

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Hydraulique et Génie Civil

C:.....
R:.....

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Master, Filière: Hydraulique et Génie Civil
Spécialité : Ressources en Eau**

Thème

**Vulnérabilité des eaux souterraine de la région de
Ouargla à la pollution (zone de Hassi Ben Abdallah)**

Présenté par :

❖ CHICHOUNE Koussaila

Soumis au jury composé de :

BOUAMRANE Ali	MCB	UKMO	Président
DERDOUS Oussama	MCB	UKMO	Examineur
SAGGAI Sofiane	MCA	UKMO	Encadreur

Année Universitaire: 2019 / 2020



Dédicace

Je dédie ce travail :

A...

Mon père et ma mère

ma femme et ma jolie fille CÉLINE

Mes frères et mes sœurs...

Toute ma famille...

Tous mes collègues et amis...

Tous mes professeurs et tous ceux qui m'ont un jour enseigné un mot...

A eux tous, je souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de succès...

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements et toute reconnaissance l'égard de :

*Mon promoteur, Monsieur **SAGGAI Sofiane** , professeur à la faculté de sciences appliquées à l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'encadrer ce travail.*

*Mr **BOUAMRANE Ali**, professeur à la faculté des sciences appliquées et de la Vie à l'Université de Ouargla, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.*

*Au membres du jury, qui je ont fait honneur en examinant ce travail, Mr **DERDOUS Oussama**.*

Merci à mes parents, ma femme, mes sœurs et frères mes amis surtout Salim.

Je remercie dans une même pensée toute personne ayant contribué de près ou de loin à ma formation et à la réalisation de ce mémoire, qu'ils trouvent ici l'expression de mon extrême reconnaissance

Vulnérabilité des eaux souterraines de la région de Ouargla à la pollution
(zone de Hassi B.Abdellah).

Résumé :

Afin de connaître l'étendue de l'impact de diverses activités et facteurs sur l'aquifère (CT), en particulier dans la zone agricole, et cela est dû à l'utilisation de divers pesticides et engrais, Nous avons choisi une zone située dans la région de Hassi Ben Abdullah et comme cette commune est considérée comme une région agricole dans la wilaya de Ouargla.

À travers cette étude, nous avons appliqué trois méthodes, **DRASTIC,SI,GOD**. pour estimer la vulnérabilité de la nappe (CT) a la pollution et nous avons appliqué ces méthodes dans les deux cas (cas des pesticides et à l'état naturel).

Nous avons comparé les différents résultats obtenus, ceux qui montrent que la vulnérabilité varie d'une méthode à l'autre et d'un cas à l'autre.

Pour la méthode **DRASTIC**, les résultats étaient plus logiques, qu'ont montré dans le cas normal, une vulnérabilité moyenne et dans le cas des pesticides, une vulnérabilité forte.

Concernant l'utilisation de la méthode **SI** et **GOD** nous a montré que dans les deux cas, la vulnérabilité de l'aquifère est faible.

Nous avons traduit tous les résultats en cartes graphiques, c'est par l'utilisation un programme d'information géographique (**SIG**), **ARCGIS (ARCMAP)**.

Mots clés

Vulnérabilité, DRASTIQUE, GOD, SI, Eaux souterraine , la nappe (CT), Zone agricole, Pesticides.

احتمالية تلوث المياه الجوفية لمنطقة ورقلة ()

_____:

من أجل معرفة مدى تأثير مختلف الأنشطة والعوامل على الطبقة المياه الجوفية (CT) وخصوصا في منطقة فلاحيه وهذا نظرا لاستعمال مختلف المبيدات و الأسمدة ؛ قمنا باختيار جزء من منطقة حاسي بن عبد الله وهذه البلدية تعد منطقة فلاحيه بامتياز في ولاية ورقلة .

ومن خلال هذه الدراسة قمنا بتطبيق ثلاثة طرق لقياس احتمالية تلوث المياه الجوفية (قة المائية CT) طريقة **GOD SI DRASTIC** بحيث قمنا بتطبيق هذه الطرق (المبيدات ؛وفي الحالة الطبيعية).

وقمنا بالمقارنة بين مختلف النتائج والتي أظهرت أن احتمالية التلوث تختلف من طريقة إلى أخرى ومن حالة إلى أخرى. بالنسبة لطريقة **DRASTIC** كانت النتائج أكثر منطقية حيث تشير في الحالة الطبيعية إلى احتمال تلوث متوسط وفي حالة استعمال مواد التعقيم تكون احتمالية التلوث قوية.

فيما يخص استعمال طريقة **GOD SI** فنتبين لنا أن في كلتا الحالتين احتمالية التلوث طبقة المياه الجوفية (CT) ضعيف

بترجمة كل النتائج على شكل خرائط بيانية من خلال استعمال برنامج المعلومات الجغرافية **Arcgis(Arcmap)**.

احتمالية التلوث **SI GOD DRASTIC**،طبقة المياه الجوفية (CT) منطقة فلاحيه Pesticides

Vulnerability of groundwater in the Ouargla region to pollution

(Hassi B. Abdellah area).

Summary:

In order to know the extent of the impact of various activities and factors on the aquifer (CT), especially in the agricultural area, and this is due to the use of various pesticides and fertilizers, We have chosen an area located in the region of Hassi Ben Abdullah and as this commune is considered as an agricultural region in the wilaya of Ouargla.

Through this study, we applied three methods, DRASTIC, SI, GOD. to estimate the vulnerability of the water table (CT) to pollution and we applied these methods in both cases (the case of pesticides and natural case).

We compared the different results obtained, those which show that the vulnerability varies from one method to another and from one case to another.

For the DRASTIC method, the results were more logical, shown in the normal case, a medium vulnerability and in the case of pesticides, a high vulnerability.

Concerning the use of the SI and GOD method showed in two cases, the vulnerability of the aquifer is low.

We have translated all the results into graphic maps, using a geographic information program (GIS), ARCGIS (ARCMAP).

Keywords :

Vulnerability, DRASTIC, GOD, SI, Groundwater, Water table (CT) Agricultural zone, Pesticides.

Table des matières

Dédicace

Remercîment

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale:.....1

Chapitre I:

Vulnérabilité a la Pollution

I- Vulnérabilité des eaux souterraines:.....3

I.1 Définition de vulnérabilité:.....4

I.2 Les types de vulnérabilité: 4

I.2.1 La vulnérabilité intrinsèque:.....4

I.2.2 La vulnérabilité spécifique:.....5

I.3 Les critères de vulnérabilité:6

II- Cartographie de la vulnérabilité:.....7

II.1 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines:7

a) Les méthodes de cartographies à index.....8

b) Les modèles de simulation8

c) Les méthodes statistiques8

II.2 Les différentes méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution:.....8

II.2.1 La méthode DRASTIC: 9

II.2.2 La méthode EPIK10

II.2.3 La méthode RISKE 10

II.2.4 La méthode DISCO 11

II.2.5	La méthode GOD.....	12
II.2.6	La méthode SINTACS.....	12
II.2.7	L'approche européenne (O.C.P.K.).....	13
III-	La cartographie de risque de pollution des eaux souterraines:	14
III.1	Le risque:	14
III.2	Risque, aléa et vulnérabilité:	14
III.3	Evaluation de risque:	15
III.4	La cartographie de risque:	16
III.4.1	Définition de la cartographie des risques :.....	17
III.4.2	Objectifs de la cartographie des risques :.....	17
VI-	Conclusion:	17

Chapitre II:

Présentation de la Région

I-	Introduction.....	18
II-	Situation géographique:.....	18
II.1	Organisation administrative:.....	20
III-	Étude climatique de la région.....	21
III.1	Température:.....	21
III.2	Humidité relative:.....	21
III.3	vent:.....	23
III.4	Précipitations:.....	24
III.5.	L'insolation:.....	25
III.6.	Evaporation et évapotranspiration:.....	26
VI.	Conclusion :	26

Chapitre III:

Situation Géologique et Hydrogéologique

I- Situation géologique:	27
I.1-Géologique et Géométrie des Formations Aquifères de la Cuvette d'Ouargla :	27
I.2- Géologie des Aquifères :	27
II- Hydrogéologie:	30
II.1- Le système aquifère du Continental Intercalaire (C.I):	30
II.2- Le système aquifère du Complexe Terminal (C.T):	31
• La nappe du Mio-pliocène :	32
• La nappe du Sénonien :	33
II.3- La nappe Phréatique:	33
III- Les Ressources en eau :	34
III.1. Les eaux superficielles :	34
III.2. Les eaux souterraines :	35
III.2.2- Les nappes captives :	35
III.2.3- Les nappes alluviales :	35
III.2.4- Les nappes des roches dures fissurées :	36
VI. Conclusion :	36

Chapitre VI:

Méthodes, résultats et discussion

I. Situation géographique de la zone d'étude :	37
II.Méthodologie :	38
II.1. Les cartes thématiques :	38
II.2. Méthode DRASTIC :	39
Paramètre profondeur de la nappe (D) :	40
Paramètre recharge nette (R) :	41
Paramètre Nature Du Matériel Aquifère (A) :	42
Paramètre de Nature de Sole (S) :	43
Paramètre Topographie(T) :	44
Paramètre de la zone vadose (I) :	45
Paramètre conductivité hydraulique (C) :	46

II.2.1 Carte globale des indices :	47
II.2.2. Carte de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode DRASTIC :	48
II.2.3 Cartes de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode DRASTIC cas d'utilisation des pesticides :	49
II.2.4 Interprétation de la carte de vulnérabilité selon la méthode DRASTIC :	49
II.3 Méthode SI (Susceptibility (S) Index (I)) :	50
II.3.1 Interprétation de la carte de vulnérabilité selon la méthode SI :	51
II.4. Méthode du GOD :	52
II.4.1 Théorie de la méthode GOD :	53
II.4.2 Détermination des paramétriques :	53
a) <i>Type de nappe (Groundwater occurrence) :</i>	<i>53</i>
b) <i>Impact de la ZNS (Overall aquifer class) :</i>	<i>53</i>
c) <i>Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table) :</i>	<i>54</i>
II.4.3 Type de nappe (Groundwater occurrence) :	54
II.4.4 Impact de la ZNS (Overall aquifer class) :	54
II.4.5 Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table) :	55
II.4.6 Cartographie de la vulnérabilité :	55
II.5 La carte de la vulnérabilité des eaux à la pollution par la méthode de GOD :	56
II.5.1 Carte des profondeurs de la nappe d'eau de la zone d'étude:	56
II.5.2 Carte de vulnérabilité de la zone étudiée selon la méthode GOD :	57
II.5.3 Interprétation de la carte de vulnérabilité selon la méthode GOD :	57
III. Conclusion :	58
Conclusion générale :	59

Liste des Figures

Figure I.1:	la vulnérabilité des eaux souterraine a la pollution. [image web].	P4
Figure II. 1 :	Carte de la situation de la zone d'étude wilaya d'Ouargla	P19
Figure II. 2 :	Carte de découpage administratif de la wilaya d'Ouargla	P20
Figure II.3 :	histogramme représente la température mensuelle moyenne.	P21
Figure II.4 :	histogramme représente l'humidité mensuelle moyenne en pourcentage.	P22
Figure II.5 :	histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent	P23
Figure II.6:	histogramme des Précipitation moyennes mensuelles	P24
Figure II.7:	L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla.	P25
Figure.III.1	Carte géologique de la cuvette d'Ouargla [7].	P28
Figure.III.2.	Coupe géologique de la cuvette d'Ouargla établie selon les logs Stratigraphiques [8]	P29
Figure III.3.	Délimitation des nappes CT, CI du domaine SASS	P32
Figure .IV.1	situation géographique de la zone d'étude	P37
Figure .IV.2 :	Carte de répartition spatiale de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol « niveau statique ».	P40
Figure.IV.3 :	Carte de répartition spatiale de l'indice de la profondeur de la nappe	P41
Figure. .IV.4 :	Carte de répartition spatiale de l'indice de la de Recharge dans l'aquifère.	P42
Figure .IV.5 :	Carte de répartition des valeurs de l'indice des matériaux de l'aquifère.	P43
Figure .IV.6 :	Carte de répartition des valeurs de l'indice du type de sol.	P44
Figure.IV.7 :	Carte de répartition des valeurs de l'indice de la pente de terrain.	P45
Figure .IV.8 :	Carte de répartition des valeurs de l'indice de la nature de la zone vadose.	P46
Figure.IV.9 :	Carte de répartition des valeurs de l'indice de la conductivité hydropique.	P47
Figure.IV.10 :	Carte de répartition de l'indice de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC sans pesticides.	P48
Figure IV.11 :	Carte de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode DRASTIC cas sans pesticides.	P48
Figure.IV.12 :	Répartition des indices de la vulnérabilité dans la zone d'étude, cas d'utilisation des pesticides	P49
Figure.IV.13 :	carte les classes de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC cas d'utilisations des pesticides	P49
Figure.IV.14 :	Carte montre la répartition d'indice de la vulnérabilité selon la méthode SI cas d'utilisations des pesticides.	P51
Figure.IV.15 :	Estimation de la vulnérabilité d'un aquifère par la méthode de GOD(d'après Foster, 1987).	P52
Figure.IV.16 :	Carte montrant la répartition des valeurs de l'indice de la profondeur de la nappe d'eau dans la zone d'étude.	P56
Figure .IV.17	Carte montant la répartition des valeurs d'indice de la vulnérabilité dans la zone d'étude selon la méthode GOD	P57
Figure .IV.18	Carte de vulnérabilité de la nappe captée de la zone d'étude selon la méthode de GOD	P57
Figure 1.	Carte piézométrique de la nappe Mio-Pliocène	annexes
Figure 2.	Carte piézométrique locale de la nappe Mio-Pliocène (2015)	annexes
Figure 3.	Carte de profil topographe de la zone d'étude Google earth	annexes
Figure 5.	Coupe technique de forage.	annexes

Liste des tableaux

Tableau I.1	Les critères de vulnérabilité (B.R.G.M., 2005).	P6
Tableau II.1.	Températures moyennes mensuelles en degré	P21
Tableau II.2.	Humidités mensuelles moyennes en pourcentage (%) (ONM)	P22
Tableau II.3.	Les fréquences moyennes mensuelles de vent	P23
Tableau II.4.	Précipitations moyennes mensuelles	P24
Tableau II.5.	L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (2006-2017).	P25
Tableau .IV.1	Les paramètres DRASTIC et leur poids respectif (Aller et al, 1987)	P39
Tableau .IV.2.	Cotation du paramètre profondeur de l'eau.	P40
Tableau .IV.3.	Cotation du paramètre recharge de l'aquifère ;	P42
Tableau .IV.4	Cotation du paramètre matériau de l'aquifère.	P43
Tableau .IV.5	Cotation du paramètre type de sol.	P44
Tableau .IV.6.	Cotation du paramètre pente de terrain.	P45
Tableau .IV.7.	Cotation du paramètre de la zone vadose.	P46
Tableau .IV.8.	Cotation du coefficient de perméabilité.	P47
Tableau .IV.9.	Notation des critères utilisés pour la méthode SI	P50
Tableau .IV.10.	Critère d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SI.	P51
Tableau .IV.09.	Cotes attribuées au critère "Type de nappe"	P54
Tableau .IV.10.	Cotes attribuées au critère "Impact de la ZNS"	P54
Tableau .IV.11.	Cotes attribuées au critère "Profondeur à la nappe"	P55
Tableau .IV.12.	Les indices de la méthode GOD et degré de vulnérabilité avec la définition (Murat et al., 2003).	P55
Tableau1.	Cotes accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC	annexes
Tableau 2.	Poids attribués selon la méthode DRASTIC cas sans pesticides	annexes
Tableau 3.	Poids attribués selon la méthode DRASTIC cas des pesticides.	annexes
Tableau 4.	Quelque points d'eau de la zone d'étude.	annexes

Introduction générale:

Les eaux souterraines représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour l'utilisation dans les domaines agricoles et industriels.

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes permet une meilleure gestion des eaux souterraines et des interventions convenables dans le cas de contamination.

Elle permet aussi de préciser les zones sollicitées à être contaminées suite à des activités anthropiques.

Une fois identifiées, ces régions peuvent être visées avec prudence par les planificateurs et les utilisateurs de la terre. Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution.

Elles sont précieuses pour toute décision future.

Dans ce sens, ce travail constitue une contribution pour une meilleure connaissance de la nappe de CT de la région de Ouargla (zone d'étude périmètre agricole à Hassi Ben Abdallah) situé au Nord-Ouest de la ville Ouargla et Nord-Est de la commune de Hassi Ben Abdallah.

L'objectif principal du présent mémoire consiste l'étude de la vulnérabilité à pollution des eaux souterraines, nappe CT (mio-pliocène) dans une zone agricole , par l'application des méthodes DRASTIC, SI et GOD suivant les méthodes paramétriques suivantes : la méthode DRASTIC standard (Aller et al., 1987), la méthode SI (Ribeiro., 2000), et la méthode GOD (Bézelgues et al., 2002).

D'autre part, une comparaison statistique des résultats obtenus par les différentes méthodes, a été effectuée, qui soit interprétative et permettant d'estimer la vulnérabilité de la nappe à la contamination par des polluants d'extérieur (agricole).

Elle constituera un appui pour la gestion des eaux souterraines et la définition des mesures de protection des réserves en eau.

L'étude s'articule sur Quatre chapitres:

Chapitre I : Dans ce chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur la cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines. Ainsi, nous citons brièvement les principales méthodes de cartographie de la vulnérabilité qui a fait l'objet du travail.

Chapitre II : Présentation de la Région, il sera consacré à l'identification de la zone d'étude (Situation géographique, organisation administrative et étude climatologie).

Chapitre III : Traitera situation géologique et hydrogéologique.

Chapitre IV: Nous le consacrerons pour la présentation des résultats et l'application de la méthode DRASTIC, SI et GOD.

Et enfin une Conclusion Générale qui fera l'objet d'une synthèse des résultats obtenus dans cette étude.

Chapitre I

LA VULNERABILITE A DE POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES

I. Vulnérabilité des eaux souterraines:***I.1 Définition de vulnérabilité:***

Le terme vulnérabilité (attesté en 1836, chez Balzac au sens général) a été introduit dans la littérature hydrogéologique par J.Margat en 1968. 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 auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface (Amharref M., Bernoussi A., 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, etc., ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides) (El warititi M. et al, 2007).

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 plus vulnérables que les nappes profondes captives. Les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau de la nappe. (Smida H. et al, 2009).

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



Figure I.1: la vulnérabilité des eaux souterraine a la pollution. [image web].

I.2 Les types de vulnérabilité:

Le concept de vulnérabilité englobe deux notions différentes ou deux types de vulnérabilité intrinsèque et spécifique.

I.2.1 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 (B.R.G.M., 2008).

I.2.2 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 (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 (B.R.G.M., 2008).

La contamination des eaux souterraines dans un environnement urbain est due à l'infiltration des eaux usées domestiques rejetées, sans contrôle, dans le milieu récepteur naturel, accentuée par des conditions hydrogéologiques favorables (Navarro A, Carbonel M., 2007).

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être dégradée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par la mesure des paramètres physico - chimiques et bactériologiques, dans le cas d'une détérioration jugée importante (El warititi M. et al, 2007).

la vulnérabilité spécifique, qui fait intervenir non seulement les paramètres naturels, mais également les propriétés du contaminant (sa nature, sa mise en place, etc.) et la nature des activités anthropiques (Civita M, 1994).

Autrement dit, la vulnérabilité est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution. Elle décrit la vitesse de propagation d'un polluant vers et dans la nappe d'eau souterraine et caractérise la capacité de "protection" d'une nappe vis-à-vis d'une pollution (BRGM., 2010).

L'évaluation de la vulnérabilité des aquifères apporte des éléments de connaissance précieux dans la gestion et la protection de la ressource en eaux souterraines (B.R.G.M., 2004).

Les cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine ont comme but de montrer quelles sont, suivant la nature des terrains rencontrés en surface et les conditions hydrogéologiques, les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les aquifères, c'est-à-dire la vulnérabilité des nappes à la pollution (Albinet M. et Margat J., 1971).

I.3 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 (<i>pente</i>)	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe (<i>libre ou captive</i>)
Pédologie (<i>perméabilité verticale des sols, nature et texture des sols</i>)	Temps de transfert (<i>perméabilité verticale</i>)	Temps de résidence (<i>dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères</i>)
Bilan hydrique (<i>ruissellement et infiltration efficace</i>)		Relation eaux souterraines/eaux superficielles
	Structure de la ZNS (<i>variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en matière organique et argile</i>)	Piézométrie (<i>sens et direction d'écoulement et évolutions selon la période du cycle hydrologique</i>)
	Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci	Epaisseur de l'aquifère (<i>quantité de réserve</i>)
		La recharge (<i>recharge annuelle nette</i>).
		Type de système hydrogéologique (<i>caractères plus ou moins capacitif et transmissif</i>)
Battement de nappe		
Fracturation (<i>directions et densité</i>)		

Tableau I.1: Les critères de vulnérabilité (B.R.G.M., 2005).

II. Cartographie de la vulnérabilité:

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines permet d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant. Elle devrait en principe conditionner les plans d'occupation des sols ou, du moins, permettre de cibler les zones où des mesures rigoureuses de protection devraient être adoptées (Menani M.R., 2001).

La cartographie de la vulnérabilité de la source ou du captage fournit des bases soit pour contribuer à la définition des programmes d'action pour réduire les pollutions d'origine diffuse soit pour établir les périmètres de protection. (BRGM., 2009).

Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standards pour contribuer à la protection des ressources hydriques souterraines contre une éventuelle pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future. (Bentekhici Nadj.2015)

Les planificateurs et les gestionnaires des eaux peuvent décider l'allocation des terres et des activités, en prenant en compte la protection de ces ressources contre des pollutions potentielles. (Bentekhici Nadj.2015).

Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future (Smida H. et al, 2009).

II.1 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines:

De nombreuses approches ont été élaborées pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines ; elles peuvent être divisées en trois grandes catégories : les méthodes statistiques, les modèles de simulation et les méthodes de cartographie à index. Ces dernières méthodes dites « d'indexation » sont les plus souvent utilisées, considérées comme les plus pertinentes vis-à-vis des réalités des terrains (GOGU *et al.*, 2000 ; VRBA *et al.*, 1994).

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

a) *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) (Derni S., 2011).

b) *Les modèles de simulation*

Ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants (Schnebelen., 2002). Ils donnent une image de vulnérabilité spécifique de la nappe ;

c) *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. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe (Derni S., 2011).

II.2 Les différentes méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution:

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 Graillot D., 2010).

Nous proposons dans notre étude bibliographique les différentes méthodes les plus utilisées pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution par la pondération et l'indexation des paramètres qui sont basées sur la combinaison des cartes de divers critères.

II.2.1 La méthode DRASTIC:

La méthode la plus utilisée actuellement dans le monde est la méthode DRASTIC. C'est une méthode qui a été élaborée par L. 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). Une pondération est également attribuée selon l'importance relative de chacun des paramètres utilisés (El warititi M. et al, 2007).

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.

[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) de la zone saturée* (SinanM. et al, 2003).

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 (1 à 10) 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:

$$ID = D_c \times D_p + R_c \times R_p + A_c \times A_p + S_c \times S_p + T_c \times T_p + I_c \times I_p + C_c \times C_p$$

Avec :

"P" étant le poids du paramètre c'est un facteur de pondération allant de 1 à 5 "C" la cote associée (Sinan M. et al., 2003)

D, R, A, S, T, I, C: représentent les paramètres DRASTIC, "p" étant le poids du paramètre et "c" la cote associé.

L'établissement de la carte de vulnérabilité d'une nappe à la pollution consiste à reporter dans l'espace les valeurs de l'indice DRASTIC (Id) et leur regroupement dans cinq classes différentes.

Quant aux valeurs de l'indice DRASTIC, utilisées, elles sont celles fournies par Engel et représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère. Ces valeurs varient de 23 à 226 et sont classées en quatre classes.

Neuf classes d'indices de vulnérabilité DRASTIC obtenues pour la région varient de "101" (valeur minimum) à "209" (valeur maximum).

Cette autre classification permet de fixer les limites des intervalles des indices calculés et de faire correspondre des classes de vulnérabilité à ces indices (Kouassi.D et all., 2009).

II.2.2 La méthode EPIK

La méthode EPIK est une méthode multicritères à indices qui prend en compte quatre critères principaux:

- **L'épikarst "E"**: Son degré de développement conditionne une infiltration plus ou moins rapide de l'eau dans le toit du substratum calcaire.
- **La couvertureprotectrice "P"**: Son épaisseur est un facteur déterminant sur le temps de transit de l'eau depuis la surface du sol, jusqu'au toit de la formation calcaire.
- **Les conditions d'infiltration "I"**: Elles caractérisent une infiltration diffuse et lente ou concentrée.
- **Le développement du réseaukarstique "K"**: Il détermine la rapidité des écoulements au sein de l'aquifère karstique (Pinaud M., 1999 in Fellah H.S,2012).

II.2.3 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 (Petelet-G et al.,in 2000).

Elle a basée sur cinq critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques qui sont:

➤ **R:** pour la roche aquifère : (lithologie et fracturation) la nature des formations géologiques peut influencer sur la circulation de l'eau, et donc des polluants potentiels, à l'intérieur de l'aquifère.

➤ **I:** pour les conditions d'infiltration : (infiltration diffuse / infiltration Ponctuelle) Les deux paramètres primordiaux retenus sont la pente qui va plus ou moins favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration et les pertes qui vont permettre une infiltration directe et très rapide de l'eau jusqu'à l'aquifère.

➤ **S:** pour le sol et la couverture protectrice (la teneur en cailloux, la texture et l'épaisseur) Les formations pédologiques forment une couverture protectrice au dessus des roches aquifères. Il est donc important d'évaluer le pouvoir protecteur et/ou régulateur de ces horizons vis-à-vis de polluants potentiels.

➤ **K:** pour le degré de développement de la karstification : La karstification du milieu est l'un des paramètres les plus importants qui conditionnent la vulnérabilité. Ce critère permet de caractériser la vulnérabilité du milieu souterrain. Le développement du réseau karstique est donc à évaluer à partir de différentes méthodes, telles que l'analyse des hydrogrammes de crues (estimation du degré de karstification).

➤ **E:** pour l'Epikarst (Dörfliger N. et al, 2005).

II.2.4 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. Trois paramètres sont nécessaires et suffisants pour évaluer le transport d'un polluant d'un point quel conque du bassin d'alimentation jusqu'à son arrivée au captage : le paramètre "discontinuités" ; le paramètre "couverture protectrice" ; le paramètre "ruissellement" englobe les phénomènes d'écoulement de l'eau en surface avant son infiltration (ruissellement de pente, cours d'eau permanents ou temporaires) [1].

Le report sur cartes, la combinaison et la pondération de ces paramètres permettent de déterminer un facteur de protection final F pour chaque partie du bassin d'alimentation.

Les zones de protection des eaux souterraines sont alors déterminées en attribuant une valeur du facteur de protection à chacune des zones S1, S2 et S3 en délimitant les zones S (Vernoux J.F., 2007).

Le facteur de protection final F de vulnérabilité est évalué selon la formule suivante:

$$\text{Vulnérabilité} = 0,5D + 0,3R + 0,2S$$

Avec: **D** : Discontinuités; **P** : couche protectrice; **R** : ruissellement (Pochon A. et Zwahlen F., 2003 in Fellah H.S., 2012).

II.2.5 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.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères : Type de nappe (Groundwater occurrence) ; Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overall aquifer class) ; Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table) .

Le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation
$$\text{IG} = \text{Ca} \times \text{Cl} \times \text{Cd}$$
 , avec Ca : Type d'aquifère ; Cl : Lithologie de l'aquifère ; Cd : Profondeur de la nappe.

Les différentes plages d'IG obtenues ont été mises en parallèle avec les classes de vulnérabilité.

II.2.6 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 (Petelet et al., 2000 In [1]).

Les paramètres de caractérisation de la vulnérabilité qui ont été retenus dans cette approche sont les mêmes que ceux de la méthode DRASTIC, soit en italien :

- **S**: Soggiacenza (profondeur de la nappe) ;
- **I**: Infiltrazione (infiltration) ;
- **N**: Azione del Non Saturo (fonction de la zone non saturée) ;
- **T**: Tipologia della Copertura (sol) ;
- **A**: Carratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristique hydrogéologiques de l'aquifère) ;

- **C:** Conducibilità Idraulica (conductivité hydraulique) ;
- **S:** Acclività della Superficie Topografica (pente moyenne de la surface topographique).

II.2.7 L'approche européenne (O.C.P.K.)

L'approche européenne pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque proposée par COST 620, DALY et al. 2001, est un modèle très flexible qui peut être adapté à différents milieux aquifères (Zwahlen F., 2004 in Bensaoula F., 2006).

L'approche COST 620 est basée sur une démarche itérative afin d'évaluer le risque de contamination d'un aquifère en tenant compte des caractéristiques particulières d'un milieu karstique.

L'objectif de COST 620 était de développer de nouveaux outils qui puissent assister les décisions en termes d'aménagement des zones karstiques européennes et protéger sur le long terme ces ressources face aux dangers de pollutions potentielles générées par les activités anthropiques (Pranville J. et al., 2007 in Fellah HS., 2012). Elle définit des concepts et des principes qui sont considérés comme universels et applicables à toute la gamme de karst en Europe (Sineich et al, 2005 in Bensaoula F., 2006).

L'approche européenne utilise quatre critères pour déterminer la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique. Dans ce modèle conceptuel quatre facteurs, O, C, P et K sont mis en jeu:

- **O (overlyinglayers)** correspondent à la couche couvertures de sol pouvant être définies comme protectrices ou vulnérables vis-à-vis de l'infiltration.
- **C (concentration of flow)** ou concentration de l'écoulement. Ce facteur représente le degré de concentration des précipitations vers les endroits qui permettent une infiltration rapide. Si cette infiltration est diffuse ce facteur n'est pas déterminant. Le degré de concentration dépend des paramètres qui contrôlent le ruissellement tel que la pente, les propriétés de surface (telle que la perméabilité), la végétation, la présence d'éléments qui concentrent l'écoulement (telles que les pertes et les zones à forte perméabilité).

➤ **K (Karst network development)** rend compte du degré de développement du système karstique, notamment de son réseau de drainage de la zone saturée.

➤ **P (Precipitation régime)**, qui fait intervenir un facteur externe au système. Il considère le régime des précipitations (quantité annuelle, intensité, fréquence et durée). Ce facteur influe sur l'infiltration et la recharge de l'aquifère et par conséquent le transport du polluant et sa dilution au sein de l'aquifère.

III. La cartographie de risque de pollution des eaux souterraines:

III.1 Le risque:

Difficile de donner une définition au risque, d'abord parce que ce n'est que dans ces derniers temps que la terminologie a commencé à être officialisée, et d'autre part parce que dans la littérature la cible étant considérée à risque est généralement la santé et la sécurité humaines. En outre, le risque est un terme galvaudé avec une grande variété de définitions. Les termes aléas et les risques sont souvent utilisés simultanément en français et en anglais (Zwahlen F. (Ed.), 2004).

Le risque peut être défini comme la probabilité ou la fréquence attendue d'une conséquence négative spécifiée. Le risque n'est pas conçu comme une mesure absolue mais comme un moyen de mesure relative ou de comparaison (où il peut être particulièrement utile, c'est quand les différentes composantes du risque sont utilisées) (Zwahlen F. (Ed). 2004).

III.2 Risque, aléa et vulnérabilité:

L'aléa est un concept spécifique qui correspond à l'éventualité qu'un phénomène se produise sur un site donné en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. Dans le domaine du risque des eaux souterraines, l'aléa résulte du croisement de l'intensité d'un phénomène redouté et de l'éventualité de sa survenance (S.I.R.E.T., 2010).

On peut définir l'aléa par une approche probabiliste, qui s'agit de l'application d'un stress, (une action polluante) sur un point, un axe ou un espace plus ou moins vulnérable du milieu naturel au regard des eaux souterraines.

L'aléa est hiérarchisé en l'appliquant à différentes configurations. Les termes « aléa fort » ou « aléa très fort » signifient que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones « d'aléa moyen » ou « d'aléa faible » ou que les phénomènes susceptibles de se produire dans cette zone sont d'un niveau plus élevé.

L'impact potentiel des facteurs chimiques, biologique ou physique (facteurs polluants) peut provoquer un risque sur l'eau des aquifères mais à la présence d'une vulnérabilité, comme aussi un aquifère peut être vulnérable mais pas forcément exposé d'un risque de pollution en absence des aléas (des facteurs polluants: industrie agriculture...). C'est à dire une zone de risque est définie comme la partie de la zone d'aléa dans laquelle se trouve un enjeu vulnérable en surface (habitation, infrastructure...) (S.I.R.E.T., 2010).

III.3 Evaluation de risque:

L'évaluation du risque est une étape dans le processus de protection des ressources en eau souterraine et plus particulièrement de l'établissement des périmètres de protection. Le risque, terme utilisé pour mettre en évidence la probabilité d'une contamination possible résultant d'un événement aléatoire, constitue l'origine possible d'une contamination liée à une activité donnée. Combinée à la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque, caractérisant la sensibilité du milieu souterrain à la contamination, elle permet de déterminer les conséquences d'une contamination (B.R.G.M., 2004).

L'évaluation du risque est un processus d'évaluation de l'impact potentiel d'un agent chimique, biologique ou physique sur l'eau souterraine. Elle identifie les risques potentiels ou existants ainsi que les voies d'écoulement exposées. Les points suivants sont à prendre en considération: la probabilité de vraisemblance de l'impact, l'intensité d'un impact potentiel sur les eaux souterraines et la sensibilité de l'eau souterraine (B.R.G.M., 2004).

L'évaluation du risque des eaux souterraines nécessite:

- L'identification des risques potentiels;
- L'analyse de l'impact potentiel des risques sur les eaux souterraines (concentration et quantité de contamination);
- Avoir une information sur la valeur des eaux souterraines (le niveau piézométrique);

➤ Avoir une information sur les caractéristiques hydrogéologiques des matériaux géologiques qui peuvent influencer le transfert et l'atténuation de contaminants (vulnérabilité des eaux souterraines) (B.R.G.M., 2004).

III.4 La cartographie de risque:

III.4.1 Définition de la cartographie des risques :

La cartographie des risques permet de recenser les risques majeurs d'une organisation et de les présenter de façon synthétique sous une forme hiérarchisée.

Cette hiérarchisation s'appuie sur les critères suivants :

- L'impact potentiel
- La probabilité de survenance
- Le niveau actuel de maîtrise de risques. [2].

III.4.2 Objectifs de la cartographie des risques :

L'établissement d'une cartographie des risques peut être motivé par des objectifs de différentes natures aussi importants les uns que les autres.

Ces objectifs sont les suivants :

- Mettre en place un contrôle interne ou un processus de management des risques adéquat ;
- Aider le management dans l'élaboration de son plan stratégique et de sa prise de décision ;
- Orienter le plan d'audit interne en mettant en lumière les processus au niveau desquels se concentrent les risques majeurs ;
- Veiller à la bonne image de l'organisation ;

La cartographie des risques est un puissant outil de pilotage interne.

Ainsi, son élaboration exige une méthodologie minutieuse, ce qui permet une détection systématique des risques majeurs. [2].

VI. Conclusion:

La prévention contre la pollution des nappes d'eau souterraine est devenue depuis près de trois décennies une préoccupation majeure pour les spécialistes du domaine de l'eau. (Didi P. et al. 2013).

La cartographie de vulnérabilité et de risque sont deux document très intéressant dans l'aménagement du territoire.

En effet le risque de pollution est évalué qualitativement par la combinaison de l'aléa et de l'effet couplé de la vulnérabilité.

Ceci nous permet d'élaborer une carte des risques et de localiser les zones vulnérables et à risques.

Ces zones à risques nécessitent inévitablement une protection aux cas où les activités anthropiques présentes ne peuvent être ni arrêter ni déplacer et cette protection dépendra du contexte hydrogéologique de la zone.

En plus, les périmètres de protection ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation tel qu'il est recommandé par la réglementation (Bensaoula F. et al, 2003. in Fellah H.S., 2012).

Chapitre II
PRESENTATION DE LA REGION

I. Introduction:

La variabilité et le changement climatique influencent les systèmes d'eaux souterraines à la fois directement par la réalimentation par la recharge et indirectement par des changements dans l'utilisation des eaux souterraines. Ces impacts peuvent être modifiés par l'activité humaine, comme le changement dans l'occupation des sols (Taylor et al. 2013).

Le présent chapitre sera entièrement consacré à la présentation de la région (Figure I.1) d'étude et aussi des caractéristiques climatiques de la région d'Ouargla.

II. Situation géographique:

La wilaya d'Ouargla, large territoire de 163 230 km², se positionne idéalement au centre de la région programme Sud/Est. Elle occupe la frange la plus au centre du Sahara dont elle constitue l'un des plus importants maillons.

La wilaya est située dans la partie sud du pays. Elle est limitée:

-) Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued
-) Au Sud, par Illizi et Tamanrasset
-) A l'Est, par la Tunisie
-) A l'Ouest, par Ghardaïa

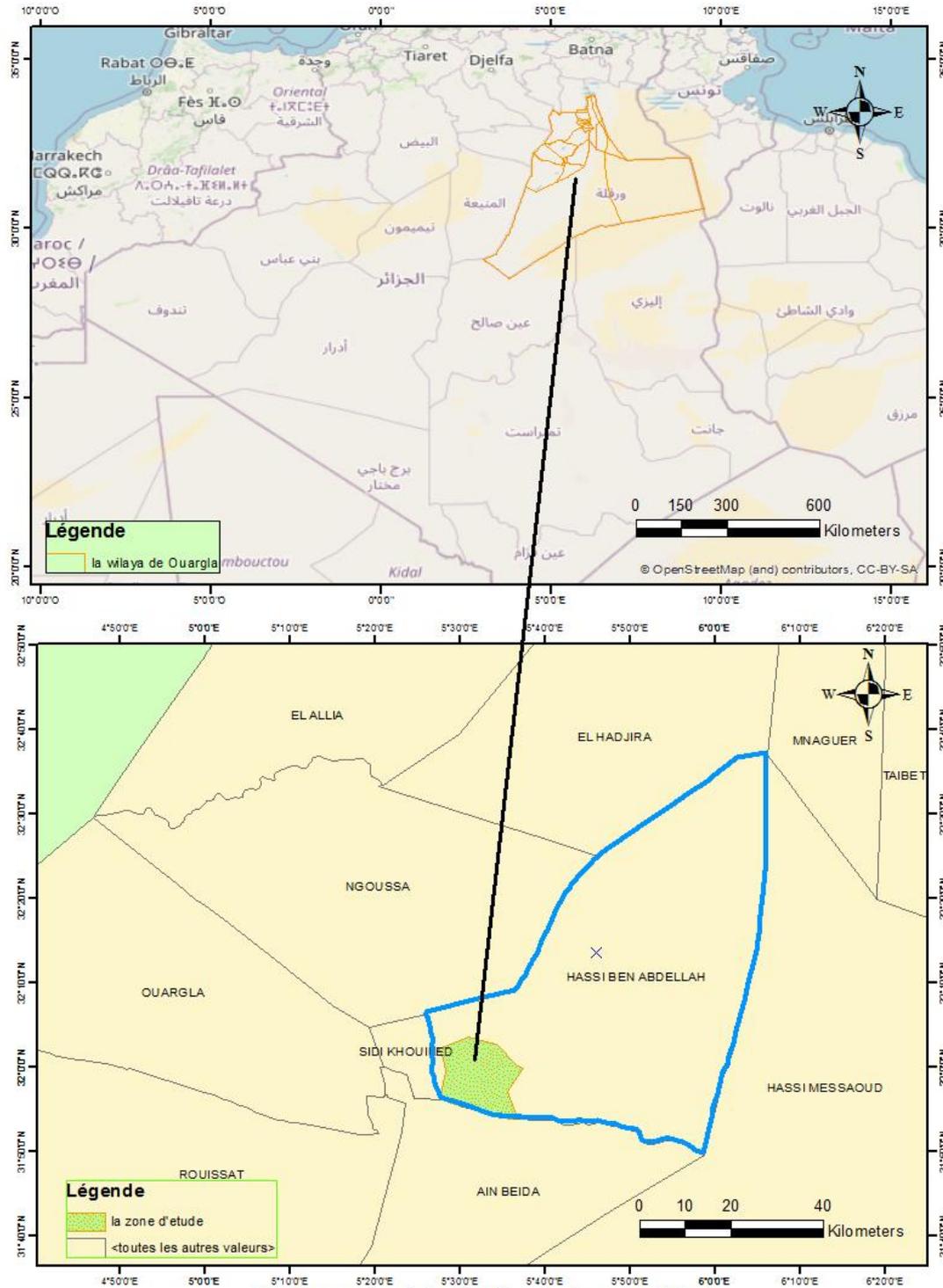
(Figure. I.2). Ces coordonnées géographiques sont:

- Latitude : 31°58' Nord
- Longitude : 5°20' Est
- Altitude moyenne : 157 m.

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par la diversité géographique et la diversité entre le désert, les montagnes et les vallées, Formations de dunes de sable, on peut distinguer 05 unités physiques différentes qui sont définis comme suit notamment :

- Le grand Erg Oriental couvert environ 2/3 du territoire de la Wilaya, du Nord au Sud ;
- La Hamada qui est plateau caillouteux situé à l'Ouest et au Sud de la Wilaya ;
- Les vallées de l'oued Rhir et de l'oued Mya ;
- Les plaines localisées à la limite Occidentale de la Wilaya, du Nord au Sud ;
- Les dépressions, peu nombreuses localisées dans la zone de l'oued Righ.

Le climat est de type Saharien, caractérisé par des températures élevées, et des précipitations très faibles, inférieurs à 60 mm/an en moyenne ; le vent constitue une contrainte climatique importante au sein de la Wilaya.

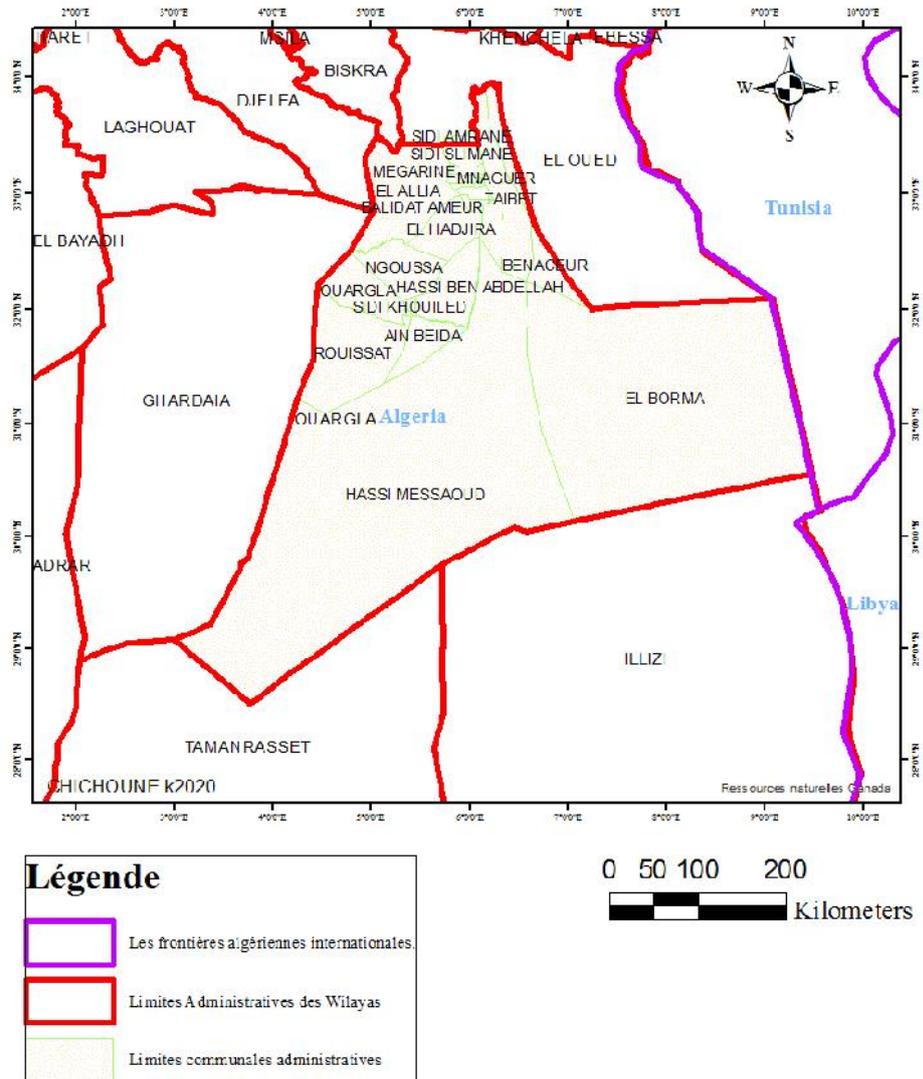


Carte montrant la situation de la zone d'étude dans la commune de Hassi B. Abdallah wilaya d'Ouargla.

Figure II. 1 : Carte de la situation de la zone d'étude wilaya d'Ouargla

II.1 Organisation administrative

Sur le plan administratif, la wilaya de Ouargla composé de 10 Daïras regroupant 21 Communes. S'agissant de la population, la wilaya d’Ouargla compte 557 667 habitants dans le RGPH 2008 ; cette population atteint 691 599 habitants en 2017 avec un taux d’accroissement de 2.44%. (Figure II. 2).



Carte de découpage administratif de la wilaya d’Ouargla.

Figure II. 2 : Carte de découpage administratif de la wilaya d’Ouargla

III. Étude climatique de la région :

III.1 Température :

Les températures mensuelles moyennes pour une période d’observation de 20 ans (1997-2017) sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau II.1. : Températures moyennes mensuelles en degré

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai.	Jui.	Juil.	Aout	Sep.	oct.	nov.	Déc.
Tempéra Tutre(°C)	11.2	14.3	18.6	25.2	29.1	35.4	39.3	36.6	33.1	29.7	22.3	18.9

A partir des données des températures nous avons tracé l’histogramme de la figure II.3.

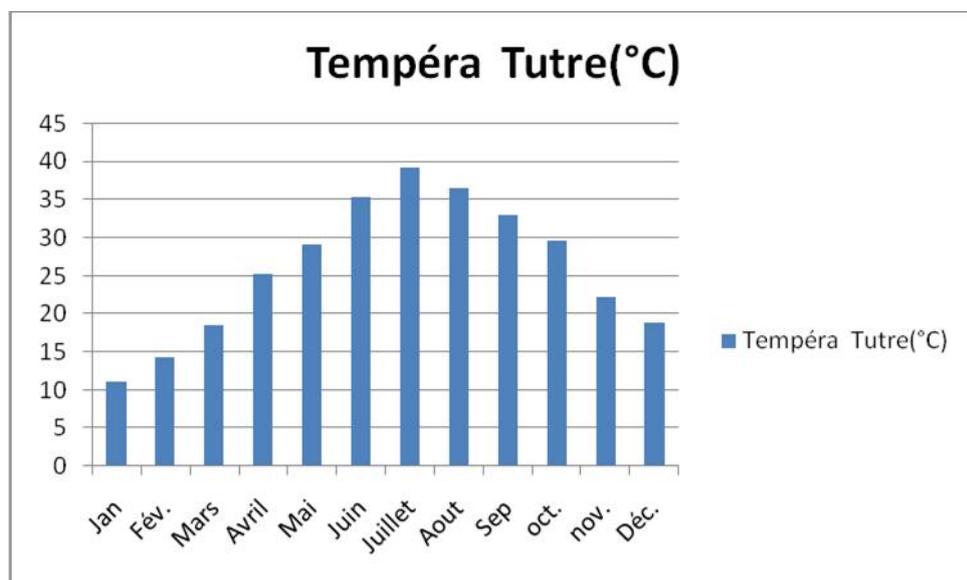


Figure II.3 : histogramme représente la température mensuelle moyenne.

A travers l’analyse de cet histogramme nous avons constaté que le moi le plus chaud est celui de juillet est le mois plus froid est celui de janvier.

III.2 Humidité relative :

L’humidité relative du cycle hydrologique contrôlant l’évaporation du sol et la couverture végétale, cette dernière correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d’eau.

Les données d’humidité relative mensuelles moyennes de la station d’Ouargla sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2. : Humidités mensuelles moyennes en pourcentage (%) (ONM)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai.	Jui.	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Humidité (%)	59.2	47.2	34.5	29.1	24.3	22.4	21.6	24.2	30	37.6	47	57.9

Les valeurs minimales de l’humidité se produisent en juillet et juin et les valeurs maximums en décembre et janvier.

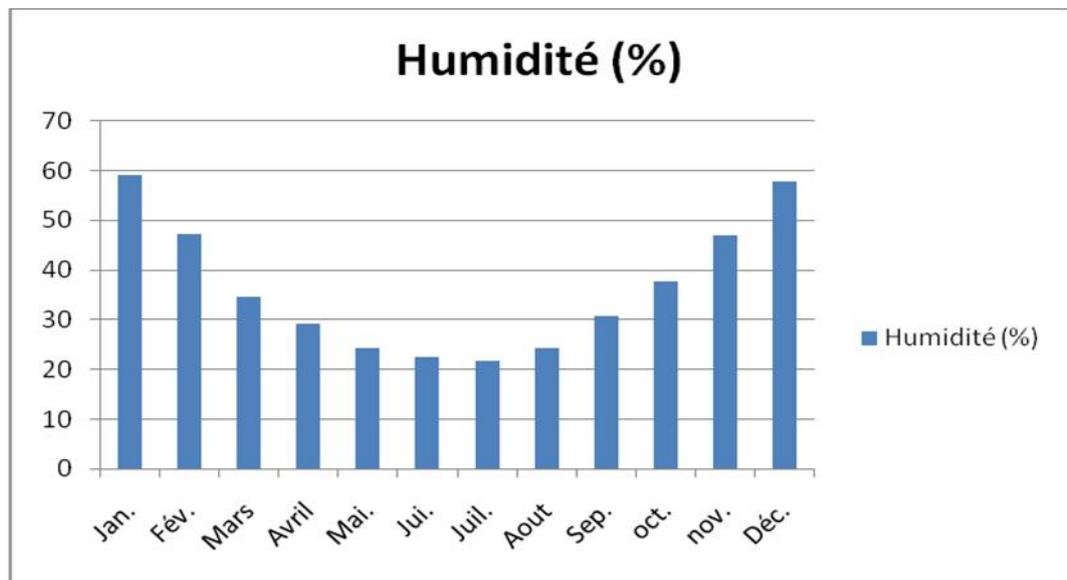


Figure II.4 : histogramme représente l’humidité mensuelle moyenne en pourcentage

D’après la figure. II.4 nous remarquons que les valeurs maximales de l’humidité se produisent en mois janvier et décembre avec des valeurs qui sont respectivement de (59.2, 57.9 %) et la valeur minimale en juillet dont les valeurs sont de (21.6).

III.3 vent :

Dans la région d’Ouargla, les vents soufflent du Nord et du Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d’Ouest, tandis qu’au printemps les vents du Nord- Ouest dominant. En été, les vents soufflent du Nord et en automne du Nord et Sud- Ouest [3].

D'après les données de (l'O.N.M, 2015) et pour la période de 2005- 2014 (tableau II.3), Les vents sont fréquents sur toute l’année avec une moyenne annuelle de 13,65 m/s. Cette vitesse peut produire une érosion éolienne dans la région [4].

Tableau III.3. : Les fréquences moyennes mensuelles de vent

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai.	Jui.	Juil.	Aout	Sep.	Oct	Nov	Dec
Moy (m/s)	15.3	15.5	15.1	22.3	18.4	17.8	15.3	14.1	12.5	12.3	9.7	10.5

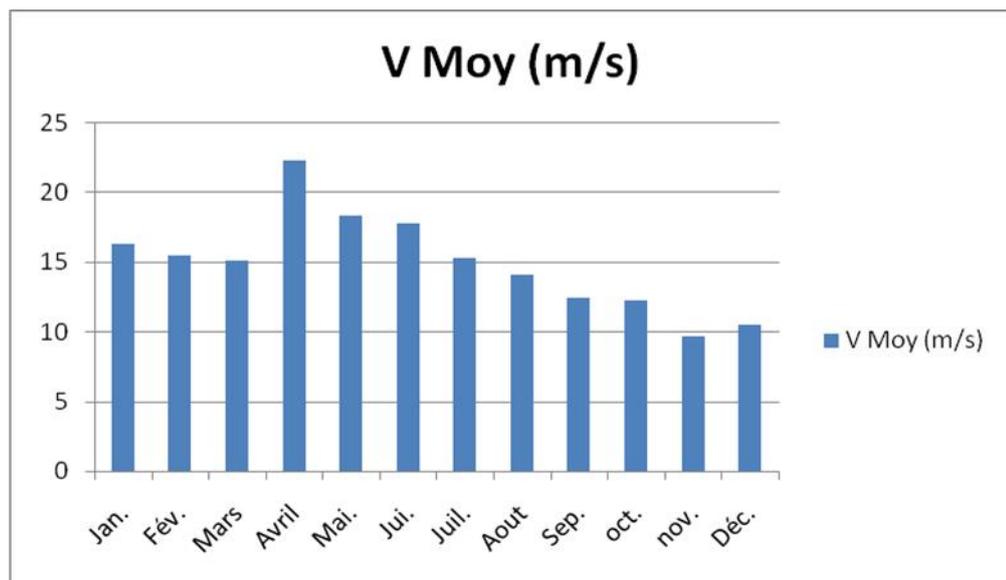


Figure II.5 : histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent

D’après les données du tableau, nous avons tracé l’histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent ; d’après cet histogramme nous avons constaté que les vitesses du vent sont presque stables le long de l’année.

III.4 Précipitations :

Les précipitations de notre région d'étude sont caractérisées par des intensités très faibles. Sur une période de 20 ans une intensité moyenne annuelle de (50 mm) a été enregistrée.

Ce qui représente une faible quantité d'eau et un réservoir en eau du sol très peu appréciable. La majeure partie de ces précipitations sont enregistrées durant la saison d'hiver qui s'échelonne, du mois de Novembre au mois de Février. Le maximum est enregistré au mois de Janvier.

Tableau III.4. : Précipitations moyennes mensuelles

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai.	Jui.	Juil.	Aout	Sep.	oct.	nov.	Déc.
P moy (mm)	2	2.2	3	1.5	1.1	0.2	0.1	0.1	7.1	4.2	3.2	3.3

A partir des données des précipitations moyennes mensuelles du tableau II.4, nous avons érigé l'histogramme de la figure II.6.

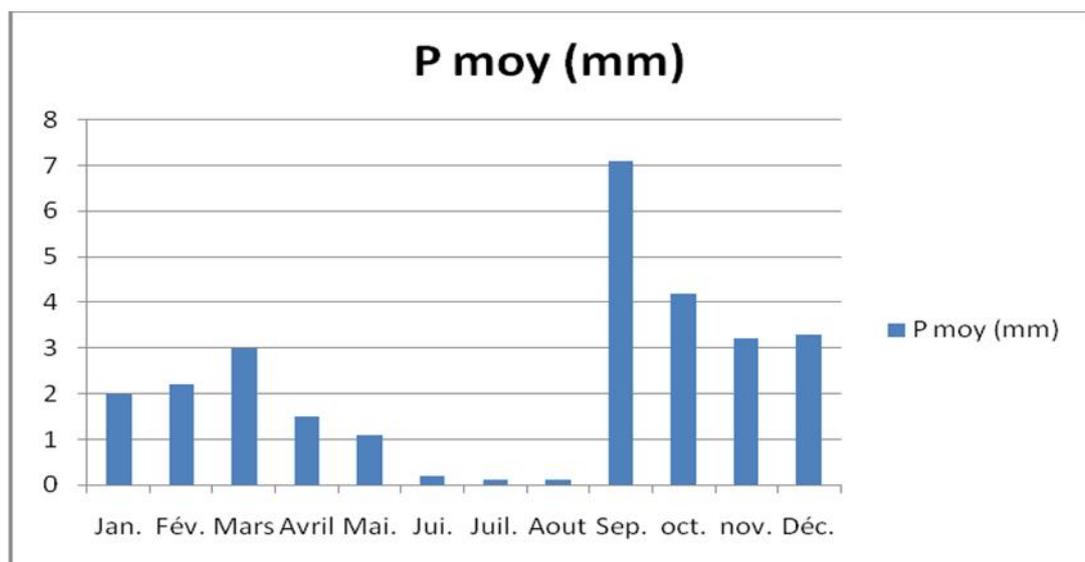


Figure II.6: histogramme des précipitation moyennes mensuelles

L'analyse de l'histogramme de la figure III.4, nous constatons que la valeur de la précipitation moyenne annuelle est de 2.7 mm, le mois de Septembre est le mois le plus pluvieux avec une valeur de 7.1 mm et le mois de Juillet est le mois le plus sec de l'année avec une valeur de précipitation de moins de 0.1mm.

III.5. L'insolation :

La région d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation. Cette dernière correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil. La durée moyenne d'insolation dans la cuvette d'Ouargla est de 271.35 h/moi, avec un maximum de 35.2 heures en aout et un minimum de 229.6 heures en décembre.

Tableau II.5. : L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (2006-2017).

Moi	janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Heures max d'ensoleillement (h/j)	6	6.4	6.9	6.9	6.6	6.4	7	7.2	6.5	6.3	5.9	5.2

L'analyse de ce tableau montre l'importance de l'insolation dans cette région 7 heures/jour environ 3256.2 h/an

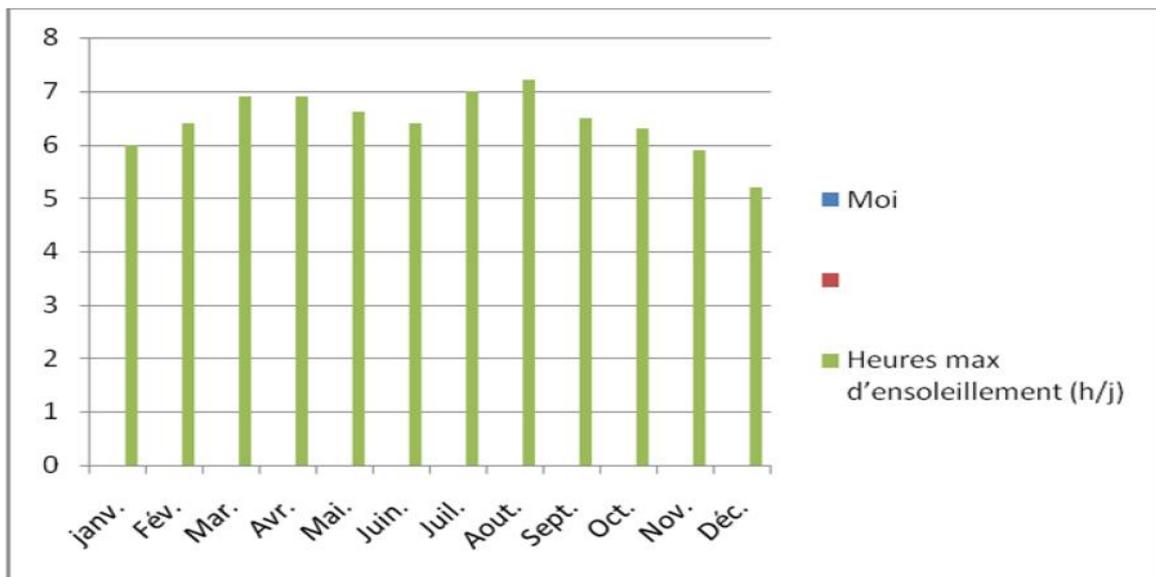


Figure II.7: L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla.

III.6. Evaporation et évapotranspiration :

L'évaporation et l'évapotranspiration désignent les pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. L'évaporation correspond à la perte en eau subite par les surfaces d'eau libre. [5] l'évapotranspiration est un phénomène complexe intégrant à la fois l'évaporation de l'eau, du sol (phénomène physique) et la transpiration de la couverture végétale (phénomène physiologique) on distingue :

✓ Evapotranspiration potentielle : qui représente la quantité maximale d'eau consommée par une culture de référence (gazon) couvrant totalement le sol et présentant une hauteur uniforme durant quelque centimètre, dans la double hypothèse : Stade de développement végétatif maximal ; Sol suffisamment pourvu en eau a sa capacité de rétention.

C'est donc la limite maximale de l'évapotranspiration

✓ Evapotranspiration réelle : c'est la valeur réelle de l'évapotranspiration, le plus souvent inférieur à la précédent puisque le sol n'est pas sa capacité de rétention.

VI. Conclusion :

La différence entre les températures de l'été (une longue période chaude) et celles de l'hiver (saison relativement froide) montre l'importance de la chaleur estivale.

La correspondance entre ces fortes températures et les faibles précipitations indique sur le caractère saharien tempéré du climat.

Chapitre III

***SITUATION GEOLOGIQUE ET
HYDROGEOLOGIQUE***

I- Situation géologique :**I.1- Géologie et Géométrie des Formations Aquifères de la Cuvette d' Ouargla**

La cuvette de Ouargla fait partie du Sahara septentrional algérien; l'un des plus grands déserts du monde. Elle correspond à une grande dépression, qui s'étend sur une superficie de 990 Km² environ du lit quaternaire de la basse vallée fossile de l'oued M'ya.

Le climat d'Ouargla est du type saharien hyper aride, à hivers tempéré, et d'une sécheresse permanente; où les précipitations ne dépassent guère 45 mm/an, avec des températures maximales moyenne 43°C, alors que le cumul de l'évaporation annuelle dépasse presque 60 fois celui de la pluviométrie (2759 mm/an) [6].

De telles conditions arides, n'ont pas empêché l'existence d'énormes réserves d'eaux souterraines contenues, essentiellement, dans des formations sédimentaires à différentes profondeurs. De bas en haut se rencontre, le système aquifère superposé du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT).

II.- Géologie des Aquifères :

La carte des affleurements géologiques (Figure.III.1) ne fait repérer qu'un revêtement de terrains tertiaires, et de couvertures détritiques quaternaires. La litho-stratigraphie des aquifères est connue grâce aux forages profonds d'exploitations hydraulique et pétrolière

- Les grès et les argiles sableuses de la nappe de l'Albien du Continental Intercalaire (CI), d'une épaisseur de 600 m environ, située à 1000 m de profondeur;
- Les calcaires, avec la nappe du Sénono-Eocène carbonatés, d'épaisseur de 300 m, sise à une profondeur de 200 m,
- L'ensemble détritique (sables, argiles, et évaporites) des formations continentales, avec la nappe du Mio-Pliocène, située entre 20 et 100 m de profondeur et d'épaisseur de 100 m environ;
- Les sables du Quaternaire avec la nappe superficielle, située à une profondeur de 2 m en moyenne.

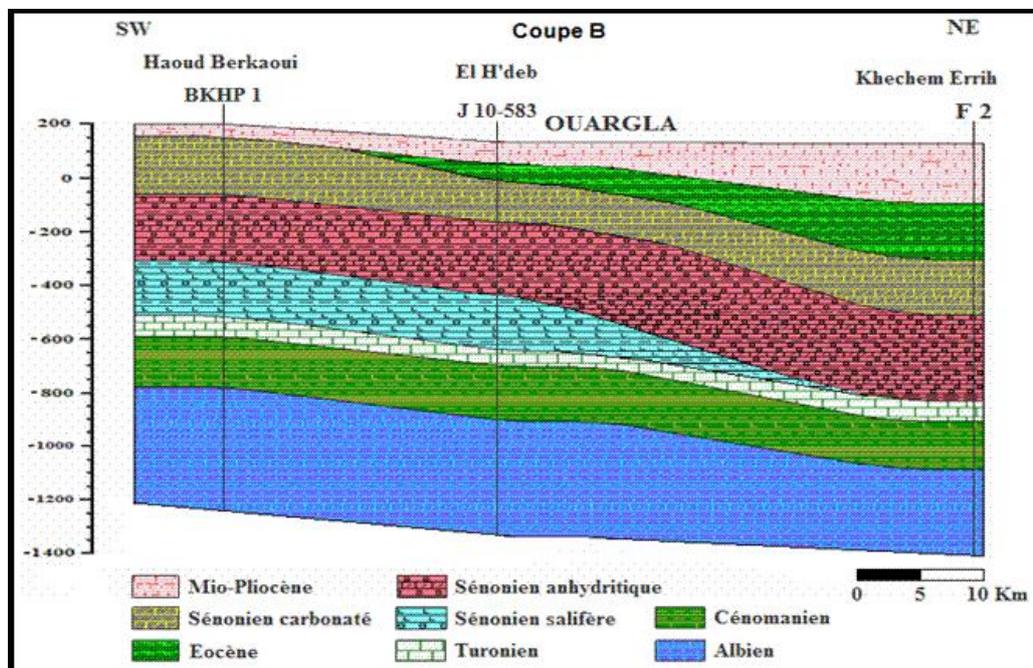


Figure.III.2. Coupe géologique de la cuvette d'Ouargla établie selon les logs Stratigraphiques [8].

II- Hydrogéologie:

Dans le sous-sol de la vallée, il existe trois grands ensembles aquifères qui du bas en haut sont:

- L'ensemble aquifère du Continental Intercalaire (CI) dite aussi nappe de l'Albien fortement artésienne située à 1100 à 1200 m de profondeur.
- L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT) comprenant trois aquifères différents qui de haut en bas sont le Mio-pliocène, le Sénonien et le Turonien.
- La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface, généralement entre 1 et 2 m, mais elle peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla (Cornet, 1961; Bonnard et Gardel; 2003).

II.1- Le système aquifère du Continental Intercalaire (C.I):

Le Continental Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. La formation du C.I est constituée de dépôts continentaux sableux-gréseux et sablo-argileux avec intercalations d'argiles et d'argiles sableuses marines du Crétacé inférieur (UNESCO, 2005).

Ce réservoir a un volume considérable du à la fois à son extension sur tout le Sahara septentrional (600.000 km²) et à son épaisseur qui peut atteindre 1000 m au Nord Ouest du Sahara (UNESCO, 2005).

La nappe du C.I est captive à l'exception des bordures. C'est un réservoir à eau douce; la plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire (Cornet et Gouscov, 1952; Castany, 1982; UNESCO, 2005).

Les apports d'eau au système s'effectuent par infiltration des eaux de ruissellement des reliefs à la périphérie du domaine et des précipitations sur les affleurements, aux piedmonts de l'Atlas Saharien et du Tihert et par transfert à l'aquifère à nappe libre du Grand Erg Occidental (Abderrahmane, 1997).

Dans la région de Ouargla, le toit de la nappe est situé à -850 m (par rapport au niveau de la mer) et à -1000 m au sol, l'épaisseur de ce réservoir est de 800 m au total.

Les premiers forages profonds dans le CI datent de 1939. D'après l'inventaire de l'ANRH effectué en 2005, à l'échelle de la wilaya, 30 forages sont implantés dans le CI

dont 21 forages sont dirigés vers l'irrigation et 9 pour l'AEP (deux forages d'AEP au niveau de la région de Ouargla sont implantés à Rouissat).

L'aquifère du C.I est caractérisé par une température qui dépasse les 60°C; une minéralisation de l'eau qui oscille entre 1 et 2g/l de résidu sec; une transmissivité de 8.10^{-3} m/s et un coefficient d'emmagasinement = 10^{-3} et un débit de 1500 litres/minutes pour un forage de 900 m de profondeur (Abderrahmane, 1997; Bonnard et Gardel ; 2003; UNESCO; 2005).

II.2- Le système aquifère du Complexe Terminal (C.T):

Le Complexe Terminal (CT) couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional et s'étend sur une superficie de 350.000 Km² avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m (Castany, 1982; UNESCO, 2005).

Le Complexe Terminal est constitué, par des formations d'âge et de lithologie différentes: à la base il y a le sénono-éocène (Sénonien) carbonaté et au sommet on trouve le Mio-pliocène sablo argileux. L'écoulement général se fait vers les Chotts et vers le golfe de Gabes (Tunisie). Les directions d'écoulement sont Sud-Nord et Ouest - Est (UNESCO, 2005).

Les apports d'eau s'effectuent essentiellement par infiltration des eaux de ruissellement à la périphérie du bassin hydrogéologique, sur les parcours des oueds qui descendent des reliefs, puis s'écoulent sur les formations perméables des affleurements (Abderrahmane, 1997).

Le complexe Terminal comprend trois nappes qui sont du haut en bas le Mio- pliocène, le Sénonien et le Turonien mais dans la région d'Ouargla seules sont exploitées les nappes du Mio-pliocène et du Sénonien. Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe dans la région varient de 8 à 100.10^{-3} m²/s pour la transmissivité et de 5 à 30.10^{-3} pour le coefficient d'emmagasinement (Abderrahmane,1997).

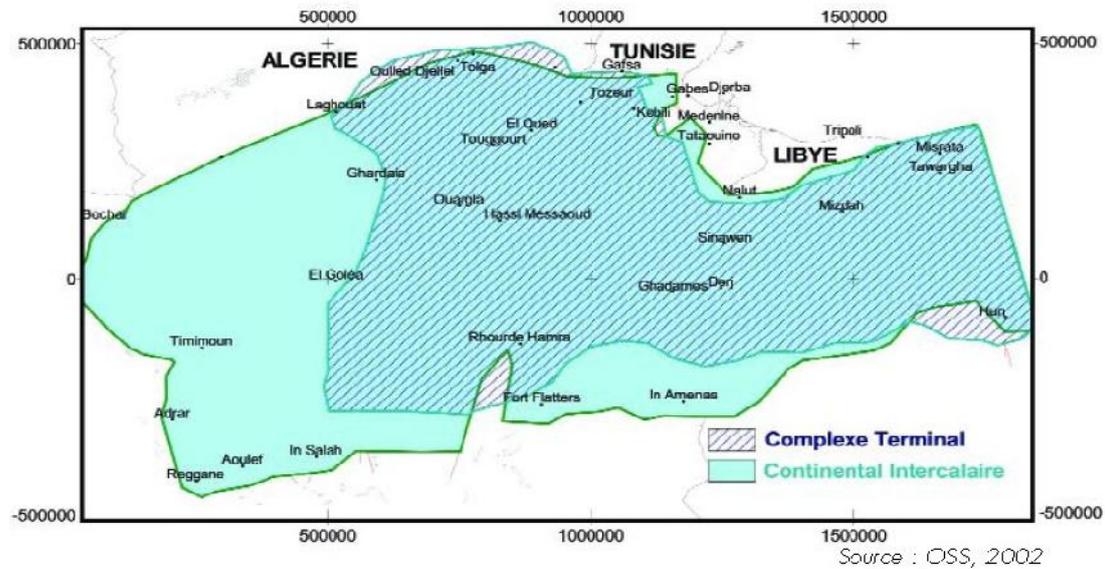


Figure III.3. Délimitation des nappes CT, CI du domaine SASS

• *La nappe du Mio-pliocène :*

D'après Bonnard et Gardel(2003), cette nappe est contenue dans les sables grossiers et atteint vers 30 à 60 m de profondeur par les puits artésiens jaillissants irriguaient les palmeraies de Ouargla. L'exploitation de cette nappe par le creusement de nombreux puits artésiens date de 1883. En 1901, le nombre de puits atteint 160 et l'artésianisme diminue. Actuellement la situation a fondamentalement changé, l'artésianisme a baissé au point qu'au niveau des palmeraies de Ouargla, la nappe n'est plus jaillissante. Cette nappe est exploitée par pompage pour l'alimentation en eau potable de la région d'Ouargla (Ouargla, Rouissat, Hassi Ben Abdallah, Sidi Khouiled, Aïn Beida et N'goussa) avec 20 forages mais à Sebkat Safioune elle est encore artésienne où sa profondeur atteint 130 m.

La porosité totale moyenne est estimée à 30% (Abderrahmane, 1997) et sa teneur en sel est d'environ 2 à 3g/l (Bonnard et Gardel, 2003).

• La nappe du Sénonien :

La nappe artésienne du Sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de profondeur. C'est la nappe du Sénonien qui exploitée au niveau de forage de Hassi Kheffif au Nord-est de la Sebkha Safioune à 400 m de profondeur. La porosité totale moyenne est estimée à 20% (Abderrahmane, 1997) et le résidu sec varie entre 2,5 et 3,6 g/l (Bonnard et Gardel, 2003).

D'après l'ANRH (2011), à l'échelle de la wilaya 48 forages de Sénonien sont implantés pour l'alimentation en eau potable, 38 pour l'irrigation et 3 pour les diverses utilisations ce qui donne un total de 89 forages de Sénonien. 73 forages sont répartis sur les communes de Ouargla, Rouissat, Hassi Ben Abdallah, Sidi Khouiled, Aïn Beida et N'goussa avec 32 forages d'AEP.

II.3- La nappe Phréatique:

Les sables de surface du Quaternaire renferment la nappe phréatique qui est constituée de sable fin à moyen argileux, rarement grossier au Sud de Ouargla et plus vers le Nord (N'goussa et Sebkhet Safioune) les sables sont riches en gypse, qui devient dominant à Sebkhet Safioune.

Cette nappe circule dans les sables dunaires de l'Oued Mya. Elle est présente partout à l'échelle de la région à des profondeurs très rapprochées de la surface du sol dont elle est en moyenne 1,5 m de profondeur. Sa frange capillaire affleure souvent sur la surface du sol sous forme de petits chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001; Bonnard et Gardel, 2003).

Les études faites par l'ENAGEO entre 1990-1992 (Hamdi-Aïssa, 2001) montrent l'existence de deux zones distinctes séparées par une ligne de partage des eaux au niveau du Hassi-Miloud, Bour el-Haicha ce qui se traduit par :

- Un écoulement vers le Nord (Sebkhet Safioune);
- Un écoulement vers l'Oued Mya et la Sebkha de Ouargla.

La nappe phréatique repose sur un substrat étanche, imperméable de plus de 20 m d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe du Mio-pliocène sous jacente (Bonnard et Gardel, 2003).

Le niveau de la nappe phréatique varie selon les régions. D'après Bonnard et Gardel (2003), les profondeurs les plus faibles (entre 0,15 m et 0,25 m) ont été mesurées près du chott d'Oum Er-Raneb dans la période des hautes eaux et au niveau de Sebkhaf Safioune la nappe est entre 1,15 et 1,5 m de profondeur dans la période des hautes eaux et dans la période des basses eaux, le niveau baisse de 6 à 13 cm par ascension capillaire et évaporation. D'après les mesures piézométriques effectuées par l'ANRH (2003-2011), le niveau piézométrique est en baisse régulière ces dernières années à l'exception des zones irriguées proches du chott d'Oum Er-Raneb et l'agglomération de Ouargla. L'évolution de la profondeur de cette nappe est jugée anarchique et dépend largement des fuites du réseau d'AEP, du niveau d'assainissement et de drainage de la palmeraie.

La qualité des eaux de cette nappe est très dégradée. La conductivité est très forte. Elle augmente en allant du Sud vers le Nord. A Safioune, la conductivité varie de 199 à 214 ms/cm à 25 °C, ce qui correspond à environ 250-300 g/l de sel (Bonnard et Gardel, 2003). La perméabilité de l'aquifère varie de $1,27 \cdot 10^{-3}$ cm/s à $5,6 \cdot 10^{-5}$ cm/s (Abderrahmane, 1997).

III- Les Ressources en eau :

L'eau sur terre provient de deux sources principales à savoir :

) Les eaux superficielles

) Les eaux souterraines

III.1. Les eaux superficielles :

Les eaux de surface, également appelées eaux superficielles, sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère[9].

A Ouargla, comme dans la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine.

III.2. Les eaux souterraines :

Il s'agit dans ce cas de nappes plus au moins profondes formées par l'accumulation des infiltrations dans le sol à travers le temps conditionnées par la porosité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de pollution, elles sont donc d'excellente qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface [10].

VI.2.1-Les nappes phréatiques : ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il n'y a pas de toit du réservoir et la pluie peut les alimenter par toute la surface.

Certaines nappes libres sont constituées par des plateaux calcaires où les vides sont surtout des fissures élargies par la dissolution, parfois jusqu'à la taille de gouffres et de cavernes. Ils peuvent donner lieu à de grosses sources (Fontaine de Vaucluse Dans les régions méditerranéennes, beaucoup de ces sources tarissent en fin d'été [11].

III.2.2- Les nappes captives

Elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou des communications souterraines. Dans les déserts, ces nappes sont fossiles. Elles ne reçoivent plus d'alimentation et sont alors des mines d'eau épuisables non renouvelées. Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus). On peut alors les exploiter pour la géothermie.

III.2.3- Les nappes alluviales

Elles constituent un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. Parfois,

ce sont les rivières qui cèdent de l'eau aux nappes alluviales. Ce phénomène est habituel dans les oueds des pays arides.

III.2.4-Les nappes des roches dures fissurées

Constituent un type de réservoir aquifère aux capacités modestes mais appréciables pour les petites collectivités et les agriculteurs.

VI. Conclusion :

La région de Ouargla caractérisé par trois nappes, la nappe phréatique , la nappe complexe terminale CT ,continental intercalaire . la plupart des forages utilisé pour l'irrigation dans notre zone d'étude sont captent la nappe moi-pliocène (CT) ,le niveau statique de cette nappe et varie entre 22-37m dans notre zone d'étude (annexes).

Chapitre VI

METHODES, RESULTATS ET DISCUSSION

II. Méthodologie :

Dans la présente étude, l'évaluation des degrés de la vulnérabilité a été faite en appliquant les trois méthodes, DRASTIC, SI et GOD, compte tenu de la disponibilité des données relatives aux paramètres requis.

L'identification des unités hydrogéologiques et l'évaluation des différents paramètres considérés dans les méthodes DRASTIC, SI et GOD, nécessite une bonne connaissance de la géologie, de l'hydrogéologie, de la pédologie ainsi que la topographie.

À cette fin, les documents de la zone d'étude suivants ont été utilisés :

- Cartes géologiques de la région d'Ouargla.
- Coupes des forages, fournies par la direction de l'Hydraulique de la wilaya Ouargla ;
- Carte pédologique, Essai de pompage (DHW Ouargla) ;
- Données météorologiques (O.N.MS), station d'Ouargla ;
- Profondeur des forages et le niveau statique de la nappe.

II.1. Les cartes thématiques :

Les cartes, ainsi obtenues, permettent de visualiser le degré relatif de vulnérabilité d'un secteur de la zone étudiée.

Le potentiel de pollution augmente dans le même sens que l'index [12].

Les cartes thématiques ont été établies grâce aux données géologiques, topographiques, hydrogéologiques, pédologiques, hydrodynamiques et hydroclimatologiques ce qui a permis de définir :

- le type, la géométrie, la structure et la perméabilité l'aquifère ;
- la distribution des charges piézométriques et la profondeur du niveau des eaux souterraines dans l'aquifère ;
- la nature du sol et de la zone d'aération;

La distribution des valeurs indicielles pour chaque paramètre (poids x cote) est représentée sur une carte. Les zones, où le risque de pollution est élevé, ont des cotes fortes et celles moins exposées avec une valeur faible.

La carte de synthèse de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère est obtenue en faisant la somme pondérée des valeurs indicielles des paramètres DRASTIC, SI et GOD.

II.2. Méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et Aller et al. en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines [13].

Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept facteurs.

L'importance relative de chaque facteur est évaluée par un poids fixe variant d'une valeur de 5 pour les facteurs les plus significatifs et une valeur de 1 pour les facteurs qui le sont moins [11] (Tableau .IV.1).

Chaque paramètre se voit attribuer une cote variant entre 1 et 10 en fonction des conditions locale: les conditions favorables procurent des cotes basses et les conditions défavorables (celles qui augmentent la vulnérabilité) procurent des cotes élevées.

Tableau .IV.1 : Les paramètres DRASTIC et leur poids respectif (Aller et al, 1987)

F	Paramètres	Poids
1	D :Depth to water/(Profondeur de l'eau)	5
2	R :Net recharge /(Recharge efficace)	4
3	A :Aquifer media/(Milieu aquifère)	3
4	S :Soil media/(Type de sol)	2
5	T :Topography/(Pente de terrain)	1
6	I : Impact of the vadose zone/(Impact de la zone vadose)	5
7	C :Hydraulic Conductivity/(Perméabilité)	3

La vulnérabilité des eaux de la nappe d'eau dans la zone d'étude est évaluée au moyen de l'indice DRASTIC qui est un indice numérique représentant la somme pondérée des 7 cotes correspondant aux 7 paramètres définis ci dessus.

L'indice local est obtenu en multipliant la cote de chaque paramètre par son poids relatif et en faisant la somme de ces produits:

$$\text{Indice DRASTIC, ID} = Dc.Dp + Rc.Rp + Ac.Ap + Sc.Sp + Tc.Tp + Ic.Ip + Cc.Cp \dots \dots \dots (\text{eq. 1})$$

Où : les indices 'c' et 'p' correspondent respectivement à la cote et au poids du paramètre
 L'indice ainsi calculé représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec les valeurs de l'indice [14].

Paramètre profondeur de la nappe (D) :

La profondeur du niveau d'eau dans la nappe est un paramètre important, il détermine l'épaisseur des matériaux de la zone d'aération à travers laquelle un contaminant percole avant d'atteindre le niveau piézométrique. Généralement, la capacité d'atténuation augmente avec la profondeur du plan d'eau [15], le poids attribué est de l'ordre de cinq (5) et le système de cotation, affecté à cette profondeur, est représenté au Figure .IV.2 .

Tableau .IV.2 : Cotation du paramètre profondeur de l'eau.

Profondeur de la nappe en (m)			
Intervalle	DC	Dp	DC.Dp
15-22	3	5	15
22-30	2	5	10
>30	1	5	05

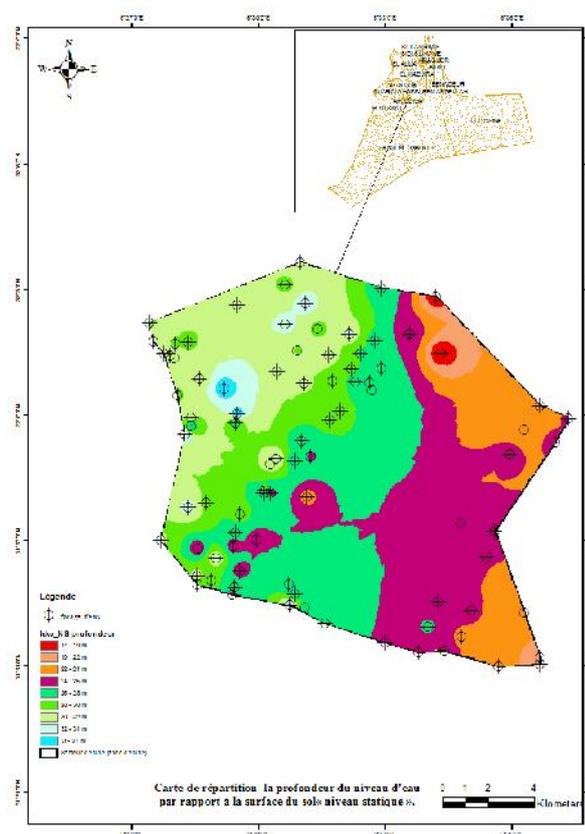


Figure .IV.2 : Carte de répartition spatiale de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol « niveau statique ».

Les indices ainsi calculés permettent de dresser la carte correspondante (Figure.IV.3). Elle fait ressortir trois zones déférentes, comme montrant la carte en dessous :

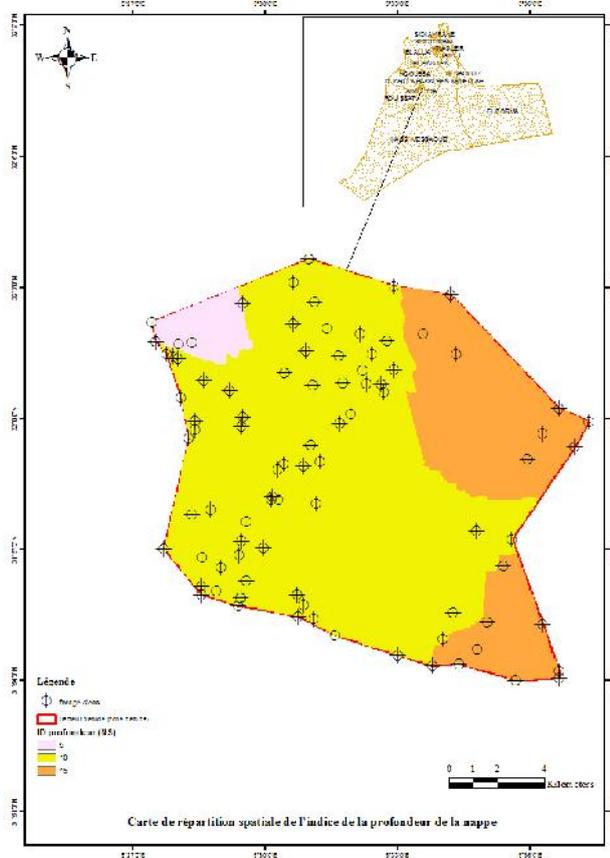


Figure.IV.3 : Carte de répartition spatiale de l'indice de la profondeur de la nappe

Paramètre recharge nette (R) :

La région d'étude appartient aux zones à climat aride caractérisé par des températures élevées, et des précipitations très faibles, inférieurs à 50 mm/an en moyenne, ce qui rende de participation des précipitations à l'alimentation directes de la nappe insignifiante.

Nous avons assigné à ce deuxième paramètre la note de 1.

L'observation de la carte de recharge (Figure. .IV.4) montre que l'infiltration est la même sur toute la zone d'étude. La méthode DRASTIC attribue un poids de 4 à la recharge efficace. Ce paramètre est reporté au Tableau .IV.3.

Tableau .IV.4 : Cotation du paramètre matériau de l’aquifère.

Matériaux de l’aquifère			
Intervalle	AC	AP	AC.AP
Sables et grés et argiles	8	3	24

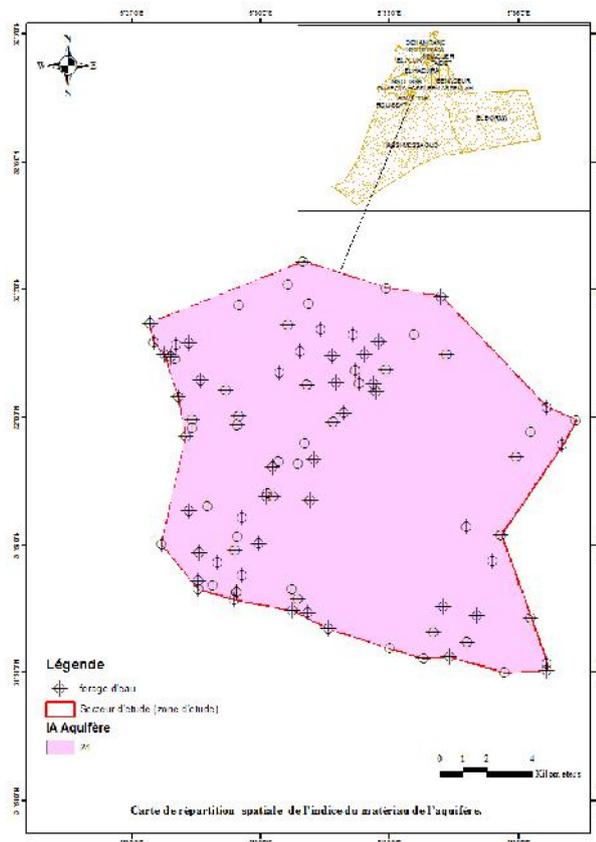


Figure .IV.5 : Carte de répartition des valeurs de l’indice des matériaux de l’aquifère.

Paramètre De Nature De Sole (S) :

Par manque de données pédologique, nous nous sommes basées dans cette étude sur la description des coupes de forages d’eau. Ces derniers ont montré que le sol au niveau de la zone d’étude est essentiellement sableux et parfois sablo-argileux, la nature de sol est assignée d’un indice partiel de 18.

La majorité des sols salés observés en Algérie, sont rencontrés surtout sous climat aride (DAOUD, 1983 ; HALITIM, 1988). Cette aridité est due à la rareté des pluies qui ne pénètrent pas suffisamment profondément dans le sol pour provoquer une infiltration appréciable (HALILAT, 1998).

Tableau .IV.5 : Cotation du paramètre type de sol.

Type de sol	SC	SP	SC.SP
Sableux	9	2	18
Sablo-argileux	9	2	18

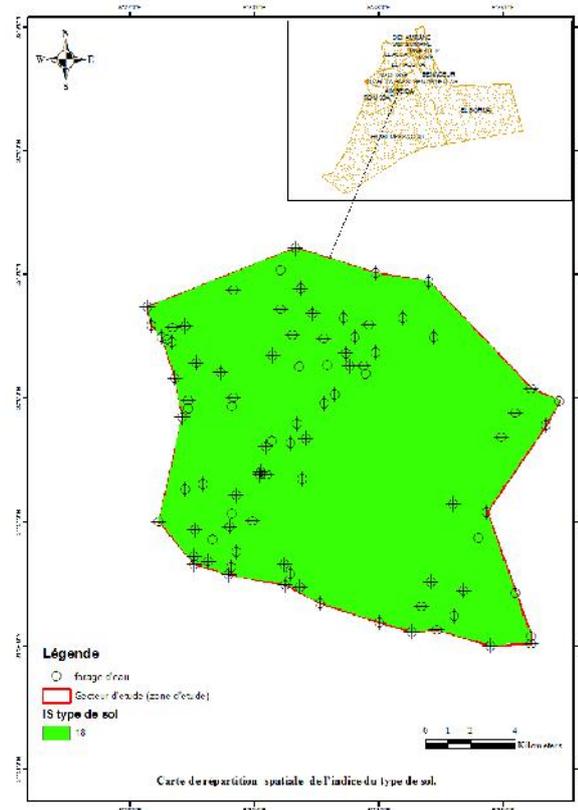


Figure .IV.6 : Carte de répartition des valeurs de l'indice du type de sol.

Paramètre Topographie(T) :

D'après les cartes topographique (annexe), les terrains de la région de Ouargla sont caractérisés par des pentes inférieures à 6% cette classe de pente est attribuée d'un indice partiel égale à 9.

Tableau .IV.6 : Cotation du paramètre pente de terrain.

Pente du terrain (T) en %			
Intervalle	Tc	Tp	Tc.Tp
2 – 6%	9	1	9

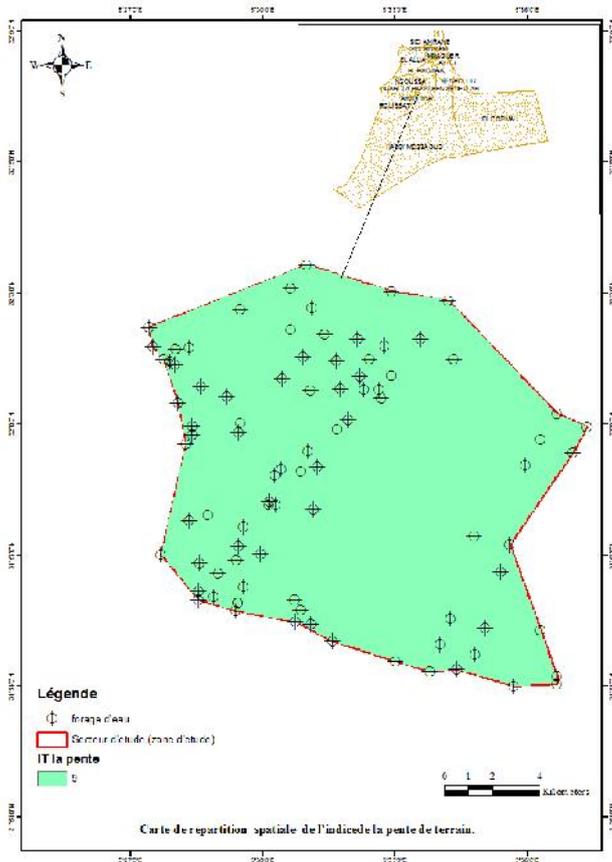


Figure.IV.7 : Carte de répartition des valeurs de l'indice de la pente de terrain.

Paramètre de la zone vadose (I) :

La zone non saturée est constituée de sables, grés, graviers, argiles, marnes et gypse (Busson1972).

L'analyse des coupes de forages nous a permis d'attribuer à ce paramètre une note varie entre 4 et 8.

Ces caractéristiques permettent de donner des indices partiels de l'ordre de 30.

Tableau .IV.7 : Cotation du paramètre de la zone vadose.

Impact de la zone vadose (I)			
Intervalle	IC	IP	IC.IP
Sables, grès, slit et argile	6	5	30

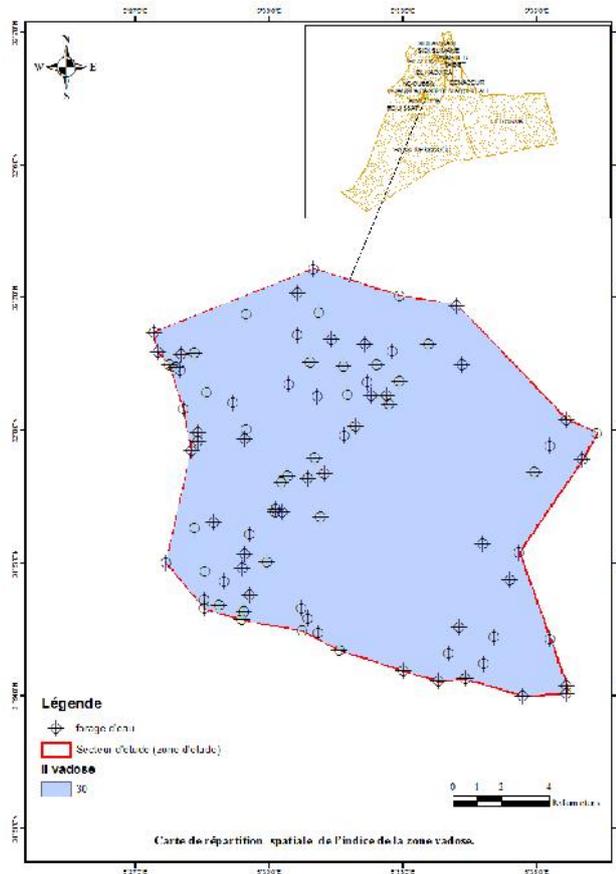


Figure .IV.8 : Carte de répartition des valeurs de l'indice de la nature de la zone vadose.

Paramètre conductivité hydraulique (C) : Ce paramètre a été évalué à partir des études hydrogéologiques. Les valeurs de perméabilité sont généralement de l'ordre de 10^{-4} m/s pour la nappe du miocène de la région de Ouargla. Cette valeur permet de déduire un indice partiel de l'ordre de 24 pour toute la zone d'étude.

Tableau .IV.8 : Cotation du coefficient de perméabilité.

conductivité hydraulique (c) en (m/s)			
Intervalle (m/s)	CC	Cp	CC.Cp
$4.7.10^{-4} - 9.4.10^{-4}$	8	3	24

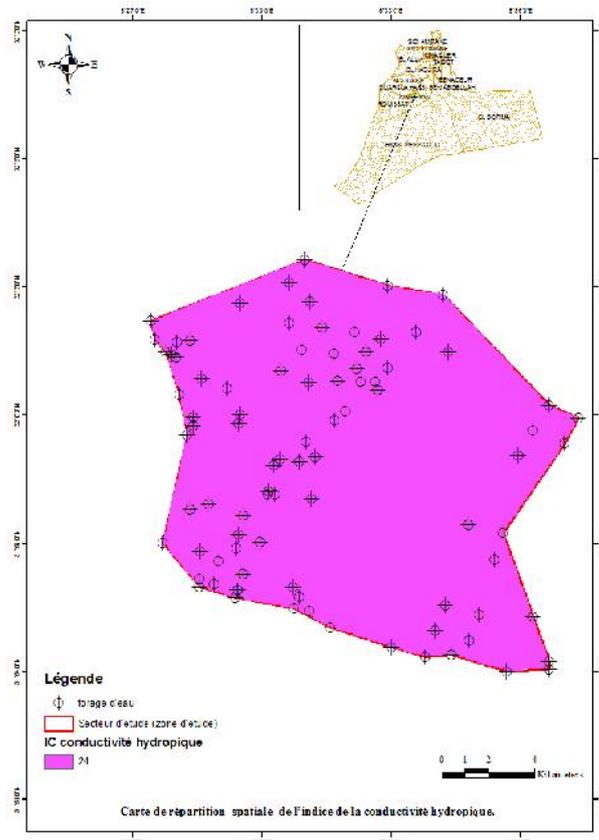


Figure.IV.9 : Carte de répartition des valeurs de l'indice de la conductivité hydrique.

II.2.1 Carte globale des indices :

L'application de l'équation (eq1), en utilisant les indices répartis sur les différentes cartes, nous permet d'obtenir la carte finale des indices (Figure.IV.10), nécessaire à l'établissement de la carte de vulnérabilité de l'aquifère à la pollution.

La carte établie, montre que, les indices varient entre 114 et 124.

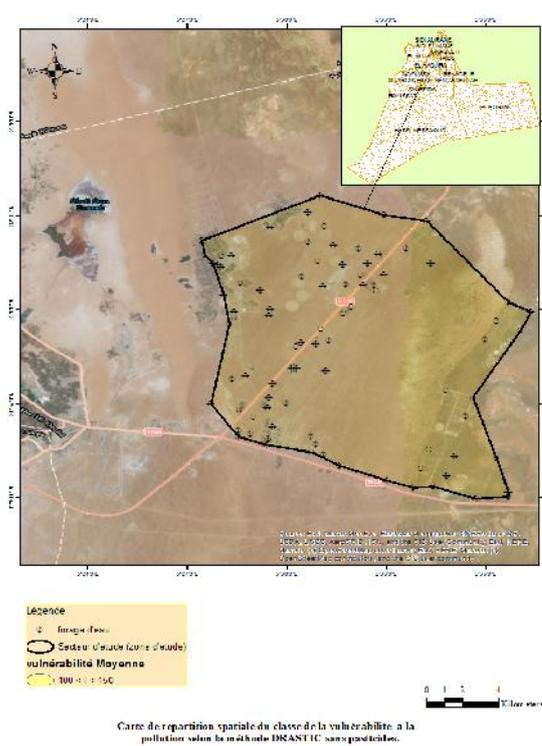


Figure IV.11 : Carte de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode DRASTIC cas sans pesticides.

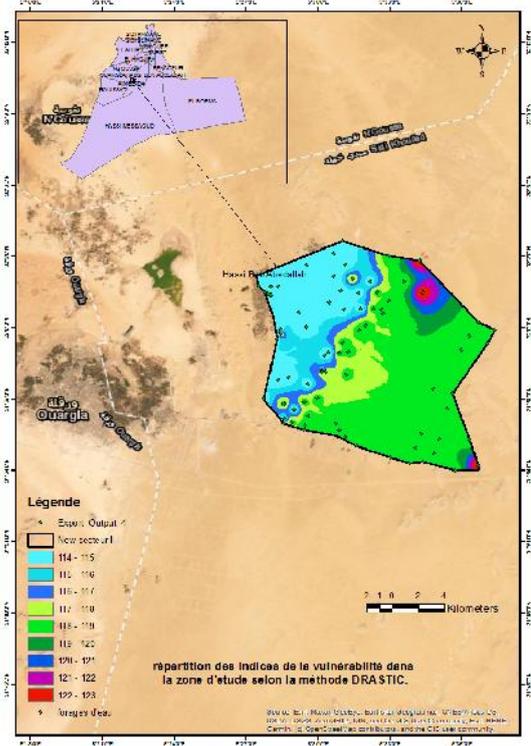


Figure. IV.10 : Carte de répartition de l'indice de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC sans pesticides.

II.2.2. Carte de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode DRASTIC :

Les indices de vulnérabilité de la nappe CT dans la zone d'étude et selon la méthode DRASTIC, les plages de vulnérabilité, basée selon la classification de (Engel *et al.*, 1996), sont définies comme suit :

- 1) vulnérabilité faible : $I < 101$
- 2) vulnérabilité moyenne : $101 < I < 140$
- 3) vulnérabilité forte : $141 < I < 200$
- 4) vulnérabilité très fort : $200 < I$

Dans notre zone il y a un seul classe de vulnérabilité à la pollution c'est la classe de la vulnérabilité moyenne. $100 < I < 150$.

II.2.3 Cartes de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode DRASTIC cas d'utilisation des pesticides :

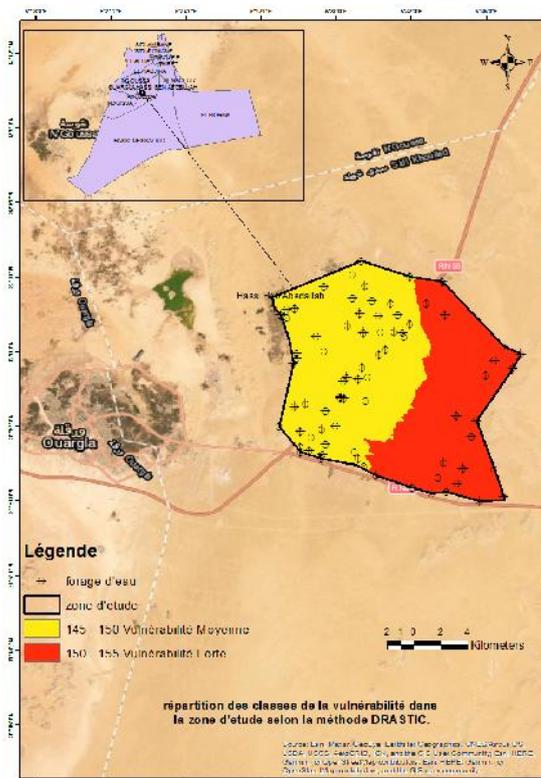


Figure .IV.13 : carte les classes de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC cas d'utilisations des pesticides.

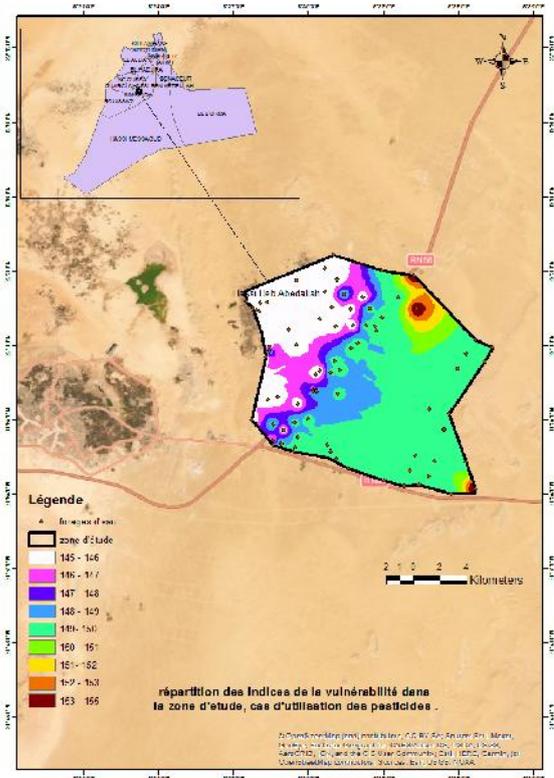


Figure .IV.12 : répartition des indices de la vulnérabilité dans la zone d'étude, cas d'utilisation des pesticides

II.2.4 Interprétation de la carte de vulnérabilité selon la méthode DRASTIC :

L'examen de la carte de vulnérabilité établie à partir de l'indice DRASTIC général, montre que la nappe du moi-pliocène de la zone d'étude (Hassi Ben Abedellah) présente des conditions de vulnérabilité moyennes.

La formation aquifère est constituée par des terrains perméables (k de l'ordre de 10^{-4} m/s) formés essentiellement de sable et de grés.

Pour l'ensemble de la zone d'étude, la profondeur de la nappe est de l'ordre de variable de 17 à 37. Les pentes sont inférieures à 6%.

L'indice DRASTIC de cas sans pesticides est compris entre 114 et 124 une classe de vulnérabilité à été déterminée c'est :

- Vulnérabilité Moyenne : $101 < I < 140$.

L'indice DRASTIC pour le cas des pesticides varie entre 145-155, deux classes de vulnérabilité :

- **Vulnérabilité Moyenne** : $101 < I < 140$.

- **Vulnérabilité Forte** : $I > 140$.

Enfin, tous ces paramètres définissent un aquifère qui est en général moyennement vulnérabilité aux éventuelles pollutions.

II.3 Méthode SI (Susceptibility (S) Index (I)) :

La méthode SI prend en considération cinq paramètres, les cotes correspondantes aux différentes classes des paramètres dans la méthode DRASTIC ont été également conservées pour les paramètres similaires (D : la profondeur de la nappe, R : la recharge efficace de l'aquifère, A : la lithologie de l'aquifère, et T : la topographie). Le cinquième paramètre est l'occupation des sols (OS). Les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres varient de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable. Quant aux poids attribués aux paramètres SI, ils varient de 0 à 1 selon l'importance du paramètre dans la vulnérabilité (Tableau .IV.9).

L'indice de vulnérabilité (I) est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

SI Indice de vulnérabilité Degré de vulnérabilité, Avec D, R, A, S, T, et OS les cinq paramètres de la méthode SI, p le poids du paramètre et c la cote associée.

La méthode SI présente quatre degrés de vulnérabilité selon les valeurs des indices obtenues (Tableau .IV.10). $SI = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Tc \times Tp + OS c \times OS p$.

Tableau .IV.9 : Notation des critères utilisés pour la méthode SI

les paramètres de la méthode SI	D		R		A		T		SO	
	cat	cotation	classe et valeur en mm	cotation	classe et valeur en mm	cotation	valeur en %	cotation	classe	notation
	0-2m	10	Ruissellement majoritaire 0-20 mm	9	Aquifère libre(0-1m)	25	0-2%	10	habitation	70
	03-09m	7	Ruissellements moyen 21-40 mm	8	Aquifère semi libre(02-7m)	7	02-06%	9	Sol nu et cultivé	7
	10-19m	5	Ruissellement égale à infiltration 41-60 mm	6	Aquifère subsurface(07-14m)	5	06-12%	5	Roche affleurente	4
	20-39m	2	infiltration moyenne 61-80 mm	3	Aquifère semi captive(15-20m)	3	12-18%	3	Routes principale	2
	>40	1	infiltration majoritaire 81-100 mm	1	/	//	>18%	1	Routes secondaire	3
poids	0.186		0.212		0.259		0.212		0.222	

Tableau .IV.10 : Critère d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SI.

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 45
Moyen	45-64
Elevé	65-84
Très élevé	85-100

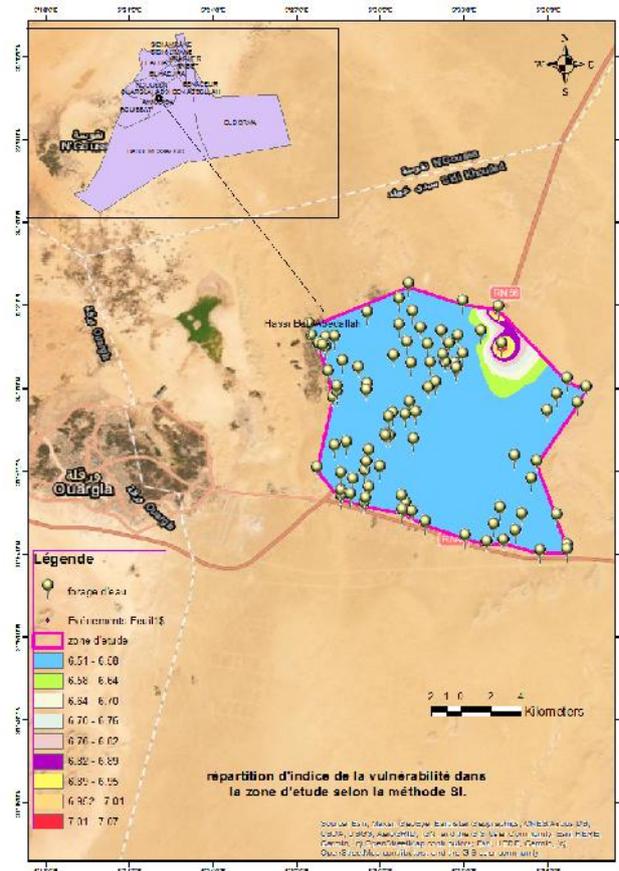


Figure .IV.14 : carte montre la répartition d'indice de la vulnérabilité selon la méthode SI cas d'utilisations des pesticides.

II.3.1 Interprétation de la carte de vulnérabilité selon la méthode SI :

Les résultats révèlent que l'indice de valeur de vulnérabilité varie entre 6,51 et 7,07.

Quatre plages d'indice de vulnérabilité ont été mises en évidence (Tableau .IV.10) $IS < 45$.

L'analyse des plages d'indice de vulnérabilité fait ressortir une seule classe de vulnérabilité (Figure .IV.14), c'est : - **Vulnérabilité Faible : $IS < 45$**

La classe de vulnérabilité faible est représentée l'ensemble de la zone d'étude.

La vulnérabilité élevée se présente au Nord-est de la zone d'étude comme montrant la carte (figure .IV.14).

II.4. Méthode du GOD :

Cette méthode est basée sur la combinaison de trois paramètres : type de nappe, facteurs lithologiques et la profondeur de la nappe.

L'estimation de ces paramètres est aisée, car basée sur les informations recueillies par les opérateurs même sur une fiche de forage.

-La détermination de ces facteurs aboutira à l'élaboration d'une carte de vulnérabilité.

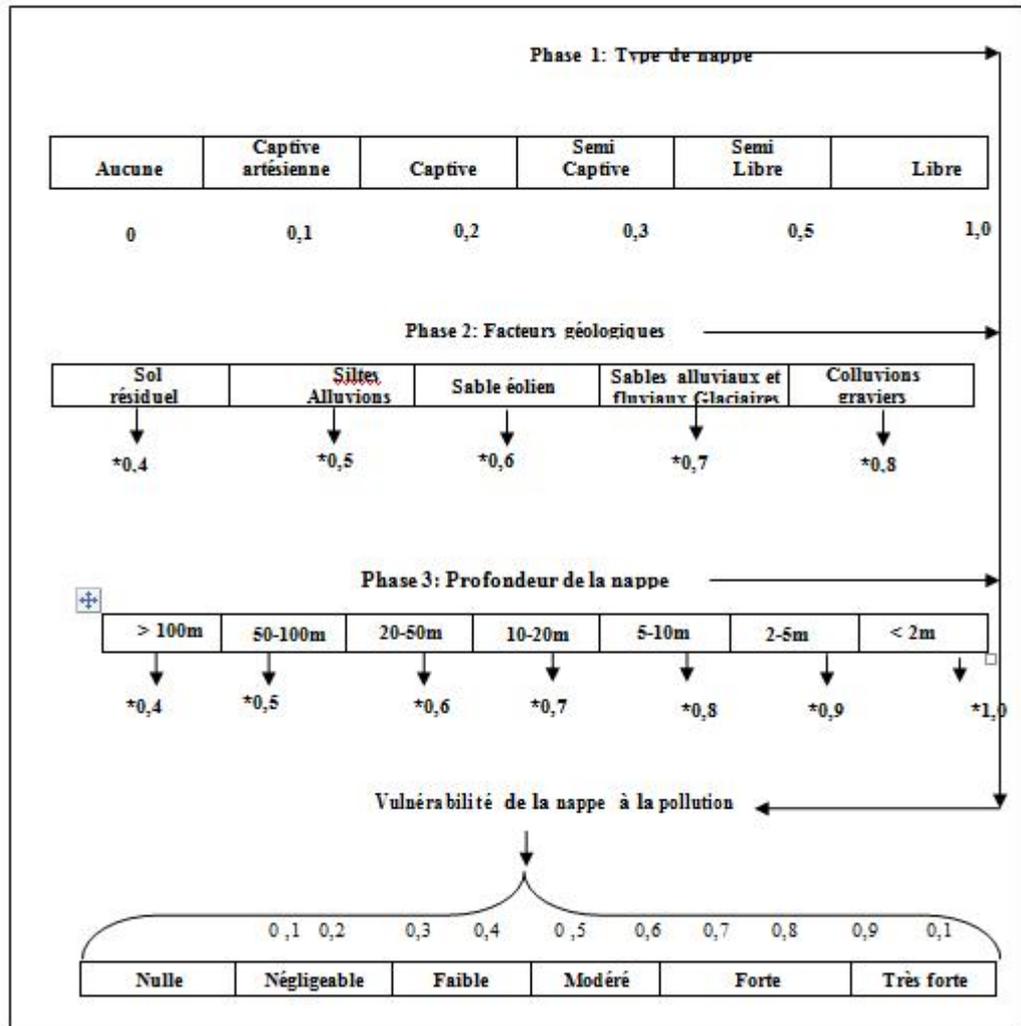


Figure .IV.15 : Estimation de la vulnérabilité d'un aquifère par la méthode de GOD (d'après Foster, 1987).

II.4.1 Théorie de la méthode GOD

La méthode GOD est une méthode de systèmes paramétriques développée par Foster en Angleterre en 1987 (Foster, 1987). Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée (ZNS). Ainsi, elle permet de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité.

La méthode GOD repose sur trois critères :

- type de nappe (**G**roundwater occurrence);
- type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (**O**verall aquifer class) ;
- profondeur de la nappe (**D**epth to groundwater table).

La détermination de l'indice GOD (I_G) est obtenue par la multiplication de ces trois paramètres, selon l'équation :

$$I_G = C_A \times C_L \times C_D \dots \dots \dots (\text{eq3})$$

Où C : la cote affectée au paramètre.

Après le calcul de l'indice, nous déterminons les classes de vulnérabilité correspondant aux intervalles des indices obtenus. Généralement, ces indices sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant de « très faible » à « très forte », avec valeur minimal 0 et valeur maximal 1 (Tableau 9). Le degré de vulnérabilité augmente avec l'indice GOD (I_G).

II.4.2 Détermination des paramétriques

a) Type de nappe (Groundwater occurrence)

Les observations retenues sur terrain, ainsi que l'étude des coupes lithologiques des sondages, le tous révèle que la nappe sollicitée est en régime semi-captive sur l'ensemble de l'étendu du secteur.

Le recouvrement surmontant la zone saturée, composé essentiellement de calcaires et de marnes argileuses sont semi-perméables.

b) *Impact de la ZNS (Overall aquifer class)*

L'ensemble comprend les niveaux du sous-sol et du sol situés au-dessus de la nappe. Il correspond à la portion souterraine du terrain comprise entre le sol et le niveau de la nappe d'eau souterraine (ZNS).

La zone non saturée sur l'ensemble du secteur étudié, est formée d'une seule nature lithologique, des sables et de grès rouges d'âge Mio-Pliocène.

c) *Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table)*

La campagne piézométrique effectuée sur les forages existants dans le secteur nous a permis de dresser une carte d'égale profondeur de la nappe.

Les valeurs oscillent entre 28 et 33mètres dans le secteur d'étude.

II.4.3 Type de nappe (Groundwater occurrence)

Les cotes attribuées au critère " Type de nappe" figurent dans le tableau ci-dessous :

Type de nappe	Cote
Aucun aquifère	0
artésien	0,1
confiné	0,2
Semi-confiné	0,3
Libre avec couverture	0,4 – 0,6
Libre	0,7 -1

Tableau .IV.09 : Cotes attribuées au critère "Type de nappe"

Selon la notation GOD, nous avons attribué une cote de 0,3 sur l'ensemble du secteur.

II.4.4 Impact de la ZNS (Overall aquifer class).

Les cotes du critère " Impact de la zone non saturée" définies selon la méthode GOD, figurent dans le tableau ci-dessous :

Lithologie de l'aquifère	Cote
Sol résiduel	0,4
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0,5
Sable éolien, siltite, tuf, roches ignées ou métamorphiques fracturées	0,6
Sable et gravier, grès, tuf	0,7
Gravier (colluvion)	0,8
Calcaire	0,9
Calcaire fracturé ou karstique	1

Tableau .IV.10 : Cotes attribuées au critère "Impact de la ZNS"

Une cote unique de 0,7 a été attribuée selon les exigences de la méthode GOD.

II.4.5 Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table) :

Les cotes du critère " Profondeur à la nappe" définies selon la méthode GOD, figurent dans le tableau ci-dessous :

Profondeur (m)	Cote
> 2	1
2 – 5	0,9
5 – 10	0,8
10 – 20	0,7
20 – 50	0,6
50 – 100	0,5
> 100	0,4

Tableau .IV.11: Cotes attribuées au critère "Profondeur à la nappe"

Dans notre zone d'étude il ya deux classe de la profondeur selon la méthode GOD

Pour la profondeur entre 20-50 m, une cote de 0,6 et une cote de 0,7 a été affectée pour la profondeur de 10-20m.

II.4.6 Cartographie de la vulnérabilité :

Pour élaborer la carte de vulnérabilité par la méthode GOD, nous avons combiné les trois thématiques : carte de pondération du type de nappe, carte de pondération de type d'aquifère et carte de pondération de la profondeur de la nappe selon l'équation (eq 3).

Les indices de vulnérabilité obtenues permettent de distingues les classes d'indices à degrés de vulnérabilité différents.

Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité	Définition du degré
0	Aucune vulnérabilité	
0 – 0,1	Vulnérabilité négligeable	Couches confinantes présentes sans écoulement vertical significatif
0,1 – 0,3	Faible vulnérabilité	Seulement vulnérabilité à long terme aux polluants conservateurs lorsque la décharge se fait en continu
0,3 – 0,5	Vulnérabilité modérée	Vulnérable à certains polluants mais seulement lorsque la décharge est continue
0,5 – 0,7	Vulnérabilité élevée	Vulnérable à beaucoup de polluants excepté ceux hautement absorbés ou transformés
0,7 - 1	Vulnérabilité extrême	Vulnérable à beaucoup de polluants de l'eau avec un impact rapide sur la pollution

Tableau .IV.12 : les indices de la méthode GOD et degré de vulnérabilité avec la définition (Murat et al., 2003).

II.5 La carte de la vulnérabilité des eaux à la pollution par la méthode de GOD :

II.5.1 Carte des profondeurs de la nappe d'eau de la zone d'étude:

Cette carte est établie à partir des données de Forages, sa lecture, montre la présence de deux zones de profondeur différentes. Cette répartition nous a permis de déterminer deux secteur allant de 0,6 à 0,7 ce qui nous a permis de calculer les indices afin d'établir la carte de vulnérabilité. (Figure .IV.15).

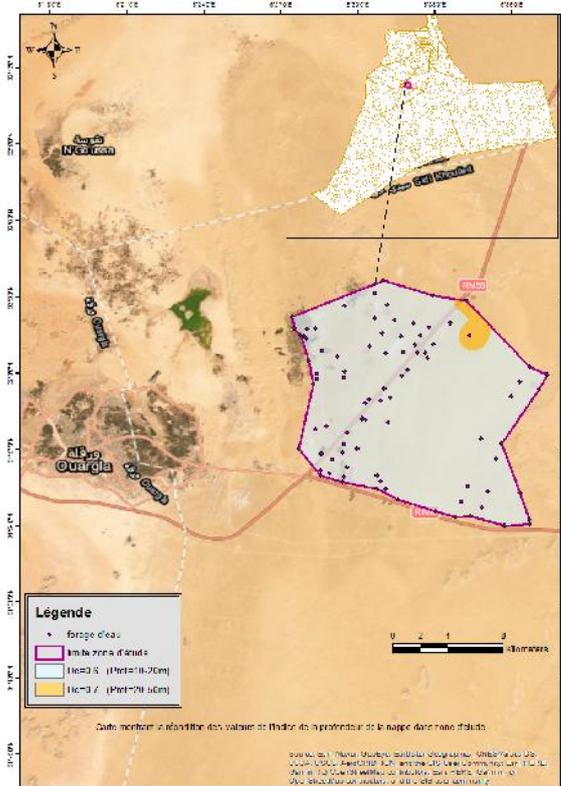


Figure .IV.16 : Carte montrant la répartition des valeurs de l'indice de la profondeur de la nappe d'eau dans la zone d'étude.

II.5.2 Carte de vulnérabilité de la zone étudiée selon la méthode GOD :

répartition d'indice de vulnérabilité selon dans la zone d'étude selon la méthode de GOD :

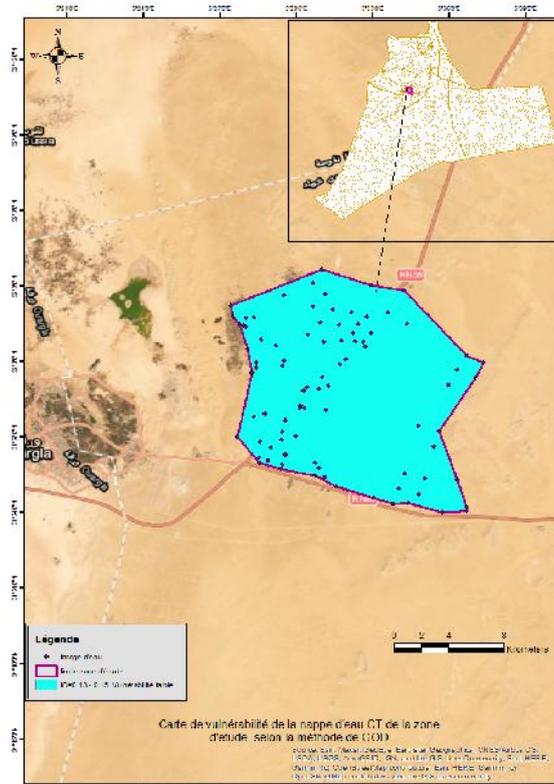


Figure .IV.18 : Carte de vulnérabilité de la nappe d'eau captée de la zone d'étude selon la méthode de GOD.

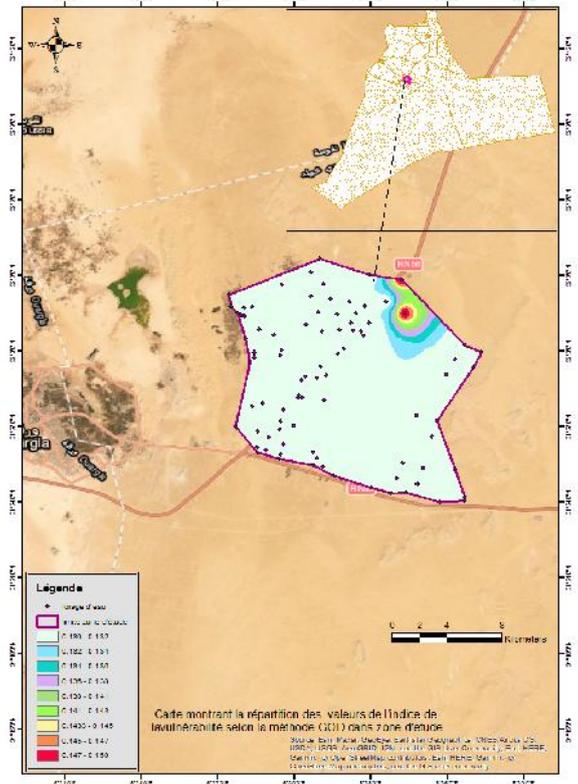


Figure .IV.17 : Carte montrant la répartition des valeurs d'indice de la vulnérabilité dans la zone d'étude selon la méthode GOD

II.5.3 Interprétation de la carte de vulnérabilité selon la méthode GOD :

L'analyse de la carte de vulnérabilité, établie à l'aide de la méthode GOD, nous a permis de distinguer une seule classe de degré de vulnérabilité. Cet indice de vulnérabilité $I_G = 0,13-0,15$ est compris entre 0,1 et 0,3.

Selon la classification GOD, il s'agit d'une Vulnérabilité faible. La nappe à captée est seulement vulnérable à long terme.

La vulnérabilité élevée se présente au Nord-est de la zone d'étude comme montrant la carte (figure .IV.16).

III. Conclusion :

L'application des méthodes DRASTIC, SI et GOD a permis d'estimer les indices de la vulnérabilité à la pollution de la nappe captée de la zone d'étude.

L'analyse des deux cartes de vulnérabilité résultant de l'application des trois méthodes DRASTIC , SI et GOD , a révélé que la vulnérabilité se focalise sur les classes « Faible » selon les méthodes GOD et SI, « Moyenne » pour la méthode DRASTIC ce qui laisse à penser que les deux cartes de vulnérabilité sont relativement proches mais que la carte de vulnérabilité réalisée à partir de la méthode DRASTIC reflète le mieux la réalité de la pollution des eaux souterraines de la plaine de la zone d'étude suite la répartition de la profondeur des forages de cette zone ,les même remarques dans le cas d'utilisation des pesticides, pour que la vulnérabilité soit divisée en deux classes (Moyenne et Elevée).

La cartographie de la vulnérabilité de la zone d'étude à partir de la méthode DRASTIC, montre que la vulnérabilité est moyenne dans l'ensemble de la zone d'étude dans le cas de n'existe pas des pesticides, mais, comme notre zone d'étude, est une région agricole nous avons pris en considération l'utilisation des pesticides dans cette région où nous avons trouvé une vulnérabilité forte dans se cas.

Conclusion générale :

Dans cette étude, nous avons utilisé trois méthodes DRASTIC, SI et GOD, pour évaluer la vulnérabilité de la nappe CT dans une zone agricole à la pollution dans les deux cas (cas d'utilisation des pesticides et cas naturel sans pesticides), nous avons choisi la région de Hassi Ben Abdallah, ceci est considéré comme une zone agricole dans la wilaya de Ouargla.

Nous avons utilisé le SIG (ARCGIS) pour traduire les différents résultats en carte géographiques c'est pour montrer la répartition de la vulnérabilité dans notre zone d'étude.

1-Cas (à l'état normal) sans pesticides :

La répartition spatiale des degrés de vulnérabilité à la pollution de la nappe CT de notre zone d'étude obtenus, montre une vulnérabilité généralement de moyenne pour (DRASTIC) à faible dans le cas d'appliquer les méthodes (SI, GOD), les indices variant entre 114 et 124 pour la méthode DRASTIC, 6,51 et 7,07 pour SI et entre 0.13-0.15 pour GOD, et de cela nous nous conclu un seul classes de vulnérabilité dans le cas d'appliquer la méthode DRASTIC (classe: moyenne (114-124), classe : faible (6.51-7.7), pour la méthode SI et (0.13-0.15) GOD.

La moyenne vulnérabilité occupent la totalité de la superficie étudié selon la méthode DRASTIC ,faible selon la méthode SI et GOD, c'est dans le cas naturel sans l'utilisation des pesticides.

2-Cas d'utilisation des pesticides :

Dans ce cas nous avons utilisé une seule méthode (DRASTIC) ,la répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution dans ce cas montre que la vulnérabilité est élevée dans la totalité de notre zone d'étude, les indices variant entre 145 et 155 .

Cette études nous a permis d'estimer l'étendue de l'exposition de la nappe CT de la région de Hassi Ben Abdallah (ouargla),aussi prendre les mesures nécessaires afin de réduire l'utilisation des pesticides et des engrais pour éviter la contamination de l'aquifère.

Enfin, nous voulons souligner l'importance de cette approche spatiale de la vulnérabilité pour assurer une gestion durable des ressources en eaux souterraines. Il constitue un support à la prise de décision en matière d'aménagement et de développement régional en identifiant les zones les plus menacées par la pollution des aquifères.

Références Bibliographie

Bibliographie :

- [1] [http://www.optidecision.fr/ref/Opti_Decision_Cartographie_Risques.pdf].
- [2] [<https://d1n7iqsz6ob2ad.cloudfront.net/document/pdf/5385ceac307f7.pdf>]
- [3] REZAGUI D., 2017, Etude de lessivage des sols salés dans la cuvette de Ouargla : Cas de l'exploitation agricole de l'université, Thèse de doctorat En Hydraulique en Aménagement hydraulique en milieu aride, université Kasdi Marbah wilaya de Ouargla.
- [4] DUBIEF, 1963, Le climat du Sahara, Tomes 2, Université d'Alger
- [5] MESSAOUDI N., 2010, Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla, mémoire d'ingénieur d'Etat Spécialité : Agronomie saharienne, Université de Ouargla
- [6].- Nezli I. E., 2009.- Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla. Thèse de doctorat ès sciences en sciences hydrauliques, Université de Biskra, 140 p.
- [7].- Cornet. A. et Gouscov N., 1952.- Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite « albien »), in «la géologie et les problèmes de l'eau en Algérie» XIX^{ème} congrès géologique international, T.II, 30 p.
- [8].- ANRH, 2004.- Données des fiches techniques des forages de la Wilaya de Ouargla. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Direction régionale Sud, Ouargla, documents scannés. Google earth.
- [9] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_de_surface]
- [10].- Mebarki A .1982 le bassin du kebir ,ressources en eaux et aménagement en algérie,thèse doctorat 3ème cycle,université de Nancey II, p303.
- [11].- <http://www2.brgm.fr/divers/nappes.htm>
- [12]- .Rouabhia A., 2006. Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat en hydrogéologie .Université de Badji Mokhtar Annaba, Algérie.174p.
- [13]- Drias T., Toubal A.C., 2015.Cartographie de la vulnérabilité a la pollution de la nappe alluviale de Tebessa-Morsott (Bassin versant de l'Oued Ksob) extrême Est Algérien, *Larhyss Journal*, ISSN, Vol.1112-3680(22),35-48.

Références Bibliographie

[14]- Cheng Yu., Baoxiang Z., Yingying Y., Fanhai M., Chunmiao Z., 2012. A field demonstration of the entropy-weighted fuzzy DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment, *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol.57 (7),1420-1432.

[15]. Chandoul E.R., Trabelsi N., Bouaziz S., Ben Dhia H., SIG 2008."Spatial Analyst" pour le calcul et la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution selon la méthode DRASTIC. Application sur la nappe phréatique de Gabès Nord, La conférence Francophone ESRI, Versailles.

- (Amharref M., Aassine S., Bernoussi A. et Haddouchi B. : 2006,) Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : application à la plaine du Gharb (Maroc), *Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science*, vol. 20, n° 2, 2007, p.185-199 (<http://id.erudit.org/iderudit/015812ar>).
- (EWODO MBOUDOU Guillaume, OMBOLO Auguste, BON André Firmi, NTEP François, BINELI Etienne.),Apport des méthodes paramétriques DRASTIC, GOD et SI à l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque dans les aquifères du bassin versant de l'Abiergué (région de Yaoundé)
- (BRGM., 2009).Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères Karstiques.
- (Smida H. et al, 2009) Gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux dans la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale) à l'aide d'un SIG : Etude de la recharge induite des nappes et leur vulnérabilité à la pollution.
- (Bentekhici Nadj.2015) la Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans la plaine de Sidi Bel Abbes Apport des données de télédétection et les SIG.
- (Ake G.E., Dongo K., Kouadio B.H., Dibi B., Biemi J. : 2009,)Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à l'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.31 No.1 (2009), pp. 157-171.
- (Albinet M. et Margat J. : 1971); Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine.
- (Amharref M. et bernoussi A. : 2007) ; Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines, *Laboratoire Modélisation des Phénomènes Physiques et Risques Naturels, (MPPRN) Faculté des Sciences et Techniques, B.P. 416 - Tanger Maroc.*
- (Najat Knouz, Abdelghani Boudhar, El Mostafa Bachaoui and Brahim Aghzaf), « Étude de la vulnérabilité des nappes à la pollution en zones semi-arides : cas de la nappe phréatique des Béni Amir au Maroc. », *Méditerranée* [Online], *Ecosystems, Hydrology*, Online since 08 September 2016, connection on 05 September 2020. URL : <http://journals.openedition.org/mediterranee/7853>.

Références Bibliographie

- (El wartiti M., Malaki A. et El mahmouhi N. : 2007) ; Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains, chapitre IV.
- (BRGM. : 2004); Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines et de la productivité de la ressource en région-Languedoc-Roussillon, rapport final. Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche-Comté Rapport final, Edition BRGM/RP -53576- FR: 2004.
- (BRGM. : 2008); Analyse de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraine autour des sites BASOL du bassin Adour-Garonne, rapport final. Caractérisation de la vulnérabilité et des risques de pollution des sources de Martinique Rapport final BRGM/RP-58105-FR Novembre 2010.
- (Cazaux M.: 2007), Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais,Mémoire de stage,Rapport SMEGREG. 54 p., 23 fig.
- (Hamdi – Aïssa, B. 2001. Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord – Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologiques, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse de Doctorat. Institut Nationale Agronomique, Paris – GRINON. 283 p.
- (CASTANY G., (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed : DUNOD, Paris.
- (Foster S.S.D., 1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of soil and Groundwater to pollutants. RIVM.TNO Comittee on Hydrological Research, p. 69-86.
- (Abderrahmane N. 1997). Synthèse sur la piézométrie et l'hydrochimie de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla. ANRH. 10 p.
- (U.N.E.S.C.O,2005), Académie de l'Eau - Conférence euro-africaine « Eau et Territoires » - Paris, 22 et 23 mars 2005 - Recueil des cas de terrain 8.
- (Bonnard et Gardel. 2003). Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation. -Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission B: Caractérisation environnementale de la situation actuelle. N°6029.01-RN058. Dist. ONA et BG.
- (Hadjou. S, Chogueur .A 2018)Etude technico-économique de l'irrigation par pompage solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers. Etude de cas

Annexes

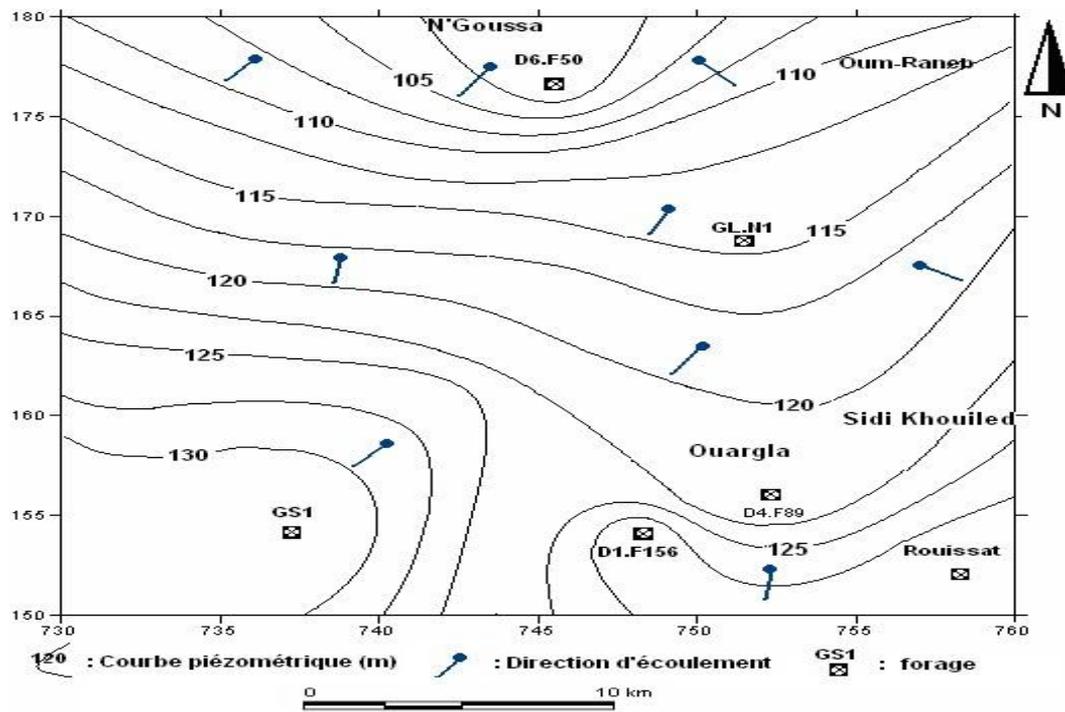


Figure1. Carte piézométrique de la nappe Mio-Pliocène

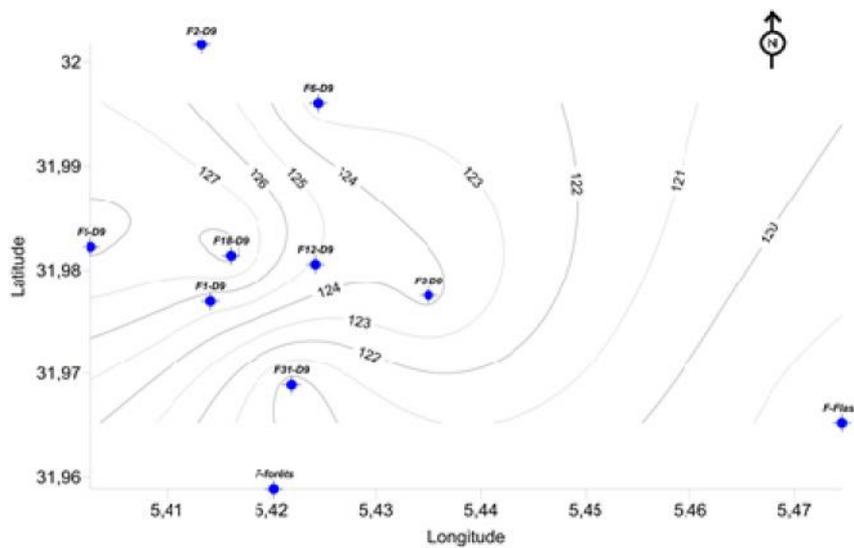


Figure. 2. Carte piézométrique locale de la nappe Mio-Pliocène (2015)

Annexes

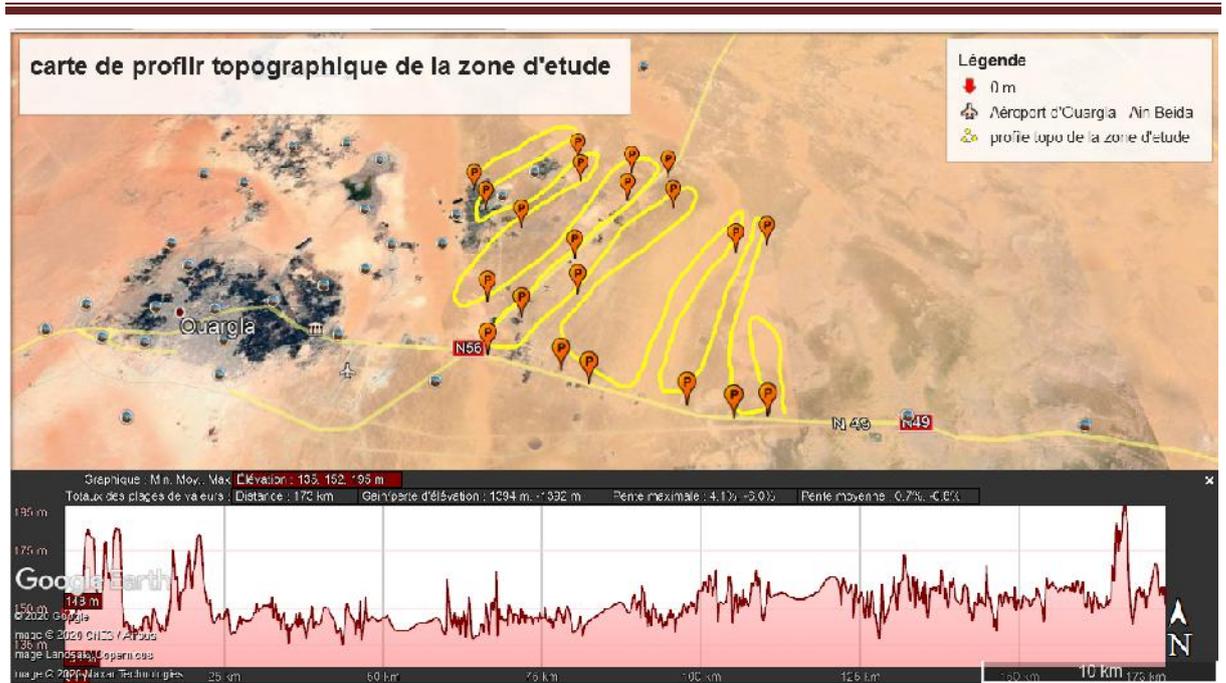


Figure. 3. Carte de profil topographe de la zone d'étude Google earth

Annexes

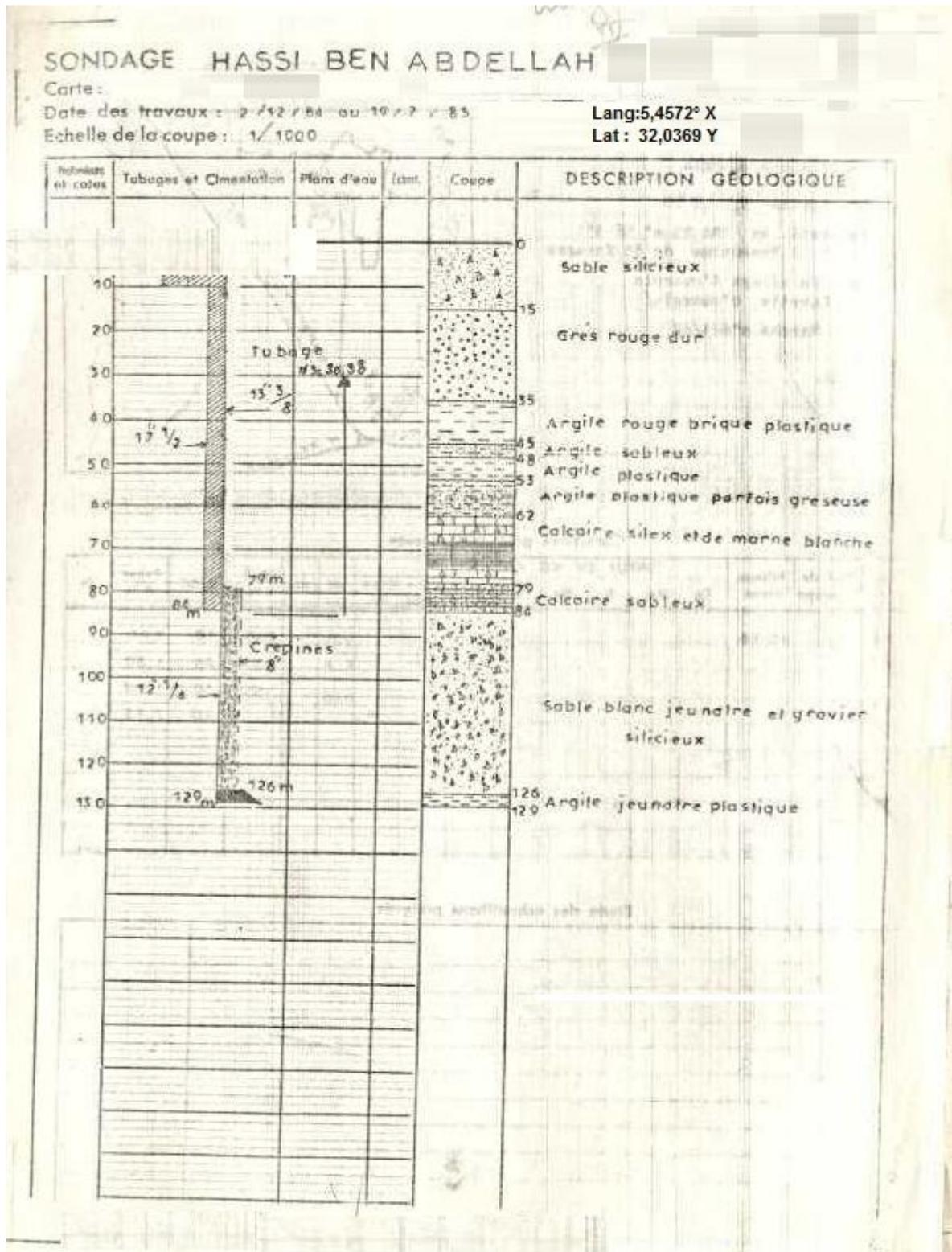


Figure.4. Coupe technique de forage

Annexes

Profondeur du plan d'eau (D) (m)		Recharge efficace (R) (mm/an)	
0 – 1,5	10	0-50	1
1,5 – 4 ,5	9	50-100	3
4,5 – 9	7	100-180	6
9 – 15	5	180-250	8
15 – 23	3	> 250	9
23– 30	2		
>30	1		
Lithologie de l'aquifère (A)		Nature du sol (S)	
Calcaire karstique	10	Peu épais ou absent	10
Basalte	9	Gravier	10
Sable et gravier	8	Sable,	9
Calcaire massif	6	Argile, agrégats ou pentes	7
Grès massif	6	Limon sableux	6
Shales en séquence	6	Limon	5
Métamorphique altéré, grès lités, calcaires	4	Limon silteux	4
Métamorphique	4	Limon argileux	3
Shale massif	3	Argile non agrégée et non fissurée	1
	2		
Pente du terrain (T) (%)		Lithologie de la zone non saturée (I)	
0-2	10	Calcaire karstique	10
2-6	9	Basalte	9
6-12	5	Sable et gravier	8
12-18	3	Sable et gravier avec silt et argile	6
> 18	1	Calcaire lité, grès, shale	6
		Grès	6
		Calcaire	6
		Shale	3
		Silt/argile	1
Conductivité hydraulique (C) (m/j)			
	0,04-4		1
	4-12		2
	12-29		4
	29-41		6
	41-82		8
	> 82		10

Tableau1: Cotes accordées aux paramètres de la méthode de DRASTIC

Annexes

FACTEUR	POIDS
Profondeur de la nappe	5
Recharge Nette	4
Matériaux de l' Aquifere	3
Matériaux du Sol	2
Topographic	1
impact de la zone non saturée	5
Conductivité Hydraulique de l' Aquifere	3

Tableau 2 : poids attribués selon la méthode DRASTIC cas sans pesticides.

FACTEUR	POIDS
Profondeur de la nappe	5
Recharge Nette	4
Matériaux de l' Aquifere	3
Matériaux du Sol	5
Topographic	3
impact de la zone non saturée	4
Conductivité Hydraulique de l' Aquifere	2

Tableau 3 : poids attribués selon la méthode DRASTIC cas des pesticides.

Annexes

Wilaya	Région	X	Y	Altitude	Prof	usage	Date réal.	NS(m) 2017	Débit exp l/s
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5950	31,9000	140	108	IRR	1987	22,35	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4911	31,9969	150	96	IRR	1987	27,25	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5597	32,0325	142	104	IRR	1987	25,3	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5183	31,9236	140	101	IRR	1986	27,56	15
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,6111	31,9008	142	127	IRR	1986	21,46	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4586	32,0294	147	128	IRR	1984	32,89	16
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5050	31,9692	146	94	IRR	1991	25,4	18
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5722	32,0247		279	IRR	1990	17,8	16
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4653	32,0239	152	280	IRR	1982	3028	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5147	31,9819		93	IRR	1988	26,9	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4628	32,0247	150	130	IRR	1982	32,59	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,6025	32,1458	131	136	IRR	1989	30,55	15
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,6050	31,9214	148	124	IRR	1988	22,47	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5703	32,0472	145	113	IRR	1995	18,42	16
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5503	31,9094	142	79	IND	1992	26,33	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4794	31,9653	148	102	IRR	1991	30,36	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4722	32,0292	150	260	IRR	2004	30,03	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5489	32,0506		116	IRR	2000	27,8	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4867	32,0106	149	115	IRR	1996	37,1	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4917	32,0006	156	105	IRR	1995	36,56	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5900	31,9436	140	118	IRR	1996	24,3	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5933	31,9539	142	121	IRR	1995	24,41	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5800	31,9572	140	116	IRR	1996	25	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5994	31,9844	140	123	IRR	1995	24,5	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,6050	31,9942	140	130	IRR	1996	23,5	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5264	31,9172	142	109	IRR	1993	26,86	

Annexes

OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4900	31,9286	140	97	IRR	1993	25,98	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5586	32,1378		140	IRR	1993	29,5	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4725	31,9633	148	105	IRR	1996	33,7	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,6883	32,1939		137	IRR	1988	32,8	18
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5156	32,0258	149	107	IRR	1996	30,56	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5075	32,0175	145	105	IRR	1996	32,56	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5361	32,0325	145	107	IRR	1996	33,25	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,6111	32,0039	142	121	IRR	1996	23,7	
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4711	31,9925	152	65	IRR	2010	35	5
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4736	31,9958	146	120	IRR	2007	26	8
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,4736	31,9992	141	130	IRR	2010	32	20
OUARGLA	HASSI BEN ABDELLAH	5,5383	32,0133	140	120	IRR	2008	27,49	

Tableau.4 : quelque points d'eau de la zone d'étude.

احتمالية تلوث المياه الجوفية لمنطقة ورقلة ()

- من أجل معرفة مدى تأثير مختلف الأنشطة والعوامل على الطبقة المياه الجوفية (CT) ، وخصوصا في منطقة فلاحية وهذا نظرا لاستعمال مختلف المبيدات و الأسمدة ؛ قمنا باختيار جزء من منطقة حاسي بن عبد الله وهذه البلدية تعد منطقة فلاحية بامتياز في ولاية ورقلة ومن خلال هذه الدراسة قمنا بتطبيق ثلاثة طرق لقياس احتمالية تلوث المياه الجوفية (الطبقة المائية CT) بطريقة ، **GOD SI DRASTIC**، بحيث قمنا بتطبيق هذه الطرق (المبيدات وفي الحالة الطبيعية).
وقمنا بالمقارنة بين مختلف النتائج والتي أظهرت أن احتمالية التلوث تختلف من طريقة إلى أخرى ومن حالة إلى أخرى.
بالنسبة لطريقة **DRASTIC** ، كانت النتائج أكثر منطقية حيث تشير في الحالة الطبيعية إلى احتمال تلوث متوسط وفي حالة استعمال مواد التعقيم تكون احتمالية التلوث قوية.

فيما يخص استعمال طريقة **GOD SI** فنتبين لنا أن في كلتا الحالتين احتمالية التلوث طبقة المياه الجوفية (CT) ضعيف كل النتائج على شكل خرائط بيانية من خلال استعمال برنامج المعلومات الجغرافية **Arcgis(Arcmap)**

احتمالية التلوث، **SI GOD DRASTIC**، طبقة المياه الجوفية (CT)، منطقة فلاحية، المبيدات.

Vulnérabilité des eaux souterraines de la région de Ouargla à la pollution (zone de Hassi B. Abdellah).

Résumé : Afin de connaître l'étendue de l'impact de diverses activités et facteurs sur l'aquifère (CT), en particulier dans la zone agricole, et cela est dû à l'utilisation de divers pesticides et engrais, Nous avons choisi une zone située dans la région de Hassi Ben Abdullah et comme cette commune est considérée comme une région agricole dans la wilaya de Ouargla.

À travers cette étude, nous avons appliqué trois méthodes, **DRASTIC, SI, GOD**. pour estimer la vulnérabilité de la nappe (CT) a la pollution et nous avons appliqué ces méthodes dans les deux cas (cas des pesticides et à l'état naturel)

Nous avons comparé les différents résultats obtenus, ceux qui montrent que la vulnérabilité varie d'une méthode à l'autre et d'un cas à l'autre.

Pour la méthode **DRASTIC**, les résultats étaient plus logiques, qu'ont montré dans le cas normal, une vulnérabilité moyenne et dans le cas des pesticides, une vulnérabilité forte.

Concernant l'utilisation de la méthode **SI** et **GOD** nous a montré que dans les deux cas, la vulnérabilité de l'aquifère est faible .

Nous avons traduit tous les résultats en cartes graphiques, c'est par l'utilisation un programme d'information géographique (**SIG**), **ARCGIS (ARCMAP)**.

Mots clés

Vulnérabilité, DRASTIQUE, GOD, SI, Eaux souterraine , la nappe (CT), Zone agricole, Pesticides

Vulnerability of groundwater in the Ouargla region to pollution (Hassi B. Abdellah area).

Summary:- In order to know the extent of the impact of various activities and factors on the aquifer (CT), especially in the agricultural area, and this is due to the use of various pesticides and fertilizers, We have chosen an area located in the region of Hassi Ben Abdullah and as this commune is considered as an agricultural region in the wilaya of Ouargla.

Through this study, we applied three methods, **DRASTIC, SI, GOD**. to estimate the vulnerability of the water table (CT) to pollution and we applied these methods in tow cases (the case of pesticides and natural case).

We compared the different results obtained, those which show that the vulnerability varies from one method to another and from one case to another.

For the **DRASTIC** method, the results were more logical, shown in the normal case, a medium vulnerability and in the case of pesticides, a high vulnerability.

Concerning the use of the **SI** and **GOD** method showed in two cases, the vulnerability of the aquifer is low.

We have translated all the results into graphic maps, using a geographic information program (**GIS**), **ARCGIS (ARCMAP)**.

Keywords :

Vulnerability, DRASTIC, GOD, SI, Groundwater, Water table (CT) Agricultural zone, Pesticides.