46	95	82.25	82.22	82.7	69.85
	H60	Ecole Bougouffa	Bougouffa	6 45 56	33 06 29	90	77.27	77.25	75.6	64.8
	H57	PP Harouilla/ Bougouffa	Mih Ouensa	6 45 15	33 08 26	85	77.78	77.7	77.2	65.3
	H69	Mahda Kakkour	Mih Ouensa	6 42 04	33 11 23	90	87.35	87.28	74	74.82
Oued Alenda	H68	BENAISSA Amor	O.Alenda	6 47 08	33 19 29	77	74.4	72.15	69.5	64
	H64	Ecole O.Alenda Nord	O.Alenda	6 45 02	33 14 29	68	65.34	63	60.4	54.92
	H65	Mosqué O.Alenda Sud	O.Alenda	6 45 37	33 13 53	94	91.7	89.1	86.5	81.1
	H67	Unité de soin M.Ghazala	O.Alenda	6 47 37	33 12 48	95	92.65	90.51	88.1	82.61
	H66	Ecole Cheagamet	Cheagamet	6 47 35	33 14 36	89	86.3	84.6	82.3	76.82
	H63	Cité Laababba	Laababba	6 48 12	33 12 37	92	89.35	86.63	83.9	78.4
	H62	Azeb Ah.Khalifa	O.Alenda	6 45 06	33 14 23	80	78.05	78.05	78	72.53
	H71	Benamor Med Elhachmi	O.Alenda	6 43 47	33 13 34	97	80.45	81.57	80.65	75.2
Robbah	H70	Mosquée Dbidibi	Robbah	6 53 05	33 13 04	81	70.1	70.05	69.3	61.31
	H72	Kecha Med Tahar	Robbah	6 52 01	33 10 20	93	78.45	78.2	77.4	69.4
	H79	PP Debidibi	Debidibi	6 53 17	33 13 19	84	69.44	68.7	64.6	56.62

Nekhla	H78	Agoun Ali	Khobna	6 55 51	33 17 47	80	63.5	69.19	65	53.01
	H77	Bouta Brahim	Nekhla	6 57 22	33 16 26	79	67	64.7	65	57.02
	H79	Gharbi Mabrouk	Nekhla	6 57 28	33 16 07	72	60.3	58.4	57.95	49.93
EL Ogla	H80	Attalah Mabrouk	EL Ogla	6 56 43	33 14 40	82	70.29	70.17	69.5	62.58
	H76	PP Cimetière El Ogla	EL Ogla	6 56 52	33 14 33	74	62	61.2	61.05	54.57
	H73	Guettouta Taher	EL Ogla	6 58 05	33 14 32	70	58	57.5	57.5	50.59
	H75	Benamor Delloula	EL Ogla	6 55 14	33 13 44	73	61.5	61	60.5	53.58

Source (ANRH 2019)

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 l'éradication des fosses perdus dans les tissus urbains causé par la réalisation des réseaux d'assainissement.

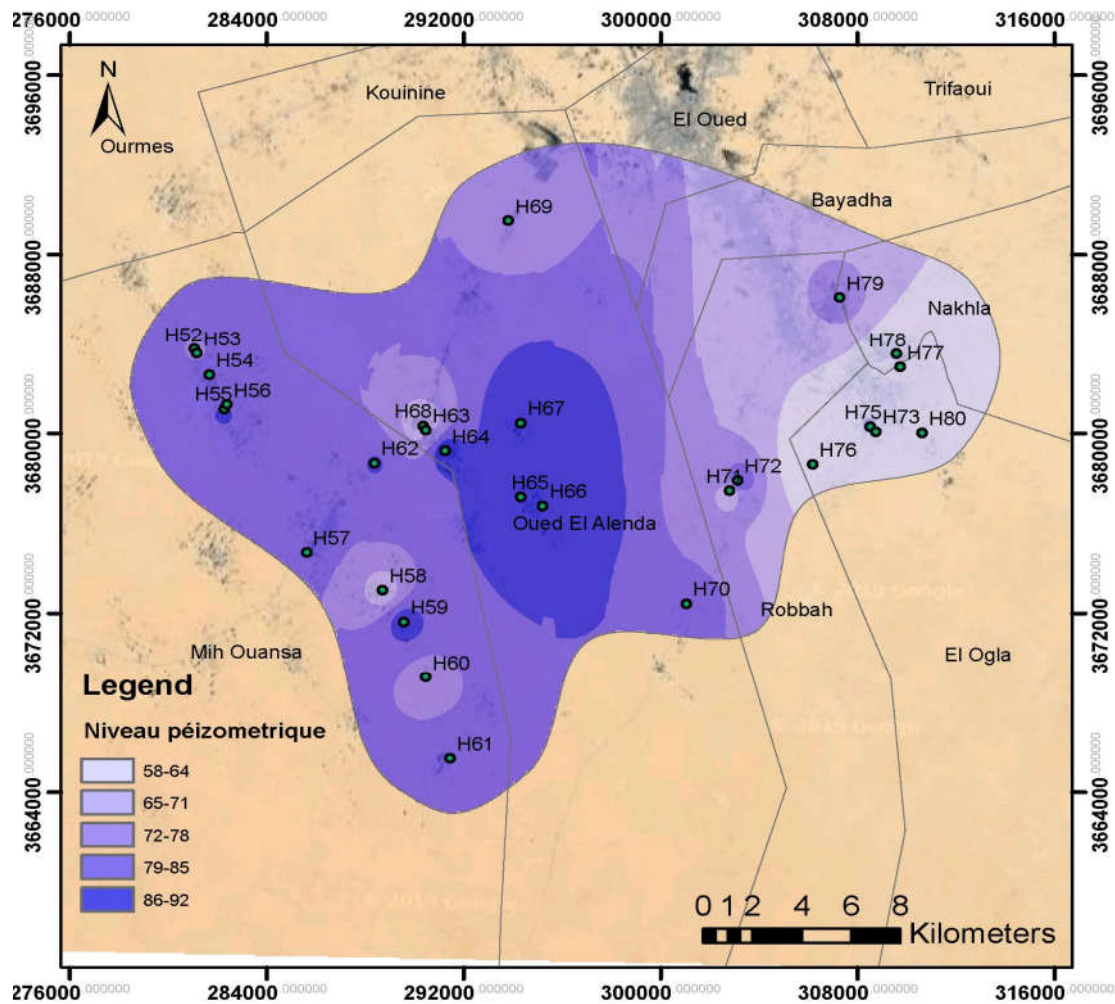


Fig IV.3. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2008).

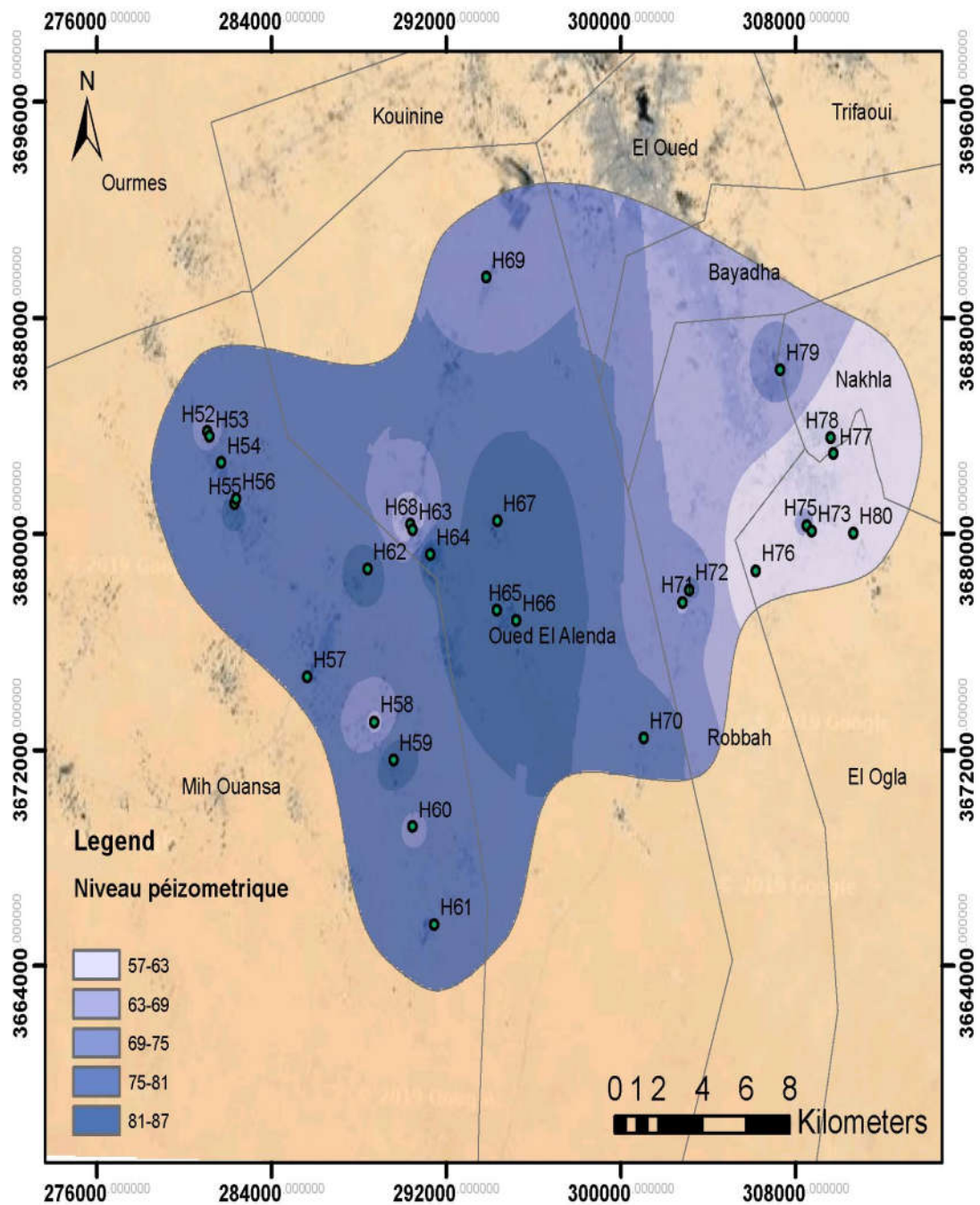


Fig IV.4. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2010).

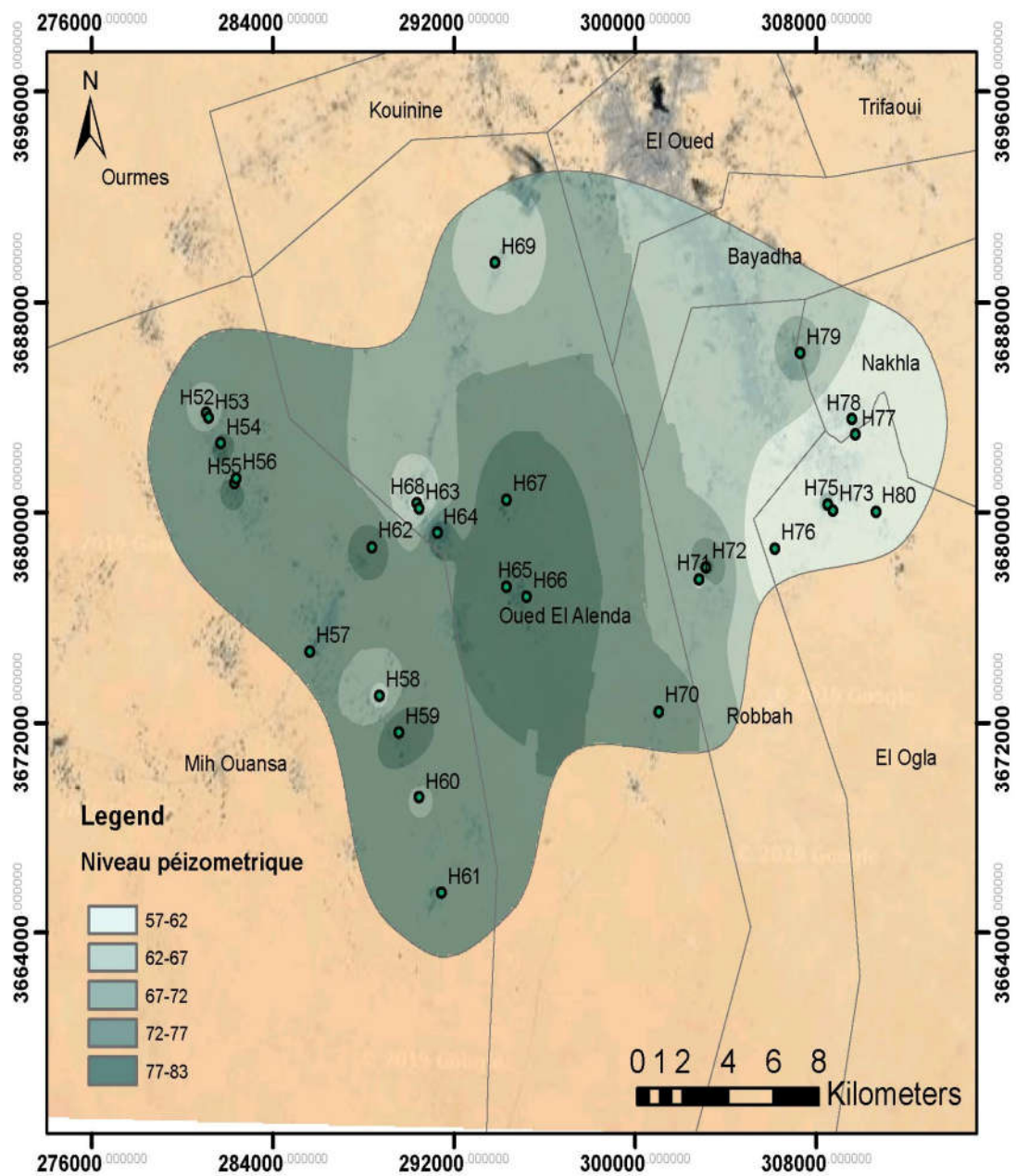


Fig IV.5. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2014).

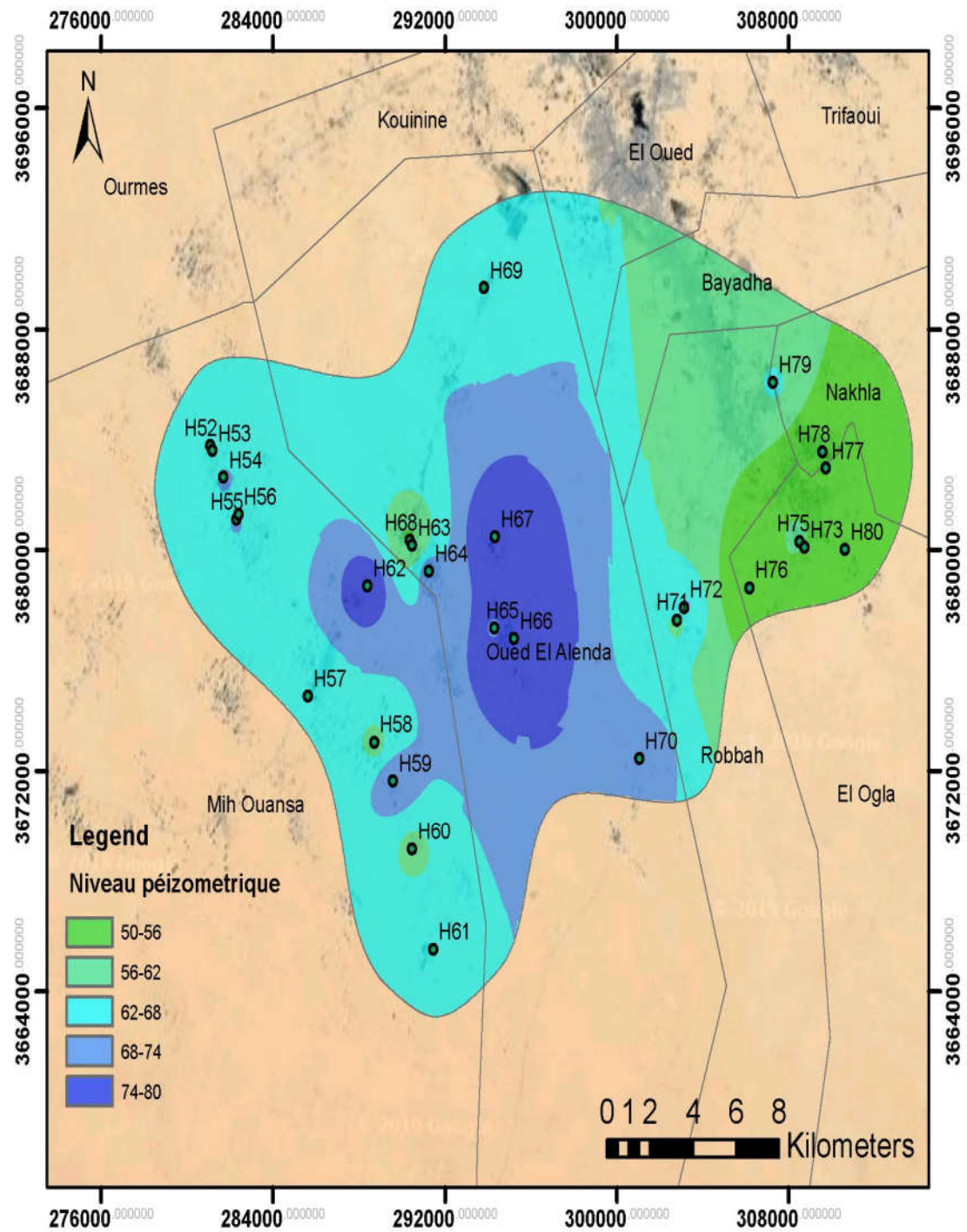


Fig IV.6. Carte de niveau piézométrique de la zone du sud (année 2019).

IV. ETAT PREVISIONELLE:

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'épuration : la première sera implantée dans le territoire de la commune d'Ouermes (Guirat) 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; El Ogla et de Robbah .

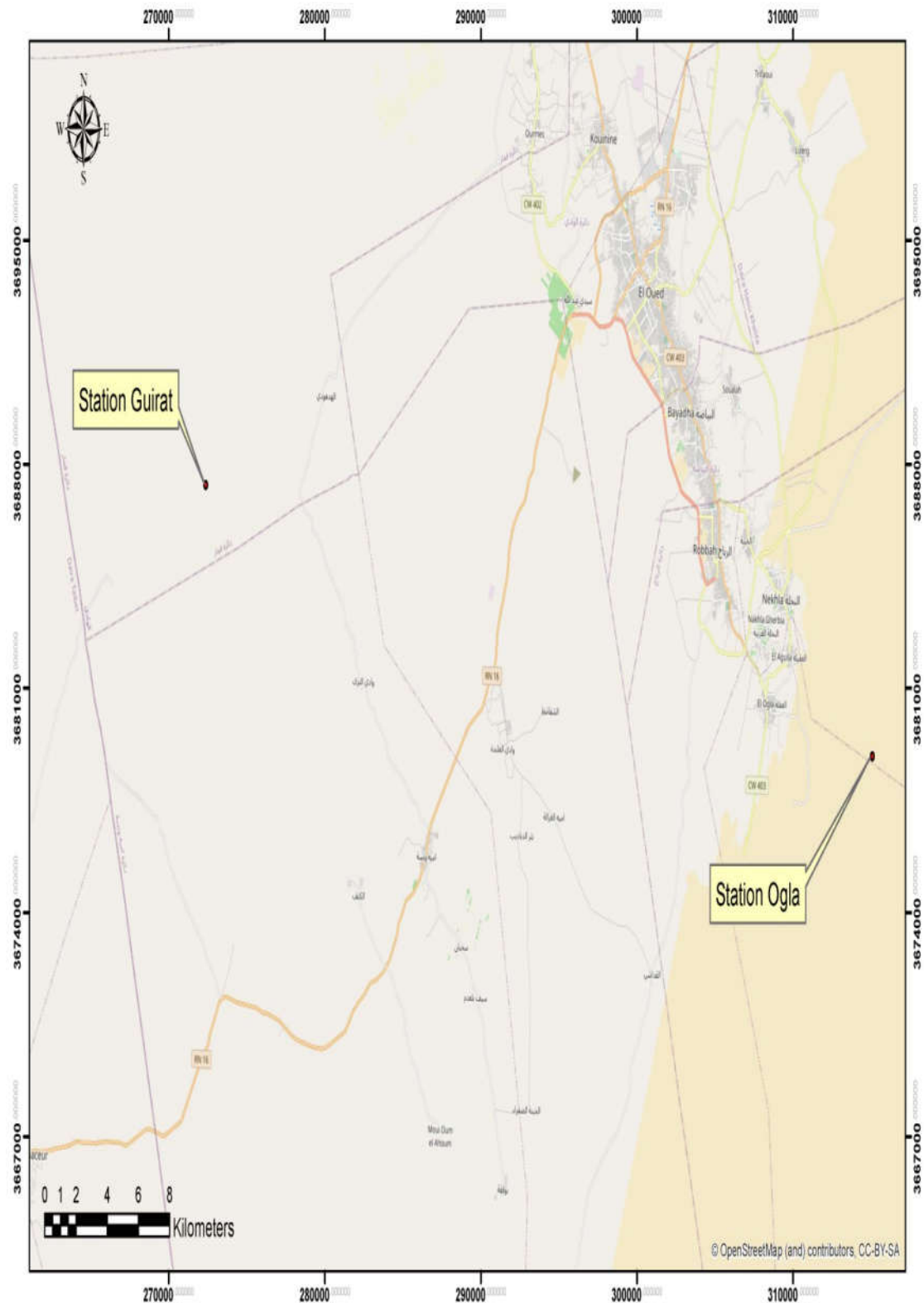


Fig.IV. 7. Carte situation des sites de deux STEP.

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

IV.2. Amélioration du niveau de traitement de l'eau (pouvoir 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 QUANTITE D'EAU DEPLOYEE AU SYSTEME 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 des équipements (scolaires, sanitaires, culturels et administratifs).

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

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

Le nombre 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 à l'horizon.

T: taux d'accroissements démographique.

n: 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

V.1.2. Estimations les 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 le 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 (d'après des études effectuées dans notre région).
- 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

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

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

Nota : les débits d'eau usées rejetées près-citée au tableau ci-dessus sont acheminées vers les stations d'épuration de Guirette 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 de la 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 a été faite par HPO-BG en 2002 pour mieux savoir les caractéristiques hydrodynamiques et hydrogéologiques de la nappe phréatique de la vallée du Souf.

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

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

La superficie de la zone d'étude s'étend sur 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 de 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

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 fond 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}	1	121.44	119.21
Mih Ouensa	60	100	6000	1.13×10^{-4}	1	73.44	71.52

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 (m^2).

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 Gouirette 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 32S

Le site de recharge artificielle est implanté au Nord-Ouest de la STEP de Guirette à une distance de 460 m. ce site est choisi selon la profondeur du substratum et la perméabilité du sol et de sous sol.

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 transmissivité de cet aquifère a été évaluée à **$5,42 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , une porosité de **12,49%** et de perméabilité de **$1,13 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** .

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 **$229.34 \text{ m}^3/\text{h}$** .
- b) Elle sera ensuite acheminer jusqu' au un bassin d'infiltration (deux de 0.6 Ha chacun), ces derniers représentent une surface de 1,2 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, **$71.52 \text{ Hm}^3/\text{an}$** d'eau sont infiltrés au maximum par années pour des prélèvements au maximum **$76.9 \text{ Hm}^3/\text{an}$** pour une superficie prévisionnelle de 2500 Ha estimé à **$1/\text{s}/\text{Ha}$** .

A noter que le volume d'eau exploité est supérieur à celle stockée par la recharge artificielle ça due à la perméabilité réduite de la zone non saturée du site ainsi que le volume d'eau rejetée pour remédier à ce problème on prévoit la généralisation du réseau d'assainissement aux agglomérations associées.

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

II.Site El Ogla.

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

Type : Bassin d'infiltration.

Aquifère / Masse d'eau : sableuse

Eau de recharge : Eau usée épurée.

Utilisation de la nappe : Irrigation.

Epaisseur de la ZNS : 20 m.

1. Localisation :

Le site de recharge artificielle d'El Ogla est situé au sud-est de la commune aux 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 situé au Sud-Est de la STEP de l'Ogla à une distance de 540 m. ce site est choisi selon la profondeur du substratum et la perméabilité du sol et de sous sol.

2 .Objectif de la recharge artificielle :

Le principal 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 implantée 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 Oglâ 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 a été évaluée à **$8.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , une porosité de **12.49%** et de perméabilité de **$1.89 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** .

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 prélevée dans la station d'épuration à un débit de **$871.24 \text{ m}^3/\text{h}$** .
- 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. les volumes d'eau mis en jeu :

Grace à ce système de recharge artificielle, **119.2 Hm^3** /an d'eau seront infiltrées pour des prélèvements au maximum **118.5 Hm^3** /an pour ne superficie irrigable de 3757.8 Ha à raison de 1l/s/Ha (DSA 2019).

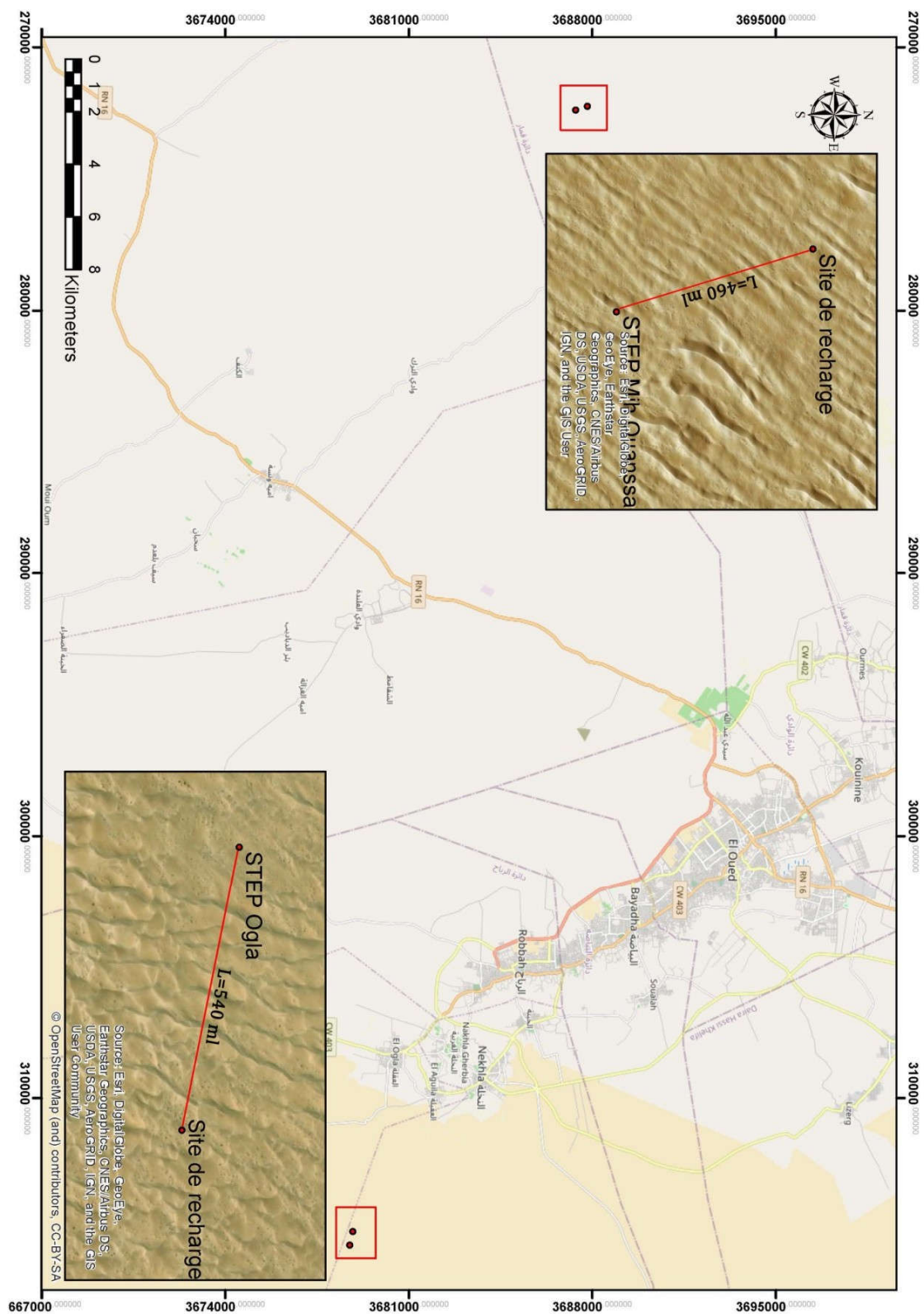


Fig.IV. 8. Carte situation des sites de recharge artificielle

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 résumés 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 Oglia	100	102.4	1.2	1	200	121.44	24288
Mih Ouensa	60	62.4	1.2	1	100	73.44	7344

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).

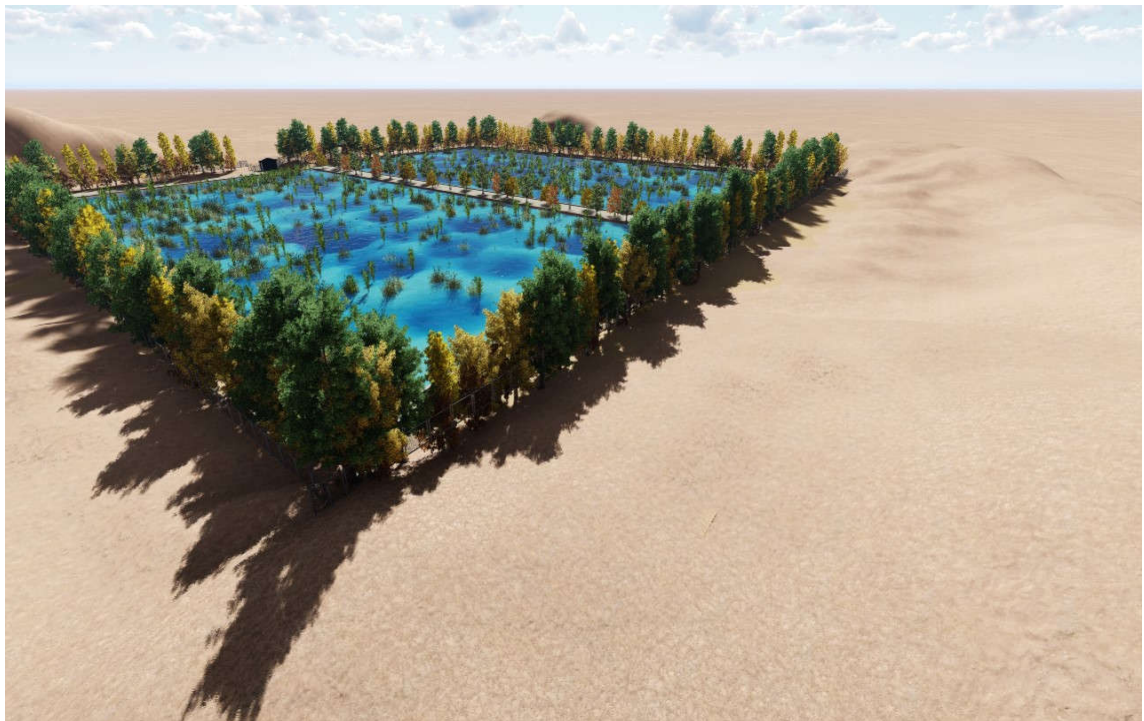


Fig IV.9. Disposition 3D du bassin d'infiltration

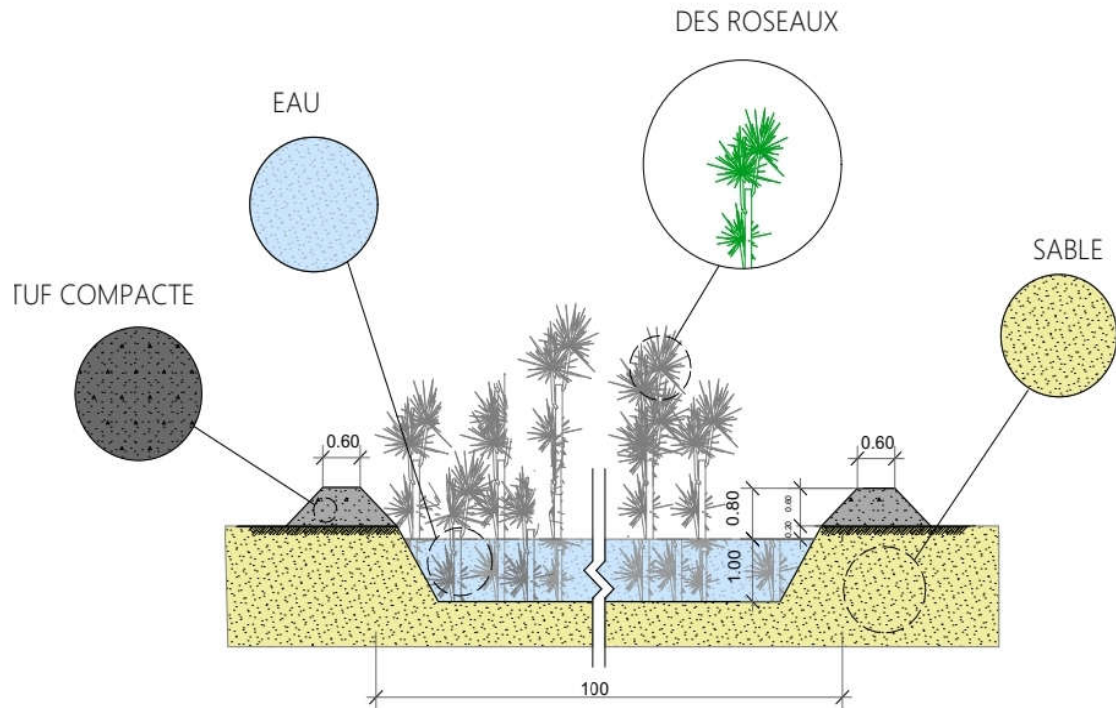


Fig IV.10: coupe transversale du bassin d'infiltration

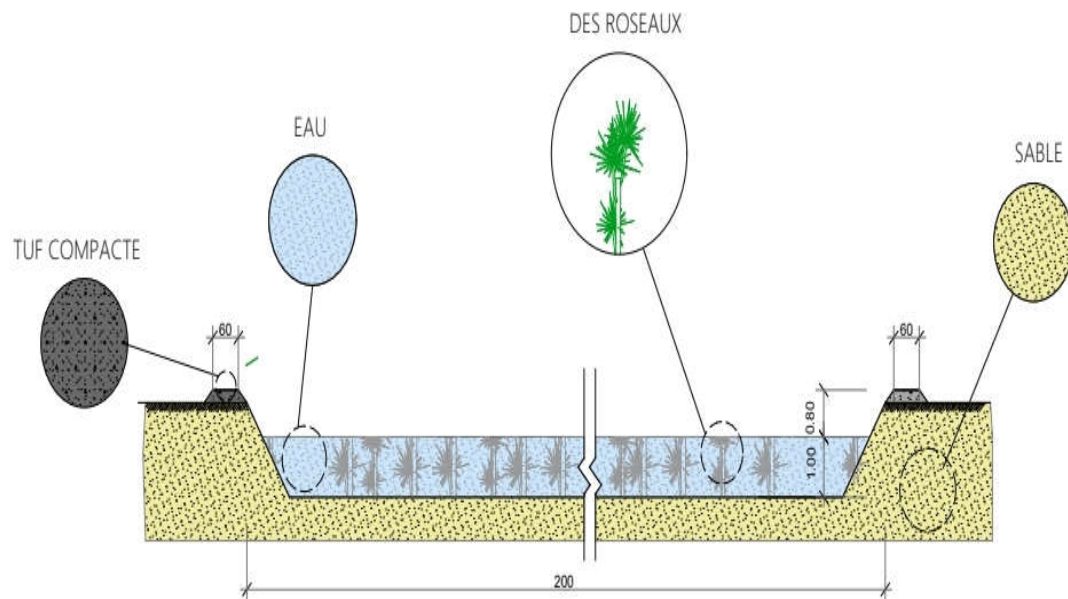


Fig IV.11 : coupe longitudinale du bassin d'infiltration

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

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 Ogla (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

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 épurées dans les milieux naturelles.

VIII. 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 2008-2010- 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 en l'agriculture et à l'éradication des fosses perdues dans les tissus urbains causés par la réalisation des réseaux d'assainissement à travers la vallée d'El Oued.

Les paramètres hydrodynamiques (la perméabilité $K = 1.13 \times 10^{-4}$ 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 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 de 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 diametre 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 Ogl

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 diametre300 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 nître 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 doeuvre	1	30	20,000.00	600,000.00
					648,400.00

b) site d' EL Ogla

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 doeuvre	1	30	20,000.00	600,000.00
					648,400.00

- Frais globale d'investissement (site Mih Oensa + site El Ogla) = Si :

$$Si = 70.447.048.00 + 24.836.252.00 = 95.283.300.00 \text{ DA.}$$

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

$$S_{ex} = 648.400.00 \times 2 = 1.296.800.00 \text{ DA}$$

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

IV. EFFET ECONOMIQUE:**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' 1 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 vente 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 x 195.4 x 10⁶ = 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'efficience économique :

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

$$= 391.919.900.00 / 96.580.100.00 = \mathbf{4.06}$$

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'efficience 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 racines 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 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'intention 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 conformes 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'un important volume.
- Le site de recharge artificielle est principalement sableux, où 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.

- Le niveau d'eau de la nappe doit être contrôlé à partir des piézométriques implantés à proximité du site de recharge ainsi que la qualité d'eau stockée.
- Au cas d'un éventuel ex provoquant la remontée on a prévu un by-pass qui doit acheminer les eaux épurées du STEP vers le chott.
- Economiquement, la recharge artificielle de la nappe phréatique de notre zone d'étude est moins coûteuse nécessite pas d'implanter moyen d'exploitations. elle bénéficie de la première année de son utilisation.

En fin de compte, nous offrons comme recommandations des points suivants :

1. Afin de limiter la pollution des eaux de la nappe phréatique, il est recommandé d'interdire la pratique des fosses perdues pour le rejet des eaux usées.
2. D'activer la mise en place des réseaux d'assainissement notamment la zone urbaines.
3. Il est recommandé d'utiliser le système d'assainissement individuelle en pratiquant les fosses septiques selon les normes techniques dans ce domaine.
4. De sensibiliser les usagers à l'utilisation rationnelle de ces ressources vitales (eau). Soit pour la consommation domestique, industrielle ou pour l'irrigation.
5. La consommation de l'eau pour l'irrigation doit être payante à fin de contribuer cette pratique à l'économie nationale.
6. La gestion des sites de recharge ainsi que les périmètres irrigués doit être allouée à l'office national d'irrigation et de drainage (ONID).

BIBLIOGRAPHIE

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla) Note de synthèse de campagne piézométrique 2010-2011.

ANRH (2010), Note relative aux ressources en eau de la wilaya d'El-Oued, Mai 2007

D.R.E. (Direction des ressources en eau Wilaya d'El-Oued) (2016), Enquête sur l'exploitation et le besoin en AEP de la zone d'étude.

Brgm « Recharge artificielle des eaux souterraines : état de l'art et perspectives.

Collection Brochures Agronomiques Algérie, recharge de la nappe phréatique (2016).

DRE (20018). Etude du schéma directeur du réseau d'assainissement de la commune de Mih Ouensa .

DRE (20018). Etude du schéma directeur du réseau d'assainissement de es communes d'El Ogla et Nakhla.

GILBER CASTANI. Hydrogéologie principes et méthodes.

HANNANOU.A et Derradji N (1990). Aménagement hydro-agriculture du périmètre de Sidi Mehdi Touggourt Wilaya de Ouerguila. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

KHECHANA. S, (2007), Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued-Souf, Mémoire de Magister en hydrogéologie. Université d'Annaba, 133p.

KHECHANA. S et al, (2010), la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf; Enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, RSFA, ISSN1112 9867 pp 22-36.

KHECHANA. S, (2008), ressources en eau et essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf; Colloque international Terre et Eau.

KHECHANA. S, et Mega. N(2012), Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraine a la pollution a l'aide d'un SIG dans la région d'el-oued (se algérien)

Latifa.D (2018). Etude d'épuration des eaux usées par l'infiltration percolation sur le sable de dune dans la région de Oued Souf . diplôme master (LMD) Université Hamma Lakhdar W. El Oued.

ONA (Office nationale de l'assainissement W. El Oued) . les analyses des eaux épurées.

SYMASOL- Gestion des eaux pluviales : Guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives – Juin 2016.