



République Algérienne Démocratique Et Populaire



Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR El-Oued

Faculté De Technologie

Département de : Hydraulique & de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : hydraulique et génie civil

Spécialité : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

THEME

Evaluation De La Vulnérabilité Des Eaux Souterraines
Par L'application De La Méthode D'indice DRASTIC

Dans Le Milieu Agricole

-Cas Des Communes Debila Et Hassani Abdelkerim-

Encadreur:

Dr. MILOUDI Abdelmonem

Présenté par :

Mr .KHELEIL Abdel monem

Mr .BOUROUGAA Messaoud

Devant le jury :

Melle. Assia MEZIANI MAA Université d'El-Oued Président

Dr. MILOUDI Abdelmonem MAA Université d'El-Oued Encadreur

Année universitaire : 2019/2020

الملخص

تقع الوادي في الشمال الشرقي من الصحراء الجزائرية وهي مدينة صحراوية و تستغل المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المختلفة ، لكن هذا المورد معرض للتلوث بسبب استخدام الأسمدة والمواد الكيميائية المتعلقة بالأنشطة البشرية والزراعية. ولحماية هذا المورد ، نقوم بتقييم مدى الضعف لمعرفة درجة التلوث.

و من أجل هذا الغرض تطرقت دراستنا التحقق من درجة الضعف في المناطق الزراعية التي تقع ضمن مجال الدراسة (بلدية الدبيلة وحساني عبد الكريم) من خلال تطبيق طريقة دراستيك.

الكلمات المفتاحية:

المياه الجوفية ، تغيرات ، تلوث ، دراستيك.

RÉSUMÉ

El oued se site au Nord-est du Sahara algérien .c'est une ville saharienne et ainsi exploité l'eau souterraine pour réponde à leur différents besoins, mais cette ressource est vulnérable à la pollution à cause de l'utilisation des engrais et produits chimique liée aux activités humaine, agricole.

Pour protéger cette ressource nous évaluons la vulnérabilité pour connaitre le degré de risque de pollution.

Pour cela notre étude consiste à vérifie le degré de vulnérabilité dans la Zone agricole de la zone d'étude (Commune de Debila et Hassani Abdel Karim) en appliquant la méthode DRASTIC.

Motte-clés:

Eau souterraine,Vulnérabilité,Pollution, , DRASTIC.

Remerciement

Louange à Dieu, tout puissant de m'avoir guidé durant ma formation et de m'avoir permis de réaliser ce modeste travail.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à monsieur **Abdel-Monem MILOUDI** pour sa disponibilité permanente, ses commentaires et bien sûr ses Critiques constructives ainsi qu'à l'ensemble des enseignants qui ont assuré ma formation.

Je tiens aussi à présenter mes remerciements les plus ardents à messieurs les membres de jury d'avoir accordé à mon travail une importance très encourageante.

Je n'oublie pas de remercier aussi l'ensemble du corps administratif du Département de **HYDRAULIQUE** et génie civil .

Enfin ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette mémoire.

Messacud- Abdelmonem



<i>Introduction Générale</i>	
<i>Chapitre I: Présentation de la Région d'Etude</i>	
1- Situation Géographique de la région d'El-Oued	01
2- Situation économique.	05
3- Relief Et Topographique de la Région d'Etude	06
4- Géomorphologie de la région d'Etude.	08
5- Situation foncière	08
6- Etude hydro-climatique	09
6-1-Climatologie	09
6-1-1-La température	11
6-1-2-Les précipitations	11
6-1-3- Humidité relative	12
6-1-4-L'évaporation	13
6-1-5-L'insolation	14
6-1-6 Les Vents	14
6-2 Synthèse climatique	16
6-2-1- Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.	16
6-2-2- Climagramme d'EMBERGER	17
Conclusion	18
<i>Chapitre II: Etude Géologique et Hydrogéologique de la Région du Souf</i>	
Introduction	19
Etude Géologique de la Région du Souf	20
1- Structure Géologique Général	20
1-1-Le Secondaire	22
1-2- Le Tertiaire	24
1-3- Le Quaternaire	25
2- Interprétation des coupes	25
2-1- Coupe n° 1	26
2-2- Coupe n° 2	26
2-3- Coupe n° 3.	27
3- Tectonique	28
Etude Hydrogéologique	30
1-Cadre Hydrogéologique Générale	30
2- Présentation des nappes aquifères de la région du Souf	32
2-1 Nappe du Continental Intercalaire (C.I)	32
2-2- Nappe du Complexe Terminal (C.T)	34
2-3- . Nappe Phréatique	36
Conclusion	39

<i>Chapitre III Développement du secteur d'agriculture dans la région du souf</i>	
Introduction	40
1- Gestion de l'eau au Sahara	40
1-1- Gestion traditionnelle des eaux au Sahara	40
2- L'agro-Système Soufi et Ses Implications	43
3- L'ancien Système Agricole Du Souf	44
4- Les Ghouts	44
4-1- Technique D'arrosage Dans Les Ghouts	45
5- Le nouveau système agricole du Souf	46
6- Développement du secteur d'agriculture dans la région du Souf	47
Conclusion	48
<i>Chapitre VI: Etude De La Vulnérabilité Des Eaux De La Nappe Phréatique De La Zone D'étude</i>	
Introduction	50
1- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	50
1-1-. SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE (Commune Hassani Abdelkrim Et Debila)	50
2-Définition de vulnérabilité	52
2-1-Les types de vulnérabilité	52
2-2-La vulnérabilité intrinsèque	52
2-3-La vulnérabilité spécifique	53
2-Les critères de vulnérabilité	53
3-Les Méthodes de la mesure la vulnérabilité	54
4-Les Différentes méthodes de vulnérabilité	55
5-Classe Et Note Des Paramètres La Méthode DRASTIC	55
5-1-Profondeur De La Surface De La Nappe(D)	57
5-2 Recharge nette(R)	61
5-3 Nature lithologique de l'aquifère(A)	62
5-4 Type de sol(S)	63
5-5 Topographique (pente du terrain)	64
5-6 Impacte de la zone non saturée(I).	65
5-7 Conductivité (Perméabilité) (C).	66
6- vulnérabilité des eaux de la nappe phréatique de la zone d'étude	67
6-1-Interprétation de carte de vulnérabilité de la nappe phréatique de la zone d'étude	67
Conclusion	69
Conclusion Générale	70
Bibliographie	72

<i>Tableau</i>	<i>Page</i>
Données météorologiques de la région de Souf (2000-2006).	10
Moyenne mensuelle interannuelle de température	11
Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1978-2018)	11
Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1978-2015)	12
évaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en (1986-2009)	13
Répartition moyenne mensuelle d'insolation (1976-2008)	14
vitesses du vent moyennes mensuelles à Oued Souf en (1993-2015)	15
Synoptique des déferents aquifères (A.N.R.H., 1993)	21
Les critères de vulnérabilité (B.R.G.M..2008).	53

N°	Figures	Page
I-1	Situation géographique de la région d'El-Oued (Encarta, 2005)	02
I-2	Les frontières de la région du Souf. (Source A.N.R.H.2005).	03
I-3	Répartition administratif des 18 communes de la vallée du Souf.	04
I-4	Carte topographique de la zone d'étude	07
I-5	Moyennes mensuelles des températures moyennes en (°C) (2000-2006).	11
I-6	Moyennes mensuelles des pluies en (mm) (2000-2006).	12
I-7	Moyennes mensuelles d'Humidité relative en (mm) (2000-2006).	13
I-8	Moyennes mensuelles d'évaporation en (mm) (2000-2006).	13
I-9	Moyennes mensuelles de l'Insolation (h) (2000-2006).	14
I-10	Moyennes mensuelles des vitesses des vents (m/s) (2000-2006).	15
I-11	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du souf (2007-2016).	16
I-12	Etage bioclimatique de la région d'El Oued selon le climagramme d'Emberger	17
II-1	Carte Géologique Régional	20
II-2	Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).	25
II-3	Coupe Géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).	26
II-4	Coupe Géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989).	27
II-5	carte géologique avec le sens d'écoulement des nappes de CT et CI dans le Sahara septentrional (Unisco, 1972) modifiée par (Gendouz et al; 2003).	28
II-6	Forage l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).	29
II-7	Coupe Hydrogéologique du Souf(A.N.R.H, 1989).	31
II-8	Coupe Hydrogéologique d'EL HAMRAIA ELOUED.(A.N.R.H, 1989).	32
II-9	carte piézométrique de la nappe du Continental Intercalaire (1960).	33
II-10	carte piézométrique de la nappe du Complexe Terminal (1960).	35
II-11	Coupes hydrogéologiques de la nappe phréatique dans le Souf.	36

II-12	Coupes hydrogéologiques de la nappe phréatique dans le Souf.	37
II-13	Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (Cornet.1964).	37
III-1	Exploitation des eaux de ruissellement (EL AMAMI, 1984)	41
III-2	Exploitation directe dans la fosse (Ghout)	41
III-3	Exploitation des eaux de la nappe phréatique par puits à balancier	42
III-4	Puisage par traction animale (RAVÉREAU, 1981)	42
III-5	Le système lacustre de puisage de l'eau à partir de la nappe albienne	43
III-6	Rénovation de la foggara par l'installation de motopompe (ABBASSENE, 2006)	43
III-7	Le Ghout Dans La Vallée Du Souf	45
III-8	Système d'irrigation sans écoulement dans le Ghout	46
III-9	Système d'irrigation avec écoulement dans le Ghout	46
III-10	Le nouveau système agricole du Souf	47
III-11	Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale	48
VI-1	Illustration des paramètres DRASTIC (source : GSC, 2009).	56
VI-2	Campagne De Mesures	57

<i>N°</i>	<i>Les cartes</i>	<i>Page</i>
VI-1	Situation géographique de la zone d'étude.	51
VI-2	puits des mesures de la zone d'étude	58
VI-3	Niveau Statique de la zone d'étude	59
VI-4	profondeur de la surface de la nappe	60
VI-5	profondeur de la surface de la nappe	61
VI-6	Nature lithologique de l'aquifère.	62
VI-7	Type De Sol.	63
VI-8	Perméabilité Du Sol .	64
VI-9	Topographique.	65
VI-10	Impacte de la zone non saturée.	66
VI-11	Degré de vulnérabilité	68

Abréviation

ANRH: Agence Nationales Ressources Hydrauliques.

CI: Continentale Intercalaire.

CT: Complexe Terminal.

DRASTIC: représentent respectivement les paramètres pris en compte: Profondeur de la surface de la nappe(D) Recharge nette(R) Nature lithologique de l'aquifère(A) Type de sol(S) Topographique(T) Impacte de la zone non saturée(I) Conductivité(C).

NPP: Nappe Phréatique.

NS: Niveau Statique.

OFEFP: Office Fédéral de l'Environnement des Forets du Paysage.

ONM: Office National de la Météorologie.

TM: Moyenne mensuelle des Températures maximales

Tm: Moyenne mensuelle des Températures minimales

Tmoy: Températures moyenne annuelle

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est vitale pour la survie, la santé et la dignité de l'homme, et aussi une ressource fondamentale pour le développement humain. Les réserves d'eau souterraines sont sous une pression croissante.

L'eau souterraine source de vie étant de plus en plus demandée, et ainsi la protection de celle-ci contre les sources de pollution devient primordiale. En grande la plupart des cas de contamination sont associés à des conditions hydrogéologiques défavorables où l'aquifère est peu protégé contre l'infiltration directe des polluants.

À cet égard la prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante, à travers en étudiant la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux des nappes souterraines.

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par Margat dans les années 60. Il est défini et utilisé de manière très diverse (Lallemand Barres et Roux, 1989 ; Lallemand Barres, 1994 ; Gogu et Dassargues, 1998). Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères, d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique.

L'eau souterraine des nappes d'oud souf sont susceptible à la pollution multiforme. Ces ressources en eau sont toutefois menacées par plusieurs facteurs dont : eaux usées domestique non traitées, surexploitation et l'utilisation intensive des engrais et pesticide....et.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le degré de la vulnérabilité et le risque de pollution des ressources en eaux souterraines des aquifères de la zone agricole de Hassani Abdel Karim et Debila à savoir la nappe la nappe phréatique en utilisant la méthode de détermination de degré de vulnérabilité. Il est donc possible de définir les zones sensibles dans lesquelles une pollution peut affecter gravement une nappe et d'avoir une idée des moyennes à employer, pour protéger cette nappe.

Pour cela notre document est structuré comme suit:

Un primaire chapitre qui porte sur une étude bibliographique de la vulnérabilité et différentes méthodes de mesure de la vulnérabilité.

Un deuxième chapitre dans lequel nous présentons le région d' étude et donné la principale caractéristique climatologiques.

Un troisième chapitre dans la quel nous exposent le données ses ressources en eau dans la région.

Un quatrième chapitre qui porte sur pollution saline et nitrique des eaux souterrains
Le cinquième chapitre comprend la partie expérimentale en appliquant la méthode DRASTIC pour classer les vulnérabilités du milieu agricole et discuter des résultats obtenus.

A la fin du document nous avons une conclusion générale qui vient de ré-exposer la problématique donner les étapes de travail présenter les résultats obtenus et enfin proposer des recommandations.



Chapitre I
Présentation de la Région
d'Etude

I. Présentation de la Région d'Etude :

I.1. Situation Géographique de la région d'El-Oued :

Le "SOUF" vient du nom berbère désignant rivière ou OUED. La région d'El-Oued ou du Souf occupe une superficie de 44586 km² avec une population de 652210 habitants donnant ainsi une densité de 15 hab/km². La zone concernée par l'étude s'étend sur 18 communes, soit une superficie d'environ 350000 hectares ou (14518,33 km²) (**O. N. S 2006**).

Géographiquement, la région d'El-Oued fait partie du Sahara Septentrional, elle est couverte par d'innombrables dunes. La région d'El-Oued est limitée (Figure 1 et 2) :

- ✚ Au Nord : La zone des chotts (Melghir, et Meroune).
- ✚ Au Sud : L'extension de l'Erg Oriental
- ✚ A l'Est : La frontière Tunisienne.
- ✚ A l'Ouest : La vallée de l'Oued Rhir.

La vallée du Souf est située au Sud-Est de l'Algérie et plus précisément au Nord du grand Erg oriental, elle est située à l'Est par la Tunisie et à l'Ouest par l'Oued Rhir, autrement dit elle est limitée au Nord par la wilaya de Biskra et la wilaya de Tébessa et la wilaya de Khanchela, au sud et à l'Ouest par la wilaya de Ouargla et à l'Est par la république Tunisienne (Figure 1, 2 et 3).

Actuellement, les 18 Communes du SOUF confrontées par le problème de la remontée des eaux comptent **452876** habitants soit une densité de 31 habitants/km²(Figure3). (**O. N. S 2006**).

Cette population est répartie à travers 18 communes qui sont:

Bayadha, Robbah, el oued, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Ogla, Nakhla, Ourmes et Trifaoui.

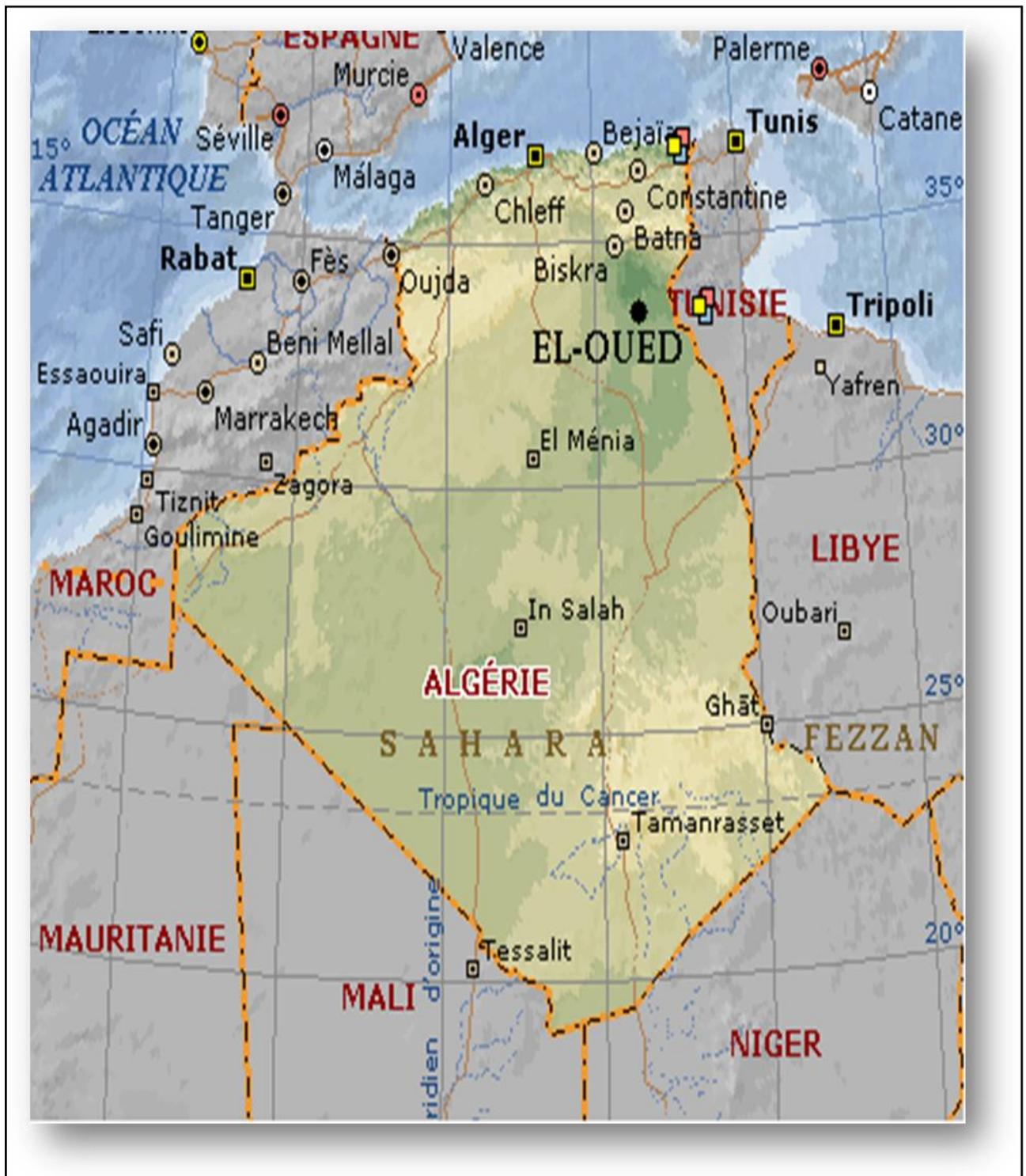


Figure (I-1) : Situation géographique de la région d'El-Oued (Encarta, 2005).

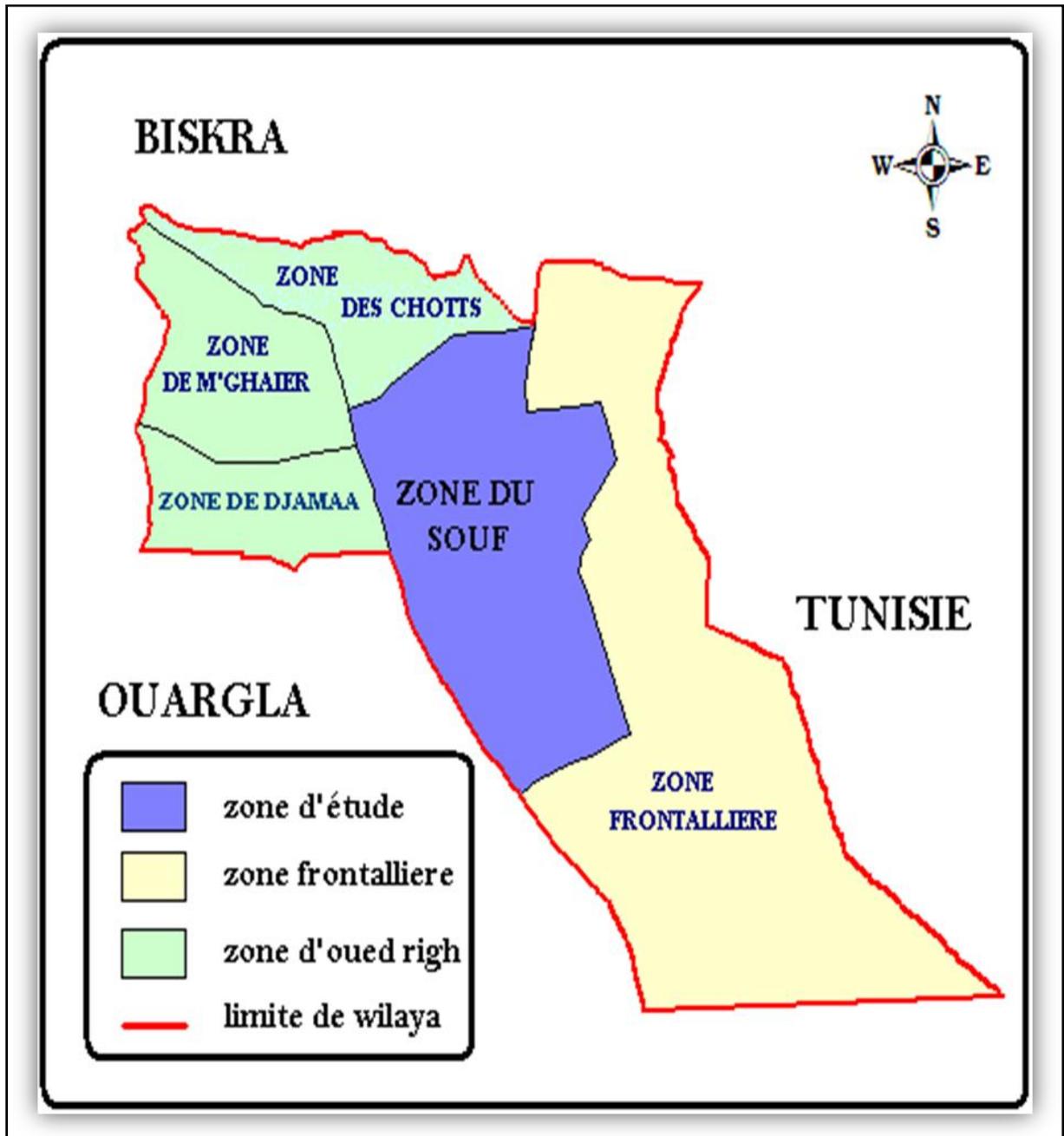


Figure (I-2) : Les frontières de la région du Souf. (Source A.N.R.H.2005).

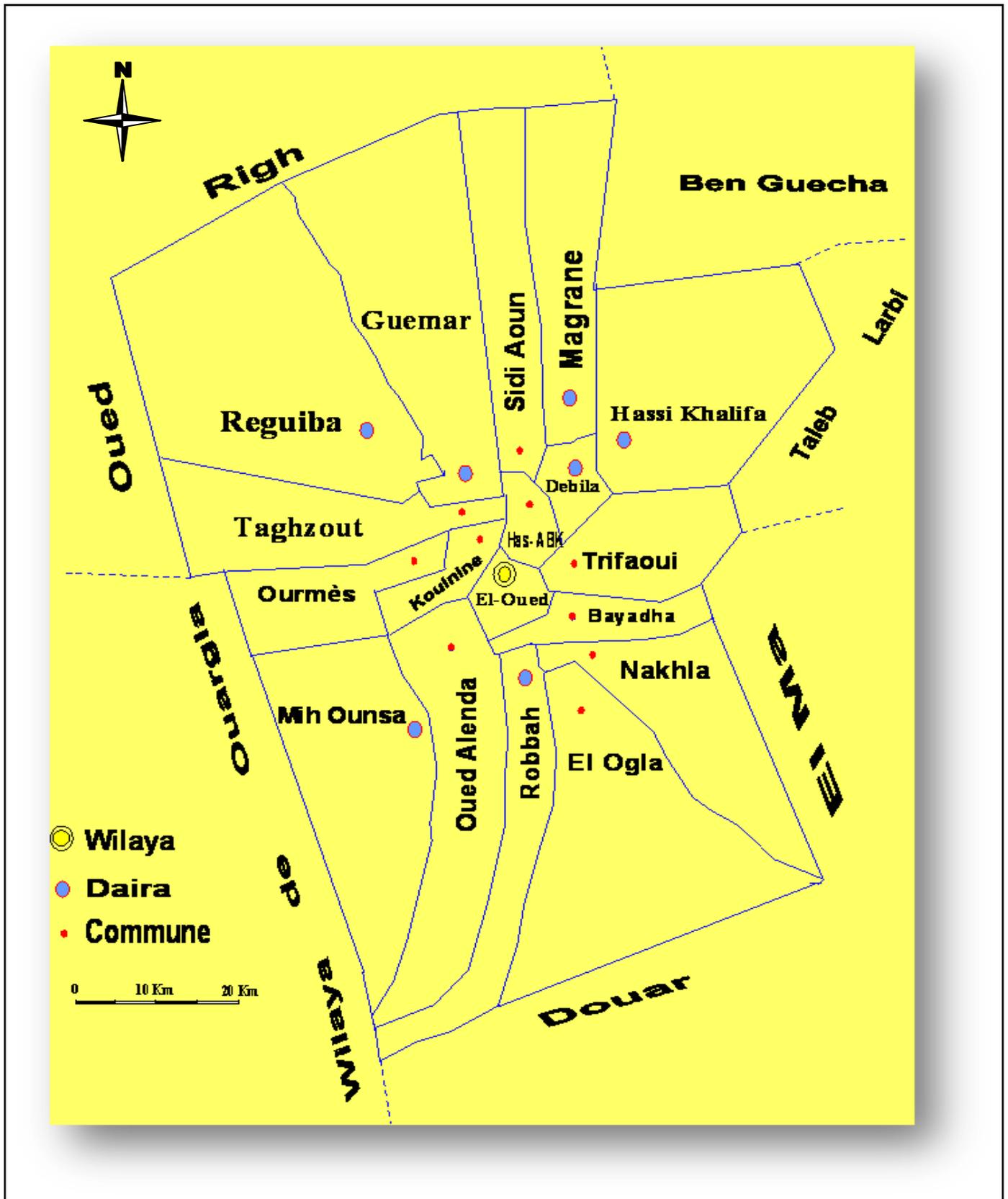


Figure (I-3) : Répartition administrative des chefs-lieux des communes de la vallée d'Oued Souf (Khechana. S, 2007).

I.2. Situation économique :

La région est caractérisée par une économie agricole liée intimement au palmier dattier. Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an. L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit (DSA, 2010):

- Ovin : 500 000 têtes.
- Caprin : 153 000 têtes.
- Camelin : 27300 têtes.
- Bovin : 4700 têtes.- Cela permet d'avoir :
- Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an;
- Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an;
- Une production d'œufs estimée à : 27561270 Œufs/an;
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est le palmier dattier viennent après le tabac, les arachides en dernier la pomme de terre et quelques cultures maraîchères. La ville d'El-Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique.

En ce qui concerne les activités artisanales, la région du Souf a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinés à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés. Enfin son architecture est admirable, distinctes par les coupes qui coiffent les maisons. (KHECHANA Salim, 2014).

I.3. Relief Et Topographique de la Région d'Etude :

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres accuse une diminution notable du Sud au Nord pour être de 25 mètres au dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara (A.N.R.H., 2005).

Le relief d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- une région sableuse ayant un double aspect ; l'Erg et le Sahara à l'O uest.
- Une forme de plateau rocheux qui se prolonge vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression caractérisée par la présence d'une multitude de Chotts qui se prolongent ver l'Est.

Le relief est très accidenté et couvert de chaînes de dunes surtout la partie sud ouest, atteignant 100 m de hauteur, et reposant sur une formation quaternaire de plusieurs dizaines de mètres de sable fin éolien, compact, homogène et uniforme avec l'existence d'un nombre important de cratères creusés par l'homme (ghouts) et des acquêtes = vide entre les dunes (houds) .

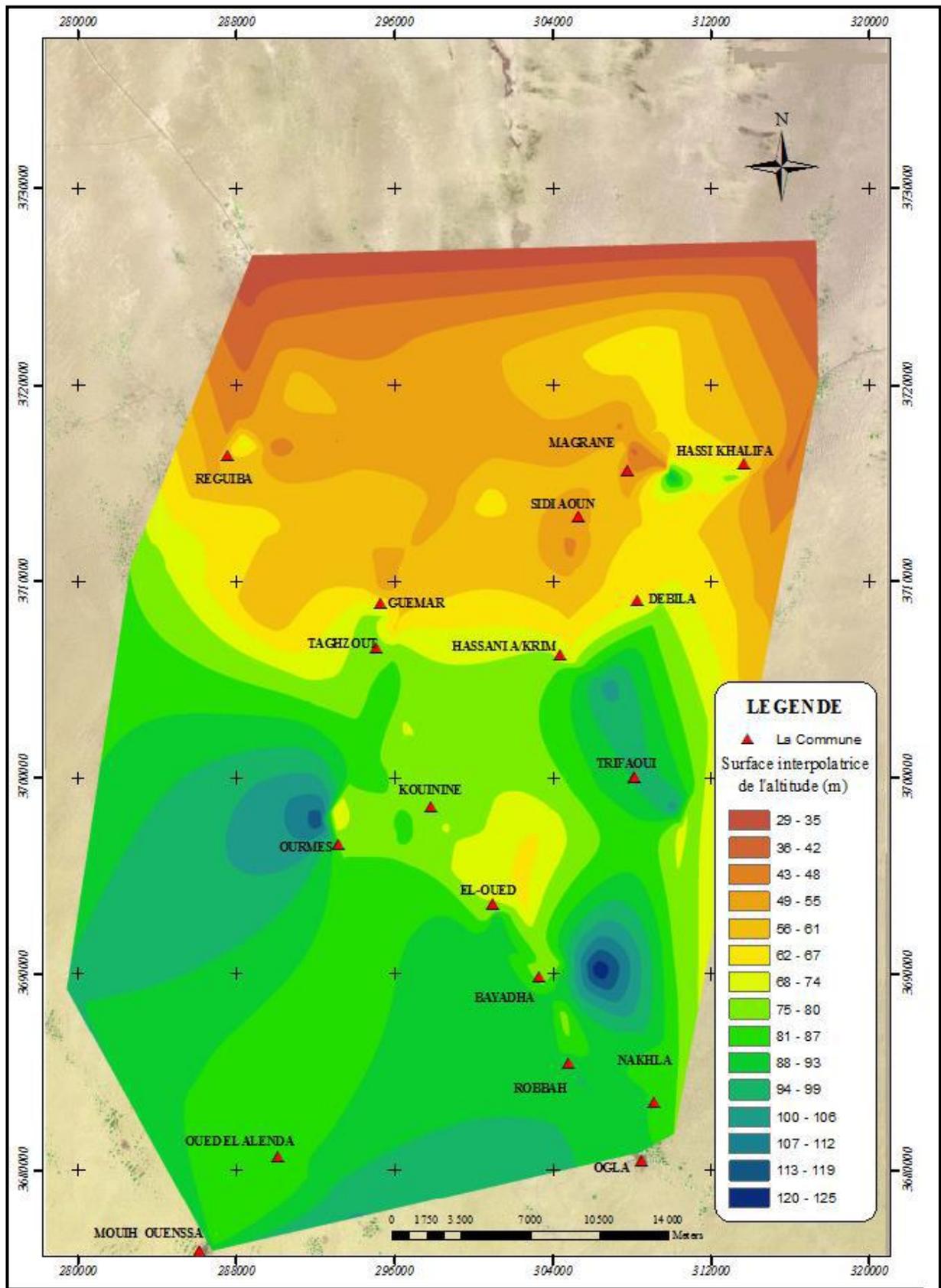


Figure (I-4) : Carte topographique de la région d'étude(MILOUDI m.).

I.4. Géomorphologie de la région d'Etude :

La région du SOUF se trouve dans la partie du grand Erg Oriental, qui se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine Continental et d'âge quaternaire. Ces dunes sont déposées longitudinalement portant la dénomination du (SIF) dépassant parfois 60 mètres de hauteur.

Entre les cordons dunaires se forment les "Sahanes" ou les plateaux déprimés, souvent assez étendus et parfois caillouteux ou recouverts par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire.

I.5. Situation foncière :

La principale activité des habitants du Souf jusqu'à ce jour est l'agriculture. L'agriculture des palmeraies a vu des efforts considérables tant sur le plan physique que financier.

Les cuvettes traditionnelles dites "Ghouts" que creusait l'agriculteur et dans lesquelles il plantait ses palmiers, permettaient à ces derniers de puiser l'eau dont ils avaient besoin pour leur développement à partir de la nappe phréatique qui était toute proche. Cette méthode facilitait la tâche à l'agriculteur, elle lui évitait donc l'irrigation des palmiers. On dénombre dans le SOUF plus de 9000 Ghouts (**D .S . A d'EL-OUED 2005**).

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est donc le palmier dattier vient après le tabac, les arachides en dernier la pomme de terre et quelques cultures maraîchères.

La surface agricole utile est de l'ordre de 19000 ha. Le secteur privé détient plus de 16000 ha (plus de 84 % de la superficie totale) (**D.S.A d'EL-OUED, 2005**).

La ville d'EL-OUED est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique.

En ce qui concerne les activités artisanales, la région du SOUF a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinés à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés.

I.6. Etude hydro-climatique :

La connaissance des caractéristiques hydro-climatiques est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car elles influent sur les apports souterrains (infiltration), donc sur l'hydrodynamique des aquifères en particulier lors de l'établissement du bilan hydrique de ces derniers.

En effet, elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines (recharge) et d'autre part d'avoir une idée sur la variation climatique caractérisant la région d'étude.

I.6.1 Climatologie :

La région d'étude a un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec dont la température peut atteindre 54° C et un hiver doux jusqu'à 3° C.

Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence, connus sous le nom de "Chehili" ou le sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps.

Les données relatives aux différents paramètres climatiques (pluie, précipitations, température, humidité et évaporation...etc.) ont été recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (O.N.M), enregistrées par la station climatologique de l'aérodrome de Guemar-EL- OUED.

Pour une meilleure caractérisation du climat de la région de Souf nous avons utilisé les données de la station météorologique de Guémarr à El-Oued en se rapportant à une période de sept ans (2000-2006) (**O.N.M, 2006**).

Le tableau suivant montre les résultats moyens de mesure de la température, humidité, précipitation, insolation, évaporation et vitesse de vent.

Tableau (I-1) : Données météorologiques de la région de Souf (2000-2006).

parameter Mois	Humidité H. (%)	Température T. (°C.)	Précipitation P. (mm)	Insolation I. (h)	Vitesse de vent V. (m/s)	Evaporation E. (mm)
Janvier	63,57	10,4	24,14	240,85	3,04	73,71
Février	54,28	12,78	2,4	247	2,68	94,42
Mars	45,85	18,34	4,32	270,42	4,08	153
Avril	44	21,44	11,1	285,71	4,05	200,28
Mai	37	25,98	2,21	303,71	4,37	241,71
Juin	33,42	30,97	1,56	350,14	3,74	258,42
Juillet	51,28	34,54	0,3	340,57	3,81	315
Août	35,57	33,5	9	316,57	3,22	257,42
Septembre	47	27,95	9,46	281,71	3,3	186
Octobre	51,57	23,75	10,08	242,28	2,33	155,42
Novembre	60,28	16,67	11,05	219,57	2,12	109,28
Décembre	68,14	11,85	12,75	198,85	2,55	100,85
Moyenne annuelle	49,33	22,34	8.19	274,78	3,27	178,79

Source: (O.N.M., 2007).

I.6.1.1– La température :

La température dans cette région est constamment variable. Les écarts entre la nuit et le jour dépassent parfois 21°C.

A l'ombre, les minimax de températures progressent régulièrement de 3°C à 25°C, alors que les maximas de 15°C à 40°C et c'est selon la durée de l'ensoleillement. Ces valeurs sont élevées entre le début du mois de Janvier et la fin du mois de Juillet.

la température moyenne mensuelle:

Le tableau (03) ci-dessous donne les valeurs de la température moyennes mensuelles observées durant la période (1978-2016).

Tab.I.2 : Moyenne mensuelle interannuelle de température

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
T(°C)	34.74	29.28	21.94	16.17	15.71	18.56	23.35	27.73	32.59	37.1	38.76	38.66	27.88

(ONM, 2016)

A partir la Figure (I.5) des variations mensuelles des températures ; on peut tirer que la valeur maximale est de 35.98°C au mois de juillet et la valeur minimale est de 12.15°C au mois de janvier.

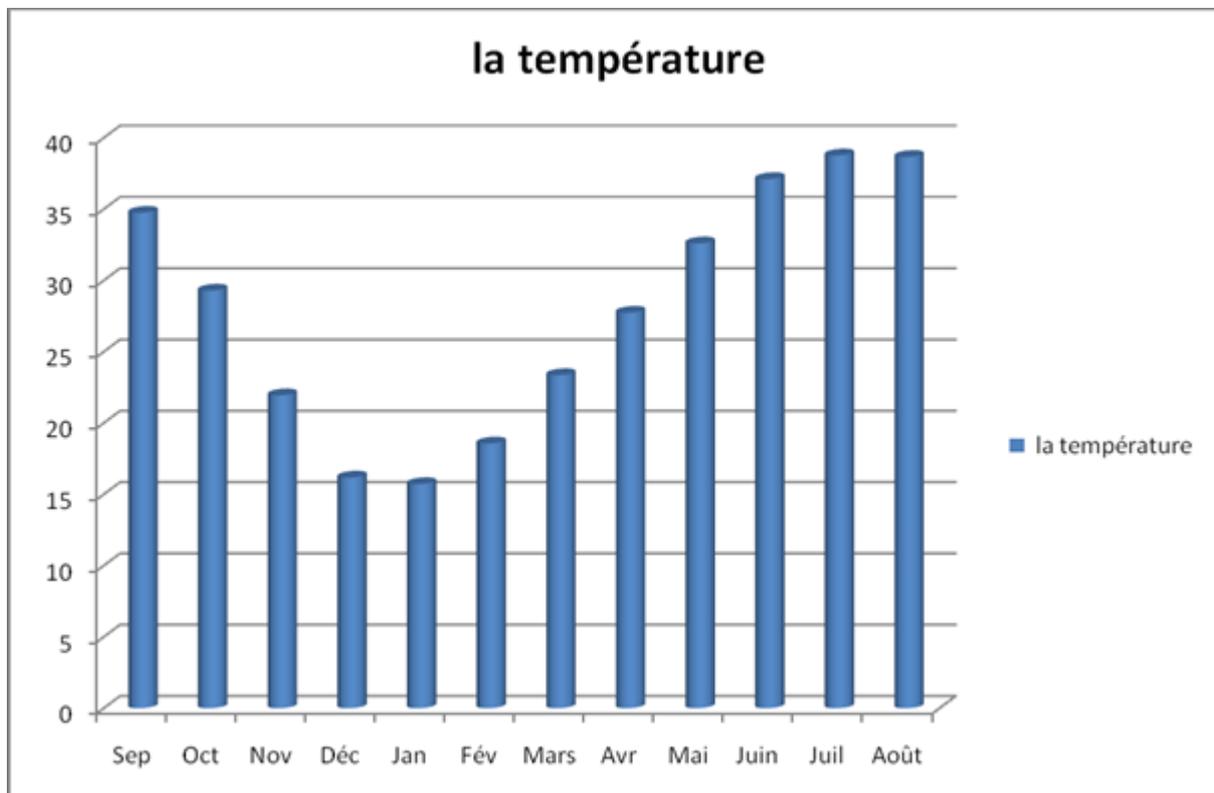


Figure (I-5) : Températures moyennes mensuelles durant la période 1978-2016.

I.6.1.2–Les précipitations :

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Ce terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol. la précipitation moyenne mensuelle: Le tableau (I.3) ci-dessous donne les précipitations moyennes mensuelles observées durant la période (1978-2018).

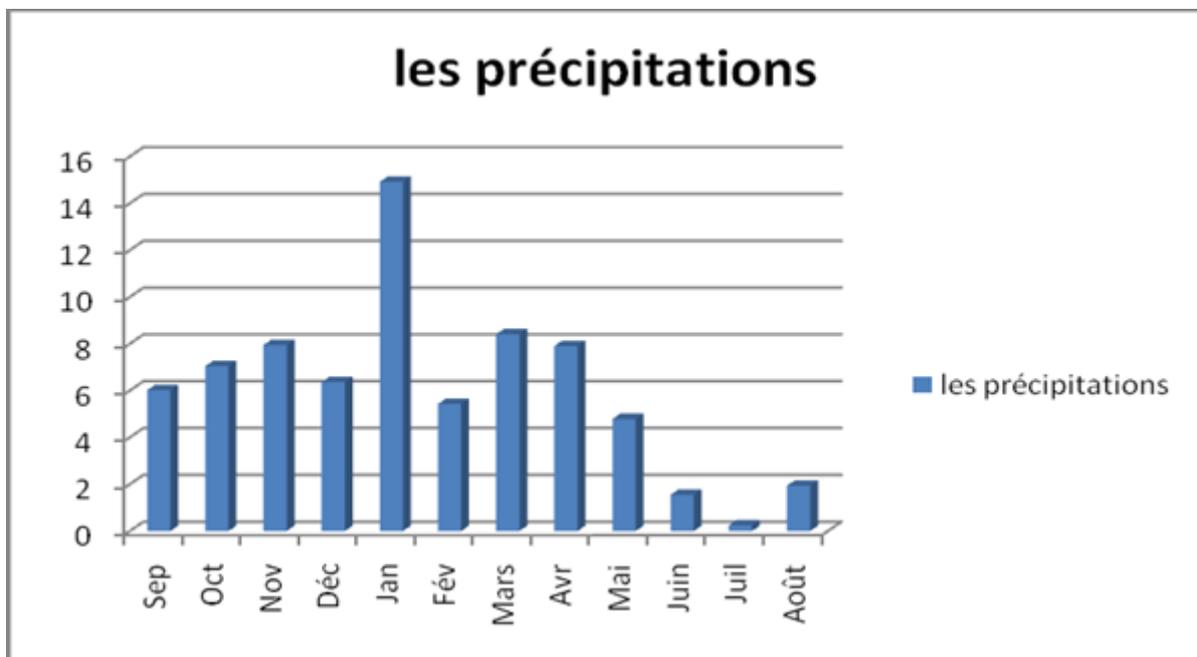
Tab.I.3 : Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1978-2018)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P (mm)	6.02	7.05	7,95	6.36	14.92	5.43	8.41	07,91	4.79	01,55	0,25	01,94	72.58

(ONM, 2018)

Nous observons que tout au long de ces 40 ans, une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles : les pluies connaissent leur maximum en janvier avec 14.92 mm et un minimum de l'ordre de 0.25mm enregistré pendant le mois de juillet. (Figure I.3).

Les précipitations mensuelles permettant d'apprécier le régime pluviométrique.



(ONM, 2018)

Figure (I-6) : Précipitations moyennes mensuelles durant la période 1978/2018.

I.6.1.3- Humidité relative :

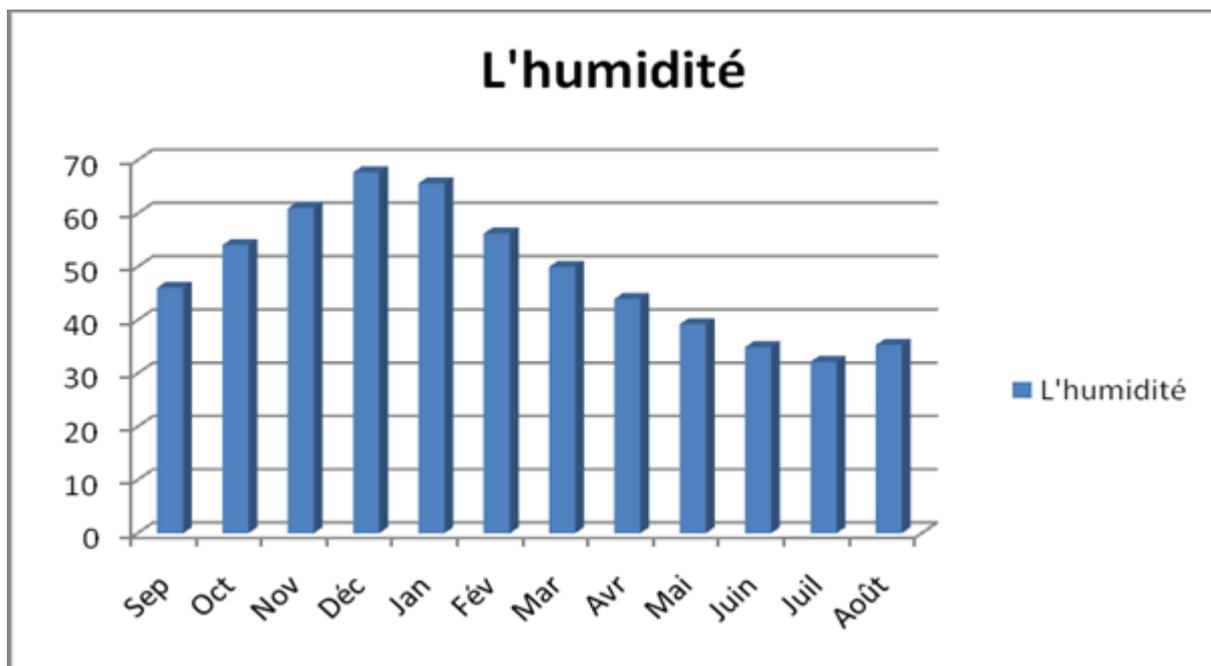
L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relative moyenne, observées durant la période de (1978-2015).

Tab.I.4: Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1978-2015)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Humidité (%)	46.08	54.08	61	67.72	65,67	56,24	50	44	39.24	34,94	32.18	35.32	48,87

(ONM, 2015)

Dans la région d'El-Oued, l'humidité de l'air est faible ; la moyenne mensuelles de l'humidité relative est de 48.87%. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 32.18% pendant le mois de Juillet (Figure I.7) ; et ceci sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds, alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 67.72 % au mois de Décembre.



(ONM, 2015)

Figure (I-7) : Moyennes mensuelles d'Humidité relative en (mm) (1978-2015).

I.6.1.4– L'évaporation :

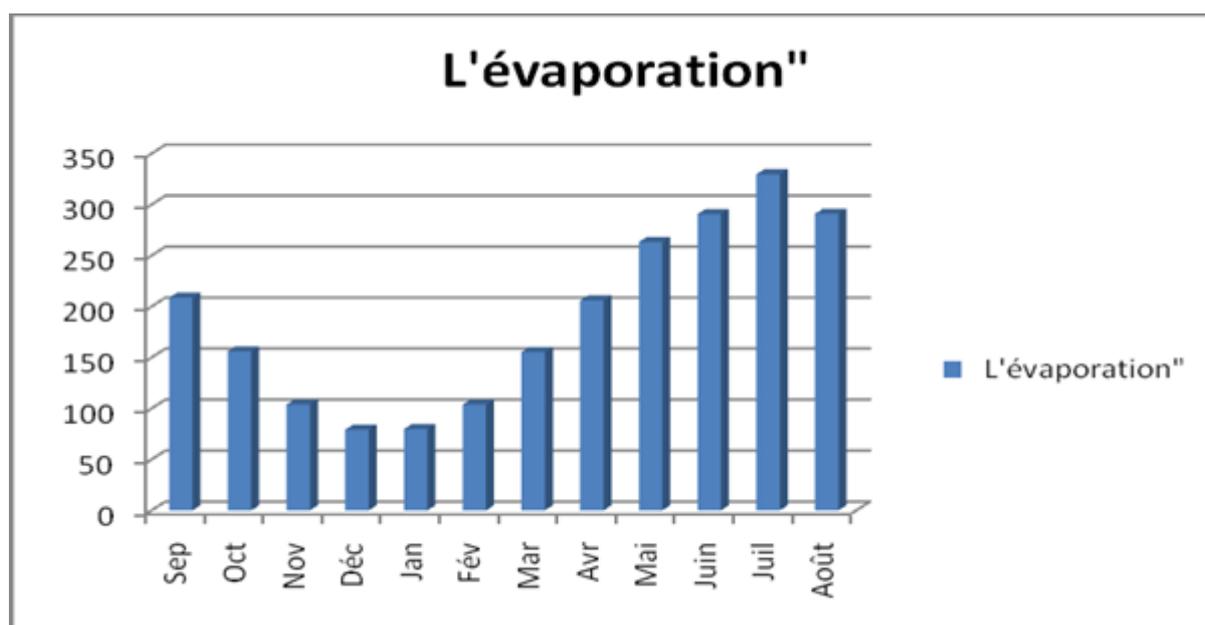
Le tableau suivant (05) porte les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation période (1986-2009). L'évaporation la plus élevée se produit en juin, Juillet et Août, et la plus faible en janvier. En moyenne Elle est de 189.02 mm par an.

Tab.I.5 : évaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en (1986-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
EVAP (mm)	208.7	156.1	104.02	79.3	79.7	103.9	155.4	206.2	263.3	290.8	329.8	291	189.02

(ONM, 2009)

Les volumes d'eau perdus par évaporation atteignent leur maximum au mois de Juillet (Figure I.8) avec 329.8 mm contre un minimum de 79.3mm au mois de décembre.



(ONM, 2009)

Figure (I-8) : Evaporations moyennes mensuelles durant la période 1986-2009.

I.6.1.5- L'insolation :

L'ensoleillement est considérable à Souf avec 274,78 h/mois avec une maximum 350,14 heure en Juin et un minimum de 198,85 heures en Décembre, la durée d'insolation moyenne annuelle entre (1976-2008) est de 3297,36 h/an, soit environ 9,03 h/jour.

Tab.I. 6: Répartition moyenne mensuelle d'insolation (1976-2008)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Insol (h)	274,4	257,2	233,6	228,0	240,2	248,6	276,5	288,6	307,5	345,9	351,9	331,7	282

(ONM, 2008)

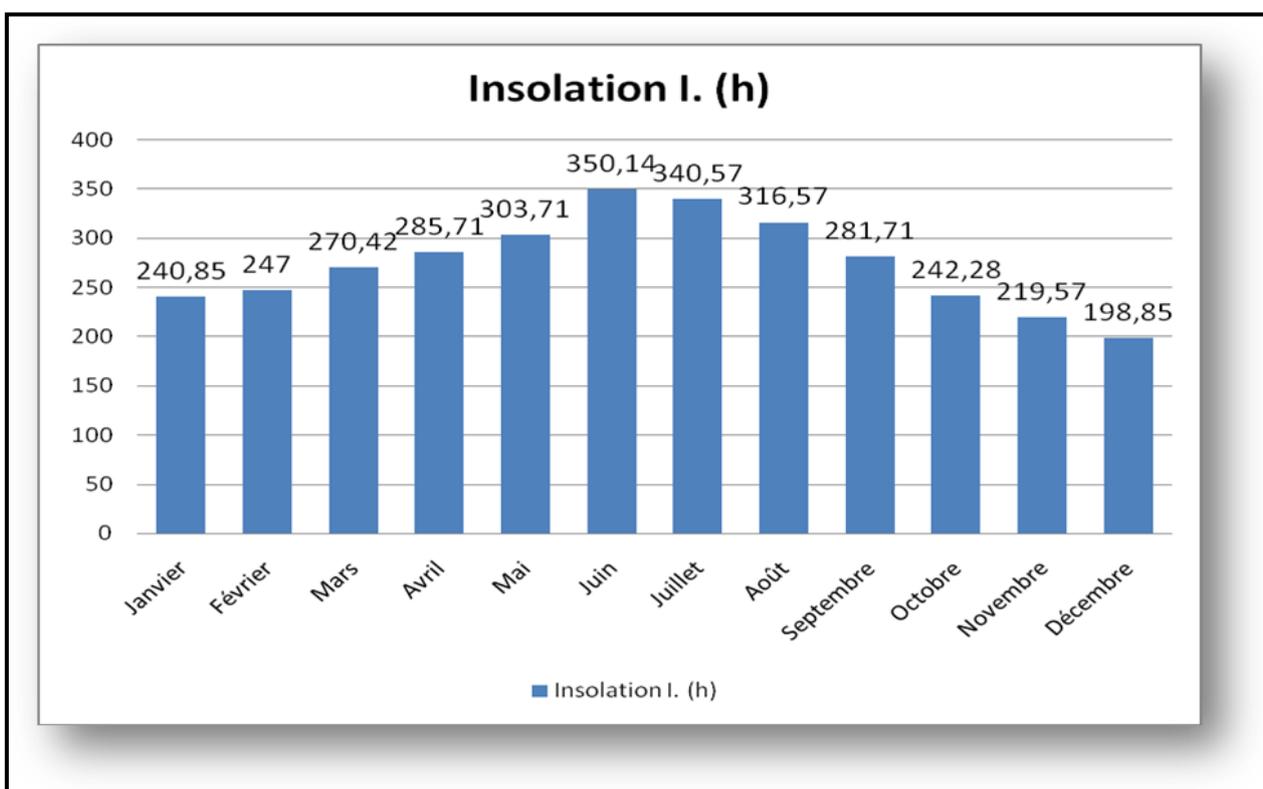


Figure (I -9) : Moyennes mensuelles de l'Insolation (h) (1976-2008).

II.6.1.6 - Les Vents :

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 véritable tempêtes restent très rares .

On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominés par le vent d'Est communément appelé "El-Bahri".

Ces vents de sable donnent au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 30 à 40 km/h.

La vitesse moyenne des vents enregistrée pour la période de (1993-2015) est reportée sur le tableau (I.7).

Tab.I.7: vitesses du vent moyennes mensuelles à Oued Souf en (1993-2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Vent (m/s)	3.13	2.21	2.04	2.07	2.2	2,84	3.32	3.95	4.06	3.98	3.47	3.09	3.03

(ONM, 2015)

Au niveau de la région, les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant du mois de février jusqu'au mois d'Aout (Figure I.10), avec un maximum de 4.06 m/s durant le mois de Mai.



Figure (I -10) : vitesses moyennes mensuelles des vents durant la période 1993/2015.

I.6.2. Synthèse climatique

I.6.2.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Les températures et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée.

Les périodes humides et sèches sont mises en évidence grâce au diagramme Ombrothermique de Gausсен (Figure I. 11).

Selon FAURIE *et al.* (1980), le diagramme ombrothermique (Ombro=pluie, thermo=température) est construit en portant en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations "P" sur un axe et les températures "T" sur le second en prenant soin de doubler l'échelle par rapport à celle des précipitations " $P = 2T$ ".

Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique (RAMADE F, 2003).

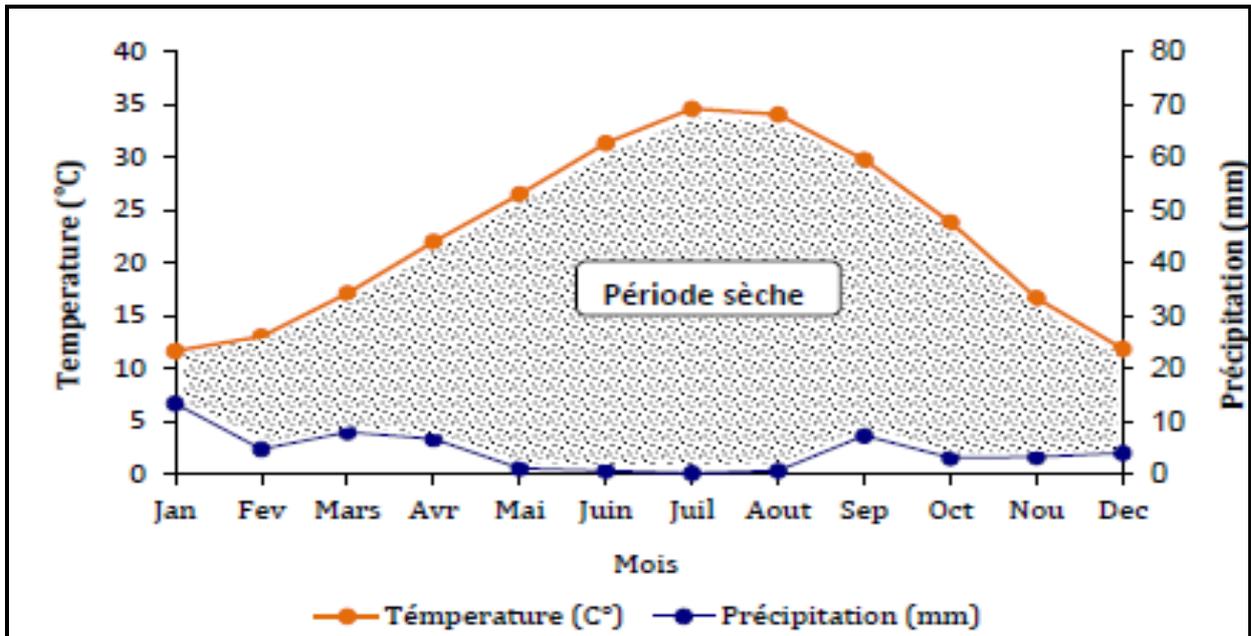


Figure I.11 : Diagramme ombrothermique de Gausсен de la région du souf (2007-2016).

Le climat de la région du Souf est, à certain points, analogue à celui du reste du Sahara c'est-à-dire un climat des contrées désertiques, si l'on considère sa pauvreté en végétation, la sécheresse de l'air, le manque d'eau en surface et l'irrégularité des précipitations (NAJAH, 1971)

La région du Souf est caractérisée par deux périodes (période sèche et période humide). Il est signalé que la période sèche persiste sur toute l'année pendant très longtemps et notamment durant les dix dernières années (2007 à 2016).

I.6.2.2. Climagramme d'EMBERGER

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté en axe des abscisses par la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en axe des ordonnées par le quotient pluviothermique (Q2) d'EMBERGER (1933) (LE HOUEROU, 1995). Nous ont utilisé la formule de STEWART (1969) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3.43 \frac{p}{(M-m)}$$

- P = Pluviométrie moyenne en (mm)
- M = Moyenne des Maxima du mois le plus chaud en (°C)
- m = Moyenne des minima du mois le plus froid en (°C)

Une lecture du Climagramme d'Emberger, situe la région d'El Oued dans l'étage bioclimatique Saharien, à hiver doux avec des quotients pluviothermique (Q2) de 3.14 (Fig. 12).

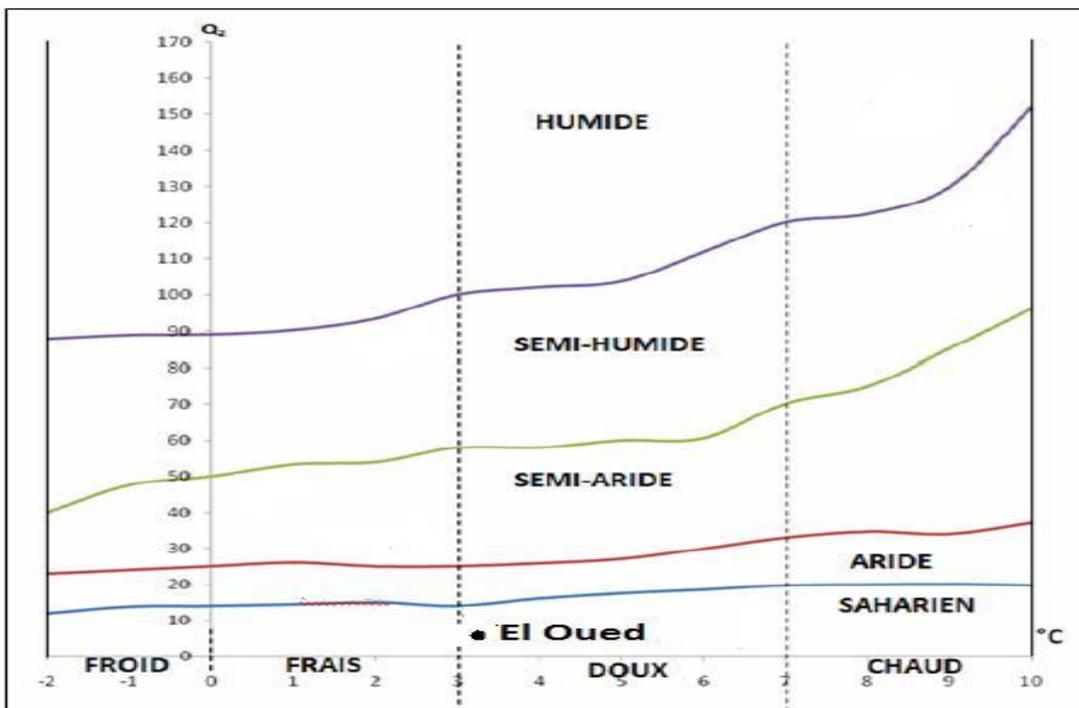


Figure 1.12 : Etage bioclimatique de la région d'El Oued selon le climagramme d'Emberger

A travers ces données, on peut dire que notre région d'étude est caractérisée par un climat Saharien. La faiblesse de précipitations devant un pouvoir évaporant élevé font que le déficit hydrique est quasi permanent ce qui se répercute défavorablement sur la densité, la biodiversité ainsi que sur l'activité des microorganismes du sol.

Conclusion

L'étude hydro-climatique représente les bases de données indispensables pour un bilan hydrique, lequel est indispensable pour la gestion des ressources hydriques souterraines.

La synthèse des données climatiques nous permet de dire que la région est caractérisée par un climat hyper-aride, caractérisé par une irrégularité pluviométrique annuelle et interannuelle.

Ce climat est caractérisé par l'existence de deux périodes différentes :

- L'une sèche et chaude, qui s'étale de mars à novembre et l'autre humide et froide pendant le reste de l'année.
- Le mois le plus humide est décembre, il est caractérisé par une forte humidité (environ 66.55%) et d'un faible rayonnement solaire (environ 225 heures). Le mois le plus sec est juillet, il est caractérisé par une faible humidité (32 % environ). La brillance du soleil est très élevée avec 352 heures, ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

Chapitre II

***Etude Géologique et
Hydrogéologique de la Région
du Souf***

Introduction

L'Algérie comprend quatre grands domaines géologiques du nord au sud:

- L'Atlas tellien (ou le Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja au centre, le Chelif à l'ouest et le Seybouse à l'est.
- Les Hauts Plateaux.
- L'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs orientés SO-NE s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie.

Le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement la limite méridionale du Sahara algérien.

II.1. Etude Géologique de la Région du Souf :

II.1.1. Structure Géologique Général :

À la base de l'édifice sédimentaire il y a des terrains paléozoïques marins contenant des niveaux aquifères salés et les gisements d'hydrocarbure au-dessus, et en discordance on rencontre des formations du Secondaire et du Tertiaire qui peuvent dépasser 3000 m dans le centre du bassin (régions d'Ouargla, Touggourt, El Oued) ainsi que sur la bordure des Aurès (Ziban). Le Quaternaire représenté essentiellement par des sables dunaires, atteint parfois plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

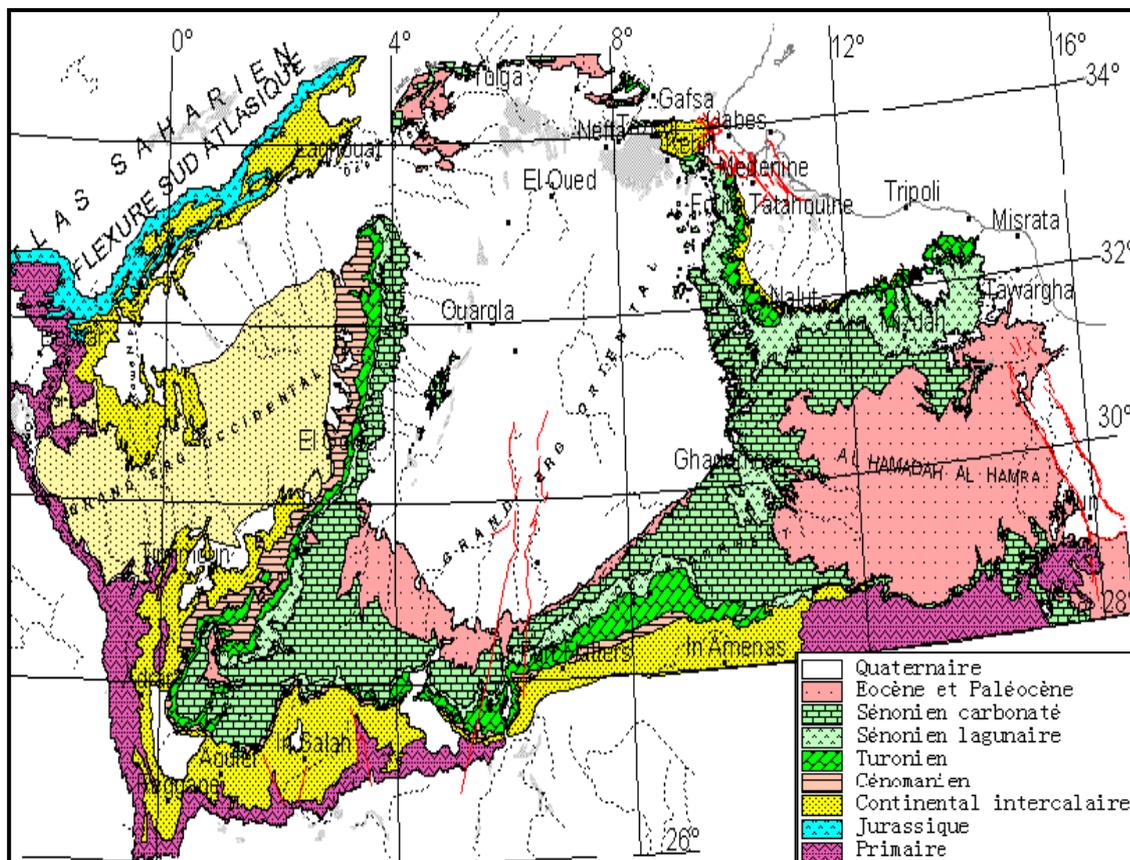


Figure (II-1) : Plan Géologique de Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005)

Schéma (II-1): Synoptique des différents aquifères (A.N.R.H., 1993)

ERE	ETAGE		LITHOLOGIE	NATURE HYDROGEOLOGIQUE
Quaternaire			Sables.	Nappe superficielle.
			Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable).
Tertiaire	Mio-pliocène		Sables.	1^{ère} nappe des sables (Continental Terminal).
			Argiles gypseuses	(Semi perméable).
	Pontien	Sables, graviers et grès.	2^{ème} nappe des sables (Continental Terminal).	
	Eocène	Moyen	Argiles Lagunaires	Substratum
		Inférieur	Dolomies et calcaires.	Nappe des calcaires (Continental Terminal).
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire		
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum.
		Cénomannien	Argile, marnes	Substratum.
		Albien.	Sables et grès.	Nappe Albienne (Continental Intercalaire)

II.1.2. Le Secondaire :

a. Crétacé Inférieur :

***Le Barrémien:**

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

***L'Aptien:**

Comme le Barremien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marne-calcaires.

D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, L'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse guère 30 mètres.

***L'Albien:**

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grés de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argile.

La limite inférieure est constituée par le toit de la barre Aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition, des faciès argilo carbonatés.

D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 m ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 m.

***Le Vraconien:**

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grés à ciment calcaire.

Le plus important dans cet étage, c'est qu'en raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

L'épaisseur de cet étage, dans toute la zone d'étude varié entre 250 et 300 mètres.

b. Crétacé moyen :

***Le Cénomaniens:**

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

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

***Le Turonien:**

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

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre ; elle dépasse parfois 650 mètres (figure n°II-1.2.3).

C. Crétacé Supérieur :

***Le Sénonien:**

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara Algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès :

L'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base, l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

***Sénonien Lagunaire:**

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles ou ces derniers sont aisément différentiant, de ceux du Turoniens.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitique d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncidée avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

***Le Sénonien carbonaté:**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations, marno- argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et des dolomies vacuolaires. Son épaisseur dépasse par fois 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et Eocène qui présentent tous deux des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

II.1.3. Le Tertiaire :

*L'Eocène:

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et ces graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaires.

L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

*Le Miopliocène:

Il repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès.

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, BEL et DEMARGNE séparent cet horizon en 4 niveaux :

-Niveau Argileux

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

-Niveau Grés sableux

Comparé aux 3 autres, 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 pour passer au 3^{ème} niveau. C'est en fait à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

-Niveau Argileux

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

-Niveau Sableux

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal. Donc du point de vue hydrogéologique, les niveaux sableux (2 et 4) présentent un grand intérêt, ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du complexe terminal.

II.1. 4. Le Quaternaire :

On y trouve des dunes récentes à mélange degré blanchâtre et de sable de fin à moyen, beige siliceux, il s'agit d'une formation continentale, ceci le retrait totale de la mer.

L'existence de sable dans les dunes provient essentiellement de l'érosion du Hoggar.

II.2. Interprétation des coupes

Ces coupes ont pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique et l'épaisseur utile de la nappe phréatique de la région.

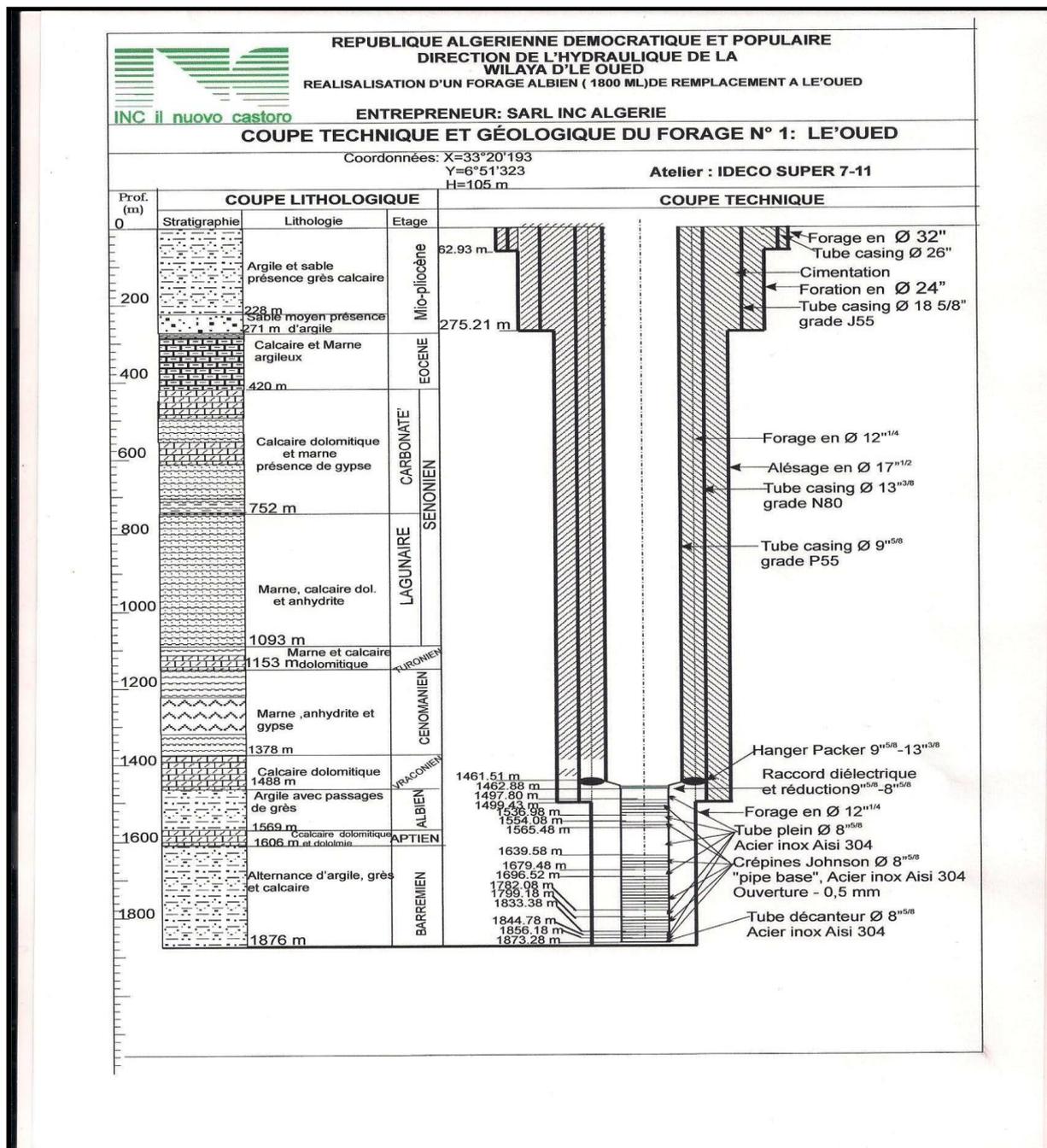


Figure (II-2): La colonne litho stratigraphique du forage, (DRE, 2015).

II.2.1. Coupe n° 1 :

Cette coupe est faite sur la base des coupes de forages, elle est orientée du Nord vers le Sud. On remarque que l'épaisseur du Miopliocène qui est constitué par des argiles, de sable et de calcaire diminue du Nord vers le Sud. Au niveau H₁₁¹⁰⁴ on remarque l'absence des formations quaternaire représentée par des sables; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud. (Fig. II-3)

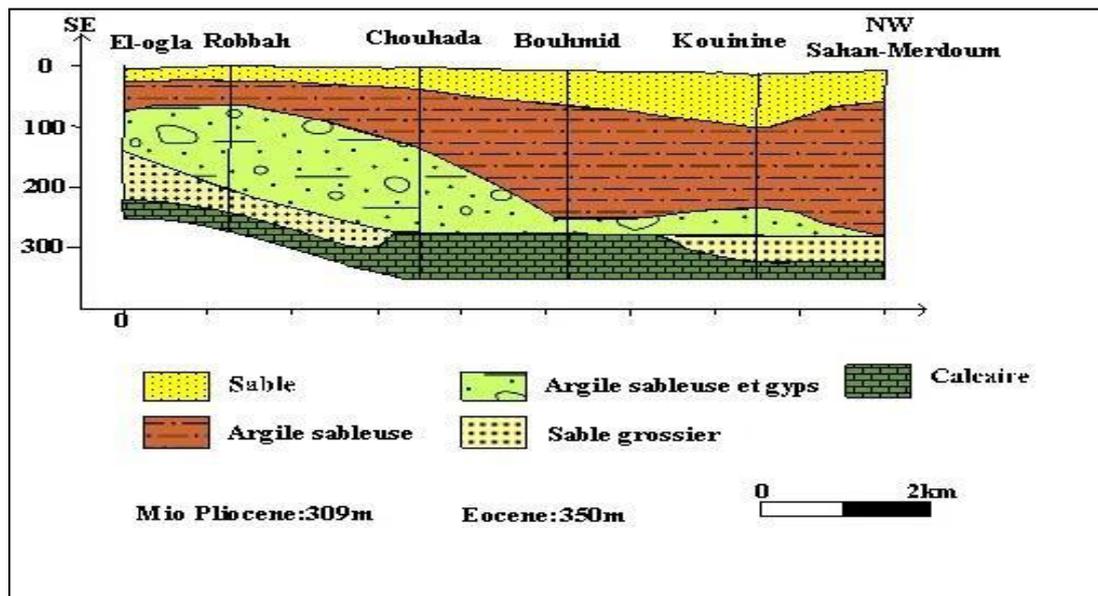


Figure (II-3) : Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).

II.2.2. Coupe n° 2 :

Cette coupe est effectuée sur une distance de 170 Km, allant de Djamaa à l'Ouest vers Bouaroua à l'Est, en passant par Magrane.

Nous constatons que les couches d'argile sableuses qui correspondent au substratum de la nappe phréatique sont caractérisées par une épaisseur considérable, cette importance est très remarquable dans la région de Magrane que dans les autres.

C'est ce qui nous donne une formation de cuvette remplie de sédiments sableux d'âge Quaternaire correspondant à ceux de la nappe phréatique. Nous constatons aussi que cette formation sableuse diminue progressivement à l'Est et à l'Ouest de Magrane. (Fig. II-4).

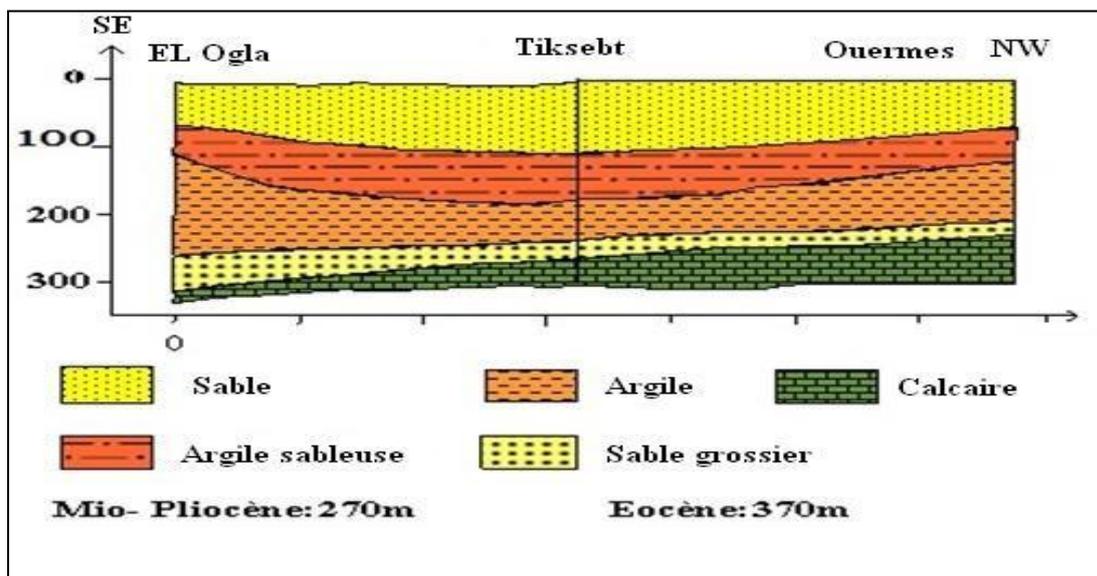


Figure (II-4) : Coupe Géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).

II.2.3. Coupe n° 3 :

La coupe n° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-Est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est. (Fig. II-5).

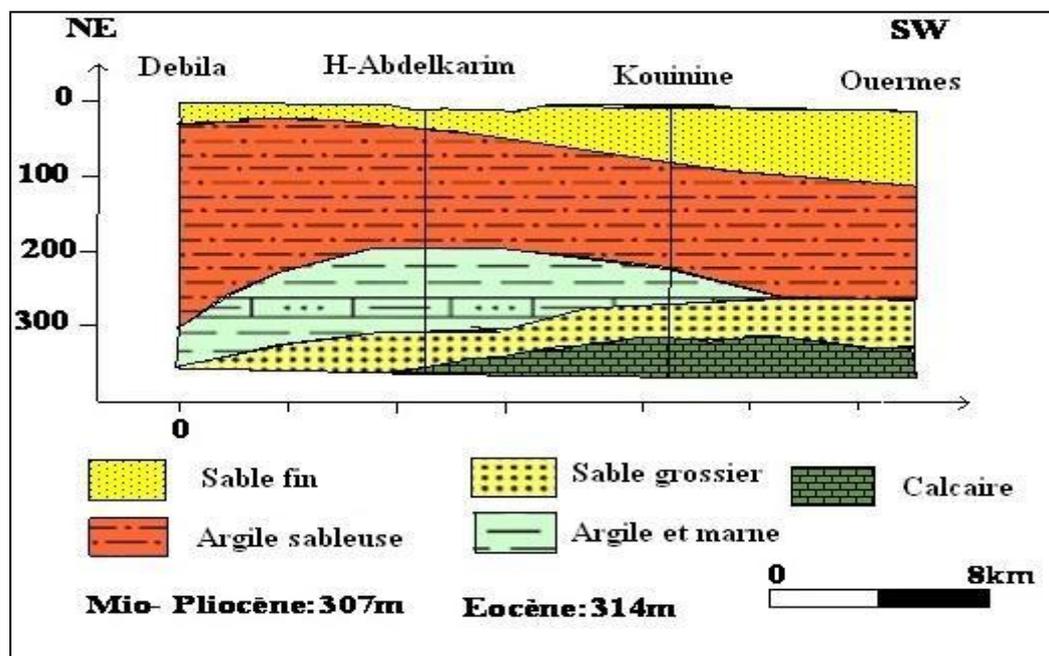


Figure (II-5): Coupe géologique N°03. (A.N.R.H, 1989)

II.3. Tectonique :

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

Les courbures sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'EL Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation.

Il faut noter qu'au cours de la phase de sédimentation, de l'immense dépression au début du quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des Chotts, ou leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du quaternaire.

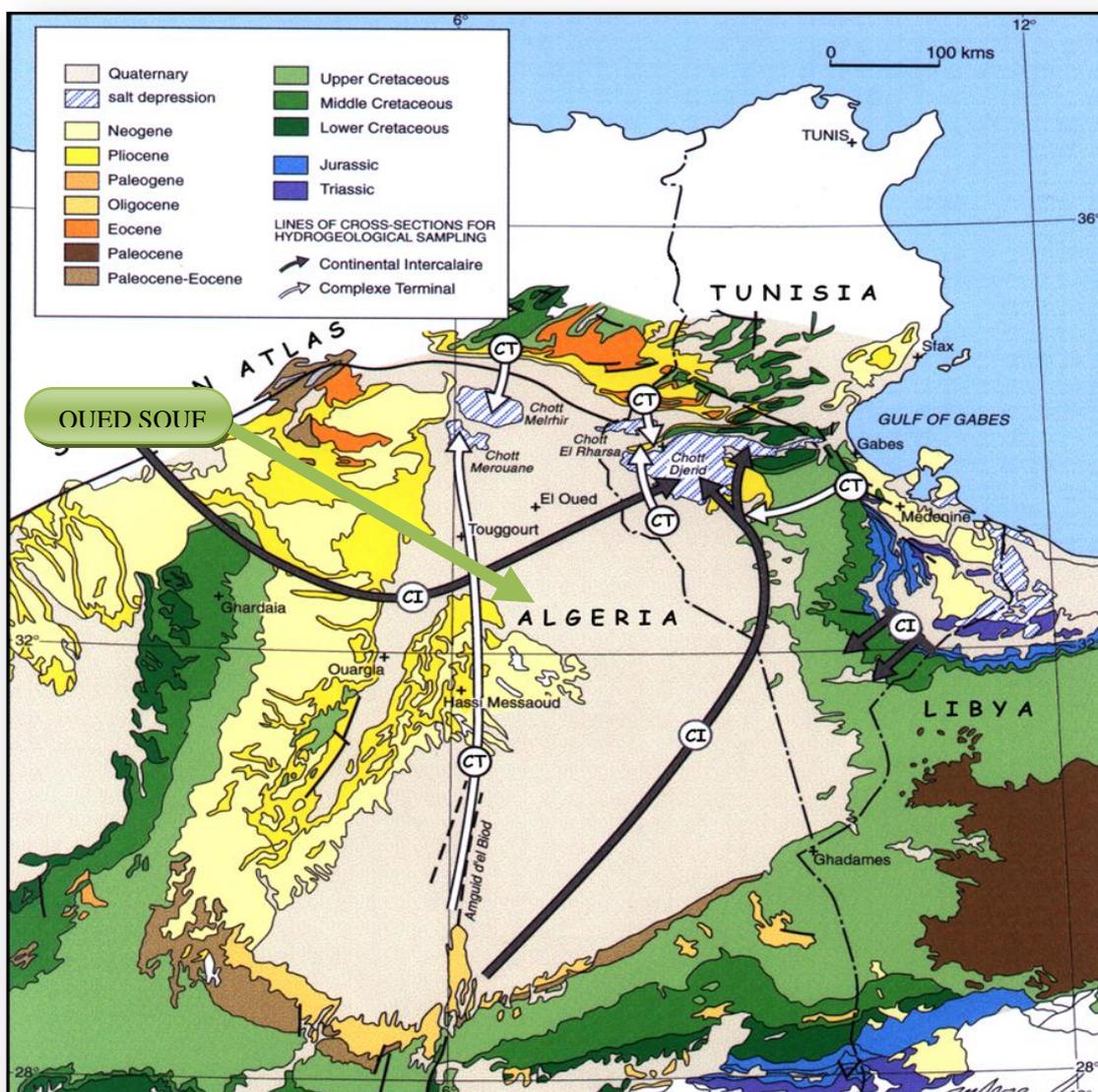


Figure (II-5) : carte géologique avec le sens d'écoulement des nappes de CT et CI dans le Sahara septentrional (Unisco, 1972) modifiée par (Gendouz et al; 2003).

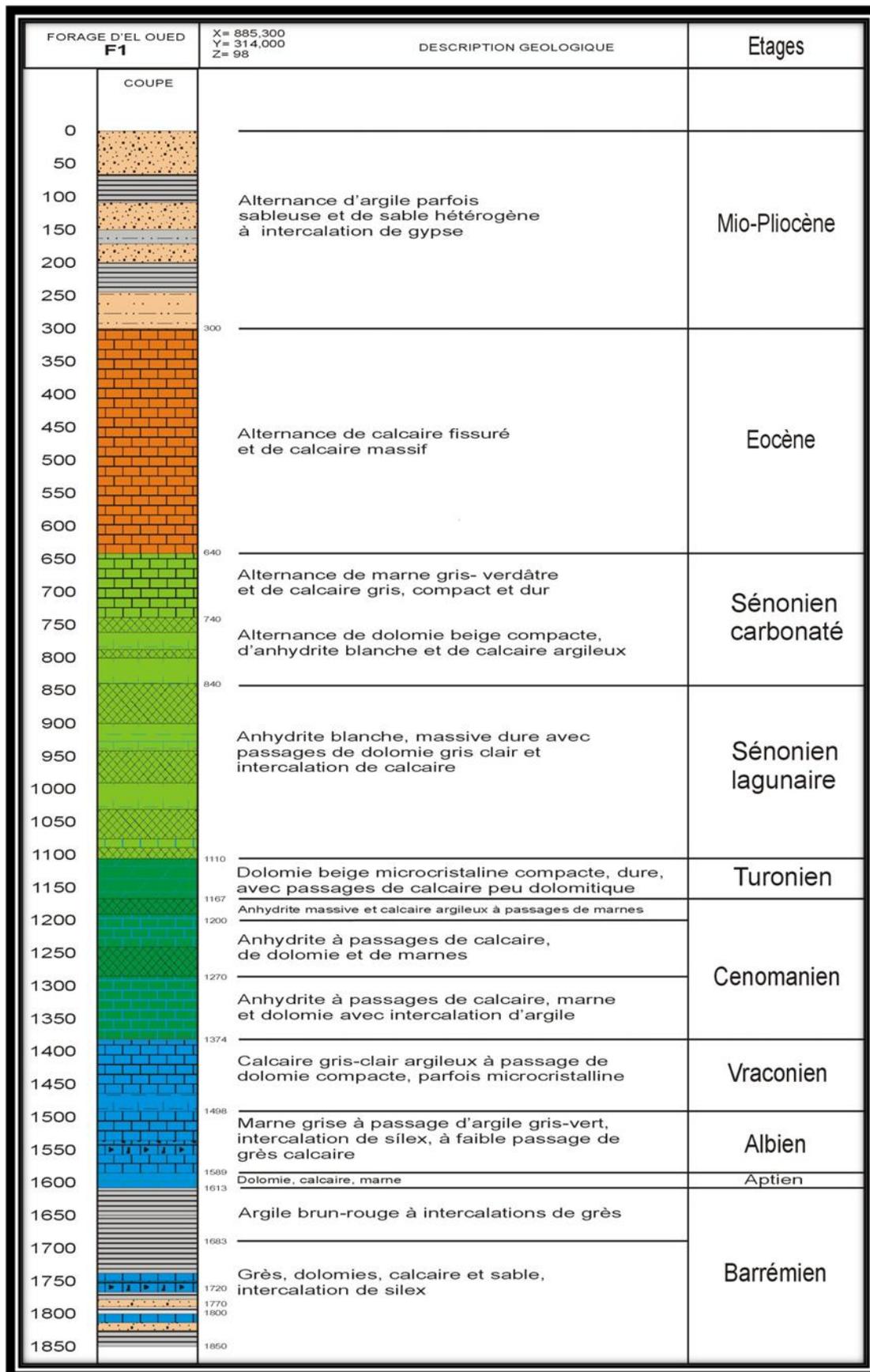


Figure (II-6) : Forage l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).

II.4. Etude Hydrogéologique :

La nappe phréatique du Souf, contenue dans le réservoir sableux superficiel Quaternaire, représente la ressource hydrique principale d'importantes palmeraies. Elle est exploitée par des puits traditionnels au nombre de 10 000 puits selon l'enquête effectuée en 1993 par l'A.N.R.H, de Ouaregla.

La circulation des eaux est particulièrement influencée par la présence d'argiles qui influent sur la perméabilité des sables quaternaires.

II.4.1. Cadre Hydrogéologique Générale :

Dans le Sahara Septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du Continental Intercalaire (C.I) et celle de Complexe Terminale (C.T).

L'étude géologique du Sahara Septentrional montre que la dorsale du M'zab orientée, Nord-Sud divise la plate forme en deux bassins hydrogéologiques :

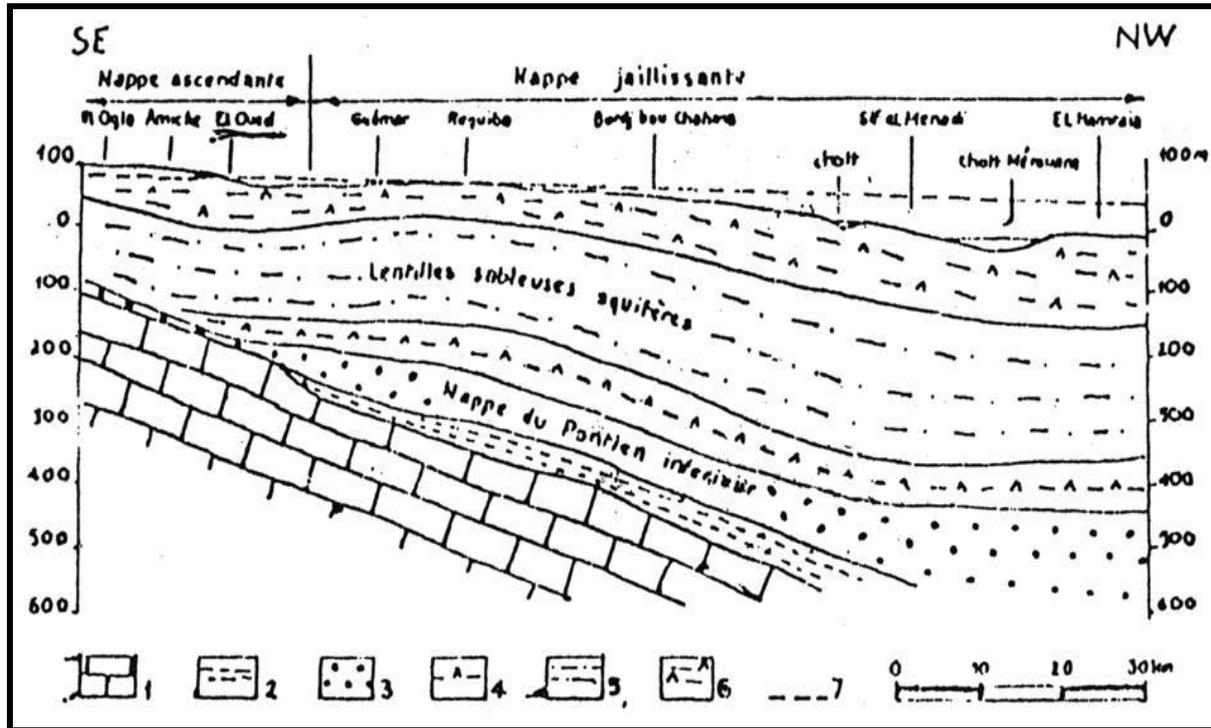
- ✓ Le bassin Occidental (280 000 Km²) drainé vers le Sud
- ✓ Le bassin Oriental (500 000 Km²) drainé vers le Nord (A.N.R.H, 2005).

Au niveau du bassin Oriental, le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal sont séparés par la transgression Cénomaniennne alors qu'au niveau du bassin Occidental nous observons l'existence d'une relation directe entre les deux aquifères.

Le Continental Intercalaire s'étend sur une superficie de 600 000 Km² environ, il est limité à l'Ouest par la ligne (N-S) allant de Bechar au Touat, à l'Est il s'étage jusqu'à la Libye, au Sud il est limité par les affleurements du primaire et du socle, et au Nord par l'accident Sud Atlasique.

Le Complexe Terminal (C.T) s'étend sur une superficie de 350 000 Km². Il regroupe les formations récentes déposées dans le bas de Sahara depuis le début du Tertiaire jusqu'au quaternaire; autrement dit, il comprend les formations de l'Eocène et du Miopliocène (D.H.W, 2005).

Les études géologiques réalisées dans le passer n'ont décelé aucune relation (communication) entre les deux principaux aquifères présents dans la zone d'étude. (Figure II-7).



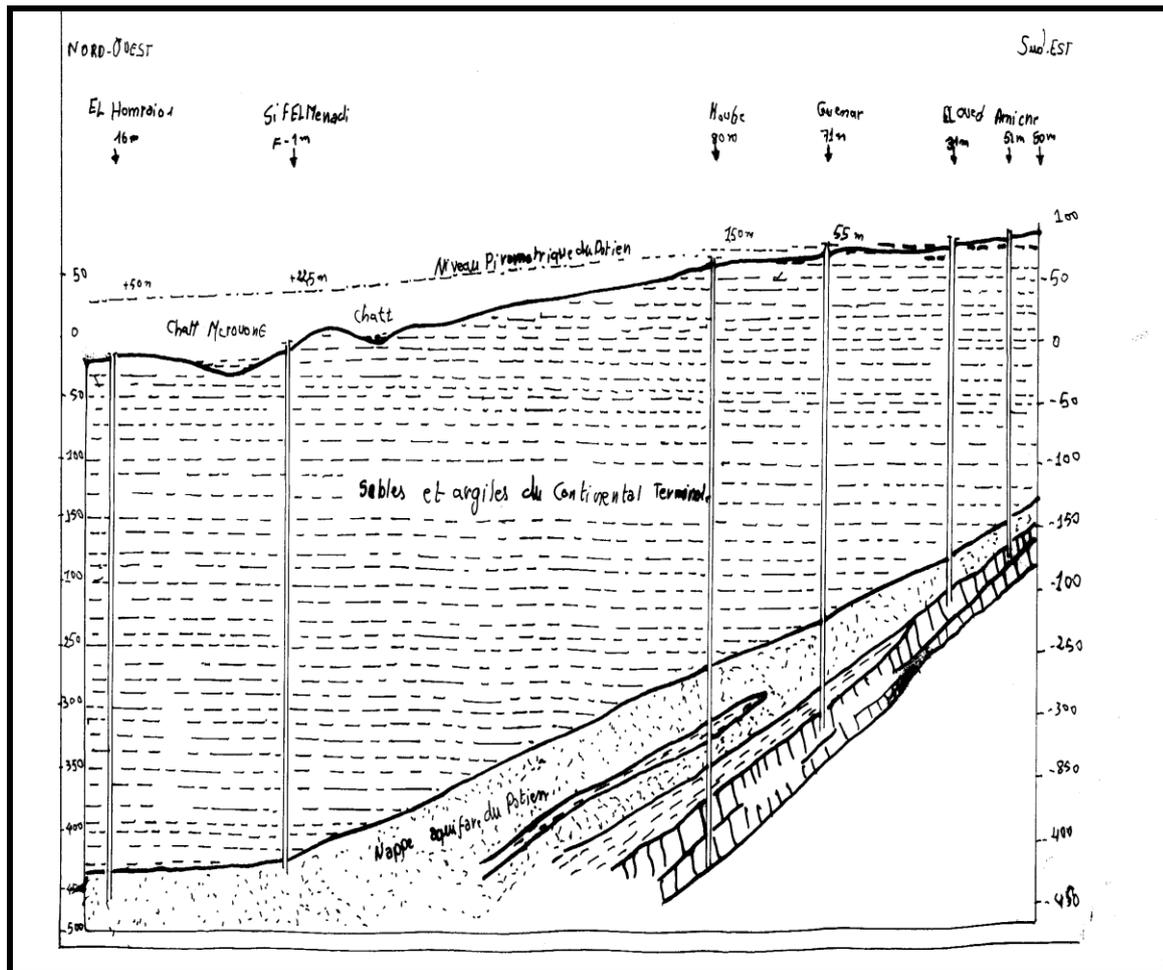
- 1- calcaire de l'Eocène inférieure marin et de l'Eocène moyen évaporés
- 2- argiles sableuses et marnes de la base du complexe terminal
- 3- sables grossiers du Pontien inférieur
- 4- argiles et gypses dominants
- 5- argiles et sables dominants
- 6- argiles, sables et gypses (les trois derniers étages appartiennent au Miopliocène)
- 7- niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur

Figure (II-7) : Coupe Hydrogéologique du Souf (A.N.R.H, 1989).

II.4.2. Présentation des nappes aquifères de la région du Souf :

D'après les études hydrogéologiques effectuées depuis, environ 1953 et la coupe schématique (figure II-8) établie à partir des coupes de sondages, nous observons l'existence de deux types de nappes :

- Une nappe phréatique.
- Et les deux autres nappes captives du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire.



ECHELLE H : 1/10000 V : 1/5000

Figure (II-8) : Coupe Hydrogéologique d'EL HAMRAIA ELOUED.(A.N.R.H, 1989).

II.4.3. Nappe du Continental Intercalaire (C.I) :

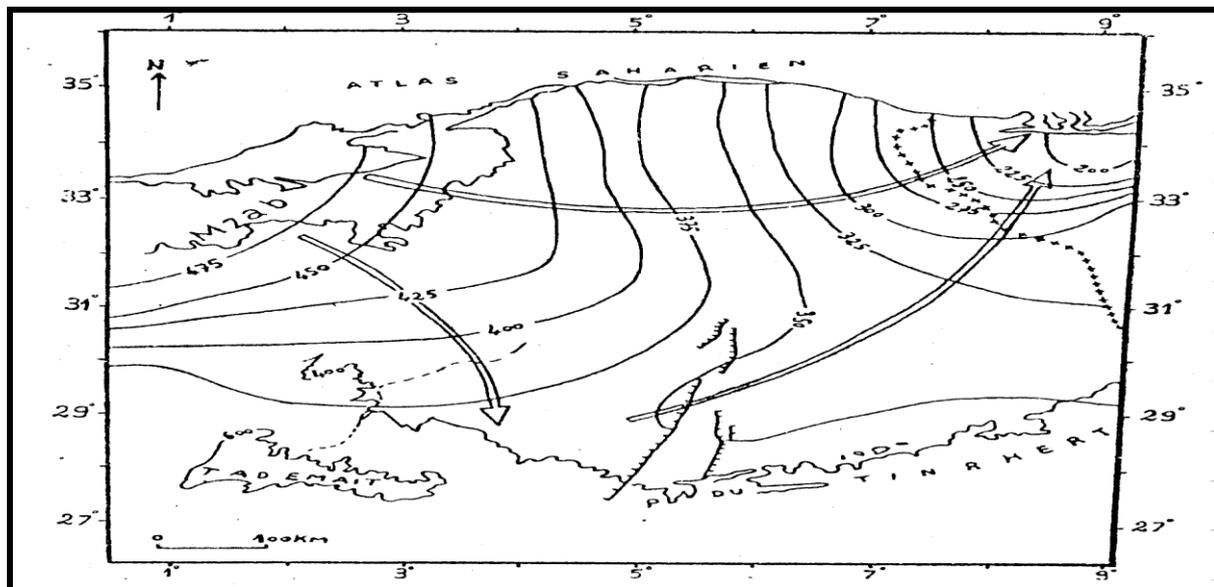
Le terme "C.I", correspond ainsi aux formations continentales du crétacé inférieur, et qui correspond à deux cycles sédimentaires : La régression marine suivit d'une transgression du crétacé supérieur.

Le Continental Intercalaire (C.I) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien.

Le trait manquant du réservoir aquifère du Continental Intercalaire est son volume considérable du à la à son extension (surplus de 600000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système aquifère et qu'il est constitué par de grandes quantités d'eau qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et peuvent être maintenant exploitées; il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météorique et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisée par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoires.

L'épaisseur total du réservoir dépasse 250 mètres dans la plus grand partie du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 mètres au Nord-Ouest. Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-Ouest par contre il plonge vers le Nord-Est.

La puissance de l'ensemble des formations aquifères existantes dans la région (crétacé inférieur, Miopliocène, Eocène et nappe phréatique) dépasse parfois 2000 mètres (Figure II-9).



Légende :

- 400 — Niveau piézométrique (en mètre).
- Sens d'écoulement des eaux.
- +++++ Frontière Algéro-Tunisienne.
- Failles de Amguid El Biod.

Figure (II -9) : carte piézométrique de la nappe du Continental Intercalaire (1960).

II.4.4. Nappe du Complexe Terminal (C.T) :

Ce terme (C.T) regroupe sous une même dénomination un ensemble des nappes aquifères qui sont situées dans des formations géologiques différentes.

D'après (D.H.W, 2005), nous rappelons l'existence de 3 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes des sables d'âge Miopliocènes et Pontien, alors que la dernière correspond à la nappe des calcaires d'âge Sénonien à Eocène supérieur (Figure II-9) .

II.4.4.1. Nappe des Sables :

Au sein de ces niveaux sableux constituent deux nappes captives :

La première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du "Sub-Souf", dont les sables grossiers affleurent progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud au Rustine.

Dans la région d'étude la profondeur moyenne de cette nappe peut atteindre 280 mètres. (Figure II-8).

Une deuxième nappe des sables d'âge Pontien. Au dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires et 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 au 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 les zones à fortes exploitations telle que la ville d'EL Oued, des prélèvements d'eau se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Larbi et Douar EL Maa, la nappe est exploitée à ce jour par artésianisme : c'est le cas de la nappe Pontienne.

II.4.4.2 . Nappe des Calcaires :

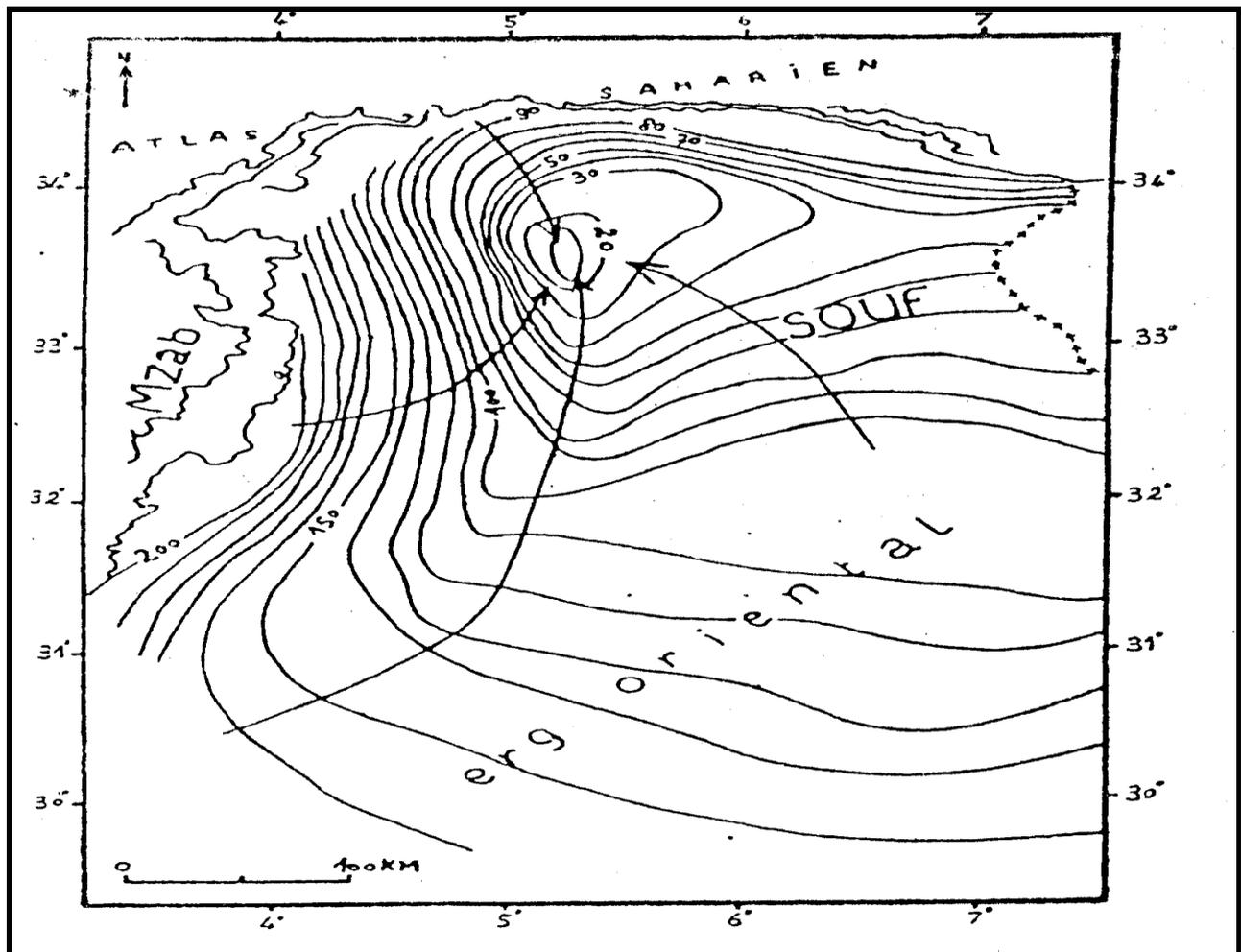
Le Complexe Terminal du Souf possède une lithologie plus complexe.

Les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux durs servants 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 et correspond ainsi au niveau inférieur.

Le niveau supérieur, constitué 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 en passant par des argiles (rouge).

Les forages profonds captant cette nappe, nous montrent que sa profondeur varie entre 500 et 800 mètres, mais il faut mentionner également que cette dernière n'est pratiquement pas exploitée dans la région du Souf.



Légende :

- 100 — Niveau piézométrique (en mètre).
- Sens d'écoulement des eaux.
- + + + + Frontière Algéro-Tunisienne

Figure (II -10) : carte piézométrique de la nappe du Complexe Terminal (1960).

II.4.5. Nappe Phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute l'Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations Continentales déposées à la fin du Quaternaire, avec une profondeur variable entre 10 et 40 mètres.

Cette nappe est la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui sont au nombre de 10000.

La profondeur du toit de cette nappe, d'après les coupes géologiques, dépasse parfois 20 mètres. La circulation des eaux dans cette nappe est relativement lente sur toute la région du Souf particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté dans la région des Chotts la nappe phréatique est présente sur toute la zone d'étude.

La recharge de cette nappe est assurée par :

- les pluies torrentielles, viennent s'ajouter depuis quelques années.
- les eaux d'irrigation, provenant des nappes profondes (Pontien Barrémien).
- les eaux de rejets dues à l'inexistence d'un réseau d'assainissement et d'exutoire naturel (Figure II.11, 12).

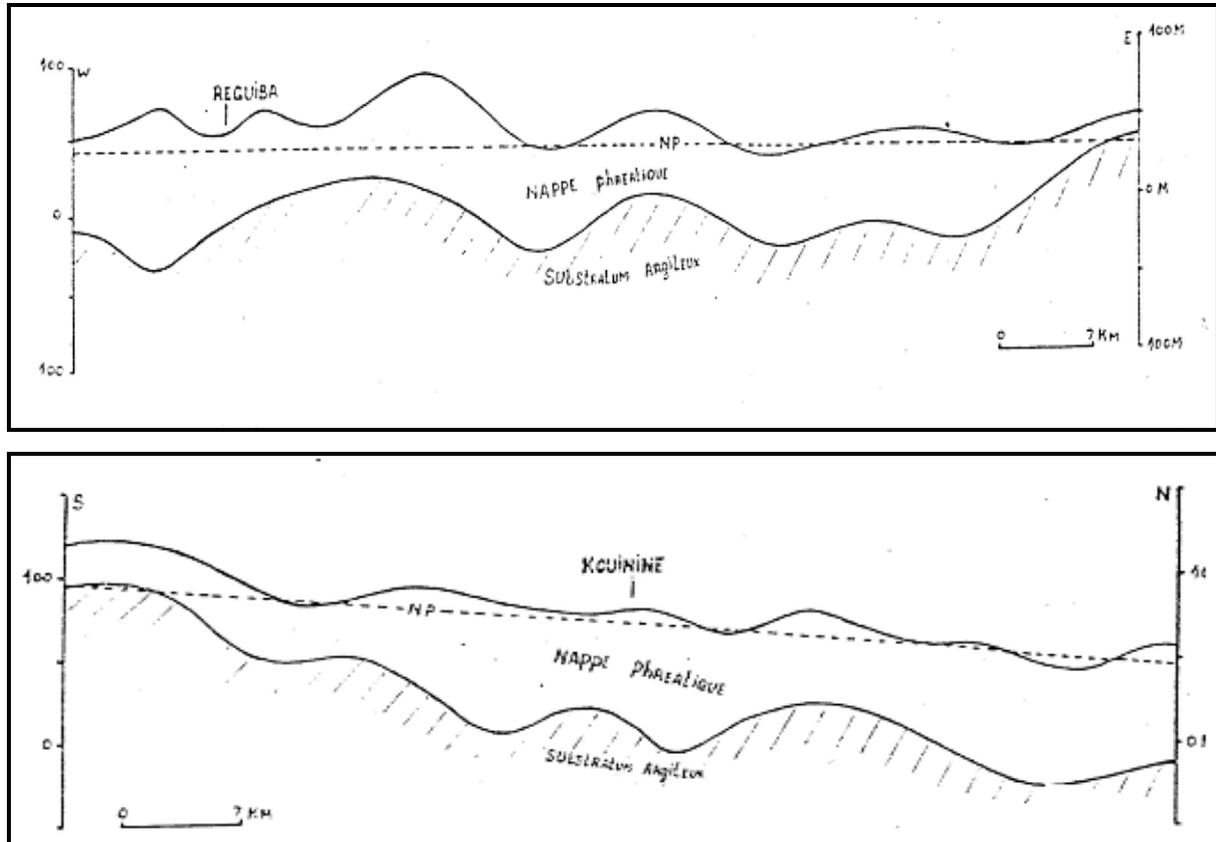


Figure (II -11) : Coupes hydrogéologiques de la nappe phréatique dans le Souf.

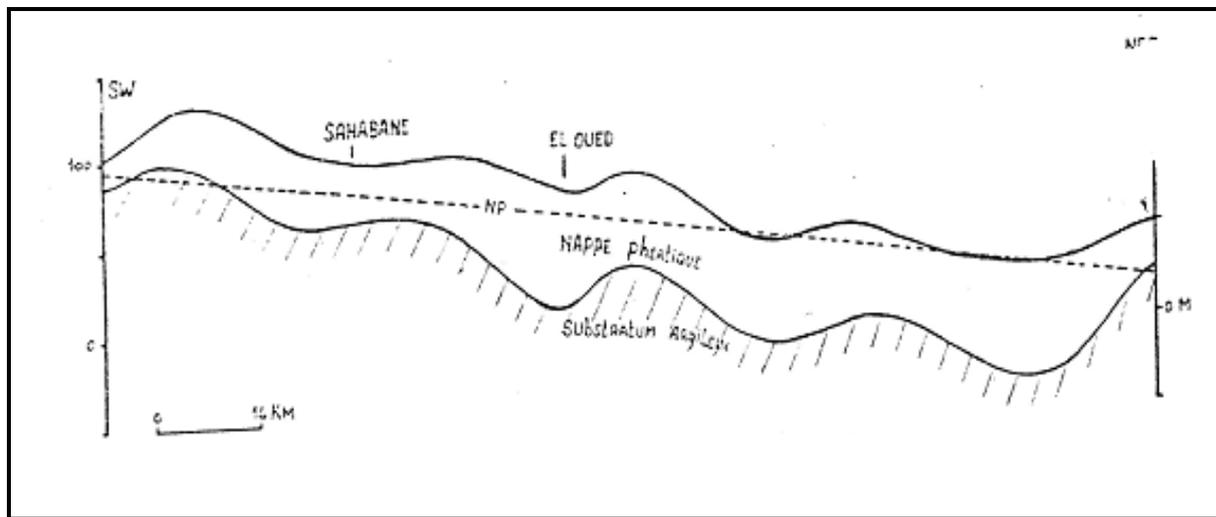
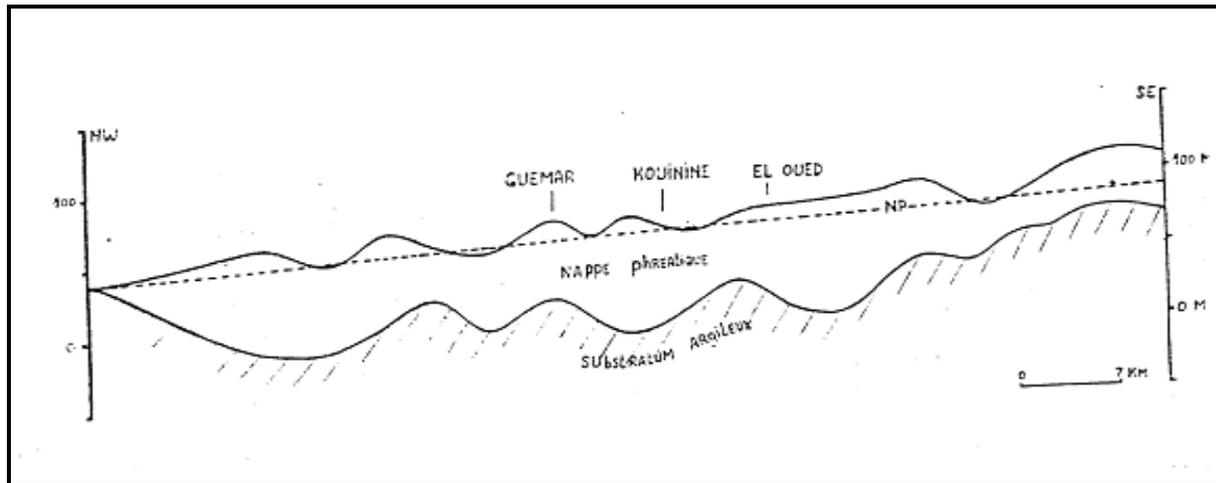


Figure (II -12) : Coupes hydrogéologiques de la nappe phréatique dans le Souf.

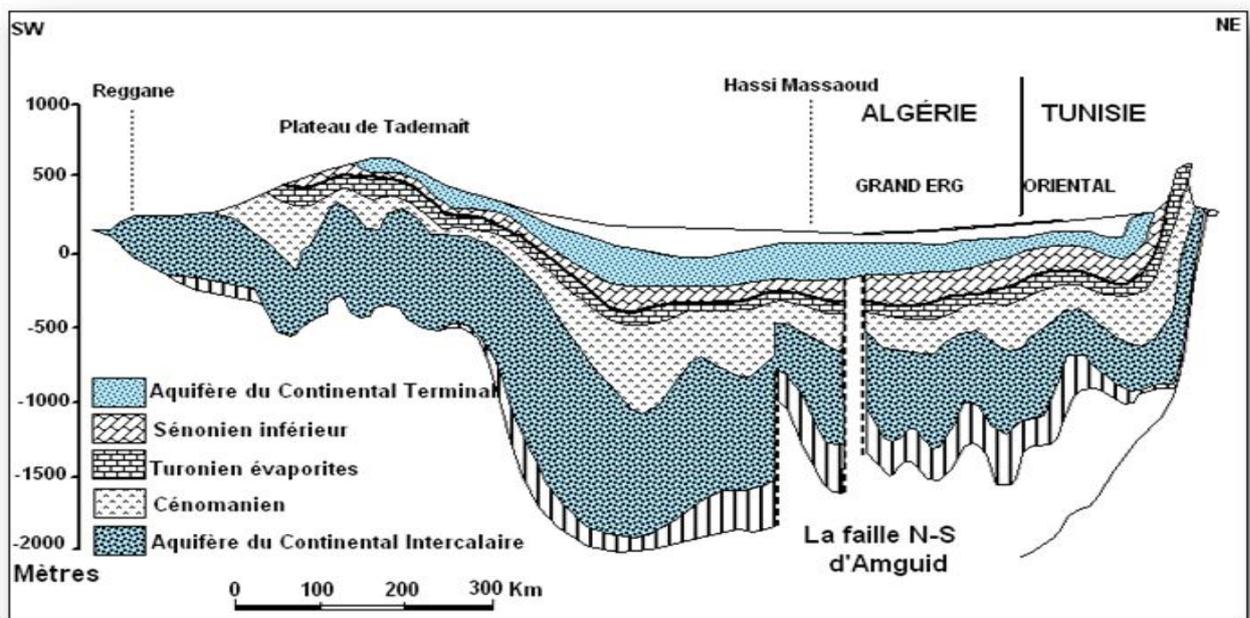


Figure (II -13) : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (Cornet.1964).

Conclusion

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

Les formations du quaternaire récent forment dans le Souf l'aquifère détritique de la nappe phréatique. Il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées surtout dans la partie Nord-Est de la région, où il se termine par une croûte gypseuse.

Le substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité. Dans la région Sud-est (Nakhla, Robbah, EL Ogla), il se termine par des calcaires sableux ou gypsifères au toit.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-Est de la région d'étude.

Le réservoir du Continental Intercalaire est contenu dans les formations continentales des horizons sableux et argilo gréseux du Crétacé inférieur.

Le réservoir du Complexe Terminal groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes. Cette nappe peut circuler dans l'une ou les trois formations litho-stratigraphiques suivantes : Sénonien et éocène carbonatés; Mio-Pliocène sableux (Continental Terminal); Quaternaire, sables dunaires, sables argileux et gypseux.



Chapitre III
Développement du
secteur d'agriculture
dans la région du Souf

INTRDUCTION

Depuis les années 2000, la région de Souf (El Oued) a connu un impressionnant développement agricole. Cette dynamique agricole est liée au développement de cultures maraîchères de pleins champs, pomme de terre avec le début d'essor de la tomate, essentiellement porté sur les terres de mise en valeur agricole relevant formellement du domaine privé de l'Etat.

Le Souf est le premier fournisseur de marché nationale en pomme de terre, à hauteur de 40% (MADR, 2015). Sur une période de quinze ans (1999-2015) la production maraîchère se multiplie par 98 fois, ce qui est faramineuse (DSA, 2015).

L'introduction de ces cultures irriguées dans ces zones a transformé les terres désertiques en un nouvel Eldorado agricole.

III.1. Gestion de l'eau au Sahara

III.1.1. Gestion traditionnelle des eaux au Sahara

Le Sahara offrait une grande diversité de techniques hydrauliques. Celle-ci variait en fonction des conditions géographiques, des nuances climatiques, de la nature des ressources, de la maîtrise et de la diffusion des savoirs hydrauliques.

L'eau des oasis est acquise souvent par ces techniques qui ont été mises au point depuis des siècles dans des déserts très éloignés. Celles-ci sont nombreuses: depuis celles qui utilisent l'eau de ruissellement et l'eau des sources pour irriguer les cultures par gravitation, jusqu'à celles qui font appel à la force motrice ou à la traction animale, soit enfin, celles des drains souterrains (ABBASSENE, 2006).

Selon ABBASSENE, (2006). Elles permettent l'irrigation de surfaces presque toujours limitées par cette quantité d'eau mise à l'exploit. Le Sahara était un véritable laboratoire de techniques d'irrigation qui peuvent être résumées comme suit :

Les plus simples font appel à l'énergie humaine ;

Systeme lacustre et systeme de ruissellement superficiel, dont les eaux sont drainées à ciel ouvert ou par des puits artésien 'Ain' ou 'Tît' ;

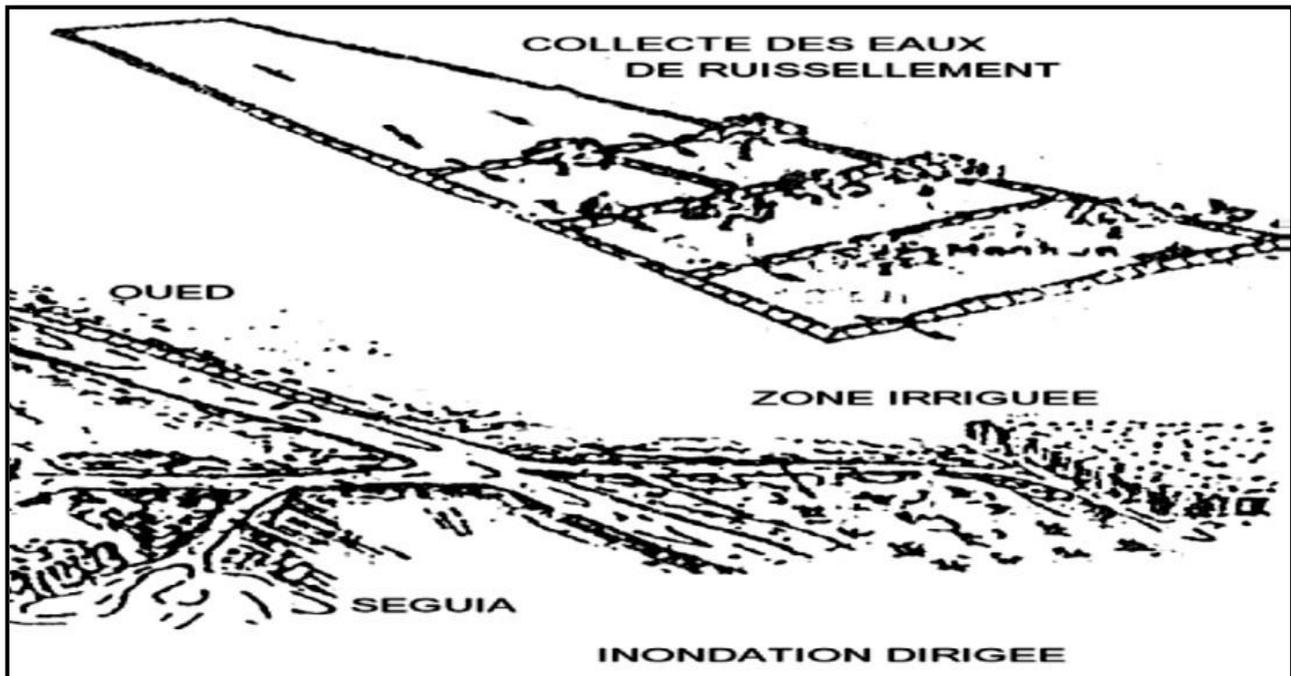


Figure III-1. Exploitation des eaux de ruissellement (EL AMAMI, 1984)

a) Les cultures sont implantées dans des fosses, ce qui permet une exploitation directe des eaux souterraines (vallée du Souf) ;

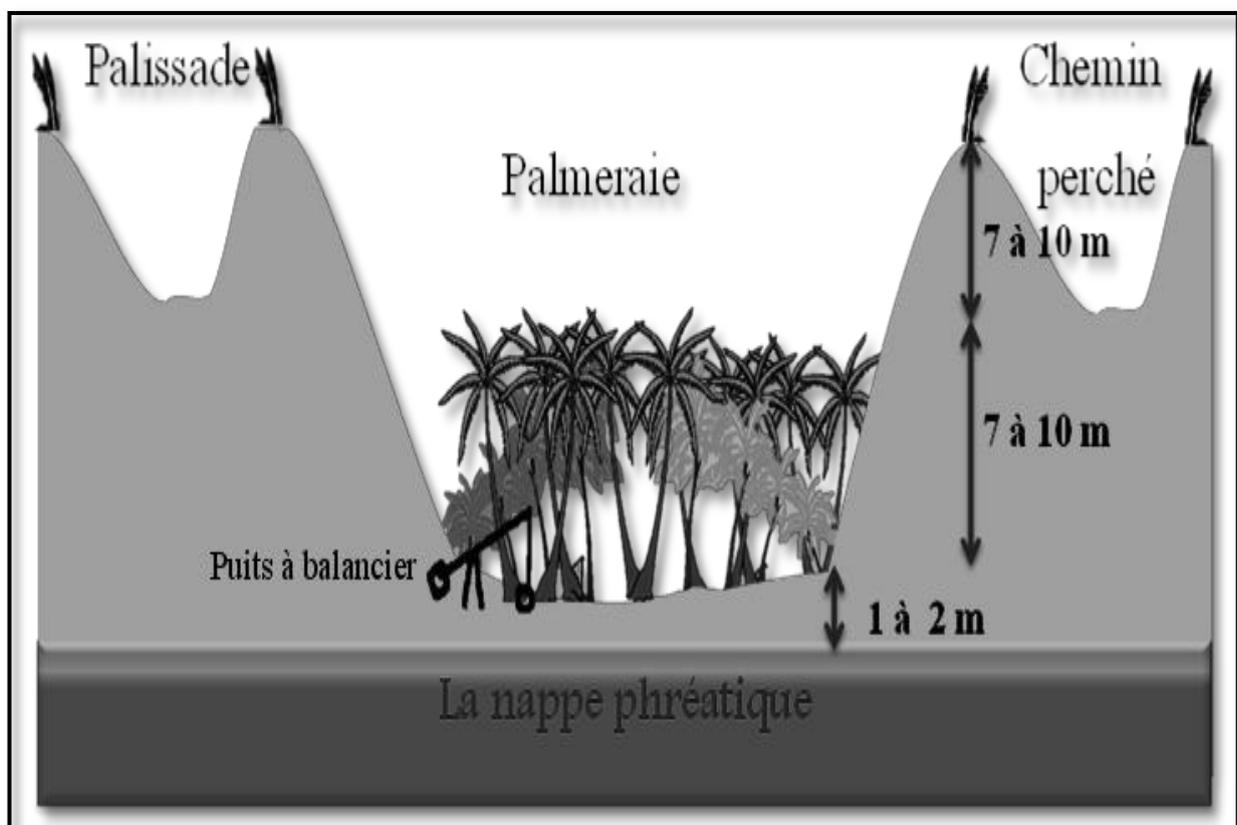


Figure III-2. Exploitation directe dans la fosse (Ghout) (MEISSA B, 2016)

b) De nombreux engins ont été élaborés pour amener l'eau au niveau des terres cultivées. Le puits à balancier est un engin à contrepoids fixé à l'extrémité, facilitant la manipulation, et permettant de tirer l'eau d'une nappe peu profonde pour irriguer des surfaces réduites (vallée du Draa, le Touat Gourara et la cuvette de Ouargla) ;

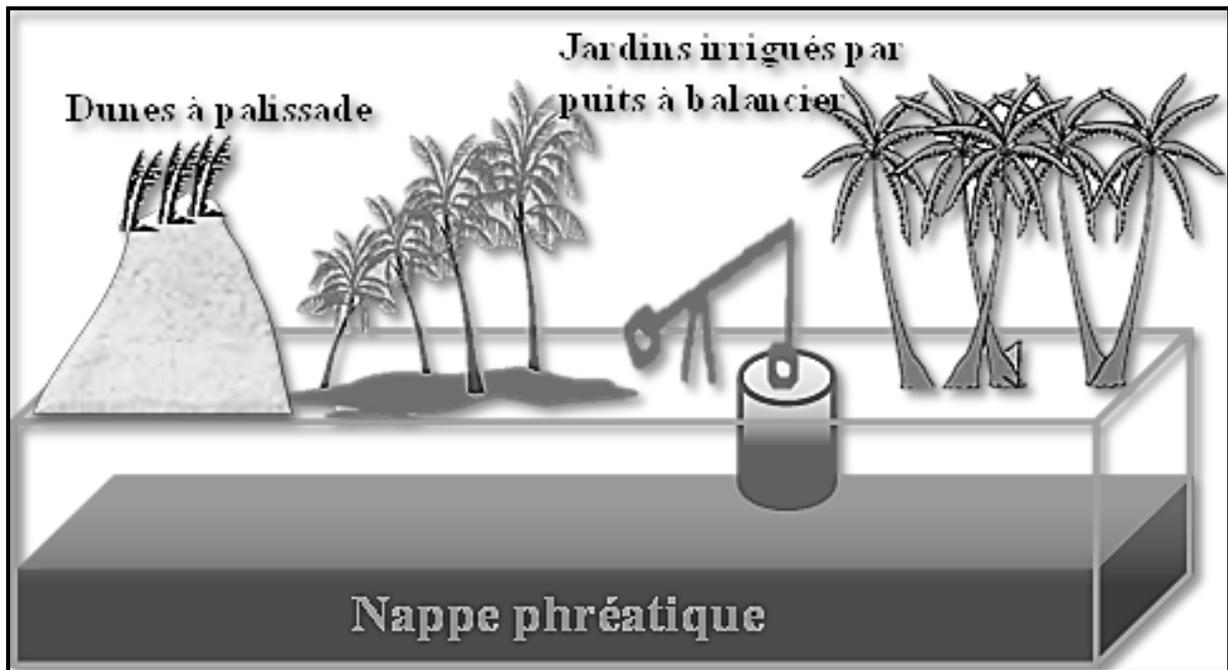


Figure III-3. Exploitation des eaux de la nappe phréatique par puits à balancier (MEISSA B, 2016).

c. L'utilisation d'énergie animale est plus répandue lorsque la nappe est plus profonde et ses ressources plus importantes, C'est le cas du M'Zab. L'usage de la Noria ou Saniya est la marque d'un perfectionnement technologique. Le captage de l'eau est assuré par des récipients accrochés à un système de roues pivotantes et actionnées par énergie animale ;

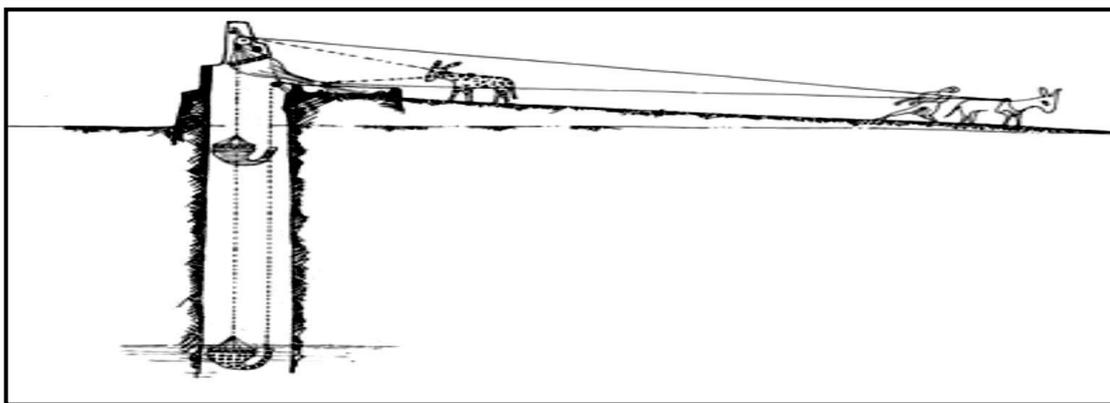


Figure III-4. Puisage par traction animale (RAVÉREAU, 1981)

- d. Une autre technique d'acquisition de l'eau particulièrement ingénieuse et performante est celle des Foggaras ou Quanats ;

Il s'agit de galeries de drainage qui captent l'eau à différents niveaux. Des puits à intervalles réguliers permettent d'y accéder pour en assurer l'entretien ;

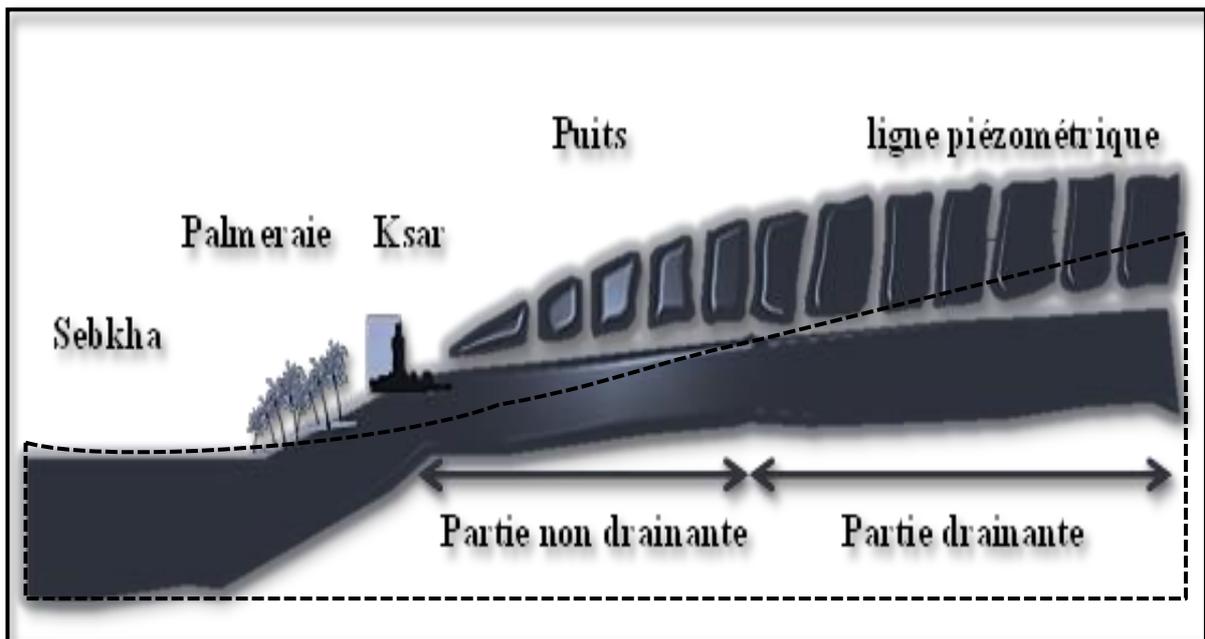


Figure III-5. Le système lacustre de puisage de l'eau à partir de la nappe albiennienne (MEISSA B, 2016).

- e. Puits à motopompe (défini par les limites de la contrainte arénacée).

Cette variété de techniques d'irrigation montre l'ingéniosité des paysanneries sahariennes et les efforts remarquables déployés pour se maintenir sur les marges de l'œkoumène. Elles témoignent d'une grande habileté pour perpétuer des systèmes hydrauliques fragiles.

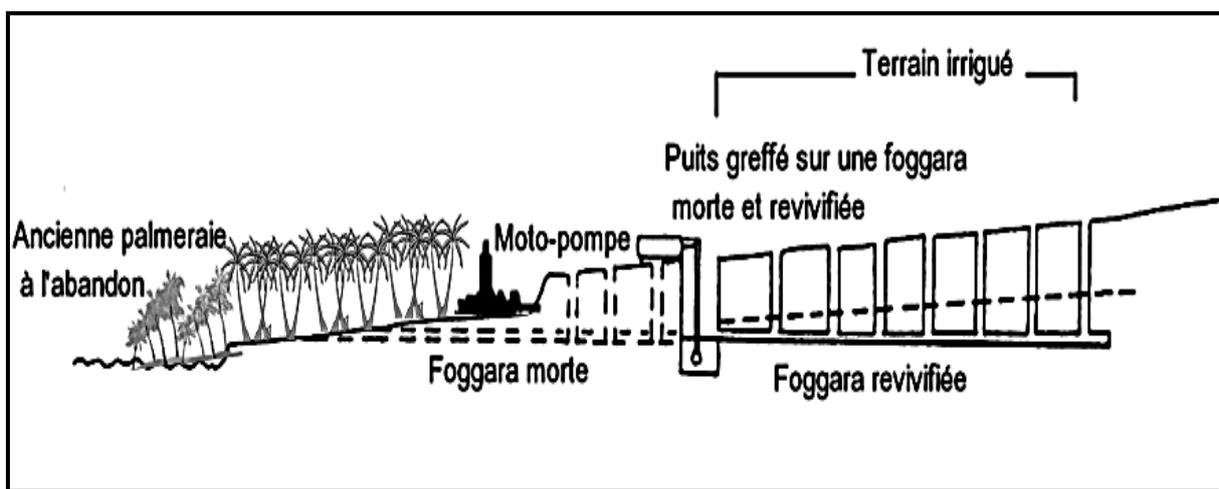


Figure III-6. Rénovation de la foggara par l'installation de motopompe (ABBASSENE, 2006)

Généralement, les systèmes traditionnels, les eaux mobilisées, provenant des oueds ou des nappes phréatiques sont rejetées dans les puits perdus après utilisation domestique, dans les zones d'épandage après utilisation agricole. La partie non évaporée percole et va rejoindre la nappe phréatique. Entre volume apporté et volume évacué, un équilibre s'établit sur le long terme, et le niveau de la nappe phréatique reste stable.

D'après ZELLA et SMADHI (2006), la découverte de la nappe albienne vers la fin des années 1930 et la mise en place d'une infrastructure hydraulique moderne, s'est traduite par d'importantes transformations économiques et sociales. La propagation de l'utilisation des groupes motopompes a accentué le tarissement de la nappe phréatique, compromettant la production agricole vivrière.

III.2. L'agro-Système Soufi et Ses Implications:

Selon B.N.E.D.E.R. (1992), l'activité principale dans cette région a longtemps été basée sur l'agriculture, et notamment l'exploitation du palmier dattier, en utilisant une méthode originale : les Ghouts, sortes de cratères creusés et perpétuellement entretenus à main d'hommes, dont la profondeur était telle que les racines des palmiers qu'on y plantait trouvaient l'eau de la nappe phréatique à la profondeur optimale. D'où ce paysage caractéristique de la vallée du Souf.

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

Ce système d'exploitation oasien est caractérisé par :

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

L'espace agricole oasien est caractérisé par deux types de systèmes ; un ancien et un nouveau, qui se différencient par les moyens et les techniques de production mises en œuvre. (LEGHRISSE, 2007).

III.3.L'ancien Système Agricole Du Souf

Selon le travail de (LEGHRISSI, 2007). La palmeraie traditionnelle du Souf est un ensemble de micropropriétés ou petites exploitations, sous forme d'entonnoirs (Ghouts), et dont les superficies sont réduites. Ce sont généralement des exploitations familiales, ayant pour objectif principal l'autosubsistance.

Actuellement, la plupart de ces exploitations sont mal entretenues, envahies de mauvaises herbes, inondées suite au phénomène de la remontée de la nappe phréatique. Ce phénomène a réduit une grande partie de la superficie agricole, utilisée à l'état Ghout, et qui progresse sans cesse (LEGHRISSI, 2007).

III.4. Les Ghouts :

Les Ghouts sont dans la région du Souf un système ancestral existant depuis plus de 12 siècle et ayant joué un rôle central dans la sédentarisation progressive des habitants de la région .

Les Ghouts, ce système hydro agricole qui a contribué au développement des palmeraies dans la région du Souf depuis des 12 siècles, se trouve aujourd'hui dans un état dégradé. En effet, les oasis de Souf se sont développées en plein Grand Erg Oriental entourée des dunes de sable. Une région complètement différente de celle de Touat ou Gourara. Contrairement à ces deux régions qui utilisent le système des foggaras pour l'alimentation de la population et l'irrigation de la palmeraie (Remini, 2016), le Souf, vu son hydrogéologie et sa géomorphologie ne peut pas s'alimenter par un système de foggara. Les Soufis ont inventé leur propre système d'irrigation en fonction des conditions locales. Il s'agit du système hydro agricole appelé Ghout.



Photo III.7:Le Ghout Dans La Vallée Du Souf (MEISSA B, 2016).

III.4-1. Technique D'arrosage Dans Les Ghouts

Le Ghout se compose de deux techniques d'irrigation :

- Une irrigation sans écoulement destinée aux palmiers qui consiste aux racines de rester dans les eaux stagnante de la nappe phréatique.
- Une irrigation avec écoulement destinée aux jeunes palmiers (1an) et à la culture maraichère. Grâce à un puits à Khottara réalisé dans le Ghout, un réseau de seguias permet à l'eau de s'écouler du puits jusqu'aux plantes. Les eaux d'irrigation retournent à la nappe phréatique. L'agriculteur Soufi s'occupe uniquement de l'irrigation du jardin et l'entretien du Ghout du sable (fig. 11 et 12). C'est le travail permanent du Soufi.

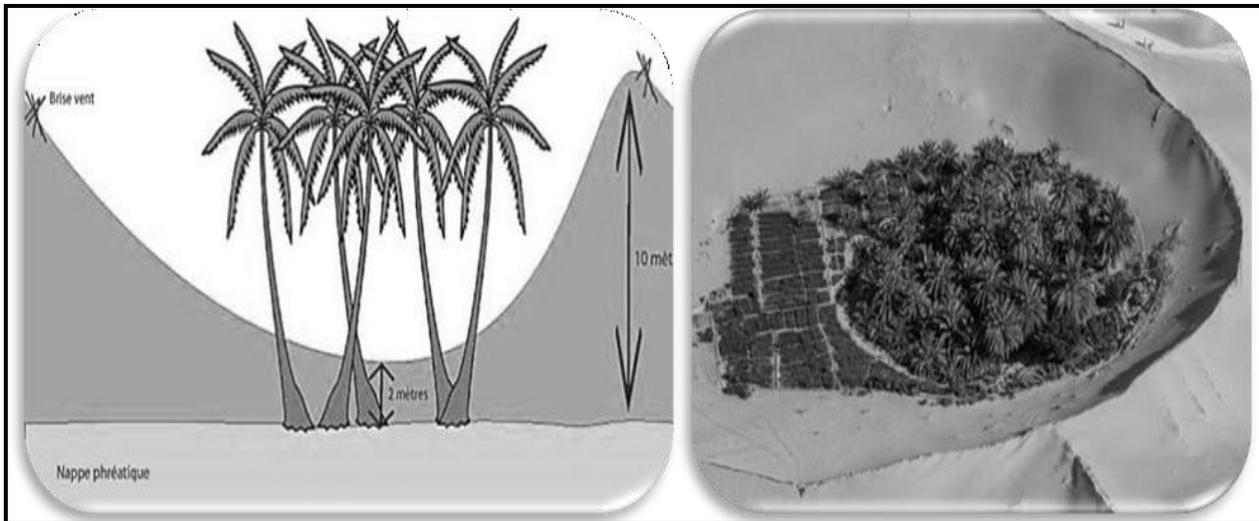


Figure (III.8) Système d' irrigation sans écoulement dans le Ghout (MEISSA B, 2016).



Photo (III.9) Système d' irrigation avec écoulement dans le Ghout (KHELEIL 2020)

III.5 .Le nouveau système agricole du Souf

Face aux contraintes de ce système, la colonisation crée de nouveaux espaces dans le cadre de la mise en valeur agricole a donné naissance à une nouvelle forme d'organisation, caractérisée par une spécialisation parfois monoculturelle ; céréalière, fourragère ou maraîchère et/ou donc le palmier dattier ne constitue plus la culture principale (BOUAMMAR, 2000).

Cette agriculture dite nouvelle est fondée essentiellement suite à la loi 18/83 de l'accession à la propriété foncière agricole. Cette loi touche les rapports entre l'homme et l'objet de travail qui est la terre.

Au Souf, cette loi se traduit par :

- l'attribution de terres aux fellahs ;
- une grande plantation des cultures maraîchères sous pivot (pomme de terre, fève, petit pois...etc.) ;
- renouvellement des vergers phœnicicoles en adaptant un nouveau système d'irrigation économiseur d'eau.



Photo (III.10) Le nouveau système agricole du Souf(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020)

III-6. Développement du secteur d'agriculture dans la région du Souf :

Dans cette période, le secteur d'agriculture dans la région du Souf présente une modification dans sa typologie d'agriculture à cause de l'apparition d'un intrus dans le paysage Soufi qui est le mini-pivot.

L'Algérien a fait l'expérience des grands rampes-pivots imitées du système californien, initiées sur son sol (à Ouargla, Adrar...) par des entreprises américaines, et irrigant d'un coup 30 à 50 ha. Cette technique a donné lieu dans le Sahara algérien à bien des avatars.

Les Soufis ont vu l'intérêt de reprendre cette technique à leur mode et à leur échelle. Ils se sont essayés d'abord à bricoler de très petits engins, irrigant 1/4, 1/3 ou 1/2 ha, et fabriqués sur place à partir de tubes, de câbles d'acier, de roulements de voiture, d'engrenages de récupération. Seuls les asperseurs étaient spécifiques. Ces pivots, comportant un bras articulé double, ont leurs deux extrémités coudées, et tournent sous la seule pression de l'eau d'arrosage envoyée par la motopompe.

Puis les exploitants sont passés à des pivots plus grands, comportant un bras unique, reposent en son milieu sur une roue au sol, et qui doivent être mus par un petit moteur électrique. Ils permettent d'irriguer 1 à 2 ha (figure suivante).

Tous ces engins sont fabriqués sur place, par des artisans du Souf, mécaniciens ou ferronniers. Certains s'enhardissent à faire construire des pivots de 4 ha, et d'après l'enquête que l'on a faite le pivot de grand périmètre privé de Dahouia irrigué 20 ha (250 m de diamètre) est le plus grand dans la région du Souf.



Photo (III-11). Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale (KHELEIL, m et BOUROUGAA, m 2020)

conclusion

L'irrigation par pivot ; une technique qui consomme beaucoup d'énergie électrique a envahi la région au début des années 1990. Fabriquées localement par les Soufis, environ 30.000 pivots ont été installés ces 50 dernières années. En ½ siècle, le soufi a changé le paysage de la région qui a duré cinq cent ans En passant d'un circuit fermé à un circuit ouvert qui ne s'adapte pas à la région du Souf, l'homme a endommagée l'environnement. Des phénomènes qui n'ont jamais existés dans le passé, aujourd'hui sont d'actualité telle que la remontée des eaux, la salinité du sol et le problème de drainage.

Chapitre VI

***Etude De La Vulnérabilité Des
Eaux De La Nappe Phréatique
De La Zone D'étude***

INTRODUCTION

Dans le cadre de notre recherche, notre choix a porté sur la région de Oued Souf, compte-tenu de son importance sur le plan agricole essentiellement. Aussi, elle représente l'une des régions les plus importantes sur le plan économique du Bas Sahara algérien. Dans cette région, l'agriculture saharienne reste est dominée par la phœniciculture et les cultures maraîchères, telles que la pomme de terre et la tomate à grande échelle.

L'agriculture utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures et à faciliter la vie des agriculteurs. Ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer les eaux de surface par lessivage et ruissellement et contaminer aussi les nappes souterraines par l'infiltration.

VI.1.PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

VI.1.1.SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE (Commune Hassani Abdelkrim Et Debila)

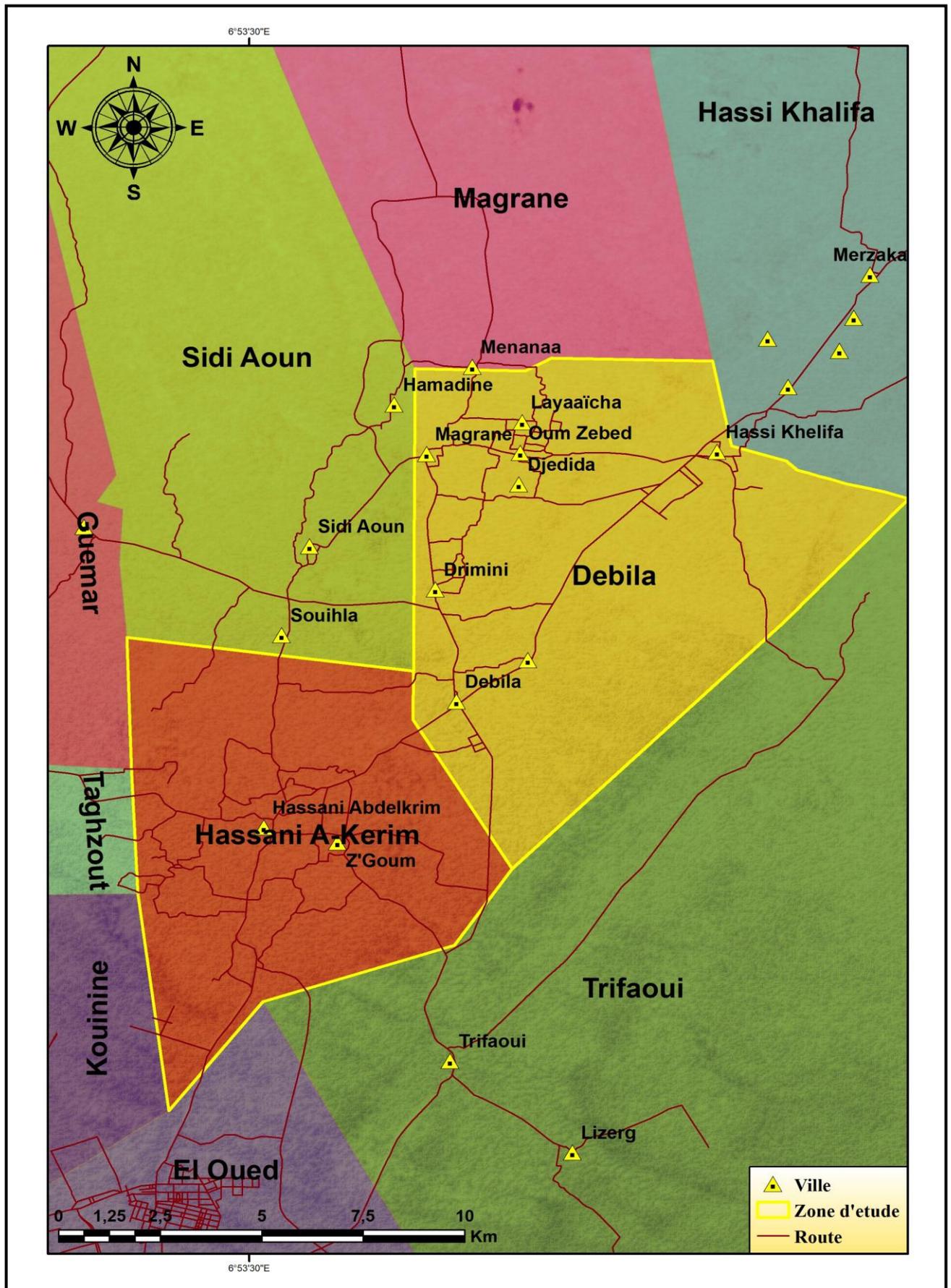
La zone d'étude qui est représentée par 02 communes occupe une superficie de 136 km² et dont un nombre de population de 58350 habitants avec une densité de 436,67 hab/km².

La zone d'étude est située au nord -est de la willaya d'el-oued a environ 20Km sur l'axe de la route nationale N:16(El-Oued -Taleb Larbi) .elle est délimitée par :

- ✓ **Au Nord** :Commune Hassi Khalifa et Magranne et Sidi Oun.
- ✓ **Au Est** : Commune Hassi Khalifa et Trifaoui et El-oued.
- ✓ **Au Sud**: Commune Trifaoui et El-oued
- ✓ **A L'ouest** : Commune Sidi Oun et guemar et kouinine et Taghzout .

La zone d'étude est délimitée par les coordonnées suivantes :(UTM Clarke 1880, zone 32):

	P1	P2	P3	P4
Longitudes (x)	308855.54	311513.00	309811.37	300322.27
Latitudes(y)	3703990.96	3707249.00	3715456.45	3703806.95



Carte (VI-1) : Situation géographique de la zone d'étude(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.2.Définition de vulnérabilité:

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par Margat dans les années 60. Il est défini et utilisé de manière très diverse (Gogu et Dassargues 1998, Lallemand Barres 1994 , Lallemand barres et Roux 1989). Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères, d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface. (Saadia A et al 2007)

Ainsi, elle matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle et.....) ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides). (Stéphanie Pin et al 2007)

Alors, la vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique, Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles: le sol, la zone non saturée, la zone saturée.

A ces trois milieux peut se rajouter l'infiltration qui rentre en compte dans la migration des polluants. (Cazaux M. 2007)

VI.2.1.Les types de vulnérabilité:

Le concept de vulnérabilité englobe deux notions différentes ou deux types de vulnérabilité intrinsèque et spécifique.(Bakalowicz M. 1999)

VI.2.2.La vulnérabilité intrinsèque:

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. (Muet F et Vier E .2011,B.R.G.M. 2008).

VI.2.3.La vulnérabilité spécifique:

C'est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. (Muet F et Vier E.2011, B.R.G.M .2008)

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique directement liée aux polluants éventuels est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis. (Muet F et Vier E .2011,B.R.G.M 2008).

VI.2.Les critères de vulnérabilité:

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration, soit sur son temps de transfert. Elle est évaluée en prenant en compte les caractéristiques du sol, de la zone saturée et de la zone non saturée qui contrôle le comportement des polluants. Un certain nombre de critères sont disponibles, ils sont associés aux ensembles souterrains (le sol, la zone saturée, la zone non saturée), sont récapitulés dans le tableau suivant:

Sol	Zone non saturée (ZNS)	Zone saturée
Topographie (pente)	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe (libre ou captive)
Pédologie (perméabilité verticale des sols, nature et texture des sols)	Temps de transfert (perméabilité verticale)	Temps de résidence (dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères)
Bilan hydrique (ruissellement et infiltration efficace)		Relation eaux souterraines/eaux superficielles
	Structure de la ZNS (variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en matière organique et argile)	Piézométrie (sens et direction d'écoulement et évolutions selon la période du cycle hydrologique)
	Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci	Epaisseur de l'aquifère (quantité de réserve)
		La recharge (recharge annuelle nette).
		Type de système hydrogéologique (caractères plus ou moins capacitif et transmissif)
Battement de nappe		
Fracturation (directions et densité)		

Tableau 1 : Les critères de vulnérabilité (B.R.G.M..2008).

VI.3.Les Méthodes de la mesure la vulnérabilité:

Plusieurs méthodes de cartographie de la vulnérabilité ont été développées et appliquées. De nombreuses méthodes de cartographie de la vulnérabilité ont été décrites et évaluées. (Bensaoula F et Bensalah M. 2007)

Allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimique et biologiques dans la zone noyée, a des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité. (SUAIS M.F et al 1990).

Ces méthodes de vulnérabilité peuvent être classées en trois grandes catégories :

➤ **Les méthodes de cartographies à index:**

Basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple). (SUAIS M.F et al 1990).

➤ **Les modèles de simulation:**

Ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants. (Schnebelen.2002)

➤ **Les méthodes statistiques:**

Elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. (SUAIS M.F et al 1990).

VI.4.Les Différentes méthodes de vulnérabilité

Différentes méthodes de vulnérabilité développées et normalisées sont présentées. Toutes ces méthodes sont basées sur des systèmes paramétriques : le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité. (Mimoun D et Graillet D.2010).

Les différentes méthodes sont comme suite:

La méthode EPIK:

C'est la première méthode dédiée spécifiquement aux aquifères karstiques sensu-stricto (Doerfliger, 1996 ; Doerfliger et Zwahlen, 1997).

Elle est basée sur quatre critères : Epikarst , Protective Cover (couverture protectrice: sol) ,Infiltration Conditions(conditions d'infiltration),Karst network développement (développement du réseau karstique).

La méthode RISKE:

Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. RISKE est un acronyme qui reprend les initiales des 5 critères pris en compte : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification, Epikarst .

La méthode DISCO:

La méthode "DISCO" (discontinuités - couverture protectrice) a pour but de définir les zones de protection en tenant compte de l'hétérogénéité du milieu.

La méthode GOD:

Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

La méthode SINTACS:

La méthode SINTACS est dérivée de la méthode DRASTIC. Elle a été développée en Italie, au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie. (Hamza H et al 2008)

La méthode SI:

Qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides), a été développée au Portugal par RIBEIRO (2000).

La méthode DRASTIC

La méthode la plus utilisée actuellement dans le monde est la méthode DRASTIC.

VI.5. Classe Et Note Des Paramètres La Méthode DRASTIC

C'est une méthode qui a été élaborée par Aller et al en 1987 et fait partie du groupe des méthodes d'évaluation (de la vulnérabilité des aquifères) pondérées, basées sur l'attribution d'une notation aux différents paramètres utilisés (variant généralement entre 1 et 10). (Hamza H et al 2008, Cheng Yu et al .2012).

La méthode DRASTIC est basée sur l'estimation de 7 paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère. (SinanM.et al, 2003)

[D]: Profondeur de la surface de la nappe (ou Depth).

[R]: Recharge nette.

[A]: Nature lithologique de l'Aquifère.

[S]: Sol (granulométrie et faciès).

[T]: Topographie des terrains.

[I]: Impact de la zone non saturée (lithologie et épaisseur)

[C]: Conductivité hydraulique (perméabilité).

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, la méthode détermine l'indice DRASTIC (ID) qui permet de caractériser le degré de vulnérabilité d'un secteur donné, de la nappe.

La vulnérabilité est d'autant plus importante que l'indice (ID) calculé est élevé. L'ID a été calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants selon la relation suivante:

$$\mathbf{ID = (Dc \times Dp) + (Rc \times Rp) + (Ac \times Ap) + (Sc \times Sp) + (Tc \times Tp) + (Ic \times Ip) + (Cc \times Cp)}$$

Avec:

"P" étant le poids du paramètre c'est un facteur de pondération allant de 1 à 5.

"C" la cote associée. (Cheng Yu et al .2012)

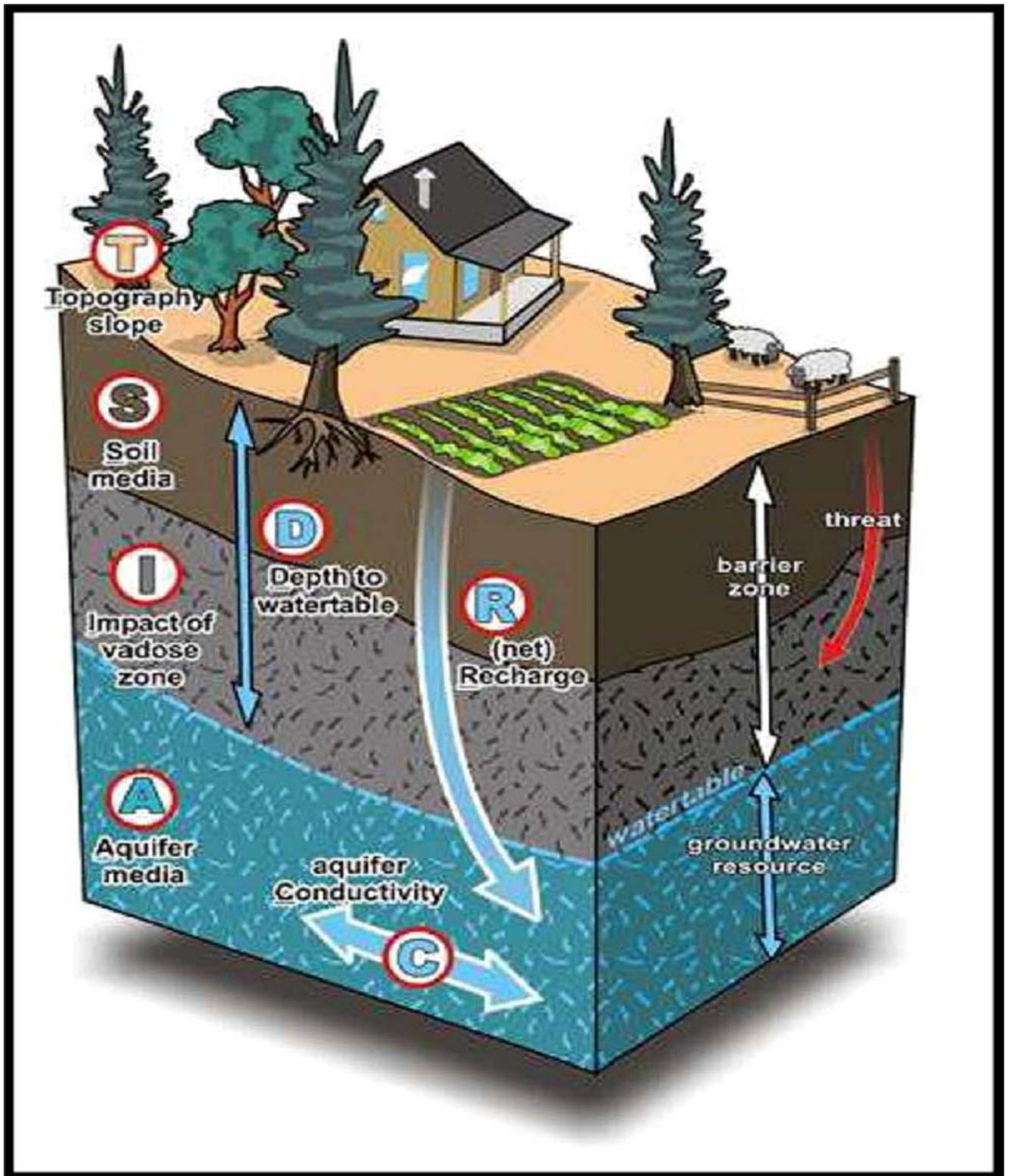


Figure:VI . 1 Illustration des paramètres DRASTIC (source : GSC, 2009).

TABLEAU 2 : Les paramètres méthode DRASTIC.(Aller et al 1987)(Engel et al 1996)

	Paramètres	Propriété	poids
D	Profondeur de la surface de la nappe	Profondeur de la l'aquifère est facteur important dans l'étude de la vulnérabilité, car toute atténuation du polluant s'opère en relation avec la profondeur. Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met beaucoup temps pour atteindre la surface piézométrique.	5
R	Recharge nette	définit la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.et c'est facteur important de la vulnérabilité. Généralement plus la quantité d'eau est importante, plus la possibilité décontaminer la nappe est élevée.	4
A	Nature lithologique de l'aquifère	Le facteur milieu aquifère met en relation la capacité des matériaux aquifères à stocker et à transporter les polluants dans les souterraines pendant l'infiltration dans les couches. caractérisé par la granulométrie des terrains saturés, plus la granulométrie est fine, plus le piégeage est grand.	3
S	Type de sol	Le sol est une propriété hydraulique qui contrôle la recharge lors du processus d'infiltration des eaux. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est important, et la protection des eaux souterraines est grande.	5
T	Topographique (pente du terrain)	La topographie influence le développement du sol qui a un effet sur l'atténuation des contaminants. Plus la pente de la terre est grande, plus le ruissellement d'eau est grand et la pollution des eaux souterraines est très faible.	3
I	Impacte de la zone non saturée	les zones d'infiltration préférentielles représentation le facteur impact. Son effet est déterminé à partir de la texture des terrains qui la constituent(graviers, sable, grossier...)	4
C	Conductivité hydraulique (perméabilité)	Le transport et le destin des polluants dans le système des eaux souterraines dépendent des possibilités du système de transfert de masses.la distribution spatiales de conductivité hydraulique est un paramètre clé de l'estimation du temps de transport du polluant	2

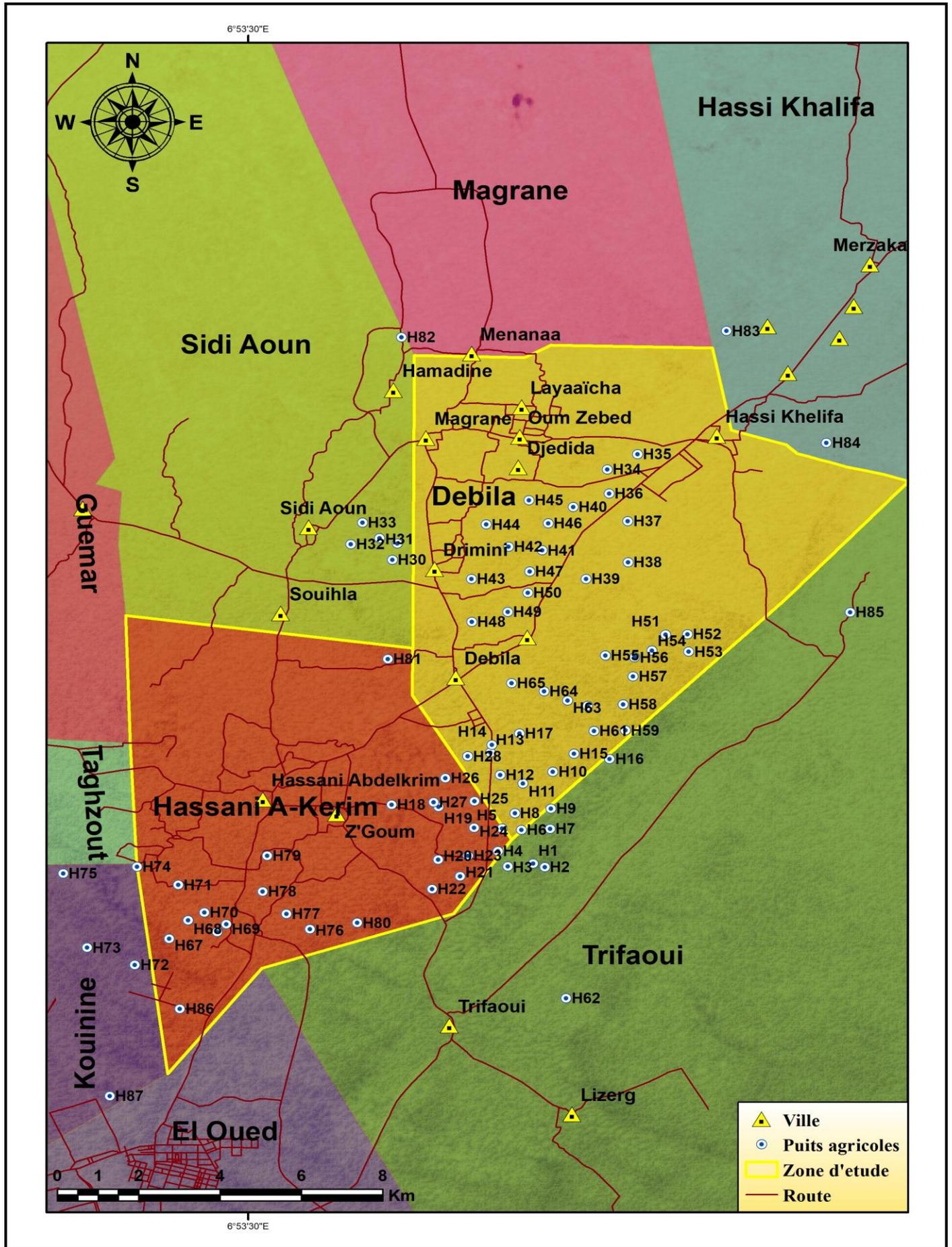
VI.5.1. Profondeur De La Surface De La Nappe(D)

Le paramètre profondeur de la nappe d'eau souterraine est un paramètre très important dans l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère (Jourda et al., 2007). Ainsi les nappes moins profondes sont facilement accessibles par les polluants infiltrés. Pour déterminer ce paramètre, nous avons utilisés les données des niveaux statiques des forages qui nous ont été fournies avec campagne de mesures piézométriques a été réalisée dans la zone d'étude en MAI 2020, pour déterminer la profondeur de la surface de la nappe libre de la zone d'études.

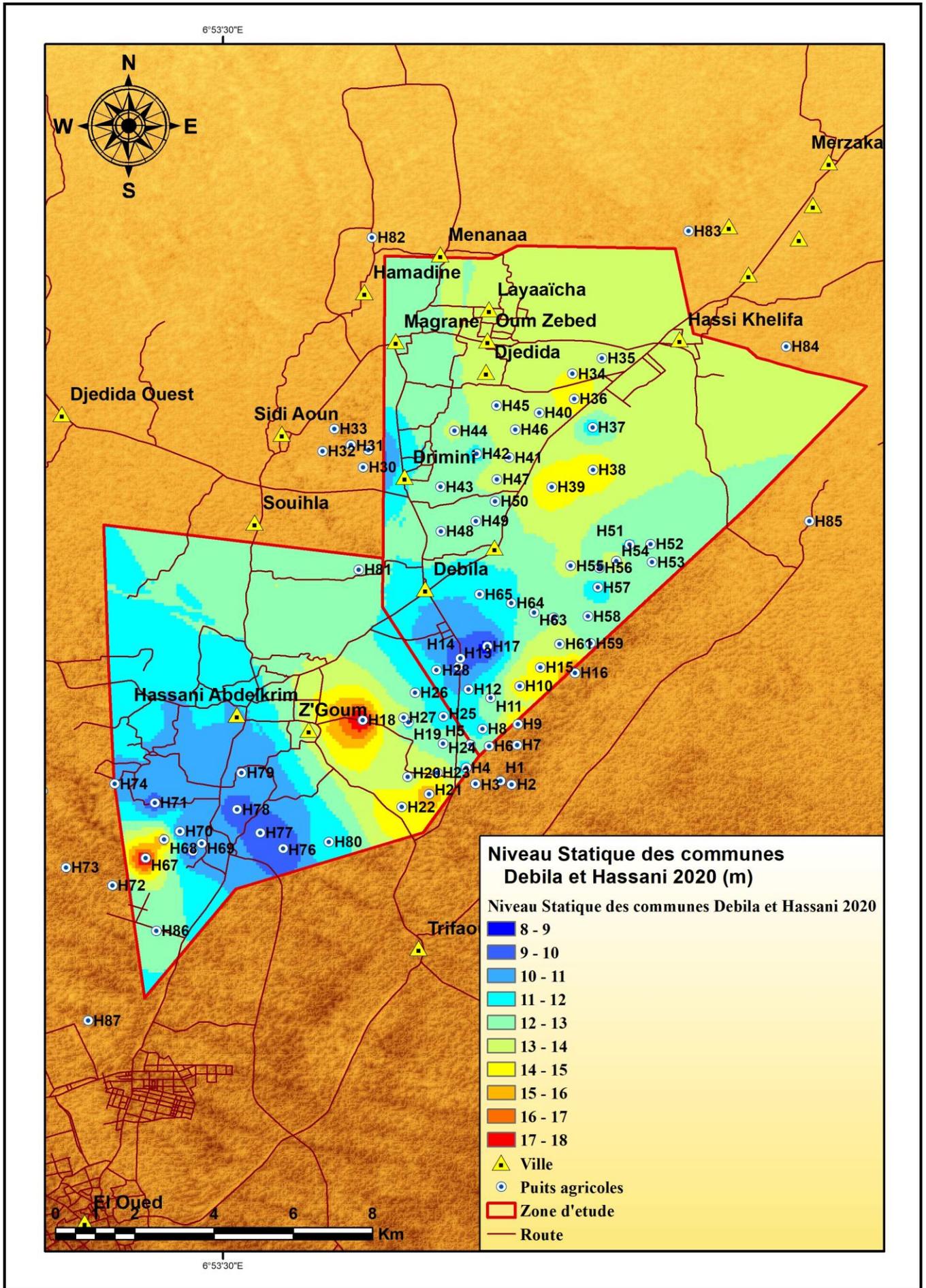
Le niveau d'eau de la nappe rencontré est entre 08 et 18 m de profondeur.



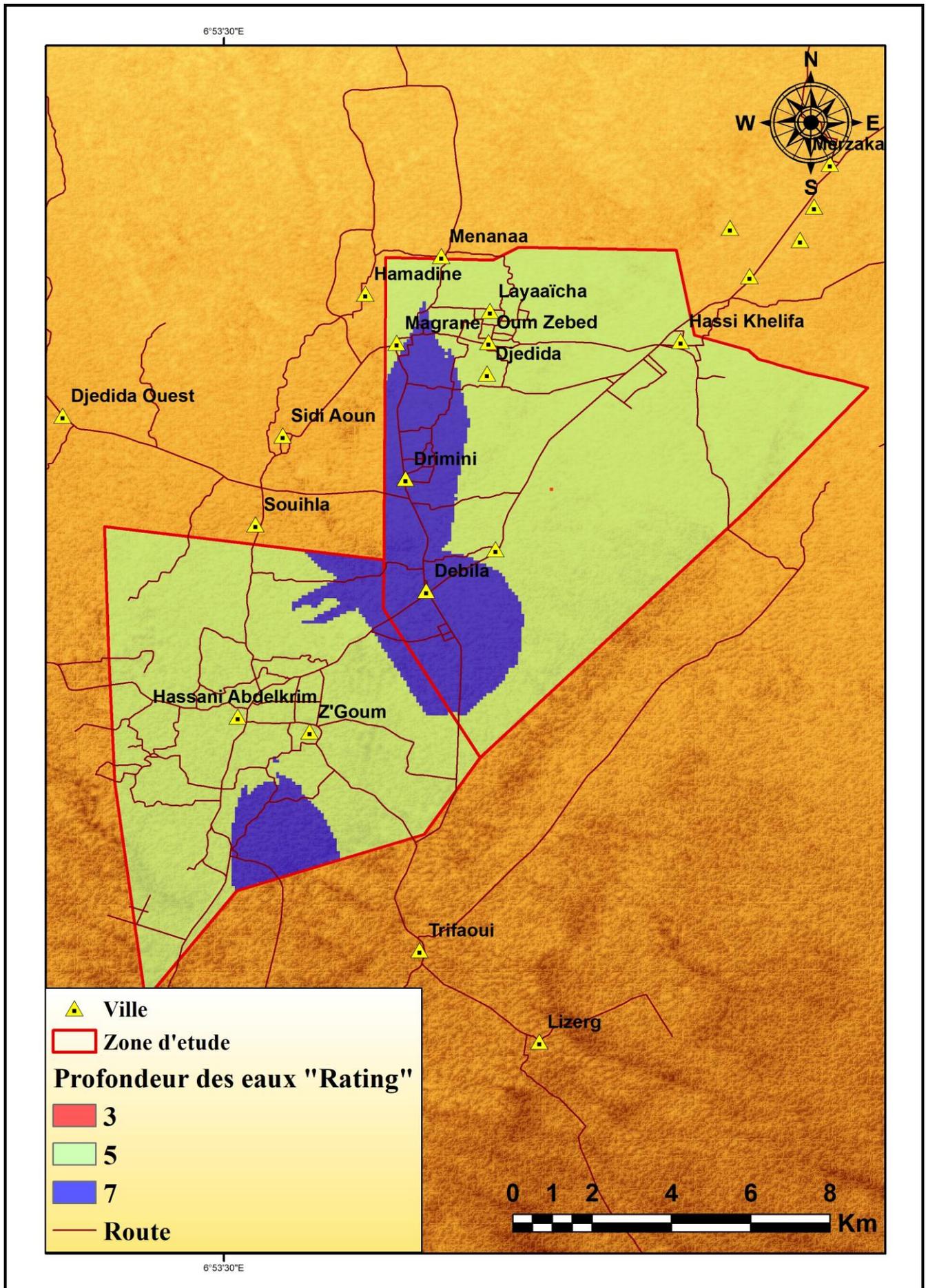
Photo VI .02 campagne de mesures(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020)



Carte (VI-2) : puits des mesures de la zone d'étude(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).



Carte (VI-3) : Niveau Statique de la zone d'étude(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

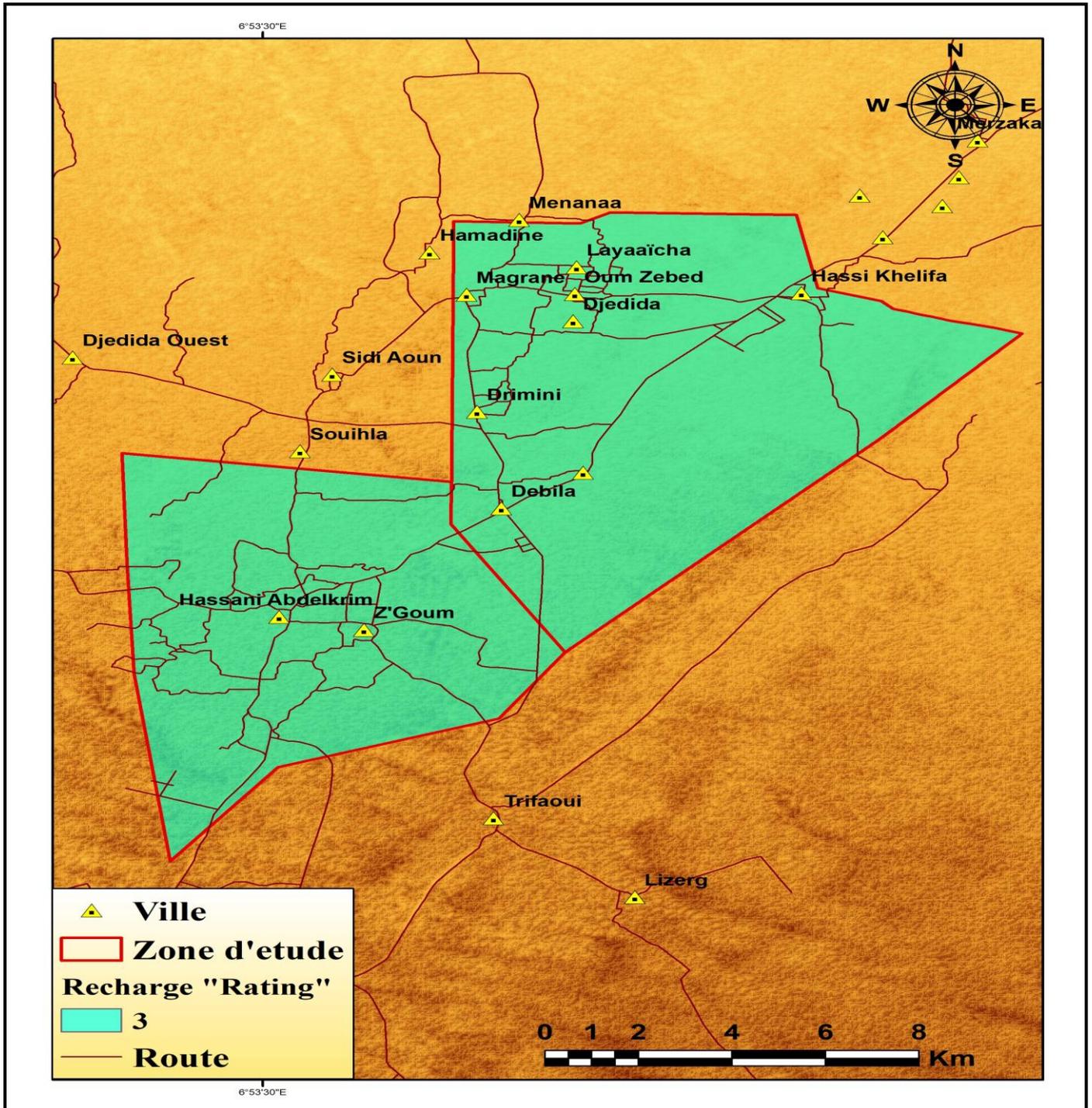


Carte (VI-4) : profondeur de la surface de la nappe(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.5.2. Recharge nette(R):

Le paramètre recharge nette est défini la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.et c'est facteur important de la vulnérabilité. Généralement plus la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.

Dans la zone d'étude la recharge net est d'environ 92 mm c'est-à-dire d'utiliser la classe 3 pour créer la carte de classe de recharge de la zone d'étude.

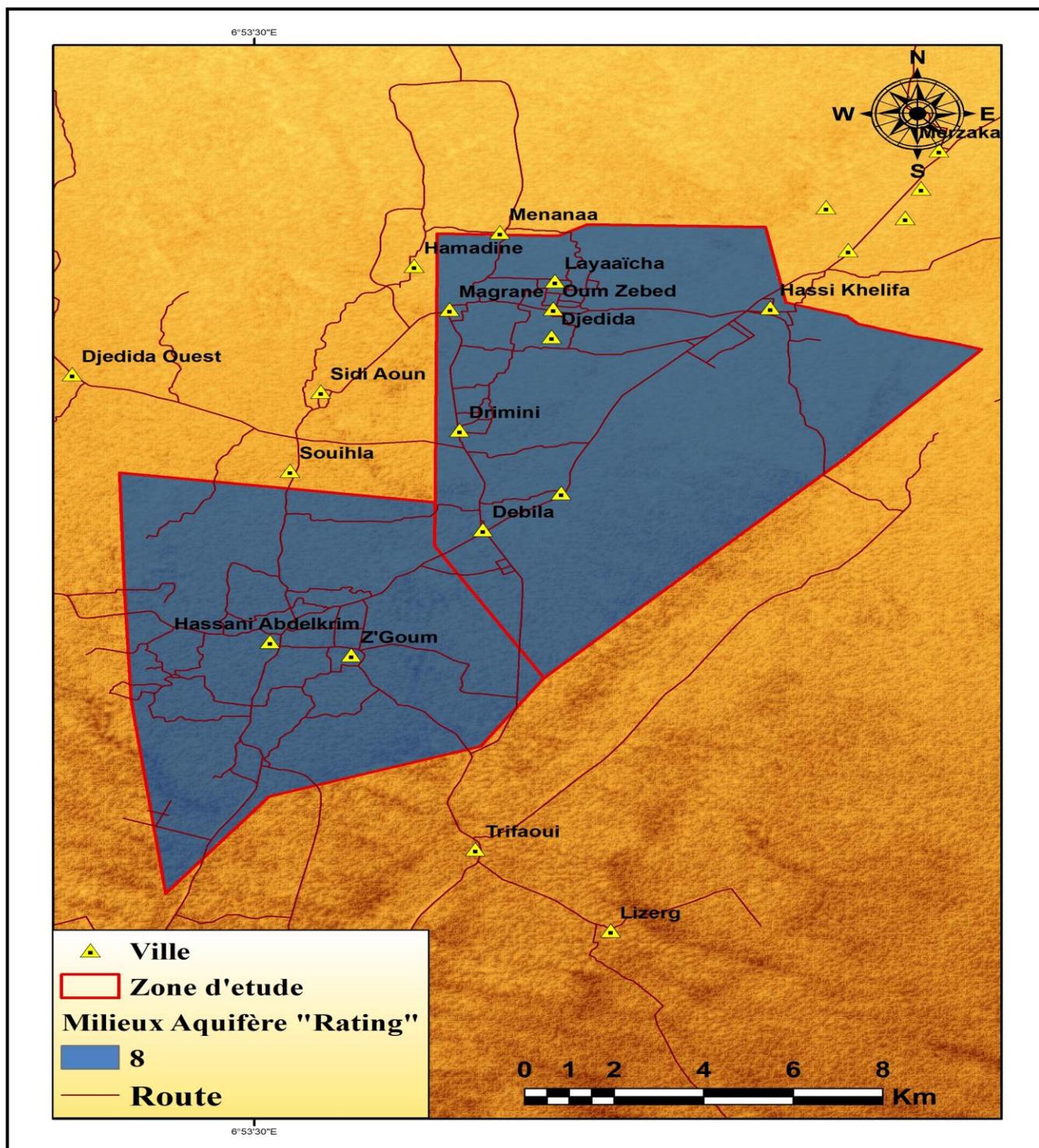


Carte (VI-5) : Recharge nette(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.5.3. Nature lithologique de l'aquifère(A):

La nature et le débit (conductivité hydraulique) d'un aquifère sont contrôlés par son matériau d'ossature appelé média. Les médias exercent souvent une influence considérable sur l'itinéraire et la longueur du trajet du polluant.

La carte des milieux aquifères a été construite en utilisant les données de lithologie des forages, dont une classe lithologique est le gravier /sable.

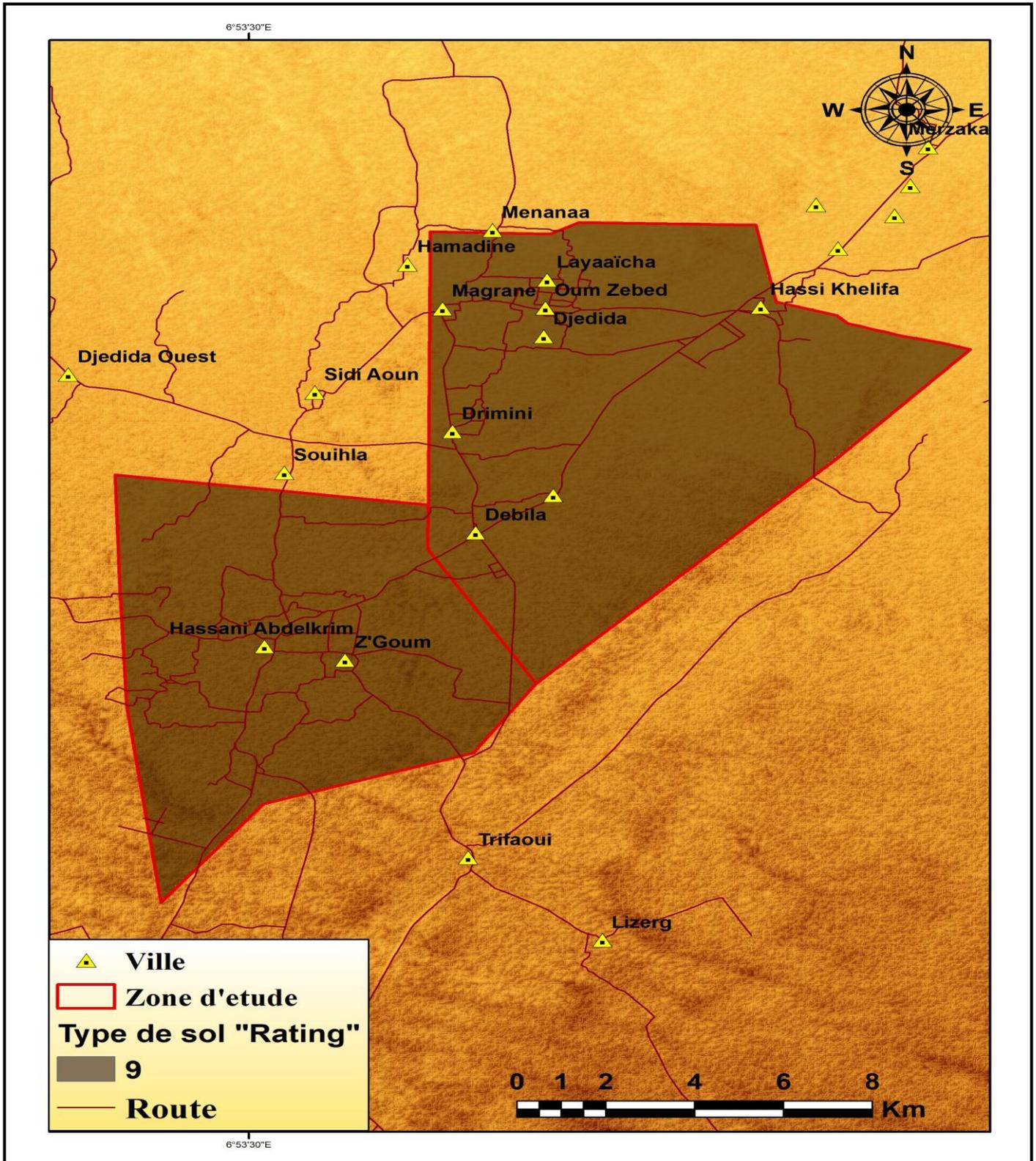


Carte (VI-6):Nature lithologique de l'aquifère(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.5.4. Type De Sol (S):

Le paramètre type de sol est une propriété hydraulique qui contrôle la recharge lors du processus d'infiltration des eaux.

Dans la zone d'étude le texture du sol affectent la quantité d'infiltration à partir de la surface du sol. Une carte des milieux de sol a été construite avec une classe: sol sableux .

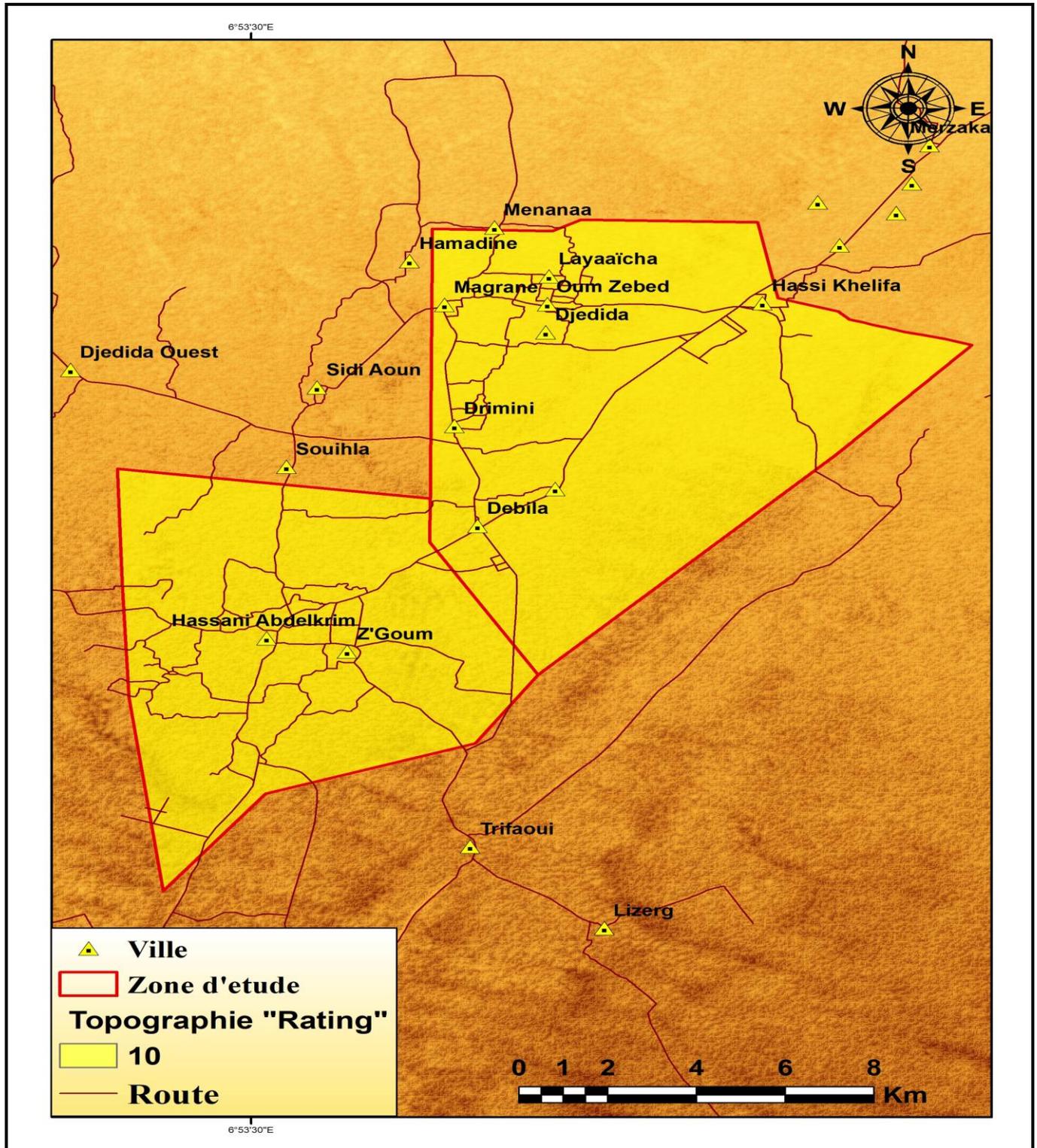


Carte (VI-7): Type De Sol(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.5.5. Topographique(T):

La topographie influence le développement du sol qui a un effet sur l'atténuation des contaminants .

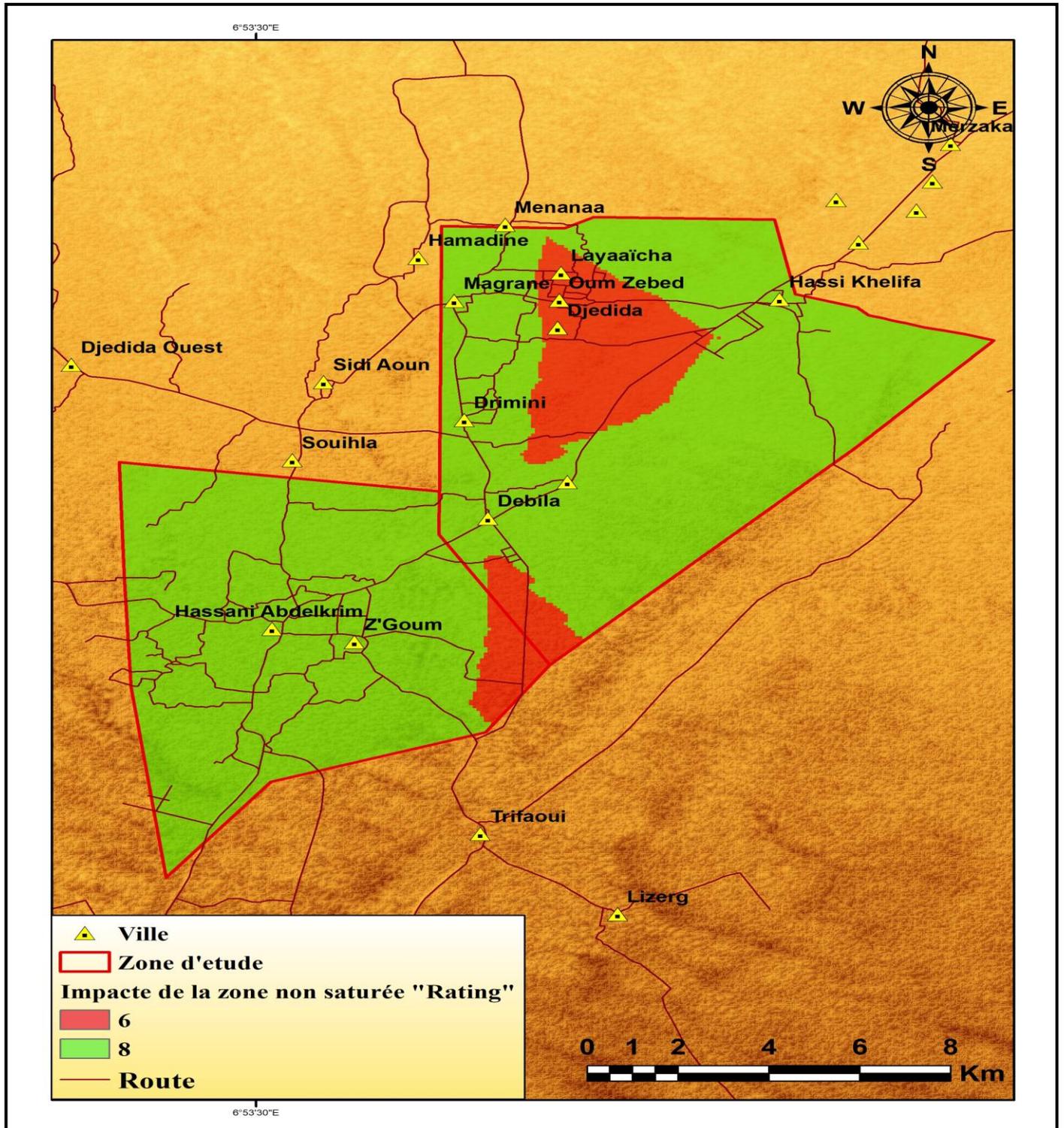
Dans la zone d'étude a une topographie relativement plate, avec des pourcentages de pentes allant de 0% à 10%.



Carte (VI-8): Topographique(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.5.6. Impacte de la zone non saturée(I):

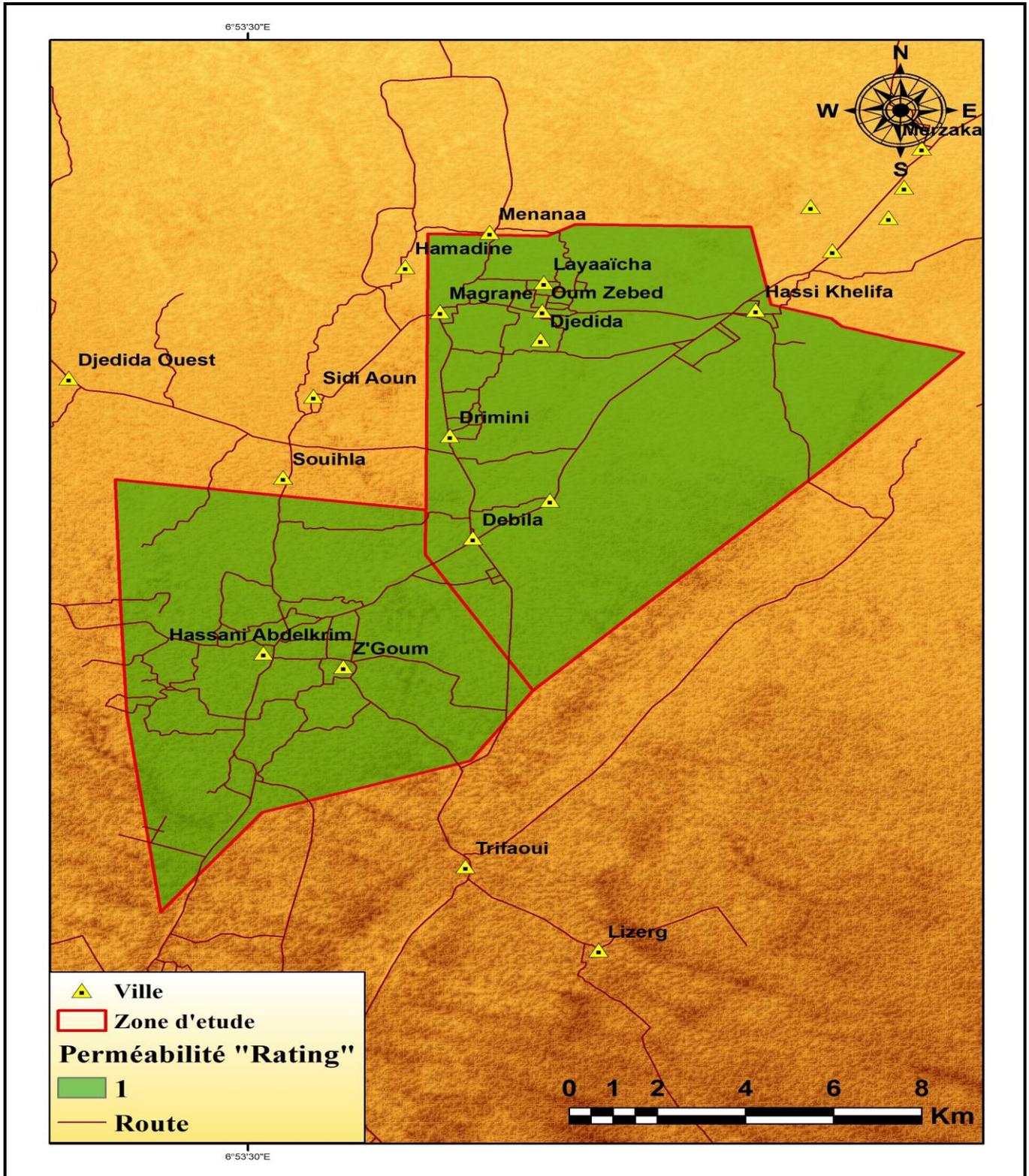
La lithologie prédominante est du sable moyen à fin avec du gypse passé, représentant la zone va dose et des autre zones présenter par Sable et gravier avec silt et argile, jusqu'à 22 m (profondeur maximale jusqu'au niveau de l'eau) a été regroupée en deux classes.



Carte (VI-9): Impacte de la zone non saturée(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.5.7. Conductivité(C)

La conductivité hydraulique des aquifères de la zone d'étude varie entre 2,01 et 3,65 m / jour. La cartographie de la conductivité hydraulique est effectuée en ayant une classe (Fig. VI-10) telle que la faible conductivité.



Carte (VI-10): Perméabilité Du Sol (KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

VI.6. la vulnérabilité des eaux de la nappe phréatique de la zone d'étude

Les cartes de vulnérabilité aux pollutions constituent une base d'information essentielle pour la gestion des ressources en eau, pour l'évaluation des risques de pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles.

VI.6.1 Interprétation de carte de vulnérabilité de la nappe phréatique de la zone d'étude

La nappe phréatique de la zone d'étude est constitué dans la grande partie des sables, la profondeur de surface piézométrique varie entre 7m et 22 m.

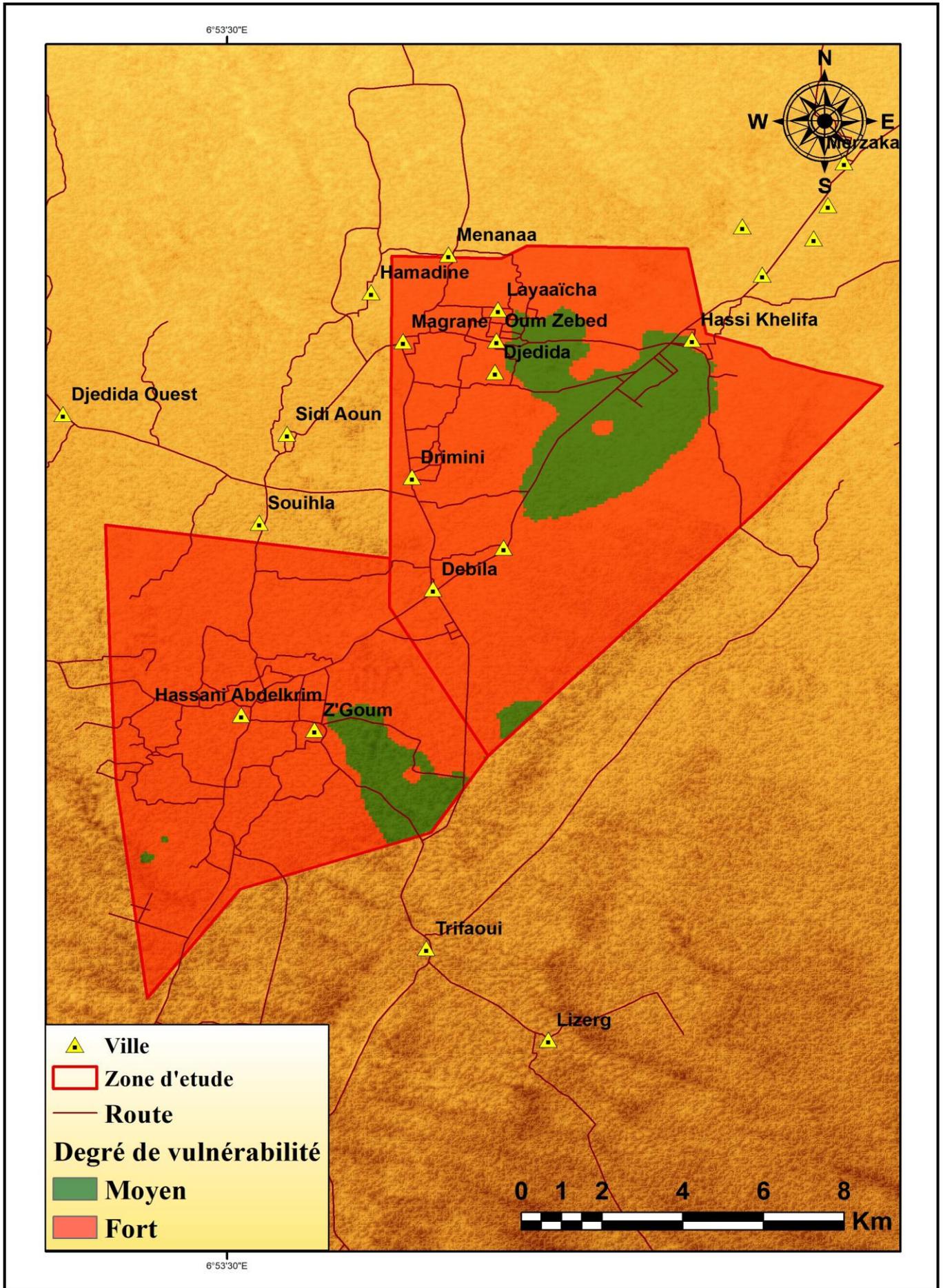
L'examen de la carte de vulnérabilité **Carte (VI-10)**, montre que la nappe phréatique de la zone d'étude à une vulnérabilité forte a modéré. Ce sont les zones agricoles irriguées à partir des nappes phréatique qui présentant un vulnérabilité forte à cause de la faible profondeur de la zone non saturée.

Le reste de la zone d'étude présente une vulnérabilité moyen.

Enfinement; Dans La zone d'étude il ya Deux classes de vulnérabilité à la pollution sont mises en évidence par la méthode DRASTIC.

La classe de vulnérabilité forte, représente 81% de la superficie totale, elle se localise dans les principaux dans les zone agricoles, avec un indice de vulnérabilité oscille entre 141 et 179. La profondeur de la nappe dans ses zones est supérieure à 8 m.

La classe de vulnérabilité moyenne représente 19% de la superficie totale avec un indice de vulnérabilité oscille de 113 à 141, elle se localise dans les endroits où la profondeur de la nappe est inférieure à 22 m.



Carte (VI-11): Degré de vulnérabilité(KHELEIL,m et BOUROUGAA,m 2020).

conclusion

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe libre d'El-Oued, réalisée par la méthode DRASTIC révèle une tendance de vulnérabilité à la pollution moyenne à forte.

Dans la zone d'étude, 81% de la nappe libre présente une vulnérabilité forte contre 19% de vulnérabilité moyenne.

Ce sont les zones urbaines et les zones agricoles irriguées par des forages captant les nappes profondes qui sont les plus vulnérables à la pollution.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le climat de la région d'El-Oued est de type saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 21,45°C.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 72,27 mm.

Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau, elle est représentée par des terrains allant de Crétacé au Quaternaire.

La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour le Quaternaire, détritiques, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé inférieur.

L'étude géophysique de la région d'El-Oued, montre que le réservoir de la nappe libre est constituée de formations détritiques représentées par : les sables, les sables argileux, et argiles sableuses, alors que le substratum est constitué par des argiles. La morphologie de substratum est presque régulière dans toute la zone d'étude à l'exception d'un bombement et de quelques dépressions. D'une manière générale la profondeur de substratum est comprise entre 55 et 103 mètres.

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

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de DRASTIC) montre que la nappe libre de hassni abdel karim et debila à une vulnérabilité forte et moyenne.

Dans la zone d'étude, 81% de la nappe libre présente une vulnérabilité forte contre 19% de vulnérabilité moyenne.

Au cours de cette thèse choisie la Zone de hassni abdel karim et debila et étude de leur vulnérabilité à la pollution et cela à travers la carte piézométrique et étude la méthode de vulnérabilité DRASTIC et carte de vulnérabilité .

De l'étude nous avons atteint :

La carte piézométrique nous permis de connaître le niveau de l'eau dans la nappe

phréatique par rapport du sol et le sens de l'écoulement de l'eau dans cette nappe de la zone d'étude qui était vers le Sud-est.

Cartographie de la vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines, pour la carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles.

Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau.

A la fin de ce travail il est recommandé d'essayer de définir la vulnérabilité par d'autres méthodes et réaliser des cartes par d'autres logiciels. Il est bien préconisé aussi de vérifier la vitesse de filtration des pollutions et le temps probable pour la contamination de la nappe étudiée.

Bibliographie

1. **ABBASSENE N., 2006.** Dépérissement de l'équilibre oasien. Cas de l'oasis de Timimoun. Mémoire de magister. Université de Biskra. 266p
2. **ANRH 1993 .** coupe lithologique du forage F1direction régionale Ouargla.algerie
3. **ANRH,2005:** inventaire des forage d'eau de la wilaya d'El oued la direction régionale Ouargla.algerie 17 p.
4. **BAKALOWICZ M .,** connaissance et gestion des ressources en eau souterraines dans les région Karstiques. Lyon Agence de l'eau Rhone-Méditerranée-Corse,44p. 1999, Guide technique n°3.
5. **BENSAOULA F .**Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques, mise au point d'outils pour leur protection (Application aux monts de Tlemcen-Ouest Oranais).2006. Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée: Université Tlemcen.
6. **BNEDER, 1992.** Inventaire du patrimoine phœnicicole. Irrigation drainage, Tipaza, 74p.
7. **BNEDER, 1993.** Schéma directeur de mise en valeur de la wilaya. Projet type d'exécution (zone du Souf). (Rapport DE/302/93/08), Algérie, Wilaya d'El Oued, Direction des services agricoles.
8. **BOUAMMAR B., 2000.** Les effets des changements de l' ,environnement économique et leurs impacts sur la rentabilité économique et financière des nouvelles exploitations agricoles oasiennes phœnicicole et céréalières et sur leur devenir : cas de la région de Ouargla. Mémoire de magister. INA d'El Harrach. Alger. 128 p
9. **CAZAUX M .** Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. 2007. Mémoire de stage : Rapport SMEGREG: 54 p.
10. **CÔTE M., 1998.** Des oasis malades de trop d'eau. Sécheresse, 9(2) ; pp 123-130.
11. **DHW.** Direction d'hydraulique de la wilaya d'El oued
12. **D .S . A d'EL-OUED 2005:**la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région d'El oued souf rapport synthèse .
13. **EL AMAMI S.E., 1984.** Les aménagements hydrauliques en Tunisie. Tunis, CRGR, 68pages. In Prof Abdallah Cherif, université de Tunis, Tunisie, la transition hydraulique en Tunisie: enjeux socio- économiques de l'eau et jeux d'acteurs ; pp 52-69. Article tiré de : actes du forum scientifique international: prévision du climat et gestion stratégique des ressources en eau au maghreb. Adrar, 24-26 septembre 2001.

14. **GOGU R ., DASSARGUES A.** A short review on groundwater vulnerability assessment, Basic statements for use in the framework of the cost 620 action.1998, Workshop 18-20 mai. Université deNeuchâtel.
15. **HAMZ M. H., ADDED A., FRANCES A., RODRIGUEZ R., AJMI M., et Abdeljaoued S.** Évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Jebel-Raf Raf (Nord-Est tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI .2008 , Revue des sciences de l'eau, 21, (1), 75–86.
16. **LEGHRISSI. I., 2007.** la place d'un système ingénierie (ghout) dans la nouvelle dynamique agricole de la région de Souf. Mémo. Ing. Univ d' Ouargla. 78p.
17. **MIMOUN D ., GRAILLOT D .** Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules , Egypte . 2010, des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules. Application au Massif Central (France), Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne 158, cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, Colloque Eau, Déchets et Développement Durable.
18. **MUET F ., VIER E .** Stratégies de protection de ressources karstique utilisées pour l'eau potable, Corse. 2011, Guide pratique Agence de l'eau Rhone- Méditerranée.
19. **NAJAH A; 1971.** le souf des oasis .Ed. maison livres ,Alger,174p.
20. **ONS,2006.** office national des statistiques.
21. **RAMAD F.** Elément d'écologie, écologie fondamentale .Edi science, Paris.1994. 517p.
22. **RAVÉREAU A., 1981.** Le M'Zab, une leçon d'architecture .Edition Sindbad, Paris, 278 p.
REMINI A, 2006. La disparition des ghouts dans région d'El-Oued (Algerie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n 05, pp.49-62.
23. **UNESCO, 1972 :** étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 78p.
24. **ZELLA L., SMADHI D., 2006.** Gestion de l'eau dans les oasis algériennes, Larhyss Journal, 5 ; pp149-156